

# Ispitivanje genotipova soje spram tolerantnosti na sušu

---

**Sruk, Dora**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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:204:986436>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-25**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

**ISPITIVANJE GENOTIPOVA SOJE SPRAM  
TOLERANTNOSTI NA SUŠU**

DIPLOMSKI RAD

Dora Sruk

Zagreb, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Biljne znanosti

**ISPITIVANJE GENOTIPOVA SOJE SPRAM  
TOLERANTNOSTI NA SUŠU**

DIPLOMSKI RAD

Dora Sruk

Mentor:

prof. dr. sc. Ivan Pejić

Zagreb, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA  
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Dora Sruk**, JMBAG 0178110526, rođen/a 20.08.1997. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

**ISPITIVANJE GENOTIPOVA SOJE SPRAM TOLERANTNOSTI NA SUŠU**

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 **Dore Sruk**, JMBAG 0178110526, naslova

**ISPITIVANJE GENOTIPOVA SOJE SPRAM TOLERANTNOSTI NA SUŠU**

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

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Prof. dr. sc. Ivan Pejić, mentor

\_\_\_\_\_

2. Prof. dr. sc. Hrvoje Šarčević, član

\_\_\_\_\_

3. Prof. dr. sc. Davor Romić, član

\_\_\_\_\_

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
1.1.	Cilj istraživanja .....	2
2.	Pregled literature .....	3
2.1.	Tolerantnost na sušu kod soje .....	3
2.2.	Utjecaj suše na prinos i kvalitetu zrna .....	4
3.	Materijali i metode .....	9
3.1.	Biljni materijal.....	9
3.2.	Poljski pokus.....	9
3.3.	Prikupljanje podataka.....	11
3.4.	Analiza podataka .....	11
4.	Rezultati .....	12
4.1.	Meteorološki uvjeti .....	12
4.2.	Vlaga tla.....	16
4.3.	Usporedba meteoroloških prilika u 2021. i 2022. godini.....	18
4.4.	Agronomska svojstva .....	19
4.4.1.	Dimenzije lista .....	19
4.4.2.	Analiza varijance za agronomska svojstva i svojstva kvalitete .....	19
4.4.3.	Komponente prinosa i kvalitete zrna .....	20
5.	Rasprava .....	30
6.	Zaključak.....	36
7.	Popis literature .....	37
8.	Prilog .....	43
8.1.	Popis tablica.....	43
8.2.	Popis grafova .....	43
8.3.	Popis slika.....	44
	Životopis .....	

## Zahvala

Zahvaljujem svom mentoru, prof. dr. sc. Ivanu Pejiću, što je pristao biti moj mentor tijekom fakultetskog obrazovanja i što sam imala priliku učiti od njega te napredovati akademski i osobno pod njegovim vodstvom. Pod njegovim mentorstvom naučila sam važnost marljivosti, kritičkog razmišljanja i obraćanja pozornosti na detalje – vještine koje će mi dobro poslužiti dok napredujem prema svojim budućim ciljevima u karijeri. Stoga mu hvala na strpljenju, podršci i svim savjetima kojima me motivirao da težim izvrsnosti u svim aspektima svog istraživanja te steknem diplomu s dubljim osjećajem razumijevanja i postignuća.

Zatim bih izrazila zahvalnost članovima povjerenstva za ocjenu i obranu mog diplomskog rada, prof. dr. sc. Hrvoje Šarčeviću i prof. dr. sc. Davoru Romiću, na velikodušnom pružanju brojnih korisnih savjeta i usmjerenju ka novim spoznajama čime su doprinijeli stvaranju ovog diplomskog rada.

Veliko hvala i mojoj obitelji na podršci tijekom cjelokupnog fakultetskog obrazovanja.

## **Sažetak**

Diplomskog rada studenta/ice **Dora Sruk**, naslova

### **ISPITIVANJE GENOTIPOVA SOJE SPRAM TOLERANTNOSTI NA SUŠU**

Usljed klimatskih promjena dolazi do pojava sve češćih intenzivnih suša koje znatno utječu na poljoprivrednu proizvodnju i sigurnost hrane. Soja kao vodeća proteinska i uljana kultura u svijetu osjetljiva je na stres suše te u sušnim uvjetima dolazi do znatnog pada prinosa zrna. U Republici Hrvatskoj se soja pretežno uzgaja u uvjetima suhog ratarenja, a reakcija dostupnih kultivara na stres suše nije poznata. Provedeno je ispitivanje šest genotipova soje ('DH 5160', 'Pedro', 'Maksimirka', 'Zagorka', 'Toma' i 'Sara') spram tolerantnosti na sušu. Pokus je postavljen u Maksimiru tijekom 2021. i 2022. godine, a u pokusu su provedena dva tretmana (navodnjavanje i induciranje suše). Praćeni su vremenski pokazatelji i tlak vlažnosti tla, a nakon žetve mjerena su agronomska svojstva u oba tretmana te je utvrđen visokosignifikantan utjecaj tretmana i godine na gotovo sva svojstva. Utvrđene su i značajne razlike među genotipovima u smanjenju vrijednosti ključnih komponenti prinosa.

**Ključne riječi:** soja, tolerantnost na sušu, kultivar



## Summary

Of the master's thesis – student **Dora Sruk**, entitled

### **ASSESSMENT OF SOYBEAN GENOTYPES FOR DROUGHT TOLERANCE**

As a result of climate change, intense droughts are occurring more frequently which significantly affect agricultural production and food security. Soybean, as the leading protein and oil crop in the world, is susceptible to the drought stress, and in dry conditions there is a significant drop in grain yield. In the Republic of Croatia, soybeans are predominantly grown under dry farming conditions, and the reaction of available cultivars to drought stress is unknown. Six soybean genotypes ('DH 5160', 'Pedro', 'Maksimirka', 'Zagorka', 'Toma' and 'Sara') were tested for drought tolerance. The experiment was set up in Maksimir during 2021 and 2022, and two treatments (irrigation and drought induction) were carried out in the experiment. Weather indicators and soil moisture pressure were monitored, and after harvest, agronomic traits were measured in both treatments, and a highly significant influence of treatment and year on almost all traits was determined. Significant differences among genotypes in the reduction of the values of the key yield components were also determined.

**Keywords:** soybean, drought tolerance, cultivar

## 1. Uvod

Soja (*Glycine max* (L.) Merr.), kao neizostavan izvor proteina, ulja i mikronutrijenata u ljudskoj prehrani i stočnoj hrani, postala je ključna i ekonomski iznimno važna poljoprivredna kultura u svijetu (Yan i sur., 2020). Potječe iz Kine gdje je domesticirana prije 3000 - 5000 godina te se postepeno proširila na druge kontinente i zahvaljujući sposobnosti uzgoja u raznim agroekološkim uvjetima zauzela mjesto jedne od najraširenijih kultura u svijetu (Prince i sur., 2020). Kroz 19. i 20. stoljeće povećava se njena važnost otkrićem brojnih mogućnosti njene upotrebe te poprima nezamjenjivu ulogu u ljudskoj prehrani, stočarstvu i brojnim industrijama (Tyczewska i sur., 2016). U Hrvatskoj se zrno soje većinom koristi u industriji stočne hrane (sojina sačma i brašno) kao izvor proteina u sastavljanju krmnih smjesa (Lakić, 2016).

Posljednja četiri desetljeća proizvodnja soje u svijetu bilježi eksponencijalni rast (Müller i sur., 2021). Prema podacima iz 2021. godine soja se u svijetu uzgaja na oko 129,5 milijuna ha s prosječnim prinosom 2,8 t/ha te svjetskom godišnjom proizvodnjom od 371,7 milijuna tona (FAOSTAT, 2023). Najveći proizvođači soje su Brazil, SAD i Argentina koji čine ukupno 73% svjetske proizvodnje soje. U desetogodišnjem razdoblju od 2011. – 2021. broj površina pod sojom povećao se za 20%, dok se proizvodnja soje povećala za 30% što ukazuje na trend rasta uzgoja ove kulture (FAOSTAT, 2023). Međutim trenutna proizvodnja soje još uvijek nije dostatna za svjetske potrebe, osobito zbog osjetljivosti soje na različite abiotičke stresove što rezultira značajnim padom prinosa (Feng i sur., 2020). Kako navode Godfray i sur. (2010.) te Tilman i sur. (2011.) proizvodnja soje mora se povećati za 70% tijekom sljedećih nekoliko dekada kako bi bile podmirene ljudske potrebe za biljnim proteinima.

Značajniji uzgoj soje na prostoru Republike Hrvatske započinje 1988. godine kada soja zauzima 34.177 ha, a posljednjih dvadeset godina ima stalnu tendenciju rasta (Vratarić i Sudarić, 2008). Danas se soja po proizvodnoj zastupljenosti nalazi na trećem mjestu u Republici Hrvatskoj, odmah nakon kukuruza i pšenice (Andrijanić i sur., 2021). Prema podacima Državnog zavoda za statistiku (2023) u 2021. godini se soja u Hrvatskoj uzgajala na 86.000 ha, s prosječnim prinosom 2,6 t/ha i proizvodnjom od 228.000 t. U 2022. godini unatoč povećanju površina za 6.000 ha došlo je do smanjenja prinosa po jedinici površine na 2,1 t/ha te do smanjenja ukupne proizvodnje na 196.000 t.

Napretkom znanosti i agrotehnike prinosi su u stalnom porastu, no postoje brojni okolišni čimbenici koji imaju negativan utjecaj na najvažnija agronomska svojstva. Dok je većina tih čimbenika regionalnog karaktera, klimatske promjene djeluju na globalnoj razini. Problem smanjenja poljoprivredne proizvodnje uzrokovan sušom predstavlja ozbiljan izazov za globalnu sigurnost i održivost hrane (Lesk i sur., 2016).

Prema izvješću Međuvladina panela o klimatskim promjenama (IPCC, 2023) kao posljedica klimatskih promjena u mnogim dijelovima svijeta, pa tako i u Hrvatskoj, očekuje se porast frekvencije pojave sve intenzivnijih suša. Suša je najštetniji abiotički stres koji utječe na rast biljaka na globalnoj razini na različite načine s obzirom na neizvjesnost vremena pojavljivanja, a predstavlja najčešći uzrok nerentabilnih prinosa (Ahanger i sur., 2021). Kako

projekcije klimatskih promjena postaju sve negativnije, razvoj i uzgoj kultivara tolerantnijih na sušu, a to su oni koji u uvjetima suše zadržavaju visoke prinose i kvalitetu, predstavljaju glavni izazov suvremenog oplemenjivanja bilja.

Usjev soje zahtjeva optimalnu količinu vode tijekom svih stadija rasta i razvoja za postizanje svog punog potencijala i ostvarivanje stabilnih prinosa. Nedostatak vlage u tlu tijekom kritičnih faza rasta i razvoja ima znatan utjecaj na smanjenje produktivnosti te dovodi do značajnih gubitaka (Silventei sur., 2012). Navodnjavanje, kao meliorativna mjera, može biti rješenje za stabilniju i rentabilniju poljoprivrednu proizvodnju. Navodnjavanje ima statistički značajan učinak za ublažavanje štetnih klimatskih utjecaja suše i nedostatka vode na usjev soje (Zhang i sur., 2015). U 2016. godini je procijenjeno da se 29 680 ha poljoprivrednog zemljišta može navodnjavati, a navodnjavano je 16 072 ha ili 54% (NAPNAV, 2021). U Hrvatskoj se soja uzgaja pretežno u uvjetima suhog ratarenja te stoga u takvim uvjetima (prema Vratarić i Sudarić, 2009) ovisno o osjetljivosti izabrane sorte na sušu i o fazi razvoja biljke u kojem je nastalo sušno razdoblje, prinos soje može biti umanjen za 20 do 60%.

S obzirom na važnost soje u svjetskoj proizvodnji hrane i pojavu sve većeg interesa za njen uzgoj u Hrvatskoj, istraživanja koja se bave reakcijom genotipova soje na sušu mogu biti ključna za uspješnost proizvodnje ove biljne kulture u Hrvatskoj i diljem svijeta.

Tijekom 2017. i 2018. godine u sklopu AGRO-DROUGHT-ADAPT (ADA) projekta istraživana je genetska adaptabilnost najvažnijih sorata soje, tj. njihova tolerantnost na sušu. Istraživanjem je utvrđeno kako pojedini genotipovi imaju veću ili manju tolerantnost na sušu pri istoj razini stresa (Pejić, 2020). No, u pravilu farmerima nije poznata reakcija dostupnih kultivara na stres suše te ne postoji standardizirana i jednostavna metoda kojom se procjenjuje stupanj tolerantnosti sorte na sušu. Nažalost, trenutno ne postoji ni proces službenog ispitivanja i deklariranja sorti prema tolerantnosti na stres suše. Primjena kultivara s većom tolerantnošću na sušu mogla bi smanjiti gubitke uslijed nepredvidivih stresnih okolišnih uvjeta te dovesti do sigurnije i ekonomičnije proizvodnje.

## **1.1. Cilj istraživanja**

Ispitati reakciju i ponašanje genotipova soje u uvjetima navodnjavanja u odnosu na uvjete inducirane suše u funkciji mogućeg postupka sustavne provjere tolerantnosti postojećih i razvoja novih sorata soje tolerantnih na sušu.

## 2. Pregled literature

### 2.1. Tolerantnost na sušu kod soje

Na poljoprivrednim područjima ekstremni vremenski uvjeti poput suše mogu prouzročiti znatnu štetu na usjevima s potencijalom da destabiliziraju prehrambene sustave te ugroze lokalnu i globalnu prehrambenu sigurnost (Lesk i sur., 2016). Klimatske značajke i režim voda u tlu te njihov međusobni složeni odnos definiraju ključ za uspješnu biljnu proizvodnju (Šimunić i sur., 2007). Jedan od najčešćih i najznačajnijih stresora je nedostatak vode u tlu čije karakteristike mogu varirati od povremenog do dugotrajnog nedostatka vode i konstantnog niskog sadržaja vlage u tlu. Utjecaj suše proteže se od morfoloških do molekularnih razina te je vidljiv u svim fazama biljnog rasta, bez obzira na fazu u kojoj dolazi do nedostatka vode (Farooq i sur., 2009). Većina fizioloških procesa koji se odvijaju u biljkama, a određuju prinos reagiraju na stres koji se javlja prilikom nedostatka vlage u tlu. Suša može dovesti do smanjenja prinosa u raznim vrstama usjeva, a stupanj smanjenja ovisi o ozbiljnosti i trajanju stresnog razdoblja te o sposobnosti prilagodbe pojedine biljke (Farooq i sur., 2012).

Ovisno o karakteristikama kultivara, soja koristiti oko 450 – 700 mm vode tijekom vegetacije (Dogan i sur. 2007; Embrapa, 2011).

Nedostatak vode glavni je ograničavajući čimbenik proizvodnje zrna soje (Napoles i sur., 2009). Izloženost biljaka stresu od suše izaziva brojne fiziološke i biokemijske promjene koje rezultiraju poremećajem normalnog rasta i razvoja (Reynolds i sur., 2006). Utjecaj suše na usjev soje ovisi o intenzitetu suše, trajanju sušnog razdoblja te o fazi razvoja u kojoj se suša javlja. Dragović (1994) navodi kako je prinos soje manji kada su veći intenzitet i dužina trajanja suše te nakon provedenih analiza zaključuje kako je suša u različitim reproduktivnim fazama smanjila prinos od 2 do 92%, kao i kakvoću zrna soje. Kako navode Marinho i sur. (2022) uslijed suše dolazi do gubitka prinosa od 40%, a prema Guimarães – Dias i sur. (2012) ovisno o vremenu pojavljivanja i intenzitetu suše gubitak može doseći i 80% prinosa. Osim smanjenja prinosa suša utječe i na kvalitetu zrna. Više autora navodi kako je najkritičnija faza za nedostatak vode kod soje upravo cvatnja te razdoblje nakon cvatnje koje čine oplodnja, formiranje mahuna i nalijevanja zrna (Farooq i sur. 2017; Manavalan i sur., 2009; Meckel i sur., 1984; Desclaux i sur., 2000). Stoga je ključno strogo kontrolirati intenzitet deficita vode tijekom faze klijanja i osigurati odgovarajuću opskrbu vodom tijekom reproduktivnog razdoblja rasta, posebno tijekom faze cvatnje i formiranja mahuna, kako bi se zajamčio visok prinos soje. Kratkotrajni i umjereni nedostatak vode nema znatan utjecaj na produktivnost i kvalitetu soje (Vaghar et al., 2020). Naime kod intenzivnih i dugotrajnih suša učinak suše prvenstveno je vidljiv u smanjenju klijavosti sjemena te posljedično lošem uspostavljanju sklopa. Suša negativno djeluje na sve ostale faze rasta i razvoja (Igiehon i sur., 2021). Prema Wrightu (1999) vlagu tla treba održavati optimalnom više u reproduktivnoj nego u vegetativnoj fazi. Kada je usjev izložen suši tijekom vegetativne faze, imat će manje grananja, kraću stabljiku te minimalnu lisnu površinu što može dovesti do smanjenja broja proizvedenih mahuna. Ako je

soja izložena suši u reproduktivnoj fazi, može doći do opadanja cvjetova što će dovesti do manjeg broja mahuna po biljci i manje mase zrna, a samim time i do smanjenja prinosa (Akand i sur., 2018).

## 2.2. Utjecaj suše na prinos i kvalitetu zrna

Desclaux i sur. (2000) navode kako su potrebne jeftine tehnike mjerenja intenziteta i učinaka suše temeljene na fenotipu kako bi se uzgajivačima usjeva pomoglo u tumačenju interakcija genotipa s okolišem. Proveli su ispitivanje kako bi utvrdili na koji način stres od suše u različitim fazama rasta soje utječe na određena agronomska svojstva. Prosječna duljina internodija pokazala se kao najosjetljivije svojstvo na sušu tijekom vegetativne faze i faze cvatnje ( $R_1$  i  $R_2$ ). Na broj mahuna po jedinici vegetativne suhe tvari značajno je utjecao stres tijekom faze  $R_4$ . Rani stres tijekom  $R_5$  smanjio je broj zrna po mahuni, dok je kasni stres (nakon granične faze pobačaja) smanjio masu zrna. Ovi rezultati sugeriraju da se točna razdoblja stresa od suše mogu odrediti naknadnim mjerenjem nekoliko morfoloških čimbenika i komponenti prinosa genotipova soje u fiziološkoj zrelosti. Oznake fenofaza soje pojašnjene su u tablici 2.1.

Frederick i sur. (2001.) navode da stres suše smanjuje prinos zrna prvenstveno smanjivanjem vegetativnog rasta grana što je dokazano rezultatima istraživanja prema kojima je ukupan prinos zrna, prinos zrna po grani i postotak ukupnog prinosa zrna po granama najveći u tretmanu navodnjavanja, a najmanji u tretmanu suše.

De Costa i Shanmugathan (2002.) su u tretmanu bez navodnjavanja dobili najniže prinose soje u obje godine, a u tretmanu s 13 navodnjavanja u 1995. godini i tretmanu s 10 navodnjavanja 1996. godine značajno veće prinose zrna. Navodnjavanjem tijekom faze cvatnje i formiranja mahuna ( $R_1 - R_3$ ) dobiveni su najveći prinosi u obje godine istraživanja.

Na osnovi provedenih pokusa Chung i sur. (2003) navode da je sadržaj proteina negativno povezan sa sadržajem ulja u zrnu soje, a često i s prinosom. Pokusi su provedeni sa šest različitih tretmana navodnjavanja u dvogodišnjem istraživanju. Nakon provedenih analiza zaključuju kako prinos gotovo uvijek opada kada se sadržaj proteina u zrnu genetski povećava, a sadržaj ulja u zrnu smanjuje.

Oya i sur. (2004) ispitivali su prinos zrna deset brazilskih kultivara soje u uvjetima inducirane suše tijekom dvije vegetacijske sezone na polju u Londrini, Brazil. Otpornost na sušu na temelju prinosa zrna varirala je ovisno o kultivaru, a poredak kultivara prema prinosu bio je gotovo isti kroz dvije godine. Kod kultivara s većom otpornošću na sušu, stopa rasta usjeva tijekom razdoblja sušnog stresa bila je veća nego kod drugih kultivara. Otporni kultivari su također zadržali veću lisnu površinu tijekom razdoblja stresa. Reproductivni razvoj bio je usporen uslijed stresa suše kod svih kultivara, no ipak je bio manje usporen kod kultivara otpornih na sušu.

Tablica 2.1. Faze rasta i razvoja soje (Fehr i sur., 1971).

OZNAKA FAZE	NAZIV	OPIS
<b>VEGETATIVNA FAZA</b>		
VE	Nicanje	Supke iznad površine tla
VC	Supke	Potpuno razvijeni jednostavni listovi
V <sub>1</sub>	Prvi nodij	Potpuno razvijene liske prvog trolista (potpuno razvijeni jednostavni listovi)
V <sub>2</sub>	Drugi nodij	Potpuno razvijene liske drugog trolista (potpuno razvijena troliska na nodiju iznad nodija jednostavnih listova)
V <sub>3</sub>	Treći nodij	Tri nodija na glavnoj stabljici s potpuno razvijenim listovima, počevši brojanje s nodijem jednostavnih listova
V <sub>(n)</sub>	n-ti nodij	n – nodija na glavnoj stabljici s potpuno razvijenim listovima, počevši s nodijem jednostavnih listova
<b>REPRODUKTIVNA FAZA</b>		
R <sub>1</sub>	Početak cvatnje	Jedan otvoreni cvijet na bilo kojem nodiju glavne stabljike
R <sub>2</sub>	Puna cvatnja	Jedan otvoreni cvijet na jednom od 2 najviša nodija glavne stabljike s potpuno razvijenim listovima
R <sub>3</sub>	Početak formiranja mahuna	Mahuna duljine 5 mm na jednom od 4 najviša nodija na glavnoj stabljici s potpuno razvijenim listovima
R <sub>4</sub>	Puni razvoj mahuna	Mahuna duljine 2 cm na jednom od 4 najviša nodija na glavnoj stabljici s potpuno razvijenim listovima
R <sub>5</sub>	Početak formiranja sjemena	Sjeme duljine 3 mm u mahuni na jednom od 4 najviša nodija na glavnoj stabljici s potpuno razvijenim listovima
R <sub>6</sub>	Puni razvoj sjemena	Sjeme ispunjava šupljinu mahune na jednom od 4 najviša nodija glavne stabljike s potpuno razvijenim listovima
R <sub>7</sub>	Početak zriobe	Jedna normalna mahuna na glavnoj stabljici dostigla je boju zrelosti, 50 % žutih listova, fiziološka zrioba
R <sub>8</sub>	Puna zrioba	95 % mahuna koje su dostigle boju zrelosti. Potrebno je 5 – 10 dana suha vremena za postizanje zrelosti pogodne za žetvu (15 % vode u sjemenu)

Demirtaş i sur. (2010) zaključuju da postoji neznatno smanjenje mase 1000 zrna tijekom vodenog stresa u R4 i R6 fazi te da je prinos zrna znatno smanjen zbog redukcije broja mahuna i broja zrna po biljci. Na stres tijekom faze rasta zrna najosjetljivija komponenta prinosa je broj zrna po biljci. Autori zaključuju da soju treba navodnjavati četiri puta s punim obrocima navodnjavanja u V<sub>5</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>4</sub> i R<sub>6</sub> za postizanje visokih prinosa.

Garcia i sur. (2010) proveli su ispitivanje kako bi se utvrdio učinak različitih režima navodnjavanja na rast i prinos četiriju genotipova soje te njihova učinkovitost iskorištenja vode za navodnjavanje. Autori su utvrdili značajne razlike među režimima navodnjavanja, također su otkrivene genotipske razlike u pogledu njihove učinkovitosti korištenja vode, naglašavajući važnost odabira kultivara kao ključne strategije za postizanje optimalnih prinosa uz smanjenu upotrebu vode u dodatnom navodnjavanju.

Jukić i sur. (2010) zaključuju da provedena istraživanja utjecaja dobi dozrijevanja pojedinih kulivara i agroekoloških uvjeta na urod zrna soje pokazuju opravdani utjecaj kultivara, lokacije i godine te njihovih interakcija, tj. da su ispitivani kultivari imali različite prosječne urode zrna. Rezultati tih autora ukazuju na mogućnost povećanja uroda zrna soje pravilnim odabirom kultivara i skupine zriobe, ovisno o mikroklimatskim svojstvima pojedinoga proizvodnoga područja.

Kirnak i sur. (2010) iznose da nedostatak vode u fazama R<sub>3</sub>, R<sub>5</sub> i R<sub>6</sub> rezultira znatnim smanjenjem prinosa u odnosu na kontrolni tretman potpunog navodnjavanja. Autori navode kako nedostatak vode tijekom reproduktivnih faza iznimno utječe na smanjenje sadržaja proteina u zrnu.

Salimi i sur. (2012) su tijekom 2008. godine na Agronomskom fakultetu Sveučilišta Guilan u Iranu proveli pokus ispitivanja morfoloških karakteristika 19 genotipova soje uslijed suše s ciljem utvrđivanja genotipova koji su otporniji na sušu u odnosu na druge. Analizom varijance utvrđena je značajna razlika između ispitivanih genotipova za prinos i sastavnice prinosa.

Silvente i sur. (2012) procijenili su učinke kratkotrajnog nedostatka vode na ukupni rast, fiksaciju dušika, dinamiku ureida i prolina te metaboličke promjene kod genotipa koji je osjetljiv na sušu te koji se pokazao kao otporan na sušu. Rezultati istraživanja pokazali su razlike u fiziološkim odgovorima na sušu između ispitivanih genotipova.

Maleki i sur. (2013) proveli su pokus s ciljem proučavanja utjecaja suše na prinos zrna i komponente prinosa kod tri kultivara soje. Rezultati su pokazali da je suša značajno utjecala na sklop, visinu biljaka, broj zrna po biljci, broj zrna po mahuni, prinos zrna, biološki prinos, masu 1000 zrna, broj zrna po mahuni, žetveni indeks te sadržaj ulja i proteina u zrnu. Faza R<sub>5</sub> je bila najosjetljivija na stres izazvan sušom.

Chowdhury i sur. (2015) proveli su 2012. godine istraživanje s ciljem utvrđivanja faktora koji utječu na prinos deset genotipova soje. Stres suše znatno je utjecao na visinu biljke, broj listova, površinu lista i suhu tvar korijena kod svih genotipova. Usporedno s kontroliranim uvjetima prinos zrna genotipova je smanjen od 42% do 68% uslijed suše te su osjetljivi genotipovi imali veće smanjenje prinosa od tolerantnijih. Rezultati istraživanja pokazuju da su

genotipovi imali značajne varijacije povezane s rastom biljaka, prinosom i komponentama prinosa u sušnim uvjetima.

Nunes i sur. (2016) bavili su se procjenom reakcije soje na navodnjavanje i nedostatak vode u različitim fenološkim fazama. Tretmani su se sastojali od razina navodnjavanja koje su dovele do povećanja vode u vegetativnoj fazi, reproduktivnoj fazi i tijekom cijelog ciklusa, temeljene na potencijalnoj evapotranspiraciji. Ispitane su sljedeće varijable: vrijeme do cvatnje, vrijeme do sazrijevanja, visina biljke, broj mahuna po biljci, promjer stabljike, površine lista i prinos. Biljke iz tretmana navodnjavanja s umjerenim deficitom vode, 50 % potencijalne evapotranspiracije u vegetaciji, pokazuju najbolja agronomska svojstva.

Irshad i sur. (2016) navode značajnu interakciju godine i genotipa za visinu biljaka soje. Navodnjavanje soje rezultiralo je višim biljkama. Bez navodnjavanja prosječna visina biljaka iznosila 81,25 cm, a navodnjavanjem do 60-100%, odnosno 80-100% RKV (retencijskoga kapaciteta za vodu) povećava se prosječna visina biljaka do 89,21 odnosno 92,53 cm.

Tijekom 2012., 2013. i 2014. godine Bhatia i Jumrani (2016) proveli su ispitivanje otpornosti na sušu za šesnaest genotipova soje. U pokusu je 16 genotipova podvrgnuto tretmanu navodnjavanja i tretmanu inducirane suše. Prosječni prinos zrna bio je najveći 2012., zatim 2014., dok su vrlo niski prinosi zabilježeni tijekom 2013. Postotno smanjenje prosječnog prinosa soje u uvjetima vodnog stresa bilo je maksimalno (43%) tijekom 2014., a zatim 2012. (40%) i 2013. (31%). Prosječni prinosi genotipova soje također su se značajno razlikovali. Došlo je do značajnog smanjenja prosječnih vrijednosti svih svojstava prinosa u uvjetima nedostatka vode u usporedbi s uvjetima navodnjavanja. Najveće smanjenje primijećeno je u broju mahuna (31%), nakon čega slijedi smanjenje mase 100 zrna (23%), ukupne biomase (18%) i broja zrna po mahuni (5%).

Galić Subašić i sur. (2017) proveli su trogodišnji poljski pokus kojim je utvrđen utjecaj godine, tretmana navodnjavanja i sorte na visinu biljaka i urod zrna soje u uvjetima istočne Hrvatske. Statistički vrlo značajan utjecaj ( $P=0,01$ ) na visinu biljaka soje pokazuju sva tri ispitivana faktora, kao i njihove interakcije, izuzev interakcije navodnjavanja i sorte koja je bila značajna na razini  $P=0,05$ . Na urod zrna soje ispitivani faktori, kao i sve njihove interakcije, utječu na razini značajnosti  $P=0,01$ . Dobivene vrijednosti uroda zrna soje tijekom istraživanja, ukazuju kako odabir genotipova prilagođenih određenim agroklimatskim uvjetima te pravodobno i pravilno navodnjavanje mogu ublažiti nepovoljne utjecaje godine s premalo oborina ili s oborinama koje su nepovoljno raspoređene u odnosu na vegetaciju soje.

Jukić i sur. (2019) proveli su pokus u koji je uvršteno dvadeset najzastupljenijih genotipova soje koji u strukturi sjetve zauzimaju 75% sjetvenih površina kako bi se ispitaio utjecaj genotipa, godine, lokacije te njihovih interakcija na prinos, udio ulja i proteina u soji. U 2018. godini ostvaren je prosječno veći prinos zrna, udio ulja i proteina prvenstveno zbog pravilnog rasporeda oborina. Lokacija Osijek u svim godinama istraživanja imala je prosječno veće prinose zrna, udio ulja i proteina. Prema dobivenim rezultatima analize varijance za



genotip, interakciju genotip x lokacija i genotip x godina dobivene su statistički visoko opravdane razlike.

Šarčević i sur. (2022) proveli su istraživanje kako bi za 32 elitna genotipa soje utvrdili sadržaj proteina i ulja u zrnu u šest sušnih i osam normalnih okolina te kako bi utvrdili utjecaj okoline na apsolutne vrijednosti i odnos između ta dva svojstva. Analiza varijance pokazala je da su genotip, okoliš kao i njihova interakcija bili signifikantni za oba svojstva s tim da je sadržaj proteina bio osjetljiviji na promjene okoliša nego sadržaj ulja. Prosječni sadržaj proteina u zrnu smanjio se za 4,5 % u sušnim uvjetima u odnosu na normalne i kretao se od 2,3 % do 7,1 % za pojedine genotipove. U isto vrijeme suša je uzrokovala blagi porast sadržaja ulja od +1,2 %, s rasponom od -1,3 % do +4,5 % za pojedine genotipove.

Poudel i sur. (2023) proveli su studiju u kojoj je ispitivano deset sorata soje za 20 agronomskih svojstava s ciljem određivanja otpornosti na sušu. Smanjena stomatalna vodljivost u kombinaciji s visokom temperaturom nadzemnog dijela biljke rezultirala je smanjenim brojem zrna (45 %) i masom zrna (35 %). Nadalje, sadržaj ulja u zrnu se smanjio, a sadržaj proteina povećao. Kultivari su različito reagirali na stres suše u usporedbi s kontrolom. Općenito, kultivari koji su pokazali visoku tolerantnost na sušu za svojstvo prinosa pokazali su smanjenje kvalitete zrna (smanjenja sadržaja proteina i ulja) i obrnuto. Provedena studija je dovela do identifikacije kultivara obećavajućih svojstava uslijed suše koja se mogu iskoristiti u oplemenjivanju za razvoj novih kultivara otpornih na različite stresove. Uočena varijabilnost svojstava refleksije lišća i njihov odnos s fiziološkim komponentama ili komponentama prinosa sugeriraju da se informacije o razini lista mogu koristiti za razlikovanje kultivara soje osjetljivih na sušu od onih tolerantnih.

### 3. Materijali i metode

#### 3.1. Biljni materijal

Kao pokusni materijal korišteno je šest kultivara soje (Tablica 3.1.). Kultivari 'DH 5170' i 'Pedro' odabrani su na temelju prijašnjih istraživanja u kojima su pokazali visoku stopu tolerantnosti na sušu, a 'Sara' i 'Toma' kao kultivari osjetljivi na sušu. Materijalu su pridodane i dvije novopriznate sorte ('Maksimirka' i 'Zagorka') nepoznate reakcije na sušu.

Tablica 3.1. Popis kultivara uključenih u poljski pokus.

KOD	KULTIVAR	Podrijetlo sjemena
1	DH 5170	RWA <sup>1</sup>
2	Pedro	ERSA (Bc Institut) <sup>2</sup>
3	Maksimirka	AFZ (Bc Institut) <sup>3</sup>
4	Zagorka	AFZ (Bc Institut) <sup>3</sup>
5	Toma	PIO <sup>4</sup>
6	Sara	PIO <sup>4</sup>

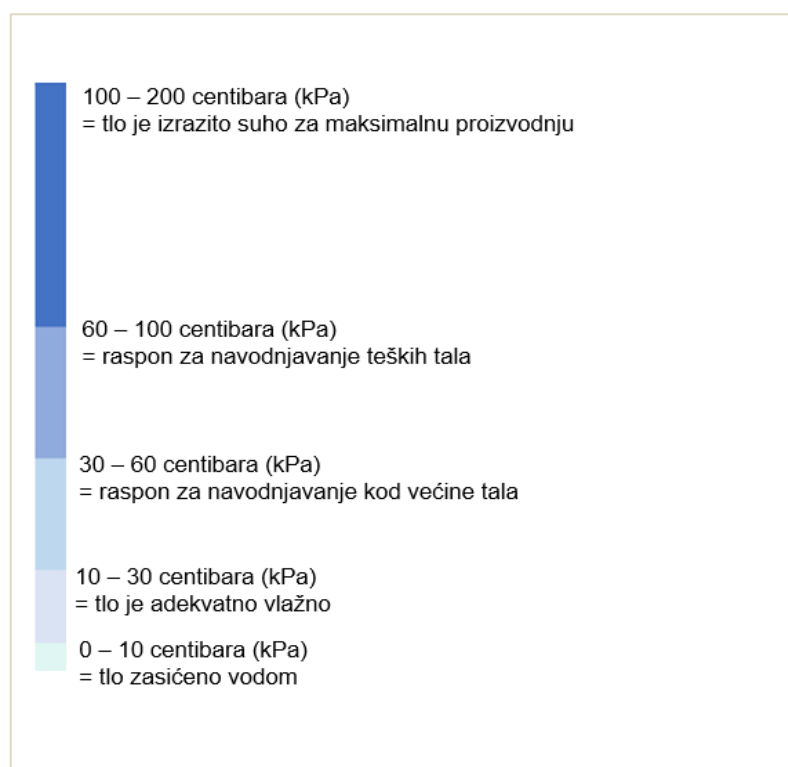
- 1) Oplemenjivač: Saatzucht Gleisdorf, Austria. Distributer sjemena RWA Group - Hrvatska
- 2) Oplemenjivač: Regionalni institut ERSA (Udine, Italia). Distributer sjemena Bc Institut Zagreb
- 3) Oplemenjivač: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Distributer sjemena Bc Institut Zagreb
- 4) Oplemenjivač i distributer sjemena: Poljoprivredni institut Osijek

#### 3.2. Poljski pokus

Poljski mikropokus sa šest kultivara soje proveden je tijekom dvije uzastopne godine 2021. i 2022. na pokušalištu Maksimir Agronomskog fakultetu u Zagrebu (Zagreb, Hrvatska). Pokus je postavljen u dva bloka s obzirom na provedeni tretman s navodnjavanjem. Tretmani su uključivali dva vodna režima: induciranje suše (S) i navodnjavanje (N). Pokus je unutar svakog bloka (bloka S i bloka N) postavljen prema slučajnom bloknom rasporedu u dvije repeticije. Induciranje suše određenog intenziteta započinje u fazi pred cvatnju ( $V_4 - V_5$ ), a postignuto je natkrivanjem usjeva pred značajnije oborine konstrukcijom sastavljenom od visokih lukova s plastičnom folijom koji se ukopaju u zaštitne prohode. Natkrivanje usjeva u prvoj godini uslijed tehničkih poteškoća nije bilo provedeno, no s obzirom na malu količinu oborine to nije značajno utjecalo na vlagu u tlu. Navodnjavanje je provedeno sustavom kapanja, a započelo je kada je razina vlage u tlu dosegla vrijednost 30 – 60 centibara (kPa) prema preporuci proizvođača. Za potrebe navodnjavanja određena je količina dodane vode

od 35 L/m<sup>2</sup>. Broj i ritam obroka navodnjavanja u pojedinoj godini ovisio je o pojavi i količini prirodne oborine te izmjerenom tlaku u tlu.

Vlaga tla (izražena u centibarima = kilopaskalima) je indirektno mjerena digitalnim mjeračem proizvođača Watermark s dva ukopana senzora na 20 i 40 cm dubine u svakom bloku. Prema uputama za korištenje na slici 3.1. prikazani su rasponi unutar kojih je tlo u određenoj mjeri zasićeno vodom. Povećanje vrijednosti tlaka označuje smanjenje količine vode u tlu. Raspon od 0 – 10 centibara predstavlja tlo zasićeno vodom. Zatim raspon od 10 – 30 centibara predstavlja tlo adekvatno vlažno. Slijedi raspon od 30 – 60 centibara koji predstavlja raspon za navodnjavanje većine tala, zatim raspon od 60 – 100 centibara koji predstavlja raspon za navodnjavanje teških tala te raspon od 100 – 200 centibara u kojem je tlo izrazito suho za maksimalnu proizvodnju.



Slika 3.1. Dijagram rasporeda stanja vlage tla mjerenoj u centibarima (kPa). Preuzeto iz uputa za upotrebu senzora proizvođača Watermark.

Veličina pokusne parcelice bila je 1,5 m<sup>2</sup>. Sjetva je u obje godine obavljena u optimalnim rokovima preciznom jednorednom sijačicom (Wintersteiger, Austria) u tro-redne parcelice međurednog razmaka od 45 cm, sa gustoćom sjetve 58 zrna/m<sup>2</sup>. Dva bloka (Suša i Navodnjavanje) bila su odvojena 3-rednim izolacijskim usjevom (kultivar 'Bugra'). Svi drugi agrotehnički zahvati provedeni su prema standardnim zahtjevima za proizvodnju soje optimalnog prinosa.

### 3.3. Prikupljanje podataka

Vlaga tla, izražena kao tlak (izražen u centibarima = kilopaskalima), je mjerena u svakom bloku u dnevnom režimu digitalnim mjeračem proizvođača Watermark s ukopanim senzorima na 20 i 40 cm dubine. U neposrednoj blizini pokusa bila je postavljena i automatska meteorološka stanica - Davis Instruments 6250 Vantage kojom je mjerena temperatura i količina oborina u satnom režimu od sjetve do žetve.

U poljskim uvjetima 12. srpnja 2021. i 22. srpnja 2022. srpnja, izmjerene su dimenzije pet listova (širina i duljina liski unutar troliske) reprezentativnih biljaka svih genotipova, u oba bloka („navodnjavanje“ „suša“), u obje repeticije. U obje godine požeto je po 15 reprezentativnih biljaka iz srednjeg reda svake parcelice te su za svaku biljku izmjerena agronomska svojstva: visina (cm), broj plodnih etaža, broj grana, broj mahuna, broj zrna po biljci i masa zrna po biljci (g). Vlaga zrna u žetvi (%) izmjerena je elektronskim vlagomjerom na uzorku sjemena od svih 15 biljaka, a iz podataka od naprijed navedenih svojstava izračunata je i masa tisuću zrna (g). Temeljem vrijednosti vlage zrna u žetvi masa zrna po biljci (prinos parcelice) je svedena na standardnu vlagu od 13%.

Korištenjem bliske infracrvene spektroskopije uređajem NIR Perten IM 9500 određen je sadržaj proteina i ulja u zrnu (%).

### 3.4. Analiza podataka

Meteorološki podaci (temperature i oborine) u vegetacijskom razdoblju soje 2021. i 2022. godine prikazani su tablicama i klima-dijagramima prema Walteru na temelju međusobnog odnosa srednjih mjesečnih temperatura zraka i količina oborina 1:3. Razdoblje u kojem se temperaturna krivulja nalazi iznad oborinske označava razdoblje s manjkom oborina odnosno nepovoljno razdoblje suše (Penzar i Penzar, 2000.). Vlaga tla prikazana je grafički kombiniranim dijagramom u kojem su oborine i navodnjavanje prikazani stupcima, a vlažnosti tla linijama.

Tijekom vegetacije prikupljeni su podaci o veličini triju liski sa pet slučajnih biljaka sa svake parcelice te su podaci analizirani metodom deskriptivne statističke analize i prikazani tablično.

Iako su pokusi u 2021. i 2022. godini uključivali šest genotipova soje jedan od genotipova ('Pedro') u 2021. godini nije imao zadovoljavajući sklop te je isključen iz statističke analize agronomskih svojstava i svojstava kvalitete. Tretman navodnjavano/nenavodnjavano tretiran je u statističkoj analizi kao lokacija (kontrola/suša).

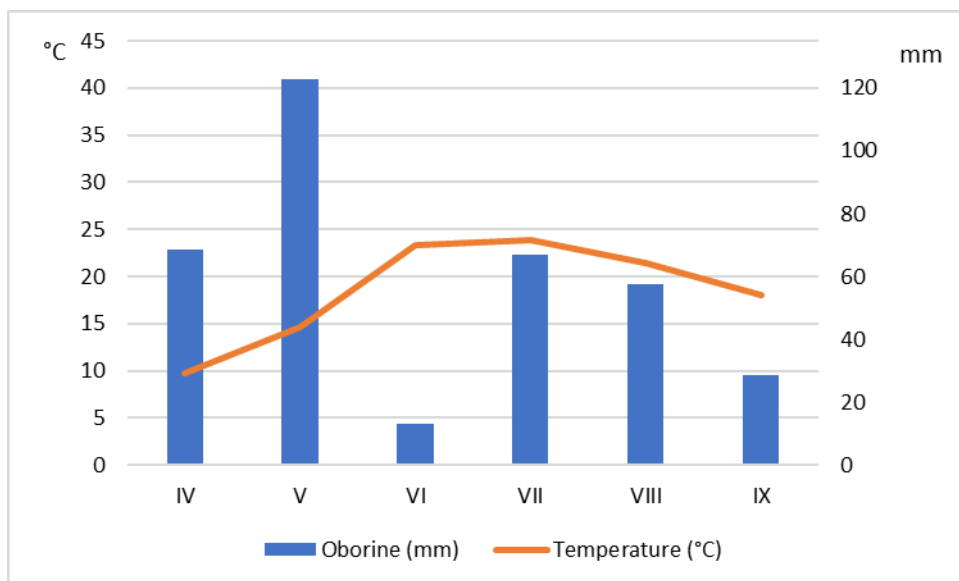
Za utvrđivanje signifikantnosti učinka godine, genotipa i tretmana kao i njihovih interakcija provedena je kombinirana analiza varijance (ANOVA) kroz dvije godine. Za testiranje razlika između srednjih vrijednosti svojstava proveden je Fisherov LSD test. Za provođenje statističke analize korišten je programski paket SAS 9.4 (SAS Institute Inc. , 2013).

## 4. Rezultati

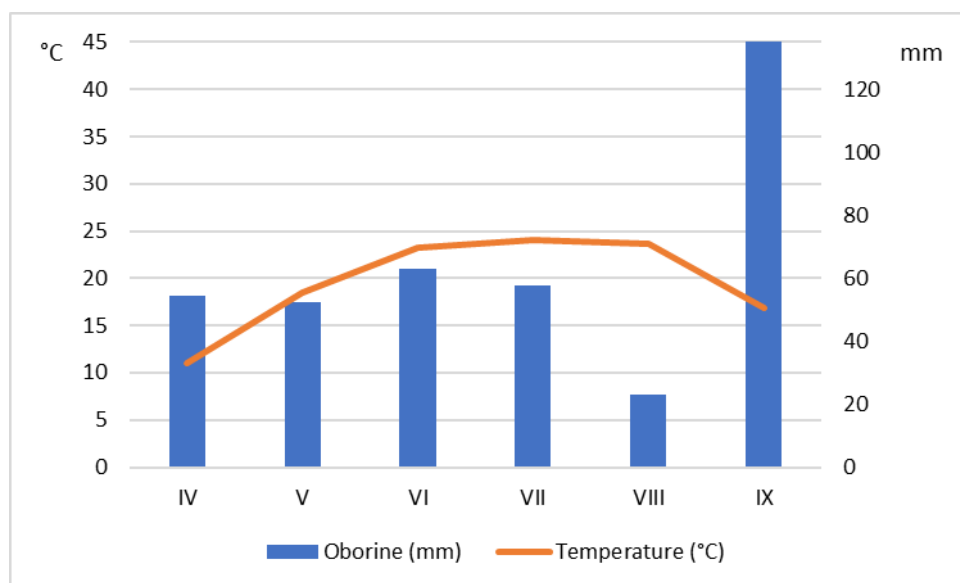
### 4.1. Meteorološki uvjeti

Kretanje temperature zraka i oborine na lokaciji Maksimir prikazano je grafikonima 4.1. i 4.2. izrađenima prema Walterovom klima-dijagramu. Graf 4.1. prikazuje oborine i temperature od travnja do rujna na pokusnoj lokaciji Maksimir u 2021. godini. Vidljivo je nastupanje meteorološke suše u lipnju te njen nastavak kroz ostatak vegetacijskog razdoblja. Najsušniji mjesec bio je lipanj. Graf 4.2. prikazuje oborine i temperature od travnja do rujna na pokusnoj lokaciji Maksimir u 2022. godini. Sušno razdoblje javlja se već u svibnju te traje do rujna. Najsušniji mjesec 2022. godine bio je kolovoz. Tijekom obje godine raspored oborina tijekom promatranog razdoblja bio je nepravilan. U 2021. godini pojavile su se velike količine oborina u svibnju u iznosu od 122,8 L/m<sup>2</sup>, nakon čega u lipnju dolazi do znatnog deficita oborina od 13,1 L/m<sup>2</sup>. Dok u 2022. godini vegetacija započinje graničnom pojavom umjerene suše koja se nastavlja do kolovoza u kojem je palo samo 22,9 L/m<sup>2</sup> oborine. U rujnu je palo 264,5 L/m<sup>2</sup> što čini 51,4 % ukupne količine oborina tijekom promatranih šest mjeseci.

Grafovi 4.3. i 4.4. prikazuju distribuciju oborine i kretanje temperature zraka po dekadama u vegetacijskom razdoblju 2021. i 2022. godine kako bi se jasnije prikazali razdoblja koja su bila pogođena visokim temperaturama i iznimno niskom količinom oborina.

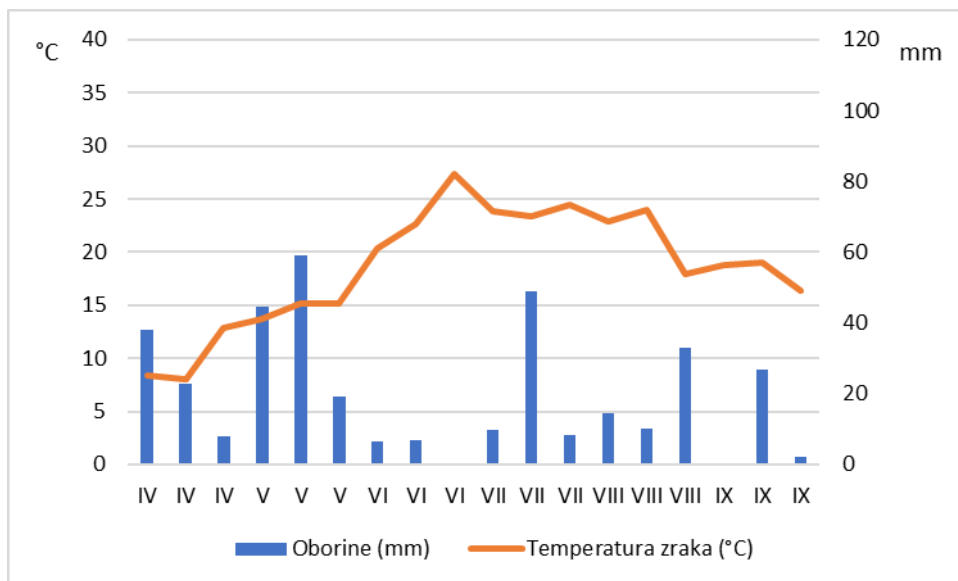


Graf 4.1. Kretanje ukupne mjesečne oborine (mm) i prosječne mjesečne temperature zraka (°C) tijekom vegetacijskog razdoblja soje na lokaciji Maksimir u 2021. godini.

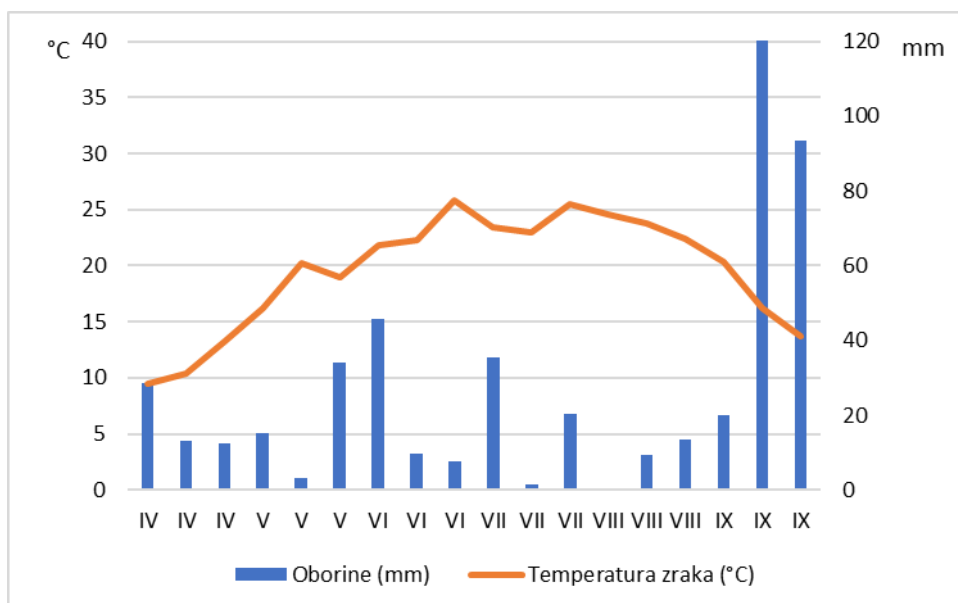


Graf 4.2. Kretanje ukupne mjesečne oborine (mm) i prosječne mjesečne temperature zraka (°C) tijekom vegetacijskog razdoblja soje na lokaciji Maksimir u 2022. godini.

### 2021



### 2022



Graf 4.3. i 4.4. Raspored ukupne oborine (mm) i kretanje prosječne temperature zraka (°C) po dekadama tijekom vegetacijskog razdoblja soje na lokaciji Maksimir u 2021. i 2022. godini.

Tablica 4.1. prikazuje prosječne temperature zraka za razdoblje od svibnja do rujna te kritično razdoblje za soju od lipnja do kolovoza za višegodišnji prosjek (1981. – 2020.), 2012., 2014., 2021. i 2022. godinu. Odabrana je 2012. godina kao sušna godina, a 2014. kao godina s velikom količinom oborine. Prosječna mjesečna temperatura zraka u vegetacijskom razdoblju soje u 2021. godini iznosila je 21,7 °C, a najtopliji mjesec bio je srpanj sa prosječnom

temperaturom zraka od 23,9 °C. U prosjeku je 2022. vegetacijska godina bila nešto toplija u razdoblju svibanj – rujan sa prosječnom temperaturom zraka 21,9 °C. Najtopliji mjesec u 2022. godini bio je također srpanj sa prosječnom temperaturom od 24 °C. U vidu prosječnih temperatura za kritično razdoblje lipanj – kolovoz jasno je da je u 2022. godini to razdoblje bilo toplije za 0,7 °C u odnosu na 2021., a slično je promatranom razdoblju u sušnoj 2012. godini. U odnosu na višegodišnji prosjek u razdoblju lipanj – kolovoz prosječna temperatura zraka u 2021. godini je veća za 2 °C, a u 2022. godini čak za 2,5 °C.

Tablicom 4.2. prikazana je usporedba količine oborina tijekom vegetacije te tijekom kritična tri mjeseca za višegodišnji prosjek (1981. – 2020.), 2012. i 2017. godinu u kojima se javila suša, za 2014. godinu u kojoj je pala veća količina oborine u odnosu na prosjek, 2018. godinu koja je unutar prosjeka te promatrane 2021. i 2022. godinu. Višegodišnji prosjek oborine od svibnja do rujna za lokaciju Maksimir iznosi 438 mm. U 2021. i 2022. godini uočavamo znatni deficit oborine u kritičnom vegetacijskom razdoblju (lipanj – kolovoz) u odnosu na višegodišnji prosjek, ali i na do sada najsušniju 2012. godinu. U razdoblju svibanj – rujan 2021. godine palo je 34 % manje oborine u odnosu na prosjek, dok je u razdoblju lipanj – kolovoz ta razlika gotovo dvostruka. U razdoblju svibanj – rujan 2022. godine uočava se veća količina oborine u odnosu na prosjek, što je rezultat oborina koje su pale na kraju vegetacije – u drugoj i trećoj dekadi rujna te kao takve nisu imale utjecaj na agronomsku sušu. U tromjesečnom kritičnom razdoblju količina oborina je približno jednaka kao i u 2021. godini.

Tablica 4.1. Prosječne temperature zraka (°C) za vegetacijsko razdoblje soje od svibnja do rujna te za ključna tri mjeseca (od lipnja do kolovoza) za višegodišnji prosjek (1981. – 2020.), 2012., 2014., 2021. i 2022. godinu.

	1981.- 2020.	2012	2014	2021	2022
svibanj - rujan	19,9	22,1	19,6	21,7	21,9
lipanj - kolovoz	21,1	23,4	20,8	22,9	23,6

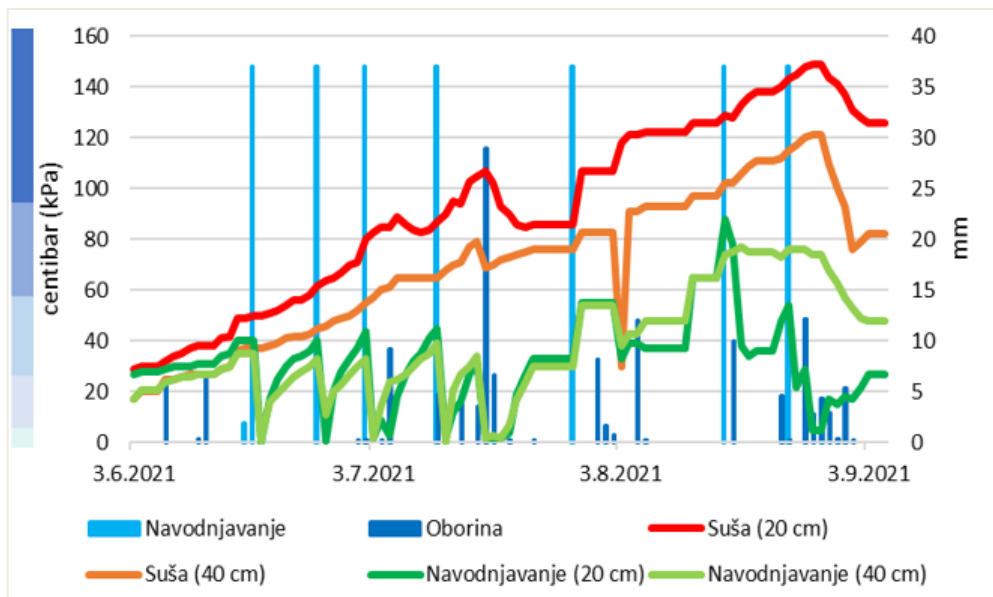
Tablica 4.2. Sume oborina (mm) za vegetacijsko razdoblje soje od svibnja do rujna te za kritična tri ljetna mjeseca (od lipnja do kolovoza) za višegodišnji prosjek (1981. - 2020.), 2012., 2014., 2017., 2018., 2021. i 2022. godinu.

	1981.- 2020.	2012.	2014.	2017.	2018.	2021.	2022.
svibanj - rujan	438,0	395,8	743,6	497,0	428,2	289,3	460,6
lipanj - kolovoz	262,7	194,0	420,0	202,4	294,7	137,7	143,6

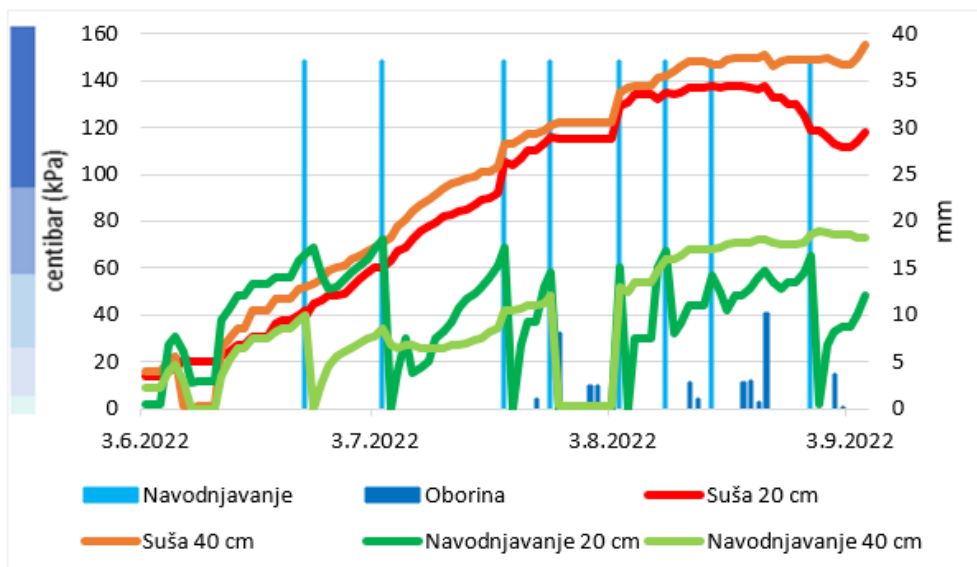


## 4.2. Vlaga tla

Grafikonima 4.5. i 4.6. prikazane su vrijednosti indirektno mjerene vlage tla na dubini 20 i 40 cm u navodnjavanom bloku i bloku inducirane suše u 2021. i 2022. godini. U sušnom bloku vidljivo je stanje rastućeg nedostatka vode u bloku inducirane suše u obje godine. S druge strane kretanje vlažnosti tla u navodnjavanom bloku ne prati linearni trend s obzirom na primjenu navodnjavanja uslijed izmjerene kritične vrijednosti vlage tla od 30 – 60 centibara nakon čega vlaga tla pada u zonu povoljne vlažnosti. U obje godine od kraja srpnja obroci navodnjavanja nisu uspjeli održati nivo zasićenosti tla vodom povoljnim što je vidljivo naglim porastom trend linija. Do porasta mjenenog tlaka unatoč provedenom navodnjavanju dolazi zbog evaporacije uslijed visokih temperatura te uslijed iskorištavanja vode iz tla od usjeva. Evidentno je da se vlažnost tla u navodnjavanom bloku znatno razlikuje od bloka u kojem se javlja suša. Na grafu 4.5. vlaga tla u bloku "suša" veća je na dubini 40 cm, u odnosu na 20 cm. Nasuprot tome u 2022. godini (grafu 4.6.) javlja se obrnuta situacija te je vlaga tla veća u površinskom sloju. Početkom kolovoza 2021. godine uočljivo je naglo povećanje vlage tla koje je posljedica stvaranja pukotina u tlu uslijed suše.



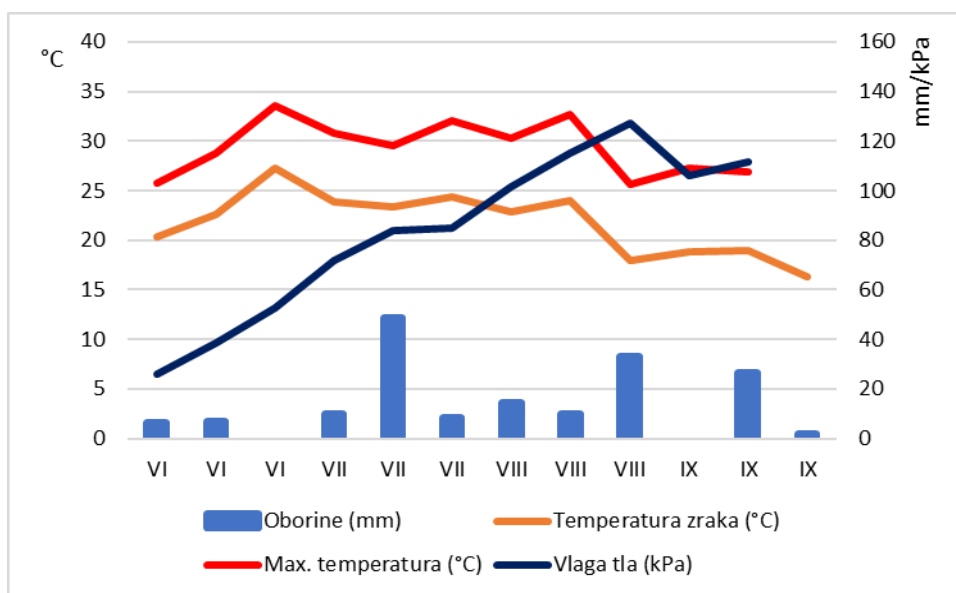
Graf 4.5. Vлага tla izražena u centibarima (kPa) izmjerena na dubinama od 20 i 40 cm uz termine navodnjavanja (mm) i oborina (mm). Maksimir, 2021.



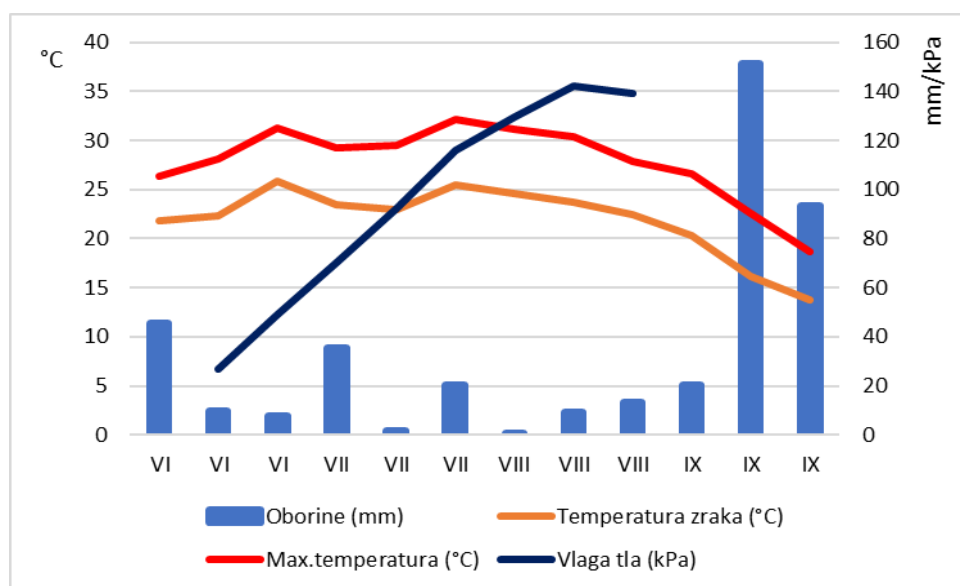
Graf 4.6. Vлага tla izražena u centibarima (kPa) izmjerena na dubinama od 20 i 40 cm uz termine navodnjavanja (mm) i oborina (mm). Maksimir, 2022.

### 4.3. Usporedba meteoroloških prilika u 2021. i 2022. godini

Grafovi 4.7. i 4.8. prikazuju kretanje dekadnih prosječnih i dekadnih maksimalnih temperatura te kretanje dekadne vlage tla i dekadne oborine u razdoblju lipanj – rujan. Vrijednosti maksimalnih i prosječnih dekadnih temperatura zraka u 2022. godini su veće u odnosu na 2021. godinu. Također vlaga tla u 2022. godini poprima veće vrijednosti, dok su male količine oborine češće.



Graf 4.7. Prosječna dekadna temperatura zraka (°C), prosječna maksimalna dekadna temperatura zraka (°C), prosječna dekadna vlaga tla na dvije dubine (cb=kPa) te dekadna količina oborine (mm) u razdoblju lipanj – rujan 2021. godine.



Graf 4.8. Prosječna dekadna temperatura zraka (°C), prosječna maksimalna dekadna temperatura zraka (°C), prosječna dekadna vlaga tla na dvije dubine (cb=kPa) te dekadna količina oborine (mm) u razdoblju lipanj – rujan 2022. godine.

## 4.4. Agronomska svojstva

### 4.4.1. Dimenzije lista

Tijekom vegetacije uočene su fenotipske razlike između genotipova uslijed provedenih različitih tretmana. U tablici 4.3. prikazane su vrijednosti mjerenja veličine listova iskazane kao razlike u duljini i širini liski listova navodnjavanog i sušnog bloka. Tablica prikazuje mjerenja 12.7.2021. godine iz kojih je uočljivo kako je kod genotipova 'DH 5170', 'Pedro' i 'Maksimirka' razlika u veličini listova između tretmana bila manja, dok je razlika kod genotipova 'Zagorka', 'Toma' i 'Sara' bila veća. Također su prikazana i mjerenja izvršena 22.7.2022. godine. Za razliku od 2021. godine u 2022. godini razlike u veličini listova su manje, a do najvećih razlika dolazi kod 'Maksimirke' i 'Sare'. Prema očekivanjima kultivari 'Pedro' i 'DH 5170' u obje godine pokazale su male razlike u veličini lista, a kultivar 'Sara' veliku razliku. Preostali genotipovi nisu bili konzistentni kroz godine.

Tablica 4.3. Zbroj prosječnih odstupanja u duljini i širini (cm) lijeve, centralne i desne liske biljaka iz navodnjavanog bloka u odnosu na sušni blok u 2021. i 2022. godini. Vrijednosti iskazuju smanjenje odnosno povećanje (prikazano negativnim predznakom) dimenzija listova u sušnom bloku u odnosu na navodnjavani.

šifra	kultivar	2021.		2022.	
		duljina	širina	duljina	širina
1	DH5170	2,41	2,26	-0,1	0,1
2	Pedro	1,72	0,88	0,4	0,7
3	Maksimirka	2,17	1,37	4,5	3,0
4	Zagorka	4,27	2,96	1,8	1,1
5	Toma	4,27	3,87	0,6	0,8
6	Sara	4,27	4,0	4,0	2,9

### 4.4.2. Analiza varijance za agronomska svojstva i svojstva kvalitete

U tablici 4.4. prikazani su rezultati analize varijance za osam agronomskih svojstava. Godina kao izvor varijabilnosti je bila signifikantna za visinu biljke, broj grana, broj mahuna, MTZ, broj zrna po biljci i masu zrna po biljci. Genotip je bio signifikantan za broj etaža i broj mahuna. Najznačajniji čimbenik je bio tretman koji je imao signifikantan učinak na sva svojstva osim na broj grana. Interakcija genotip x godina nije bila signifikantna niti za jedno svojstvo. Interakcija godina x tretman je bila signifikantna za visinu biljke, broj etaža, broj mahuna, broj

zrna po mahuni, broj zrna po biljci i masu zrna po biljci. Interakcija genotip x tretman je bila značajna za broj zrna po mahuni, broj zrna po biljci i masu zrna po biljci. Trostruka interakcija genotipa x tretman x godina bila je značajna samo za broj mahuna.

Tablica 4.4. Rezultati analize varijance za agronomska svojstva.

Izvor varijabilnosti	Df	Visina biljke	Broj grana	Broj etaža	MTZ	Broj mahuna/biljci	Broj zrna/mahuni	Broj zrna/biljci	Masa zrna/biljci
Godina	1	**	**	ns	**	**	ns	**	**
Genotip	4	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	ns
Tretman	1	**	ns	**	**	**	**	**	**
Genotip x Godina	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Godina x Tretman	1	*	ns	**	ns	*	**	**	**
Genotip x Tretman	4	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*
Genotip x Tretman x Godina	4	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns

ns – nije značajno, \* - značajno s pogreškom  $P \leq 0,05$ , \*\* - značajno s pogreškom  $P \leq 0,01$

Iz tablice 4.5. vidljiv je značajan učinak godine na sadržaj proteina, dok je genotip imao značajan učinak i na sadržaj proteina i na sadržaj ulja. Tretman je imao značajan učinak na sadržaj ulja. Interakcija genotip x godina bila je značajna za sadržaj proteina, interakcija godina x tretman za oba promatrana svojstva, a genotip x tretman samo za sadržaj proteina.

Tablica 4.5. Rezultati analize varijance za svojstva kvalitete.

Izvor varijabilnosti	Df	Proteini	Ulja
Godina	1	**	ns
Genotip	4	**	**
Tretman	1	ns	**
Genotip x Godina	4	**	ns
Godina x Tretman	1	**	**
Genotip x Tretman	4	*	ns
Genotip x Tretman x Godina	4	ns	ns

ns – nije značajno, \* - značajno s pogreškom  $\leq 0,05$ , \*\* - značajno s pogreškom  $\leq 0,01$

#### 4.4.3. Komponente prinosa i kvalitete zrna

Genotip 'Pedro' isključen je iz statističke analize zbog loše klijavosti te postizanja lošeg sklopa u prvoj godini ispitivanja. U tablici 4.6. prikazane su prosječne vrijednosti promatranih agronomskih svojstava za dvije godine. Visina biljke u navodnjavanom bloku u 2021. godini u

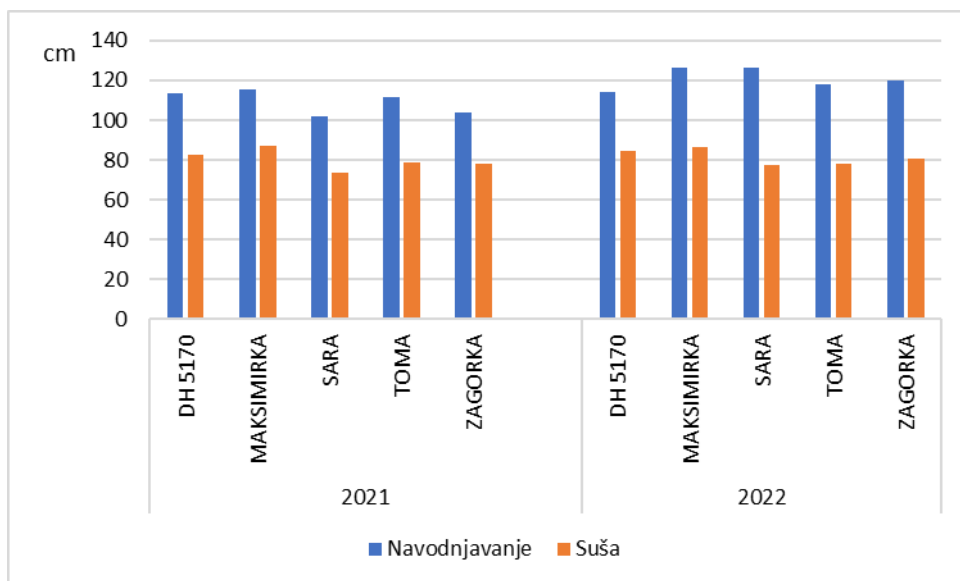
prosjeku je iznosila 109,3 cm, dok je u sušnom bloku u prosjeku iznosila 80,2 cm. U 2022. godini u navodnjavanom bloku prosječna visina biljke iznosila je 120,9 cm, a u sušnom 81,5 cm. Razlike u broju grana između tretmana (N vs. S) su neznatne, dok su razlike između godina za oba tretmana znatne. U 2022. godini ispitivanja broj grana je svojstvo koje postiže znatno lošije vrijednosti u odnosu na 2021. godinu. Broj plodnih etaža je manji u navodnjavanom bloku u obje godine, a vrijednosti među godinama su slične. Masa tisuću zrna (MTZ) u 2021. godini je manja nego u 2022., s nižim vrijednostima u suši u obje godine. U 2021. godini biljka u prosjeku sadrži 84,2 mahuna u navodnjavanju, a u sušnim uvjetima 60,7. U 2022. godini broj mahuna po biljci je nešto manji te iznosi 56,5 u navodnjavanju te 31,1 u suši. Ukoliko se sagledaju vrijednosti broja zrna po mahuni u 2021. godini dobivene su veće vrijednosti u sušnom bloku. Broj zrna po biljci u 2021. godini u navodnjavanom bloku iznosi 97,8, au sušnom 85,9, dok u 2022. godini u sušnim uvjetima znatno podbacuje te se vrijednost spušta na 27,3 zrna po biljci u odnosu na navodnjavani blok sa 90,6 zrna/biljci. U 2022. godini broj zrna po mahuni te masa zrna po biljci odgovaraju očekivanjima te su smanjena u sušnim uvjetima.

Tablica 4.6. Prosječne vrijednosti promatranih sastavnica prinosa svih genotipova u tretmanu navodnjavanja i suše u 2021. i 2022. godini.

	tretman	visina biljke (cm)	broj grana	broj plodnih etaža	MTZ (g)
2021	N	109,3	2,4	15,2	191,5
	S	80,2	2,2	12,0	170,6
2022	N	120,9	0,5	16,0	216,2
	S	81,5	0,5	10,2	179,0

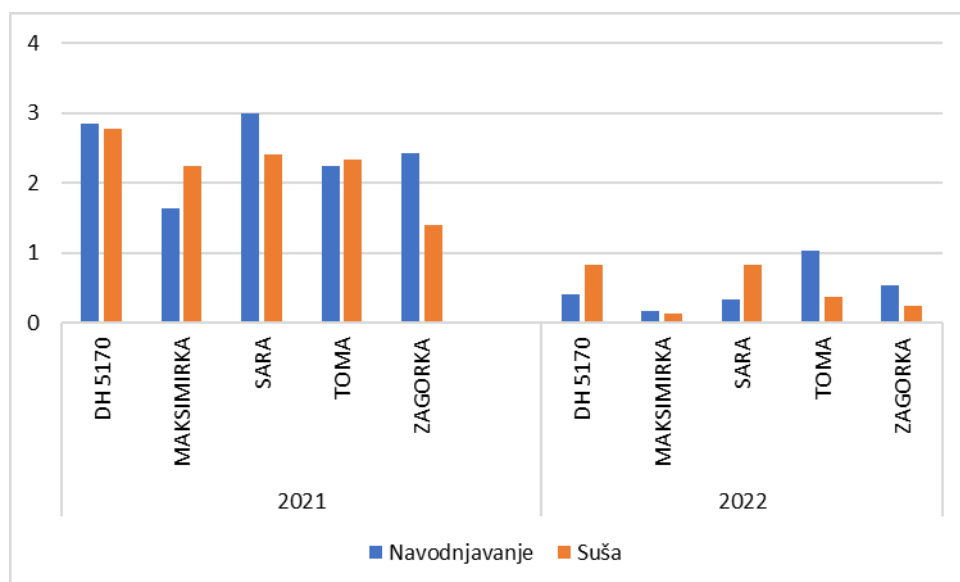
	tretman	broj mahuna/ biljci	broj zrna/mahuni	Broj zrna/biljci	Masa zrna/biljci (g)
2021	N	84,2	1,2	97,8	20,1
	S	60,7	1,4	85,9	15,0
2022	N	56,5	1,6	90,6	19,6
	S	31,1	0,8	27,3	4,8

Prosjek visine biljaka u obje godine u navodnjavanom bloku iznosi 115,1 cm, dok je u sušnom bloku 80,7 cm (Graf 4.9.). Prosječna visina biljke u 2021. godini u sušnom bloku je manja 27 % u odnosu na prosječnu visinu u navodnjavanom bloku, dok je u 2022. godini manja za 33 %. Iz grafa je vidljivo da se kultivari međusobno nisu značajno razlikovali u ovom svojstvu, kako u sušnim, tako i u uvjetima navodnjavanja.



Graf 4.9. Prosjek genotipova za svojstvo visine biljke (cm) u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u 2021. i 2022. godini.

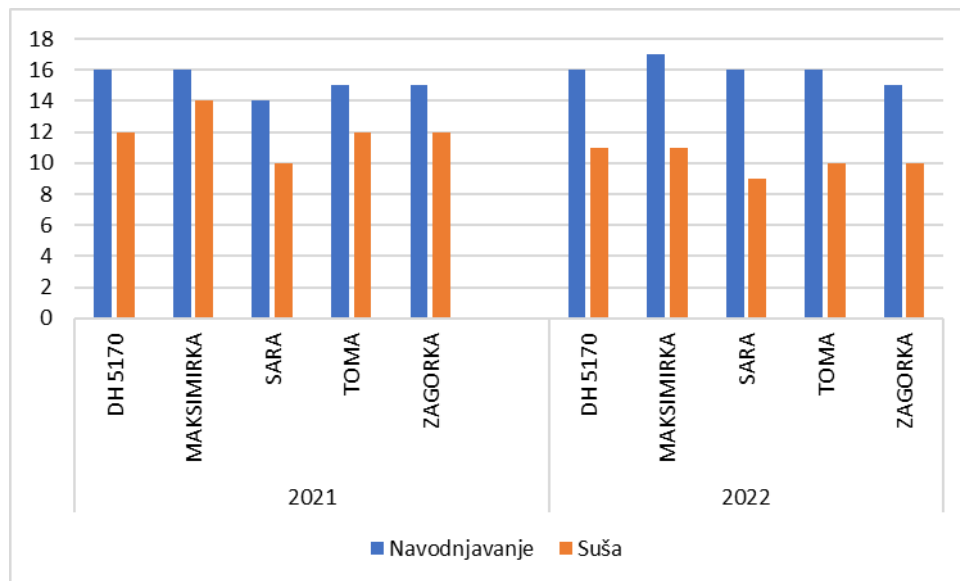
U 2021. godini broj grana kod svih genotipova je bio značajno veći nego u 2022. godini (Graf 4.10.). Tretman navodnjavanja unutar pojedine godine nije značajno utjecao na ovo svojstvo, a isto tako ni genotip (tablica 4.4.). Za razliku od 2021. gdje je ostvareni sklop bio 75 % od planiranog, u 2022. sklop je bio potpun.



Graf 4.10. Prosjek genotipova za svojstvo broj grana u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Broj etaža je veći u navodnjavanom bloku kod svih genotipova u obje godine (graf 4.11.). U 2022. godini pod utjecajem suše došlo je do većeg smanjenja u broju etaža u odnosu na 2021. U 2021. godini najmanje podbacivanje u broju etaža u odnosu na sušu imao je genotip

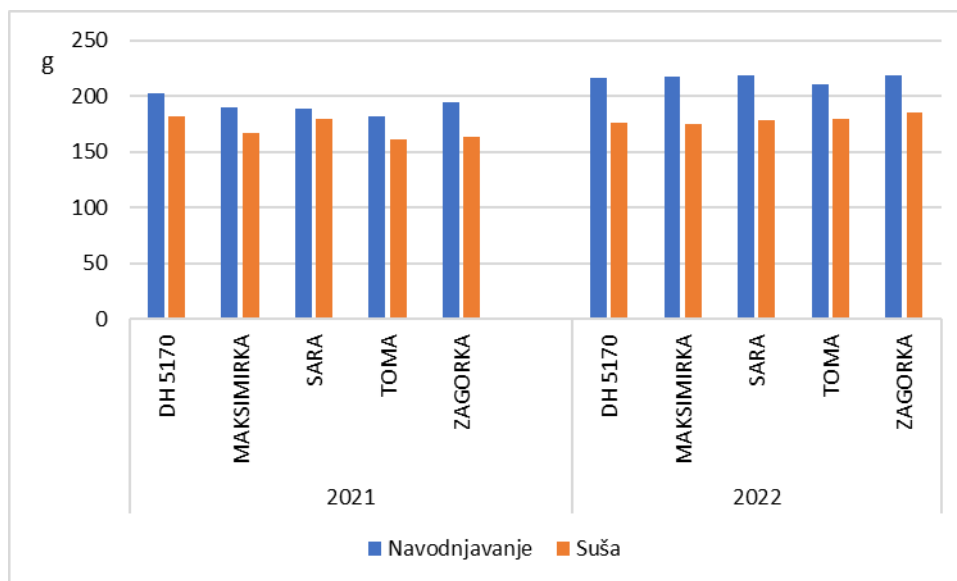
'Maksimirka' (smanjenje od 13 %), a u 2022. godini genotip 'DH 5170' (smanjenje od 31 %). U obje godine najveću osjetljivost na sušu glede broja plodnih etaža imao je genotip 'Sara'.



Graf 4.11. Prosjek genotipova za svojstvo broj plodnih etaža u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Razlike između godina i genotipova te tretmana za svojstvo masa tisuću zrna (MTZ) prikazane su grafikonom 4.12. U 2022. godini je MTZ bila nešto veća u navodnjavanom bloku u odnosu na 2021. godinu. Smanjenje MTZ u sušnom bloku u 2021. godini je u prosjeku 11 %, a u 2022. godini 17 %. 'Sara' je pokazala najmanje podbacivanje u 2021. godini i to od samo 5%, dok u 2022. godini najmanje podbacivanje od 15 % imaju 'Toma' i 'Zagorka'.





Graf 4.12. Prosjek genotipova za svojstvo masa tisuću zrna (MTZ) u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Za svojstva koja predstavljaju najvažnije komponente prinosa u tablici 4.7. prikazane su srednje vrijednosti ispitivanih genotipova za obje varijante tretmana (N i S), kao i LSD vrijednosti koje određuju statističku značajnost tih razlika. Prikazano je u postotku i smanjenje uslijed suše. Iz Tablice 4.7. je vidljivo da je tretman navodnjavanja značajno mijenjao vrijednost većine svojstva kod većine kultivarā, iako ima izuzetaka. Značajnost tih razlika među kultivarima moguće je provjeriti usporedbom sa LSD vrijednošću za pojedino svojstvo (tablica 4.7.).

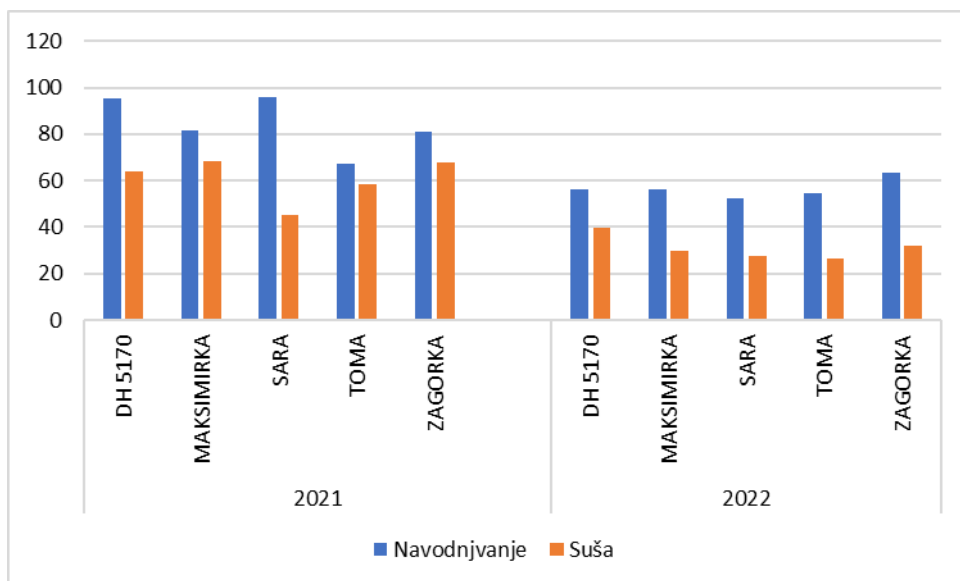
Tablica 4.7. Značajnost razlika između tretmana za 5 genotipova soje (LSD test) za najvažnije komponente prinosa.

br. mahuna/biljci	DH 5170	MAKSIMIRKA	SARA	TOMA	ZAGORKA	Prosjek	LSD (0,05)
N	69,0	69,0	74,0	61,0	72,0	<b>70,0</b>	<b>9,03</b>
S	49,0	49,0	36,0	42,0	50,0	<b>46,0</b>	<b>9,03</b>
Podbacivanje u suši (%)	29,0 *	29,0 *	51,0 *	30,0 *	31,0 *	<b>35,0</b> *	
br. zrna/mahuni	DH 5170	MAKSIMIRKA	SARA	TOMA	ZAGORKA	Prosjek	LSD (0,05)
N	1,20	1,56	1,53	1,24	1,35	<b>1,38</b>	<b>0,24</b>
S	1,05	1,13	0,98	1,18	1,24	<b>1,12</b>	<b>0,24</b>
Podbacivanje u suši (%)	13,0 ns	27,0 *	36,0 *	5,0 ns	8,0 ns	<b>19</b> *	

br. zrna/biljci	DH 5170	MAKSIMIRKA	SARA	TOMA	ZAGORKA	Prosjek	LSD (0,05)
N	84	106	109	75	97	<b>94</b>	<b>21,0</b>
S	58	62	39	55	66	<b>56</b>	<b>21,0</b>
Podbacivanje u suši (%)	31*	41*	64*	26 ns	31*	<b>40*</b>	
Masa zrna/biljci (g)	DH 5170	MAKSIMIRKA	SARA	TOMA	ZAGORKA	Prosjek	LSD (0,05)
N	18	22,34	22,45	15,38	20,62	<b>19,84</b>	<b>3,38</b>
S	11	10,64	7,36	9,34	11,46	<b>9,91</b>	<b>3,38</b>
Podbacivanje u suši (%)	42*	52*	67*	39*	44*	<b>50*</b>	

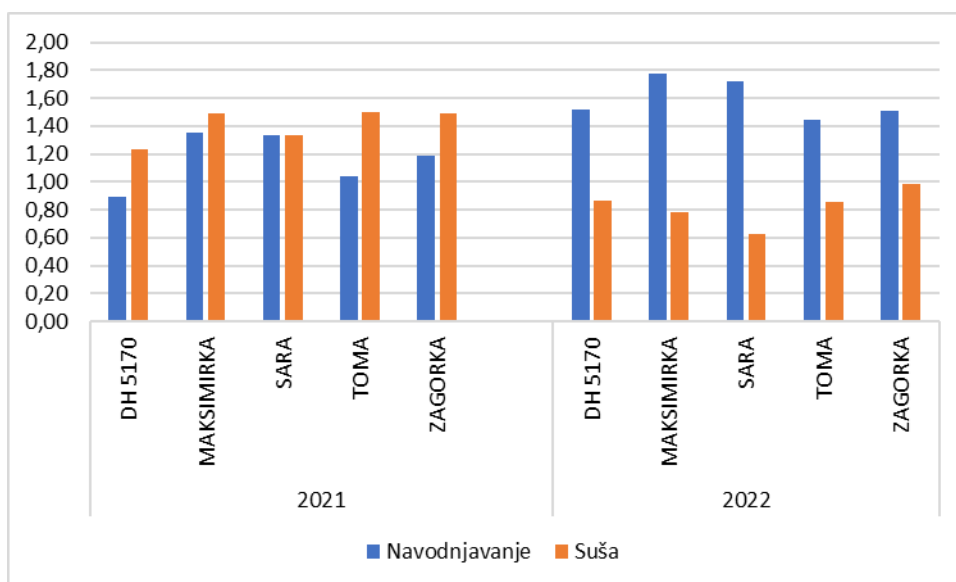
Za svojstvo broj mahuna po biljci postoji značajna razlika u uvjetima navodnjavanja između 'Sare' i 'Zagorke' koje imaju najveću vrijednost i 'Tome' sa najmanjom. U uvjetima suše značajne razlike su između genotipa 'Sara' s najmanjom vrijednosti i genotipova 'DH 5170', 'Maksimirka' i 'Toma'. Najveću vrijednost u uvjetima suše ima 'Zagorka' s visokom vrijednosti i u uvjetima navodnjavanja te malim prosječnim postotkom smanjenja. Do najvećeg smanjenja broja mahuna po biljci uslijed suše došlo je kod genotipa 'Sara', a najmanjeg kod 'DH 5170' i 'Maksimirke'. Najveći broj zrna po mahuni u uvjetima navodnjavanja ima 'Maksimirka', a u suši 'Zagorka' sa malim relativnim smanjenjem. Najmanje smanjenje je kod 'Tome'. Izdvaja se 'Zagorka' s visokom vrijednosti u oba tretmana te relativno malim smanjenjem uslijed suše. Najveći broj zrna po biljci u uvjetima navodnjavanja, a ujedno najmanji u uvjetima suše ima 'Sara', s najvećim relativnim smanjenjem uslijed suše. Najmanje smanjenje uslijed suše imaju 'DH 5170' i 'Zagorka', od kojih 'Zagorka' ima više vrijednosti. Najveća masa zrna po biljci u uvjetima navodnjavanja, a najmanja u uvjetima suše javlja se kod 'Sare'. Najveću vrijednost u suši ima 'Zagorka' s visokom vrijednošću i u navodnjavanju te prosječnim smanjenjem uslijed suše. Ovo je svojstvo kod kojeg je došlo do najvećeg relativnog smanjenja vrijednosti uslijed tretmana suše. Najveće podbacivanje na temelju svih svojstava imala je 'Sara', nakon koje slijedi 'Maksimirka'. 'DH 5170' i 'Zagorka' su sa relativno malim ukupnim podbacivanjem, dok je 'Toma' imao najmanje podbacivanje uslijed suše.

U nastavku su grafički prikazane prosječne vrijednosti ispitivanih kultivara odvojeno po godinama. Kao što je vidljivo na grafikonu 4.13. u 2022. godini u oba tretmana je zabilježen manji broj mahuna po biljci u odnosu na 2021. godinu. Prosjek svih genotipova u navodnjavanom bloku u 2021. godini ima 33% veće vrijednosti u odnosu na prosjek u 2022. godini, dok u sušnom bloku ta vrijednost iznosi 49 %. U 2021. godini broj mahuna po biljci je uslijed suše smanjen za 28 %, a u 2022. godini za 24 %. Zanimljivo je da u 2021. godini genotip 'Toma' ima najmanje smanjenje broja mahuna uslijed suše od 13 % u odnosu na navodnjavani blok, a u 2022. godini ima najveće smanjenje od 52 %. Slična je situacija i kod ostalih genotipova. 'Sara' je jedini genotip koji u obje godine ima slično smanjenje uslijed suše (53 % u 2021., 47 % u 2022. godini).



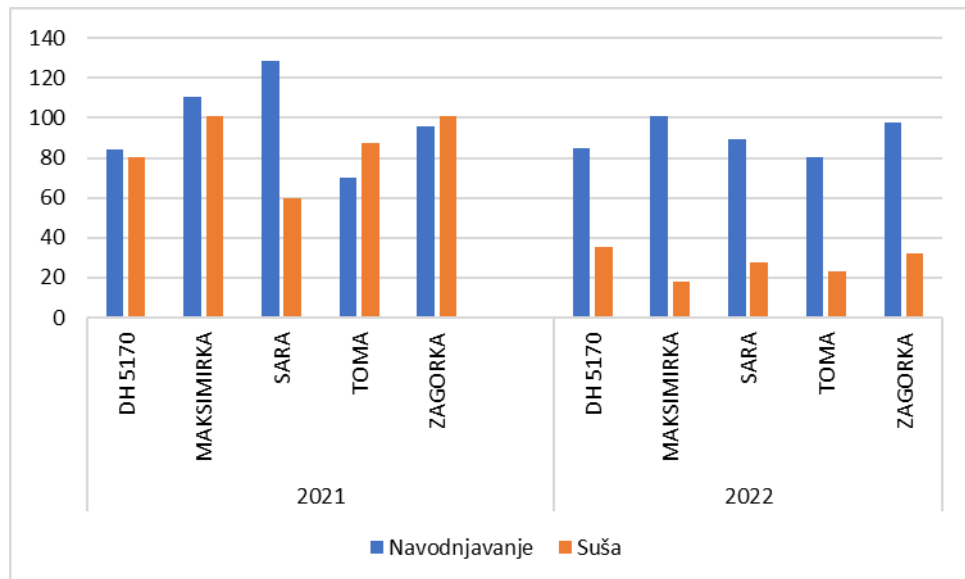
Graf 4.13. Prosjek genotipova za svojstvo broj mahuna po biljci u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

U 2021. godini kod svih genotipova je veći ili jednak broj zrna po mahuni u uvjetima suše u odnosu na navodnjavanje, dok su u 2022. godini zabilježene znatno niže vrijednosti u suši kod svih genotipova. U 2022. godini utvrđeno je veće smanjenje vrijednosti broja zrna po mahuni uslijed suše u odnosu na 2021. za 44 % (grafikon 4.14.). Razlike između genotipova u ovom smanjenju nisu značajne.



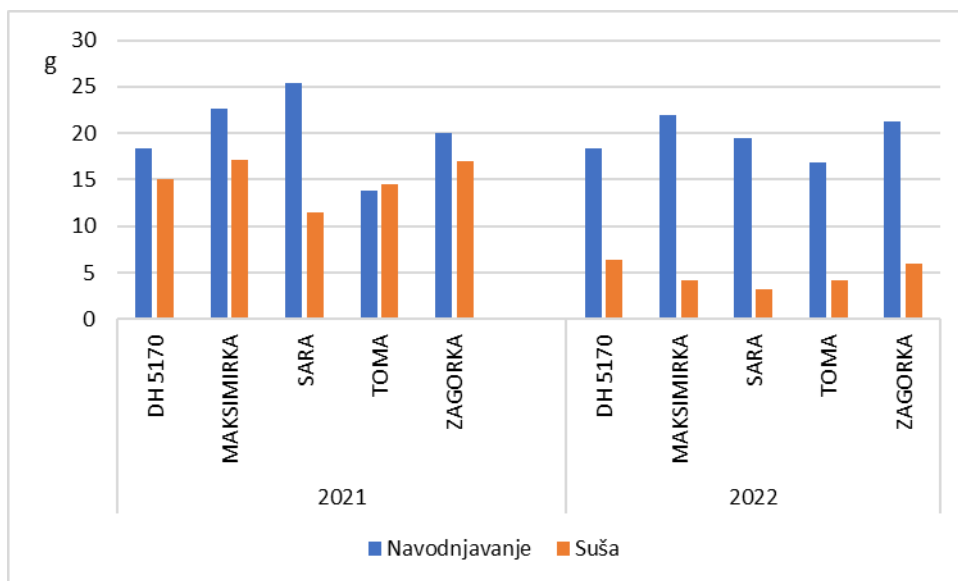
Graf 4.14. Prosjek genotipova za svojstvo broj zrna po mahuni u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Grafikon 4.15. prikazuje prosječne vrijednosti genotipova za broj zrna po biljci. Iz grafikona je vidljiv snažniji utjecaj suše na smanjenje broja zrna po biljci u 2022. godini. U uvjetima navodnjavanja broj zrna po biljci u pravilu pokazuje veće vrijednosti, osim kod genotipova 'Toma' i 'Zagorka' u 2021. godini gdje je došlo do povećanja broja zrna po biljci uslijed suše. Također u 2021. godini u kod svih ostalih genotipova zabilježene manje razlike između tretmana u odnosu na razlike u 2022. godini.



Graf 4.15. Prosjek genotipova za svojstvo broj zrna po biljci u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Masa zrna po biljci u 2022. godini je u sušnom bloku u odnosu na navodnjavani blok bila manja za 76 %, ali isto tako i u odnosu na sušni blok iz 2021. (za 68 %) (grafikon 4.16.). Prosjek svih genotipova u navodnjavanom bloku je u obje godine približno sličan. U 2021. godini genotip 'Toma' je imao za 5 % veću masu zrna po biljci u sušnom bloku, dok su svi ostali genotipovi imali smanjenje od 15 -55 %. U 2022. godini smanjenje mase zrna po biljci u suši kreće se od 65 – 84 %. U obje godine izdvaja se genotip 'Sara' kao najosjetljiviji s najdrastičnijim razlikama između suše i navodnjavanja.

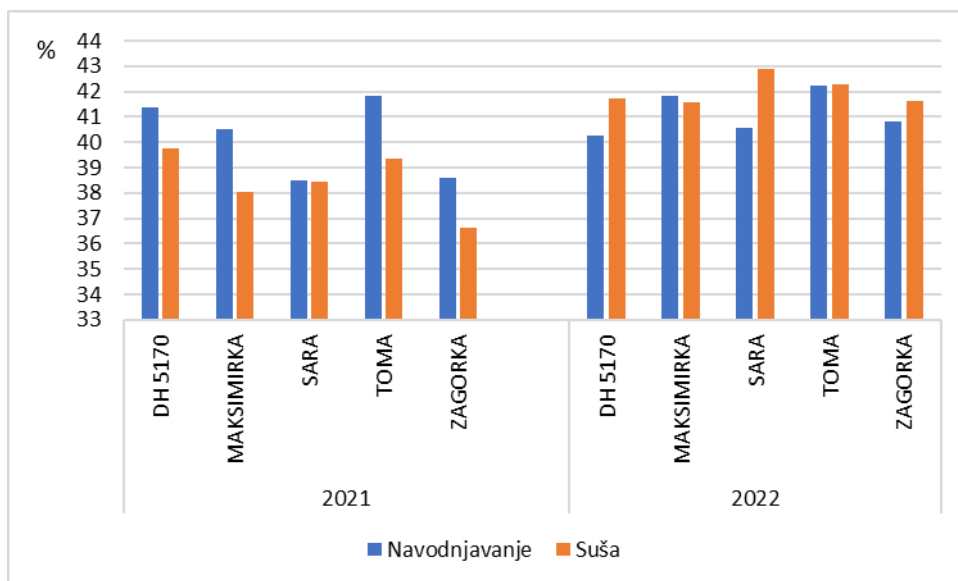


Graf 4.16. Prosjek genotipova za svojstvo masa zrna po biljci u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Tablica 4.8. Prosječne vrijednosti sadržaja proteina i ulja u znu svih genotipova u tretmanu navodnjavanja i suše u 2021. i 2022. godini.

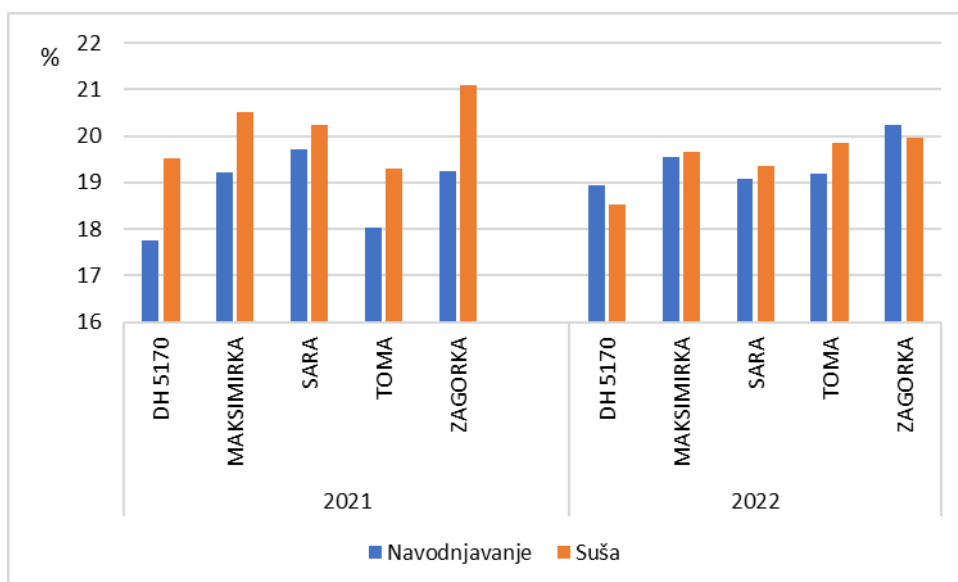
godina	tretman	Proteini (%)	Ulja (%)
2021	N	40,2	18,8
	S	38,4	20,1
2022	N	41,4	19,4
	S	42,0	19,5

U 2021. godini prosječno je smanjen sadržaj proteina u znu u sušnom bloku u odnosu na navodnjavani blok. Nasuprot tome u 2022. godini je sadržaj proteina u sušnom bloku prosječno povećan (tablica 4.8.). Genotip 'Sara' je u 2021. godini pokazao najveću stabilnost sa istim prosječnim sadržajem proteina u oba tretmana. Nasuprot tome u 2022. godini 'Sara' je imala najveće povećanje udjela proteina u sušnom bloku. 'Maksimirka' je u obje promatrane godine imala najveće smanjenje sadržaja proteina uslijed suše (graf 4.17.).



Graf 4.17. Prosjek genotipova za sadržaj proteina u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u 2021. i 2022. godini.

Sadržaj ulja je u 2021. godini kod svih genotipova bio veći u sušnom bloku u odnosu na navodnjavani, dok su u 2022. godini pojedini genotipovi reagirali na sušu pozitivno, a neki negativno (grafikon 4.18.). Genotipovi 'DH 5170' i 'Zagorka' su u 2021. godini imali najveće povećanje udjela ulja u zrnu, dok su u 2022. godini jedini pokazali smanjenje udjela ulja u suši.



Graf 4.18. Prosjek genotipova za sadržaj ulja u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u 2021. i 2022. godini.

## 5. Rasprava

Analizirajući vremenske pokazatelje vegetacijskog razdoblja 2021. i 2022. godine, primjetno je da su obje godine bile nepovoljne za profitabilan uzgoj soje. Obje godine karakterizirao je nedostatak oborina – osobito tijekom tri kritična mjeseca (lipanj, srpanj i kolovoz) u kombinaciji sa visokim (iznadprosječnim) temperaturama, a što ima iznimno nepovoljan utjecaj na rast i razvoj soje. Nedostatak vode bio je jako izražen u fenofazama usjeva soje kada je biljka najosjetljivija na sušu - puna cvatnja, formiranje mahuna i početak intenzivnog nalijevanja zrna. S obzirom da se pri određenim vremenskim ekstremnim uvjetima fiziološki procesi u biljci ne mogu normalno odvijati dolazi do smanjenja vrijednosti glavnih svojstava koja određuju prinos i kvalitetu zrna.

Temperatura zraka se nije znatno razlikovala između dvije sezone usjeva (svibanj - rujan) 2021. i 2022. Nije bilo ni značajne razlike u količini oborina, ali su one imale različitu distribuciju tijekom sezone. Međutim, obje godine su u tri kritična mjeseca imale značajno manje oborina u odnosu na višegodišnji prosjek (2021. 48%, a 2022. 45%) i mogu se smatrati rekordno sušnim u zadnjih 30 godina. U istom razdoblju 2021. i 2022. imale su za 2 °C višu prosječnu temperaturu zraka u odnosu na 30-godišnji prosjek.

Tijekom rane faze vegetacije od sjetve do rasta biljke (početak svibnja – kraj svibnja), količina oborina dosegla je 122,8 mm u 2021. naspram 52,5 mm u 2022. godini. Tijekom vegetativne faze, količina oborina dosegla je 13,1 mm u 2021. naspram 68,0 mm u 2022. što je uglavnom zbog jedne jake kiše u 2022., s 30,1 mm oborina. Tijekom faze cvatnje, biljke su primile u 2021. godini 67,0 mm oborina, a u 2022. godini nešto manje 57,7 mm. Količina oborina koja se poklapa s početkom formiranja mahuna i traje do pune zrelosti u 2021. godini iznosila je 57,6 mm. Nasuprot tome u 2022. godini je u tom razdoblju pala znatno manja količina oborine od 22,9 mm. U 2021. godini je najsušniji period bio u lipnju, a u 2022. godini u kolovozu.

Vlaga tla razlikovala se među tretmanima te među godinama. Vlaga tla se uslijed tretmana navodnjavanja spuštala u interval optimalne vlažnosti tla za uzgoj soje. U prvoj godini pokusa na dubini od 40 cm prosječna vlažnost tla (lipanj – rujan) iznosila je 33,5 kPa, dok je na dubini od 20 cm tlo bilo vlažnije te je vlažnost iznosila u prosjeku 27,8 kPa. U sušnom bloku ta vrijednost je bila znatno veća što je označavalo da se biljke nalaze u stresu suše. U sušnom bloku dublji sloj je bio vlažniji što je bilo očekivano s obzirom na zadržavanje vlage u dubljim slojevima tala uslijed bržeg iskorištavanja površinskih voda od strane biljke. Na 40 cm vlažnost tla iznosila je prosječno 61,3 kPa, a na 20 cm 81,8 kPa. U drugoj godini pokusa vrijednosti vlažnosti navodnjavane parcele na dvije dubine u prosjeku su bile slične. Na dubini od 40 cm izmjerena vlažnost tla je iznosila prosječno 37 kPa, a na 20 cm 38,2 kPa. U sušnom bloku je nasuprot rezultata dobivenih u 2021. godini došlo do obrata te se u dubljem sloju tla javila intenzivnije suša nego u plićem. Na dubini od 40 cm prosječna izmjerena vlažnost tla bila je 94,7 kPa, a na dubini od 20 cm 85,4 kPa. U sušnom bloku u obje godine dolazi do eksponencijalnog rasta vrijednosti vlažnosti tla na obje dubine. Iz ovoga je razvidno da je s

eksperimentalne strane zadovoljen uvjet primijenjenog tretmana i da u bloku N (navodnjavanje) uzgajani genotipovi soje nisu trpili od nedostatka vode u tlu.

Unatoč sličnim temperaturama zraka i duljini trajanja toplinskih valova u ove dvije godine, praćenje ritma porasta tlaka, tj. smanjenja vlažnosti tla u dvije godine istraživanja ukazuje da je u 2022. godini tlo brže gubilo vlagu i doseglo znatno više vrijednosti tlaka u odnosu na 2021. Ovim istraživanjem nisu praćeni meteorološki pokazatelji za druge dijelove godine pa nije moguće utvrditi da li su bile različite zalihe vode u tlu, tj. da li je suša iz 2021. imala određeni produženi učinak i na sezonu 2022. Međutim, ranije spomenuti veliki deficit oborina u kolovozu 2022., a što se podudara s vremenom formiranja i nalijevanja zrna i znatno nižom vlagom tla u tom razdoblju, uz to i u uvjetima visokih temperatura, čini ovu godinu nepovoljnijom za rast i razvoj soje u odnosu na 2021. proizvodnu godinu.

Rezultati analize varijance pokazuju da za većinu ispitivanih agronomskih svojstava postoje visoko signifikantne razlike između tretmana i između godina, dok za brojna svojstva nije bilo značajne razlike između genotipova. Nasuprot tome svojstva kvalitete pokazuju postojanje značajnih razlika među genotipovima.

U našem istraživanju kod svih genotipova je došlo do smanjenja visine biljke uslijed sušnih uvjeta. Iako su pojedini kultivari pokazivali različita smanjenja te razlike nisu bile statistički značajne. Lu i sur. (2017) zaključuju da je visina biljaka važno agronomsko svojstvo koje utječe na urod i kakvoću usjeva te da postoji velika varijacija u visini biljaka genotipova soje. Gajić i sur. (2018) navode kako blagi stres od suše, tijekom vegetativnih faza, može smanjiti rast soje (visina biljke) i prinos zrna, ali ako stres prestane u ovoj fazi, soja bi mogla kompenzirati nedostatak vode. Sa sve dužim razdobljem nedostatka vode povećavaju se i štete u usjevu jer biljke zaostaju u rastu - imaju manju veličinu lisne površine, a time će na kraju i njihov prirod biti smanjen. U istraživanju koje su proveli Mishra i sur. (2021.) očito je da genotip(ovi) niskog rasta pokazuju veću tolerantnost na sušu u usporedbi s genotipovima višeg rasta.

Prema Wirnas i sur. (2006), broj grana je jedno od agronomskih svojstava soje koje ima pozitivnu i visoko značajnu korelaciju s prinosom zrna po biljci. U ovom istraživanju broj grana značajno je ovisio o godini, na način da je u 2022. godini broj grana bio značajno manji nego u 2021. godini. Interesantno, ni genotip, pa čak ni tretman navodnjavanjem nisu značajno utjecali na ovo svojstvo. U istraživanju koje su proveli Kuswantoro i sur. (2014) prosječan broj grana po biljci bio je 2,7 s rasponom od 1,6 do 4,2. Prosječan broj grana u našem ispitivanju u 2021. godini približan je prosjeku Kuswantoro i sur. (2014), dok je u 2022. godini taj prosjek znatno niži. Razlog tome može biti manje oborina tijekom kraja travnja i u svibnju 2022. godine koje bi pogodovale razvoju biljke. Isto tako i potpuno ostvarenom sklopu (razmaku biljaka u redu) u odnosu na 2021., a poznato je da soja u slučaju praznih mjesta isto kompenzira pojačanim grananjem.

Broj etaža po biljci bio je u prosjeku 15,6 u navodnjavanom bloku i time značajno veći od 11,1 etaža u sušnom bloku. U 2021. godini 'DH 5170' ima najmanje podbacivanje uslijed suše, ali ne i najveću vrijednost broja plodnih etaža uslijed suše. Kultivar 'Maksimirka' se izdvaja po najvećem broju etaža u obje godine, kako u navodnjavanom tako i u sušnom bloku. U 2022.

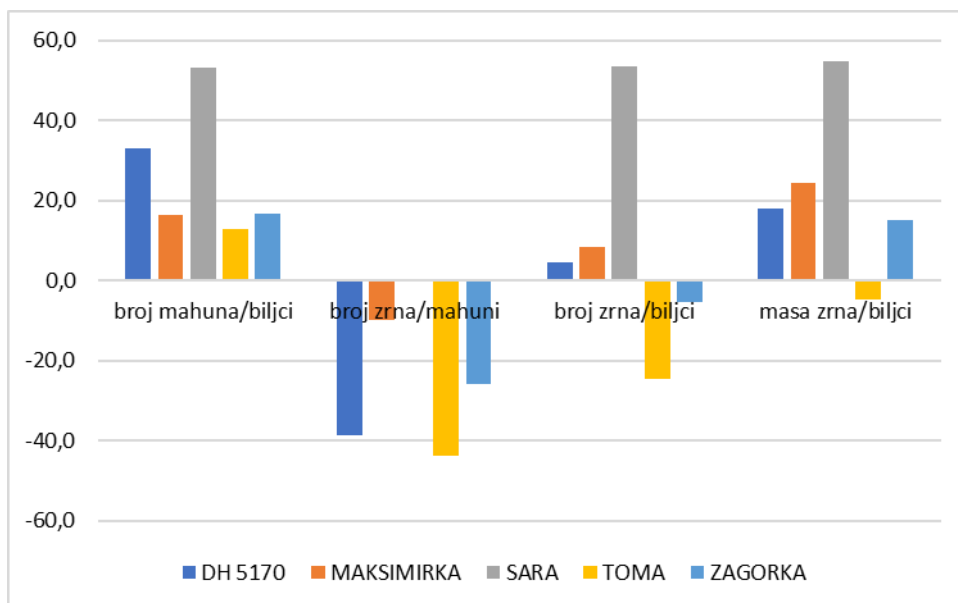


godini 'Maksimirka' ima najmanje podbacivanje uslijed suše, a podbacivanje 'Maksimirke' u 2021. je nešto veće, no i dalje je broj etaža jednak kao i kod 'DH 5170' koja je imala najmanje smanjenje broja plodnih etaža.

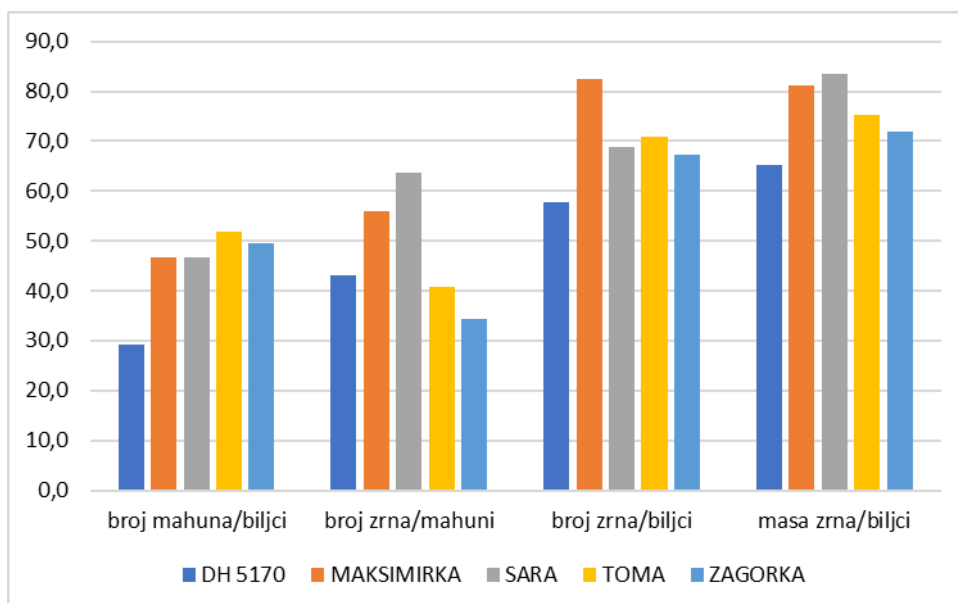
Prema Sepanlo i sur. (2014) izlaganje biljaka soje suši u fazi punjenja mahuna smanjilo je broj mahuna po biljci za 36,6%, dok je smanjenje od 42,6% zabilježeno kada se suša javila u fazi cvatnje. U našem istraživanju prosječno smanjenje broja mahuna po biljci iznosilo je 35%. U drugoj godini našeg istraživanja u oba bloka je broj mahuna po biljci bio manji nego u prvoj što može biti posljedica manje količine oborina u 2022. godini tijekom faze formiranja mahuna. Kultivar 'Sara' u navodnjavanom bloku imao je najveći prosječni broj mahuna (74), ali je u sušnim uvjetima imao najveće smanjenje (51%). Kultivar 'Maksimirka' imao je najmanje smanjenje uslijed suše (29%). Bhatia i Jumrani (2016) u svom 3-godišnjem pokusu utvrđuju da je smanjenje prinosa različito ovisno o genotipu, a da je broj mahuna po biljci bilo svojstvo koje je najviše smanjeno uslijed suše i smanjenje je iznosilo 31%.

I druge ključne komponente prinosa poput broj zrna po mahuni, broja zrna po biljci, mase zrna po biljci, znatno su manjih prosječnih vrijednosti u 2022. godini u kojoj je kolovoz bio najsušniji vegetacijski mjesec. Uz primarno broj mahuna po biljci, upravo te sastavnice ponajviše utječu na prinos, a evidentno je da su iznimno osjetljive na stres suše. Broj zrna po mahuni u 2021. godini uslijed suše se povećava, dok je u 2022. smanjen. Iz grafikona 5.1. i 5.2. jasno je kako su glavne sastavnice prinosa koje se formiraju tijekom srpnja i kolovoza imale znatno podbacivanje u 2022. godini u odnosu na 2021. godinu. Prema rezultatima istraživanja Maleki i sur. (2013.) najosjetljivija faza na sušu bila je R<sub>5</sub> (početak formiranja sjemena). Slično navode i Kirnak i sur. (2010) koji iznose da vodni stres u fazama R<sub>3</sub>, R<sub>5</sub> i R<sub>6</sub> rezultira znatnim smanjenjem prinosa u odnosu na kontrolni tretman potpunog navodnjavanja. Ovi nalazi podudaraju se s našim, tj. vrlo štetnim učincima suše u mjesecu kolovozu 2022.

U 2021. godini (grafikon 5.1.) vezano uz ključne sastavnice prinosa izdvajaju se genotipovi 'Sara' s najvećim te 'Maksimirka' s najmanjim smanjenjem vrijednosti svojstava uslijed suše. U 2022. godini svi genotipovi imaju znatno podbacivanje uslijed suše. Ipak, 'DH 5170' mogao bi se izdvojiti kao najtolerantniji s obzirom na najmanje podbacivanje uslijed suše u sastavnicama prinosa. Isti genotip izdvojen je kao tolerantan na sušu u već ranije spomenutom ADA projektu (Pejić, 2020).



Graf 5.1. Razlika ispitivanih kultivara u postotku smanjenja ili povećanja vrijednosti glavnih komponenti prinosa uslijed stresa suše u 2021. godini.

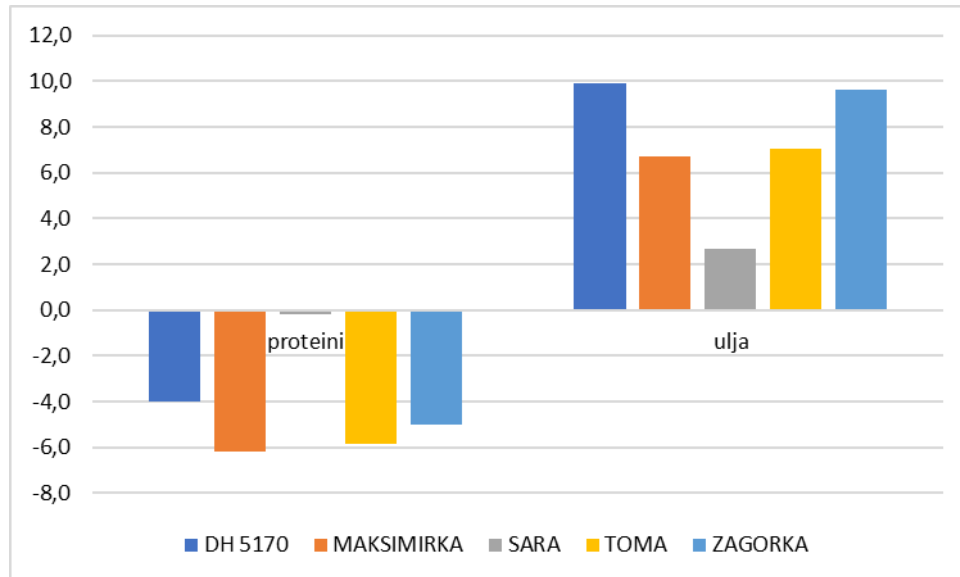


Graf 5.2. Razlika ispitivanih kultivara u postotku smanjenja vrijednosti glavnih komponenti prinosa uslijed stresa suše u 2022. godini.

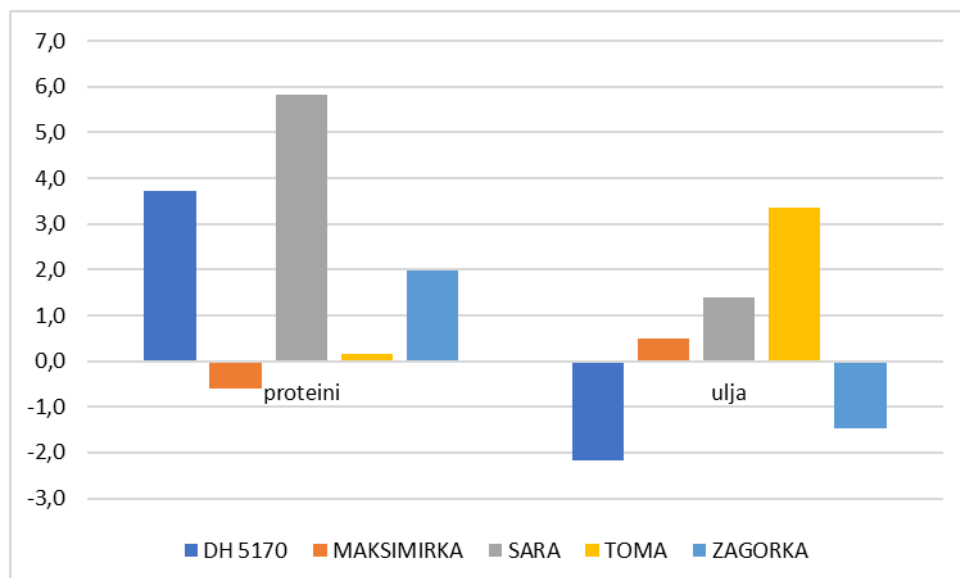
Masa 1000 zrna prema očekivanjima je manja u tretmanu suše, dok između godina nema značajne razlike. U istraživanju Davies i El – Okene (2009) masa 1000 zrna povećala se linearno s 122,0 na 169,4 g s povećanjem sadržaja vlage tla.

Potvrđene su visoko signifikantne razlike između genotipova za svojstvo sadržaj proteina i ulja. Naime iz grafikona 5.3. i 5.4. jasno je kako genotipovi drugačije reagiraju u dvije

promatrane godine. U 2021. godini sadržaj proteina svih genotipova se uslijed suše povećao, dok se sadržaj ulja smanjio. U 2022. godini je obrnuto, većina genotipova je uslijed suše podbacila u sadržaju proteina, dok se sadržaj ulja povećao. Iako su proteini i ulja u suprotnoj korelaciji, kod genotipova 'Sara' i 'Toma' u 2022. godini uslijed suše došlo je do smanjenja i sadržaja proteina i sadržaja ulja, što može biti posljedica veoma male količine oborine koja je pala u kolovozu 2022. godine.



Graf 5.3. Promjene u sadržaju proteina i ulja uslijed suše ispitivanih genotipova u 2021. godini.



Graf 5.4. Promjene u sadržaju proteina i ulja uslijed suše ispitivanih genotipova u 2022. godini.

Naši rezultati iz 2021. godine u usglasu su s rezultatima Šarčević i sur. (2022), međutim nisu sa onima iz 2022. No, međutim u pokusima Dornbos i sur. (1992) jaka suša je povećala sadržaj proteina za 4,4 %, dok se sadržaj ulja smanjio za 2,9 %. Navode da je zrno biljaka koje su bile izložene temperaturi zraka 35°C tijekom punjenja sjemena sadržavalo 4,0% više proteina i 2,6% manje ulja od zrna biljaka koje su bile izložene 29°C kada se izračuna prosječna razina stresa od suše. Također u recentnom istraživanju Poudel i sur. (2023) proveli su studiju u kojoj je ispitivano deset sorata soje za 20 agronomskih svojstava u svrhu određivanja tolerantnosti na sušu u reproduktivnim fazama (R<sub>1</sub> – R<sub>6</sub>). Ustanovljeno je da se u uvjetima suše sadržaj ulja u zrnu smanjio, a sadržaj proteina povećao. Kultivari su različito reagirali na stres suše u usporedbi s kontrolom. Očito je da različiti profili i intenziteti suše mogu dovesti i do suprotnih učinaka, a i da pojedini kultivari mogu reagirati na različite načine.

## 6. Zaključak

Glavni zaključci ispitivanja šest genotipova (kultivara) soje tijekom dvije uzastopne godine (2021. i 2022.) na lokaciji Zagreb – Maksimir, u dva režima vlažnosti tla (navodnjavanje i inducirana suša) su slijedeći:

- Meteorološki podaci za 2021. i 2022. godinu pokazuju da su ovo na lokaciji Maksimir bile dvije najsušnije godine u zadnjih 32 godine, a što se značajno odrazilo na rast, razvoj i agronomska svojstva kultivara soje.
- Tijekom vegetacije u obje godine istraživanja zabilježeno je konstantno smanjenje vlage u tlu. Deficit vode u tlu bio je znatno izraženiji u 2022. nego u 2021. godini. Ovaj pokazatelj puno bolje ukazuje na intenzitet agronomske suše i na razlike između godina ispitivanja u odnosu na standardne meteorološke pokazatelje (temperature zraka i oborine) i Walterov klima-dijagram.
- Analiza varijance na dvogodišnjim podacima iz mikropokusa u kojima su se ispitivali učinci navodnjavanja i suše te reakcija različitih genotipova soje pokazala je da su visokosignifikantne učinke na vrijednost većine ispitivanih agronomskih svojstava imali tretman „navodnjavanje/suša“ i „godina“ pokusa. Signifikantni učinci za genotip zabilježeni su samo kod dva svojstva (broj plodnih etaža i broj mahuna po biljci).
- Utvrđene su i značajne razlike među genotipovima u smanjenju vrijednosti ključnih komponenti prinosa. Primjerice, smanjenje broja mahuna po biljci uslijed suše variralo je od 29 % ('DH 5170' i 'Maksimirka') do 51 % ('Sara'); smanjenje broja zrna po biljci variralo je od 26 % ('Toma') do čak 64 % ('Sara'). Kao posljedica suše, a na razini prosjeka 5 sorata, najveće smanjenje prosječne vrijednosti zabilježeno je za svojstvo „masa zrna po biljci“ (50 %). Broj zrna po biljci bio je prosječno manji za 40 %, broj mahuna po biljci 35 %, a suša je najmanje utjecala na manji broj zrna u mahuni (19 %).
- Genotip koji je najviše reagirao na sušu bio je kultivar 'Sara', a genotipovi koji su najmanje varirali su bili 'DH 5170' i 'Toma' i na taj način pokazali najveću tolerantnost na sušu. Međutim, u promatranju apsolutne vrijednosti utvrđene „tolerantnosti na sušu“ (smanjenje vrijednosti svojstva u uvjetima suše, u odnosu na navodnjavanje kao kontrolu), treba imati na umu da je genotip 'Toma' imao u pravilu najniže vrijednosti svojstava u tretmanu s navodnjavanjem, i da su neki genotipovi u uvjetima suše imali slične ili više vrijednosti od ovog kultivara.
- Poželjni genotipovi za uzgoj i daljnje oplemenjivanje trebali bi pokazivati što manju reakciju na sušu (smanjivanje vrijednosti prinosa i drugih svojstava), ali istovremeno i visoku apsolotnu vrijednost svojstava, tj. visoku rodnost u normalnim uvjetima.

## 7. Popis literature

1. Ahanger M. A., Siddique K. H. M., Ahmad, P. (2021). Understanding drought tolerance in plants. *Physiol. Plantarum* 172, 286–288. doi: 10.1111/ppl.13442.
2. Akand M. M. H., Mamun M. A. A., Ivy N. A., Karim M. A. (2018). Genetic variability of soybean genotypes under drought stress. *Ann. Bangladesh Agric.* 22 (1) : 79-93. ISSN 2521-5477.
3. Andrijanić Z., Kočar M. M., Brezinščak L., Pejić I. (2022). Trendovi proizvodnje soje u Hrvatskoj. *Glasnik Zaštite Bilja*, Vol. 45. No. 4. doi: 10.31727/gzb.45.4.6.
4. Bhatia V. S., Jumrani K. (2016). A maximin-minimax approach for classifying soybean genotypes for drought tolerance based on yield potential and loss. *Plant Breeding*, 135(6), 691–700. doi:10.1111/pbr.12414.
5. Chowdhury J. A., Karim M. A., Khaliq Q. A., Solaiman A. R. M., Ahmed J. U. (2015). Genotypic variations in growth, yield and yield components of soybean genotypes under drought stress conditions. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 40(4): 537-550.
6. Chung J., Barka H. L., Staswick P. E., Lee D. J., Gregan P. B., Shoemaker R. C., Specht J. E. (2003). The seed protein, oil and yield QTL on soybean linkage group I. *Crop Science* 43: 1053-1067.
7. Davies R. M., El-Okene A. M.. (2009). Moisture-dependent physical properties of soybean. *Int Agrophys.* 23. 299-303.
8. De Costa W. A. J. M., Shanmugathan K. N. (2002). Physiology of yield determination of soybean (*Glycine max* (L.) Merr) under different irrigation regimes in the sub-humid zone of Sri Lanka. *Field Crops Research* 75: 23-35. doi: 10.1016/S0378-4290(02)00003-5.
9. Demirtaş C., Yazgan S., Candoğan B. N., Sincik M., Büyükcangaz H., Göksoy A. T. (2010). Quality and yield response of soybean (*Glycine max* L. Merr) to drought stress in sub-humid environment. *African Journal of Biotechnology* 9: 6873-6881.
10. Desclaux D., Huynh T.-T., Roumet, P. (2000). Identification of Soybean Plant Characteristics That Indicate the Timing of Drought Stress. *Crop Science*, 40(3), 716. doi:10.2135/cropsci2000.403716x.
11. Dogan E., Kirnak H., Copur O. (2007.): Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-soybean simulations under semi-arid climatic conditions. *Field Crops Research* 103: 154-159.
12. Dornbos D. L., Mullen R. E. (1992). Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 69(3), 228–231. doi:10.1007/bf02635891.

13. Dragović, S. (1994). Effect of drought at various development stages on soybean yield and the effect of irrigation. Zbornik radova-Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, Institut za ratarstvo i povrtarstvo (Yugoslavia).
14. DZS (2023). Državni zavod za statistiku. <https://podaci.dzs.hr/2022/hr/29384>. Datum pristupa: 15.5.2023.
15. Embrapa. (2011). Siplanta de Produção 15. Exigências Climáticas. In: Tecnologia de produção de soja - Região central do Brasi: 2012 - 2013. Londrina: Embrapasoja. 11-12.
16. FAO (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Datum pristupa: 15.05.2023.
17. Farooq M., Gogoi N., Barthakur S., Baroowa B., Bharadwaj N., Alghamdi S. S., Siddique K.H.M. (2017). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *J Agro. Crop Sci.* 203 (2), 81–102.
18. Farooq M., Hussain M., Wahid A., Siddique K. H. M. (2012). Drought Stress in Plants: An Overview. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-32653-0\_1.
19. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S. M. A. (2009). Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. Sustainable Agriculture. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-90-481-2666-8\_12.
20. Fehr W. R., Caviness C. E., Burmood D. T., Pennington J. S. (1971.). Stage of development descriptions for soybean, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science* 11:929-931.
21. Feng Z., Ding C. Q., Li W. H., Wang D. C., Cui D. (2020). Applications of metabolomics in the research of soybean plant under abiotic stress. *Food Chem.* 310:125914. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125914
22. Frederick J. R., Camp C. R., Bauer P. J. (2001). Drought-Stress Effects on Branch and Mainstem Seed Yield and Yield Components of Determinate Soybean. *Crop Sci.* 41:759–763. doi: 10.2135/cropsci2001.413759x.
23. Gajić B., Kresović B., Tapanarova A., Životić L., Todorović M. (2018). Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. *Agric. Water Manage.* 210, 224–231. doi: 10.1016/j.agwat.2018.08.002.
24. Galić Subašić D., Jurišić M., Sudarić A., Josipović M., Rapčan I. (2017). Visina biljaka i urod zrna soje u zavisnosti o godini, navodnjavanju i sorti. *Poljoprivreda* 23:2017 (2) 19-24. ISSN 1330-7142.
25. Garcia A. G. Y., Persson T., Guerra L. C., Hoogenboom G. (2010). Response of soybean genotypes to different irrigation regimes in a humid region of the souteastern USA. *Agricultural Water Management*, 97(7): 981-987. doi: 10.1016/j.agwat.2010.01.030.
26. Godfray H. C. J., 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* 327(5967):812–818. doi: 10.1126/science.1185383.
27. Guimarães-Dias F., Neves-Borges A. C., Viana A. A. B., Mesquita R. O., Romano E., Grossi-de-Sá M.d.F., Nepomuceno A. L., Loureiro M. E., Alves-Ferreira M. (2012). Expression analysis in response to drought stress in soybean: Shedding light on the regulation of metabolic pathway genes. *Genetics and Molecular Biology*, 35, 1 (suppl), 222-232.
  28. Igiehon N. O., Babalola O. O., Cheseto X., Torto, B. (2020). Effects of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi on yield, size distribution and fatty acid of soybean seeds grown under drought stress. *Microbiological Research*, 126640. doi:10.1016/j.micres.2020.126640.
  29. IPCC (2023). The Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/reports/>. Datum pristupa: 15.05.2023.
  30. Irshad M., Farhatullah Khan N., Begum S. (2016). Genetic variability, heritability and genotype x year interaction for morpho-yield traits in soybean. *Pakistan Journal of Botany*, 48(4): 1601-1607.
  31. Jukić G., Čupić T., Marić S., Jukić R., Teodorović R. (2010). Utjecaj agroekoloških uvjeta na prinos zrna soje. *Sjemenarstvo*, 27(3-4): 103-112.
  32. Jukić G., Varnica I., Dugalić K., Rukavina I., Guberac V., Delić I. (2019). Utjecaj genotipa, godine i lokacije na prinos, udio ulja i proteina u soji - *Glycine max* (L.) Merr. *Poljoprivreda* 25:2019 (2) 3-10.
  33. Kirnak H., Dogan E., Turkoglu H. (2010). Effect of drip irrigation intensity on soybean seed yield and quality in the semi-arid Harran plain. *Turkey Spanish Journal of Agricultural Research* 8(4): 1208-1217.
  34. Lakić, J. (2016). Iskoristivost soje različitih kultivara za potrebe proizvodnje biogoriva i hranidbu životinja. Diplomski rad. Zagreb. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.
  35. Lesk C., Rowhani P., Ramankutty N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature* 529, 84–87. doi: 10.1038/nature16467.
  36. Lu H. Y., Li H. W., Fan R., Li H. Y., Yin J. Y., Zhang J. J., Zhang D. (2017): Genome wide association study of dynamic developmental plant height in soybean. *Canadian Journal of Plant Science*, 97(2): 308-315. doi: 10.1139/cjps-2016-0152.
  37. Maleki A., Naderi A., Naseri A., Fathi A., Bahamin S., Maleki R. (2013). Physiological Performance of Soybean Cultivars under Drought Stress. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 2: 38-44.
  38. Manavalan L. P., Guttikonda S. K., Tran L. S. P., Nguyen H. T. (2009). Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. *Plant and Cell Physiology*. 50(7):1260-1276.
  39. Marinho J. P., Pagliarini R. F., Molinari M. D. C., Marcolino-Gomes J., Caranhoto A. L. H., Marin S. R. R., Oliveira M. C. N., FOLONI J. S. S., Melo C. L. P., Kidokoro S.,



- Mizoi J., Kanamori N., Yamaguchi-Shinozaki K., Nakashima K., Nepomuceno A. L., Mertz-Henning L. M. (2021). Overexpression of full-length and partial DREB2A enhances soybean drought tolerance . *Agronomy Science and Biotechnology*, 8, 1-21. doi:10.33158/ASB.r141.v8.2022.
40. Mishra N., Tripathi M. K., Tiwari S., Tripathi N., Gupta N., Sharma, A. (2021). Morphological and physiological performance of Indian soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] genotypes in respect to drought. *Legume Res. Int. J.*
  41. Müller M., Schneider J. R., Klein V. A., da Silva E., da Silva Júnior J. P., Souza A. M., Chavarria G. (2021). Soybean root growth in response to chemical, physical, and biological soil variations. *Front Plant Sci* 12:602569. doi: 10.3389/fpls.2021.602569.
  42. Nápoles M., Guevara E., Montero F., Rossi A., Ferreira A. (2009). Role of *Bradyrhizobium japonicum* induced by genistein on soybean stressed by water deficit. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(3), 665-671. doi:10.5424/sjar/2009073-451.
  43. Nunes A. C., Bezerra F. M. L., Silva R. A., Silva Júnior J. L. C., Gonçalves F. B., Santos G. A. (2016). Agronomic aspects of soybean plants subjected to deficit irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20(7): 654-659.
  44. Oya T., Lima Nepomuceno A., Neumaier N., Coucas Farias J. R., Tobita S., Ito O. (2004). Drought Tolerance Characteristics of Brazilian Soybean Cultivars— Evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. *Plant Prod. Sci.* 7 (2) : 129-137.
  45. Pejić, I. 2020. Adaptability assessment of soybean cultivars of Croatia in the function of breeding for drought tolerance. Book of Abstracts. 55th Croatian and 15th International Symposium on Agriculture - Vodice, February 17, 2020
  46. Penzar I., Penzar B. (2000). *Agrometeorologija. Školska knjiga.*, Zagreb.
  47. Prince S. J., Vuong T. D., Wu X., Bai Y., Lu F., Kumpatla S. P., Valliyodan B., Shannon J. G., Nguyen H. T. (2020). Mapping quantitative trait loci for soybean seedling shoot and root architecture traits in an inter-specific genetic population. *Front Plant Sci* 11:1284. doi: 10.3389/fpls.2020.01284.
  48. Poudel S., ReddyVennam R., Shrestha A., Raja Reddy K., Wijewardane N. K., Reddy K. N., Bheemanahalli R. (2023). Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. *Sci Rep* 13, 1277. doi:10.1038/s41598-023-28354-0.
  49. Reynolds M., Tuberosa R. (2008). Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Plant Biol.* 11 (2008) 171–179.
  50. Salimi S., Abadi G. M., Salimi S., Moradi S. (2012). Genetic Diversity in Soybean Genotypes Under Drought Stress Condition Using Factor Analysis and Cluster Analysis. *World Applied Sciences Journal* 16 (4): 474-478, 2012. ISSN 1818-4952.
  51. SAS Institute Inc. *The SAS System for Windows, Release 9.4; Statistical Analysis Systems Institute: Cary, NC, USA, 2013; 556p.*

52. Sepanlo N., Talebi R., Rokhzadi A., Mohammadi H. (2014). Morphological and physiological behavior in soybean (*Glycine max* L. Merr) genotypes to drought stress implemented at pre- and post-anthesis stages. *Acta Biol. Szeged.* 2014, 58, 109–113.
53. Silvente S., Sobolev A. P., Lara M. (2012). Metabolite Adjustments in Drought Tolerant and Sensitive Soybean Genotypes in Response to Water Stress. *PLoS ONE* 7(6): e38554. doi:10.1371/journal.pone.0038554.
54. Šarčević H., Iljić D., Andrijanić Z., Sudarić A., Gunjača J., Varnica I., Rastija M., Godena S., Maričević M., Stepinac D., Pejić I. (2022). Stability of Protein and Oil Content in Soybean across Dry and Normal Environments—A Case Study in Croatia. *Agronomy* 12(4):915. doi:10.3390/agronomy12040915.
55. Šimunić I., Husnjak S., Tomić F. (2007). Utjecaj suše na smanjenje prinosa poljoprivrednih kultura. *Agronomski glasnik* 5/2007. ISSN 0002-1954.
56. Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc Natl Acad Sci USA* 108(50):20260–20264. doi: 10.1073/pnas.1116437108.
57. Tomić F., Romić D., Mađar S. (2007). Stanje i perspektive melioracijskih mjera u Hrvatskoj. Zbornik radova znanstvenog skupa: Melioracijske mjere u svrhu unapređenja ruralnog prostora. HAZU, Razred za prirodne znanosti i Razred za tehničke znanosti, 7-20, Zagreb.
58. Tyczewska A., Gracz J., Kuczynski J., Twardowski T. (2016). Deciphering the soybean molecular stress response via high-throughput approaches. *Acta Biochim. Pol.* 63, 631–643. doi: 10.18388/abp.2016\_1340.
59. Vaghar M. S., Sayfzadeh S., Zakerin H. R., Kobraee S., Valadabadi S. A. (2020). Foliar application of iron, zinc, and manganese nano-chelates improves physiological indicators and soybean yield under water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, 1–17. doi:10.1080/01904167.2020.1793180.
60. Vratarić M., Sudarić A. (2008). Soja *Glycine Max.* (L.) Merr.; Poljoprivredni institut Osijek: Osijek, Hrvatska.
61. Vratarić M., Sudarić A. (2009). Važnije bolesti i štetnici na soji u Republici Hrvatskoj. *Glasnik Zaštite Bilja*, 32(6), str. 6-23. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/163400> (Datum pristupa: 15.08.2023.)
62. Wirnas D., Widodo I., Sobir S., Trikoesoemaningtyas T., Sopandie D. (2006). Pemilihan Karakter Agronomi untuk Menyusun Indeks Seleksi pada 11 Populasi Kedelai Generasi F6. *Indonesian Journal of Agronomy*, 34(1). doi:10.24831/jai.v34i1.1270
63. Wright J. (1999). Irrigation management for soybeans, *Minnesota Soybean Field Book*. University of Minnesota, 33-37.
64. Yan C., Song S., Wang W., Wang C., Li H., Wang F., Li S., Sun X. (2020). Screening diverse soybean genotypes for drought tolerance by membership function value

based on multiple traits and drought-tolerant coefficient of yield. *BMC Plant Biol* 20, 321.

65. Zhang T.Y., Lin X.M. Sassenrath G.F. (2015). Current irrigation practices in the central United States reduce drought and extreme heat impact for maize and soybean, but not for wheat. *Science of Total Environment*. 508: 331-342. doi: 10.1016/j.scitotenv.

## 8. Prilog

### 8.1. Popis tablica

Tablica 2.1. Faze rasta i razvoja soje (Fehr i sur., 1971).

Tablica 3.1. Popis kultivara uključenih u poljski pokus.

Tablica 4.1. Prosječne temperature zraka (°C) za vegetacijsko razdoblje soje od svibnja do rujna te za ključna tri mjeseca (od lipnja do kolovoza) za višegodišnji prosjek (1981. – 2020.). 2012., 2014., 2021. i 2022. godinu.

Tablica 4.2. Sume oborina (mm) za vegetacijsko razdoblje soje od svibnja do rujna te za kritična tri ljetna mjeseca (od lipnja do kolovoza) za višegodišnji prosjek (1981. - 2020.), 2012., 2014., 2017., 2018., 2021. i 2022. godinu.

Tablica 4.3. Zbroj prosječnih odstupanja u duljini i širini (cm) lijeve, centralne i desne liske biljaka iz navodnjavanog bloka u odnosu na sušni blok u 2021. i 2022. godini. Vrijednosti iskazuju smanjenje odnosno povećanje (prikazano negativnim predznakom) dimenzija listova u sušnom bloku u odnosu na navodnjavani.

Tablica 4.4. Rezultati analize varijance za agronomska svojstva.

Tablica 4.5. Rezultati analize varijance za svojstva kvalitete.

Tablica 4.6. Prosječne vrijednosti promatranih sastavnica prinosa svih genotipova u tretmanu navodnjavanja i suše u 2021. i 2022. godini.

Tablica 4.7. Značajnost razlika između tretmana za 5 genotipova soje (LSD test) za najvažnije komponente prinosa.

Tablica 4.8. Prosječne vrijednosti sadržaja proteina i ulja u zrnu svih genotipova u tretmanu navodnjavanja i suše u 2021. i 2022. godini.

### 8.2. Popis grafova

Graf 4.1. Kretanje ukupne mjesečne oborine (mm) i prosječne mjesečne temperature zraka (°C) tijekom vegetacijskog razdoblja soje na lokaciji Maksimir u 2021. godini.

Graf 4.2. Kretanje ukupne mjesečne oborine (mm) i prosječne mjesečne temperature zraka (°C) tijekom vegetacijskog razdoblja soje na lokaciji Maksimir u 2022. godini.

Graf 4.3. Raspored ukupne oborine (mm) i kretanje prosječne temperature zraka (°C) po dekadama tijekom vegetacijskog razdoblja soje na lokaciji Maksimir u 2021. godini.

Graf 4.4. Raspored ukupne oborine (mm) i kretanje prosječne temperature zraka (°C) po dekadama tijekom vegetacijskog razdoblja soje na lokaciji Maksimir u 2022. godini.

Graf 4.5. Vlaga tla izražena u centibarima (kPa) izmjerena na dubinama od 20 i 40 cm uz termine navodnjavanja (mm) i oborina (mm). Maksimir, 2021.

Graf 4.6. Vlaga tla izražena u centibarima (kPa) izmjerena na dubinama od 20 i 40 cm uz termine navodnjavanja (mm) i oborina (mm). Maksimir, 2022.

Graf 4.7. Prosječna dekadna temperatura zraka (°C), prosječna maksimalna dekadna temperatura zraka (°C), prosječna dekadna vlaga tla na dvije dubine (cb=kPa) te dekadna količina oborine (mm) u razdoblju lipanj – rujan 2021. godine.

Graf 4.8. Prosječna dekadna temperatura zraka (°C), prosječna maksimalna dekadna temperatura zraka (°C), prosječna dekadna vlaga tla na dvije dubine (cb=kPa) te dekadna količina oborine (mm) u razdoblju lipanj – rujan 2022. godine.

Graf 4.9. Prosjek genotipova za svojstvo visine biljke (cm) u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u 2021. i 2022. godini.

Graf 4.10. Prosjek genotipova za svojstvo broj grana u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Graf 4.11. Prosjek genotipova za svojstvo broj plodnih etaža u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Graf 4.12. Prosjek genotipova za svojstvo masa tisuću zrna (MTZ) u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Graf 4.13. Prosjek genotipova za svojstvo broj mahuna/biljci u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Graf 4.14. Prosjek genotipova za svojstvo broj zrna/mahuni u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Graf 4.15. Prosjek genotipova za svojstvo broj zrna/biljci u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Graf 4.16. Prosjek genotipova za svojstvo masa zrna/biljci u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u dvije promatrane godine 2021. i 2022.

Graf 4.17. Prosjek genotipova za sadržaj proteina u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u 2021. i 2022. godini.

Graf 4.18. Prosjek genotipova za sadržaj ulja u tretmanu navodnjavanja i inducirane suše u 2021. i 2022. godini.

Graf 5.1. Razlika ispitivanih kultivara u postotku smanjenja ili povećanja vrijednosti glavnih komponenti prinosa uslijed stresa suše u 2021. godini.

Graf 5.2. Razlika ispitivanih kultivara u postotku smanjenja vrijednosti glavnih komponenti prinosa uslijed stresa suše u 2022. godini.

Graf 5.3. Promjene u sadržaju proteina i ulja uslijed suše ispitivanih genotipova u 2021. godini.

Graf 5.4. Promjene u sadržaju proteina i ulja uslijed suše ispitivanih genotipova u 2022. godini.

### **8.3. Popis slika**

Slika 3.1. Dijagram rasporeda stanja vlage tla mjerenoj u centibarima (kPa).

## Životopis

Dora Sruk rođena je 20. kolovoza 1997. godine u Zagrebu. Srednjoškolsko obrazovanje stekla je u XVI. Gimnaziji, u Zagrebu, koju je pohađala od 2012. – 2016. godine. Nakon završene srednje škole 2016. godine upisuje preddiplomski studij Biljnih znanosti na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. Titulu prvostupnika Biljnih znanosti stekla je 2020. godine obranom završnog rada naslova „Variranje kvalitete zrna soje ovisno o genotipu i uvjetima uzgoja“. Studij je nastavila na diplomskom studiju Biljnih znanosti na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, koji trenutno završava. Aktivno koristi engleski i njemački jezik u govoru i pismu, a trenutno polazi tečaj francuskog jezika. Vješto koristi MS Office paket te je upoznata je s osnovama rada u R Studio programu. Također ima iskustva s radom u laboratoriju.