

# Utjecaj agroekoloških uvjeta na fotosintetsku učinkovitost suncokreta u poljskim uvjetima uzgoja

---

Jelušić, Marina

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:409530>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-22**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Marina Jelušić

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Biljna proizvodnja

**UTJECAJ AGROEKOLOŠKIH UVJETA NA FOTOSINTETSKU  
UČINKOVITOST SUNCOKRETA U POLJSKIM UVJETIMA  
UZGOJA**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2021.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Marina Jelušić

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Biljna proizvodnja

**UTJECAJ AGROEKOLOŠKIH UVJETA NA FOTOSINTETSKU  
UČINKOVITOST SUNCOKRETA U POLJSKIM UVJETIMA  
UZGOJA**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2021.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Marina Jelušić

Diplomski sveučilišni studij Bilinogojstvo

Smjer Biljna proizvodnja

**UTJECAJ AGROEKOLOŠKIH UVJETA NA FOTOSINTETSKU  
UČINKOVITOST SUNCOKRETA U POLJSKIM UVJETIMA  
UZGOJA**

**Diplomski rad**

**Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:**

1. doc. dr. sc. Dario Iljkić, predsjednik
2. doc. dr. sc. Ivana Varga, mentorica
3. dr. sc. Antonela Markulj Kulundžić, vanjska članica

**Osijek, 2021.**

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	3
1.1. Značajnost suncokreta.....	3
1.2. Proizvodnja suncokreta u svijetu i Hrvatskoj .....	5
1.3. Cilj istraživanja .....	7
2. PREGLED LITERATURE .....	8
2.1. Fluorescencija klorofila <i>a</i> .....	8
2.2. Agronomska svojstva suncokreta .....	11
2.3. Agroekološki uvjeti za proizvodnju suncokreta .....	13
2.3.1 Temperatura.....	13
2.3.2 Svjetlost .....	13
2.3.3 Voda .....	14
2.3.4 Tlo.....	15
3. MATERIJAL I METODE .....	16
3.1. Poljski pokus.....	16
3.2. Višegodišnji prosjek vremenskih prilika (1990. – 2019.).....	17
3.3. Vremenske prilike u 2020. godini.....	19
3.4. Fluorescencija klorofila <i>a</i> .....	22
3.5. Komponente prinosa .....	25
3.6. Statistička analiza podataka .....	30
4. REZULTATI .....	31
4.1. Minimalni intenzitet fluorescencije ( $F_0$ ) .....	31
4.2. Maksimalni intenzitet fluorescencije ( $F_m$ ) .....	32
4.3. Varijabilna fluorescencija na J koraku ( $V_J$ ) .....	33
4.4. Varijabilna fluorescencija na I koraku ( $V_I$ ) .....	34
4.5. Maksimalna varijabilna fluorescencija ( $F_V$ ) .....	35
4.6. Maksimalni kvantni prinos fotosustava II ( $F_V/F_m$ ili $TR_0/ABS$ ) .....	36
4.7. Apsorpcija po aktivnom reakcijskom središtu ( $ABS/RC$ ).....	37
4.8. Rasipanje po aktivnom reakcijskom središtu ( $DI_0/RC$ ).....	38
4.9. Protok uhvaćenih fotona po aktivnom reakcijskom središtu ( $TR_0/RC$ ) .....	39
4.10. Elektronski transport po aktivnom reakcijskom središtu ( $ET_0/RC$ ).....	40
4.10. Protok energije koji reducira krajnje akceptore elektrona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $RE_0/RC$ ).....	41

4.11.	Učinkovitost kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I ( $RE_0/ET_0$ ).....	42
4.12.	Omjer koncentracije klorofila reakcijskih središta i koncentracija antena klorofila (RC/ABS) .....	43
4.13.	Omjer protoka uhvaćenih fotona i rasipanja energije ( $TR_0/DI_0$ ).....	44
4.14.	Transport elektrona dalje od primarnog akceptora $Q_A$ ( $ET_0/(TR_0/ET_0)$ ).....	45
4.15.	Indeks fotosintetske učinkovitosti ( $PI_{ABS}$ ) .....	46
4.16.	Indeks fototisnatske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ) .....	47
4.17.	Korelacije fluorescencije klorofila <i>a</i> i komponenti prinosa suncokreta.....	48
5.	RASPRAVA.....	50
6.	ZAKLJUČAK.....	53
7.	POPIS LITERATURE.....	55
8.	SAŽETAK .....	60
9.	SUMMARY .....	61
10.	PRILOZI.....	1
11.	POPIS TABLICA .....	2
12.	POPIS SLIKA .....	3
13.	POPIS GRAFIKONA.....	4

## 1. UVOD

Suncokret je visoko vrijedna uljarica koja je nakon pet stoljeća uzgoja postala četvrta značajna uljarica u svijetu te se zbog toga smatra jednom od galnih ispitivanih usjeva (Seiler i Gulya, 2016). Suncokret je usjev tropskih i suptropskih regija s polusušnom do sušnom klimom, a često se uzgaja u zemljama u kojima prevladava suša pri čemu se dodatno navodnjava (Seghatoleslami i sur., 2012.). kultivirana je vrsta na koju utječu vanjski okolišni uvjeti poput vrućine, suše i oborina. Vrlo je prilagodljiva kultura, ali unatoč tome nepovoljni okolišni čimbenici, ovisno o fazi rasta i razvoja, mogu negativno utjecati na biljke suncokreta (Hussain i sur., 2018.). Općenito, nepovoljni okolišni čimbenici ograničavaju biljnu proizvodnju diljem svijeta pri čemu dovode do velikih varijacija uroda zrna ili uzrokuju potpuni izostanak uzgoja istih. Globalne klimatske promjene su dovele do povećanja dnevnih, sezonskih i godišnjih temperatura zraka koje su praćene visokim intenzitetom svjetlosti zbog kojih dolazi do sušnijih razdoblja u vegetaciji. Iz tog razloga, usjevi su izloženi utjecajima okolišnih čimbenika koje im izazivaju stres tijekom rasta i razvoja čime se naručavaju fiziološki i biokemijski mehanizmi koji dovode do smanjenja produktivnosti biljke (Mustafa i sur., 2017.). Jedan od ključnih bioloških procesa koji je odgovoran za produktivnost biljke je fotosinteza. Fotosinteza je proces u kojem se svjetlosna energija pretvara u kemijsku energiju koju potom biljke koriste (McGraw-Hill, 2007.) stoga je proučavanje procesa fotosinteze važno za proizvodnju poljoprivrednih kultura. Mnogi istraživači su koristili metodu mjerenja fotosintetske učinkovitosti kako bi kvantificirali utjecaj okolišnih čimbenika te kako bi otkrili stupanj tolerantnosti testiranih kultura, odnosno genotipova.

### 1.1. Značajnost suncokreta

Suncokret (*Helianthus annuus* L.) je jednogodišnja zeljasta biljka iz porodice glavočika (*Asteraceae*) (Tablica 1.). Jedna je od četiri najvažnije uljarice u svijetu. Sadrži u prosjeku oko 43 % ulja, 18 % bjelancevina, 26 % celuloze, 10 % nedušičnih tvari i 3 % minerala. Ulje suncokreta je veoma zastupljeno u prehrani ljudi te se smatra jednim od najkvalitetnijih, ali također i najfinijih biljnih ulja. Kada je riječ o industrijskoj preradi, suncokret služi za proizvodnju margarina, majoneza, biljnih ulja, raznih medicinskih pripravaka, konzerviranje prehrambenih proizvoda te za razna strojna ulja, posebno za podmazivanje specijalnih strojeva.

Također se još koristi za izradu boja koje se sporo suše, lakova, sapuna, stearina za svijeće i slično. U nekim zemljama se koristi čak i kao pogonsko gorivo (biodizel) za dizel motore (Vratarić i sur., 2004.).

**Tablica 1.** Sistematika suncokreta (*Helianthus annuus* L.)

(<https://www.biovrt.com/podjela-i-obitelji-biljaka/>)

SISTEMATIKA	
<b>Carstvo</b>	Plantae
<b>Divizija</b>	Magnoliophyta
<b>Razred</b>	Magnoliopsida
<b>Red</b>	Asterales
<b>Porodica</b>	Asteraceae
<b>Rod</b>	<i>Helianthus</i>
<b>Vrsta</b>	<i>H. annuus</i>

Utvrđeno je kako jezgra suncokreta ima veću hranjivu vrijednost nego što imaju mlijeko, meso, krumpir i kruh. I zbog toga se koristi u proizvodnji raznih jela i kolača, te se stavlja u kruh i peciva (Pospišl, 2013.).

Smatra se jednom od najvažnijih medonosnih biljaka. Za siliranje se koriste zelene stabljike suncokreta uz dodatak lucerne ili druge krmne kulture. Vrijednost listu i glavi povećava to što u sebi imaju kalcija, kalija i raznih fosfornih sastojaka. U svrhu energentskog goriva se koriste suhe stabljike. Ljuske se u preradi odvajaju od jezgre te se mogu koristiti kao sirovina ili kao visoko kalorično gorivo (Vratarić i sur., 2004.).



Suncokretovo ulje je jedno od najkvalitetnijih biljnih ulja i zbog toga pretežno služi za ljudsku ishranu. U njegovom sastavu prevladavaju nezasićene masne kiseline (80 do 90 %) – linolna (do 60 %) i oleinska. U njemu je vrlo važan sadržaj fosfatida (Pospišl, 2013.). Osobita vrijednost njegovog ulja je u tome što su u njemu rastvoreni vitamini: A, D, E i K (Gagro, 1998.).

Suncokret potječe iz Amerike, Meksika i Perua. U Europu je donesen iz Španjolske te je prvi suncokret zasađen u botaničkom vrtu u Madridu. Prvenstveno se koristi kao ukrasna biljke te kao hrana za ptice (Gagro, 1998.).

## 1.2. Proizvodnja suncokreta u svijetu i Hrvatskoj

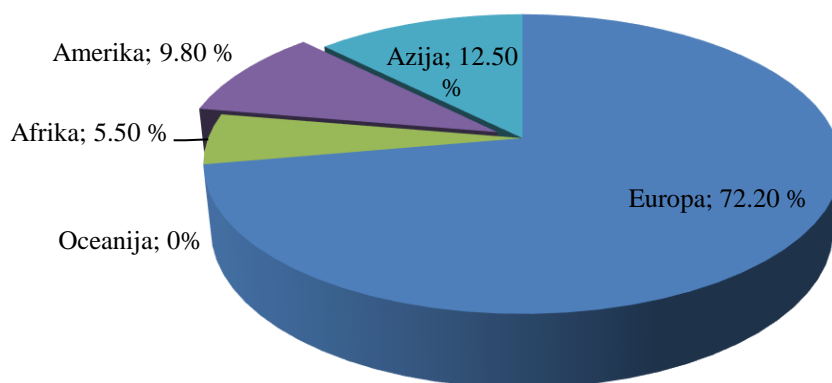
Suncokret je u svijetu većinom zastupljen kao uljna kultura. Najveći proizvođači su: Rusija, Ukrajina, Argentina, Francuska, Španjolska, SAD, Kina, Indija, Turska, Rumunjska, Mađarska i Bugarska. U svijetu se suncokret uzgajao na prosječno 26.566.850 ha uz prosječan prinos od 1,86 t/ha, u razdoblju 2015. do 2019. godine (Tablica 2.) gdje se može vidjeti povećanje proizvodnje.

**Tablica 2.** Proizvodnja suncokreta u svijetu (FAOStat, 2021.)

<b>Godina</b>	<b>Površina (ha)</b>	<b>Prinos (t/ha)</b>
<b>2015.</b>	25 486 846	1,74
<b>2016.</b>	26 335 485	1,80
<b>2017.</b>	26 841 989	1,81
<b>2018.</b>	26 801 164	1,94
<b>2019.</b>	27 368 766	2,01
<b>Prosjek</b>	<b>26 566 850</b>	<b>1,86</b>

Suncokret je kultura koja potječe iz Amerike, ali se uzgaja u svim dijelovima svijeta (FAOStat, 2021.).

Proizvodnja sjemena suncokreta u svijetu u razdoblju od 2015. godine do 2019. godine je prikazana na Grafikonu 1. Najvećim dijelom se suncokret uzgajao u Europi 72,2%, iza kojeg slijede Azija s 12,50 % udjela. Amerika s 9,80 % te Afrika s 5,50 % udjela proizvodnje.



**Grafikon 1.** Udio proizvodnje sjemena suncokreta po kontinentima (FAOStat, 2021.)

Smatra se da je u Hrvatsku suncokret došao iz Austrije. Zastupljenost suncokreta u Hrvatskoj je prikazan u Tablici 3. za razdoblje od 2015. godine do 2019. godine. Najmanji prinos od 2,73 t/ha je ostvaren 2015. godine, a najveći 2017. godine te je iznosio 3,12 t/ha (FAOStat, 2021.). Većina proizvodnje suncokreta u Hrvatskoj je zastupljena u Slavoniji Baranji zbog povoljnih vremenskih uvjeta za uzgoj (Pospišl, 2013.).

**Tablica 3.** Proizvodnja suncokreta u Republici Hrvatskoj (FAOStat, 2021.)

<b>Godina</b>	<b>Površina (ha)</b>	<b>Prinos (t/ha)</b>
<b>2015.</b>	34 494	2,73
<b>2016.</b>	40 254	2,75
<b>2017.</b>	37 152	3,12
<b>2018.</b>	37 130	2,98
<b>2019.</b>	35 980	2,96
<b>Prosjek</b>	<b>37 002</b>	<b>2,91</b>

### **1.3. Cilj istraživanja**

Cilj istraživanja bio je utvrditi razlike u vrijednostima parametara fluorescencije klorofila *a* između 16 hibrida suncokreta u svrhu utvrđivanja osjetljivosti testiranih hibrida na agroekološke uvjete.

Ujedno, cilj je bio utvrditi povezanost između komponenti prinosa suncokreta i pokazatelja učinkovitosti fotosinteze u svrhu daljnjeg korištenja metode mjerenja fluorescencije klorofila *a* pri selekciji materijala.

## 2. PREGLED LITERATURE

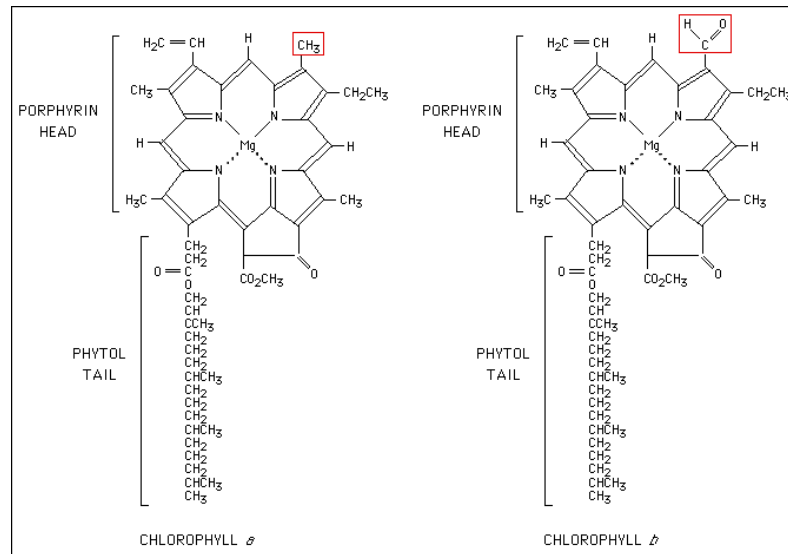
### 2.1. Fluorescencija klorofila *a*

Fotosinteza je jedan od najvažnijih procesa koji je odgovoran za život na Zemlji. Proces prevođenja anorganskih tvari u organske s pomoć sunčeve svjetlosti i klorofila uz oslobađanje kisika ( $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ ).

Fotosinteza pripada jednom od najstarijih fotofizičkih i biokemijskih procesa na Zemlji (Roháček i sur., 2008.). Fotosintetske bakterije imaju relativno jednostavan sustav prijenosa fotona sa samo jednim tipom fotosistema (Nelson i Cox., 2013.). Fotosinteza se dijeli u dva procesa, prvi je svjetlosna reakcija ili primarni procesi fotosinteze, a drugi reakcija tame ili sekundarni procesi fotosinteze ili Calvinov ciklus. Reakcije ovisne o svjetlosti se mogu odvijati samo kad je biljka osvijetljena tijekom kojih se svjetlosna energija pohranjuje u kemijskim vezama ATP-a (adenozin trifostaf) i NADPH-a (nikotinaamid adenine dinukletoid fosfat) te se razvija kisik i reakcije fiksacije ugljika gdje se nastali ATP i NADPH koriste za sintezu organskih molekula iz  $\text{CO}_2$ . Calvinov ciklus odvija se u stromi kloroplasta i može se podijeliti u tri dijela: karboksilaciju, redukciju i regeneraciju. U Calvinovom ciklusu, iz molekula plina  $\text{CO}_2$  nastaje organski spoj 3-fosfoglicera (Pevalek - Kozlina, 2003.). Nelson i Cox (2013.) navode kako se fotosinteza odvija u nekim bakterijama, jednostaničnim eukariotima i biljkama.

Prema Taizu i sur. (2003.) fotosinteza je proces u kojem se prikuplja Sunčeva energija i uz korištenje  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  te sintetizira glukoza. Definiiraju i kao proces kemijskih reakcija u kojima se elektroni prenose s jedne vrste molekule (oksidacija) na drugu (redukcija).

Kloroplasti su obavijeni s dvije biomembrane gdje je svaka biomembrana dvosloj fosfolipidna. Osim klorofila *a* koji je najvažniji za proces fotosinteze u biljkama i nekim algama prisutan je i klorofil *b*. Razlikuju se po tome što klorofil *a* predstavlja glavni pigment uključen u fotosintezu i ima na drugom pirolskom prstenu metalnu skupinu (-CH<sub>3</sub>), a klorofil *b* na tome mjestu ima aldehidnu skupinu (-CHO) (Slika 1.) i predstavlja pomoćni pigment, koji prikuplja energiju kako bi prešao u klorofil *a* (Pevalek-Kozlina, 2003).



**Slika 1.** Razlika između klorofila a i b

Izvor: <https://qforquestions.com/photosynthetic-pigments/>

Peti ili ciklopentanonski prsten E imaju svi prirodni klorofili te se temelje na strukturi koja je poznata pod nazivom feofitin. Klorini to jest klorofil a i njegovi derivati po strukturi su dihidroporfirni (Houghton J.D, 1996.). Prije otprilike 3,5 milijardi godina se pojavio fotosintetski sustav bez kisika, a prije dvije milijarde godina je fotosinteza s kisikom postala važan proces. Jedini važni biološki process u kojem se djelovanje energije Sunčevog zračenja anorganske tvari mogu pretvoriti u organske spojeve. (Berg i sur., 2013.).

Njemački znanstvenik Richard Willstätter je izolirao i pročistio klorofil *a* i *b*, osvojio je Nobelovu nagradu 1915. godine za otkrivenje kemijske strukture klorofila u formi mreže atoma, ugljika, vodika i kisika koji okružuju jedan atom magnezija (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2018.).

Prijelazi fluorescencije, poznatiji su kao Kautskyjeve krivulje koje prikazuju fotosintetske organizme u različitim uvjetima te se mogu analizirati kako bi pružili detaljnije informacije o strukturi, konfirmaciji i funkciji fotosintetskog aparata, posebice fotosustava (PS) II (Strasser i sur., 2004.). Povećanja prinosa fluorescencije klorofila *a* u vremenskom razdoblju od oko 1 s dolazi prijenosom fotosintetskog materijala iz tame u svjetlo. Prvi koji su to otkrili bili su Kautsky i suradnici 1960. godine. Količina reduciranog plastokinona ( $Q_A$ ) je povezana s

fluorescencijom, sama krivulja i rast fluorescencije većinom su određeni redoks stanjem  $Q_A$  (Strasser and Stribet, 2001.).

Fluorescencija klorofila *a* je brz, neinvazivan, nedestruktivan i informativan alat za proučavanje fiziološkog stanja fotosintetske aktivnosti. Omogućuje analizu pojedinačnih životnih procesa i razumijevanje reakcije biljke na fluktuacije u okolišnim uvjetima (Kalaji i sur., 2008.). Fluorescencija klorofila *a* je vrlo moćno oruđe za nerazorno proučavanje fotokemijskih i nefotokemijskih procesa (Roháček i sur., 2008.). Analiza fluorescencije klorofila postala je jedna od najmoćnijih i široko korištenih tehnika dostupnih filozofima biljaka i ekofiziolozima (Maxwell i sur., 2000.). Fluorescencija klorofila *a* osigurava osvrt na fiziološko stanje fotosintetskog aparata bilo kojeg fotosintetskog materijala.

Za mjerenje prinosa fluorescencije klorofila potrebno je znati razlikovati fotokemijske i nefotokemijske doprinose. Najčešći način je “isključiti” jednog od dva suradnika, u većini slučajeva fotokemiju kako se prinos fluorescencije u prisutnosti drugog može utvrditi (Bradbury i Baker, 1981.).

Gamon i sur. (2001.) su proveli istraživanje fotosintetske aktivnosti u oplodnim i neplodnim suncokretima koristeći jednostavan model učinkovitosti upotrebe svjetlosti zasnovan na optičkim mjerenjima. Model je imao dvije komponente: (1) apsorbirana fotosintetski aktivno zračenje (APAR) i (2) učinkovitost zračenja. APAR je bio produkt fotosintetske gustoće fotonog toka (PPFD) i apsorpcije lišća, koja je izvedena iz refleksije lista. Pretpostavlja se da je učinkovitost upotrebe zračenja konstantna ili da joj je dopušteno da se linearno razlikuje od fotokemijskog indeksa refleksije, mjere pigmentacijske aktivnosti ksantofilskog ciklusa. Kad se pretpostavlja da je učinkovitost konstantna, model je precijenio stope fotosinteze u gornjim slojevima nadstrešnice izloženim izravnim PPFD-om, posebno u neplodnom nadstrešnici zbog veće fotosintetske regulacije koja je povezana s višim razinama fotoprotektivnih (de-epoksidiranih) pigmenata ksantofilskog ciklusa u tim uvjetima. Kad je učinkovitost dopuštena da varira ovisno o PRI, modelirane brzine fotosinteze usko su se podudarale s izmjerenim stopama za sve slojeve nadstrešnice u oba tretmana. Ovi rezultati pokazuju važnost razmatranja smanjene učinkovitosti korištenja zračenja zbog regulacije fotosinteze pri modeliranju fotosinteze iz refleksije i pokazuju potencijal otkrivanja učinkovitosti zračenja pomoću listova optičkih svojstava.

## 2.2. Agronomska svojstva suncokreta

Gready i sur. (2013) smatraju da se siromaštvo i glad u svijetu i dalje povećava te procjenjuju kako bi se do 2050. godine trebala udvostručiti proizvodnja hrane čime bi se zadovoljili zahtjevi svjetske populacije. Posljednjih desetljeća veliki dio povećanja prinosa prehrambenih usjeva nastao je uzgojem kultivara tolerantnih na bolesti ili stres uzrokovan okolišnim čimbenicima. Ističe se kako će sljedeća velika promjena u produktivnosti usjeva, potrebna za podmirivanje globalnih zahtjeva, proizaći iz povećanja fotosintetske učinkovitosti usjeva uz bolje korištenje neograničenog unosa sunčeve svjetlosti i ugljičnog dioksida iz zraka. Ključni faktor koji ograničava fotosintetsku učinkovitost usjeva je učinkovitost enzima Rubisco, koji sudjeluje u pretvaranju ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) u organske spojeve bogate energijom. Također Rubisco fiksira kisik u konkurentnoj reakciji koja troši ugljik i energiju te se na taj način povećava konkurentna reakcija na višim temperaturama.

Asharf i sur. (2013.) i Plesničar i sur. (1994.) navode kako stresna okruženja poput saliniteta, suše i visoke temperature uzrokuju promjene u fizioloških, biokemijskih i molekularnih procesa u biljkama. Fotosinteza je osnovni i kompleksan fiziološki proces koji se odvija u svim zelenim biljkama te se smatra ozbiljno ugroženim procesom u svim stresnim okruženjima. Budući da mehanizam fotosinteze uključuje različite komponente, uključujući fotosintetičke pigmente, sustav elektrona i putove smanjenja emisije CO<sub>2</sub>, svaka šteta na bilo kojoj razini koji uzrokuje stres može smanjiti ukupnu fotosintetičku sposobnost same biljke.

Martínez-Noël i sur. (2015.) navode kako razdoblje suše za vrijeme razvoja zrna često smanjuje prinos. Glavni faktor koji utječe na to je fotosinteza, budući da su rezervne tvari u stabljikama (saharoza, heksoza i škrob) prilično niske. Također smatraju kako bi suncokret mogao potencijalno predstavljati plodonosnu vrstu, što bi moglo dovesti do poboljšanja njegove učinkovitosti kao usjeva.

Balalić i sur. (2007.) su proveli istraživanje u kojem je glavni cilj bio ispitati prinos ulja po jedinici površine. Proveli su istraživanja na tri hibrida suncokreta (Miro, Rimi, Pobjednik) kako bi odredili učinak sjetve na prinos ulja. Pokus je sijan u osam navrata kroz dva vegetacijska razdoblja. Zaključili su daje na prinos ulja utjecala godina rasta (91,5% ), dok je utjecaj datuma sjetve na prinos iznosio svega 4,3 %.

Liović i sur. (2021.) u proveli poljski pokus (2017. – 2019.) na 18 hibrida suncokreta s ciljem procjene interakcije genotip x okolina za prinos zrna i sadržaj ulja pomoću AMMI analize. Dokazano je kako je interakcija genotip x okolina (41,72 %) imala najveći utjecaj na prinos zrna, zatim genotip (20,75 %) i okolina (2,10 %). Hibridi 4, 10, 17 i 11 su se istaknuli po visini prinosa zrna i stabilnosti. Suprotno tome, genotip (52,82 %) je imao najveći utjecaj na sadržaj ulja, iza kojeg su slijedile okolina (23,02 %) i interakcija genotip x okolina (17,27 %). Istaknuli su se hibridi 8, 13, 17, 6 i 16 s obzirom na visinu sadržaja ulja i stabilnost.

U razdoblju 1999. – 2018. godine uzgajano je u prosjeku 32 741 ha suncokreta s prosječnim prinosom zrna 2,54 t/ha. Najviše suncokreta se posijalo 1999. godine (49 769 ha), dok je najveći prinos zrna postignut 2013. godine (3,20 t/ha). Proizvodnju su karakterizirale velike varijacije kako u pogledu površina, tako i prinosa zrna. U prilog mogućnosti intenzivnijeg povećanja površina i prinosa zrna suncokreta u Hrvatskoj idu agroekološki uvjeti, veliki izbor hibrida, mogućnost proširenja plodoreda s dodatnom kulturom, zadovoljavajući prinos zrna u odnosu na ostale zemlje Europske unije, preradni kapaciteti te sigurnost otkupa zrna (Mijić i sur., 2021).

Pospišil i sur. (2001.) navode kako je suncokret kultura koja je ograničena uzgojem uglavnom u istočnoj Slavoniji i Baranji. Cilj istraživanja je bio utvrditi ekonomske osobine novih domaćih i stranih hibrida suncokreta u agroekološkim uvjetima zapadne Slavonije. Tijekom 1998. 1999. i 2000. godine provedena je procjena 48 domaćih i stranih hibrida suncokreta na lokaciji Nova Gradiška. Utvrđene su značajne razlike u potencijalnoj plodnosti za prinos sjemena i sirovog ulja. Visoki udio ulja u sjemenu (53 – 56 % na suhu tvar) imali su hibridi: Sc 648 i Lucil u 1998., AO 5413 i Inagri 104 u 1999., Sc 655 i Sc 664 u 2000. godini. Hibridi Anasol i Candisol 1998. godine su se istakli po visokom prinosu sjemena i sirovog ulja po hektaru, Anasol i Inagri 104 u 1999. godini te Alzan i Opera u 2000. godini. Među pet hibrida na kojima je provedeno istraživanje kroz sve tri godine Util je dobio najveći prinos sirovog ulja (1,61 t/ha).

Razi i sur. (1998.) su proveli istraživanje u svrhu proučavanja međusobnih odnosa između agronomskih i sjemenskih obilježja te njihovih izravnih i neizravnih učinci na prinos sjemena po biljci u normalnih i ograničenim uvjetima navodnjavanja. 1996. godine na Eksperimentalnoj stanici Poljoprivrednog fakulteta Sveučilišta Shiraz u Badjgahu provedena su 2 pokusa. Četrnaest biljaka suncokreta (*Helianthus annuus* L.) od kojih je 8 hibrida i 6 sorti postavljeni su u dva randomizirana cjelovita dizajna bloka s četiri ponavljanja. Dva su se pokusa razlikovala



u načinu navodnjavanja. Većina znakova, uključujući prinos sjemena i sadržaj ulja, pokazala je značajne genotipske i fenotipske pojave varijacije. Vodeni stres značajno je smanjio prinos i njegove komponente, međutim sadržaj ulja se nije razlikovao značajno. Genotipske i fenotipske korelacije pokazale su da prinos sjemena ima značajne pozitivne korelacije s danima do cvatnje, danima do fiziološke zrelosti, promjerom glavice, visinom biljke, masom 1000 sjemenki i prinosom ulja pod normalnim i ograničenim navodnjavanjem. Prinos sjemena imao je značajne korelacije sa sadržajem ulja i postotkom zrna pod normalnim režimom navodnjavanja, dok su te korelacije u velikoj mjeri smanjene u stresnim uvjetima i bile su nije značajno. Najveći izravan učinak pokazao je masa 1000 sjemena i broj napunjenih sjemenki po glavi u normalnim i ograničenim okruženjima za navodnjavanje. Najmanji izravni učinak pronađen je na visinu biljke i sadržaj ulja u normalnim i stresnim okruženjima.

### **2.3. Agroekološki uvjeti za proizvodnju suncokreta**

#### *2.3.1 Temperatura*

Toplina je važna u razvoju životnog procesa od klijanja pa sve do sazrijevanja. Od nicanja do cvatnje se povećava potreba za toplinom. Mlade biljke podnose i kratkorajni mraz od  $-8^{\circ}\text{C}$  (Vratarić i sur., 2004.).

Za suncokret je minimalna temperatura  $3^{\circ}\text{C}$  za klijanje, ali na toj temperaturi sporo klije i niče. U fazi intenzivnog porasta prosječna dnevna temperatura treba biti oko 20 do  $22^{\circ}\text{C}$ . Pri temperaturi manjoj od  $16^{\circ}\text{C}$  smanjuje se postotak ulja u sjemenu (Vratarić i sur., 2004.).

#### *2.3.2 Svjetlost*

Važnost sunčeva svjetla za rast i razvoj suncokreta je opće poznata. Određeni dijelovi sunčevog spektra imaju karakteristično djelovanje. Bez vidljivih sunčevih zraka fotosinteza se ne može obaviti, sunčeve zrake od 600 do 700 nm su važne za apsorpciju sunčevog svjetla u klorofilu, a za fotosintetsku asimilaciju ugljika sa zonom 500 do 700 nm zraka. U početku se smatralo da je suncokret biljka kratkog dana. Voli svjetlo i njen rast i razvoj ne ovisi toliko o duljini dana koliko o količini i kvaliteti sunčevog svjetla (Vratarić i sur., 2004.).

U fazi stvaranja listova je najviše izražena potreba za svjetlosti, nedostatkom svjetla dolazi do smanjenja stabljike i listova te se formira manji broj listova na stabljici i tako dolazi do smanjena prinosa (Gagro, 1998.).

Broj listova na osnovu nasljednih osobina biljke i s osobinom hibrida, dužinom vegetacije i proizvodnog područja, tako da broj listova može biti od 8 do 70. (Slika 2.). Kod formiranja prinosa dužina fotosintetske aktivnosti listova ima glavnu, odnosno odgovarajuću ulogu (Pospišl, 2013.).

Suncokret je biljka koja voli svjetlo, različitim pokusima koji su izvedeni zamračivanjem dokazano je da je osjetljiv na različitu svjetlost. Količina svjetla se mjeri u luksima (Vratarić i sur., 2004.).



**Slika 2.** List suncokreta (Jelušić, M.)

### 2.3.3 Voda

Voda predstavlja jedan od najvažnijih čimbenika, služi kao pogonsko gorivo u svim fiziološkim procesima. Suncokret ima velike zahtjeve za vodom. Zabilježena je fotosinteza kod biljaka suncokreta i kod visokog vodnog stresa. U fazi nalijevanja sjemena i u vrijeme cvatnje je najkritičnija vlaga tla. Suncokret je mnogo bolje podnosi sušu u početku vegetacije do pojave

butona, nego u kasnijim fazama. Najkritičnija faza nedostatka vode je vrijeme oblikovanja glave i nalijevanja zrna. U vrijeme cvatnje se može dogoditi slabija oplodnja, a uzrok tome je suvišna kiša. Na smanjenje uroda zrna i sadržaja ulja u zrnu utječe nedovoljna količina vode u kritičnim fazama razvoja (Vratarić i sur., 2004.).

#### 2.3.4 Tlo

Suncokret je kultura koja se može uzgajati gotovo na svim tipovima tala. Najbolja su tla visoke plodnosti, drenirani dubokim humusnim slojem, neutralne reakcije. Plitka skeletna i pjeskovita tla nisu pogodna za uzgoj suncokreta. Adekvatnu gnojidbu treba provesti na kiselim tlima i tlima siromašnim hranjivima. Tla bi trebala biti duboka i plodna s obzirom da oko 10 t/ha suhe tvari stvara suncokret (Vratarić i sur., 2004.).

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1. Poljski pokus

Pokus je postavljen na Pokušalištu „Tenja“ Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek (Slika 3.). Predkultura suncokretu bio je kukuruz. Prema kemijskoj analizi tla utvrđeno je pH u KCl = 7,27, zatim 2,56% humusa i 12,60 mg/kg fosfora (prema Olsen analizi) te 21,68 mg/kg kalija (prema Al metodi).

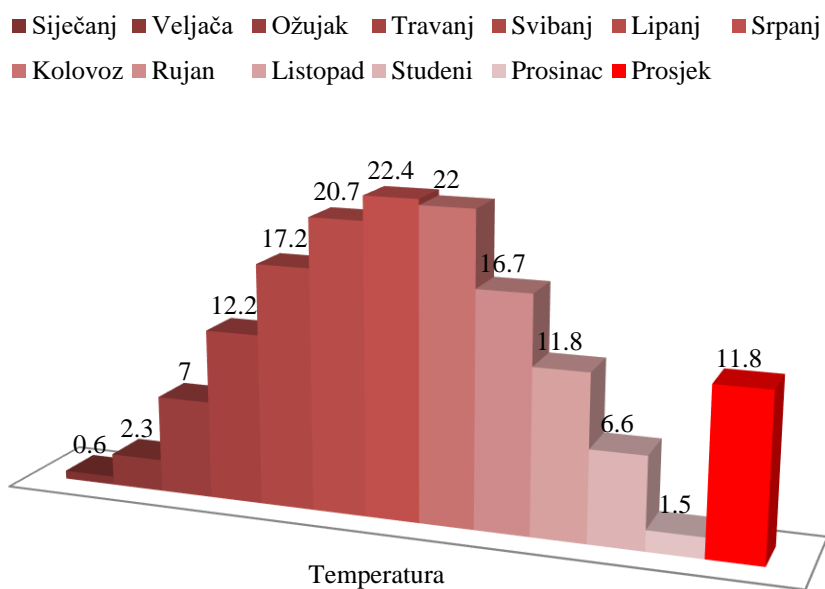


**Slika 3.** Polje suncokreta na pokušalištu „Tenja“ Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek (Jelušić, M.)

U osnovnoj gnojidbi dodano je 250 kg/ha ureje (46 % N), a predsjetvu je dodano još 150 kg/ha ureje. Sjetva je obavljena 22. travnja 2020.godine. U vegetaciji je pri međurednoj kultivaciji (25. 5. 2020. godine) dodano još 200 kg/ha KAN-a (27 % N) kroz prihranu. Zaštita od korova i bolesti je obavljena pravovremeno.

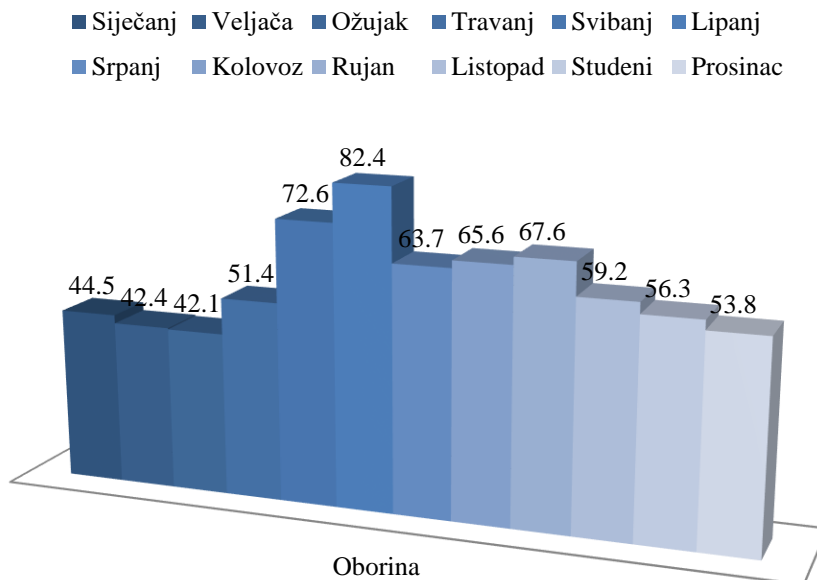
### 3.2. Višegodišnji prosjek vremenskih prilika (1990. – 2019.)

Prema podacima državnog hidrometeorološkog zavoda višegodišnji prosjek temperatura za razdoblje 1990. do 2019. iznosi 11,8 °C (Grafikon 2.). Ljetni mjeseci, srpanj i kolovoz bilježe najviše prosječne mjesečne temperature u višegodišnjem razdoblju od 1990. do 2019. godine na području Osijeka.

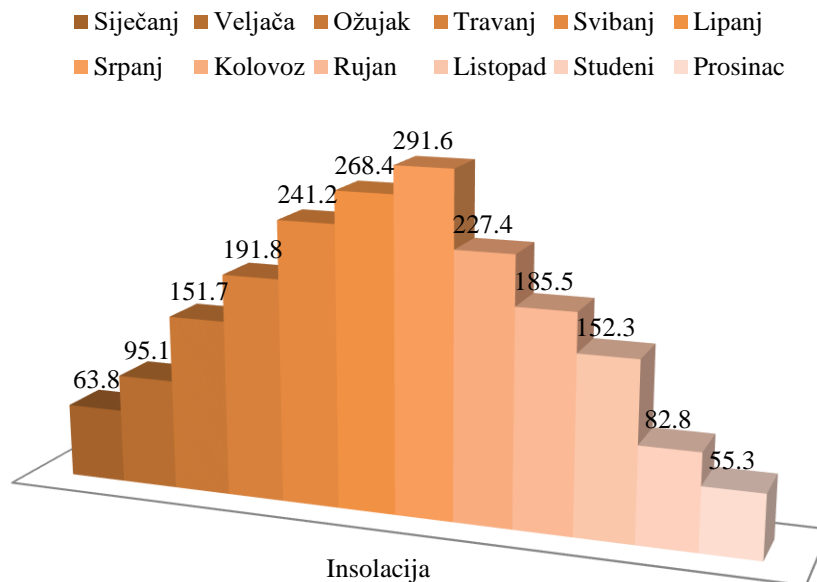


**Grafikon 2.** Višegodišnji prosjek (1990. – 2019.) temperatura (°C), za meteorološku postaju Osijek (Državni hidrometeorološki zavod, postaja Osijek, 2021.)

Ukupna godišnja količina oborina za meteorološku postaju Osijek je iznosila 700,2 mm godišnje (Grafikon 3.). Najviše kiše prosječno je palo u lipnju (82,4 mm), dok je mjesec s najmanje oborina u višegodišnjem razdoblju bio ožujak (42,1 mm).



**Grafikon 3.** Višegodišnji prosjek (1990. – 2019.) oborina (mm), za meteorološku postaju Osijek (Državni hidrometeorološki zavod, postaja Osijek, 2021.)

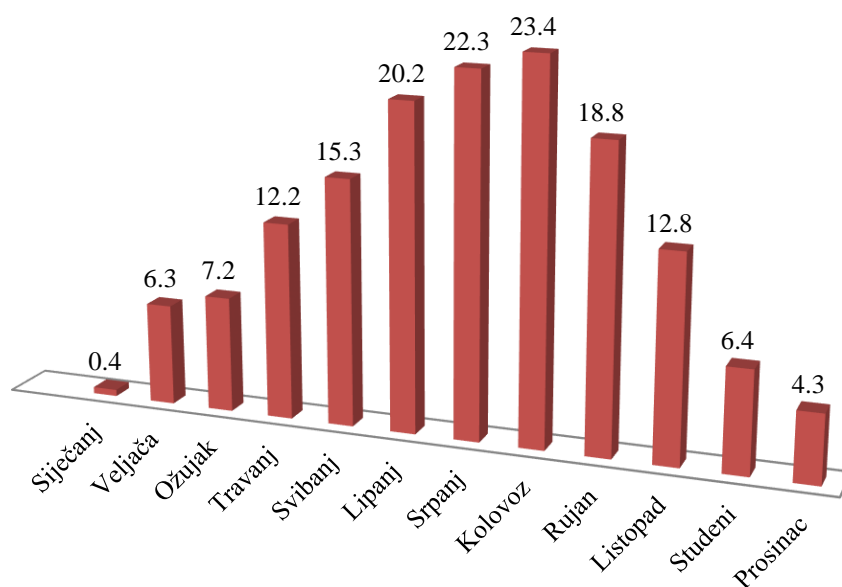


**Grafikon 4.** Višegodišnji prosjek (1990. – 2019.) trajanja sisanja sunca (h), za meteorološku postaju Osijek (Državni hidrometeorološki zavod, postaja Osijek, 2021.)

Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske, višegodišnji prosjek ukupnog broja sunčanih sati za razdoblje od 1990. do 2019. iznosi 2 065,4 h (Grafikon 4.). Ukupna mjesečna insolacija je za područje Osijeka najveća u srpnju (291,6 h).

### 3.3. Vremenske prilike u 2020. godini

Minimalna temperatura za klijanje je 3 °C, a optimalna iznosi 28 °C. Najpovoljnija temperatura za rast i razvoj, a naročito u fazi intenzivnog porasta, cvatnje, oplodnje, nalijevanje sjemena iznosi između 20 i 25 °C. Temperaturom manjom od 15 °C i većom od 25 °C smanjuje se sinteza ulja u sjemenu (Gagro, 1998.). Tijekom rasta i razvoja suncokret zahtjeva veće količine topline i to ga svrstava u subtropsku i tropsku grupu kulturnih vrsta (Vratarić i sur., 2004.).



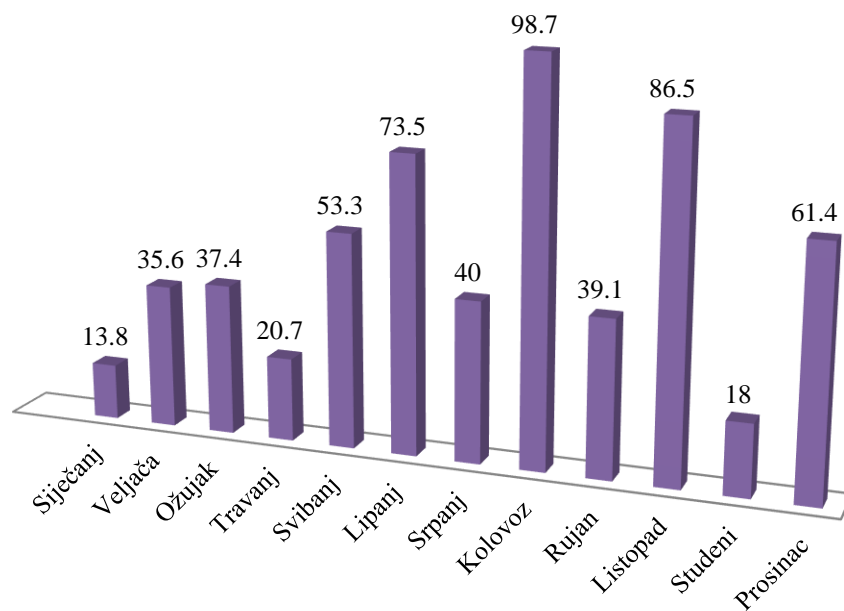
**Grafikon 5.** Srednja dnevna temperatura (°C) – suhi termometar, u 2020. godini.

Državni hidrometeorološki zavod, postaja Osijek (2021.)

Na Grafikonu 5. je prikazana srednja dnevna temperatura (°C). U vrijeme vegetacije od svibnja do rujna najviša dnevna temperatura je iznosila u mjesecu kolovoz prosječno 23,4 °C, a najmanja je bila u početku u mjesecu svibnju 15,3 °C.

Suncokret je biljka koja stvara veliku vegetativnu masu i ima velike zahtjeve za vodom. U fazi oblikovanja glavice i nalijevanja sjemena je najosjetljiviji na nedostatak vode (Gagro, 1998.). Zbog dobro razvijenog korijena dobro podnosi kraću sušu. U drugoj polovici vegetacije odnosno u srpnju i kolovozu veća količina oborina pogoduje širenju bolesti suncokreta koje znatno smanjuju prinos i sadržaj ulja u sjemenu (Pospišl, 2013.).

Prosječna količina oborina godišnje u zapadnim dijelovima 800 do 900 mm, a u istočnim 600 do 700 mm. U periodu od svibnja do rujna, odnosno za vrijeme vegetacije suncokreta, palo je 304,6 mm oborina što je ispod višegodišnjeg prosjeka (Grafikon 6.).

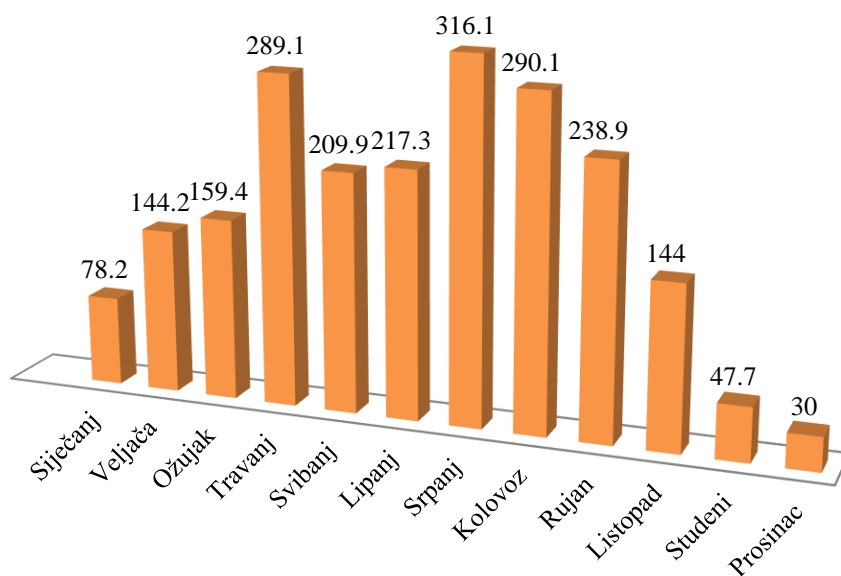


**Grafikon 6.** Mjesečna količina oborina (mm) u 2020. godini..

Državni hidrometeorološki zavod, postaja Osijek (2021.)

Dnevna suma sijana sunca je prikazana je na Grafikonu 6. Potrebe suncokreta za svjetlošću su važne u vrijeme formiranja listova. U travnju, srpnju i kolovozu 2020. godine zabilježeno je najviše sunčanih sati za područje klimatološke postaje Osijek.





**Grafikon 7.** Dnevna suma sijanja sunca (h) u 2020. godini.

Državni hidrometeorološki zavod, postaja Osijek (2021.)

Potrebe biljaka za intenzivnijom svjetlosti i količinom kratkovalnih zračenja osobito su izražene u fazi stvaranja listova. Ukoliko biljka ne usvoji dovoljno svjetla to se odnosi na rast lista, odnosno formira se manji broj listova i smanjuje se prinos (Pospišl, 2013.).

### 3.4. Fluorescencija klorofila *a*

Tijekom vegetacije je u fazi nalijevanja zrna na 16 hibrida određena fotosintetska učinkovitost uz pomoć prijenosnog uređaja Handy PEA (Hansatech UK). Fluorescencije klorofila *a* (Slika 4.) je mjerena u prijepodnevnim satima. Ukupno 10 biljaka za svaki hibrid u fazi cvatnje suncokreta (Schneiter and Miller, 1981.).



**Slika 4.** Uređaj Handy PEA za mjerenje fluorescencije klorofila *a* (Varga, I.)

U jutarnjim satima postavljene su klipse (Slika 5.) na treći dobro razvijeni list ispod glave suncokreta. Fluorescencija klorofila *a* je odrađena 30 minuta nakon postavljanja klipsi na list. Fluorescencija klorofila *a* je metoda kojom se mjeri polifazni rast fluorescencije klorofila *a* u trajanju od 1 sekunde. Navedenom metodom se dobiju informacije o fotosintetskoj učinkovitosti biljke. Nakon mjerenja potrebno je obraditi podatke, odnosno pomoću OJIP testa izračunati

pojedine fotosintetske parametre prema Strasseru i sur. (2004.). Parametri koji su analizirani u ovom istraživanju navedeni su u Tablici 4.



**Slika 5.** Klipse na listu suncokreta (Varga, I.)

**Tablica 4.** Popis parametara fluorescencije klorofila a i OJIP testa (Strasser i sur., 2004).

Oznaka parametra	Opis parametra	Jednadžba parametra
$F_0$	Intenzitet fluorescencije nakon 50 $\mu$ s (korak O)	
$F_m$	Maksimalni intenzitet fluorescencije (korak P)	
$V_j$	Varijabilna fluorescencija na J koraku	$V_j = (F_j - F_0) / (F_m - F_0)$
$V_i$	Varijabilna fluorescencija na I koraku	$V_i = (F_i - F_0) / (F_m - F_0)$
$F_v/F_m = TR_0/ABS$	Maksimalni kvantni prinost fotosustava II	$[1 - (F_0/F_m)]$
$RC/CS_0$	Gustoća aktivnih reakcijskih središta	$F_v/F_m \times (V_j/M_0) \times ABS/CS_0$
$ABS/RC$	Apsorpcija po aktivnom reakcijskom središtu	$M_0 \times (1/V_i) \times [1 / (F_v/F_m)]$
$TR_0/RC$	Protok uhvaćenih fotona po aktivnom reakcijskom središtu	$M_0 \times (1/V_i)$
$ET_0/RC$	Elektronski transport po aktivnom reakcijskom središtu	$M_0 \times (1/V_i) \times (1 - V_i)$
$DI_0/RC$	Rasipanje po aktivnom reakcijskom središtu	$(ABS/RC) - (TR_0/RC)$
$RC/ABS$	Omjer koncentracije klorofila reakcijskih središta i koncentracije antena klorofila	$(RC/TR_0) \times (TR_0/ABS) = [(F_j - F_0) / 4 (F_{300\mu s} - F_0)] \times (F_v/F_m)$
$TR_0/DI_0$	Omjer protoka uhvaćenih fotona i rasipanja energije	$TR_0/DI_0 = F_v/F_0$
$ET_0/(TR_0 - ET_0)$	Transport elektrona dalje od primarnog akceptora $Q_A$	$(F_m - F_i) / (F_j - F_0)$
$PI_{ABS}$	Indeks fotosintetske učinkovitosti	$(RC/ABS) \times (TR_0/DI_0) \times [ET_0/(TR_0 - ET_0)]$

### 3.5. Komponente prinosa

Žetva je obavljena ručno, 8. rujna 2020. godine. U žetvi je prikupljeno po 10 biljaka za analizu komponenti prinosa od 16 hibrida te je ukupno analizirano 160 pojedinačnih biljaka (Slika 6.).



**Slika 6.** Stabljika i glava suncokreta (Jelušić, M.)

Na biljkama je određena visina stabljike posebno za svaku biljku i za svaki hibrid, nakon kojeg su odvojene glave od stabljike suncokreta (Slika 7.).



**Slika 7.** Odvajanje glave od stabljike suncokreta (Jelušić, M.)

U Centru za standardizaciju uzoraka Fakulteta agrobitehničkih znanosti Osijek određen je promjer glavice (Slika 8.), posebno za svaku biljku i svaki hibrid.



**Slika 8.** Mjerenje promjera glavice suncokreta (Jelušić, M.)



**Slika 9.** Odvajanje sjemenki od glavice (Jelušić, M.)

Nakon određivanja promjera glavice, čišćenje sjemenki iz glavice suncokreta i odvajanje nečistoća je obavljeno ručno te je spremljeno u papirnate vrećice uz oznaku (Slika 9.). Papirnate vrećice sa sjemenom svake biljke su izvagane. Vaganjem je određena masa očišćenih sjemenki iz glavice suncokreta (Slika 10.).



**Slika 10.** Vaganje (g) sjemenki suncokreta (Jelušić, M.)

Nakon vaganja je pomoću brojača sjemena Contador (Pfeuffer) (Slika 11.) u Laboratoriju za analizu ratarskih usjeva Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek određen broj sjemenki za svaku glavicu pojedinačno. Istim postupkom se određivala i masa tisuću sjemenki iz glavice te se nakon toga ponovo mjerila masa sjemenki.





Slika 11. Masa tisuću sjemenki (Jelušić, M.)

### 3.6. Statistička analiza podataka

Dobiveni podaci su uneseni u Microsoft Excel tablice i pripremljeni za statističku obradu. Statistička obrada podataka je obavljena u računalnom programu Statistica 12.1. Razlike između srednjih vrijednosti su ispitane Fisherovim LSD testom u *post-hoc* analizir te su prikazane na razini  $p < 0,05$ . Razlika između srednjih vrijednosti hibrida su označene pomoću slova.

Korelacijska analiza napravljena je uz prikaz *Pearsonovog* koeficijenta korelacije. Značajnost je označena na razini  $p < 0,05$  (\*),  $p < 0,01$  (\*\*) ili  $p < 0,001$  (\*\*\*)

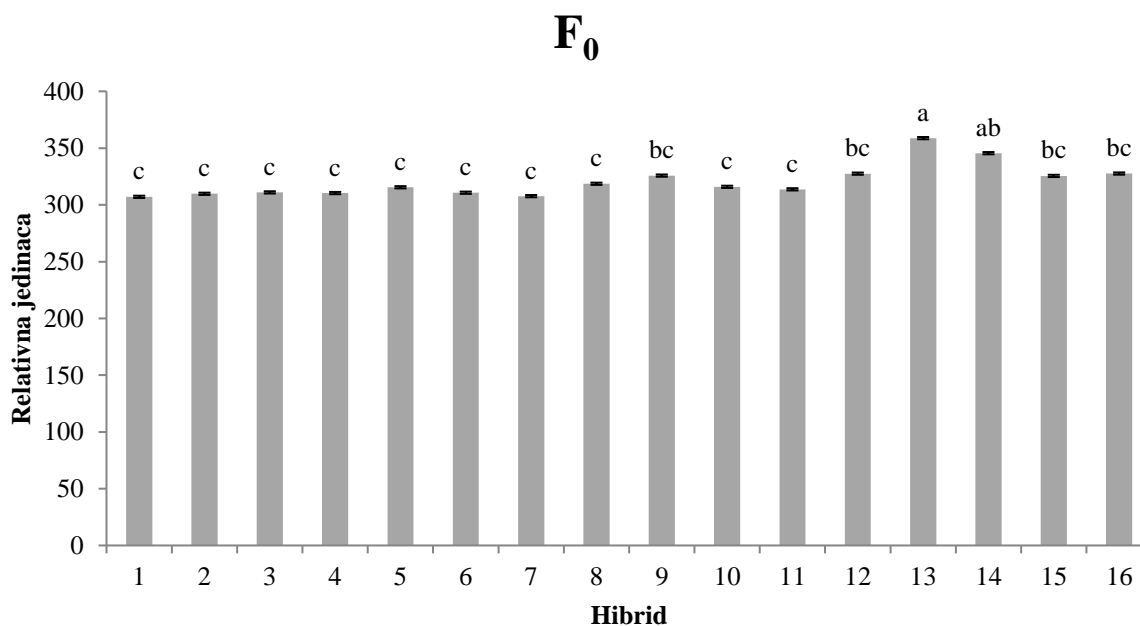
## 4. REZULTATI

### 4.1. Minimalni intenzitet fluorescencije ( $F_0$ )

Grafikon 8. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra minimalni intenzitet fluorescencije ( $F_0$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $F_0$  su se kretale od 310 kod hibrida 1 do 359 kod hibrida 13.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 21,456.



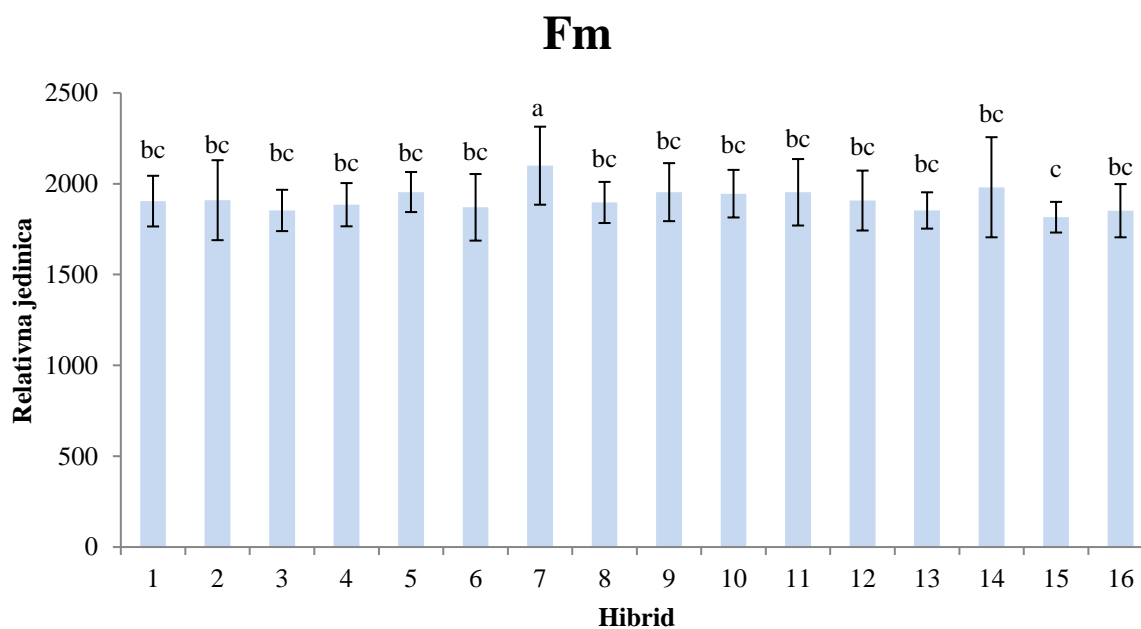
**Grafikon 8.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije minimalnog intenziteta fluorescencije ( $F_0$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

## 4.2. Maksimalni intenzitet fluorescencije ( $F_m$ )

Grafikon 9. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra maksimalni intenzitet fluorescencije ( $F_m$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $F_m$  su se kretale od 1816 kod hibrida 15 do 2100 kod hibrida 7.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 141,611.



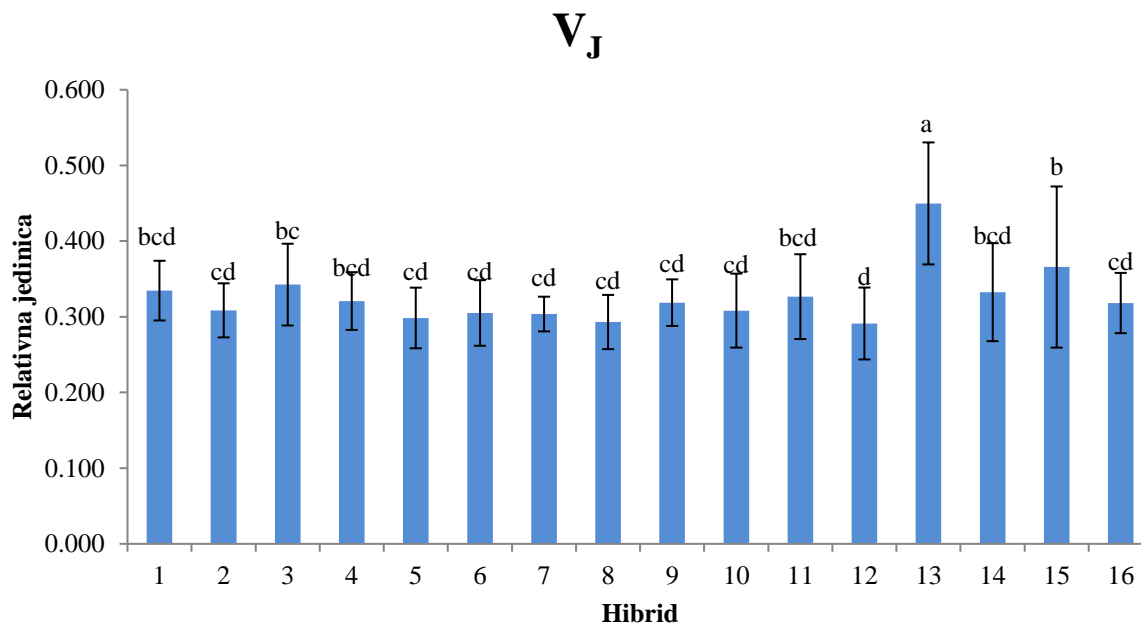
**Grafikon 9.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije maksimalnog intenziteta fluorescencije ( $F_m$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

### 4.3. Varijabilna fluorescencija na J koraku ( $V_J$ )

Grafikon 10. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra varijabilna fluorescencija na J koraku ( $V_J$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $V_J$  su se kretale od 0,291 kod hibrida 12 do 0,450 kod hibrida 13.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,046.



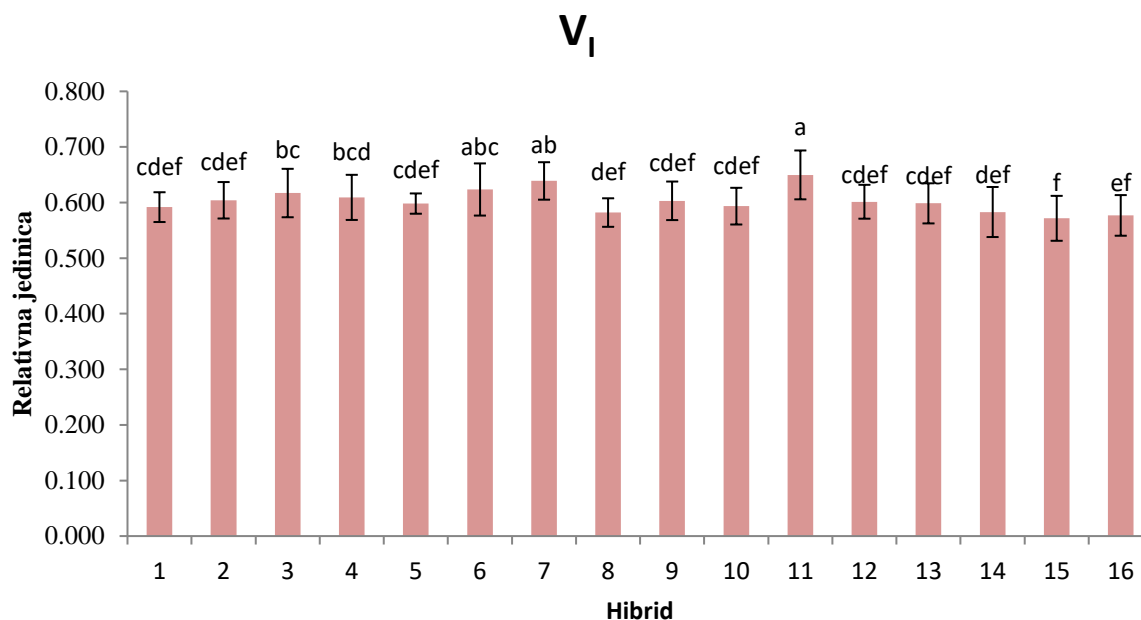
**Grafikon 10.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije varijabilne fluorescencije na J koraku ( $V_J$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.4. Varijabilna fluorescencija na I koraku ( $V_I$ )

Grafikon 11. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra varijabilna fluorescencija na I koraku ( $V_I$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $V_I$  su se kretale od 0,572 kod hibrida 15 do 0,650 kod hibrida 11.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,032.



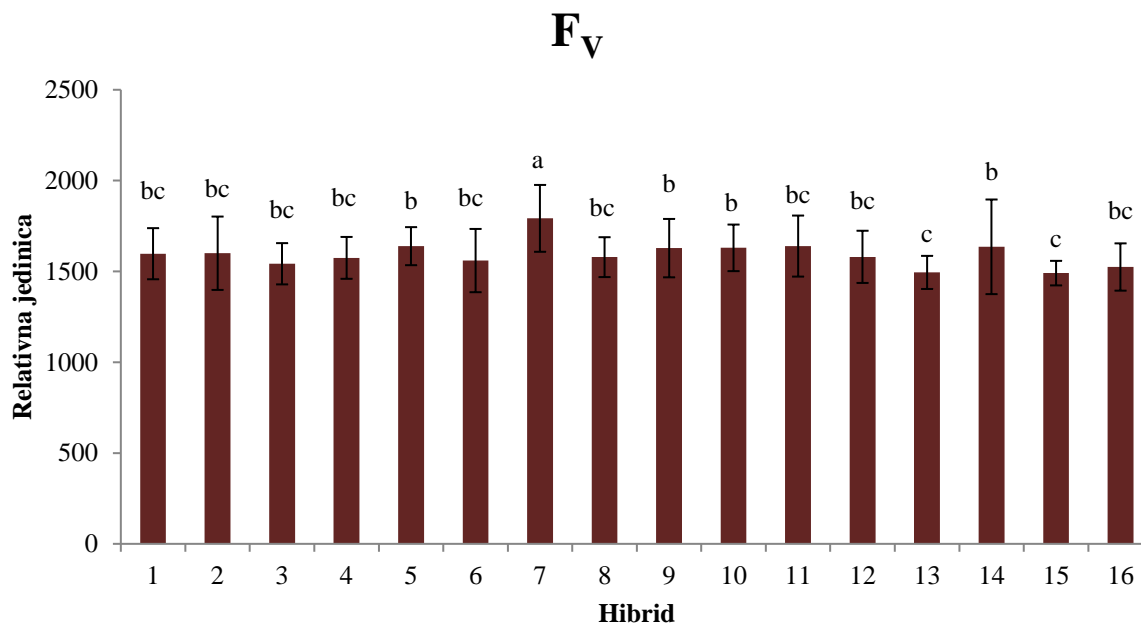
**Grafikon 11.** Grafikon 11. Srednje vrijednosti i standardne devijacije varijabilne fluorescencije na I koraku ( $V_I$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.5. Maksimalna varijabilna fluorescencija (F<sub>v</sub>)

Grafikon 12. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra maksimalna varijabilna fluorescencija (F<sub>v</sub>) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra F<sub>v</sub> su se kretale od 1490 kod hibrida 15 do 1791 kod hibrida 7.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 132.



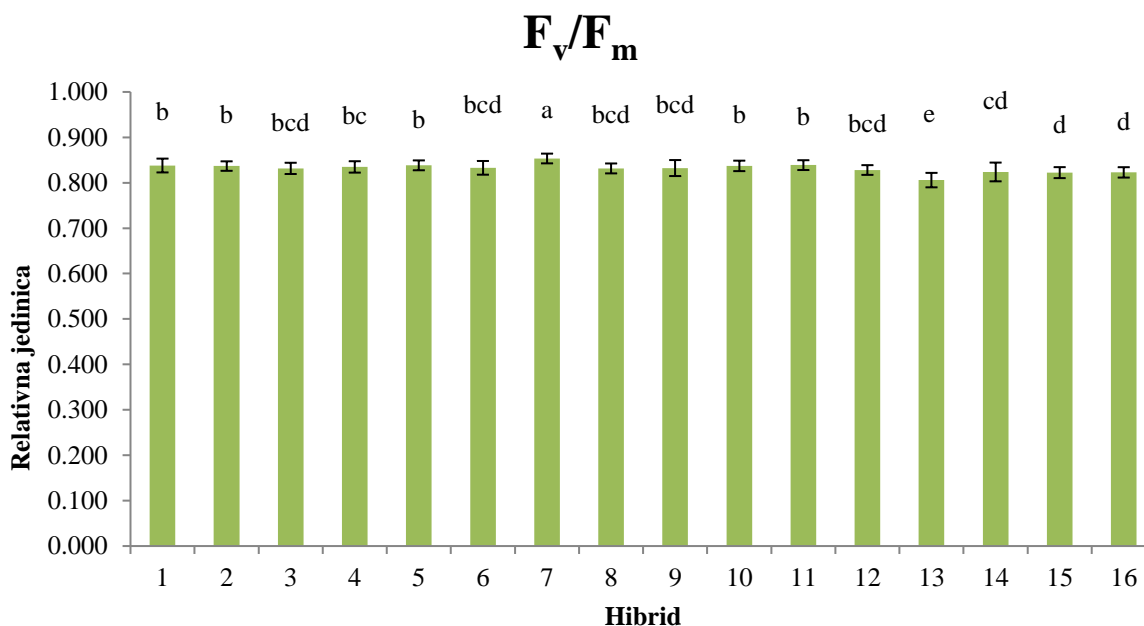
**Grafikon 12.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije maksimalne varijabilne fluorescencije (F<sub>v</sub>) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.6. Maksimalni kvantni prinos fotosustava II ( $F_v/F_m$ ili $TR_0/ABS$ )

Grafikon 13. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra maksimalni kvantni prinos fotosustava II ( $F_v/F_m$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $F_v/F_m$  su se kretale od 0,806 kod hibrida 13 do 0,854 kod hibrida 7.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,012.



**Grafikon 13.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije maksimalnog kvantnog prinosa fotosustava II ( $F_v/F_m$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

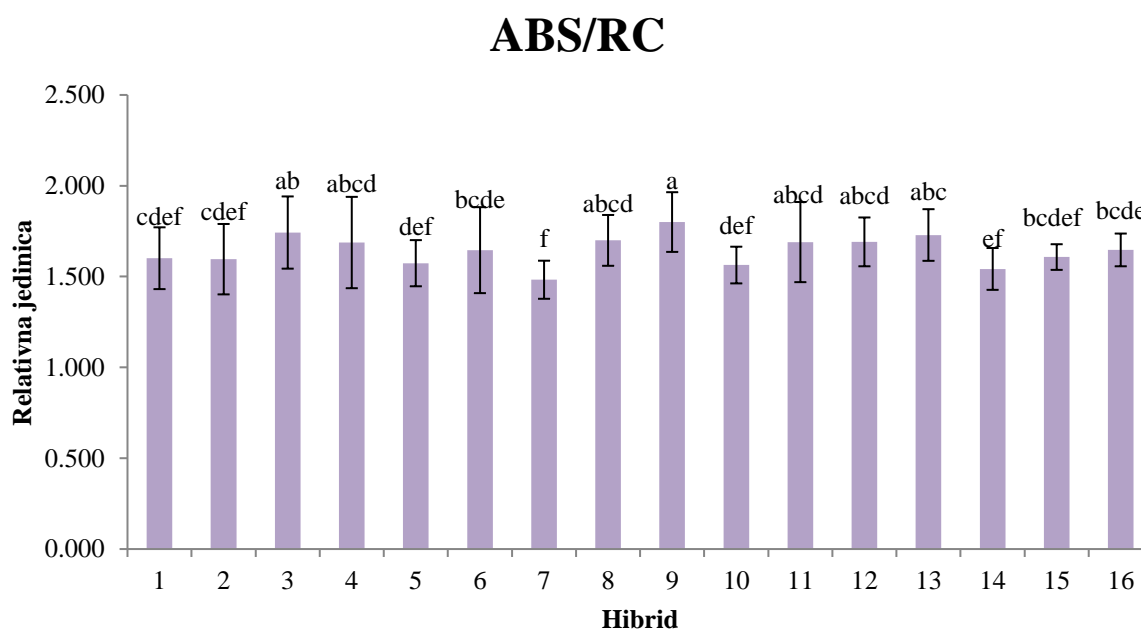


#### 4.7. ApSORPCIJA po aktivnom reakCIJSKOM SREDIŠTU (ABS/RC)

Grafikon 14. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra apSORPCIJA po aktivnom reakCIJSKOM SREDIŠTU (ABS/RC) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra ABS/RC su se kretale od 1,483 kod hibrida 7 do 1,800 kod hibrida 9.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,142.



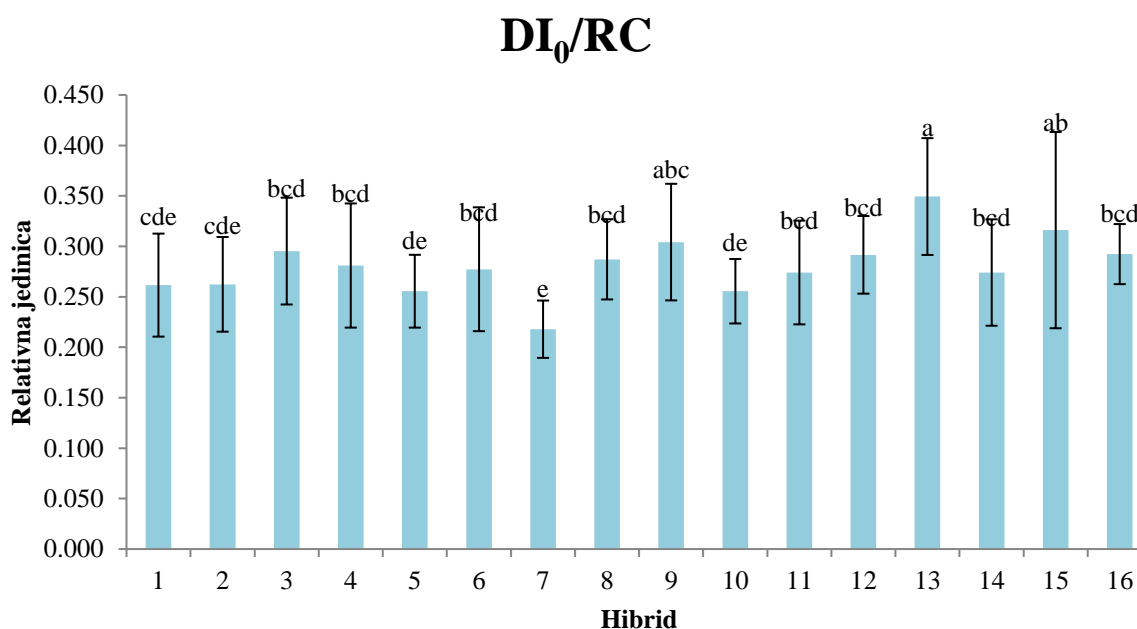
**Grafikon 14.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije apSORPCIJE po aktivnom reakCIJSKOM SREDIŠTU (ABS/RC) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,5$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.8. Rasipanje po aktivnom reakcijskom središtu ( $DI_0/RC$ )

Grafikon 15. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra rasipanje po aktivnom reakcijskom središtu ( $DI_0/RC$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $DI_0/RC$  su se kretale od 0,218 kod hibrida 7 do 0,349 kod hibrida 13.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,046.



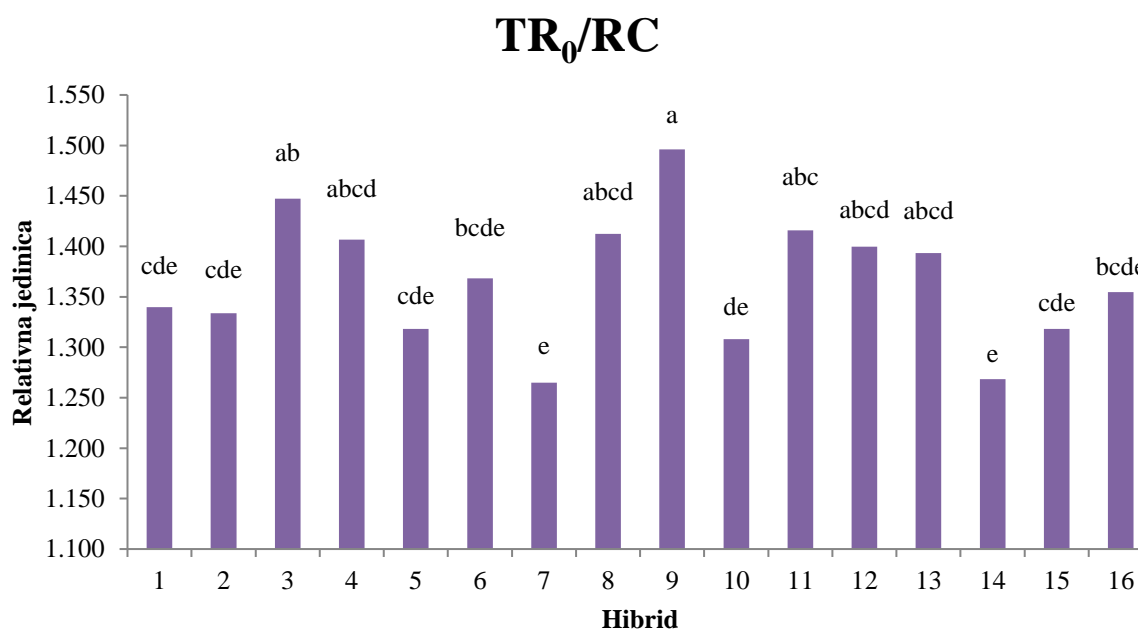
**Grafikon 15.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije rasipanja po aktivnom reakcijskom središtu ( $DI_0/RC$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.9. Protok uhvaćenih fotona po aktivnom reakcijskom središtu ( $TR_0/RC$ )

Grafikon 16. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra protok uhvaćenih fotona po aktivnom reakcijskom središtu ( $TR_0/RC$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $TR_0/RC$  su se kretale od 1,265 kod hibrida 7 do 1,500 kod hibrida 9.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,106.



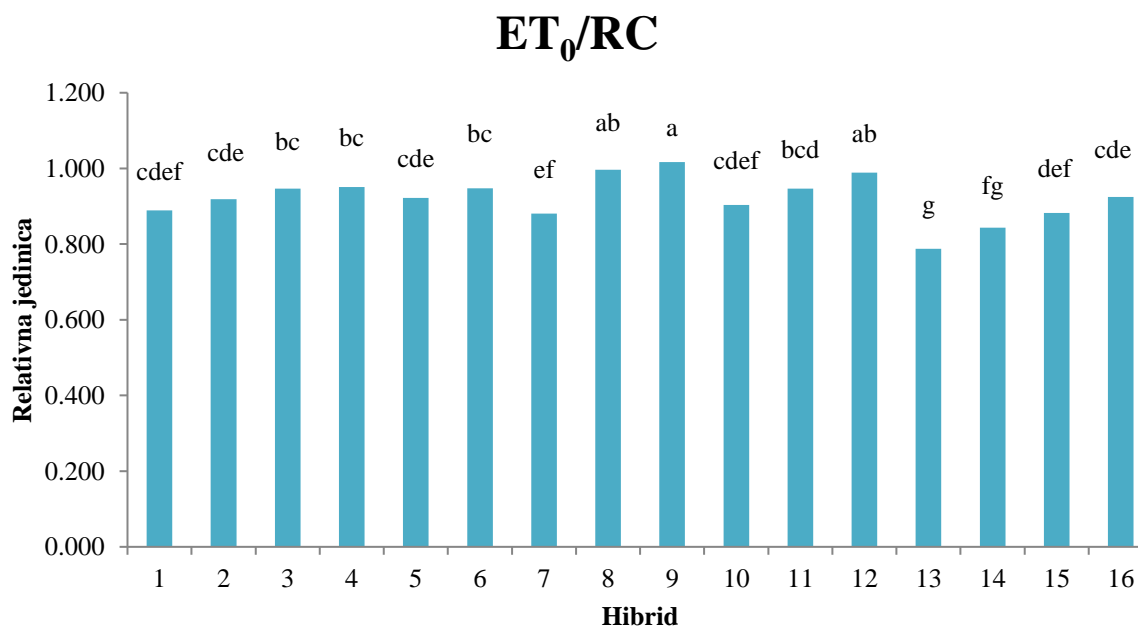
**Grafikon 16.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije protoka uhvaćenih fotona po aktivnom reakcijskom središtu ( $TR_0/RC$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.10. Elektronski transport po aktivnom reakcijskom središtu ( $ET_0/RC$ )

Grafikon 17. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra elektronski transport po aktivnom reakcijskom središtu ( $ET_0/RC$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $ET_0/RC$  su se kretale od 0,788 kod hibrida 13 do 1,017 kod hibrida 9.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,063.



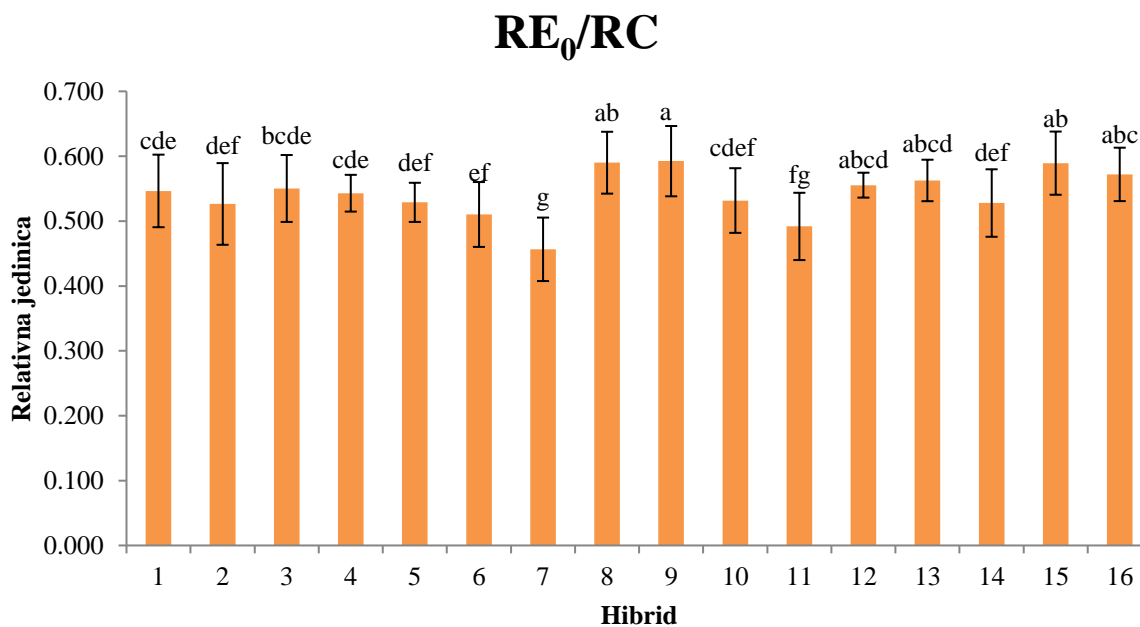
**Grafikon 17.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije elektronskog transporta po aktivnom reakcijskom središtu ( $ET_0/RC$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu značajno različite.

#### 4.10. Protok energije koji reducira krajnje akceptore elektona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $RE_0/RC$ )

Grafikon 18. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra protok energije koji reducira krajnje akceptore elektona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $RE_0/RC$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $RE_0/RC$  su se kretale od 0,457 kod hibrida 7 do 0,592 kod hibrida 9.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,041.



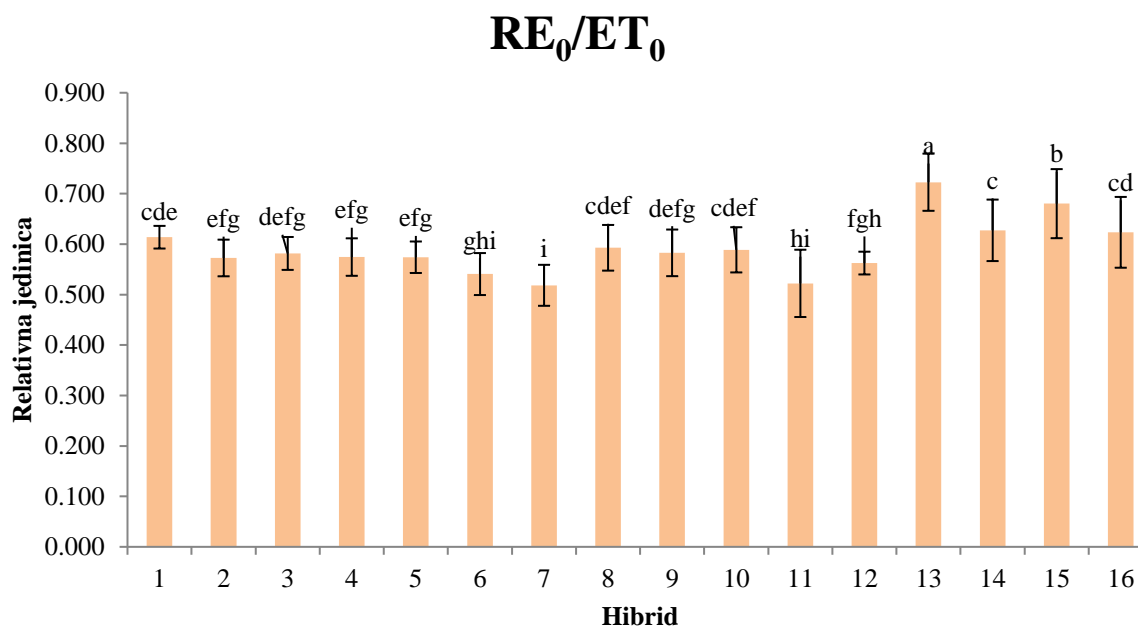
**Grafikon 18.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije protoka energije koji reducira krajnje akceptore elektona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $RE_0/RC$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,5$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.11. Učinkovitost kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I ( $RE_0/ET_0$ )

Grafikon 19. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra učinkovitost kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I ( $RE_0/ET_0$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $RE_0/ET_0$  su se kretale od 0,518 kod hibrida 7 do 0,723 kod hibrida 13.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,042.



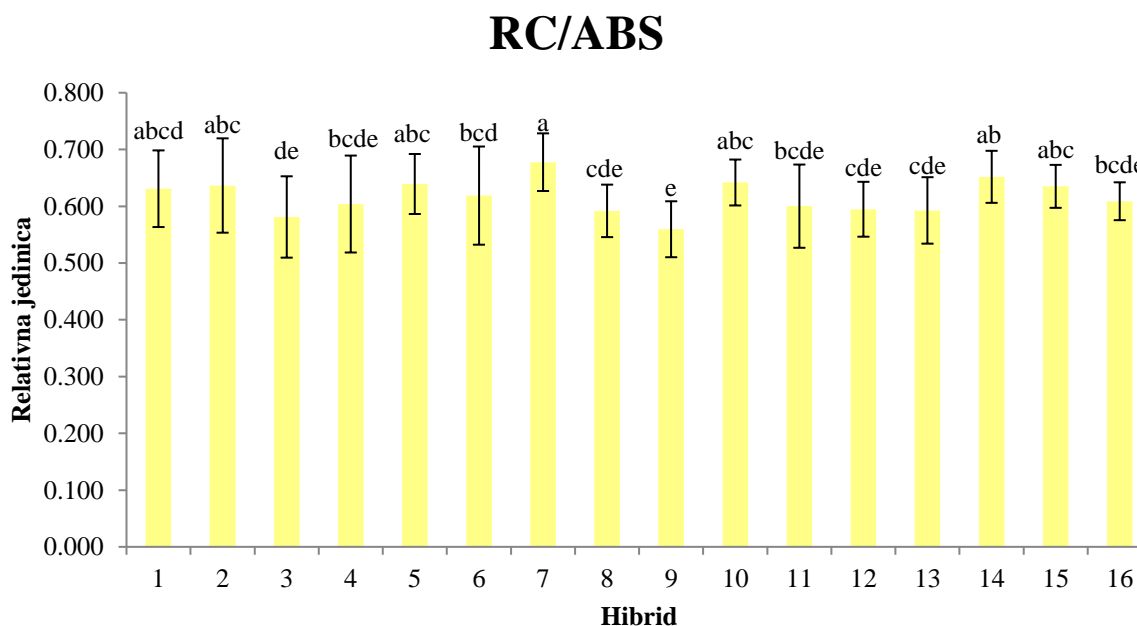
**Grafikon 19.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije učinkovitosti kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I ( $RE_0/ET_0$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.12. Omjer koncentracije klorofila reakcijskih središta i koncentracija antena klorofila (RC/ABS)

Grafikon 20. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra omjer koncentracije klorofila reakcijskih središta i koncentracija antena klorofila (RC/ABS) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra RC/ABS su se kretale od 0,560 kod hibrida 9 do 0,678 kod hibrida 7.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,053.



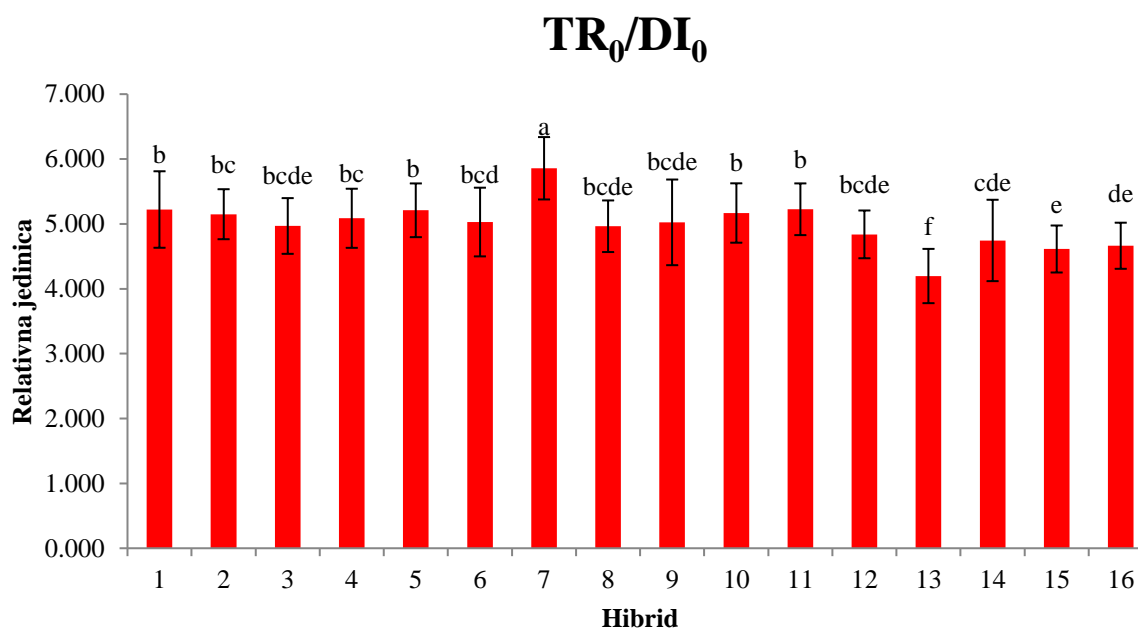
**Grafikon 20.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije omjera koncentracije klorofila reakcijskih središta i koncentracija antena klorofila (RC/ABS) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.13. Omjer protoka uhvaćenih fotona i rasipanja energije ( $TR_0/DI_0$ )

Grafikon 21. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra omjer protoka uhvaćenih fotona i rasipanja energije ( $TR_0/DI_0$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $TR_0/DI_0$  su se kretale od 4,196 kod hibrida 13 do 5,857 kod hibrida 7.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,410.



**Grafikon 21.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije omjera protoka uhvaćenih fotona i rasipanja energije ( $TR_0/DI_0$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

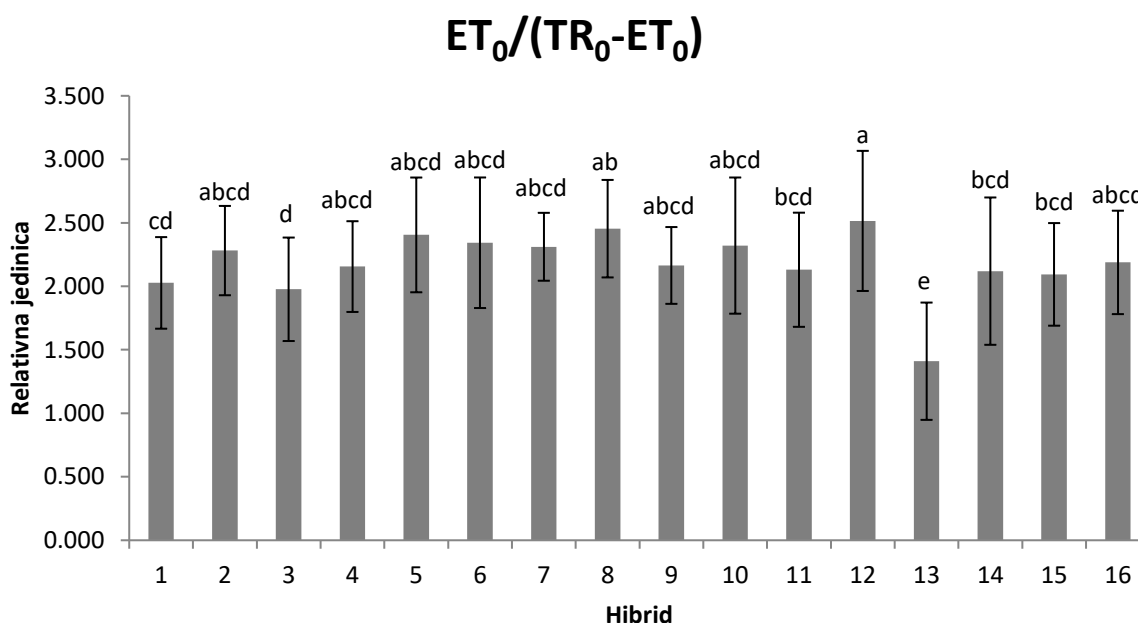


#### 4.14. Transport elektrona dalje od primarnog akceptora $Q_A$ ( $ET_0/(TR_0/ET_0)$ )

Grafikon 22. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra transport elektrona dalje od primarnog akceptora  $Q_A$  ( $ET_0/(TR_0/ET_0)$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $ET_0/(TR_0/ET_0)$  su se kretale od 1,410 kod hibrida 13 do 2,515 kod hibrida 12.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 0,379.



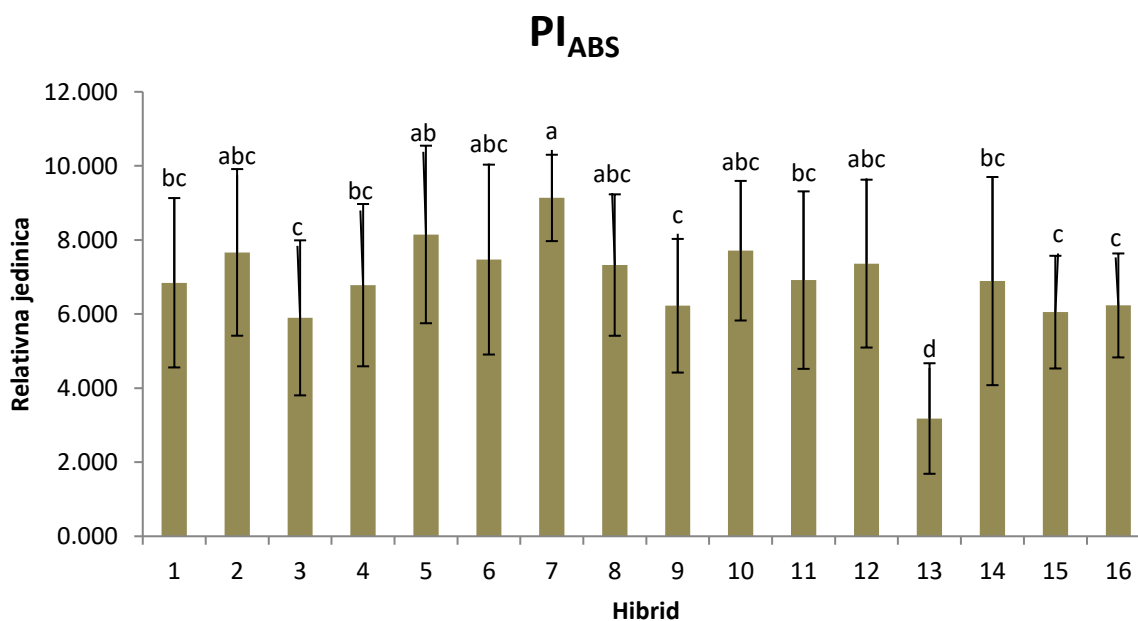
**Grafikon 22.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije transporta elektrona dalje od primarnog akceptora  $Q_A$  ( $ET_0/(TR_0/ET_0)$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.15. Indeks fotosintetske učinkovitosti ( $PI_{ABS}$ )

Grafikon 23. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra indeks fotosintetske učinkovitosti ( $PI_{ABS}$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $PI_{ABS}$  su se kretale od 3,179 kod hibrida 13 do 9,135 kod hibrida 7.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta potvrđena je LSD testom. LSD vrijednosti je iznosila 1,819.



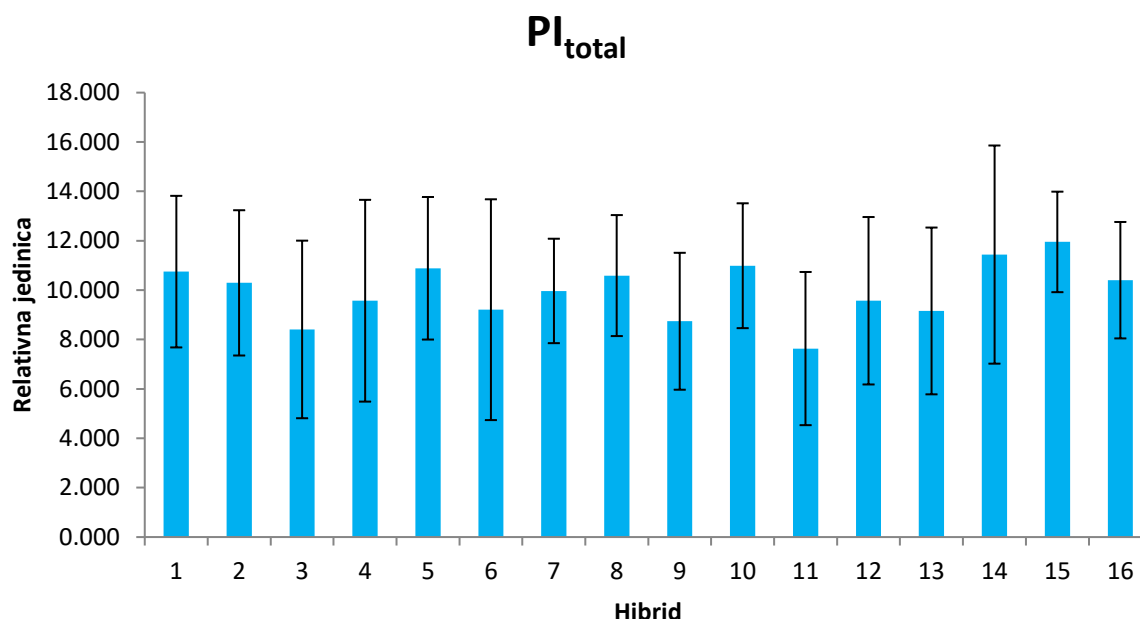
**Grafikon 23.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije indeksa fotosintetske učinkovitosti ( $PI_{ABS}$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.16. Indeks fotosintetske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ )

Grafikon 24. prikazuje srednje vrijednosti, standardne devijacije i LSD test parametra indeksa fotosintetske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ) izraženog u relativnim jedinicama za 16 testiranih hibrida suncokreta.

Srednje vrijednosti parametra  $PI_{total}$  su se kretale od 7,634 kod hibrida 11 do 11,954 kod hibrida 15.

Statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) između srednjih vrijednosti hibrida suncokreta nije potvrđena LSD testom.



**Grafikon 24.** Srednje vrijednosti i standardne devijacije indeksa fotosintetske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.

#### 4.17. Korelacije fluorescencije klorofila *a* i komponenti prinosa suncokreta

Kako bi se utvrdila povezanost između komponenti prinosa suncokreta i pokazatelja učinkovitosti fotosinteze napravljena je korelacijska analiza uz prikaz Pearsonovog koeficijenta korelacije.

Prema korelacijskoj analizi vrlo visoka i značajna korelacija (\*\*\*) utvrđena je za više pokazatelja fotosintetske učinkovitosti (Tablica 5.). Pokazatelji fotosintetske učinkovitosti bili su značajnoj vezi između visine biljke i učinkovitosti kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I ( $RE_0/ET_0$ ) ( $r = 0,536$ ) te visine biljke i indeksa fotosintetske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ) ( $r = 0,541$ ).

Nadalje, broj sjemenki jedne glavice suncokreta je u pozitivnoj i vrlo značajnoj korelaciji s varijabilna fluorescencija na I koraku ( $V_1$ ) ( $r = 0,568$ ) te vrlo visoko značajnoj korelaciji negativnog smjera s protokom energije koja reducira krajnje akceptore elektrona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $r = - 0,644$ ).

Za ostale komponente prinosa uključene u istraživanje korelacije s pokazateljima fotosintetske učinkovitosti nisu bile statistički značajne (ns).

**Tablica 5.** Pearsonov koeficijent korelacije za pokazatelje fotosintetske učinkovitosti (N=16)

Vlasna biljka		Promjer glavice (cm)		Broj sjemenki glavice		Masa 1000 sjemenki glavice (g)		Masa sjemenki glavice (g)		F <sub>a</sub>		F <sub>b</sub>		V <sub>a</sub>		V <sub>b</sub>		F <sub>v</sub>		F <sub>v</sub> /F <sub>a</sub>		ABSRC		DL <sub>1</sub> RC		TR <sub>1</sub> RC		ET <sub>1</sub> RC		RE <sub>1</sub> RC		RCABS		TR <sub>1</sub> DI <sub>1</sub>		ET <sub>1</sub> /TR <sub>1</sub>		PI <sub>1</sub> DI <sub>1</sub>			
Vlasna biljka	1.000																																								
Promjer glavice (cm)	0.000	1.000																																							
Broj sjemenki glavice	0.050	0.317	1.000																																						
Masa 1000 sjemenki glavice	0.118	0.126	0.268	1.000																																					
Masa sjemenki po glavici (g)	0.103	0.610	0.494	0.483	1.000																																				
F <sub>a</sub>	0.294	-0.410	-0.112	-0.196	-0.033	1.000																																			
F <sub>b</sub>	-0.290	0.093	0.345	-0.027	-0.077	-0.199	1.000																																		
V <sub>a</sub>	0.210	-0.056	-0.079	-0.159	0.124	0.667	-0.405	1.000																																	
V <sub>b</sub>	-0.640	0.149	0.568	0.242	0.169	-0.423	0.468	-0.145	1.000																																
F <sub>v</sub>	-0.322	0.085	0.347	0.014	-0.066	-0.387	0.980	-0.514	0.523	1.000																															
F <sub>v</sub> /F <sub>a</sub>	-0.362	0.396	0.255	0.12877	-0.037	-0.852	0.600	-0.722	0.549	0.810	1.000																														
ABSRC	-0.250	-0.276	-0.177	-0.250	-0.050	0.210	-0.519	0.264	0.041	-0.520	-0.637	1.000																													
DL <sub>1</sub> RC	0.157	-0.377	-0.351	-0.226	-0.089	0.685	-0.744	0.709	-0.379	-0.837	-0.905	0.722	1.000																												
TR <sub>1</sub> RC	-0.365	-0.219	-0.121	-0.256	-0.060	0.005	-0.386	0.091	0.186	-0.364	-0.213	0.972	0.545	1.000																											
ET <sub>1</sub> RC	-0.370	-0.190	-0.144	-0.094	-0.240	-0.504	-0.028	-0.702	0.156	0.074	0.371	-0.108	0.620	1.000																											
RE <sub>1</sub> RC	0.333	-0.318	-0.644	-0.388	-0.259	0.364	-0.681	0.247	-0.357	-0.717	-0.616	0.596	0.732	0.482	0.239	1.000																									
RE <sub>1</sub> ET <sub>1</sub>	0.556	-0.140	-0.404	-0.265	-0.024	0.745	-0.561	0.797	-0.712	-0.676	-0.849	0.149	0.733	-0.065	-0.600	0.629	1.000																								
RCABS	0.212	0.352	0.160	0.242	0.036	-0.194	0.500	-0.183	-0.003	0.510	0.414	-0.992	-0.684	-0.970	-0.535	-0.617	-0.114	1.000																							
TR <sub>1</sub> RC	-0.377	0.097	0.277	0.104	-0.0187	-0.803	0.741	-0.664	0.585	0.857	0.892	-0.461	-0.911	-0.242	0.296	-0.684	-0.538	0.445	1.000																						
ET <sub>1</sub> RC	-0.186	-0.049	-0.048	0.114	-0.256	-0.566	0.332	-0.958	0.035	0.425	0.315	-0.304	-0.618	-0.164	0.659	-0.172	-0.091	0.229	0.552	1.000																					
PI <sub>1</sub> DI <sub>1</sub>	-0.233	0.161	0.156	0.169	-0.143	-0.698	0.643	-0.882	0.280	0.744	0.871	-0.619	-0.916	-0.441	0.365	-0.502	-0.788	0.570	0.847	0.865	1.000																				
PI <sub>1</sub> total	0.541	-0.001	-0.403	-0.113	-0.226	0.109	-0.019	-0.100	-0.260	-0.039	-0.074	-0.649	-0.183	-0.724	-0.347	0.213	0.404	0.625	-0.092	0.226	0.234	1.000																			

## 5. RASPRAVA

Pospišl i Fluorescencija klorofila *a* je učinkovita, brza, jednostavna i nedestruktivna metoda koja služi u svrhu procjene učinaka agroekoloških uvjeta okoliša na fotosintetski aparat biljaka (Maxwell Johanson, 2000.). Josipović i sur. (2014.) smatraju kako je mjerenje fluorescencije klorofila *a* vrlo korisna metoda za otkrivanje utjecaja stresova iz okoliša na vitalnost biljaka.

Minimalni intenzitet fluorescencije ( $F_0$ ) se detektira nakon što se tkivo prilagodi tami te se sva reakcijska središta otvorene pri čemu dolazi do potpune oksidacije plastokinona ( $Q_A$ ) (Kalaji i Gao, 2008.). U ovom istraživanju, hibridi 13 i 14 su imali najviše vrijednosti  $F_0$  za razliku od ostalih hibrida čije su vrijednosti bile statistički slične. Maksimalni intenzitet fluorescencije ( $F_m$ ), u odnosu na  $F_0$ , je indikator rada kompleksa koji katalizira oksidaciju vode (OEC). Hibrid 7 se istaknuo s najvišom vrijednosti  $F_m$ , dok je najnižu vrijednost imao hibrid 15, ali se nije statistički značajno razlikovao od ostalih testiranih hibrida. Nadalje, varijabilna fluorescencija na J koraku ( $V_J$ ) se nalazi na otprilike 2 ms, u odnosu na varijabilnu fluorescenciju na I koraku ( $V_I$ ) koja se nalazi na otprilike 30 ms. Vrijednosti  $V_J$  koraka su bile najviše u hibridu 13, a najniže u hibridu 12 što predstavlja njihov trenutni maksimum reduciranog  $Q_A$ . Vrijednosti  $V_I$  koraka su bile između 0,572 (hibrida 15) do 0,650 (hibrida 11) te upućuju na daljnju redukciju  $Q_A$  i  $Q_B$  (Strasser i sur., 2004.). Maksimalna varijabilna fluorescencija ( $F_V$ ) ukazuju na razliku između  $F_m$  i  $F_0$  intenziteta pri čemu je hibrid 15 imao najniži  $F_V$ , u odnosu na hibrid 7 koji je imao najvišu vrijednosti  $F_V$ . Također parametar  $F_V/F_m$  koji označava maksimalni kvantni prinos fotosustava II je određen iz parametara  $F_0$  i  $F_m$  te opisuje učinkovitost primarne fotokemije fotosustava II (Strasser i sur., 2000 N). U ovom istraživanju vrijednosti  $F_V/F_m$  su se kretale od 0,806 do 0,854 čime je potvrđena funkcionalnost fotosintetskog aparata svih hibrida suncokreta jer se prema Bolhar-Nordenkampf i sur. (1989.) smatra ako se vrijednosti  $F_V/F_m$  kreću između 0,75 – 0,85 da biljke karakterizira pravilna funkcionalnost fotosintetskog aparata. Parametar koji je vezan za  $F_V/F_m$  je apsorpcija po aktivnom reakcijskom središtu (ABS/RC) koji predstavlja ukupnu količinu svjetlosti koju molekule klorofila mogu apsorbirati podijeljenu s brojem aktivnih reakcijskih središta (Strasser i sur., 2004.). Niže vrijednosti  $F_V/F_m$  uobičajeno su praćene višim vrijednostima ABS/RC u stresnim uvjetima istraživanja. Suprotno tome, u ovom istraživanju provedenom u jutarnjim satima kada nije bilo naznake stresnim uvjetima, hibrid 7 je imao najvišu vrijednost  $F_V/F_m$  te najniži ABS/RC. Nadalje, smanjenje ABS/RC kod hibrida 7

je praćeno sa smanjenjem protoka uhvaćenih fotona po aktivnom reakcijskom središtu ( $TR_0/RC$ ) koji rezultira redukcijom  $Q_A$ . Ujedno, kod hibrida 7 je došlo do pada disipacije po aktivnom reakcijskom središtu ( $DI_0/RC$ ), protoku energije koji reducira krajnje akceptore elektrona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $RE_0/RC$ ) i učinkovitosti kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I ( $RE_0/ET_0$ ).  $DI_0/RC$  oznaćava omjer totalne disipacije ekscitacijske energije iz svih reakcijskih centara u odnosu na totalni broj aktivnih reakcijskih centara, dok  $RE_0/RC$  i  $RE_0/ET_0$  odražavaju protok elektrona od plastokinola ( $PQH_2$ ) do krajnjih akceptora elektrona fotosustava I. Za razliku od hibrida 7, hibrid 9 su karakterizirale najviše vrijednosti parametara  $ABS/RC$ ,  $ET_0/RC$ ,  $TR_0/RC$  i  $RE_0/RC$ . Prema dosadašnjim istraživanjima kao jedan od najosjetljivijih parametara se pokazao indeks fotosintetske učinkovitosti ( $PI_{ABS}$ ) koji se naziva i indeksom vitalnosti biljke. Njega opisuju tri dodatne parametra: omjer koncentracije klorofila reakcijskih središta i koncentracija antena klorofila ( $RC/ABS$ ), omjer protoka uhvaćenih fotona i rasipanja energije ( $TR_0/DI_0$ ) i transport elektrona dalje od primarnog akceptora  $Q_A$  ( $ET_0/(TR_0/ET_0)$ ) (Strasser i sur., 2004.). Po navedenim parametrima izdvojio se hibrid 13 s niskim vrijednostima te hibrid 7 s visokim vrijednostima. Parametar indeks fotosintetske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ) je jedini parametar u ovom istraživanju kod kojeg nije utvrđena statistićki znaćajna razlika između testiranih hibrida suncokreta.

S obzirom na to da fluorescencija klorofila *a* daje brojne informacije o stanju biljke provedena su mnogobrojna znanstvena istraživanja na različitim kulturama u različitim agroekološkim uvjetima. Tako su Pavlović i sur. (2019.) pomoću parametara fluorescencije klorofila *a* ispitali utjecaj saliniteta na kineskom i bijelom kupusu te kelju, ViljevacVuletić i sur. (2020.) su ispitali utjecaj senescencije na pšenicu, MarkuljKulundžić i sur. (2016.) utjecaj vodenog stresa na biljke suncokreta, Franić i sur. (2018.) utjecaj kadmija na kukuruz te brojni drugi.

Bolhar-Nordenkampf i sur. (1991.) su proveli istraživanje održavaju li biljke na terenu (*Phaseolus vulgaris*, *Zea mays* i *Helianthus annuus*) fotoinhibicijske učinke u prirodnim uvjetima. Korišteni su listovi za određivanje fotokemijskog kapaciteta fotosustava II ( $F_v/F_m$ ) pomoću prijenosnog fluorimetra (PSM, BioMonitor, S.) Za kvalitativniji opis  $F_v/F_m$ , također su uzete u obzir izmjene apsolutnih vrijednosti  $F_0$ ,  $F_m$  kao i vremena poluporasta  $F_m$ . Usporedbom umjetno zasjenjenih biljaka i biljaka “izloženih suncu” ispitan je izravan utjecaj svjetlosti na

fotokemijski kapacitet. U uvjetima niskog to jest slabog prirodnog svjetla razlike nisu bile velike, dok je na dan s punom sunčevom svjetlošću opadanje  $F_v/F_m$  bilo uočljivo u podne u “izloženom suncu” kod sve tri vrste, iako su se apsolutne vrijednosti razlikovale između uspoređenih vrsta. Rezultati pokusa zasjenjivanja i usporedba vrsta dovode do zaključka da se primarno inducirano smanjenje fotokemijskog kapaciteta pojavljuje u podne na lišću izloženom na punoj sunčevoj svjetlosti, djelomično obnova  $F_v/F_m$  odvija se do večeri. Umjetno zasjenjene biljke pokazuju samo malu promjenu fotokemijskog kapaciteta.

Markulj Kulundžić i sur. (2016.) su proveli istraživanje fotosintetske učinkovitosti i temperature lista 13 hibrida suncokreta, mjerena u V6 fazi razvoja biljke. Kako navode pokus je postavljen u posudama po slučajnom bloknom rasporedu, s dva tretmana u tri ponavljanja. Prvi tretman (T1) ispitivani hibrid je održavan na 80% poljskog vodnog kapaciteta (PVK), a u drugom (T2) na 60%. Razlika između tretmana u fotosintetskoj učinkovitosti nisu utvrđene. Utvrđene su statički značajne razlike u fotosintetskoj učinkovitosti između hibrida kao rezultat njihove genetske divergentnosti. Unutar tretmana razlike nisu bile značajne, dok su razlike u temperaturi lista između tretmana bile statistički značajne. S obzirom na fotosintetsku učinkovitost i temperature lista u početnoj fazi razvoja lista autor navodi kako interakcija između hibrida i tretmana nije značajna.



## 6. ZAKLJUČAK

Značaj suncokreta kao uljarice je sve veći u proizvodnji s obzirom da ima veliku ulogu u prehrambenoj industriji. Za uzgoj ima velike potrebe za vodom, ali također i dobro podnosi kraću sušu zbog dobro razvijenog korijenovog sustava, zahtjeva velike količine sunca i topline.

Srednja dnevna temperatura u vrijeme vegetacije najviša je bila u mjesecu kolovozu 23,4 °C, a najmanja u svibnju 15,3 °C. Dnevna količina oborina je u kolovozu iznosila 98,7 mm, što je bilo najviše u razdoblju vegetacije, a namanje u rujnu 39,1 mm. Dnevna suma sijanja sunca je u svibnju bila najniža, svega 209,92 h, a najviša u srpnju 316,1h.

Analiziranjem parametara fotosintetske učinkovitosti u fazi cvatnje hibrida suncokreta utvrđena je statistički značajna razlika između istraživanih hibrida za sve parametre fotosinteze osim za parametar indeksa fototintske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ).

Hibridi suncokreta pokazali različitu osjetljivost na agroekološke uvjete te različit genetski potencijal za rodnost.

Srednje vrijednosti za minimalni intezitet flouescencije ( $F_0$ ) izmjerenim na listovima 16 hibrida kretale su se od 310 do 359. Kod maksimalnog inteziteta flouescencije ( $F_m$ ) srednja vrijednost se kretala od 1816 do 2100. Maksimalna varijabilna flouescencija ( $F_v$ ) srednja vrijednost kreće se od 149 do 1791.

Indeks fotosintetske učinkovitosti ( $PI_{ABS}$ ) srednje vrijednosti parametra  $PI_{ABS}$  su se kretale od 3,179 do 9,135. Indeks fototintske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ) Srednje vrijednosti parametra  $PI_{total}$  su se kretale od 7,634 do 11,954.

Pokazatelji fotosintetske učinkovitosti bili su značajnoj korelacijskoj vezi između visine biljke i učinkovitosti kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I

( $RE_0/ET_0$ ) ( $r = 0,536$ ) te visine biljke i indeksa fototransportske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ) ( $r = 0,541$ ).

Također je broj sjemenki jedne glavice suncokreta pokazao pozitivnu i vrlo značajnu korelaciju s varijabilna fluorescencija na I koraku ( $V_I$ ) ( $r = 0,568$ ) te vrlo visoku značajnu korelaciji negativnog smjera s protokom energije koja reducira krajnje akceptore elektrona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $r = - 0,644$ ).

## 7. POPIS LITERATURE

1. Akter, N., Islam, M. R. (2017.): Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5): 1-17.
2. Aggarwal, A., Sharma, I., Tripathi, B. N., Munjal, A. K., Baunthiyal, M., Sharma, V. 2012. Metal Toxicity and Photosynthesis. U: Itoh, S., Mohanty, P., Guruprasad, K. N. (ur.). *Photosynthesis: Overviews on Recent Progress & Future Perspective*, 229–236.
3. Asharf, M., Harris., P. J. C. (2013.): Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2): 163-190.
4. Balalić, I., Crnobarac, J., Dušanić, N. (2007.): Planting date effects on oil yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, 30(47): 153-157.
5. Baker, N. R. (2008.): Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. *Annual. Review of Plant Biology*, 59(1), 89–113.
6. Berg J. M., Tymoczko J. L., Stryer L. (2013): *Biokemija, Školska knjiga, Zagreb*, 560-561
7. Bolhar-Nordenkamp, H. R., Hofer, M., & Lechner, E. G. (1991.): Analysis of light-induced reduction of the photochemical capacity in field-grown plants. Evidence for photoinhibition? *Photosynthesis Research*, 27(1), 31–39.
8. Bolhar-Nordenkamp, H. R., Long, S. P., Baker, N. R., Öquist, G., Schreiber, U., Lechner, E. G. 1989. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current Instrumentation. *Funct. Ecol.*, 3 (4): 497–514.
9. Bradbury M, Baker NR. (1981.) Analysis of the slow phases of the in vivo chlorophyll fluorescence induction curve. Changes in the redox state of photosystem II electron acceptors and fluorescence emission from photosystems I and II. *Biochimica et Biophysica Acta* 635,542–551.
10. Cecin, I., Fumus, T. de F. (2004.): Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. *Plan Science*, 166(5): 1379-1385

11. Cvejić, S., Jocić, S., Jocković, M., Imerovski, I., Dimitrijević, A., Miladinović, D., Prodanović, S. (2015.): New genetic variability in sunflower inbred lines created by mutagenesis. *Romanian Agricultural Research*, 32: 1-8
12. Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske.
13. FAOStat, 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (pristupljeno 17. 9. 2021.)
14. Franić, Mario; Galić, Vlatko; Mazur, Maja; Šimić, Domagoj Effects of excess cadmium in soil on JIP-test parameters, hydrogen peroxide content and antioxidant activity in two maize inbreds and their hybrid // *Photosynthetica*, 56 (2018), 2; 660-669 doi:10.1007/s11099-017-0710
15. Gagro, M. (1998.): *Industrijsko i krmno bilje*. Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb
16. Gamon, J. A., Field, C. B., Fredeen, A. L., & Thayer, S. (2001.): *Photosynthesis Research*, 67(1/2), 113–125.
17. Gready, J. E., Dwyer, S. A., Evans, J. R. (2013.): *Applying photosynthesis research to improvement of food crops*. ACIAR. 2013.
18. Houghton J.D., Hendry G. A. F. (1996) *Natural Food Colorants*, Springer, str. 131 - 156
19. Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., Nawaz, A. 2018. Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agric Water Manag.*, 201: 152–166.
20. <https://www.biovrt.com/podjela-i-obitelji-biljaka/> (pristupljeno 20. 9.2021.)
21. Josipović, A., Sudarić, A., Lončarić, Z., Kovačević, J., Matoša Kočar, M., Markulj, A., Jurković, V. (2014.): Photosynthetic efficiency of soybean on cadmium contaminated soil. 7th international scientific/professional conference, „Agriculture in nature and environment protection“. Baban, M., Đurđević, B. (ur.). Osijek: Glas Slavonije d.d., Osijek, 201– 205.
22. Kalaji, H. M., Guo, P. (2008.): Chlorophyll Fluorescence: a Useful Tool in Barley Plant Breeding Programs. U: Sánchez, A., Gutierrez, S. J. *Photochemistry Research Progress*. 439–463.
23. Kautsky H, Appel W, Amann H. 1960. Chlorophyllfluorescenz und kohlenaureassimilation. *Biochemische Zeitschrift* 322,277–292

24. Liović, Ivica; Horvat, Dražen; Mijić, Anto; Sudarić, Aleksandra; Duvnjak, Tomislav; Markulj Kulundžić, Antonela Procjena stabilnosti uroda zrna i sadržaja ulja hibrida suncokreta AMMI analizom // *Poljoprivreda*, 27 (2021), 1; 3-10 doi:10.18047/poljo.27.1.1
25. Lužaić, R., Puškadija, Z., Florijančić, T., Opačak, A., Bogut, I., ; Bošković, I., Jelkić D., (2008.): Posjećenost suncokreta (*Helianthus annuus* L.) medonosnom pčelom (*Apis mellifera carnica*) u agro-eko sustavu Baranje., *Krmiva : Časopis o hranidbi životinja, proizvodnji i tehnologiji krme* (0023-4850) 50 (2008), 3; 123-128
26. Markulj Kulundžić, A., Kovačević, J., Viljevac Vuletić, M., Josipović, A., Liović, I., ... Matoša Kočar, M. (2016.): Impact of abiotic stress on photosynthetic efficiency and leaf temperature in sunflower. *Poljoprivreda*, 22(2), 17–22.
27. Martínez-Noël, G., Dosio, G. A., Puebla, A. F., Insani, E. M., & Tognetti, J. A. (2015.): Sunflower: a potential fructan-bearing crop?. *Frontiers in plant science*, 6, 798.
28. Maxwell, K., Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J Exp Bot*, 51 (345): 659–668.
29. Maxwell, K., Johnson, G. N. (2000.): Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J Exp Bot*, 51 (345): 659–668.
30. Mijić, Anto; Liović, Ivica; Sudarić, Aleksandra; Duvnjak, Tomislav; Jug, Danijel; Kranjac, David; Jovović, Zoran; Markulj Kulundžić, Antonela Status and perspectives of sunflower production in Croatia // *Agriculture and Forestry*, 67 (2021), 1; 35-45 doi:10.17707/AgricultForest.67.1.03
31. Mustafa, H.S.B., Mahmood, T., Ullah, A., Sharif, A., Bhatti, A.N., Nadeem, M., Ali, R. 2017. Role of seed priming to enhance growth and development of crop plants against biotic and abiotic stresses. *Bull. Bio. All. Sci. Res.*, 2:2.
32. Nezami, A., Khazaei, H. R., Boroumand, R. Z., & Hosseini, A. (2008.): Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions.
33. Pavlović I.; Mlinarić S.; Tarkovská D.; Oklestkova J.; Novák O.; Lepeduš H.; Vujčić Bok V.; Radić Brkanac S.; Strnad M.; Salo-pek-Sondi B. Early Brassica Crops Responses to Salinity Stress: A Comparative Analysis Between Chinese

- Cabbage, White Cabbage, and Kale. *Front. Plant Sci.* 2019, 10, 450.  
doi:10.3389/fpls.2019.00450
34. Pevalek-Kozlina, B. 2003. Fiziologija bilja. Profil, Zagreb, Hrvatska, 171-178
  35. Plesničar, M., Kastori, R., Petrović, N., & Panković, D. (1994.): Photosynthesis and chlorophyll fluorescence in sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves as affected by phosphorus nutrition. *Journal of Experimental Botany*, 45(7), 919-924.
  36. Pospišil, M. (2013.): Ratarstvo II. dio Industrijsko bilje. Zrinski d.d., Čakovec.
  37. Pospišil, M., Mustapić, Z., Vincetić, D. (2001.): Economic traits of new domestic and foreign sunflower hybrids in western Slavonia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 66(3): 153-160.
  38. Razi, H., & Assad, M. T. (1999.): Comparison of selection criteria in normal and limited irrigation in sunflower. *Euphytica*, 105(2), 83–90.
  39. Roháček, K., Soukupová, J., Barták, M. (2008.): Chlorophyll fluorescence: A wonderful tool to study plant physiology and plant stress. U: Schoefs, B. (ur.), *Plant Cell Compartments Selected Topics*, 1st edition. Kerala - India: Research Signpost, 41-104. ISBN 978-81-308- 0104-9
  40. Schneiter, A. A., Miller, J. F. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.*, 21: 901–903.
  41. Seghatoleslami, M.J., Bradaran, R., Ansarinia, E., Gholamreza Mousavi, S. (2012). Effect of irrigation and nitrogen level on yield, yield components and some morphological traits of sunflower. *Pak. J. Bot.* 44 (5): 1551–1555.
  42. Seiler, G.J., Gulya, T.J., 2016. Sunflower: overview. *Encyclopedia of Food Grains*, second edition. Academic Press, Oxford, pp. 247–253.
  43. Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., Srivastava, A. (2004.): Analysis of the fluorescence transient. U: George, C., Papageorgiou, C., Govindjee (ur.). *Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration Series*. Springer, Dordrecht, 321–362.
  44. Strasser R. J., Stribet AD. (2001.): Estimation of the energetic connectivity of PS II centres in plants using the fluorescence rise O–J–I–P Fitting of experimental data to three different PS II models. *Math Comput Simul* 56:451–461

45. Taiz L. Zeiger E. (2003.): Plant physiology. 3rd edition, Vol. 91, Ann Bot Issue 6, 750–751 pp
46. The Royal Swedish Academy of Sciences (2018) <<https://www.nobelprize.org/>> Pristupljeno: 23. rujna 2021.
47. Vratarić, M. i suradnici (2004.): Suncokret. Poljoprivredni institut Osijek, Osijek.
48. Viljevac Vuletić M.; Španić V. Characterization of photosynthetic performance during natural leaf senescence in winter wheat: Multivariate analysis as a tool for phenotypic characterisation. *Photosynthetica* 2020, 57(SI), 116–128. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.162>

## 8. SAŽETAK

Suncokret (*Helianthus annuus* L.) se smatra jednom od četiri najvažnije uljarice u svijetu. Značaj suncokreta kao uljarice je sve veći u proizvodnji s obzirom da ima veliku ulogu u prehrambenoj industriji. Za uzgoj ima velike potrebe za vodom, ali također dobro podnosi kraću sušu zbog dobro razvijenog korijenskog sustava, velikih je zahtjeva za suncem i toplinom. Istraživanje je provedeno na 16 hibrida suncokreta u svrhu ispitivanja utjecaja agroekoloških uvjeta na fotosintetsku učinkovitost suncokreta u poljskim uvjetima uzgoja te korelaciju komponentama prinosa suncokreta. Analiziranjem parametara fotosintetske učinkovitosti u fazi cvatnje hibrida suncokreta utvrđena je statistički značajna razlika između istraživanih hibrida za sve parametre fotosinteze osim za parametar indeksa fototisntetske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ). Hibridi suncokreta pokazali su različitu osjetljivost na agroekološke uvjete te različit genetski potencijal za rodnost. Pokazatelji fotosintetske učinkovitosti bili su značajnoj korelacijskoj vezi koja je potvrđena između visine biljke i učinkovitosti kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I ( $RE_0/ET_0$ ) ( $r = 0,536$ ) te visine biljke i indeksa fototisntetske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ) ( $r = 0,541$ ). Također broj sjemenki jedne glavice suncokreta je pokazao pozitivnu i vrlo značajnu korelaciju s varijabilna fluorescencija na I koraku ( $V_1$ ) ( $r = 0,568$ ) te vrlo visoku značajnu korelaciju negativnog smjera s protokom energije koja reducira krajnje akceptore elektona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $r = - 0,644$ ).

**Ključne riječi:** suncokret, agroekološki uvjeti, fotosinteza, klorofil *a*, fluorescencija



## 9. SUMMARY

The sunflower (*Helianthus annuus* L.) is considered one of the four most important oilseeds in the world. The importance of sunflowers as oilseeds is growing in production since it plays a major role in the food industry. It has great water needs for cultivation, but it also tolerates short droughts well due to a well-developed root system, and has high demands for sun and heat. The research was conducted on 16 sunflower hybrids in order to examine the influence of agroecological conditions on the photosynthetic efficiency of sunflowers in field cultivation conditions and correlation with sunflower yield components. By analyzing the parameters of photosynthetic efficiency in the flowering phase of sunflower hybrids, a statistically significant difference was found between the studied hybrids for all parameters of photosynthesis except for the parameter of phototynthetic efficiency index of the energy required from exciton to reduction of the electron end acceptor on the photosystem I ( $PI_{total}$ ). Sunflower hybrids showed different sensitivity to agroecological conditions and different genetic potential for fertility. The indicators of photosynthetic efficiency showed a significant correlation between plant height and the efficiency with which the electron can reduce the ultimate electron acceptor to the photosystem I ( $RE_0 / ET_0$ ) ( $r = 0.536$ ) and plant height and phototynthetic efficiency index of energy required electron acceptor on the photosystem I ( $PI_{total}$ ) ( $r = 0.541$ ). In addition, the number of seeds of one sunflower head showed a positive and very significant correlation with the variable fluorescence in step I ( $V_I$ ) ( $r = 0.568$ ) and a very high significant correlation of the negative direction with the energy flow that reduces the electron end acceptors on the acceptor side of the photosystem I ( $r = -0.644$ ).

**Key words:** sunflower, agroecological conditions, photosynthesis, chlorophyll a, fluorescence

## 10. PRILOZI



a) Suncokret s jednom glavicom



b) Suncokret s više glavica

**Slika 12.** Cvat suncokreta (Jelušić, M.)



**Slika 13.** Cvat suncokreta (Jelušić, M.)

## 11. POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b> Sistematika suncokreta ( <i>Helianthus annuus</i> L.) .....	4
<b>Tablica 2.</b> Proizvodnja suncokreta u svijetu (FAOStat, 2021.) .....	5
<b>Tablica 3.</b> Proizvodnja suncokreta u Republici Hrvatskoj (FAOStat, 2021.) .....	7
Tablica 4. Popis parametara fluorescencije klorofila a i OJIP testa (Strasser i sur., 2004).....	24
Tablica 5. Pearsonov koeficijent korelacije za pokazatelje fotosintetske učinkovitosti (N=16) .....	49

## 12. POPIS SLIKA

Slika 1. Razlika između klorofila a i b .....	9
Slika 2. List suncokreta (Jelušić, M.) .....	14
Slika 3. Polje suncokreta na pokušalištu „Tenja“ Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek (Jelušić, M.) .....	16
Slika 4. Uređaj Handy PEA za mjerenje fluorescencije klorofila a (Varga, I.).....	22
Slika 5. Klipse na listu suncokreta (Varga, I.).....	23
Slika 6. Stabljika i glava suncokreta (Jelušić, M.).....	25
Slika 7. Odvajanje glave od stabljike suncokreta (Jelušić, M.).....	26
Slika 8. Mjerenje promjera glavice suncokreta (Jelušić, M.).....	27
Slika 9. Odvajanje sjemenki od glavice (Jelušić, M.) .....	27
Slika 10. Vaganje (g) sjemenki suncokreta (Jelušić, M.) .....	28
Slika 11. Masa tisuću sjemenki (Jelušić, M.) .....	29
Slika 12. Cvat suncokreta (Jelušić, M.).....	1
Slika 13. Cvat suncokreta (Jelušić, M.).....	1

### 13. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Udio proizvodnje sjemena suncokreta po kontinentima (FAOStat, 2021.) .....	6
Grafikon 2. Višegodišnji prosjek (1990. – 2019.) temperatura (°C), za meteorološku postaju Osijek (Državni hidrometeorološki zavod, postaja Osijek, 2021.).....	17
Grafikon 3. Višegodišnji prosjek (1990. – 2019.) oborina (mm), za meteorološku postaju Osijek (Državni hidrometeorološki zavod, postaja Osijek, 2021.).....	18
Grafikon 4. Višegodišnji prosjek (1990. – 2019.) trajanja sijanja sunca (h), za meteorološku postaju Osijek (Državni hidrometeorološki zavod, postaja Osijek, 2021.) .....	18
Grafikon 5. Srednja dnevna temperatura (°C) – suhi termometar, u 2020. godini. ....	19
Grafikon 6. Mjesečna količina oborina (mm) u 2020. godini. ....	20
Grafikon 7. Dnevna suma sijanja sunca (h) u 2020. godini. ....	21
Grafikon 8. Srednje vrijednosti i standardne devijacije minimalnog intenziteta fluorescencije ( $F_0$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ...	31
Grafikon 9. Srednje vrijednosti i standardne devijacije maksimalnog intenziteta fluorescencije ( $F_m$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ....	32
Grafikon 10. Srednje vrijednosti i standardne devijacije varijabilne fluorescencije na J koraku ( $V_J$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ...	33
Grafikon 11. Srednje vrijednosti i standardne devijacije varijabilne fluorescencije na I koraku ( $V_I$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ....	34
Grafikon 12. Srednje vrijednosti i standardne devijacije maksimalne varijabilne fluorescencije ( $F_V$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ...	35
Grafikon 13. Srednje vrijednosti i standardne devijacije maksimalnog kvantnog prinosa fotosustava II ( $F_V/F_m$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ....	36
Grafikon 14. Srednje vrijednosti i standardne devijacije apsorpcije po aktivnom reakcijskom središtu (ABS/RC) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,5$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ....	37
Grafikon 15. Srednje vrijednosti i standardne devijacije rasipanja po aktivnom reakcijskom središtu ( $DI_0/RC$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ....	38
Grafikon 16. Srednje vrijednosti i standardne devijacije protoka uhvaćenih fotona po aktivnom reakcijskom središtu ( $TR_0/RC$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.....	39
Grafikon 17. Srednje vrijednosti i standardne devijacije elektronskog transporta po aktivnom reakcijskom središtu ( $ET_0/RC$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u	

relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu značajno različite. ....	40
Grafikon 18. Srednje vrijednosti i standardne devijacije protoka energije koji reducira krajnje akceptore elektrona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $RE_0/RC$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,5$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.....	41
Grafikon 19. Srednje vrijednosti i standardne devijacije učinkovitosti kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I ( $RE_0/ET_0$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.....	42
Grafikon 20. Srednje vrijednosti i standardne devijacije omjera koncentracije klorofila reakcijskih središta i koncentracija antena klorofila ( $RC/ABS$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.....	43
Grafikon 21. Srednje vrijednosti i standardne devijacije omjera protoka uhvaćenih fotona i rasipanja energije ( $TR_0/DI_0$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite.....	44
Grafikon 22. Srednje vrijednosti i standardne devijacije transporta elektrona dalje od primarnog akceptora QA ( $ET_0/(TR_0/ET_0)$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ....	45
Grafikon 23. Srednje vrijednosti i standardne devijacije indeksa fotosintetske učinkovitosti ( $PI_{ABS}$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ....	46
Grafikon 24. Srednje vrijednosti i standardne devijacije indeksa fototransportske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I ( $PI_{total}$ ) izmjerene na listovima 16 hibrida suncokreta izražene u relativnim jedinicama. Prema LSD testu ( $p < 0,05$ ) vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite. ....	47

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Biljna proizvodnja

## Utjecaj agroekoloških uvjeta na fotosintetsku učinkovitost suncokreta u poljskim uvjetima uzgoja

Marina Jelušić

**Sažetak:** Suncokret (*Helianthus annuus* L.) se smatra jednom od četiri najvažnije uljarice u svijetu. Značaj suncokreta kao uljarice je sve veći u proizvodnji s obzirom da ima veliku ulogu u prehrambenoj industriji. Za uzgoj ima velike potrebe za vodom, ali također dobro podnosi kraću sušu zbog dobro razvijenog korijenskog sustava, velikih je zahtjeva za suncem i toplinom. Istraživanje je provedeno na 16 hibrida suncokreta u svrhu ispitivanja utjecaja agroekoloških uvjeta na fotosintetsku učinkovitost suncokreta u poljskim uvjetima uzgoja te korelaciju komponentama prinosa suncokreta. Analiziranjem parametara fotosintetske učinkovitosti u fazi cvatnje hibrida suncokreta utvrđena je statistički značajna razlika između istraživanih hibrida za sve parametre fotosinteze osim za parametar indeksa fototisntetske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I (PItotal). Hibridi suncokreta pokazali su različitu osjetljivost na agroekološke uvjete te različit genetski potencijal za rodnost. Pokazatelji fotosintetske učinkovitosti bili su značajnoj korelacijskoj vezi koja je potvrđena između visine biljke i učinkovitosti kojom elektron može reducirati krajnji akceptor elektrona na fotosustav I (RE0/ET0) ( $r = 0,536$ ) te visine biljke i indeksa fototisntetske učinkovitosti potrebne energije od ekscitona do redukcije krajnjeg akceptora elektrona na fotosustavu I (PItotal) ( $r = 0,541$ ). Također broj sjemenki jedne glavice suncokreta je pokazao pozitivnu i vrlo značajnu korelaciju s varijabilna fluorescencija na I koraku (VI) ( $r = 0,568$ ) te vrlo visoku značajnu korelaciji negativnog smjera s protokom energije koja reducira krajnje akceptore elektona na akceptorskoj strani fotosustava I ( $r = - 0,644$ ).

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** Doc. dr. sc. Ivana Varga

**Broj stranica:** 59

**Broj grafikona i slika:** 37

**Broj tablica:** 5

**Broj literaturnih navoda:** 48

**Broj priloga:** 2

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** suncokret, agroekološki uvjeti, fotosinteza, klorofil *a*, fluorescencija

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. doc. dr. sc. Dario Iljkić, predsjednik
2. doc. dr. sc. Ivana Varga, mentorica
3. dr. sc. Antonela Markulj Kulundžić, vanjska suradnica

**Rad je pohranjena u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilištu u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

---

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**  
**Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek**  
**University Graduate Studies, Plant production, course Plant production**

**Graduate thesis**

### **Effect of agroecological conditions on photosynthetic efficiency of field grown sunflower**

Marina Jelušić

**Abstract:** The sunflower (*Helianthus annuus* L.) is considered one of the four most important oilseeds in the world. The importance of sunflowers as oilseeds is growing in production since it plays a major role in the food industry. It has great water needs for cultivation, but it also tolerates short droughts well due to a well-developed root system, and has high demands for sun and heat. The research was conducted on 16 sunflower hybrids in order to examine the influence of agroecological conditions on the photosynthetic efficiency of sunflowers in field cultivation conditions and correlation with sunflower yield components. By analyzing the parameters of photosynthetic efficiency in the flowering phase of sunflower hybrids, a statistically significant difference was found between the studied hybrids for all parameters of photosynthesis except for the parameter of photosynthetic efficiency index of the energy required from excitation to reduction of the electron end acceptor on the photosystem I ( $PI_{total}$ ). Sunflower hybrids showed different sensitivity to agroecological conditions and different genetic potential for fertility. The indicators of photosynthetic efficiency showed a significant correlation between plant height and the efficiency with which the electron can reduce the ultimate electron acceptor to the photosystem I ( $RE_0 / ET_0$ ) ( $r = 0.536$ ) and plant height and photosynthetic efficiency index of energy required electron acceptor on the photosystem I ( $PI_{total}$ ) ( $r = 0.541$ ). In addition, the number of seeds of one sunflower head showed a positive and very significant correlation with the variable fluorescence in step I ( $V_1$ ) ( $r = 0.568$ ) and a very high significant correlation of the negative direction with the energy flow that reduces the electron end acceptors on the acceptor side of the photosystem I ( $r = -0.644$ ).

**Thesis performed at** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor: PhD, Assistant professor Ivana Varga**

**Number of pages:** 59

**Number of figures:** 37

**Number of tables:** 5

**Number of references:** 48

**Number of appendices:** 2

**Original in:** croatian

**Key words:** sunflower, agroecological conditions, photosynthesis, chlorophyll *a*, fluorescence

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. **PhD, Assistant professor Dario Iljkić, president**
2. **PhD, Assistant professor Ivana Varga, mentor**
3. **PhD, Antonela Markulj Kulundžić, external member**

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.