

# Opće i specifične kombinatorne sposobnosti modernih linija kukuruza za prinos i vlagu zrna

---

Gašparović, Krunoslav

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:904172>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**



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  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Krunoslav Gašparović

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**OPĆE I SPECIFIČNE KOMBINATORNE SPOSOBNOSTI MODERNIH LINIJA  
KUKURUZA ZA PRINOS I VLAGU ZRNA**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2022.**

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

Krunoslav Gašparović

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**OPĆE I SPECIFIČNE KOMBINATORNE SPOSOBNOSTI MODERNIH LINIJA  
KUKURUZA ZA PRINOS I VLAGU ZRNA**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2022.**

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

Krunoslav Gašparović

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**OPĆE I SPECIFIČNE KOMBINATORNE SPOSOBNOSTI MODERNIH LINIJA  
KUKURUZA ZA PRINOS I VLAGU ZRNA**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. izv.prof.dr.sc. Andrijana Rebekić, predsjednik
2. prof.dr.sc. Sonja Petrović, mentor
3. dr.sc. Vlatko Galić, znanstveni suradnik, član

**Osijek, 2022.**

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
1.1. Cilj istraživanja.....	2
2. PREGLED LITERATURE.....	2
2.1. Razvoj modernih linija kukuruza i hibrida.....	3
2.2. Opće i specifične kombinatorne sposobnosti .....	5
3. MATERIJAL I METODE .....	8
3.1. Poljski pokus .....	8
3.2. Statistička obrada podataka.....	9
4. REZULTATI .....	11
4.1. Prinos, vlaga zrna i standardna devijacija linija .....	11
4.2. Prinos, vlaga zrna i standardna devijacija testera .....	13
4.3. Prinos, vlaga zrna i standardna devijacija križanaca .....	14
4.4. Kombinatorne sposobnosti, analiza varijance i LSD test .....	15
5. RASPRAVA .....	22
6. ZAKLJUČAK.....	26
7. POPIS LITERATURE .....	27
8. SAŽETAK.....	31
9. SUMMARY .....	32
10. POPIS SLIKA.....	33
11. POPIS TABLICA.....	34
12. POPIS GRAFIKONA.....	35

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

BASIC DOCUMENTATION CARD

## 1. UVOD

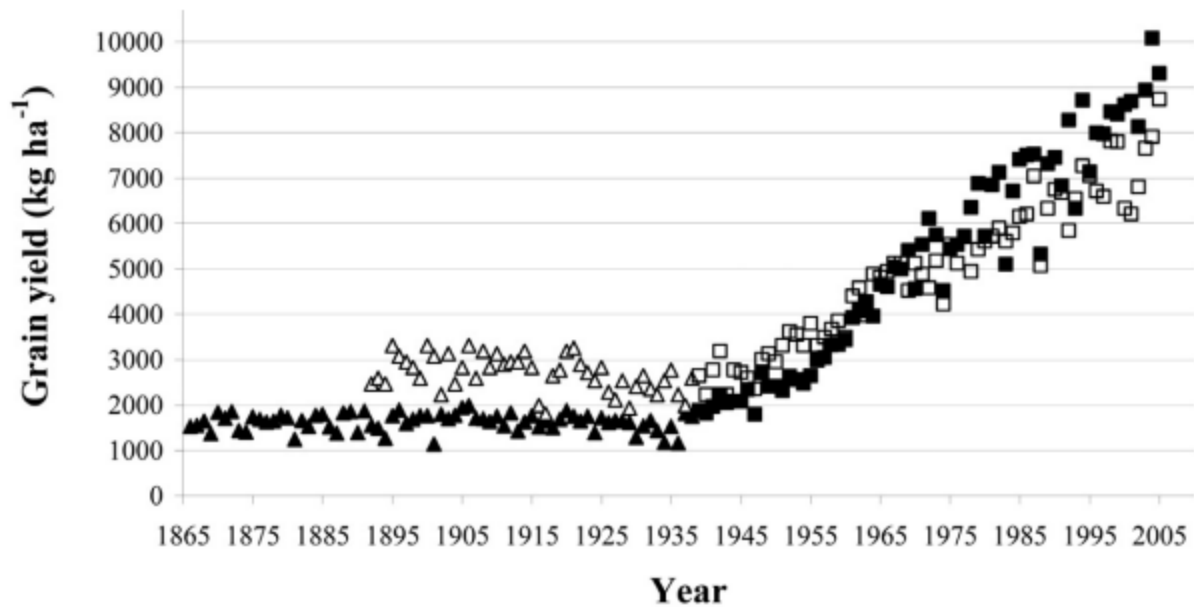
Kukuruz je jednogodišnja stranooplodna biljka iz porodice *Poaceae* porijeklom iz Centralne Amerike. Potiče od teosinte (*Zea mays* L. spp *Mexicana*) prije 7,000 do 10,000 godina (Hallauaer, 2009.). Kukuruz je vrlo bitna žitarica u svijetu, a kako bi zadovoljili potrebe ljudi i životinja za kukuruzom, potreban je kompetentan hibrid sa visokim prinosom i niskom vlagom zrna.

Križanje kukuruza kreće od inbred linija, one se stvaraju samooplodnjom kroz nekoliko generacija. Inbreedingom se smanjuje genetička varijabilnost, pa su inbred linije fenotipski i genotipski ujednačene (Borojević, 1986.). Križanjem genetski raznolikih inbred linije dobijemo hibridnu biljku koja je morfološki i biološki razvijenija, a ta pojava se naziva heterozis (Enciklopedija Britannica).

Heterozisom se postiže viši prinos  $F_1$  generacije, koji može biti nekoliko puta veći u odnosu na roditelje, a u  $F_2$  i daljnim generacijama dolazi do opadanja bujnosti i potomci se u općoj razvijenosti manje razlikuju od roditelja (Borojević, 1986.).

Poznavanje genetičke osnove bilo koje biljne vrste se smatra vrlo bitnim u poboljšanju prinosa zrna i svih drugih ekonomski bitnih svojstava biljke (Rekman, 2009.). Veći stupanj udaljenosti između genotipova roditelja često znači i viši stupanj heterozisa (Lee i sur., 2009.), a prema Malchingeru i Gumberu (1998.), heterotične skupine bi trebale biti osnova u biranju linija za daljnje križanje.

Poznavanje genskih karakteristika i procjena općih i specifičnih kombinatornih sposobnosti mogu pomoći pri odabiru roditeljskih linija (Ishaq, 2016.), a oplemenjivači bilja uobičajeno testiraju kombinatorne sposobnosti linija kako bi analizirali nasljeđivanje poželjnih svojstava te evaluirali određene roditeljske linije i njihovu oplemenjivačku vrijednost (Acquaah, 2012.). Oplemenjivači kukuruza su od 1939. godine do danas vrlo uspješni u povećanju prinosa zrna. Prinos zrna komercijalnog kukuruza u SAD-u se povećao sa 1,3 t/ha u 1939. godini na 7,8t/ha u 2005. godini (Grafikon 1.). Danas je prosječan prinos zrna u SAD-u 11.9 t/ha (<https://www.nass.usda.gov/>), a Europske države sa prosječnim prinosom iznad 10 t/ha su Belgija, Nizozemska i Austrija, a malo manji prinos imaju Španjolska, Francuska, Italija i Grčka (Schils, 2018.).



Grafikon 1. Prosječan prinos zrna u SAD-u (1865. do 2005.) i Kanadi (1892. do 2005.) u kg/ha  
Izvor: Lee i Tollenaar (2007.)

Crna polja u grafikonu 1 označavaju prinos u SAD-u dok bijela polja pokazuju prinos u Kanadi. Kvadratne oznake na grafu pokazuju hibridnu eru koja počinje od 1939. godine. Spoznaja o heterozisu i razvoju hibrida je eksponencionalno povećala prinos.

### 1.1. Cilj istraživanja

Cilj istraživanja bio je utvrditi visinu prinosa i vlagu zrna odabranih modernih linija kukuruza Poljoprivrednog instituta Osijek te usporediti dobivene rezultate hibridnih kombinacija s komercijalnim standardima. Također, praktični cilj bio je dobiti linije iznadprosječnog prinosa i niske vlage sa dobrim OKS, koje bi se mogle koristiti kao roditelji u više sjemenskih proizvodnja.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Razvoj modernih linija kukuruza i hibrida

S razvojem hibrida i opisivanjem heterozisa su počeli Shull u Long Islandu i East u Connecticutu. Hibridni kukuruz se brzo raširio među proizvođačima kukuruza. Prije uzgoja, oplemenjivači uvode, prilagođavaju i ocjenjuju germplazmu za buduće oplemenjivačke programe. Ovo ne doprinosi direktnom razvoju novih kultivara već razvoju germplazme koji se izravno ili neizravno koriste za razvoj novih kultivara (Hallauer, 2009.).

Oplemenjivanje kukuruza ima jedinstvene značajke koje se razlikuju u oplemenjivanju od svih drugih kultura. Produktivnost inbred linija i agronomska izvedba hibrida je vrlo bitna. Linija koja će se koristiti kao roditelj u sjemenskoj proizvodnji mora imati visok prinos i visoko kvalitetno zrno, a prašnici roditeljskih linija moraju proizvoditi visoke količine kvalitetnog polena (Lee i sur., 2009.).

Osnove uzgoja kukuruza prema Hallaueru (2009.) su: poboljšanje germplazme, razvoj čistih linija samooplođnjom i identifikacija hibrida koji imaju dosljednu i pouzdanu agronomsku izvedbu u raznolikim uvjetima okoline. Egzotična germplazma kod kukuruza se istraživala iz različitih razloga, kukuruz potiče iz tropskih i subtropskih područja, a činilo se da će jedinke iz tih područja imati veću otpornost i/ili toleranciju na glavne štetnike kukuruza zbog cjelogodišne izloženosti tim istim štetnicima.

Primarni ciljevi većine oplemenjivačkih programa kukuruza su visok prinos zrna te široka adaptabilnost unutar FAO grupa. Visok prinos zrna u strojnoj žetvi ukazuje na potrebu za alelima uz koje se biljka mora moći oduprijeti stresovima koji dovode do polijeganja korijena ili stabiljke. Široka prilagodba hibrida zahtjeva svojstva koja štite prinos od abiotskog i biotskog stresa (Lee i sur., 2009.).

Osnovna značajka svih oplemenjivačkih programa je povećanje učestalosti povoljnih alelnih kombinacija. Također, uvođenje i adaptacija egzotične germplazme, poboljšanje resursa germplazme, pedigree selekcija za razvoj poboljšanih inbred linija, povratna križanja za uključivanje alela i/ili alelnih kombinacija u inače poželjne inbred linije (Hallauer, 2009.).



Zajednička tema kroz povijest oplemenjivanja kukuruza je selekcija superiorne jedinke u populaciji, križanje superiornih jedinki te odabir superiornih jedinki u idućoj populaciji, ovo ponavljanje selekcije se nastavlja kroz cijeli vijek oplemenjivačkog programa. Sve do razvoja inbred-hibridnog koncepta u 20. stoljeću, fenotipska (masovna) selekcija superiornih jedinki unutar populacije bila je najčešći oblik selekcije (Hallauer, 2009.). Za razliku od razvoja inbred linija, komercijalizacija hibrida uključuje višeslojni sustav testiranja (Duvick i Cassman, 1999.). Prema Lee i sur. (2009.), u ranim fazama ispitivanja, više hibridnih kombinacija se testira na manjem broju parcela, dok se u kasnijim fazama testira manji broj hibrida na većem broju lokacija.

Korištenje genetske raznolikosti u bilo kojem usjevu smatra se osnovnim znanjem za poboljšanje žitarica (Rehman, 2009.). Heterozis je vrlo bitan faktor u razvoju hibrida, kada se križaju genotipovi različitih germplazmi cilj je dobiti visok heterozis. Kao rezultat, heterotično grupiranje je proces identifikacije skupina germplazmi koje su genetski jedinstvene, ali daju superiorne hibride kada se međusobno križaju. Heterotični obrasci imaju značajan utjecaj na poboljšanje usjeva (Melchinger i Gumber, 1998.).

Da bi dobili najviši heterozis u hibridnim jednikama, germplazma mora biti podijeljena u heterotične skupine. Slično tome, znanje o genetskoj raznolikosti je uvjet za uzgoj i poboljšanje populacije jer omogućuje analizu genetske raznolikosti, karakterizaciju germplazme i podjelu germplazme u heterotične skupine (Reif, 2003.). Heterotične skupine se sastoje od genotipova koji daju dobre rezultate kada se križaju sa genotipovima iz drugih heterotičnih skupina (Stephens, 1954.). Razvoj vrhunskih samooplodnih linija cilj je svakog oplemenjivača kukuruza. U usporedbi sa drugim kultivarima, inbred linije nisu proizvod za poljoprivrednike. Razvoj inbred linija je samo prvi korak u križanju kukuruza (Hallauer, 2009.).

Vlagu zrna nakon žetve mnogi uzgajivači koriste kao pokazatelj za tehnološku zrelost biljke. Fiziološka zrioba kukuruza nastupa kada vlaga zrna dosegne razinu od 30 do 40%. S druge strane, tehnološka zrioba podrazumijeva vlagu zrna od 14%, koja je pogodna za skladištenje, što podrazumijeva niže troškove dosušivanja. Razvijeno je nekoliko sustava koji razvrstavaju genotipove na određene okoline. U Europi se koristi FAO sustav (Troyer, 2000.). Idealan hibrid bi cvao dovoljno kasno da maksimizira površinu lista, ali opet dovoljno rano da zrno dosegne fiziološku zrelost. U fiziološkoj zrelosti zrna vlažnost je iznad 30%, ali ispod 40%. U pokusima je

ciljana vlažnost zrna za strojnu žetvu 28% za kukuruz visoke vlage i 15-22% za kukuruz u sjemenskoj proizvodnji (Lee i sur, 2009.).

Glavno ograničenje tradicionalnog oplemenjivanja kukuruza je određivanje genetičke vrijednosti linija u hibridnim kombinacijama. Većina ekonomski važnih svojstava u oplemenjivanju kukuruza nasljeđuje se kvantitativno. Važnost kvantitativnih svojstava je poznata među oplemenjivačima te se ispituju genetički faktori koji utječu na kvantitativna svojstva. Međutim, dobar izbor germplazme i dalje ostaje ograničavajući faktor u razvoju hibrida (Hallauer, 2009).

Prema istraživanju Cong-fenga i sur. (2015.) elitne linije u Kini proizvedene 2000-ih godina imaju viši prinos, biomasu i žetveni indeks u usporedbi sa linijama iz 1960-ih i 1980-ih. Po njihovoj procjeni, to je rezultat višeg fotosintetičkog kapaciteta u kasnijim stadijima razvoja. Moderne inbred linije imaju bolju strukturu kloroplasta u komušini te iskorištavaju više svjetlosne energije, osim toga biljke duže ostaju zelene nakon metličanja i svilanja što također znači da dulje pokazuju fotosintetsku aktivnost. Viši prinos modernih linija su pripisali boljoj strukturi kloroplasta i iskorištenju svjetlosti nakon oplodnje, u početnom stadiju razvoja zrna.

Oplemenjivanje kukuruza se temelji na odabiru odgovarajućih inbred linija koje same po sebi moraju imati visok prinos, nisku vlagu zrna i pokazivati visok heterozis u hibridnim kombinacijama. Kako bi određeni hibrid bio zadovoljavajuć, roditeljske inbred linije moraju poticati iz različitih heterotičnih skupina, tj. moraju biti raznolike germplazme koja će križanjem dati hibrid sa puno boljim rezultatima navedenih svojstava u usporedbi sa rezultatima samih inbred linija. Osim heterotičnih skupina, za odabir roditeljskih linija oplemenjivači se služe procjenom kombinatornih sposobnosti.

## **2.2. Opće i specifične kombinatorne sposobnosti**

Postoje dva tipa kombinatornih sposobnosti: opća kombinatorna sposobnost (OKS) i specifična kombinatorna sposobnost (SKS). Opća kombinatorna sposobnost je mjera agronomske izvedbe određenog genotipa (linije) u nizu hibridnih kombinacija, a specifična kombinatorna sposobnost određuje agronomsku izvedbu roditelja u specifičnom križanju za određeno svojstvo (Ali, 2014.). Specifična kombinatorna sposobnost je jedno od glavnih svojstava inbred linije u proizvodnji elitnih hibridnih kombinacija (Zhang i sur., 2015.). Kombinatorna sposobnost je bitno svojstvo za biranje kvalitetnih linija za daljnja križanja (Sprague, 1942.), a uspješno su korištene u identifikaciji superiornih linija riže (Bagheri i Jelodar, 2010.), (Tiwari i sur. 2011.), kukuruza

(Abdel-Moneam i sur. 2009.), (Gissa i sur. 2007.), (Gouda i sur. 2013.) i pšenice (Li i sur 1997.), (Krystkowiak i sur. 2009.).

Kombinatorna sposobnost inbred linija je bitan faktor koji određuje komercijalni potencijal linija za hibride. Kombinatorna sposobnost je u početku bila općenit koncept koji se koristio samo za klasifikaciju inbred linija i njihove sposobnosti križanja. Sprague i Tatum (1942.) su analizirali dialelna križanja kako bi utvrdili relativnu važnost OKS i SKS. Oni su bili prvi koji su podijelili ukupnu sposobnost kombiniranja linija na OKS i SKS. Tumačili su da OKS ima većinski aditivni učinak, dok SKS ima dominantni i epistatični učinak. Iako se OKS može utvrditi iz jednostrukih kombinacija, veću učinkovitost može imati križanje sa testerima. Zaključci Spraguea i Tatuma (1942.) jednako su valjani u sadašnjim uzgojnim programima zbog potrebe za proizvodnjom i uzgojom jednostrukih križanaca (Hallauer, 2010.).

Statistički genetičari dali su važan doprinos u razjašnjavanju genetičkih informacija analizom dialelnih križanja. Handerson (1952.) i Griffing (1953.) definirali su i primjenili OKS i SKS na biljke i životinje. Hull (1946., 1952.), Griffing (1950.), Hayman (1954.) i Jinks (1954.) dali su postupke za procjenu genetičkih parametara u ograničenim genetičkim modelima.

Pojmovi OKS i SKS su široko korišteni u oplemenjivanju kukuruza i drugih kultivara, ali korišteni genetski materijal, metode, proučavane osobine i interpretacija rezultata su različite. OKS i SKS su postali korisni za karakterizaciju inbred linija u križanjima i često su bila dva svojstva koja su uvijek bila navedena u opisu inbred linije, a karakterizaciju genetičke varijance i tipova djelovanja gena koji djeluju u križanjima samooplodnih linija su se također često tumačili u odnosu na OKS i SKS (Hallauer, 2010.).

Istraživanja su pokazala da korištenje inbred linija kao testera poboljšava OKS i SKS (Hallauer, 2010.). Roditeljske linije s visokim OKS imaju veću prilagodljivost i manje su pod utjecajem okoliša (Fasahat, 2016.). Kvalitetna svojstva se ne prenesu uvijek na potomstvo (Sharma, 2013.), pa je ocjena kombinatorne sposobnosti vjerodostojnija od procjene linije općenito (Rajendrakumar, 2015.).

Nizak OKS, pozitivan ili negativan, pokazuje da srednja vrijednost roditelja u križanju ne varira puno od srednje vrijednosti križanca dok visok OKS pokazuje da je srednja vrijednost roditelja superiorna u odnosu na srednju vrijednost populacije. To je dokaz da se poželjni geni prenose na

potomstvo u većem omjeru, uz aditivno djelovanje gena (Franco i sur. 2001.). Visok OKS ukazuje na višu heritabilnost, manji utjecaj okoline na ekspresiju gena (Chigeza, 2014.). Jedna od glavnih karakteristika linija s visokom OKS je njihova prilagodljivost u raznim uvjetima okoline, a roditelj koji ima dobru agronomsku izvedbu neće uvijek biti dobar u hibridnim kombinacijama (Shukla, 2008.).

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1. Poljski pokus

Istraživanje je provedeno 2021. godine na poljima Poljoprivrednog instituta Osijek. Strojna sjetva hibrida provedena je 19.04.2021. i posijane su linije (G1 do G8), testeri (T1,T2), te komercijalni standardi. Biljke inbred linija (G1 do G8) u F<sub>6</sub> generaciji su ručno križane s dva testera (T1 i T2), a testeri su inbred linije poznatih općih kombinatornih sposobnosti.



Slika 1. Hibridni kukuruz (foto original: Vlatko Galić)

Dizajn pokusa bio je potpuno randomiziran dizajn (CRD – completely randomized desing) u dva ponavljanja. Strojna žetva je provedena 15.10.2021. godine (Slika 2.). Komercijalni standardi u pokusu su DKC 5276 i Pioneer 9911.

Linije G1-G8 su heterotičnih skupina B37 i Ohio43, a testeri su heterotične skupine Iodent. Korišteni standardi su najčešće korišteni hibridi FAO skupine 400 na području Slavonije.



Slika 2. Žetva kukuruza (Izvor: POLJINOS)

### 3.2. Statistička obrada podataka

Statistička obrada podataka je provedena sa sljedećim parametrima: (1) aritmetička sredina, (2) standardna devijacija, (3) koeficijent varijacije i (4) opće i specifične kombinatorne sposobnosti

Prema Rebekić (2017.) (1) aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ) predstavlja srednju vrijednost obrađenih podataka, računa se tako da zbroj svakog pojedinačnog mjerenja podijelimo s brojem mjerenja.

Formula aritmetičke sredine je:  $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ , gdje je  $\sum x$  zbroj svakog pojedinačnog mjerenja, a  $n$  broj mjerenja.

(2) Standardna devijacija ( $s$ ) predstavlja standardizirani raspon u kojemu se kreću podatci te pokazuje u kojem se omjeru kreću podatci u usporedbi s aritmetičkom sredinom.

Formula standardne devijacije je:  $S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}}$ , gdje je  $\sum x^2$  suma kvadrata svih mjerenja, a  $(\sum x)^2$  kvadrat sume svih mjerenja, dok  $n$  predstavlja broj mjerenja.

(3) Koeficijent varijacije je relativna mjera varijacije. Koristi se za usporedbu varijabilnosti vrijednosti obilježja različitih skupova. Izražava se u postotku.

Formula koeficijenta varijacije je:  $KV = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} * 100$

(4) Opća kombinatorna sposobnost se računa aritmetičku sredinu križanca oduzmemo aritmetičke sredine cijele populacije, zbroj svih rezultata OKS mora davati 0. SKS se računa tako da aritmetičku sredinu križanca oduzimamo od aritmetičke sredine populacije te od dobivenog broja oduzimamo rezultat OKS za liniju i OKS za tester.

Kombinatorne sposobnosti izračunate su prema Hallauer i sur. (2010.) kao:

$$y_{gt} = OKS_g + OKS_t + SKS_{gt} + \varepsilon$$

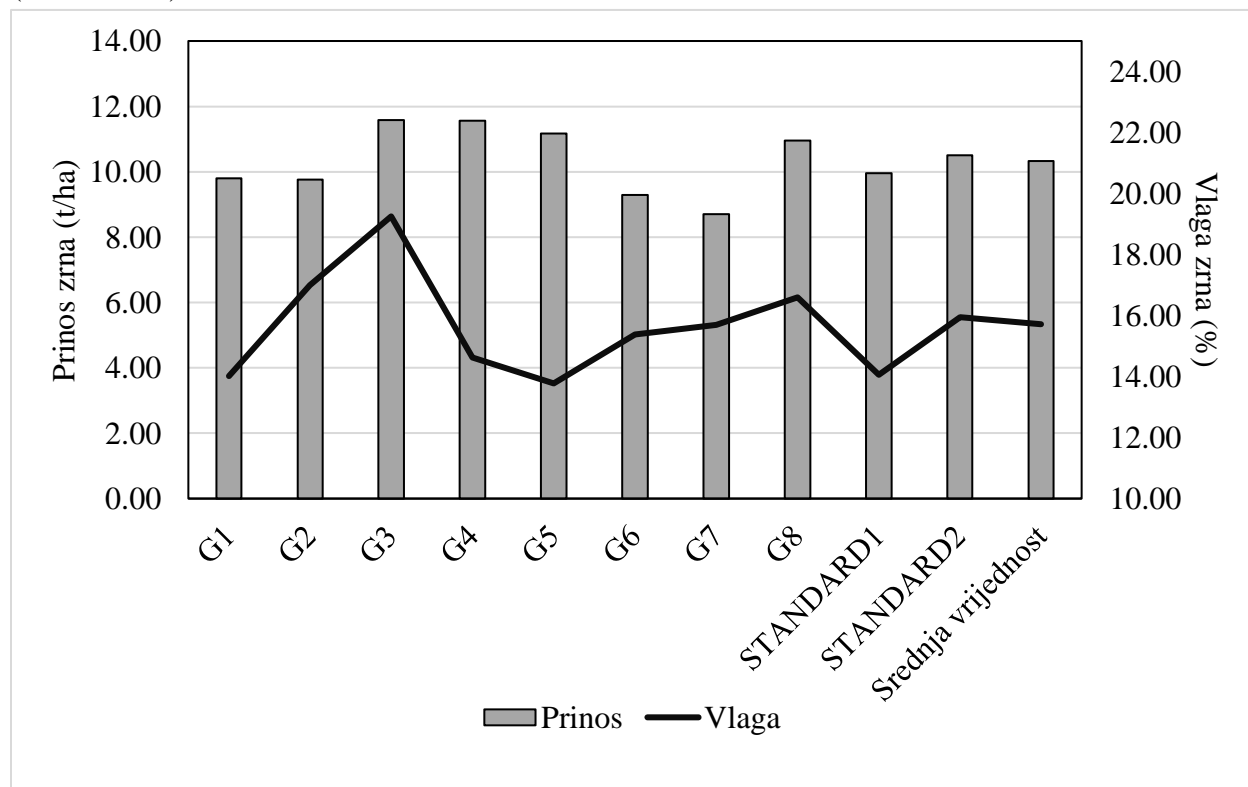
Gdje  $y_{gt}$  predstavlja vrijednost analiziranog genotipa,  $OKS_g$  su OKS testiranog genotipa,  $OKS_t$  su OKS testera,  $SKS_{gt}$  su SKS kombinacije genotipa i testera, a  $\varepsilon$  je greška modela.

## 4. REZULTATI

Istraživanje je provedeno na površinama Poljoprivrednog Instituta Osijek. Dobiveni rezultati se odnose na prinos i vlagu zrna roditeljskih linija i križanaca, a na temelju tih podataka je napravljen statistički izračun. Visok prinos i niska vlaga zrna su pokazatelji da linija ima dobar potencijal u daljnjim križanjima.

### 4.1. Prinos, vlaga zrna i standardna devijacija linija

Grafikon 2 prikazuje prosječan prinos i vlagu zrna linija u kombinaciji sa testerima. Linije G3, G4, G5 i G8 su u kombinaciji sa testerima pokazale visok prinos, ali linije G3 i G8 uz visok prinos pokazale su i visoku vlagu zrna. Nisku vlagu zrna uz visok prinos pokazale su linije G4 i G5 (Grafikon 2.).



Grafikon 2. Prosječan prinos i vlaga zrna linija

Tablica 1 ukazuje da je linija G4 pokazala prinos od 11,55 t/ha uz vlagu zrna od 14,63%, a linija G5 pokazala je prinos od 11,17t/ha uz vlagu zrna od 13,78%. Standardna devijacija za prinos među linijama varira od 0,25 t/ha do 2,11 t/ha, dok za vlagu zrna varira od 0,90% do 2,95%. Koeficijent varijacije za prinos zrna varira od 2,55% do 21,62%, dok za vlagu zrna varira od 5,80% do 20,68%. Najnižu standardnu devijaciju za prinos pokazala je linija G1 od 0,25 t/ha što nam pokazuje i



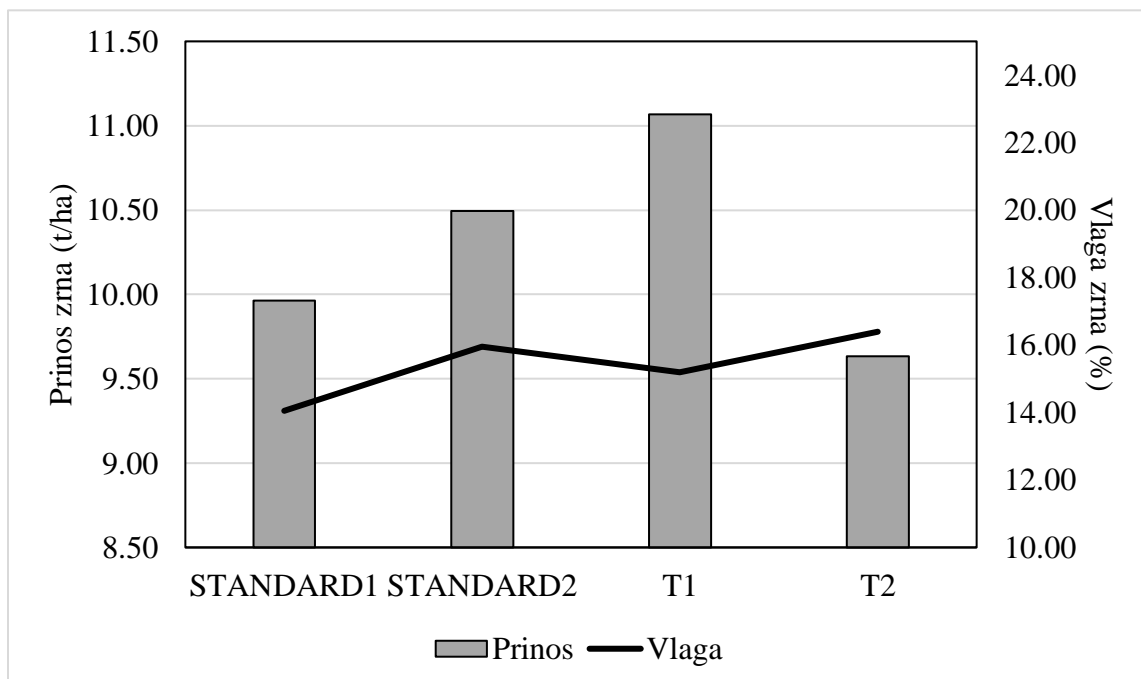
koeficijent varijacije od 1,79%. Linija G5 uz dobar prinos i nisku vlagu zrna pokazala je standardnu devijaciju od 1,13 t/ha, a za vlagu zrna pokazala je visoku standardnu devijaciju od 2,85%. Linija G4 uz visok prinos pokazala je puno višu standardnu devijaciju od 1,98 t/ha, dok za vlagu zrna ima nisku standardnu devijaciju od 0,90%. Najniži koeficijent varijacije za prinos i vlagu zrna pokazala je linija G3 kao i linija G6. Linija G1 pokazala je nizak koeficijent varijacije od 2,55% za prinos, dok je pokazala visok koeficijent varijacije za vlagu zrna, a linija G7 pokazala je obrnut rezultat sa niskim koeficijentom varijacije za vlagu zrna i visokim koeficijentom varijacije za prinos zrna.

Tablica 1. Standardna devijacija i koeficijent varijacije linija za prinos i vlagu zrna

Linije	S (prinos t/ha)	S (vlaga zrna %)	KV (prinos %)	KV (vlaga %)
G1	9,79±0,25	14,03±1,79	2,55	12,76
G2	9,76±2,11	17±2,16	21,62	12,71
G3	11,58±0,91	19,25±1,59	7,86	8,26
G4	11,55±1,98	14,63±0,90	17,14	6,15
G5	11,17±1,13	13,78±2,85	10,12	20,68
G6	9,29±0,89	15,38±1,34	9,58	8,71
G7	8,7±1,47	15,7±0,91	16,90	5,80
G8	10,95±1,42	16,6±2,95	12,97	17,77
STANDARD1	9,96±0,09	14,05±0,21	0,90	1,49
STANDARD2	10,49±0,15	15,95±0,21	1,43	1,32

#### 4.2. Prinos, vlaga zrna i standardna devijacija testera

Grafikon 3 prikazuje prosječan prinos i vlagu zrna testera u kombinacijama sa linijama. Tester T1 pokazao je viši prinos od T2, također je pokazao nižu vlagu zrna u usporedbi sa testerom T2.



Grafikon 3. Prosječan prinos i vlaga zrna testera

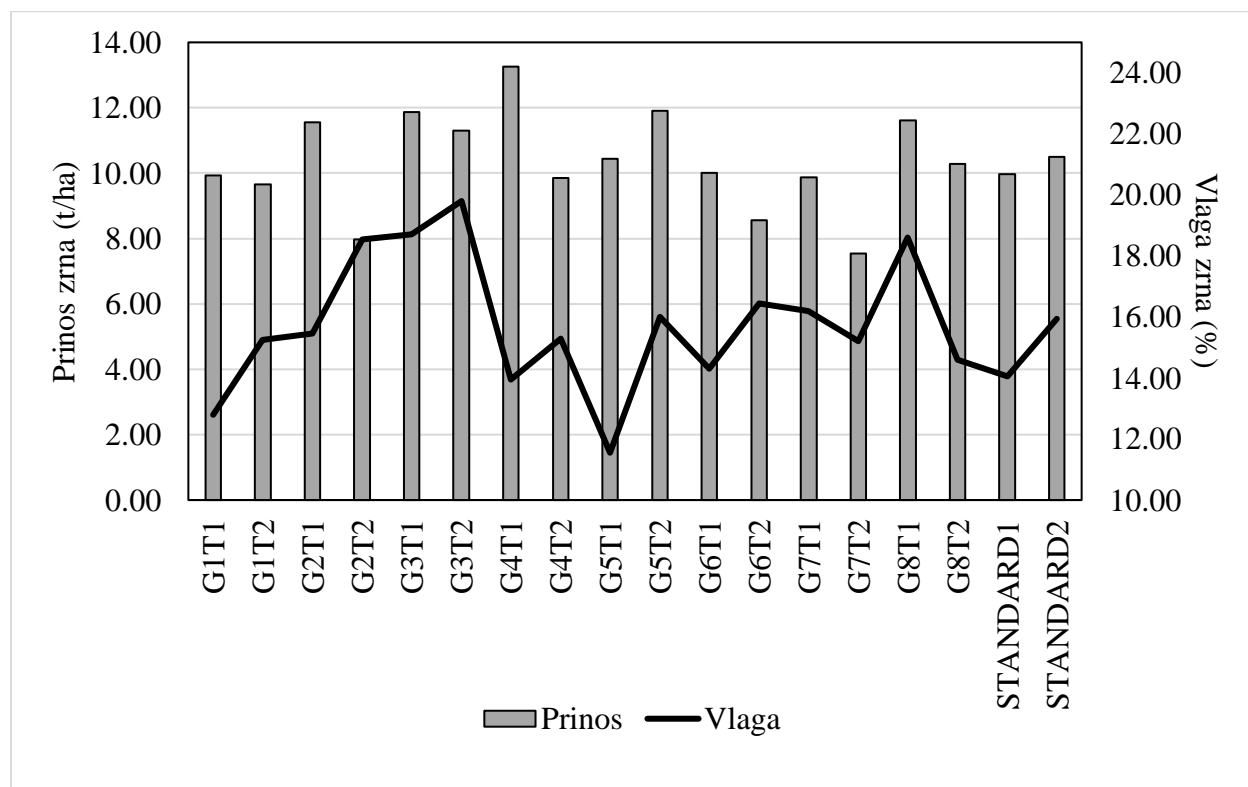
Tablica 2 prikazuje standardnu devijaciju za prinos i vlagu zrna testera. Standardna devijacija za prinos proteže se od 1,35 t/ha do 1,57 t/ha, dok za vlagu zrna varira od 2% do 2,73%. Standardna devijacija za oba svojstva se čini visoka što nam pokazuje i koeficijent varijacije iznad 10% za prinos i vlagu zrna kod oba testera.

Tablica 2. Standardna devijacija i koeficijent varijacije testera za prinos i vlagu zrna

Tester	S (prinos t/ha)	S (vlaga zrna %)	KV (prinos %)	KV (vlaga %)
T1	11,07±1,35	15,19±2,73	12,19	17,97
T2	9,63±1,57	16,39±2,00	16,30	12,20
STANDARD1	9,96±0,09	14,05±0,21	0,90	1,49
STANDARD2	10,49±0,15	15,95±0,21	1,43	1,32

### 4.3. Prinos, vlaga zrna i standardna devijacija križanaca

Križanci su sijani u dva ponavljanja, grafikon 4 prikazuje prosječan prinos i vlagu zrna dva križanca. Križanac G4T1 pokazao je najviši prinos od 13,26 t/ha uz nisku vlagu zrna od 13,95% (Tablica 3.). Također, visok prinos pokazali su križanci G5T2, G3T1, G8T1, G2T1 i G3T2, a od navedenih križanaca jedino je G2T1 pokazao relativno nisku vlagu zrna od 15,45%.



Grafikon 4. Prosječan prinos i vlaga zrna križanaca

Tablica 3 prikazuje prinos zrna križanaca je u rasponu od 7,53 t/ha do 13,26 t/ha, a vlaga zrna je u rasponu od 11,55% do 19,80%. Križanac G4T1 pokazao je visok prinos te također pokazuje nisku standardnu devijaciju za prinos od 0,27 t/ha što dokazuje i koeficijent varijacije od 2,04%, a standardna devijacija vlage zrna iznosi 0,78% uz koeficijent varijacije od 5,59%. Od križanaca G4T1 i G2T1 koji su pokazali visok prinos od 13,26 t/ha i 11,56 t/ha i nisku vlagu zrna, standardna devijacija je niska za sva svojstva osim vlage zrna G2T1, gdje je standardna devijacija 2,05% što pokazuje i koeficijent varijacije od 13,27%. Standardna devijacija križanaca za prinos zrna proteže se od 0,09 t/ha do 1,83 t/ha, dok se devijacija za vlagu zrna proteže od 0,11% do 2,97%. Koeficijent

varijacije križanaca za prinos varira od 0,91% do 15,75%, dok za vlagu zrna varira od 0,79% do 15,79%.

Tablica 3. Standardna devijacija i koeficijent varijacije križanaca za prinos i vlagu zrna

Križanci	S (prinos t/ha)	S (vlaga (%))	KV (prinos %)	KV (vlaga %)
G1T1	9,92±0,23	12,8±0,71	2,31	5,55
G1T2	9,66±0,28	15,25±1,77	2,90	11,61
G2T1	11,56±0,22	15,45±2,05	1,90	13,27
G2T2	7,97±0,65	18,55±0,49	8,16	2,64
G3T1	11,87±1,28	18,7±1,98	10,78	10,59
G3T2	11,29±0,72	19,8±1,56	6,38	7,88
G4T1	13,26±0,27	13,95±0,78	2,04	5,59
G4T2	9,85±0,09	15,3±0,11	0,91	0,79
G5T1	10,43±0,73	11,55±0,21	6,99	1,82
G5T2	11,91±1,07	16±2,12	8,98	13,25
G6T1	10±0,38	14,3±0,71	3,80	4,96
G6T2	8,57±0,39	16,45±0,49	4,55	2,98
G7T1	9,87±0,92	16,2±0,71	9,32	4,38
G7T2	7,53±0,40	15,2±0,99	5,31	6,51
G8T1	11,62±1,83	18,6±2,97	15,75	15,97
G8T2	10,28±0,97	14,6±1,13	9,43	7,74
STANDARD1	9,96±0,09	14,05±0,21	0,90	1,49
STANDARD2	10,49±0,15	15,95±0,21	1,43	1,32

#### 4.4. Kombinatorne sposobnosti, analiza varijance i LSD test

U tablici 4 su prikazane vrijednosti prinosa u tonama po hektaru u križanjima svih 8 linija i oba testera, tablica također prikazuje opće kombinatorne sposobnosti linija i testera te specifične kombinatorne sposobnosti linija u križanju s oba testera. Stupac aritmetičke sredine prikazuje srednju vrijednost križanaca jedne linije i oba testera. Iz tablice vidimo da je aritmetička sredina populacije za prinos zrna 10,35 t/ha, također možemo primijetiti da je najviši OKS među linijama

G3 i G4 u kombinaciji s oba testera, a najviši SKS pokazuje linija G5 u križanju s testerom T2, a iza nje visok SKS pokazuje linija G2 u križanju s testerom T1.

Tablica 4. Opće i specifične kombinatorne sposobnosti križanaca za prinos zrna u t/ha

Linije	Tester		$\bar{x}$ (t/ha)	OKS	SKS	
	T1	T2			T1	T2
G1	9,92	9,66	9,79	-0,56	-0,59	0,59
G2	11,56	7,97	9,76	-0,59	1,08	-1,07
G3	11,87	11,29	11,58	1,23	-0,43	0,43
G4	13,26	9,85	11,55	1,2	0,99	-0,98
G5	10,43	11,91	11,17	0,82	-1,46	1,46
G6	10,00	8,57	9,28	-1,07	0	0,01
G7	9,87	7,53	8,7	-1,65	0,45	-0,45
G8	11,62	10,28	10,95	0,6	-0,05	0,05
$\bar{x}$	11,07	9,63	$\bar{x}$ populacije: 10,35			
OKS	0,72	-0,72				

U tablica 5 su prikazane vrijednosti vlage zrna u križanjima svih 8 linija i oba testera te vrijednosti općih kombinatornih sposobnosti linija i testera te specifične kombinatorne sposobnosti linija u križanju sa oba testera. Stupac aritmetičke sredine u tablici prikazuje srednju vrijednost križanaca jedne linije i oba testera, a aritmetička sredina populacije je 15,79% vlage zrna. Najbolji OKS za vlagu zrna pokazuje linija G5 u kombinaciji sa oba testera, a nakon nje linija G1. Najviši SKS pokazuje linija G8 u križanju sa testerom T2, a nakon nje visok SKS pokazuje linija G5 u križanju s testerom T1.

Tablica 5. Opće i specifične kombinatorne sposobnosti križanaca za vlagu zrna u %

Linije	Tester		$\bar{x}$ (%)	OKS	SKS	
	T1	T2			T1	T2
G1	12,80	15,25	14,02	-1,765	-0,625	0,625
G2	15,45	18,55	17	1,21	-0,95	0,95
G3	18,70	19,80	19,25	3,46	0,05	-0,05
G4	13,95	15,30	14,62	-1,165	-0,075	0,075
G5	11,55	16,00	13,77	-2,015	-1,625	1,625
G6	14,30	16,45	15,37	-0,415	-0,475	0,475
G7	16,20	15,20	15,70	-0,09	1,1	-1,1
G8	18,60	14,60	16,6	0,81	2,6	-2,6
$\bar{x}$	15,19	16,39	$\bar{x}$ populacije: 15,79			
OKS	-0,6	0,6				

Analiza varijance pokazala je statistički značajnu razliku kod OKS linija, OKS testera i SKS. Nulta hipoteza se odbacuje te je potreban izračun LSD testa (Tablica 6.). LSD test će se računati samo za SKS križance jer pokušavamo utvrditi koja kombinacija linija pokazuje značajno najbolji rezultat.

Tablica 6. Analiza varijance (ANOVA) za prinos zrna

	Df	Suma kvadrata	Sredina kvadrata	F	P	Značajnost
OKS linija	9	34,321	3,8134	6,4125	0,0005351	***
OKS tester	1	16,476	16,476	27,7047	0,00006337	***
SKS	7	19,978	2,8541	4,7992	0,0038936	**
Ponavljanje	1	0,01	0,0097	0,0163	0,9000492	n.s.
Greška	17	10,11	0,5947			

\*\* predstavlja značajnost pri  $\alpha=0,01$ , dok \*\*\* predstavlja značajnost pri  $\alpha=0,001$

Rezultat LSD testa za hibride za prinos zrna iznosio je 1,63 t/ha.

Tablica 7 pokazuje rezultate statističke značajnosti među križancima za prinos zrna. Iz navedene tablice vidimo da je križanac G4T1 pokazao najbolji rezultat. Križanac G4T1 za prinos zrna po LSD testu pokazuje statistički značajnu razliku u usporedbi sa svim ostalim križancima osim G3T1 i G5T2. Križanac G5T2 također je pokazao bolje rezultate od većeg broja križanaca osim G8T2, G3T2, G2T1, G8T1 i G3T1, a nakon njega križanci G3T1, G8T1 i G2T1 također pokazuju dobre rezultate u usporedbi sa većinom ostalih križanaca. Križanci G3T2, G5T1, G8T2 pokazuju lošiji prinos te u usporedbi sa ostalim križancima pokazuju bolji rezultat od samo tri križanca. Također, križanci G6T1, G1T1, G7T1, G4T2 i G1T2 pokazuju statističku značajnost samo u usporedbi sa križancima G7T2 i G2T2. Križanci G6T2, G7T2 i G2T2 su pokazali najniži prinos u usporedbi sa ostalim križancima. Svi križanci u pokusu su pokazali viši prinos i statistički značajnu razliku u usporedbi sa križancima G6T2, G7T2 i G2T2 što je vidljivo iz LSD tablice. Križanac G4T1 pokazao je značajno najviši prinos zrna od svih ispitivanih kombinacija.

Tablica 7. Rezultati LSD testa križanaca za prinos zrna

	G7T2	G2T2	G6T2	G1T2	G4T2	G7T1	G1T1	ST1	G6T1	G8T2	G5T1	ST2	G3T2	G2T1	G8T1	G3T1	G5T2	G4T1
G4T1	5.73**	5.29**	4.69**	3.6**	3.41**	3.38**	3.34**	3.3**	3.26**	2.98**	2.83**	2.77**	1.97**	1.7**	1.65**	1.39	1.35	
G5T2	4.38**	3.94**	3.34**	2.24**	2.07**	2.04**	1.99**	1.91**	1.9**	1.63**	1.48	1.42	0.62	0.35	0.3	0.04		
G3T1	4.34**	3.9**	3.3**	2.21**	2.02**	2**	1.95**	1.91**	1.87**	1.59	1.44	1.38	0.58	0.31	0.25			
G8T1	4.11**	3.64**	3.04**	1.95**	1.76**	1.74**	1.69**	1.65**	1.61	1.33	1.18	1.12	0.32	0.05				
G2T1	4.06**	3.59**	2.99**	1.9**	1.71**	1.69**	1.64**	1.6	1.56	1.28	1.13	1.07	0.27					
G3T2	3.79**	3.32**	2.72**	1.63**	1.44	1.42	1.37	1.33	1.29	1.01	0.86	0.8						
ST2	2.99**	2.52**	1.92**	0.83	0.64	0.62	0.57	0.53	0.49	0.21	0.06							
G5T1	2.93**	2.46**	1.86**	0.76	0.58	0.56	0.51	0.47	0.43	0.15								
G8T2	2.78**	2.31**	1.71**	0.61	0.43	0.41	0.36	0.32	0.28									
G6T1	2.47**	2.03**	1.43	0.33	0.15	0.13	0.08	0.04										
ST1	2.46**	1.99**	1.39	0.29	0.11	0.09	0.04											
G1T1	2.42**	1.95**	1.35	0.26	0.07	0.05												
G7T1	2.34**	1.9**	1.3	0.21	0.02													
G4T2	2.32**	1.88**	1.28	0.19														
G1T2	2.13**	1.69**	1.09															
G6T2	1.04	0.6																
G2T2	0.44																	
G7T2																		



Analiza varijance pokazala je statistički značajnu razliku kod OKS linija, OKS testera i SKS. Nulta hipoteza se odbacuje te je potreban izračun LSD testa (Tablica 8.). LSD test će se računati samo za SKS hibrida jer pokušavamo utvrditi koja kombinacija linija pokazuje najbolji rezultat.

Tablica 8. Analiza varijance (ANOVA) za vlagu zrna

	Df	Suma kvadrata	Sredina kvadrata	F	P	Značajnost
OKS linija	9	97,069	10,7854	7,5954	0,0001923	***
OKS tester	1	11,52	11,52	8,1127	0,0111146	*
SKS	7	48,55	6,9357	4,8843	0,0035688	**
Ponavljanje	1	7,84	7,84	5,5211	0,0311282	*
Greška	17	24,14	1,42			

\*\* predstavlja značajnost pri  $\alpha=0,01$ , dok \*\*\* predstavlja značajnost pri  $\alpha=0,001$

Rezultat LSD testa za hibride za vlagu zrna iznosi 2,51%.

Tablica 9 pokazuje rezultate statističke značajnosti među križancima. Križanac G5T1 pokazao je statistički značajnu razliku u usporedbi sa svim hibridima osim G4T1 i G1T1. Križanac G1T1 pokazao je statistički značajnu razliku u usporedbi s većinom križanaca osim G6T1 i G4T1. Križanci G4T1, G6T1, G8T2, G7T2, G1T2, G4T2, G2T1 i G5T2 pokazuju statističku značajnost samo u usporedbi s tri križanca s najvišom vlagom zrna, dok u usporedbi s ostalim križancima nema statističke značajnosti. Križanci G5T1 i G1T1 su pokazali uvjerljivo najnižu vlagu zrna u usporedbi s svim ostalim križancima. Također, križanac G4T1 je pokazao zadovoljavajuće rezultate. Križanci G3T2, G3T1, G8T1 i G2T2 su pokazali najvišu vlagu zrna u odnosu na ostale križance što nam pokazuje i LSD tablica. Križanac G5T1 je pokazao značajno najnižu vlagu zrna među ispitivanim križancima.

Tablica 9. Rezultati LSD testa križanaca za vlagu zrna

	G5T1	G1T1	G4T1	ST1	G6T1	G8T2	G7T2	G1T2	G4T2	G2T1	ST2	G5T2	G7T1	G6T2	G2T2	G8T1	G3T1	G3T2
G3T2	8.25***	7**	5.85**	5.75***	5.5**	5.2**	4.6**	4.55**	4.5**	4.35**	3.85**	3.8**	3.6**	3.35**	1.25	1.2	1.1	
G3T1	7.15***	5.9**	4.75**	4.65**	4.4**	4.1**	3.5**	3.45**	3.4**	3.25**	2.75**	2.7**	2.5	2.25	0.15	0.1		
G8T1	7.05***	5.8**	4.65**	4.55**	4.3**	4**	3.4**	3.35**	3.3**	3.15**	2.65**	2.6**	2.4	2.15	0.05			
G2T2	7**	5.75**	4.6**	4.5**	4.25**	3.95**	3.35**	3.3**	3.25**	3.05**	2.6**	2.55**	2.35	2.1				
G6T2	4.9**	3.65**	2.5	2.4	2.15	1.85	1.25	1.2	1.15	1	0.5	0.45	0.25					
G7T1	4.65**	4.4**	2.25	2.15	1.9	1.6	1	0.95	0.9	0.75	0.25	0.2						
G5T2	4.45**	4.2**	2.05	1.95	1.7	1.4	0.8	0.75	0.7	0.5	0.05							
ST2	4.4**	4.15**	2	1.9	1.65	1.35	0.75	0.7	0.65	0.45								
G2T1	3.9**	3.65**	1.5	1.4	1.15	0.85	0.25	0.2	0.15									
G4T2	3.75**	3.5**	1.35	1.25	1	0.7	0.15	0.05										
G1T2	3.7**	3.45**	1.3	1.2	0.95	0.65	0.1											
G7T2	3.65**	3.4**	1.25	1.15	0.9	0.6												
G8T2	3.05**	2.8**	0.65	0.55	0.3													
G6T1	2.75**	2.5	0.35	0.25														
ST1	2.5	2.25	0.15															
G4T1	2.4	2.15																
G1T1	1.25																	
G5T1																		

## 5. RASPRAVA

Prinos i vlaga zrna su vrlo bitna ekonomska svojstva raznih kultivara. Kako bi zadovoljili potrebe tržišta i proizvođača, prinos mora biti što viši, dok vlaga zrna treba biti što niža. Kombinatorne sposobnosti pomažu oplemenjivačima pri odabiru linija u dobivanju zadovoljavajućih hibridnih kombinacija.

U provedenom istraživanju, linije koje su pokazale visok prinos, iznad 10t/ha su G3, G4, G5 i G8, od navedenih linija, nisku vlagu zrna su pokazale linije G4 i G5. Linija G4 je pokazala prinos od 11,55 t/ha uz vlagu zrna od 14,63%, a linija G5 je pokazala prinos od 11,17 t/ha i 13,78% vlage zrna, što je ujedno i naj niža vlaga zrna među inbred linijama. Kada bi usporedili linije G4 i G5, linija G4 je pokazala puno višu standardnu devijaciju za prinos od 1,98 t/ha dok je G5 pokazala standardnu devijaciju od 1,13t/ha. Standardna devijacije vlage zrna linija G4 i G5 pokazala je suprotan rezultat, linija G4 je pokazala najnižu standardnu devijaciju za vlagu zrna od 0,9%, a linija G5 jednu od najviših standardnih devijacija od 2,85%. Linija G8 uz visok prinos pokazala je i relativno visoku vlagu zrna od 16,6%. Nizak prinos pokazala je linija G7 sa 8,7 t/ha uz vlagu zrna od 15,7%.

Tester T1 pokazao je prinos od 11,07 t/ha i 15,19% vlage zrna, a T2 je pokazao prinos od 9,63 t/ha i 16,39% vlage zrna. Standardna devijacija testera T1 za prinos iznosi 1,35 t/ha dok za T2 iznosi 1,57 t/ha. Standardna devijacije vlage zrna za T1 iznosi 2,73%, dok za T2 iznosi 2%.

Križanci linija s testerima su pokazali vrlo raznolike rezultate. Standardni komercijalni hibrid DKC 5276 je pokazao stabilan prinos od 9,96 t/ha uz vlagu zrna od 14,05%, niska standardna devijacija za oba svojstva ukazuje na stabilan prinos i nisku vlagu zrna ovog hibrida. Drugi standardni komercijalni hibrid Pioneer 9911 pokazao je prinos od 10,49 t/ha uz vlagu zrna od 15,95%, također, niska standardna devijacija za oba svojstva ukazuje na stabilan prinos i nisku vlagu zrna ovog hibrida. Križanac G4T1 pokazao je najviši prinos od 13,26 t/ha uz vlagu zrna od 13,95% te pokazuje vrlo nisku standardnu devijaciju za prinos od 0,27 t/ha, a standardna devijacija za vlagu zrna iznosi 0.78%. Od 11 do 12 tona prinosa pokazali su križanci (od >) G5T2, G3T1, G8T1, G2T1 i G3T2. Od tih križanaca najnižu vlagu zrna pokazao je G2T1 sa 15,45% vlage zrna, ostali križanci imaju od 16 do 20% vlage zrna. Najvišu standardnu devijaciju za prinos i vlagu zrna pokazao je križanac G8T1 od 1,83 t/ha i 2,97%, iako ima relativno visok prinos od 11,62 t/ha, visoka

standardna devijacija za oba testirana svojstva pokazuje visoku varijabilnost. Također, navedeni križanac pokazuje i vrlo visoku vlagu zrna od 18,6%. Najnižu standardnu devijaciju je pokazao križanac G4T2 od 0,09 t/ha, a najnižu standardnu devijaciju vlage zrna pokazao je križanac G4T2 od 0,11%. Najniži prinos su pokazali križanci G7T2, G2T2 i G6T2. U prosjeku križanci u križanjima sa T1 testerom su pokazali viši prinos u usporedbi s T2 testerom, također u prosjeku su pokazali i poželjniju vlagu zrna. Također, križanci G4T1, G5T2, G3T1, G8T1, G2T1 i G3T2 su pokazali bolji prinos od oba standardna komercijala hibrida.

Opća kombinatorna sposobnost pokazuje je li linija kompatibilna za veći broj hibridnih kombinacija, dok nam specifična kombinatorna sposobnost pokazuje u kojoj kombinaciji križanja linija pokazuje najbolji rezultat. Visok OKS i SKS za prinos zrna su poželjni rezultati. Najvišu opću kombinatornu sposobnost za svojstvo prinosa su pokazale linije G3 i G4, linija G3 opravdava svoju opću sposobnost pošto je pokazala sličan rezultat u obje kombinacije križanja dok je linija G4 pokazala puno bolji prinos u križanju s linijom T1 od 13,26 t/ha, a u drugoj kombinaciji je pokazala tri tone niži prinos. Također dobar opći kombinator za prinos je linija G5, koja je pokazala razliku od 1,5t/ha u kombinacijama sa T1 i T2. Za G4 liniju možemo reći da je dobar specifičan kombinator s testerom T1, isto to nam je pokazao i rezultat SKS izračuna. Također, dobar specifičan kombinator je linija G2 u kombinaciji sa testerom T1, križanac je pokazao 11,56 t/ha prinosa. Dobar specifičan kombinator u križanju s T2 za svojstvo prinosa je linija G5 sa 11,91 t/ha prinosa, ujedno i najviši prinos između svih križanaca T2 testera.

Vlaga zrna uvijek treba biti što niža, a s obzirom na to ćemo rezultate isčitati na način da je najniža vrijednost općih i specifičnih kombinatorskih sposobnosti zapravo najpoželjnija. Najnižu vlagu zrna pokazao je križanac G5T1, uz to je pokazao i najviši OKS i drugi najviši SKS. G5 je dobar specifičan kombinator za nisku vlagu u kombinaciji s T1 testerom, hibrid je pokazao vlagu zrna od 11,55%. Najbolji specifičan kombinator po izračunu je G8 u križanju s T2, pokazuje vlagu zrna od 14,60%, u kombinaciji s T1 je pokazao čak 4% višu vlagu zrna, što je definitivno nepoželjno. Također, dobar specifičan kombinator je linija G1 u križanju s T1, križanac je pokazao vlagu zrna od 12,80%. Križanci G5T1, G1T1 i G4T1 su pokazali nižu vlagu zrna od oba standardna komercijalna hibrida.

Vrijednosti LSD testa za vlagu zrna isčitavamo tako da prvi stupac prikazuje najpoželjnije rezultate, dok kod prinosa zrna prvi red rezultata u LSD tablici pokazuje najpoželjnije rezultate.

Već spomenuti križanci G4T1, G5T2 i G3T1 su pokazali najviši prinos u usporedbi s ostalim križancima, a od tih križanaca jedini G4T1 je pokazao nisku vlagu zrna od 13,95%, iza njega križanac G5T2 je pokazao vlagu zrna od 16%, a nakon njega je križanac G3T1 pokazao nepoželjnu vlagu zrna od 18,7%. Također, križanci G8T1, G2T1 i G3T2 su pokazali prinos viši od 11 t/ha, a od tih križanaca najnižu vlagu zrna pokazao je križanac G2T1 od 15,45%, križanci G8T1 i G3T2 su pokazali vlagu zrna višu od 18%. Križanac G4T1 je adekvatan hibrid za sjemensku proizvodnju, uz visok prinos, nisku vlagu zrna i nisku standardnu devijaciju za oba svojstva. Za svojstvo prinosa zrna, sredina kvadrata SKS je nešto niža od sredine kvadrata OKS linija, što ukazuje na aditivno djelovanje gena. Sredina kvadrata za svojstvo vlage zrna nam također ukazuje na aditivno djelovanje gena, sredina kvadrata SKS je niža od OKS linija. Alam i sur. (2008.) i Nepir (2015.) prema sredinama kvadrata također govore da je svojstvo prinosa uvjetovano aditivnim djelovanjem gena. Bhatnagar i sur. (2004.) također objavljuje rezultate da je vlaga zrna svojstvo uvjetovano aditivnim djelovanjem gena. Alam i sur. (2008.) su križali inbred linije te su testirali kombinatorne sposobnosti i heterozis. Saznali su da je veća varijanca OKS pronađena u svojstvima zrna po klip, dana do zrelosti, masi 1000 zrna što ukazuje na prevladavanje aditivnog djelovanja gena.

Nepir i sur. (2015.) su istraživali 20 križanaca inbred linija, a roditeljske linije su ocjenjivali na tri lokacije za prinos zrna, kvalitetu proteina i ostala bitna agronomska svojstva. Uočene su značajne varijacije među roditeljima i hibridima za gotovo sva mjerena svojstva. Nekoliko hibrida pokazalo je poželjan heterozis za najviše proučavane osobine. Također, utvrdili su da je suma kvadrata OKS među hibridima bila veća od sume kvadrata SKS, što sugerira na aditivno djelovanje gena.

Qurban i sur. (2014.) su proveli analizu kombinatornih sposobnosti za razna fiziološka svojstva, svojstva prinosa i kvalitete zrna kukuruza. Germplazma se sastojala od F<sub>1</sub> hibrida u tri ponavljanja u potpuno nasumičnom dizajnu pokusa. Odabrane hibride su ispitivali na sadržaj klorofila, brzinu fotosinteze, brzinu transpiracije, koncentracije CO<sub>2</sub>, učinkovitost korištenja vode, temperature lista u fazi zrelosti, prinos zrna i svojstva kvalitete zrna. Zaključili su da inbred linije B-316, F-96, B-11, Sh-139, EV-340, Pop/209, E-322, E-366 i EV1097 pokazuju više opće kombinatorne sposobnosti za većinu svojstava kvalitete zrna te zaključuju da bi se ove linije mogle koristiti za razvoj sintetičkih sorti za fiziološka svojstva, prinos zrna i kvalitetu zrna. S druge strane, križanci koji su pokazali višu specifičnu kombinatornu sposobnost mogu se koristiti za razvoj hibrida sa

višim prinosom zrna i općenito poboljšanje kvalitete hibrida kukuruza. Veliki broj linija u istraživanju su pokazali visoku specifičnu kombinaturnu sposobnost za većinu mjerenih fizioloških svojstava, što naznačuje da se te linije mogu koristiti za daljnji razvoj hibrida kroz heterozis kako bi dobili viši prinos zrna i kvalitetnih genotipa za daljnje programe uzgajanja. Također potvrđuju da je svojstvo prinosa uvjetovano aditivnim djelovanjem gena.

Attia i sur. (2022.) su proučavali pet inbred linija: Sd 12, Inbred bo 12, 72, Rg 8 i 56. Procjenjivali su roditelje i njihovih 10 križanaca u tri ponavljanja koristeći RCBD (randomized complete block design) dizajn. Pratili su duljinu klipa, promjer klipa, težinu klipa, broj zrna po klipu, težinu zrna, postotak ljuštenja i prinos zrna. Također su ispitivali postotak proteina, ugljikohidrata i ulja. OKS je vrlo značajna za prinos zrna i komponente prinosa osim promjera klipa, postotka proteina, ugljikohidrata i ulja. SKS je vrlo značajna za prinos, komponente prinosa i svojstva kvalitete. Dobiveni rezultati pokazali su aditivnu i ne aditivnu interakciju gena. Omjer OKS i SKS je pokazao da je ne aditivni učinak bio značajniji u svim svojstvima u istraživanju. Dakle, selekcija u daljnjim generacijama će biti vrlo bitna za poboljšanje ovih svojstava.

Estakhr i Heidari (2012.) su proizveli 14 inbred linija kukuruza te su pratili 91 križanca kroz dvije godine. Cilj istraživanja bio je identificirati najbolje općeg i specifičnog kombinatora, heterozis i tip djelovanja gena odgovornih za bitna agronomska svojstva. Opće i specifične kombinatorne sposobnosti računane su za sva svojstva. Rezultati za visinu biljke, visinu klipa, stupanj rasta do mlječne faze i prinos zrna pokazali su prevladavanje ne aditivnog učinka gena. Promatran heterozis za prinos zrna, broj zrna, period oprašivanja, visina biljke i klipa bio je znatno viši u usporedbi sa drugim svojstvima. Analiza varijanci pokazala je značajne OKS i SKS sredine kvadrata za većinu svojstava, što je pokazatelj važnosti aditivnih i ne aditivnih učinaka gena.

Navedena istraživanja ukazuju na važnost kombinaturnih sposobnosti pri odabiru roditeljskih linija za razvoj hibrida. Raznolikost u germplazmi, niska standardna devijacija, razumijevanje djelovanja gena za određena svojstva te dobre opće i specifične kombinatorne sposobnosti su osnova za razvoj kompetentnog hibrida.

## 6. ZAKLJUČAK

Križanjem 8 inbred linija kukuruza sa dva testera dobili smo 16 hibridnih kombinacija. Analizom dobivenih podataka za svojstva prinosa zrna i vlage zrna može se zaključiti da se radi većinom o aditivnom djelovanju gena. Linije koje imaju dobru opću kombinaturnu sposobnost se koriste u većem broju hibridnih kombinacija sa pretpostavkom da će donijeti dobar rezultat. Linije sa dobrim specifičnim kombinaturnim sposobnostima će se koristiti samo u specifičnim križanjima za određena svojstva. Inbred linije G3, G4 i G5 pokazale su najviši prinos u kombinacijama, a od navedenih linija, G5 je ujedno pokazala i najnižu vlagu zrna među svim kombinacijama te je i najbolji opći kombinator za to svojstvo. Također, linija G4 je pokazala nisku vlagu zrna. Linija G8 je pokazala visoku vlagu zrna, ali u kombinaciji sa T2 testerom koji također ima visoku vlagu zrna pokazuje nižu razinu vlage zrna, a prema SKS je najbolji specifični kombinator za vlagu zrna. U hibridnim kombinacijama, hibrid G4T1 pokazuje najviši prinos zrna u cijelom pokusu, a ujedno pokazuje i nisku vlagu zrna. Također, linija G4 se pokazala kao dobar opći i specifičan kombinator za svojstvo prinosa, ali ima nešto višu vlagu zrna.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Abdel-Moneam, M., A., Attia, A., N., EL-Emery, M., I., Fayed, E., A. (2009): Combining ability and heterosis for some agronomic traits in crosses of maize. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12(5): 433–438.
2. Acquaah, G. (2012): *Principles of plant genetics and breeding*. John Wiley & Sons, Oxford. 2: 70-72.
3. Alam, A., K., M., M., Ahmed, S., Begum, M. (2008.): Heterosis and combining ability for grain yield and its contributing characters in maize. *Bangladesh J. Agril. Res*, 33(3): 375-379.
4. Ali, Q., Ali, A., Awan, M., F., Tariq, M., Ali, S. (2014.): Combining ability analysis for various physiological, grain yield and quality traits of *Zea mays L.* *Life Science Journal*, 11: 540-551.
5. Attia, A., N., E., El-Galfy, A., M., Hafez, H., S., Elbehary, S., S., T. (2022.): Heterosis and Combining Ability Estimation for Yield, Yield Components and Grains Quality Traits in Maize (*Zea mays L.*). *Journal of Plant Production*, 13(7): 315-319.
6. Bagheri, N., Jelodar, N., B. (2010.): Heterosis and combining ability analysis for yield and related—yield traits in hybrid rice. *International Journal of Biology*, 2(2): 222–231.
7. Borojević, K. (1986.): *Geni i populacija*. Forum Novi Sad, Poljoprivredni fakultet Novi Sad. 447-449.
8. Chigeza, G., Mashingaidze, K., Shanahan, P. (2014): Advanced cycle pedigree breeding in sunflower. II: combining ability for oil yield and its components. *Euphytica*, 195(2): 183-195.
9. Cong-feng, L., Zhi-qiang, T., Peng, L., Ji-wang, Z., Ke-zhang, Z., Shu-ting, D., Ming, Z. (2015.): Increased grain yield with improved photosynthetic characters in modern maize parental lines. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(9): 1735-1744.
10. Estakhr, B., Heidari, B. (2012.): Combining Ability and Gene Action for Maturity and Agronomic Traits in Different Heterotic Groups of Maize Inbred Lines and Their Diallel Crosses. *Journal of Crop Science Biotechnology*, 15(3): 219-229.
11. Fasahat, P., Rajabi, A., Rad, J., M., Derera, J. (2016.): Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Journal of Biometrics and Biostatistics*, 4: 1-24.



12. Franco, M., C., Cassini, S., T., Oliveira, V., R., Vieira, C., Tsai, S., M. (2001): Combining ability for nodulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes from Andean and Middle American gene pools. *Euphytica*, 118(3): 265-270.
13. Gissa, D., W., Zelleke, H., Labuschagne, M., T., Hussien, T., Singh, H. (2007): Heterosis and combining ability for grain yield and its components in selected maize inbred lines. *South African Journal of Plant and Soil*, 24(3): 133–137.
14. Gouda, R., K., Kage, U., Lohithaswa, H., C., Shekara, B., G., Shobha, D. (2013): Combining ability studies in maize (*Zea Mays* L.). *Molecular Plant Breeding*, 3(14): 116–127.
15. Hallauer, R., A., Carena, M., J., Filho, M., J., B. (2010.): Quantitative Genetics in Maize Breeding. *Handbook of Plant Breeding*, 6: 383-418.
16. Ishaq, M., Raziuddin (2016): Combining ability analysis for maturity and plant architecture traits in intra-specific crosses of Rape-seed (*Brassica napus* L.). *Sarhad Journal of Agriculture*, 32: 168-176.
17. Krystkowiak, K., Adamski, T., Surma, M., Kaczmarek, Z. (2009): Relationship between phenotypic and genetic diversity of parental genotypes and the specific combining ability and heterosis effects in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 165(3): 419–434.
18. Lee, E., A., William, F., T. (2009.): Modern Maize Breeding. *Handbook of Maize*, 2: 1-2.
19. Lee, E., Tollenaar, M. (2007.): Physiological Basis of Successful Breeding Strategies for Maize Grain Yield. *Crop Science*, 47(3): 202-215.
20. Li, Y., Peng, J., Liu, Z. (1997): Heterosis and combining ability for plant height and its components in hybrid wheat with triticum timopheevi cytoplasm. *Euphytica*, 95(3): 337–345.
21. Melchinger, A., E., Gumber, R., K. (1998.): Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. *Concepts Breeding Heterosis Crop Plants*, 25: 29-44.
22. Nepir, G., Wegary, D., Zeleke, H. (2015.): Heterosis and combining ability of highland quality protein maize inbred lines. *Maydica*, 60(3).
23. Qurban A., Arfan A., Mudassar F., A., Tariq, M., Sajed, A., Tahir, R., S., Saira, A., Salah, D., Mukhtar, A., Muhammad, N., A., Sher, M., Nazar, H., K., Muhammad, A. (2014.): Combining ability analysis for various physiological grain yield and quality traits of *Zea Mays* L. *Life Science Journal*, 11(8): 540-551.

24. Rajendrakumar, P., Hariprasanna, K., Seetharama, N. (2015): Prediction of heterosis in crop plants—status and prospects. *Journal of Experimental Agriculture*, 9: 1-16.
25. Rebekić, A. (2017.): *Opisna statistika*. Sveučilište J.J. Strossmayera Osijek, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, 2017.
26. Rehman, M., S., Khan, M., S. (2009.): Genetic diversity of Haryana and Hissar cattle from Pakistan using microsatellite analysis. *Pakistan Veterinary Journal*, 29: 67-71.
27. Reif, J., C., Melchinger, A., E., Xia, X., C., Warburton, M., L., Hoisington, D., A. (2003): Use of SSRs for establishing heterotic groups in subtropical maize. *Theoretical Applied Genetics*, 107: 947-957.
28. Schils, R., Olesen, J., E., Kersebaum, K.-C., Rijk, B., Oberforster, M., Kalyada, V., Khitrykau, M., Gobin, A., Kirchev, H., (2018.): Cereal yield gaps across Europe. *European Journal of Agronomy*, 101: 109-120.
29. Sharma, B., B., Sharma V., K., Dhakar, M., K., Punetha, S., (2013.): Combining ability and gene action studies for horticultural traits in garden pea. *African Journal of Agricultural Research*, 8: 4718-4725.
30. Shukla, S., K., Pandey, M., P. (2008): Combining ability and heterosis over environments for yield and yield components in two-line hybrids involving thermosensitive genic male sterile lines in rice (*Oryza sativa L.*). *Plant Breeding*, 127(1): 28-32.
31. Sprague, G., F., Tatum, L., A., (1942): General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of the American Society of Agronomy*, 34: 923-932.
32. Stephens, J., C., Holland, P., F., (1954.): Cytoplasmic male sterility for hybrid sorghum seed production. *Agronomy Journal*, 46: 20-23.
33. Tiwari, D., K., Pandey, P., Giri, S., P., Dwivedi, J., L. (2011): Prediction of gene action, heterosis and combining ability to identify superior rice hybrids. *International Journal of Botany*, 7(2): 126–144.
34. Troyer, F., A., (1996.): Breeding widely adapted popular maize hybrids. *Euphytica*, 92: 163-174.
35. Zhang, X., Lv, L., Lv, C., Guo, B., Xu, R., (2015.): Combining ability of different agronomic traits and yield components in hybrid barley. *PLoS One*, 10(6): 1-9.  
<https://www.britannica.com/science/heterosis> Datum pristupa: 21.8.2022.  
<https://www.nass.usda.gov/Newsroom/2022/01-12-2022.php> Datum pristupa 21.8. 2022.

<https://www.researchgate.net/publication/257297987> Variability and correlation of grain yield structure components of two different types of maize cultivars *Zea mays* L

Datum pristupa 21.8. 2022.

## **8. SAŽETAK**

U ovome istraživanju prikazane su opće i specifične kombinatorne sposobnosti linija, testera i njihovih križanaca za svojstva prinosa i vlage zrna. Linije, testeri i hibridi uzgojeni su na poljima Poljoprivrednog instituta Osijek. Opća kombinatorna sposobnost je mjera agronomske izvedbe određenog genotipa u nizu hibridnih kombinacija, a specifična kombinatorna sposobnost određuje agronomsku izvedbu roditelja u specifičnom križanju na određeno svojstvo. Analizom varijance utvrđeno je da za svojstvo prinosa i vlage zrna postoji aditivno djelovanje gena. Cilj ovog istraživanja je utvrditi najbolje opće i specifične kombinatore među odabranim linijama.

**Ključne riječi:** kukuruz, inbred linije, hibridi, OKS, SKS

## **9. SUMMARY**

This research shows general and specific combining ability of inbred lines, testers and their crosses for grain yield and grain moisture levels. Lines, testers and hybrids were grown in the fields of Agricultural Institute Osijek. General combining ability is a measure of the agronomic performance of a specific genotype in a series of hybrid combinations, where as specific combining ability is the agronomic performance of the parental lines in a specific cross for a specific trait. Variance analysis determined an additive genetic variance for grain yield and grain moisture levels. The aim of this research is to determine the best general and specific combinator among the selected inbred lines.

**Keywords:** maize, inbred lines, hybrids, GCA, SCA

## 10. POPIS SLIKA

<b>Br.</b>	<b>Naziv slike</b>	<b>Str.</b>
Slika 1.	Hibridni kukuruz	8.
Slika 2.	Žetva kukuruza	9.

## 11. POPIS TABLICA

<b>Br.</b>	<b>Naziv tablice</b>	<b>Str.</b>
Tablica 1.	Standardna devijacija i koeficijent varijacije linija za prinos i vlagu zrna	12.
Tablica 2.	Standardna devijacija i koeficijent varijacije testera za prinos i vlagu zrna	13.
Tablica 3.	Standardna devijacija i koeficijent varijacije križanaca za prinos i vlagu zrna	15.
Tablica 4.	Opće i specifične kombinatorne sposobnosti križanaca za prinos zrna u t/ha	16.
Tablica 5.	Opće i specifične kombinatorne sposobnosti križanaca za vlagu zrna u %	17.
Tablica 6.	Analiza varijance (ANOVA) za prinos zrna	17.
Tablica 7.	Rezultati LSD testa križanaca za prinos zrna	19.
Tablica 8.	Analiza varijance (ANOVA) za vlagu zrna	20.
Tablica 9.	Rezultati LSD testa križanaca za vlagu zrna	21.

## 12. POPIS GRAFIKONA

<b>Br.</b>	<b>Naziv tablice</b>	<b>Str.</b>
Grafikon 1.	Prosječan prinos zrna u SAD-u (1865. do 2005.) i Kanadi (1892. do 2005.) u kg/ha	2.
Grafikon 2.	Prosječan prinos i vlaga zrna linija	11.
Grafikon 3.	Prosječan prinos i vlaga zrna testera	13.
Grafikon 4.	Prosječan prinos i vlaga zrna križanaca	14.



## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

### Opće i kombinatorne sposobnosti modernih linija kukuruza za prinos i vlagu zrna

Krunoslav Gašparović

**Sažetak:** U ovome istraživanju prikazane su opće i specifične kombinatorne sposobnosti linija, testera i njihovih križanaca za svojstva prinosa i vlage zrna. Linije, testeri i hibridi uzgojeni su na poljima Poljoprivrednog instituta Osijek. Opća kombinatorna sposobnost je mjera agronomske izvedbe određenog genotipa u nizu hibridnih kombinacija, a specifična kombinatorna sposobnost određuje agronomsku izvedbu roditelja u specifičnom križanju na određeno svojstvo. Analizom varijance utvrđeno je da za svojstvo prinosa i vlage zrna postoji aditivno djelovanje gena. Cilj ovog istraživanja je utvrditi najbolje opće i specifične kombinatore među odabranim linijama.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet Agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

**Mentor:** izv.prof.dr.sc. Sonja Petrović

**Broj stranica:** 37

**Broj grafikona i slika:** 6

**Broj tablica:** 9

**Broj literaturnih navoda:** 35

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** kukuruz, inbred linije, hibridi, OKS, SKS

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. izv. prof.dr.sc. Andrijana Rebekić, predsjednik
2. izv.prof.dr.sc. Sonja Petrović, mentor
3. dr.sc. Vlatko Galić, član

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

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**

**Graduate Thesis**

**Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek**

**University Graduate Studies, Plant production, course Plant breeding and seed science**

### **General and specific combining ability of modern maize lines for grain yield and grain moisture levels**

Krunoslav Gašparović

**Summary:** This research shows general and specific combining ability of inbred lines, testers and their crosses for grain yield and grain moisture levels. Lines, testers and hybrids were grown in the fields of Agricultural Institute Osijek. General combining ability is a measure of the agronomic performance of a specific genotype in a series of hybrid combinations, where as specific combining ability is the agronomic performance of the parental lines in a specific cross for a specific trait. Variance analysis determined an additive genetic variance for grain yield and grain moisture levels. The aim of this research is to determine the best general and specific combinator among the selected inbred lines.

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

**Mentor:** izv.prof.dr.sc. Sonja Petrović

**Number of pages:** 37

**Number of figures:** 6

**Number of tables:** 9

**Number of references:** 35

**Number of appandices:** 0

**Original in:** Croatian

**Keywords:** maize, inbred lines, hybrids, GCA, SCA

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. izv. prof.dr.sc. Andrijana Rebekić, chairman
2. prof.dr.sc. Sonja Petrović, mentor
3. dr.sc. Vlatko Galić, member

**Thesis is archived in:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1d.