

UNIVERZITET U BEOGRADU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Aleksandar D. Kovačević

SELEKCIJA GENOTIPOVA KUKURUZA SA UBRZANIM  
OTPUŠTANJEM VLAGE IZ ZRNA

doktorska disertacija

Beograd, 2024

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF AGRICULTURE

Aleksandar D. Kovačević

SELECTING OF MAIZE GENOTYPES FOR RAPID KERNEL  
DRYING RATE

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2024



UNIVERZITET U BEOGRADU  
Poljoprivredni fakultet

## Mentori

-----  
**Dr Tomislav Živanović**, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet,  
Univerzitet u Beogradu, UNO Genetika

-----  
**Dr Jovan Pavlov**, viši naučni saradnik, Institut za kukuruz “Zemun Polje”,  
UNO Genetika i oplemenjivanje biljaka

## Članovi komisije

-----  
**Dr Slaven Prodanović**, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u  
Beogradu, UNO Oplemenjivanje biljaka

-----  
**Dr Nenad Delić**, naučni savetnik, Institut za kukuruz “Zemun Polje”,  
UNO Genetika i oplemenjivanje biljaka

-----  
**Dr Irena Radinović**, docent, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u  
Beogradu, UNO Genetika i oplemenjivanje biljaka

-----  
**Dr Vladan Pešić**, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet  
u Beogradu, UNO Genetika i oplemenjivanje biljaka

-----  
**Dr Gordana Branković**, vanredni profesor, Poljoprivredni fakultet,  
Univerzitet u Beogradu, UNO Genetika i oplemenjivanje biljaka

Datum odbrane doktorske disertacije: \_\_\_\_\_

## ZAHVALNICA

Veliku zahvalnost dugujem mentorima dr Tomislavu Živanoviću, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta u Zemunu, i dr Jovanu Pavlovu, višem naučnom saradniku iz Instituta za kukuruz u Zemun Polju koji su mi odabrali ovu interesntnu i aktuelnu temu za doktorsku disertaciju. Zahvaljujući njihovom znanju, susretljivošću i korisnim sugestijama dali su mi podsticaj da do kraja uobličim i pretvorim ovaj rad u pisanu formu.

Zahvaljujem se prof. dr Slavenu Prodanoviću na interesantnim predlozima u izradi ove disertacije kako bi ona dobila svoj sadašnji oblik. Na korisnim sugestijama u izradi ovog rada i podsticajima za vreme poslediplomskih studija zahvalnost dugujem još i prof. dr Vladanu Pešiću, prof. dr Gordani Branković i docentu dr Ireni Radinović.

Zahvalan sam dr Nenadu Deliću, naučnom savetniku Instituta za kukuruz, na pomoći u obradi podataka s obzirom na veliko iskustvo i znanje koje poseduje u ovoj oblasti.

Posebnu zahvalnost dugujem dr Milanu Stevanoviću, višem naučnom saradniku iz Instituta za kukuruz u Zemun polju koji mi je ukazao poverenje i pružio mogućnost da radim na njegovim oglednim poljima u okviru Instituta, naučim mnoge stvari i sagledam za kratko vreme lepotu selekcionog poziva na oglednom polju kroz praktičan rad.

Posebno koristim priliku da se zahvalim dr Dragosavu Mutavdžiću, višem naučnom saradniku Instituta za multidisciplinarne studije iz Beograda, koji mi je nesebično preneo deo svoga specifičnog znanja iz statistike bez koga se ne može u istraživanjima ove vrste vezanim za genetiku i agronomiju.

Zahvalost dugujem Milošu Jovanoviću, Almiru Amiševiću i Nemanji Mitroviću iz Instituta za kukuruz sa kojima sam proveo prijatne trenutke u radu na oglednim poljima i od kojih sam naučio puno praktičnih i korisnih stvari iz oblasti teme ove disertacije. Zahvaljujem se mome kolegi Marku Mladenoviću i kolegini Sanji Perić na pomoći i podršci tokom izvođenja eksperimentalnog dela teze.

Zahvaljujem se svim ljudima iz Instituta za kukuruz „Zemun Polje” u Zemun Polju koji su me prihvatili kao stipendistu MNTR Republike Srbije i omogućili rad na poljskim ogledima i u laboratorijama za sve neophodne analize u dobijanju podataka za ovu doktorsku disertaciju.

Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije dugujem zahvalnost na stipendiji koju sam dobijao za vreme izrade ove disertacije na osnovu ugovora evidencioni broj: 451-03-68/2020-14/ 200032 i 451-03-9/2021-14/200032.

Najveću zahvalnost dugujem najmilijim članovima svoje porodice, majci Gordani, ocu Dušanu, bratu Vladimiru i supruzi Milici na podršci koju su mi dali u izradi ove disertacije. Na taj način su mi pomogli da se bavim poslom koji volim i koji sam odabrao za budući poziv i dalje usavršavanje.

# SELEKCIJA GENOTIPOVA KUKURUZA SA UBRZANIM OTPUŠTANJEM VLAGE IZ ZRNA

## Sažetak

Za ispitivanje je korišćeno šest inbred linija kukuruza različitog porekla i dužine vegetacionog perioda u cilju selekcije roditeljskih linija sa svojstvom brzog otpuštanja vlage. Odabrane inbred linije su ukrštene po metodu punog dialela sa recipročnim kombinacijama čime je dobijeno 15 originalnih i 15 recipročnih hibrida. Ogledi su postavljeni u polju tokom 2021. i 2022. godine na tri lokacije: Zemun Polje, Školsko Dobro i Kukujevci (Sremska Mitrovica-Ruma).

"Path" analiza je pokazala da na vlagu u berbi visoko pozitivan direktan efekat ima prečnik klipa (0,371), zatim ASI (0,233) i debljina listova komušine (0,230). Negativan direktan efekat na vlagu u berbi ima dužina klipa (-0,223). Na osobinu dnevni gubitak vlage iz zrna, najveći negativan direktan efekat ima prečnik klipa (-0,346), zatim površina listova komušine (-0,301) i interval metličanja i svilanja (-0,240), dok pozitivan direktan efekat na dnevno otpuštanje vlage ima dužina klipa (0,177). Sve ispitivane osobine bile u visoko značajnoj pozitivnoj korelaciji sa prinosom.

Recipročnim ukrštanjima ustanovljene su statistički značajne razlike kod nekih hibrida, kako u pogledu prinosa tako i u pogledu dinamike otpuštanja vlage iz zrna, što ukazuje na neophodnost testiranja i recipročnih kombinacija, prilikom pronalaženja što boljeg hibrida.

Regresionom analizom dinamike otpuštanja vlage iz zrna srednje kasnih samooplodnih linija kukuruza kroz njihova potomstva, utvrđeno je da su u 2021. godini hibridi koji su u sebi imali samooplodnu liniju ZPL1 na nedeljnom nivou najsporije gubili vlagu iz zrna (-4,44%), zatim hibridi koji su u sebi imali liniju ZPL5 (-4,70%), dok su hibridi koji su u sebi imali srednje kasnu liniju ZPL2 najbrže gubili vlagu iz kategorije srednje kasnih linija, u proseku za -4,95% na nedeljnom. U 2022. godini linija ZPL1 na nedeljnom nivou gubila je vlagu iz zrna za -3,50%, inbred linija ZPL5 za -3,77%, dok je linija ZPL2 gubila vlagu za -3,80%.

Samooplodne linije ZPL1 i ZPL5 imale su odlične vrednosti OKS za prinos zrna i komponente prinosa i kao takve mogu se koristiti u programima selekcije kao donori poželjnih gena vezanih za prinos. Samooplodne linije ZPL3 i ZPL4 pokazale su se kao odlični donori poželjnih osobina za ubrzano otpuštanje vlage iz zrna. Zbog toga se kombinovanje ovakva dva tipa samooplodnih linija preporučuje za stvaranje visokoprinosnih hibrida sa ubrzanom dinamikom otpuštanja vlage iz zrna.

Najviše vrednosti PKS za prinos zrna, u obe godine ispitivanja, dobijene su kod ukrštanja ZPL1 x ZPL5 i ZPL2 x ZPL5. Linije ZPL1 i ZPL5 imale su veoma značajne pozitivne vrednosti OKS za prinos, dok je linija ZPL2 imala statistički zanemarljive vrednosti OKS. To dokazuje da je u ukrštanju jednog roditelja sa visokim, i drugog sa niskim vrednostima OKS moguće, i da se može očekivati superiorno potomstvo.

**Ključne reči:** dialelni metod, genotip, hibrid, kvantitativne osobine, dinamika otpuštanja vlage, kukuruz.

## SKRAĆENICE

OKS – Opšta kombinaciona sposobnost

PKS – Posebna kombinaciona sposobnost

MT i NMT- materinska i nematerinska efekt

ASI – Interval metličanja i svilanja

**Naučna oblast:** Biotehničke nauke

**Uža naučna oblast:** Ratarstvo i povrtarstvo

**UDK:** 633.15:631.575.222.7(043.3)

# SELECTING OF MAIZE GENOTYPES FOR RAPID KERNEL DRY--DOWN

## Abstract

Six maize inbred lines of different origin and period of maturity were used in order to select parental lines with the property for rapid kernel dry-down. The selected inbred lines were crossed by the full diallel method with reciprocal combinations, and in this way we got 15 original and 15 reciprocal hybrids. Field trials were during 2021 and 2022 on three locations: Zemun Polje, Školsko Dobro and Kukujevci (near Sremska Mitrovica-Ruma).

"Path" analysis showed that the cob diameter (0.371), followed by ASI (0.233) and the husk leaves thickness (0.230) had a highly positive direct effect on the harvest moisture. The cob length has a negative direct effect on harvest moisture (-0.223). Especially the daily loss grain moisture, the largest negative direct effect is ear diameter (-0.346), followed by the husk leaf area (-0.301) and ASI (-0.240), while ear length (0.177) has a positive direct effect on daily moisture release. All investigated traits were in highly significant positive correlation with yield.

Reciprocal crossings revealed statistically significant differences in some hybrids, in terms of yield and in terms of the rapid kernel dry-down, which indicates the necessity of testing and reciprocal combinations, when finding the best possible hybrid.

By regression analysis of the rapid kernel dry-down rate from the grain of mid-late inbred lines of corn through their progeny, it was determined that in 2021 hybrids that had the inbred line ZPL1 in the weekly basis lost moisture from the grain the slowest (-4.44%), followed by hybrids that had the ZPL5 line in them (-4.70%), while hybrids that had the mid-late ZPL2 line in them lost moisture the fastest from the category of mid-late lines, i.e. by -4.95% on average on a weekly basis. In 2022, the ZPL1 line lost grain moisture by -3.50% on a weekly basis, the ZPL5 inbred line by -3.77%, while the ZPL2 line lost moisture by -3.80%.

The highest specific combining ability (SCA) values for grain yield, in both investigated years, were obtained in the crossbreeding ZPL1 x ZPL5 and ZPL2 x ZPL5. Lines ZPL1 and ZPL5 had very significant positive values for yield, while line ZPL2 had statistically negligible values of GCA. This proves that in the crossbreeding of one parent with high, and another with low GCA values, it is possible, and superior offspring can be expected.

The inbred lines ZPL1 and ZPL5 showed excellent GCA values for grain yield and yield components and as such can be used in selection programs as donors of desirable yield-related genes. The inbred lines ZPL3 and ZPL4 proved to be excellent donors of desirable traits for rapid kernel dry-down. That is why combining these two types of inbred lines is recommended for creating high-yielding hybrids with rapid kernel dry-down.

**Key words:** diallel method, genotype, hybrid, quantitative traits, rapid kernel dry-down, maize.

## ABBREVATIONS

OKS – General Combining Ability  
PKS – Specific Combining Ability

MT i NMT- Maternal and Non-Maternal effect  
ASI – Anthesis – Silking Interval

**Scientific field:** Biotechnical sciences

**Scientific subfield:** Field and Vegetable Crops

**UDK:** 633.15:631.575.222.7(043.3)

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. CILJ ISTRAŽIVANJA .....	4
3. PREGLED LITERATURE .....	5
3.1 Poreklo i gajenje kukuruza na našim prostorima .....	5
3.2 Klimatske promene i oplemenjivanje kukuruza.....	7
3.3 Problem vlage u zrnu u momentu fiziološke i pune zrelosti kukuruza.....	10
3.4 Prinos i komponente prinosa.....	14
3.5 Kombinacione sposobnosti (opšta i posebna), dialelni metod i relativni značaj u poboljšanju useva.....	16
3.6 Korelaciona povezanost, heritabilnost, genetička dobit i "Path" analiza.....	20
3.7 SNP molekularni markeri.....	26
3.8 NIR (Near-Infrared Reflectance - Bliska infracrvena spektroskopija) i kvalitativne osobine zrna od značaja za oplemenjivanje kukuruza .....	28
4. RADNA HIPOTEZA .....	30
5. MATERIJAL I METODE.....	31
5.1 Biljni materijal i postavljanje ogleda .....	31
5.2 Statistička analiza.....	34
6. METEOROLOŠKI USLOVI ZA VREME IZVOĐENJA OGLEDA .....	42
6.1 Temperatura.....	42
6.2 Padavine.....	44
7. REZULTATI I DISKUSIJA.....	47
7.1 Prinos zrna samooplodnih linija i hibrida.....	47
7.2 Korelacioni odnosi i "Path" analiza vlage u berbi i dnevnih gubitaka vlage iz zrna kukuruza.....	53
7.3 Korelacioni odnosi i "Path" analiza između prinosa zrna i komponenti prinosa.....	61
7.4 Linearno modeliranje zavisnosti vlage u berbi i dnevnog otpuštanja vlage iz zrna od kvantitativnih osobina kod kukuruza .....	66
7.5 Dinamika otpuštanja vlage iz zrna kod hibrida kukuruza.....	72
7.6 Regresiona analiza dinamike otpuštanja vlage iz zrna samooplodnih linija kukuruza na osnovu potomstva.....	86
7.7 Analiza varijanse kombinacionih sposobnosti samooplodnih linija kukuruza.....	93
7.8 Procena genetičkih parametara na osnovu odnosa varijansi OKS i PKS .....	97
7.9 SNP molekularni markeri.....	100
7.10 Ocena opštih kombinacionih sposobnosti (OKS) samooplodnih linija kukuruza...102	
7.11 Ocena posebnih kombinacionih sposobnosti (PKS) i recipročnih efekata (REC) dialelnih ukrštanja kukuruza.....	107
7.12 Sadržaj proteina, ulja i skroba kod samooplodnih linija i hibrida kukuruza.....	114
8. ZAKLJUČAK.....	120
9. LITERATURA.....	123
10. PRILOZI (Biografija i izjave).....	141

# 1. UVOD

Najznačajniji izvor hrane za čovečanstvo su žita. Zahvaljujući njima ljudi se hrane hiljadama godina. Žita su počev od njihove domestifikacije do danas najvažniji izvor kalorija za većinu ljudi na svetu. Nekoliko vrsta žita koristi se svakodnevno za hranu. Pšenica od pravih a pirinač i kukuruz od prosolikih žita važni su izvori ljudske hrane i čine preko 90% od sve potrošnje žita. Potrošnja glavnih žita (pšenice, pirinča i kukuruza) varira u različitim delovima sveta. Na primer, pšenica je u Evropi glavno žito, pirinač sporedno. Obrnuto je u Aziji. Sa kukuruzom je nešto drugačija situacija. Preovladava u Americi, Evropi i Africi. Kukuruzu, zajedno sa pšenicom i pirinčom pripada najvažnije mesto u celokupnoj svetskoj poljoprivrednoj proizvodnji žita. Prema podacima FAOSTAT u 2021. godini kukuruz je po ukupnim zasejanim površinama u svetu (205.870.016 ha) na drugom mestu iza pšenice (220.759.739 ha). Prosečan prinos zrna kukuruza u svetu u 2021. godini bio je na nivou od 5,88 t/ha, dok najrazvijenije zemlje dostižu nivo od 8 do 9 t/ha suvog zrna. Sa ukupnom godišnjom proizvodnjom od 1,21 milijardu tona zauzima prvo mesto u poređenju sa pšenicom i pirinčom (pšenica ima proizvodnju od 771,8 miliona tona, a pirinač 787,3 miliona tona). (FAOSTAT, 2021).

Interesantna su predviđanja Rosegrant et al., 2008., od pre 16. godina da će, kako su oni tada naveli, do 2025. godine kukuruz postati usev sa najvećom proizvodnjom u svetu, a da će se u zemljama u razvoju do 2050. godine potreba za kukuruzom udvostručiti, što je već na neki način ostvareno. Zbog velikog privrednog značaja površine pod kukuruzom u svetu se iz godine u godine povećavaju, a proizvodnja se širi i na nova geografska područja. Povećanju proizvodnje kukuruza svakako idu u prilog ratovi koji se vode u svetu, klimatske promene i povećanje stanovništva u svetu. Prema FAOSTAT podacima za 2021. godinu najveće površine pod kukuruzom su bile na oba Američka kontinenta (51,9%), u Aziji (29,5%), Evropi (11,2%) i u Africi (7,3%). Najveći proizvođač kukuruza u svetu su SAD (383.943.000t). Slede Kina (272.552.000t), Brazil (88.461.943t), Argentina (60.525.805t) i Ukrajina (42.109.850t).

Poseban privredni značaj kukuruza ogleda se i u činjenici da se skoro sva nadzemna biomasa biljke može iskoristiti. Raznovrsnim tehnološkim postupcima danas se od biljke kukuruza proizvodi više od 1.500 raznih industrijskih prerađevina (Glamočlija, 2012). Gotovo svi delovi biljke kukuruza mogu poslužiti za preradu, pa upravo to daje kukuruzu poseban ekonomski značaj.

Kod prerade kukuruznog zrna na pojedine osnovne sastojke ne gubi se gotovo ništa. Koriste se svi delovi biljke kukuruza osim korena koji ostaje u zemljištu i obogaćuje zemljište organskim materijama, popravljajući mu strukturu i podstiče mikrobiološku aktivnost zemljišta. Kukuruz se još koristi, delom u ishrani ljudi i u industriji, a klip, zrno i cele stabljike s listom za ishranu domaćih životinja. Zrno kukuruza kao osnovna sirovina u pripremi koncentrovane stočne hrane ima izuzetno veliku važnost jer sadrži prosečno u endospermu približno oko 70 -75% ugljenih hidrata, 10% proteina, 5% ulja, 15% mineralnih materija i 2,5% celuloze (Gibbon i Larkins, 2005). Kukuruzu se danas pridaje poseban značaj kao sirovini za proizvodnju etanola. Etanol sa malim dodatkom benzina koristi se kao gorivo (u Brazilu se koristi od drugog svetskog rata u saobraćaju). Manje zagađuje životnu sredinu od naftinih derivata dizela i benzina. Preko 95 % etanola dobija se na taj način. Samo u SAD povećana je proizvodnja etanola od 2001. godine sedam puta. Smatra se da SAD za ovu svrhu koriste kukuruz sa oko 40% zasejanih površina. Snažna potražnja za proizvodnjom etanola i najave u SAD da bi u narednim godinama povećali proizvodnju etanola iz kukuruza već je dovela do skokova u ceni ovog useva. Takve najave sugerišu da bi na svetskom nivou moglo doći, ne samo do povećanja površina i proizvodnje pod kukuruzom, već i preusmerenja njegove potrošnje sa stočarstva u proizvodnju bioenergije. Ovakva orijentacija mogla bi imati loš odraz na samo stočarstvo u celini na svetskom nivou, već i na druge industrijske grane.



Agrotehnička važnost kukuruza je vrlo velika budući da se seje na velikim površinama, pa u plodoredu dolazi po redosledu kao predusev drugim kulturama. Posle kukuruza zemljište može ostati plodno, jer se za kukuruz kao glavnom useva u rotaciji plodoreda izvodi često duboka obrada zemljišta i jače đubrenje. Loše je što se kukuruz, ponekad, kasno bere i ostavlja veliku vegetativnu masu što otežava pravovremenu setvu pšenice.

Tabela 1. Površine, prinos i proizvodnja kukuruza u Srbiji u periodu 2012-2022. godina

Godine	Površina u ha	Prinos t/ha	Proizvodnja u t
2012	1.288.000	2,8	3.532.602
2013	1.194.000	4,9	5.864.419
2014	1.058.000	7,5	7.951.583
2015	1.010.000	5,4	5.454.841
2016	1.010.000	7,3	7.376.737
2017	1.002.000	4,0	4.018.370
2018	902.000	7,7	6.964.770
2019	962.000	7,6	7.344.542
2020	996.000	7,9	7.872.607
2021	1.020.000	5,9	6.027.131
Prosek 2012/22	1.044.000	6,1	6.240.760

Izvor: Statistički godišnjaci R, Srbije za 2014, 2016, 2018, 2021, 2022. godinu

Privredni značaj kukuruza proizilazi u svetu i kod nas iz osobina same biljke, raznovrsnosti upotrebe i obima proizvodnje. Pored toga, važan je i agrotehnički značaj kukuruza, kao useva koji zahteva intenzivne uslove gajenja. Prema podacima SZRS 2022 (tabela 1.) u Srbiji je kukuruz glavni usev po površini koju zauzima na oraničnim površinama. U periodu 2012-2021 zauzimao prosečnu površinu od 1.044.000 ha sa prosečnim prinosom od 6,1 t/ha i proizvodnjom od 6,24 mil. t.

Oplemenjivački naponi zasnovani na adekvatno izabranim ciljevima i dobrom izboru germplazme su od suštinskog značaja za uspešan razvoj novih inbred linija i hibrida (Jumbo i Carena, 2008). Stvaranje visokorodnih i stabilnih sorti i hibrida je krajnji cilj u većini programa oplemenjivanja. Idealan genotip kukuruza bi trebalo da ima visok prosečan prinos u kombinaciji sa niskim stepenom variranja u različitim uslovima spoljašnje sredine (Epinat-Le Signor et al., 2001).

Kukuruz od svih žita ima najveći genetički potencijal za rodnost zrna. Pored promenljivih uslova spoljne sredine na prinos useva u velikoj meri utiču genetički faktori (Pavlov et al., 2013; Stevanović et al., 2013).

Oplemenjivanje kukuruza na prvom mestu je usmereno na povećanje prinosa zrna i mnogih drugih kvantitativnih i kvalitativnih osobina koje su u direktnoj vezi sa njim. Prinos i ostale agronomski važne osobine su kvantitativne prirode i nalaze se pod kontrolom velikog broja gena sa malim pojedinačnim efektima, a njihova fenotipska ekspresija je pod velikim uticajem uslova spoljne sredine (Delić et al., 2010). Da bi hibrid kukuruza bio prihvaćen u proizvodnji mora da poseduje što više poželjnih osobina, od kojih su među najvažnijim: visok i stabilan prinos zrna, dobra adaptabilnost na različite agroekološke uslove proizvodnje, tolerantnost prema dominantnim prouzrokovateljima bolesti prizemnog dela stabla i klipa, tolerantnost prema suši, brzo otpuštanje vlage iz zrna nakon fiziološke zrelosti zrna, poleganje i druge.

Ispitivanje prinosa jedan je od najčešćih parametara svih poljskih ogleda u poljoprivrednim istraživanjima. U mnogim naučnim i stručnim institucijama u svetu koje se bave oplemenjivanjem

kukuruzna obično se testira određeni broj genotipova na nekoliko lokaliteta u različitom okruženju, odnosno spoljnoj sredini (Kovačević, 2019).

Prinos po svojoj prirodi predstavlja višedimenzionu osobinu koja obuhvata više različitih karakteristika i na koje utiče veći broj faktora (Prodanović et al., 1996). Kao najkompleksnija osobina, prinos je pod značajnim uticajem faktora sredine i karakteriše ga nizak koeficijent heritabilnosti. Pored promenljivih uslova spoljne sredine na prinos useva u velikoj meri utiču genetički faktori.

Kukuruz je jedna od gajenih vrsta useva sa najvišim nivoom genetičke raznovrsnosti. Genetički diverzitet je važna komponenta oplemenjivačkih programa poboljšanja svih useva, a naročito kukuruza (Mohammadi i Prasanna, 2003a; Kitti, et al., 2012). Molekularni diverzitet kukuruza je otprilike tri do deset puta veći nego kod drugih useva iz porodice trava (Buckler, et al. 2001). Kukuruz pokazuje veliku molekularnu i fenotipsku varijaciju. Morfološki kukuruz pokazuje veću raznolikost fenotipa od možda bilo kog drugog žita (Wallace et al., 2014.). Postoji nekoliko faktora koji se navode kao razlozi za ovu raznolikost kukuruza, odnosno varijabilnost kukuruza. Visok nivo ukrštanja kod kukuruza favorizuje kontinuiranu razmenu gena između susednih biljaka, a u nekim slučajevima i sa njihovim divljim srodnicima; hromozomske duplikacije u kukuruzu su opsežne, što pruža nove mutacione mogućnosti za stvaranje veće fenotipske varijabilnosti.

Velika raznolikost agroekoloških uslova stvorila je osnovu za razvoj novih hibrida kukuruza dobro prilagođenih i skromnijim uslovima zemljišta i klime, kao i biotičkim stresovima. Postoji bliska korelacija između razvijenosti pojedinih država, sistem proizvodnje i vrste potrošnje kukuruza, sa diverzifikacijom i varijacijom kukuruza (Aguirre et al. 1998).

Sa ekonomskog aspekta, prinos zrna predstavlja najznačajniju osobinu za svaki hibrid kukuruza. Međutim, sadržaj vlage u zrnu u momentu berbe je, takođe jedan od najbitnijih momenata za profitabilnu proizvodnju (Reid et al., 2014). U ranijem periodu, praktično kompletna proizvodnja kukuruza u Srbiji ubirala se u klipovima pri većem sadržaju vlage u zrnu i sušila u kotobanjama (amabarima, čardacima). Imajući u vidu da berba kukuruza u klipovima zahteva znatno angažovanje radne snage, u poslednjih desetak godina proizvođači kukuruza masovno se odlučuju za berbu kukuruza u zrnu i kasnije skladištenje zrna u silosima. Optimalni momenat za ubiranje u zrnu je kada sadržaj vlage padne na 14%, jer pri ovom sadržaju vlage nema potrebe za dodatnim dosušivanjem. Ukoliko je sadržaj vlage u berbi viši od 14%, potrebno je dosušivanje, što iziskuje dodatne troškove. Što je sadržaj vlage u berbi veći, to će i troškovi dosušivanja biti veći. Iz tog razloga, proizvođači kukuruza se u poslednje vreme odlučuju za gajenje hibrida kukuruza koji imaju nisku vlagu u berbi, odnosno onima koji se odlikuju brzim otpuštanjem vlage iz zrna. Ranije ubiranje kukuruza omogućava i pravovremenu setvu narednog useva, pretežno ozimih strnih žita u Srbiji. Na ovaj način, izbegava se žetva kukuruza u uslovima hladnog i vlažnog vremena, što usporava ubiranje.

Duvick (2005) navodi da prinosi kukuruza beleže kontinuirani rast svuda gde su se gajili u svetu, počevši od kukuruznog pojasa SAD početkom 1930-ih godina. Oplemenjivanje biljaka i poboljšana agrotehnika zajedno su doprinele tom uspehu. U proseku, oko 50% povećanja je posledica agrotehnike, a 50% oplemenjivanja. Smatra se da su ove dve stvari tako blisko povezane da nijedna od njih ne bi mogla sama da proizvede takav napredak. Međutim, genetički dobici će, smatra on, možda morati da podnesu veći deo tereta u narednim godinama.

Hibridne osobine su se menjale tokom godina. Promene osobina koje povećavaju otpornost na širok spektar biotičkih i abiotičkih stresova (npr. tolerancija na sušu) su najbrojnije, ali su takođe zabeležene morfološke i fiziološke promene koje promovišu efikasnost u rastu, razvoju i promeni arhitekture biljke (npr. manje metlice). Upravo zbog rešavanja takvih problema noviji hibridi daju veći prinos od svojih prethodnika u nepovoljnim, ali i u povoljnim uslovima gajenja.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja ove doktorske disertacije je identifikacija osobina koje utiču na dinamiku otpuštanja vlage kod različitih genotipova kukuruza. Takođe, ispitaće se način nasleđivanja posmatranih osobina, kao i međuzavisnost posmatranih osobina i sadržaja vlage u zrnu.

U radu će se izvršiti evaluacija direktnih i indirektnih uticaja na otpuštanje vlage iz zrna. Genetička karakterizacija samooplodnih linija kukuruza primenom SNP molekularnih markera omogućiće praćenje dinamike otpuštanja vlage kod genotipova kukuruza različitog heterotičnog porekla. Imajući u vidu da su roditeljske linije kukuruza koje se koriste u istraživanju ukrštene po metodu potpunog dialela, biće moguće poređenje sadržaja vlage u zrnu između originalnih i recipročnih kombinacija ukrštanja.

Glavni cilj je identifikacija osobina koje imaju najveći uticaj na dinamiku otpuštanja vlage iz zrna. Na ovaj način, oplemenjivači kukuruza dobiće informaciju na koje osobine treba da obrate pažnju tokom selekcionog rada u cilju dobijanja novih genotipova sa brzim otpuštanjem vlage iz zrna. Pored toga, ovi rezultati istraživanja treba da pruže uvid u način nasleđivanja osobina koje imaju najveći uticaj na dinamiku otpuštanja vlage, kao i na dinamiku otpuštanja vlage kod genotipova koje imaju različito genetičko poreklo.

U ovom istraživanju koristiće se najsavremenije genetičke i bioinformatičke metode, koje će omogućiti dobijanje pouzdanih i preciznih podataka. Rezultati istraživanja olakšaće oplemenjivačima rad na stvaranju novih roditeljskih linija i hibrida kukuruza koji se odlikuju brzim otpuštanjem vlage iz zrna.

Imajući u vidu da se u istraživanju koriste najelitnije samooplodne linije, selekcionisane u Institutu za kukuruz „Zemun Polje“, dobijeni rezultati će omogućiti identifikaciju roditeljskih linija koje će se koristiti za stvaranje novih, početnih populacija kukuruza, iz kojih će se selekcionisati roditeljske linije sa svojstvom brzog otpuštanja vlage.

### 3. PREGLED LITERATURE

#### 3.1 Poreklo kukuruza i početak gajenja na našim prostorima

Kao merkatilni usev i model biološkog sistema, kukuruz ima dugu istoriju kao model za proučavanje genetike, evolucije i oplemenjivanja. Njegova genetička raznolikost korišćena je za analizu molekularne osnove fenotipske varijacije i za poboljšanje poljoprivredne proizvodnje i održivosti. To su glavni razlozi zbog čega bi analiza interakcije genotipa sa uslovima spoljne sredine poboljšala informacije o prilagodljivosti i stabilnosti genotipova koji utiču na odabir i preporuku hibrida. Kukuruz (*Zea mays* L.) je jednogodišnja biljka koja vodi poreklo iz Centralne Amerike. Pripada porodici trava *Poaceae* i plemenu *Maideae*. Nastao je pre 5.000 do 10.000 godina (Paliwal, 2000). Smatra se da je kukuruz bio jedna od prvih biljaka koje su tadašnji stanovnici uzgajali pre 7.000 do 10.000 godina, a dokazi o kukuruzu kao hrani potiču sa nekih arheoloških nalazišta u Meksiku gde su pronađeni mali klipovi kukuruza, procenjeni na više od 5000 godina. Otkriće fosilnog polena i pećinskog klipa kukuruza u arheološkim oblastima podržava stav da kukuruz potiče iz Meksika. Po nekim drugim teorijama kukuruz potiče iz regiona Himalaja u Aziji, i to kao proizvod ukrštanja *Coik* spp. i neke vrste *Andropogonea* (verovatno vrste *Sorghum*), oba roditeljska hromozoma sa pet parova, ili sa visokih Anda odnosno današnjih teritorija država Bolivije, Ekvadora i Perua, o čemu svedoči prisustvo kokica u Južnoj Americi i široka genetska raznolikost prisutna u Andima, posebno na visoravnima Perua (Smith, 2001; Piperno i Flannery, 2001). Biološki i arheološki pristupi utvrđivanju gde i kada je kukuruz prvobitno pripitomljen nastavljaju da evoluiraju korišćenjem genetskih istraživanja i složenih metodologija (Paliwal i Smith, 2002). Sistematskim sakupljanjem i kultivisanjem biljaka koje su najpogodnije za ljudsku ishranu, Indijanci su transformisali kukuruz tokom nekoliko hiljada godina u biljku sa većim klipovima i sa više redova zrna, čineći ga boljim izvorom hrane. Ovo je omogućavalo stabilniju i dužu ishranu ljudi tokom cele godine na jednoj lokaciji (Ranum et al., 2014). Širenje kukuruza iz njegovog centra ishodbnog porekla u Meksiku (Vavilov, 1951) u različite delove sveta bilo je izuzetno i brzo u pogledu njegove evolucije kao kultivisane biljke i raznih prehrambenih proizvoda. Stanovnici nekoliko autohtonih plemena u Centralnoj Americi i Meksiku doneli su biljku u druge regione Latinske Amerike, na Karibe, a zatim u Sjedinjene Države i Kanadu. Evropski istraživači odneli su kukuruz u Evropu, a kasniji trgovci su odneli kukuruz u Aziju i Afriku. Portugalci su kukuruz preneli u jugoistočnu Aziju iz Amerike u 16. veku. Zatim je sledio veoma komplikovan put prenosa na različite kontinente, uključujući Severnu i Južnu Ameriku, Evropu i Afriku. Većina takvog prenosa i uvođenja u gajenje desila se pre nekoliko vekova, a stanovništvo je biralo sorte kukuruza sa boljom prilagodljivošću novim sredinama. Vremenom se kukuruz proširilo po celom svetu u rasponu od nizije do visoravni u odgovarajućim uslovima klime za njegovo gajenje (Aman, 2021).

Kukuruz je na evropski kontinent prenešen u nekoliko talasa introdukcije počev od prvog 1493.godine kada su preneseni prvi varijeteti sa tropskog područja Kariba, preko kasnijih introdukcija u 16. veku kada su preneseni varijeteti sa visoravanskih i brdskih područja kraćeg perioda vegetacije koji su se pokazali prilagođenijim za gajenje i širenje po evropskom kontinentu.

Prema Radiću (1872), kukuruz je na naše prostore stigao 1576. godine preko Dalmacije, gde je stigao pomorskim putem iz Italije. Treći talas introdukcije je vezan za 18. vek kad su introdukovani varijeteti sa područja Severne Amerike prilagođeni za gajenje u hladnijim područjima, dok su krajem 19. veka introdukovani zubani američkog kukuruznog pojasa, što čini četvrti značajniji talas introdukcije kukuruza u Evropu (Babić et al., 2012).

Introdukovani zubani su ukršteni sa postojećim gajenim tvrducima kraćeg vegetacionog perioda i kao rezultat masovne selekcije iz tih međusortnih hibrida su nastale naše najpoznatije sorte kukuruza: Rumski zlatni zuban, Vukovarski zuban, Šidski zuban (Trifunović, 1986). Ove sorte su decenijama činile okosnicu proizvodnje kukuruza u najproduktivnijim, ravničarskim područjima dok su u brdskim područjima gajene lokalne populacije tvrdunaca, kraćeg vegetacionog perioda. Sorte su metodama masovne selekcije vremenom poboljšavane, ali su zbog svoje genetičke kompozicije, ipak imale ograničen potencijal rodnosti, dok su ostvareni prinosi u najvećoj meri zavisile od primenjenih agrotehničkih mera i godišnjih klimatskih uslova. Prosečni prinosi kukuruza u SAD-u su stagnirali u prve tri decenije 20. veka (Olivoto et al., 2016). Početkom 20. veka genetika kukuruza postaje predmet istraživanja većeg broja naučnika što će doprineti važnim saznanjima koja će biti primenjena i dovesti do prave revolucije u gajenju kukuruza. Otkriće hibridne bujnosti - heterozisa i otkriće načina nasleđivanja kvantitativnih osobina kukuruza je značajno za dalju selekciju. Hibridi duguju svoju superiornost biološkom fenomenu hibridne bujnosti-heterozisa. Iako je pojava heterozisa bila uočena i ranije prve definicije i istraživanja u cilju pronalaska metoda za praktičnu primenu ovog fenomena su se dogodile početkom XX veka u Sjedinjenim Američkim Državama.

Tokom ere hibridnog kukuruza (od 1908. do danas), prinos useva se povećao skoro šest puta (Lee i Tollenaar, 2007). George Harrison Shull (1908) je objavio rad sa naslovom „Sastav polja kukuruza”, koji predstavlja početak eksploatacije heterozisa u oplemenjivanju biljaka. Na osnovu rezultata svojih istraživanja došao je do saznanja da su inbred linije kukuruza, podvrgnute u nekoliko ciklusa samooplodnji ispoljile značajno smanjenje snage i prinosa zrna. Međutim, hibridi koji su rezultat ukrštanja dve inbred linije su povratile ove karakteristike, često sa boljim performansama i superiornom snagom od sorti od kojih su bile izvedene (Shull, 1908). Ova činjenica je svakako jedan od najvećih genetičkih trijumfa našeg vremena (Olivoto et al., 2016).

Hibridi su dominantni oblik korišćenja sortnog semena kukuruza u svim zemljama značajnijim proizvođačima kukuruza u svetu. Od uvođenja hibrida u proizvodnju, varijabilnost koja je stvarana i sakupljena u lokalnim populacijama, se koristi za stvaranje novih hibrida preko inbred linija potencijalnih roditeljskih komponenti novih hibrida.

U našem kukuruznom pojasu dominiraju hibridi FAO 500 do FAO 700 grupa zrenja, a najčešće korišćeni heterotični par je B73 x Mo17. Hibridi između ovih, ili njima sličnih linija sa uspehom se gaje više od pola veka (Ivanović et al., 2002). Visok heterotični potencijal i dobra adaptabilnost su razlozi zbog kojih se ove linije i danas intenzivno koriste u domaćim programima oplemenjivanja kukuruza. Kod četiri domaća hibrida, najznačajnija predstavnika drugog i četvrtog ciklusa selekcije, NSSC 70 i ZP SC 46A, odnosno, NSSC 640 i ZPSC 677, kao očinska ili majčinska komponenta učestvuje po jedna inbred linija selekcionisana u našim Institutima. Domaće inbred linije vode poreklo iz lokalnih populacija kukuruza, ili je adaptirana germplazma učestvovala sa 50% u njihovom stvaranju. Inbred linije poreklom iz domaće populacije Vukovarski žuti zuban, kao i neke javne linije američkog porekla, kao što je N152, su korišćene za popravku linija Mo17, B73 i drugih sličnih linija, kao donori alela za prinos zrna i druga važna svojstva (Stojaković et al., 2006).

Novi hibridi su, u odnosu na do tada gajene sorte, pokazali bolji i brži porast, značajno veći potencijal rodnosti, bolji odgovor na stresne faktore, kao i ujednačenost useva koja je naročito dobila na značaju sa uvođenjem intezivnije mehanizovanosti u proizvodnji kukuruza. Posle drugog svetskog rada uvođenjem statistike u ova proučavanja znatno su ubrzana istraživanja i dobijeni prvi vrlo značajni hibridi u svetskim razmerama.

### 3.2 Klimatske promene i oplemenjivanje kukuruza

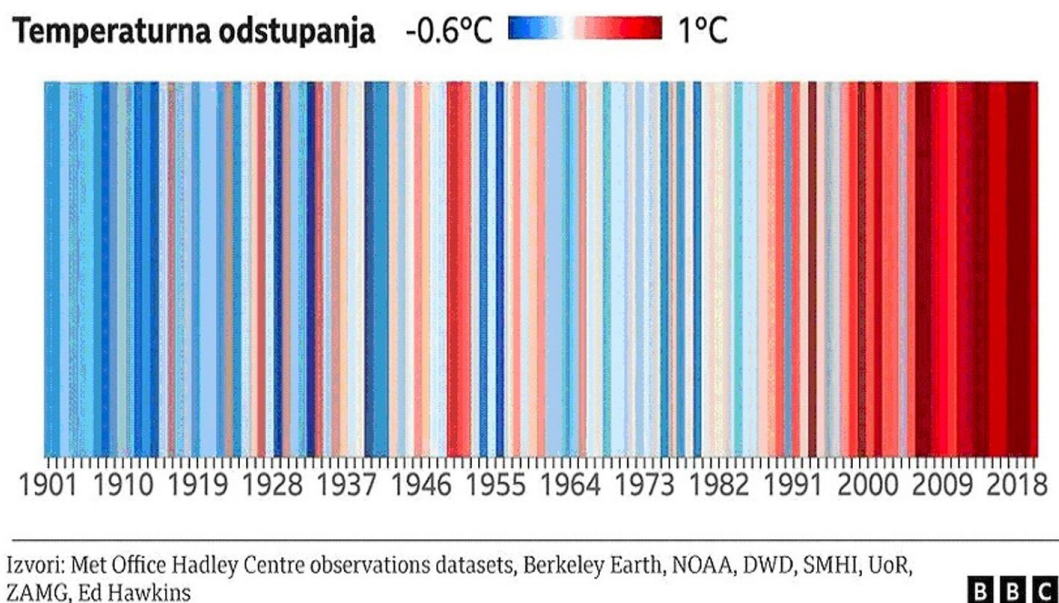
Smanjenje poljoprivrednog biodiverziteta može se kvantifikovati. Slobodne procene kako navodi Altieri (1995), govore da ima oko 250.000 biljnih vrsta, od kojih je oko 50.000 jestivo, u stvari se ne koristi više od 250 – od toga 15 useva čini 90% biljne proizvodnje, od kojih su najznačajniji za svet tri: pšenica, pirinač i kukuruz. Kod ova tri useva, moderno oplemenjivanje biljaka je bilo posebno uspešno i kretanje ka genetičkoj uniformnosti je bilo brzo – najrasprostranjenije sorte, odnosno hibridi ova tri useva su blisko povezani i genetički posmatrano ujednačeni (čiste linije kod pšenice i pirinča i hibridi u kukuruzu). Glavna posledica zavisnosti moderne poljoprivrede od malog broja sorti za glavne useve je ta da su glavni izvori hrane genetički posmatrano osetljiviji nego ikada ranije, odnosno da je bezbednost hrane potencijalno ugrožena. Brojni oplemenjivači biljaka upozoravaju da bi konvencionalno oplemenjivanje bilja kontinuiranim ukrštanjem između elitnih linija germplazme dovelo do izumiranja različitih sorti i nepripitomljenih biljaka (Vavilov, 1992; Flora, 2001; Mendum i Glenna, 2010).

Kao posledica globalnih promena klime, dešavaju se sve više i promene u intenzitetu i učestalosti klimatskih ekstrema – tropskih ciklona, suša, poplava, klizišta, erozija zemlje, olujnih trajnih nepogoda, snežnih mećava i povećanja temperatura vazduha tzv. toplotnih talasa, požara, uslova za širenje epidemije i štete. Najveće ekonomske štete u Srbiji su prouzrokovane sušama, poplavama, olujnim nepogodama praćenim gradom, klizištima, erozijom izazvanom bujicama, a tokom poslednjih godina sve je više požara, toplotnih talasa i poplave. Dugoročno problemi nastaju i zbog činjenice da od sedamdesetih godina prošlog veka do danas prosečne godišnje temperature kod nas i u regionu stalno rastu. Ipak, promene klime na ovom području zasad se ogledaju u povećanoj učestalosti i intenzitetu toplotnih ekstrema kao što su se suše u poslednje dve decenije novog milenijuma. Ako se ovaj trend klimatskih promena nastavi kao što pokazuju različiti scenariji predviđanja klimatskih promena za naš region, to bi moglo dovesti kod nas do velikih problema u vremenskim i klimatskim uslovima i u vodosnabdevanju.

Podaci za temperaturu u Srbiji od 1900 do 2020. godine na grafikonu 1., vrlo su ilustrativni po bojama jer pokazuju povećanje prosečnih godišnjih temperatura za proteklih 120 godina od 1,4 C<sup>0</sup>.

Konkretni pokazatelji ovih promena u Srbiji predstavljaju sušne godine, a koje su sve učestalije, posebno od 1983. godine do danas. Ekstremno sušne godine u periodu 1990-2020., bile su: 1991, 1992, 2000, 2003, 2007, 2011, 2012, 2017 i 2022. godina. Ekstremno sušne godine prati visoka temperatura letnjih meseci u periodu jun, juli i avgust, niska relativna vlažnost vazduha, najčešće manja od 35%, nedostatak i loš godišnji raspored padavina. Sa druge strane, relativna vlažnost vazduha u Srbiji ima sve niže vrednosti, posebno u letnjim mesecima, što u kombinaciji sa suvim vetrovima i visokom temperaturom (više od 35°C) u dužem vremenskom periodu nanosi ogromne štete poljoprivrednim usevima, naročito kukuruzu u vreme oprašivanja i nalivanja zrna (Kovačević et al., 2020). Ukupna količina padavina, a posebno njihov neravnomeran raspored tokom letnjih meseci presudno deluju na prinose gotovo svih poljoprivrednih useva.

Nasuprot sušnim godinama, u istom navedenom referentnom periodu na osnovu podataka iz Godišnjaka Hidrometeorološkog Zavoda Srbije (1990 - 2020) može se videti da je bilo i onih godina sa obilnijim padavinama (1999, 2004, 2005, 2009, 2010 i 2014.). U Srbiji i regionu vlažne godine, sa dužim kišnim periodima obično smenjuju sušne. Obilnije padavine tokom zimskog perioda nanosile su, u nekim godinama, kao što su bile ekstremne 2010 i 2014. godine, velike štete u vidu poplava i dugotrajnijih vodoleži na celoj teritoriji Srbije, posebno u Vojvodini (Kovačević et al., 2020). Poslednjih godina obilnije padavine u toku leta praćene su olujnim vetrovima i gradom, čemu su uzrok uglavnom toplotne inverzije na globalnom nivou. Kada je u pitanju kukuruz, vlažna proleća odlažu setvu; više kiše tokom letnjeg perioda obično izazivaju pojavu biljnih bolesti, veću zakorovljenost i štete u punoj zrelosti kada je u pitanju sporije odavanje vlage, poleganje useva, itd. Sve to praćeno je, obično sa većim troškovima za dodatno- veštačko dosušivanje zrna.



Grafikon 1. Promene temperature u Srbiji od 1901 do 2021. godine

Oplemenjivanje na veću toleranciju na sušu je istorijski, možda jedan od najvažnijih i najčešćih ciljeva oplemenjivanja za sve glavne useve u većini zemalja (Anđelković, 2000). Znajući ove činjenice kao i moćnu ulogu oplemenjivanja bilja u povećanju prinosa treba očekivati rešenja u budućnosti koja će dovesti do stvaranja novih hibrida i sorata bilja bolje prilagođenih klimatskim promenama konvencionalnim ili novim genetičkim tehnologijama. Ove osobine uključuju toleranciju na sušu i temperaturni stres; otpornost na štetočine i bolesti – koje i dalje smanjuju prinose useva, salinitet i navodnjavanje. Mogućnosti za nove sorte sa povećanom tolerancijom na sušu uključuju promene u fenologiji ili pojačane reakcije na povišen CO<sub>2</sub>. Što se tiče vode, brojni radovi navode genetičke modifikacije useva pre svih npr. kukuruza i soje koje su povećale njihovu toleranciju na nedostatak vode (Ceccarelli et al. 2010).

Opšte poznata je činjenica da se tolerancija na sušu stiče pomoću različitih razvojnih, morfoloških i fizioloških adaptacija, koje omogućavaju biljkama: ravnotežu između usvajanja vode i transpiracije ili toleranciju deficita vlage; izbegavanje dehidracije - sposobnosti biljke da održi relativno visok vodni potencijal listova, kada se javlja zemljišna ili vazдушna suša; ili ubrzanim razvojem i završavanjem životnog ciklusa pre nego što nastupi sušni period.

Uz rastuće zahteve za većim prinosima i poboljšanim kvalitetom poljoprivrednih proizvoda, oplemenjivanje useva koji su otporni na stresove životne sredine veoma je važan za globalnu bezbednost hrane. Da bi se izborile sa svim abiotičkim stresovima, biljke prolaze kroz mnoge morfološke, fiziološke i biohemijske promene. Iako su identifikovani brojni geni uključeni u toleranciju na abiotički stres u kukuruza, njihova primena je trenutno ograničena. Yang et al. (2023) navode da istraživanja molekularnih i genetskih osnova odgovora kukuruza na kombinovane abiotičke stresove postaje sve važnije i hitnije za rešavanje održavanja i poboljšanja prinosa kukuruza u proizvodnji suočenoj sa klimatskim promenama. Naše znanje i razumevanje genetičkih resursa i molekularnih mehanizama koji leže u osnovi tolerancije na abiotički stres kod kukuruza je još uvek fragmentirano. Ostaje da se odgovori na mnoga otvorena pitanja: Koji geni su najefikasniji za zaštitu stabilnosti prinosa pod određenim stresom? Može li manipulacija jednim genom zaštititi biljke kukuruza od višestrukih stresova? Da li je moguće prekinuti kompromis između tolerancije na stres i rasta biljaka?

Tehnološke inovacije u sekvenciranju, snimanju i veštačkoj inteligenciji će olakšati sveobuhvatnije razumevanje odgovora na abiotički stres na raznim nivoima počev od tkiva, ćelijskom (čak i jednoćelijskom) do molekularnog. Yang et al., (2023) smatraju da je važno da se povezanost između genotipa i fenotipa mora bolje razumeti i kvantifikovati za mnoge testirane osobine u različitim agroekološkim uslovima kako bismo poboljšali našu sposobnost da predvidimo fenotipske performanse na osnovu genetskih informacija. Biljke prilagođavaju protok energije i svoj metabolizam da bi se izborile sa raznim stresovima iz okoline. Na primer identifikacija ključnih komponenti ABA (npr. ZmSLAC1 i ZmPP2C) i signalnih puteva citokinina (npr. ZmRR1) koje učestvuju u regulisanju tolerancije kukuruza na abiotički stres kukuruza navode Zeng et al. (2021). Većina istraživanja abiotičkih stresova po Voesenek-u i Pierik-u, (2008), uglavnom je fokusirana na pojedinačne uticaje u prirodnim agroekosistemima; međutim, agroekološki uslovi za poljoprivrednu proizvodnju su vrlo složeni, a biljke podložne kombinaciji stresova (ekstremni toplotni i vodni stres, salinitet, svetlost).

Putem oplemenjivanja biljaka stvaraju se genotipovi koji su bolje adaptirani na novonastale uslove spoljašnje sredine i konvencionalnim metodama. Anđelković (2000) navodi da sorte, odnosno hibridi koji se stvaraju za određene uslove (povećane suše) treba i selekcionisati u takvim uslovima. Tolerantnost na sušu je vrlo složena kvantitativna osobina, koja je po svom načinu nasleđivanja poligena i vezana je za veliki broj fizioloških i morfoloških osobina (Campos et al., 2004). Za uspešnu selekciju na povećanu tolerantnost prema suši neophodno je pronaći poželjne genotipove sa tim svojstvom. Pri tome je važno da korišćeni izvori poseduju visok stepen ekspresije tražene osobine, ali i da se odlikuju što višim stepenom adaptiranosti na lokalne uslove gajenja (Popović et al., 2014).

U našim agroekološkim uslovima, kada je u pitanju kukuruz, očekuju se raniji početak setve i veća dužina vegetacionog perioda bez mraza, više temperature od polovine juna do polovine jula i stres za biljke u fazi oplodnje; pojava većeg broja dana i noći sa tropskim temperaturama- tzv. „toplotni talasi“, što će sve više biti izazov za oplemenjivače koji treba uskladiti sa fenologijom i sa dostupnošću vlage. Ovo ne bi trebalo da predstavlja velike probleme, jer je reakcija fotoperiod-temperatura veoma nasledna. Ova strategija podrazumeva, takođe uključivanje niza hibrida sa različitim vegetacionim periodima kako bi se izbegle ili predvidele pojave stresa u kritičnim periodima za pojedine faze kako merkantilnih tako i semenskih useva. S obzirom na predviđanje globalnih klimatskih promena za 21. vek, u pravcu povećanja temperature vazduha, veće evapotranspiracije i učestalije pojave suše, poboljšana sposobnost biljaka da izdrže nepovoljne uslove spoljašnje sredine je esencijalna, i zahteva multidisciplinarni pristup u proučavanju osobina koje doprinose njenoj povećanoj tolerantnosti prema stresu suše (Kravić, 2013). Suprotno od navedenog, u kišnim godima, naročito ekstremnim u jesen, može biti obrnuti imperativ da se oslobodi kukuruz što pre od viška vlage u fiziološkoj zrelosti. To može biti iz razloga sigurnijeg skladištenja u klip u kod privatnih proizvođača, ili zbog ranijeg osobađanja proizvodne površine za setvu ozime pšenice u optimalnom roku. Tu je strategija u oplemenjivanju vezana za brže otpuštanje vlage. Za takve stvari treba poraditi na identifikaciji i korišćenju izvora genetičke varijabilnosti za toleranciju/otpornost na viši nivo abiotičkog stresa. Ovo podrazumeva svakako korišćenje banke gena za uspešno rešavanje i pronalaženje novog sortimenta adaptiranog na novostvorene uslove izazvane promenama klimatskih faktora (Radović i Jelovac, 1995), to se takođe odnosi na sposobnost ljudi da upravljaju, prilagođavaju se, i svedu na minimum uticaje klimatskih promena (Williams et al. 2008). Vrlo su ilustrativni podaci koji između ostalog govore o pravcima oplemenjivanja kukuruza mogućih rešenja u našim uslovima kada se sagleda u svetlu klimatskih promena.

Ivanović et al., (2002), navodi da su periodi u korišćenju hibrida kukuruza u SFR Jugoslaviji imali više ciklusa. Prvi ciklus selekcije kukuruza u dva najznačajnija jugoslovenska Instituta lociranim u Srbiji u Zemun Polju i Novom Sadu odnosi se na prve domaće četvorolinijske hibride kukuruza gajene do sredine šezdesetih godina prošlog veka. Drugi ciklus selekcije (od sredine šezdesetih do druge polovine sedamdesetih godina) obuhvata prvu generaciju domaćih dvolinijskih hibrida: NSSC 70, ZPSC 1, ZPSC 4, ZPSC 3, ZPSC 6, ZPSC 46A, ZPSC 48A, ZPSC 58c i druge.



Klimatski uslovi u to vreme bili su znatno drugačiji od današnjih u smislu manjeg broja sušnih godina, sa većim brojem vlažnijih godina i čestim jesenjim kišama u berbi (grafikon1.). Dva najviše gajena, inače odlična kasnostasnija hibrida u to doba NSSC 70 i ZPSC 1., u pojedinim godinama sa većom količinom padavina i visokom vlažnošću vazduha u jesenjem periodu sporo su otpuštali vlagu i kod skladištenja bez naknadnog sušenja, dolazilo je do značajnog gubitka prinosa zbog osetljivosti prema truleži klipa -gljive iz roda *Fusarium* (Ivanović et al., 2002). Posle jedne od takvih godina i posle velikih šteta koje su nastale postepeno su uvedeni hibridi novog trećeg ciklusa, novije arhitekture građe (uspravniji listovi, veća gustina i brže otpuštanje vlage) od kraja sedamdesetih i početka osamdesetih godina do početka devedesetih. Najznačajniji predstavnici ove grupe hibrida (od kojih se neki još gaje) bili su: ZPSC 704, NSSC 606, ZPSC 670, NSSC 555, BC 6661 i drugi koji su potisnuli iz široke proizvodnje hibride kao što su ZPSC 1 i NSSC 70. To je u to vreme bio snažan doprinos genetike i oplemenjivanja kukuruza u stvaranju genotipova tolerantnih prema faktorima spoljašnje sredine. Ivanović et al. (2002) navode i druge značajne kasnije cikluse selekcije kukuruza. Četvrti ciklus je obuhvatao treću generaciju dvolinijskih hibrida koji su se proširili početkom devedesetih godina: NSSC 640, ZPSC 677, NSSC 444, ZPSC 42A, ZPSC 599 i drugi. Peti ciklus započet je krajem devedesetih godina i početkom 21 veka, postepenim uvođenjem četvrte generacije dvolinijskih hibrida u širu praksu: ZPSC 680, NSSC Balkan, ZPSC 434, ZPSC 580, ZPSC 360, NSSC 540, NSSC 300 i drugih. Prema usmenoj komunikaciji Pavlov (2023), navodi da šesti ciklus selekcije započinje početkom ovog veka pa sve do 2010. godine. Najpoznatiji predstavnici ovog ciklusa su hibridi: ZP 427, ZP 555, ZP 606, ZP 666, NS 6030, NS 3023 i drugi koji su stvoreni krajem prve i početkom druge dekade ovog veka. Poslednji, sedmi ciklus selekcije započet je nakon 2010. godine stvaranjem hibrida savremene arhitekture tj. biljaka sa nižim habitusom, erektivnog položaja listova, brze dinamike otpuštanja vlage iz zrna, i što je od izuzetne važnosti, boljeg podnošenja veće gustine setve. Predstavnici ovog ciklusa su hibridi stvoreni krajem druge i početkom treće decenije ovog veka od kojih navodimo neke kao što su: ZP 4790, ZP 5550, ZP 5601, NS 6140.

### 3.3 Problem vlage u zrnu u momentu fiziološke i pune zrelosti kukuruza

Povećanje brzine otpuštanja vlage iz klipa kukuruza je važan cilj oplemenjivanja kako bi se smanjili proizvodni troškovi proizvođača zbog dosušivanja zrna u silosima i drugi gubici povezani sa zakasnelom berbom kao što su poleganje, pali klipovi na zemlji, štete od ptica i bolesti koje nastaju zbog duže vegetacije u zrenju na polju. (Purdy i Crane, 1967a; Kang et al., 1978). Hibridi kukuruza sa bržim otpuštanjem vlage iz zrna su posebno potrebni u godinama sa produženim vegetacionim periodom ili u oblastima proizvodnje kukuruza sa vlažnom klimom tokom perioda sazrevanja zrna i perioda sušenja zrna posle fiziološke zrelosti.

Kod kukuruza, kao uostalom i kod drugih gajenih biljaka, razlikuju se različite faze porasta i razvića. Biljka kukuruza je tada izložena, često, stresnim uslovima od povišenih temperatura, naročito u oplodnji koja traje od IV - IX etapa organogeneze klipa. Zato su posebno značajne ove reproduktivne faze porasta počev od svilanja (R1) pa sve do faze fiziološke zrelosti (R6). Nielsen (2018a) navodi pojedine važne detalje za svaku od tih faza. Pojava svile je prva priznata faza porasta reproduktivnog perioda kukuruza. Karakteriše se po tome što svaka jajna ćelija kao potencijalno jezgro na klipu razvija sopstvenu svilu (produženi stubić tučka ženskog cveta koji se na vrhu završava žigom). Svila počinje da se izdužuje ubrzo nakon stadijuma lista (vegetativni porast) V12 (12 listova sa vidljivim vezicama (*auriculae*) listova), počevši od jajnih ćelija pri osnovi klipa, a zatim uz klip do vrha. Shodno tome, svila sa donje polovine klipa obično se prva pojavljuje iz lisnih rukavaca klipa odnosno komušine. Pritisak turgora „podstiče“ izduženje svile i zato jak stres izazvan vodnim deficitom može odložiti izduživanje svile i izlazak iz lisnih rukavaca komušine. Svila se izdužuje oko 3,5 – 4 cm dnevno tokom prvih nekoliko dana nakon što izađu iz lisnog rukavca klipa tj. komušine. Svila nastavlja da se izdužuje sve dok se zrna polena ne uhvate i ne kličaju.

Faza tzv. "Blister" (faza porasta označena kao R2) nastaje otprilike 10 do 12 dana nakon svilanja, zrna u razvoju su beličasta „plikovi-mehuri” na klip koji sadrže obilje bistre tečnosti. Svila na klipovima je uglavnom smeđa i brzo se suši. Nešto skroba počinje da se akumulira u endospermu. Otprilike 18 do 20 dana posle svilanja, zrna su uglavnom žuta i sadrže „mlečno” belu tečnost. U mlečnoj fazi R3 skrob nastavlja da se akumulira u endospermu. Podela ćelija endosperma je skoro završena i nastavak rasta je uglavnom posledica širenja ćelije i akumulacije skroba. Jak stres i dalje može da prekine nalivanje zrna, iako ne tako lako kao u fazi blistera. Sadržaj vlage u zrnu na početku R3 faze je približno 80%. Negde 24 do 26 dana posle svilanja, mlečna unutrašnja tečnost zrna počinje da se menja u „testastu“ konzistenciju dok se akumulacija skroba nastavlja u endospermu. Oljušteni klip je sada svetlo crven ili ružičast. Do faze testa (R4) formirala su se četiri embrionalna lista i zrna su dostigla oko 33 procenta svoje zrele suve težine. Sadržaj vlage u zrnu je približno 70 procenata na početku R4. Faza udubljenja jezgra R5 počinje posle 31 do 33 dana po svilanju, sva ili skoro sva zrna udubljuju se u blizini njihovih kruna. Peti (i poslednji) embrionalni list i bočni semeni koreni formiraju se neposredno pre faze udubljenja. Sadržaj vlage u zrnu na početku R5 faze je približno 60 procenata. Što je još važnije, sadržaj suve materije jezgra na početku R5 iznosi samo oko 45% konačne akumulacije i ostaje otprilike više od 30 dana pre fiziološke zrelosti. Ovo je kako navodi Nielsen (2018a) otrežnjujuće imajući u vidu da i farmeri i agronomi često odahnu kada usev dostigne R5 zbog pogrešnog i emotivnog uverenja da je „rod napravljen” u ovoj fazi nalivanja zrna. Negde oko 55 do 65 dana nakon svilanja, suva težina zrna obično dostiže svoj maksimum, a za zrna se kaže da su fiziološki zrela i bezbedna od mraza.

Period između faze svilanja i fiziološke zrelosti se obično naziva periodom nalivanja zrna. Njegovo trajanje u širokom proseku traje od 7 do 8 nedelja (Ying et al., 2000). Ova faza je posle oplodnje i formiranja zrna kritična za postizanje potencijalnog prinosa. Period nalivanja zrna se može podeliti na tri glavne faze 1) „lag” fazu kašnjenja, 2) fazu linearnog punjenja zrna i 3) fazu sušenja (Johnson i Tanner, 1972). Lag fazu karakteriše povećanje broja ćelija u endospermu jezgra i traje oko 10 do 15 dana u zavisnosti od genotipa i temperature (Reddy i Daynard, 1983; Maddonni et al., 1998). Ova faza je kritična za maksimiziranje zapremine zrna za naknadno nalivanje. Nakon završene lag faze, pojedina zrna ulaze u linearnu fazu akumulacije suve materije koja obično traje od 40 do 50 dana u zavisnosti od genotipa i uslova. Uz pretpostavku maksimalnog formiranja zrna oko svilanja, brzina i trajanje perioda nalivanja zrna biće pozitivno povezani sa prinosom zrna (Daynard et al., 1971; Poneleit i Egli, 1979). Različite merne jedinice se koriste za kvantifikaciju rasta tokom linearne faze nalivanja zrna i one su promenljivije od onih koje se koriste za period svilanja (tj. g po danu ili g termičke jedinice). Najklasičnije merenje brzine rasta jezgra je u mg na dan, kao što su pokazali Reddy i Daynard, (1983) sa vrednostima od 2 do 10 mg na dan po jezgru.

Sa fiziološkog stanovišta useva, zrna kukuruza dostižu svoj maksimalni sadržaj vode sredinom perioda nalivanja zrna (Borrás et al., 2003; Gambin et al., 2007). Posle ove tačke, gubitak vode u zrnu se može podeliti u dve faze: pre i posle fiziološka zrelost. Tokom prve faze, pomeranje vode u zrnu se postiže izmeštanjem asimilata i može se tumačiti kao „razvojni” gubitak vode povezan sa nalivanjem zrna (Brooking, 1990). Druga faza počinje kada biljka postane fiziološka zrela, a to je obično kada je vlaga zrna približna oko 35–37% (Borrás et al., 2003, 2004). Tokom ove faze, gubitak vode sa površine zrna je pod istim fizičkim principima koji kontrolišu isparavanje (Kiesselbach, 1950). Na ovu završnu fazu mogu uticati ne samo preovlađujući uslovi životne sredine (Schmidt i Hallauer, 1966; Chazarreta et al., 2021; Chazarreta et al., 2023) već i osobine biljaka kao što su debljina i propustljivost perikarpa, broj listova komušine, ugao klipa u odnosu na stablo, dužina klipa ili broj redova zrna (Purdy i Crane, 1967a; Troyer i Ambrose, 1971; Kang et al., 1975, 1983; Cavalieri i Smith, 1985; Nielsen, 2018a).

Fiziološka zrelost nastaje ubrzo nakon što mlečna linija zrna nestane i neposredno pre nego što se na vrhu zrna formira crni sloj zrna (black layer). Ozbiljni stres nakon fiziološke zrelosti ima mali uticaj na prinos zrna, osim ako je ugrožen integritet stabljike ili klipa (npr. oštećenje od insekata ili bolesti). Sadržaj vlage u zrnu u fiziološkoj zrelosti je u proseku 30 procenata, ali može da varira

od 25 do 40 procenata vlažnosti zrna u zavisnosti od hibrida i uslova gajenja. Kako se zrna razvijaju iz faze mehura do formiranja crnog sloja, koji ukazuje na fiziološku zrelost, vlaga zrna se smanjuje sa približno oko 85% na 30%. Posle fiziološke zrelosti koju prepoznajemo po prisustvu crnog sloja zrna, procenat vlage zrna nastavlja da se smanjuje prvenstveno zbog gubitka vode iz zrna (Cross, 1995; Melut i Rosca, 2016).

Crane et al. (1959) su istraživali brzinu gubitka vlage za određeni broj hibrida sušenih u sušari sa prinudnim vazduhom. Utvrdili su da je propustljivost perikarpa važnija od karakteristika ljuske ili oblika i veličine klipa. Propustljivost i debljina perikarpa povezan je sa brzim sušenjem. Purdy i Crane (1967a) su zaključili da su različiti stepeni gubitka vode bili pod uticajem fizičke strukture perikarpa. Purdy i Crane (1967b) navode da se hibridi sa manjim klipovima, kasnijim datumom svilanja i nižim sadržajem vlage 60 dana nakon svilanja brže suše. Troyer i Ambrose (1971) proučavali su više hibrida sa različitim dinamikom gubitka vlage iz zrna. Zaključili su da listovi komušine limitiraju strujanje vazduha između zrna kukuruza, te su rastresiti i tanki listovi komušine od ključnoj uticaja na dinamiku otpuštanja vlage iz zrna. Cavalieri i Smith (1985) utvrdili su da je brzina otpuštanja vlage nakon pojave crnog sloja bila značajno povezana sa brojem lisnih rukavaca komušine, datumom uvenuća komušine, vlagom u crnom sloju, uglom klipa u odnosu na stablo, dužinom klipa i brojem redova zrna u klipju. Glavna razlika između visokouljanog i normalnouljanog kukuruza je odnos klica/endosperm.

Zrelost nije, striktno posmatrano, faza razvoja zrna, a često se definiše kao sadržaj vlage u zrnu gde se žetva može obaviti uz minimalno oštećenje zrna i mehaničke gubitke. Obično se smatra da je pogodna zrelost za obavljanje berbe kada je vlažnost zrna kukuruza blizu sadržaju od 25%.

Nielsen (2018b) navodi da na brzinu sušenja zrna na polju utiču vremenski uslovi (sunčevo osvetljenje, padavine, temperatura, vetar) i genetičke karakteristike otpuštanja vlage (pokrivenost lisnim rukavcem klipa narodski rečeno komušinom, debljina komušine, broj listova komušine). Tako u uslovima Indijane brzina otpuštanja vlage do kraja septembra kreće se između 0,5 i 1,0 % dnevno. Sa nižim dnevnim temperaturama od početka do sredine oktobra brzina otpuštanja se smanjuje na 0,5 do 0,25 %. Kasniji hibridi koji sazrevaju od početka do sredine novembra, procenat gubitka vlage može se svesti na nulu.

Odložena berba kukuruza (*Zea mays* L.) posle fiziološke zrelosti je univerzalna praksa u američkom kukuruznom pojasu za smanjenje troškova sušenja zrna. Međutim, pretpostavlja se da će prinost kukuruza biti izgubljen zbog gubitka suve materije zrna usled disanja semena. Prema istraživanju Parvej et al., (2020) koji su se bavili problemom odloženog branja kukuruza radi smanjenja vlage u polju na prirodan način koncentracije proteina, ulja i skroba u zrnu su bile skoro nepromenjene između fiziološke zrelosti i žetve. Rezultati sugerišu da kukuruz može da se bere u bilo koje vreme posle fiziološke zrelosti bez ikakvih smanjenja suve materija i kvaliteta, a berbu treba obaviti na osnovu vlažnosti zrna i standardne težine kako bi se minimalizovao gubitak zrna u polju.

Odlaganje berbe kao način prirodnog sušenja u polju radi smanjenja troškova veštačkog dosušivanja ima i neke granice posle kojih može nastati veća šteta od koristi. Naime, u državama kukuruznog pojasa, a slično je i kod nas, već posle polovine oktobra zbog nižih temperatura vlaga neće više opadati, a neke druge stvari dolaze više do izražaja. To mogu biti: poleganje stabla i pad klipova na zemlju, pojava bolesti i štetočina, štete od ptica i sitnih glodara, obilnije padavine praćene vetrom itd.

Na sušenje klipova u polju utiču temperatura, vlažnost i drugi vremenski faktori (Schmidt i Hallauer, 1966; Aldrich et al., 1975; Kang et al., 1983, 1986). Mnogi istraživači su dobili značajne fenotipske i/ili genotipske korelacije između brzine otpuštanja vlage i agronomskih osobina kukuruza, kao što su: čvrstoća komušine, površina, težina i broj lisnih rukavaca komušine, težina i dužina klipa, broj i dubina reda zrna i propustljivost i debljina perikarpa (Purdy i Crane, 1967b; Troyer i Ambrose, 1971; Cavalieri i Smith, 1985).

Međutim, ovu ekonomski značajnu osobinu je veoma teško izmeriti i pod velikim uticajem okoline, budući da je to dinamičan proces na terenu; na primer, relativna vlažnost ima značajan uticaj

na sušenje polja (Magari et al., 1997; Schmidt i Hallauer, 1966). Osobine biljaka koje kontrolišu brzinu sušenja u polju, takođe nisu dobro definisane. Zato se indirektna selekcija za brzinu sušenja na osnovu jedne od ovih osobina čini nepouzdanom. Iako su uzgajivači kukuruza shvatili važnost sušenja u polju, još uvek je teško primeniti jednostavnu i pouzdanu metodu za merenje i skrining inbred linija i hibrida za brzo otpuštanje vlage u poljskim uslovima.

Među genotipovima postoji velika varijacija za vlagu zrna kada se formira crni sloj, što predstavlja njihovu fiziološku zrelost (Carter i Poneleit, 1973; Daynard, 1972).

Pošto se sušenje odnosi na proces koji se odvija odmah nakon fiziološke zrelosti, sadržaj vlage oko faze fiziološke zrelosti može biti početna tačka za ispitivanje sušenja. Kao indeks za ovu svrhu predložen je datum svilanja; čini se da je prosečno vreme od svilanja do fiziološke zrelosti konstantno za različite hibride u različitim sredinama. Shaw i Thom (1951) su predložili da je ovaj interval 50 do 52 dana. Hallauer i Russell (1961) sugerisali su da je ovaj interval bio na oko 60 dana.

Kasnije sazrevanje zrna obično znači sporije sušenje zrna u polju i često se pretvara u odloženo ili sporo sušenje zrelog zrna kukuruza pre berbe i shodno tome, veći je od željenog sadržaja vlage u zrnu u berbi. Pre fiziološke zrelosti, smanjenje vlage u zrnu nastaje kombinacijom stvarnih gubitaka vode (isparavanja), uz kontinuirano nakupljanje suve materije u zrnu kroz proces nalivanja zrna.

Gubitak vlage u zrnu na polju opada u rasponu sadržaja vlage u zrnu od oko 40% procenata do 15 - 20%, a zatim se smanjuje na mali, ili nikakav dodatni gubitak vlage posle toga. Tačna brzina sušenja zrna kukuruza u polju obično varira od hibrida do godine.

Neprekidni gubici vlage iz zrna povezani su sa mnogim činiocima. Na fizički gubitak vlage na polju utiču prvenstveno vremenski uslovi. Gubitak vlage u zrnu za svaki određeni dan može biti prilično visok ili nizak, u zavisnosti od dnevnih vremenskih uslova (temperature, vlažnosti, sunčeve svetlosti ili kiše). Za vreme toplih i sunčanih dana vlaga zrna može opasti i više od jednog procenta dnevno. Iz istih razloga tokom hladnih i kišnih dana možda neće biti takvih gubitaka. Kada vremenski uslovi nisu povoljni za brzo sušenje zrna, hibridne karakteristike koje utiču na brzinu sušenja zrna postaju važnije.

Neke morfološke osobine kukuruza kao što su: broj, debljina listova komušine, njena pokrovnost i čvrstina obuhvatanja klipa dovode do bržeg ili sporijeg otpuštanja vlage iz zrna. Manji broj listova komušine, tanja liska komušine i brže starenje listova komušine, manja pokrovnost klipa ubrzava gubitak vlage u zrnu. Kiselbach (1950) je ukazao na činjenicu da lisni rukavci komušine štite zrno od povrede njegove vitalnosti usled niske temperature smrzavanja u zrnu, ali takođe usporavaju brzinu odavanja vlage zrna u fazi zrelosti. Troyer i Ambrose (1971) navode da lisni rukavci klipa (komušine) ograničavaju kretanje vazduha oko zrna i da je mali broj labavih, kratkih lisnih rukavaca klipa pogodan za brzo sušenje zrna, odnosno gubitak vlage. Pored toga, Purdy i Crane (1967b) smatraju da su za različit stepen gubitka vlage iz zrna povezani tanjim pericarpom koji omogućava veću propusnost i gubitak vlage. Misević et al. (1988) su poredili stepen gubitka vlage u hibridima sa visokim sadržajem ulja sa elitnim hibridima normalnog sadržaja ulja. Dobili su rezultate koji ukazuju na veći sadržaj vlage u normalnom roku žetve i sporiji gubitak vlage nakon fiziološke zrelosti kod hibrida sa visokim sadržajem ulja. Zaključili su da bi uzrok tome mogao biti povećan sadržaj ulja pod uticajem plejotropnog efekta gena koji kontrolišu procenat ulja, pozadinskim efektom ili kombinacijom ovih faktora.

Položaj klipa na stablu bitan je, između ostalog, i za brzinu gubljenja vlage. Ranije spuštanje klipa iz uspravnog u donji položaj, pospešuje gubitak vlage iz zrna. Nasuprot njima, klipovi uspravnog položaja nisu poželjni kada je u pitanju otpuštanje vlage, jer je lakše akumuliraju iz padavina.

Pored navedenih faktora, na brzinu gubitka vlage u zrnu utiču prečnik klipa, tip zrna, debljina i propusnost perikarpa, veličina, oblik i stepen nalivenosti zrna.

Purdy i Crane (1967a) i Cross i Kabir (1989) su ispitivali metodom dialelnog ukrštanja otpuštanje vlage iz klipova i navode da su da su efekti OKS i PKS značajni, pri čemu je aditivna

genetička komponenta važnija od neaditivne. Cross (1985) je razvio metod masovne selekcije zasnovan na proceni gubitka vlage u klipovima u laboratoriji. Cross et al. (1987) i Cross et al. (1989) zaključili su da bi selekcija inbred linija zasnovana na niskoj vlažnosti klipa 45 dana posle oprašivanja mogla efikasno da smanji vlagu klipa pri berbi. Razlike u vlažnosti klipa u fiziološkoj zrelosti smatrane su važnim (Cross, 1985). Kondapi et al. (1993) su dobili da je heritabilnost u užem smislu za brzinu otpuštanja vlage u dve populacije visoka, što ukazuje na ponavljajuću proceduru selekcije ako bude efikasna u koncentraciji gena za ovu osobinu.

Shaw i Thom (1951) su ukazali da je prosečna dužina faze svilanja do fiziološke zrelosti kukuruza u Ajovi bila 51 dan sa relativno malim varijacijama i bez značajnih razlika između ranih i kasnih sorti. Na osnovu ove činjenice izveli su zaključak da je period razvoja od svilanja do fiziološke zrelosti relativno nezavisan od vremenskih varijacija. Međutim, za razliku od njih, drugi istraživači (Andrew et al., 1956; Dessureaux et al., 1948) ukazuju na velike varijacije prouzrokovane vremenskim prilikama u ovom periodu. Posle fiziološke zrelosti, stopa gubitka vlage više zavisi od vremena nego bilo kog drugog faktora (Aldrich et al., 1975). Kang et al. (1986) su predložili da se više pažnje posveti smanjenju vlage tokom perioda nalivanja zrna i da se vlaga završne berbe može koristiti kao kriterijum selekcije za odabir kukuruza sa bržim otpuštanjem vlage.

Kukuruz pokazuje veliku molekularnu i fenotipsku varijaciju. Morfološki kukuruz pokazuje veću raznolikost fenotipa od možda bilo kog drugog žita. (Wallace i sar., 2014.) zbog veštačke selekcije pripitomljavanjem. Nadalje, visina uspravnog stabla genotipa kukuruza pri cvetanju može biti u rasponu od 0,5 do 5 metara; sazrevanje se kreće između 60 i 330 dana posle setve; može da formira između 1 i 4 klipa po biljci; između 10 i 1800 zrna po klipu i prinose od 0,5 do 23,5 tona zrna po hektaru.

Kao merkatilni usev i model biološkog sistema, kukuruz ima dugu istoriju kao model za proučavanje genetike, evolucije i pripitomljavanja. Njegova genetska raznolikost korišćena je za analizu molekularne osnove fenotipske varijacije i za poboljšanje poljoprivredne proizvodnje i održivosti.

Širenje useva u različitim agroklimatskim uslovima dovodi do relativno različitih performansi istih kultivara kada se ocenjuju u različitim sredinama. Ispitivanje prinosa jedan je od najčešćih parametara svih poljskih ogleda u poljoprivrednim istraživanjima. U mnogim naučnim i stručnim institucijama u svetu koje se bave kukuruzom obično se testira određeni broj genotipova na nekoliko lokaliteta u različitom okruženju, odnosno spoljnoj sredini. (Gauch, 2006).

### **3.4 Prinos i komponente prinosa**

Da bi hibrid kukuruza bio prihvaćen u proizvodnji mora da poseduje što više poželjnih osobina, od kojih su među najvažnijim: visok i stabilan prinos zrna, dobra adaptabilnost na različite agroekološke uslove proizvodnje, tolerantnost prema dominantnim prouzrokovateljima bolesti prizemnog dela stabla i klipa, tolerantnost prema suši i drugim stresnim uslovima, poganjanju stabla i brzo odavanje vlage iz zrna nakon fiziološke zrelosti zrna, itd (Stojaković et al. 2006).

Generalno, veći prinosi kukuruza dobijaju se ako biljke imaju više vremena u fazi nalivanja zrna (Magari et.al., 1997). Sa druge strane, gajenjem hibrida kraće vegetacije koji se odlikuju bržim gubljenjem vlage iz zrna, dobijaju se niži prinosi u proizvodnji (Filipović et al., 2014). Proizvođači u regionima sa kraćim vegetacionim periodom za kukuruz često greše odabirajući za gajenje kasnije hibride sa većim potencijalom prinosa. Ako se ovi, srednje do srednje kasni hibridi ne oplode u optimalnom roku, postoji rizik od nedovoljnog vremena za nalivanje zrna i isušivanja pre dolaska niskih temperatura i ranih mrazeva (Baute et al., 2002). Poželjni hibridi za takve uslove bili bi oni sa srednjom do kasnom zrelošću i sa brzim otpuštanjem vlage iz zrna (Reid et.al., 2014; Melut i Rosca, 2016).

Prinos je poligena i kompleksna osobina povezana sa drugim osobinama koje doprinose prinosu i čiji je mehanizam nasleđivanja poznat. Najveći broj osobina koja su predmet oplemenjivanja

pripadaju grupi kvantitativnih zbog toga što su uslovljena većim brojem gena koji ispoljavaju slabiji efekat, ali svaki od njih pojedinačno doprinosi ekspresiji određene osobine. Da bi se mogle koristiti osobine dva ili više roditelja potrebno je poznavati način nasleđivanja njihovih osobina. Broj redova zrna na klipju se nasleđuje po modelu parcijalne dominacije, superdominacije ili intermedijarno, a dužina klipa i prinos zrna po biljci po modelu superdominacije (Boćanski et al., 2002).

Pred oplemenjivačima je oduvek bio težak zadatak kada treba da indentifikuju roditeljske parove koji bi dali hibridne kombinacije superiornih osobina. Odabir genotipova za roditelje u ukrštanju koji daju potomstvo visokih performansi široke prilagodljivosti i stabilnosti jedna je od najvažnijih odluka za oplemenjivače bilja (Bertan et al. 2007).

Većina osobina koje su od značaja za oplemenjivače i proizvođače su složene i poligenski kontrolisane. Visoka heritabilnost je povezana sa efektom aditivnih gena, dok je niska heritabilnost posledica dominacije i epistaze. Program oplemenjivanja zavisi uglavnom od pravca i veličine veze između prinosa i njegovih komponenti koje daju osnovne informacije koje su bile korisne kao indikatori važnijih osobina koje će se razmotriti pri selekciji bilja. Path koeficijenti koji su, ustvari, standardizovani koeficijenti delimične regresije (Wright, 1921; Dewey i Lu, 1959) ukazuju na uzroke i posledice i mere relativnu važnost svake nezavisno promenljive. Korelacije u kombinaciji sa analizom path koeficijenata su važan alat za otkrivanje povezanosti i kvantifikacije direktnih i indirektnih uticaja osobina koji doprinose prinosu zrna. Procene "Path" analize su važne za bolje razumevanje odnosa pojedinih komponenti i njihovog uticaja i veze sa prinosom useva. "Path" koeficijenti ukazuju na posebne mere direktnog i indirektnog uticaja svake komponente na prinos zrna.

Proučavanje genetskih parametara kao što su genotipski i fenotipski koeficijent varijacije, heritabilnost i genetička dobit kao procenat srednje vrednosti daje jasnu predstavu o stepenu varijabilnosti prisutne u biljnoj populaciji i relativnu meru efikasnosti selekcije genotipova zasnovanih na fenotipu u veoma varijabilnoj populaciji (Boćanski, et al., 2009).

Poznavanje diverziteta germplazme među lokalnim populacijama ima značajan uticaj na poboljšanje biljaka i dragocen je izvor korisnih osobina, ali i banka visoko prilagođenih genotipova. Raznolika germplazma, što je preduslov za svaki program oplemenjivanja, služi kao vredan izvorni materijal jer pruža prostor za izgradnju genetičke varijabilnosti.

Postoji veliki broj radova na kukuruza koji su imali za cilj proučavanje prirode povezanosti između prinosa i njegovih komponenti koje su identifikovale osobine kao što su dužina klipa, prečnik klipa, broj redova zrna, broj zrna u redu, mase 1000 zrna i vlage u berbi kao potencijalni kriterijumi selekcije u programima oplemenjivanja koji imaju za cilj visok prinos (Reizai, 2004). Drugi istraživači kao npr., Mahto et al, (2002), navode veliku genetsku varijabilnosti u prinosu zrna po biljci i visini klipa različite germplazme. Slično, Rather et al. (2003) su dobili visoku genetičku varijabilnost kod kukuruza u pogledu prinosa po biljci i visine klipa. Prema Mansir-u (2010) koji je proučavao genetičku varijabilnost kukuruza, fenotipski koeficijenti varijacija su bili veći od genotipskih koeficijenata varijacija za sva proučavana svojstva. Težina 1000 zrna je imala najveći genotipski koeficijent varijacije, a osobina interval metličanja i svilanja je imala najveći fenotipski koeficijent varijacije. Najveća genetička dobit je dobijena za visinu biljke, a najmanja za broj listova po biljci. Ovo sugerše širu genetsku osnovu za broj listova po biljci među proučavanim genotipovima.

Singh et al. (2003), dobili su visoke vrednosti fenotipskog i genotipskog koeficijenta varijacije za prinos zrna po biljci i visinu klipa kod kukuruza, a srednje vrednosti fenotipskog koeficijenta varijacije za prečnik klipa, dužinu klipa, masu 1000 zrna i broj redova zrna po klipju. Drugi istraživači, kao Ishaq et al. (2015) su dobili značajne genetičke razlike u visini biljke i klipa kod genotipova kukuruza. Slično su dobili Hallauer i Schos (1973) i Grzesiak (2001), koji su konstatovali značajnu genotipsku varijabilnost među različitim genotipovima kukuruza za različite osobine.

### 3.5 Kombinacione sposobnosti (opšta i posebna), dialelni metod i relativni značaj u poboljšanju useva

Korisnost oplemenjivanja roditeljskih linija za proizvodnju hibrida se naziva kombinaciona sposobnost. Pomaže u odabiru roditelja i njihovoj upotrebi u programima oplemenjivanja za proizvodnju vrhunskih hibrida. Sprague i Tatum (1942) su ustanovili koncept kombinacionih sposobnosti u kukuruza, koji se od tada do današnjih dana uspešno primenjuje i u istraživanjima sa drugim usevima. Opšti efekat kombinacione sposobnosti je određen aditivnim delovanjem gena i koristi se za indikaciju hibridnih performansi u opštem smislu, dok je efekat posebne kombinacione sposobnosti određen dejstvom dominantnih gena i koristi se za prikazivanje hibridnih performansi u posebnim ukrštanjima. Ove komponente varijanse koriste oplemenjivači za otkrivanje delovanja gena i procenu genetskog potencijala roditelja u hibridnim parovima. Oplemenjivači bi mogli da koriste informacije o kombinacionim sposobnostima kao i načinima delovanja gena da efikasnije identifikuju potencijalne roditelje, razviju metode gajenja i izaberu obećavajuće genotipove iz izdvojenih populacija kako bi povećali produktivnost. Poznavanje načina nasleđivanja koja kontroliše kvantitativne osobine biljaka je osnova za izbor pravog metoda ukrštanja u razvoju efikasnih programa selekcije. Poznavanje genetičkog delovanja, naslednosti i genetičke varijabilnosti je neophodno uz adekvatna statistička znanja za oplemenjivače biljaka jer im omogućava da razviju efikasne strategije na današnjem nivou oplemenjivanja useva (Begna, 2021).

Kombinaciona sposobnost u usevima dovodi do otkrivanja roditelja sa visokim efektima posebne kombinacione sposobnosti i lociranja unakrsnih kombinacija sa visokim efektima PKS (posebna kombinaciona sposobnost). Veće vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti impliciraju efekte dominantnih gena, dok veći efekti opštih kombinacionih sposobnosti ukazuju na veće učešće aditivnih genskih efekata koji upravljaju osobinama, prema istraživanjima kombinacionih sposobnosti različitih osobina. Efekti gena epistaze mogu imati značajan uticaj na genetiku osobina ako opšte i posebne vrednosti kombinacione sposobnosti nisu značajne (Sprague i Tatum, 1942). Jedan od kriterijuma za uspešan program oplemenjivanja u selekciji genotipova sa poželjnim osobinama je poznavanje prirode i obima varijabilnosti u populaciji. Uticaji opštih kombinacionih sposobnosti (OKS) i posebnih kombinacionih sposobnosti (PKS) u hibridnim kombinacijama su ključne indikacije potencijalne vrednosti inbred linije. Generalno, razlike u efektima kombinacionih sposobnosti pripisuju se aditivnim i aditivnim interakcijama višeg reda genetičkih efekata u osnovnoj populaciji, dok je neaditivna genetska varijansa povezana sa razlikama u efektima posebnih kombinacionih sposobnosti (Falconer i Mackay, 1981).

Oplemenjivači bilja obično koriste analizu kombinacione sposobnosti da bi izabrali roditelje sa visokom opštom kombinacionom sposobnošću (OKS) i hibride sa visokim efektima posebne kombinacione sposobnosti (PKS).

Opšte kombinacione sposobnosti (OKS) karakterišu prosečne performanse skupa hibridnih kombinacija i prvenstveno su rezultat aditivnih efekata gena i aditivnih interakcija. Posebne kombinacione sposobnosti (PKS) procenjuju prosečne performanse određenih hibridnih kombinacija u poređenju sa roditeljskim linijama i rezultat su dominacije, epistatičke devijacije i interakcija genotipa sa okruženjem (Begna, 2021).

Efikasan prenos željenih gena sa odabranih roditelja na njihovo potomstvo zahteva temeljno razumevanje funkcije gena (Falconer i Mackay, 1981). Metoda ukrštanja kao što je potpuno dialelno (Bruce, 1956) pruža pouzdane informacije u vezi sa opštim i posebnim kombinacionim sposobnostima roditelja, kao i njihovim unakrsnim kombinacijama. Osnovni preduslov za poboljšanje nekog useva. samim tim i kukuruza. je identifikacija prihvatljivih roditelja koji mogu dobro da se kombinuju i proizvode poželjne hibride.

Prosečan doprinos inbred linija hibridnim performansama u nizu hibridnih kombinacija poznat je kao opšta kombinaciona sposobnost (OKS). Opšta kombinaciona sposobnost samooplodne linije se procenjuje ukrštanjem sa drugim samooplovnim linijama i upoređivanjem ukupnih

performansi pojedinačnih ukrštenih potomaka. Aditivna aktivnost gena koja utiče na genetičku osobinu na takav način da svaki pojačava ekspresiju osobine naziva se opšta kombinaciona sposobnost. Opšta varijansa kombinacione sposobnosti procenjuje aditivnu genetičku varijansu, koja je neophodna za procenu heritabilnosti u užem smislu (Bruce, 1956). Opšta kombinaciona sposobnost (OKS) je povezana sa selekcionom vrednošću roditelja i povezana je sa aditivnim genetičkim efektima, dok je posebna kombinaciona sposobnost (PKS) povezana sa neaditivnim genetičkim efektima, prvenstveno dominacijom ili epistatičkim efektima (Salgotra et al., 2009).

Posebna kombinaciona sposobnost je važna komponenta hibridnih performansi jer je komponenta genetske varijacije koja se ne može popraviti. Kriterijum za izbor se zasniva na opštim uticajima kombinacione sposobnosti roditelja. Roditelji visoke srednje vrednosti možda neće uvek moći da prenesu svoje superiorne karakteristike na svoje potomstvo, tako da je od vitalnog značaja procena njihove kompatibilnosti kako bi oni ispoljili svoje visoke performanse u hibridima koji ih uključuju. Efekti visokih posebnih kombinacionih sposobnosti koji dolaze od ukrštanja roditelja koji su oboje dobri opšti kombinatori (dobar OKS) mogu se pripisati aditivnoj aktivnosti gena. Poželjni aditivni efekti dobrog opšteg kombinatora i epistatski efekti lošeg opšteg kombinatora, koji ispunjava povoljnu osobinu biljke, mogu se pripisati visokim efektima posebne kombinacione sposobnosti proizvedenim od ukrštanja koje uključuje dobre i loše roditelje opšteg kombinatora. Posebna kombinaciona sposobnost se koristi za identifikaciju recipročnih kombinacija sa poboljšanim performansama, dok se opšta kombinaciona sposobnost koristi za procenu doprinosa inbred linije hibridnim performansama (Sprague i Tatum, 1942).

Prema Fasahat-u et al., (2016), za određenu osobinu, opšta kombinaciona sposobnost izračunava kao pozitivno ili negativno odstupanje prosečnog učinka potomstva genotipa od velike srednje vrednosti svih potomaka uključenih u metod ukrštanja. Posebna kombinaciona sposobnost se definiše kao odstupanje performansi hibridne kombinacije od očekivanih performansi na osnovu opšte kombinacione sposobnosti roditeljskih inbred linija, dok je opšta kombinaciona sposobnost prvenstveno uzrokovana aditivnim efektima. Rezultat koji iz toga proizilazi je da se kao roditeljske linije biraju samooplodne linije sa najboljom posebnom kombinacionom sposobnošću. Dominacija, epistaza i drugi neaditivni efekti gena određuju posebne kombinacione sposobnosti. Visoka procena opšte kombinacione sposobnosti ukazuje na jaču naslednost i manje uticaja na životnu sredinu, što implicira veći uspeh selekcije. Popravljiva i nasledna komponenta genetičke varijanse predstavljena je opštim efektima kombinacione sposobnosti koji imaju direktnu vezu sa heritabilnošću u užem smislu i homozigotnošću.

Najbolji način da se utvrdi kombinaciona sposobnost roditelja je dialelna analiza. Ova metoda je zasnovana na ukrštanju unapred određenog broja roditelja i proceni potomaka u različitim stepenima srodstva, što je bitno za istraživanje genetskih svojstava agronomski važnih osobina. Efekti opšte (OKS) i posebne kombinacione sposobnosti (PKS) su važni pokazatelji potencijalne vrednosti za inbred linije u hibridnim kombinacijama. Ocenjivanje ukrštanja među inbred linijama je važan korak ka razvoju hibrida kukuruza. Ovaj proces bi idealno trebalo da bude kroz procenu svih mogućih ukrštanja (dialelnih ukrštanja), gde se mogu utvrditi vrednosti svake inbred linije. Jedan od najtežih zadataka je predvideti heterozis između nesrodnih genotipova. Kada je nivo genetičkog diverziteta između dve inbred linije nepoznat, on se može utvrditi na osnovu njihovog ukrštanja navode Hallauer i Miranda (2008).

Način delovanja gena se određuje putem biometričkih metoda, a jedna od najviše korišćenih je dialelna analiza pomoću koje se mogu odrediti kombinacione sposobnosti, heterozis, način nasleđivanja i efekat gena. Dialelna analiza pruža dobre informacije o genetskom identitetu genotipova, posebno o dominantno-recesivnim odnosima i nekim drugim genetskim interakcijama.

Najčešće korišćene tehnike su one koje su predložili:

1) Griffing (1956), u smislu da se procenjuju efekti na opštu i specifičnu sposobnost kombinovanja između roditelja;

2) Gardner i Eberhart (1966), u tome što se procenjuju varijetet i heterozis; i



3) Hayman (1954), koji pruža informacije u vezi sa osnovnim mehanizmom nasleđivanja karaktera o genetskim vrednostima korišćenih roditelja i granici selekcije.

Izbor odgovarajućeg oplemenjivačkog programa za maksimalno genetičko poboljšanje zasniva se na relativnim vrednostima opšte i posebne kombinacione sposobnosti (Hayman, 1954; Griffing, 1956).

Tehnika dialelnog ukrštanja daje oplemenjivačima informacije o načinu nasleđivanja delovanja gena u ranim generacijama za razvoj hibrida (Hayman, 1954; Jinks, 1954). Metod dialelnog ukrštanja je od pomoći za dobijanje genetičkih informacija o osobinama od interesa putem nasumične i fiksne selekcije roditeljskih linija u kratkom vremenu (Hayman, 1954; Griffing, 1956). Dialelna metoda je veoma važna za identifikaciju željenih linija kako bi se povećala učestalost ciljanih alela kod hibrida. Relativni značaj aditivnog i neaditivnog tipa delovanja gena, takođe se utvrđuje dialelnom analizom. Griffingov dialelni metod (1956) se veoma mnogo koristi za procenu kombinacionih sposobnosti inbred linija što olakšava selekciju.

U dialelnom ukrštanju, roditeljske linije se ukrštaju u svim mogućim kombinacijama (kako direktna tako i recipročna ukrštanja). Kompletni dialelni metodi ukrštanja podrazumevaju pojave jednakog broja svakog od različitih ukrštanja među roditeljskim inbred linijama. Kada imamo veliki broj samooplodnih linija ili su recipročna ukrštanja slična direktnim ukrštanjima, postaje nepraktično sprovesti eksperiment koristeći kompletan metod dialelnog ukrštanja. U takvim okolnostima, mogu se koristiti druge različite metode dialelnog ukrštanja (podskupovi ukrštanja).

Najčešća tehnika u dialelnoj analizi su Griffingove dialelne metode. Griffing (1956) je predložio četiri različita dialelna metoda za upotrebu kod biljaka:

- 1) Metod 1: (kompletni - puni dialel): Uključuje roditelje,  $F_1$  potomstvo i recipročna ukrštanja
- 2) Metod 2: (poludialel): Uključuje roditelje i  $F_1$  potomstvo, bez recipročnih ukrštanja
- 3) Metod 3: Uključuje  $F_1$  potomstvo i recipročna ukrštanja,
- 4) Metod 4: Uključuje  $F_1$  potomstvo bez recipročnih ukrštanja

Matematički modeli ove analize su:

Model 1: Fiksni model koji pretpostavlja da roditelji koji se ispituju nisu slučajni uzorak iz neke populacije

Model 2: Slučajni model u kome se roditelji posmatraju kao slučajni uzorak iz neke populacije

Ove četiri metode se široko koriste za proučavanje obrazaca nasleđivanja različitih osobina u raznim usevima. Dialelne metode po Griffingu se obično koriste za jednogodišnje lokacije, međutim, smatra se da ova ispitivanja treba da budu višelokacijska tj., u više okruženja kako bi se dobile pouzdanije genetičke informacije o testiranom materijalu. Svi dialelni tipovi procenjuju varijaciju nastalu zbog ukrštanja koja je podeljena na izvore zbog OKS i PKS. Razlike između dialela zasnivaju se na tome da li su roditelji ili recipročni efekti uključeni u model. Povratno ukrštanje procenjuje varijaciju zbog materinskih efekata, koje se očekuje za neke osobine. Relativno veći odnos varijanse OKS/PKS pokazuje važnost aditivnih genetičkih efekata, a niži odnos ukazuje na prevlast dominacije i/ili epistatičkih efekata gena. OKS i PKS efekti za pojedinačne linije se računaju samo kada je ukupna analiza pokazala da su sredine kvadrata za OKS i PKS značajne.

Dialelna ukrštanja predstavljaju najbolju strategiju za određivanje opšte (OKS) i posebne (PKS) kombinacione sposobnosti između potencijalnih roditelja. Ovakva strategija ima i nedostataka. Potreba za velikim brojem ukrštanja zbog vrednovanja. Na interpretaciju može uticati broj i kvalitet podataka potrebnih za dobijanje precizne procene. Nedostatak je i taj što povećanje broja genotipova korišćenih u ukrštanju može onemogućiti izvodljivost ogleada i povećati poteškoće u analizi. Prema ovoj metodi potrebno je ukrštati sve odabrane genotipove (puni - kompletan dialel) i proceniti njihovo

potomstvo ili se može odlučiti za gubitak neke genetske informacije i izvršiti deo ukrštanja (nepotpuni dialel). Drugo ograničenje je teškoća u dobijanju hibrida zbog pojave inkomtabilnosti genotipova koji se ispituju ili specifičnih ekoloških zahteva. U tom smislu, metoda "top-cross" može se koristiti kao alternativa dialelnom ukrštanju da bi se procenila sposobnost kombinovanja između genotipova, ali pošto se ove vrednosti dobijaju u odnosu na tester (visok OKS), teškoća sa kojom se ovde suočava je da se pronađu dobri testeri (Anđelković, 2000).

Uprkos ovim ograničenjima, ova vrsta analize pruža detaljne informacije u vezi sa uključenim genotipovima, procene parametara korisnih za izbor najboljih roditeljskih kombinacija i razumevanje genetskih efekata uključenih u ciljane ispitivane osobine.

Prilikom nasleđivanja određene osobine može se utvrditi da li više učestvuje aditivna ili neaditivna varijansa. To se postiže preko odnosa OKS i PKS koji ima graničnu vrednost „1". Vrednost odnosa OKS/PKS iznad granične vrednosti ukazuje na preovlađujuću ulogu aditivne varijanse, dok odnos OKS/PKS ispod granične vrednosti ukazuje na preovlađujuću ulogu neaditivne varijanse (Gardner, 1963).

Živanović et al. (2005) su ispitivali procenu varijabilnosti inbred linija i njihovih dialelnih hibrida, heterozis u odnosu na boljeg roditelja i opšte i posebne kombinacione sposobnosti u silažnom kukuruza. Analiza varijanse kombinacionih sposobnosti pokazala je visoko značajno pozitivne vrednosti OKS i PKS za prinos zrna u obe ispitivane godine. Efekat neaditivnog gena imao je značajnu ulogu u nasleđivanju prinosa zrna, što je potvrdio odnos OKS prema PKS manji od jedinice. Kako je inbred ZPLB406 imao visoko značajno pozitivne vrednosti OKS za prinos zrna u obe godine, to je bio najbolji opšti kombinator. Hibridne kombinacije ZPLB402 x ZPLB405 (1997) i ZPLB404 x ZPLB406 (1998) imale su visoko značajne vrednosti za PKS za prinos zrna u obe godine. Sve hibridne kombinacije sa dobrim PKS uključivale su oba roditelja sa dobrim ili jednog roditelja sa dobrim OKS i drugog sa lošijim OKS ili oba roditelja sa lošim OKS. U obe studijske godine, hibridne kombinacije ZPLB402 x ZPLB405, ZPLB403 x ZPLB405 i ZPLB404 x ZPLB405 imale su značajne PKS efekte i uključivale su roditelje sa inferiornim vrednostima OKS. Ovo je verovatno zbog efekata aditivnih gena (aditivni geni x interakcija aditivnih gena između roditelja).

Amiruzzaman et al. (2013) proučavali su kombinacionu sposobnost za prinos zrna kukuruza, visinu biljke i dužine klipa u dialelnom ukrštanju koje uključuje sedam elitnih inbred linija kukuruza. Dobili su rezultate koji govore da je varijansa zbog OKS i PKS bila veoma značajna za proučavane osobine, što ukazuje da su i aditivni i neaditivni tip delovanja gena važni za kontrolu osobina. Konstatovali su da su ove osobine pod uticajem dominacije neaditivnog delovanja gena. Visina biljke i dužine klipa pokazuju poželjne značajne negativne efekte OKS i istovremeno poseduju poželjne visoke srednje vrednosti, što ukazuje da se per se učinak roditelja može pokazati kao koristan indeks za kombinacionu sposobnost.

Murtadha et al. (2018) ispitivali su inbred linije kukuruza namenjene programu tolerancije na stres koje su trebale da se testiraju u stresnom okruženju pre uključivanja u program oplemenjivanja. Hibridi sa superiornim OKS pokazali su da je efekat dominacije gena aktivniji od aditivnog dejstva u nasleđivanju osobina kukuruza u uslovima nedostatka vode. Zaključili su da u ovom slučaju, jednostavna rekurentna selekcija koja će se fokusirati na PKS treba da se koristiti kao dobar materijal za dalji inbriding i selekciju.

Suwaid et al. (2020) su utvrdili da postoje visoko značajne razlike kod svih proučavanih osobina, a rezultati su pokazali i visoke značajne razlike za prosečne kvadrate opštih i posebnih kombinacionih sposobnosti za dužinu klipa, broj redova zrna i prinosa. Odnos komponente varijanse  $\sigma^2_{oks}$  prema  $\sigma^2_{pks}$  bio je mali u svim ispitivanim osobinama. Iz ovoga su zaključili da su sve osobine bile pod uticajem superiorne dominacije gena, pri čemu je dokaz za to bio odnos  $\sigma^2_{oks}$  prema  $\sigma^2_{pks}$  manji od jedan.

Poznato je da se koriste različite metode za procenu relativnog značaja OKS i PKS u oplemenjivanju bilja. Prvi korak je da se proveriti da li su i OKS i PKS značajni ili ne, na  $P=0,05$  ili na

višim nivoima verovatnoće (0,01 ili 0,001 itd.). Ako OKS i PKS vrednosti nisu značajne, efekti epistatskih gena mogu igrati značajnu ulogu u određivanju ovih karaktera (Fehr,1993).

Kako navodi Fasahat et al. (2016) odnos kombinovanih komponenti varijanse (odnos predvidljivosti) određuje tip delovanja gena uključenih u ekspresiju osobina i omogućava zaključke o optimalnoj alokaciji resursa u hibridnom oplemenjivanju u kojoj se  $\sigma^2_{oks}$  odnosi na opštu varijansu kombinacione sposobnosti, a  $\sigma^2_{pks}$  na varijansu posebne kombinacione sposobnosti. Što je ovaj odnos bliži jedan, to je veće predviđanje samog OKS, dok odnos sa vrednošću manjom od 1 pokazuje delovanje PKS (Singh et al.,1985; Baker, 1978). Međutim, pošto se u mnogim slučajevima samo nekoliko roditelja koristi u ukrštanjima, veličina OKS i PKS je procenjena korišćenjem odnosa njihovog zbira kvadrata i ukupnog zbira kvadrata za ukrštanje (Machida, 2010).

Po Baker-u, (1978) ukoliko je genetički odnos OKS/PKS bliži jedinici pokazuje predvidljivost zasnovanu samo na OKS. Takođe, odnos OKS/PKS otkriva da različite osobine pokazuju aditivni ili neaditivni genetički efekat. Odnos OKS/PKS sa vrednošću većom od jedan ukazuje na aditivni genetički efekat, a sa vrednošću manjom od jedan ukazuje na dominantni genetički efekat. Količina poboljšanja koja se očekuje od OKS i PKS biće proporcionalna njihovim varijacijama (Griffing, 1956). Srednji kvadratni odnos za OKS i PKS se koristi da bi se odredilo preovlađujuće delovanje gena (aditivno ili neaditivno) kvantitativne osobine. Što je odnos bliži jedinici, to je veći učinak potomstva odabranog na osnovu OKS vrednosti (Baker, 1978).

Ne postoji saglasnost među autorima o načinu delovanja gena koji kontrolišu prinos kukuruza i kvantitativnih osobina. Naime, postoji mišljenje da je aditivno genetičko dejstvo bilo važnije za osobine kukuruza što ukazuje na brzo poboljšanje u selekciji (Nigussie i Zelleke, 2001; Vacaro et al., 2002; El-Shouni et al., 2003; Ojo et al., 2007). Međutim, rezultati koje su dobili Chaudhary et al. (2000) i Abdel-Moneam et al. (2009) pokazuju je da je efekat dominantnog gena važan u nasleđivanju kvantitativnih osobina kukuruza (Murtadha et al., 2018).

Naučni radovi sa kombinacionim sposobnostima pružaju informacije o genetskim mehanizmima koji kontrolišu obrazac nasleđivanja kvantitativnih osobina. Ove informacije omogućavaju oplemenjivačima da na osnovu tih saznanja odaberu odgovarajuće roditelje za dalje poboljšanje ili upotrebu u hibridnom oplemenjivanju u skladu sa sopstvenim unapred zadatim ciljevima. Detalji kombinacionih sposobnosti germplazme kukuruza su neophodni da bi se maksimizirale prednosti razvoja hibrida. U prilog tome govore mnogi objavljeni radovi na ovu temu u svetu i kod nas (Živanović et al., 2005; Dagne, 2002; Boćanski et al., 2009; Amiruzzaman et al., 2011; Pavlov, 2013; Stevanović, 2013; Čamdžija, 2014; Grčić, 2016; Mohammadi et al., 2016; Tolera i sar., 2017; Grčić et al., 2018; Perić, 2022).

Analiza kombinacionih sposobnosti je veoma korisna ako se pravilno sprovodi i ako se rezultati pravilno tumače. Na osnovu takvih informacija mogu se otkriti potrebne genetičke informacije na osnovu kojih se inbred linije sa lošim kombinacionim sposobnostima odbacuju uz dalji rad na obećavajućim inbred linijama za dalji napredak u narednim ciklusima selekcije. Zato je procena inbred linija na osnovu kombinacionih sposobnosti i heterozisa važna komponenta programa oplemenjivanja hibrida kukuruza.

### **3.6 Korelaciona povezanost, heritabilnost, genetička dobit i „Path" analiza**

Proučavanje varijabilnosti i genetičke dobiti u germplazmi pomaže da se utvrdi pravi potencijal genotipa (Larik et al., 2000). Efikasnost selekcije u bilo kom oplemenjivačkom programu uglavnom zavisi od poznavanja povezanosti među osobinama (Uddin et al., 2008). Fenotipska korelacija ukazuje na stepen veze između dve osobine, dok genotipska korelacija daje procenu povezanosti između gena koji kontrolišu dve osobine. Za efikasnu selekciju neophodne su informacije o prirodi i veličini varijacije u populaciji, povezanosti osobina sa prinosom i među sobom i stepenom

uticaja sredine (lokacije) na izražavanje ovih karakteristika (Yağdı et al., 2009). Koeficijenti korelacije i analiza putem „Path“ koeficijenta su najvažniji alati za opisivanje uzročnih veza.

Napredak u oplemenjivanju važnijih useva zavisi od genetičke varijabilnosti i heritabilnosti prisutnih u biljnom materijalu. Opseg varijabilnosti se meri genotipskim koeficijentom varijabilnosti (GKV) i fenotipskim koeficijentom varijabilnosti (FKV) koji nudi informacije o relativnom obimu varijabilnosti u izmenjenim osobinama. Dakle, da bi se dobila temeljna potpuna ideja u selekciji pojedinih vrsta neophodno je ispitati i utvrditi procenu komponenata prinosa.

Prema Hallaueru i Mirandi (1988) korelacioni koeficijenti su važni u oplemenjivanju bilja jer kvantifikuju stepen genetičke i negenetičke povezanosti između dve ili više osobina, dozvoljavajući indirektnu selekciju.

Koeficijent korelacije je statistički parametar koji se koristi za pronalaženje stepena i pravca povezanosti između dve osobine u eksperimentima oplemenjivanja biljaka. Koeficijent korelacije govori da li postoji veza između dve varijable, kakav je karakter te veze, odnosno da li je ona pozitivna ili negativna i koliko je jaka ili slaba (Bello et al., 2010). Intenzitet koeficijenta korelacije se predstavlja kao  $r$  i kreće se od  $-1$  do  $+1$  nezavisno je od jedinice mere. Jednostavno rečeno, ako je  $r = -1$ , to znači da je odnos između dve osobine u suprotnom smeru, odnosno, visoka vrednost jedne osobine je povezana sa niskom vrednošću druge osobine. Ako je  $r = +1$ , onda se predviđa potpuna savršena povezanost između dve osobine koje variraju u istom pravcu. Ako je  $r = 0$ , ne postoji korelacija između varijabli i varijanse su nezavisne jedna od druge. U oplemenjivanju bilja meri se jednostavni (prosti) koeficijent korelacije da bi se utvrdio međusobni odnos između dva svojstva biljaka i odredila svojstva komponenti na kojima se može izvršiti selekcija za genetičko poboljšanje prinosa. Postoje tri tipa korelacionih odnosa, fenotipski, genotipski i ekološki, smatraju Arya, et al. (2013).

Po Singh i Chaundary-ju (1985), povezanost između dve osobine koja se može direktno uočiti je fenotipska korelacija ( $r_f$ ). Fenotipska korelacija meri stepen do koga su dve posmatrane osobine linearno povezane. Određuje se na osnovu merenja dve osobine kod određenog broja jedinki populacija. Genotipska korelacija ( $r_g$ ) je povezanost vrednosti selekcije (tj. aditivna genetička varijansa) dve osobine. Genetičke korelacije pokazuju u kojoj meri isti ili blisko povezani geni izazivaju kovarijaciju (istovremene varijacije) u dve različite osobine. Korelacije ekoloških devijacija zajedno sa neaditivnim genetskim devijacijama (tj. dominacija i epistatička genetska devijacija) se nazivaju korelacije životne sredine ( $r_e$ ).

Prema rezultatima ispitivanja Alam et al. (2022), poboljšanje osobina koje doprinose prinosu kukuruza bilo je moguće korišćenjem fenotipske selekcije za visinu stabla, ASI, dužinu klipa i težinu 1000 zrna, od kojih su sve lokacije pokazale visoke vrednosti za genotipske i fenotipske koeficijente varijacije zajedno sa heritabilnošću (naslednost) i GD (genetička dobit). Ove osobine su, takođe otkrile pozitivne ili negativne direktne efekte na prinos kukuruza. Zato smatraju da se ove osobine mogu koristiti za poboljšanje kukuruza kroz selekciju.

Koeficijentom korelacije između prinosa i drugih kvantitativnih osobina kod kukuruza Robinson et al., (1955), utvrdili su da najveću korelaciju sa prinosom imaju broj klipova po biljci, zatim visina biljke i visina stabla do klipa. Istovremeno neki istraživači su dobili značajnu negativnu korelaciju između prinosa, dana do svilanja i zrelosti.

Deshmukh et al. (1986) predložili su klasifikaciju na osnovu koje se vrednosti FKV i GKV mogu oceniti kao: visoke:  $>20\%$ , srednje:  $10-20\%$  i niske:  $<10\%$ , Bhiusal et al. (2017) su u svom ispitivanju dobili sledeće rezultate: za fenotipsku i genotipsku varijaciju visoke vrednosti za osobine kao što su visina klipa, površina listova, broj klipova po biljci, masa klipa, broj zrna u redu, prinos zrna. Naglašavaju da odabir obećavajućih genotipova na osnovu ovih osobina može biti efikasan i njihova fenotipska ekspresija bi bila uporediva sa genotipskim potencijalom. Osim toga, nominalne razlike koje su dobili između FKV i GKV za osobine kao što su dani do 50% metličanja (0,10), dani do 50% svilanja (0,11), dani do 50% zrelosti (0,23), trajanje nalivanja zrna (0,64), visina biljke (1,59), površina listova (1,22), težina klipa (1,53), dužina klipa (1,10), obim klipa (0,37), broj zrna u

redu (1,57), masa 100 semena (0,01) i prinos po biljci (1,35) govore da postoji znatno manji uticaj sredine na ispoljavanje ovih osobina. Međutim, osobine kao što su ASI (4,87), visina klipa (4,57), broj klipova po biljci (12,96), prinos zrna (10,11) i žetveni indeks (14,72) pokazali su velike razlike u FKV i GKV što ukazuje da su ove osobine pod znatno većim uticajem životne sredine na ove osobine. Zato smatraju da je vredno razmotriti gore navedene osobine u zavisnosti od oplemenjivačkog cilja programa poboljšanja i rada na oplemenjivanju kukuruza.

Bello et al., (2012), smatraju da genetička varijabilnost utiče na oplemenjivačke programe, posebno na stepen do kojeg bi se mogla pojaviti i relativnu količinu varijacije u različitim osobinama, mogla bi se meriti određivanjem genotipskog koeficijenta varijanse (GKV) i fenotipskog koeficijenta varijanse (FKV). Fenotipske varijanse i njihove FKV mogu imati veće vrednosti od genotipskih varijansi i njihovih GKV, ali je za većinu oplemenjivačkih programa uglavnom poželjna visoka proporcija GKV prema FKV (Lorch, 2005). Razlike između genotipskog i fenotipskog koeficijenta varijacije ukazuju na uticaj sredine (Bello et al., 2012). Ako su razlike između FKV i GKV male, to ukazuje da su uticaji sredine na odabrane osobine bili niski. Ali ako je FKV visok, a GKV nizak, to može značiti da su uticaji životne sredine na odabrane osobine bili visoki (Asaduzzaman, 2015). FKV i GKV veći od 20% se smatraju visokim, a vrednosti manje od 10% se klasifikuju kao niske dok vrednosti koje se nalaze između 10 i 20% se smatraju srednjim (Dudley i Moll, 1969).

Dagne (2008) je pronašao pozitivnu i veoma značajnu fenotipsku korelaciju između prinosa zrna i visine biljke, visine klipa, prečnika klipa, dužine klipa, broja redova zrna po klipu i mase 1000 zrna pod primenom optimalnih i niskih doza azota. Negativnu i veoma značajnu fenotipsku korelaciju između prinosa zrna i dana do svilanja i dana do metličanja. Korelacija prinosa zrna sa drugim osobinama procenjena je genotipskim i fenotipskim koeficijentima gde je visina biljke imala pozitivnu i značajnu korelaciju sa svim osobinama na genotipskom nivou. Prinos zrna po biljci bio je u pozitivnoj i značajnoj korelaciji sa visinom biljke na genotipskom nivou i pozitivno, ali ne i značajno na fenotipskom nivou.

Analizirajući međuzavisnost prinosa i komponenti prinosa kod 10 hibrida i njihovih roditeljskih komponenti Stevanović et al. (2012) su dobili rezultate koji su ih naveli na zaključak da između hibrida nije postojala značajna korelacija, dok je kod ispitivanih inbred linija postojala veoma značajna pozitivna korelacija između prinosa zrna i broja zrna u redu, dubine zrna i mase 1000 zrna.

Čamdžija et al. (2012) su proučavali međuzavisnost prinosa i komponenti prinosa kod hibrida kukuruza različitih grupa zrenja (FAO 300-800). Korelacioni koeficijenti su ukazali na visoku i veoma visoku zavisnost između prinosa i broja redova zrna, prinosa i dužine klipa, dužine klipa i broja zrna u redu.

Ispitujući uticaj nekih morfoloških osobina na prinos zrna kukuruza pomoću koeficijenta korelacije Pavlov et al. (2015) su dobili rezultate koji pokazuju da je najjači pozitivan uticaj na prinos zrna imala osobina broj listova iznad gornjeg klipa i visina biljke, dok su negativan uticaj imale osobine visina gornjeg klipa i ukupan broj listova.

Rezultate koji govore o pozitivnom, i značajno povezanom prinosu zrna sa visinom biljke, visinom stabla do klipa, dužinom klipa, obimom klipa, brojem zrna u redu, brojem redova zrna u klipu, sadržajem skroba, masom 100 zrna i sadržajem karotena dobili su Chinnadurai i Nagarajan (2011). Pored toga, ističu se pozitivne i veoma značajne korelacije dužine klipa sa masom 1000 zrna i prinosom zrna (Ogunniyan i Olakojo, 2015; Bhiusal et al. 2017). Visoke vrednosti FKV i GKV varijanse zabeležene su za osobine visina stabla, dužina klipa i težina 100 zrna. Generalno, fenotipska varijansa je bila veća od genotipske varijanse za sve proučavane osobine, što sugeriše da je postojao minimalan uticaj sredine na ekspresiju ovih osobina (Habiba et al., 2022).

Uspeh selekcionog programa usmerenog na poboljšanje nekih osobina useva ne zavisi samo od veličine genetičke varijabilnosti prisutne u populaciji, već i od stepena njene naslednosti. Ovo je parametar koji se široko koristi u oplemenjivanju bilja. Falconer i Mackay (1996) smatraju da procena heritabilnosti pomaže oplemenjivačima da odrede resurse neophodne za efikasan izbor željenih osobina i postizanje maksimalne genetičke dobiti sa što manje vremena i resursa.

Posmatrano teoretski, heritabilnost može da se kreće od jedan (1) gde su sve varijacije posledica genetike, do nule (0) gde sve varijacije proizlaze iz sredine (okruženja, lokacije). Stvarna vrednost heritabilnosti će pasti negde između ovih ekstremnih vrednosti. Jedino, ponekad eksperimentalna greška može dovesti do procena izvan navedenog opsega. Teško je odrediti veličinu ili tipove genetičke varijabilnosti ako su fenotipske ekspresije pod jakim uticajem okoline (lokacije) ili su manje nasledne (Yasien, 2000).

Postoje različiti načini za izračunavanje heritabilnosti. Vrednosti naslednosti koje daju proporciju ukupne fenotipske varijacije koja je posledica svih genetičkih faktora poznate su kao heritabilnost u širem smislu. Heritabilnost u širem smislu ima predviđajuću ulogu u oplemenjivanju, izražavajući pouzdanost fenotipa kao vodilje za njegovu oplemenjivačku vrednost. Visoke vrednosti heritabilnosti u širem smislu, ukazuju na to da je neka ispitivana osobina najmanje pod uticajem uticaja sredine (okoline, lokacije). Visoka heritabilnost je povezana sa efektom aditivnih gena koji je lako popravljiv, dok je niska heritabilnost posledica dominacije i epistaze koja se ne može lako popraviti. Postoji direktna veza između heritabilnosti i odgovora na selekciju, što se naziva genetička dobit (Falconer i Mackay 1996).

Heritabilnost u širem smislu ( $h^2_s$ ) se može klasifikovati kao visoka (>30%), srednja (10–30%) i niska (<10%) Dabholkar, (1992). Sa druge strane Singh (2000) je klasifikovao  $h^2_s$  kao visoku >80%, umereno visoku 60-79%, srednju 40-59% i nisku <40%. Procene heritabilnosti u užem smislu ( $h^2_u$ ) se mogu klasifikovati po Bhatia et al., (2006) na visoke >50%, srednje 30–50% i niske <30%. Prema Singh-u (2001), vrednosti heritabilnosti veće od 80% su veoma visoke, vrednosti 60-79% su umereno visoke, vrednosti od 40 do 59% su srednje i vrednosti manje od 40% su niske. Johnson et al. (1955) su klasifikovali genetski napredak kao procenat srednje vrednosti; vrednosti 0-10% su niske, 10-20% su umerene i 20% i više su visoke.

Bhialal et al. (2017) ibidem, navode da su u svom radu dobili procenjenu heritabilnost u širem smislu od 18,39% za žetveni indeks do 99,89% za težinu 100 semena. Koristili su procenu heritabilnosti po Singhu (2001) gde je niska ispod (<40%), srednja (40-59%), umereno visoka (60-79%) i veoma visoka ( $\geq 80\%$ ). Procene heritabilnosti su kako navode bile veće (83,22-99,89%) odnosno veoma visoke za osobine, dani do 50% metličanja, svilanja i zrelosti, trajanje nalivanja zrna, visina biljke, površina listova, težinu klipa, dužinu klipa, obim klipa, broj zrna/red i težina 100 semena što ukazuje na napredak u selekciji. Umereno visoka heritabilnost bila je za visinu klipa (69,42%) i prinos zrna po biljci (61,64%), što ukazuje da ova svojstva efikasno reaguju na selekciju. Nisku heritabilnost dobili su za broj klipova po biljci (39,41%) i žetveni indeks (18,39%) što pokazuje, naravno po njihovim rezultatima, da je poboljšanje ovih osobina kroz selekciju teško. Očekivana genetička dobit kao procenat srednje vrednosti odabirom najboljih 5% (visokog prinosa zrna) inbred linija kukuruza raspoređenih između 8,78% za dane do 50% metličanja, do 73,71% za prinos.

Prema Johnson et al. (1955), procena genetičke dobiti i genetičke dobiti kao procenta srednje vrednosti može se klasifikovati kao niska (<10%), umerena (10-20%) i visoka (>20%). Procenjena genetička dobit i genetička dobit kao procenat srednje vrednosti, tim redosledom, bili su veći za visinu biljke (50,02 i 30,99), težinu klipa (66,36 i 65,63), prinos zrna po biljci (64,73 i 59,76) i biološki prinos po biljci (228,64 i 73,71). Međutim, žetveni indeks je bio nizak, a genetička dobit (3,42) i genetička dobit kao procenat srednje vrednosti (9,77).

Ishaq et al., (2015), dobili su rezultate koji ukazuju na visoku heritabilnost za visinu biljke, visinu klipa, dužinu metlice, broj redova zrna na klipu i prinos zrna. Slično, visoka i umerena heritabilnost su dobijene za visinu biljke od strane (Ojo et al., 2006; Mahmood et al., 2004). Visoka heritabilnost obe ove osobine ukazuje na veliku varijabilnost i genetičke razlike među populacijama (Hussain i Hassan, 2014). Uočena je visoka heritabilnosti u širem smislu za različite osobine kao što su dani do metličanja, dani do svilanja, visina biljke, visina klipa, broj redova zrna po klipu, broj zrna u redu i masa 1000 semena. Prema (Ogunniyan i Olakojo. (2015) heritabilnost je bila veća od 80% za sve proučavane osobine. Drugi istraživači kao Rafiq et al., (2010) su takođe, naveli visoku heritabilnost za različite osobine koje kontrolišu prinos kod kukuruza. Naglašavaju da sama

heritabilnost nema praktičnu važnost bez genetičke dobiti. Visoka genetička dobit u kombinaciji sa visokim procenama heritabilnosti nudi najefikasniji uslov za selekciju (Larik et al., 2000). Korisnost heritabilnosti se zato povećava kada se koristi za izračunavanje genetičke dobiti, što ukazuje na stepen dobiti osobine dobijene pod određenim uticajem selekcije.

Poboljšanje performansi odabrane biljke u odnosu na prvobitnu populaciju može se nazvati genetičkom dobiti. Krajnji cilj oplemenjivača bilja je da ima veću genetičku dobit za odabrani materijal jer je to pokazatelj genetičkog poboljšanja u populaciji koja se selekcioniše. Genetička dobit se može očekivati za određenu osobinu kroz selekciju. Heritabilnost sama po sebi ne ukazuje na količinu genetičkog poboljšanja koja bi bila rezultat selekcije pojedinačnih genotipova. Iz ovog razloga znanje o genetičkoj dobiti zajedno sa heritabilnošću se smatra najkorisnijim. Pošto visoka heritabilnost ne ukazuje uvek na visoku genetičku dobit, preporučuje se razmatranje heritabilnosti u vezi sa genetičkom dobiti kako bi se predvideo efekat odabira superiornih sorti (hibrida) useva. Zato je genetička dobit još jedan važan parametar selekcije koji pomaže oplemenjivaču u programu selekcije (Johnson, et al. 1955).

Dobijena visoka heritabilnost treba da bude praćena visokom genetičkom dobiti da bi se došlo do pouzdanijeg zaključka. Genetička dobit meri očekivani genetički napredak koji bi bio rezultat genotipova sa najboljim učinkom za osobinu koja se procenjuje Allard, R.W. (1999).

Heritabilnost procenjena u širem ili užem smislu korisna je samo za populaciju ili genotipove koji se razmatraju, pošto ove procene variraju u zavisnosti od skupa genotipova koji se razmatra. Procene genetičke dobiti pomažu u razumevanju vrste delovanja gena uključenih u ekspresiju različitih poligenskih osobina. Generalno, visoka genetička dobit u kombinaciji sa visokim procenama heritabilnosti nudi najpogodniji uslov za selekciju. To, takođe ukazuje na prisustvo aditivnih gena u osobini i dalje sugerise pouzdano poboljšanje useva kroz selekciju takvih osobina. Procene heritabilnosti sa genetičkom dobiti su pouzdanije i značajnije od individualnog razmatranja parametara smatraju Johnson, et al. (1955).

Genetička dobit je razlika između srednje fenotipske vrednosti potomstva odabranih biljaka i srednje vrednosti prvobitne roditeljske populacije (Nagar, 2015). S druge strane, genetička dobit se odnosi na poboljšanje osobina u genotipskoj vrednosti za novu populaciju u poređenju sa originalnom populacijom sa jednim ciklusom selekcije pri određenom intenzitetu selekcije (Poehlman i Sleper, 1986). Oni smatraju da procene genetičke dobiti imaju istu jedinicu kao one za srednju vrednost, ali u proračunima, heritabilnosti u širem smislu mora da se koristi za mešavinu čistih linija ili klonova ili apomiktički reprodukcioni useva, dok bi heritabilnost u užem smislu trebalo da se koristi za segregaciju populacija. Za osobine koje pokazuju visoku heritabilnost i visoku genetičku dobit može se reći da su kontrolisane aditivnim genima i mogu ukazivati na stepen dobiti u osobini dobijenoj pod specifičnim intenzitetom selekcije.

Rafiq et al., (2004) dobili su rezultate sa 80% heritabilnosti u širem smislu za prinos zrna i druge ispitivane parametre. Razlike između genotipskih koeficijenata varijanse i fenotipskih koeficijenata varijanse mogu biti veoma niske za proučavane osobine, što implicira da su uticaji životne sredine, odnosno okruženja za razvoj tih parametara bili niski. Genetička dobit sredine za prinos zrna i drugi parametri bi mogli biti visoki što pokazuje da su ovi parametri bili pod kontrolom aditivnih gena. Bello et al. (2012) smatraju da bi efikasna selekcija u narednim generacijama mogla biti moguća za poboljšanje ovih osobina. Ovo, takođe čini jasnijom činjenicu da je veći udeo fenotipske varijanse pripisan genotipskoj varijansi i da je bila moguća pouzdana selekcija za ove osobine. Pored toga, selekcija u ranoj generaciji razdvajanja se pokazala korisnom za odabir vrhunskih hibrida kukuruza. Visoka heritabilnost u kombinaciji sa visokom očekivanom genetičkom dobiti kao procenta srednje vrednosti dobijene za osobine ukazuje na prisustvo aditivnih efekata gena za potencijalno poboljšanje useva kroz selekciju ovih osobina (Wolie et al., 2013) Međutim, visoka heritabilnost i niska genetička dobit mogu se pripisati neaditivnom delovanju gena koji upravljaju takvim osobinama tako da, u tom smislu, njihovo poboljšanje kroz selekciju rane generacije možda nije poželjno. Stoga bi poboljšanje ovih osobina moglo biti kroz hibridizaciju i hibridnu snagu (Bello

et al., 2012). Umerena heritabilnost zajedno sa visokom genetičkom dobiti daju male šanse za njegovo dalje poboljšanje, a niska heritabilnost sa niskom genetičkom dobiti može ukazivati na neaditivne genske efekte koji upravljaju takvim osobinama. Laghari et al., (2010) smatraju da su negativne vrednosti za genetičku varijansu, heritabilnost i koeficijent heritabilnosti moguće kada se dobiju negativne vrednosti za njegovu genotipsku varijansu i heritabilnost.

Poznavanje međuodnosa između prinosa i njegovih komponenti je veoma važno za efikasan izbor željenog tipa biljke. Pod pretpostavkom da je prinos rezultat većeg broja osobina koje su međusobno povezane, razvijena je analiza koeficijenta putanje ili path analiza (Wright, 1921; Dewey i Lu, 1959). Za razliku od koeficijenta korelacije koji meri stepen veze, "Path" analiza meri veličinu direktnog i indirektnog doprinosa osobina kompleksnom karakteru i definisana je kao standardizovani koeficijent regresije koji deli koeficijent korelacije na direktne i indirektno efekte. Na taj način omogućava oplemenjivačima da najbolje ocene važne osobine tokom selekcije.

Analizu putem „Path“ koeficijenata je prvobitno razvio Wright, S. (1929). To je najvrednije sredstvo za uspostavljanje tačne korelacije u smislu uzroka i posledice. Relativni značaj direktnih i indirektnih efekata izmerenih osobina na zavisno promenljivu utvrdiće se „Path“ analizom navodi on. To je jednostavan standardizovani parcijalni koeficijent regresije koji deli koeficijent korelacije na direktne i indirektno efekte komponenti prinosa na prinos. Kasnije je ova analiza dodatno razrađena u jednom od najcitiranijih radova u radu Dewey i Lu-a (1959). Radovi koji se odnose na analize korelacije i „Path“ koeficijenta su važni za planiranje odgovarajućih strategija oplemenjivanja za poboljšanje prinosa kroz selekciju i za bolje razumevanje odnosa između osobina povezanih sa prinosom (Dewey i Lu, 1959). Prinos, kao složena osobina, povezan je sa brojnim komponentnim osobinama. Konkretno, prinos zrna kod kukuruza je rezultat niza složenih morfoloških i fizioloških osobina. Za potpuno razumevanje složenih odnosa između prinosa zrna i drugih osobina, od suštinskog je značaja izračunavanje direktnih i indirektnih efekata ovih osobina na prinos zrna. Danas ima široku primenu To dodatno potvrđuju Singh i Chaundary (1985) navodeći da Path analizu primenjujemo kada treba u formulisanju selekcionionih indeksa za genetičko poboljšanje prinosa i ukazivanja na vezu uzroka i posledice promena ispitivanih osobina.

Fenotipski i genotipski koeficijenti korelacije mogu se dalje analizirati putem „Path“ koeficijenata, koja uključuje podelu koeficijenata korelacije na direktne i indirektno efekte kroz alternativne osobine ili puteve. Takva analiza dovodi do identifikacije važnih komponentnih osobina korisnih u indirektnoj selekciji za veći prinos. Procena prostog koeficijenta korelacije pomaže selekcionerima da odrede vezu između osobina, ali ne daju pravu sliku direktnog i indirektnog uticaja svake osobine povezane sa drugom osobinom. Ova slabost korelacione analize se zato može prevazići „Path“ analizom smatra Bhatt (1973).

Kang et al. (1983) su dobili rezultate sa relativno visokim i pozitivnim direktnim uticajem težine klipa na prinos zrna kako na fenotipskom tako i na genotipskom nivou. Takođe, je dobio i pozitivan direktan uticaj visine biljke na prinos zrna koji ističe kao veoma poželjan.

Rafiq et al., (2010), proučavali su 30 hibrida kukuruza koji su nastali kada je deset lokalnih inbred linija kukuruza ukršteno sa tri testera (F-107, F-131 i F-165) za određivanje različitih parametara genetičke varijabilnosti i prirode međuodnosa među osobinama koje utiču na prinos zrna kukuruza. „Path“ analiza je otkrila da je 19 najviših direktnih uticaja na prinos zrna imala težina 100 zrna, zatim broj zrna u redu, broj redova zrna po klipu, dužina klipa i prečnik klipa. Većina osobina je ispoljila svoje pozitivne indirektno efekte kroz težinu 100 semena, broj redova zrna po klipu i broj zrna u redu.

Selvaraj i Nagarajan (2011), dobili su pozitivne direktne efekte za dane do svilanja, visinu biljke, visinu klipa, dužinu klipa, obim klipa, broj zrna u redu, broj redova zrna i sadržaj skroba, težinu 100 semena, sadržaj karotena u zrnu na prinos. Batool et al. (2012), navode pozitivan indirektno uticaj visine biljke na prinos zrna preko broja redova na klipu i sirovih proteina, a negativan indirektno uticaj visine biljke na prinos zrna preko visine klipa, dana do metličanja, dana do svilanja, dužine klipa, obima klipa, broja zrna u redu, broj redova zrna, težina 100 zrna, sadržaj skroba i



karotena. Sa druge strane, dani do 50% metlica, dani do 50% svilanja i visina klipa imali su negativan direktan uticaj na prinos zrna.

Prinos zrna je pokazao pozitivnu i značajnu fenotipsku i genotipsku povezanost sa brojem zrna u redu. Za ostale osobine, najjača pozitivna fenotipska i genotipska povezanost uočena je između broja redova zrna po klipu i prečnika klipa. Pozitivna povezanost između dve poželjne osobine pomaže oplemenjivaču bilja da lako poboljša obe osobine istovremeno. Prečnik klipa, broj zrna u redu i dužina klipa imali su pozitivan fenotipski i genotipski direktan uticaj na prinos zrna. Ovo podrazumeva da su prečnik klipa, dužina klipa i broj zrna u redu važne osobine u određivanju performansi prinosa (Mesenbet et al., 2017).

Analiza koeficijenta putanje pokazala je da su dani do 50% svilanja imali najveći pozitivan direktan efekat na prinos zrna po biljci, a zatim sledi težina 100 zrna, obim klipa, broj zrna u redu i visina biljke na fenotipskom i genotipskom nivou. Zato se ove osobine mogu uzeti kao korisni kriterijumi za razvoj superiornih hibrida (Tejaswini et al., 2022).

Na osnovu rezultata ogleada koje su dobili Filipovic et al. (2014) zaključuju da dužina klipa nema direktne pozitivne efekte na prinos i da nije u korelaciji sa prinosom. Međutim, dužina klipa je bila u negativnoj korelaciji sa prečnikom klipa, a istovremeno imala negativan indirektan uticaj preko prečnika klipa na prinos.

Na osnovu ispitivanja „Path“ analize Pavlov et al. (2015) navode pozitivne direktni efekte na prinos zrna kukuruza, za visinu biljke do osnove metlice i visinu biljke, dok su negativni direktni efekti dobijeni za visinu klipa i ukupan broj listova, a što se tiče indirektnih efekata, autori ističu pozitivan uticaj visine položaja klipa na prinos u odnosu na ukupnu visinu biljke.

Jedan od najvećih izazova za oplemenjivače kukuruza je razvoj hibrida koji imaju prednost u okruženjima sa ograničenom količinom vode. Značajan broj radova u oplemenjivanju kukuruza uključuje korelacije između agronomskih i fizioloških karakteristika i prinosa zrna. U ispitivanju koje su sprovedi Bekavac et al. (2007) glavni cilj bio je da se identifikuju osobine koje se mogu odnositi na stay-green osobinu i prinos zrna u dve sintetičke populacije kukuruza.

### 3.7 SNP molekularni markeri

Procena diverziteta i genetičke distance u raspoloživim vrstama kukuruza je važna za program oplemenjivanja hibrida, kako bi se identifikovale vrste (genotipovi) koje bi proizvele ukrštanje sa dobrim nivoom heterozisa bez testiranja svih hibridnih kombinacija (Badu-Apraku et al., 2013; Akinwale et al., 2014). Dostupne su različite vrste DNK markera za procenu genetske udaljenosti. Markeri ponavljanja jednostavne sekvence (SSR) ili mikrosateliti su u velikoj upotrebi zbog njihove ko-dominantne, visoke polimorfne, multialelne prirode i visoke reproduktivnosti (Akaogu et al., 2013; Sserumaga et al., 2014). Međutim, dobijeni su kontradiktorni rezultati u pogledu odnosa između genetske udaljenosti i hibridnog učinka kod kukuruza (Kamara et al., 2020). Dobijene su značajne korelacije između genetičkog diverziteta baziranog na molekularnim markerima i prinosa F<sub>1</sub> hibridnog zrna kod kukuruza (Phumichai et al., 2008; Singh, 2015). Kamara et al. (2020) ispitujući toleranciju na veliku gustinu useva kukuruza konstatuju da kada su u pitanju ispitivane inbred linije procenjena genetička distanca zasnovana na SSR markerima nije mogla da se koristi za predviđanje performansi hibrida i efekata OKS. Ipak, PKS bi se mogao koristiti za predviđanje performansi hibrida u svim gustinama biljaka. Iako je SSR utvrdio da genetička distanca nije bila korisna u predviđanju hibridnih performansi i PKS efekata, bio je efikasan u klasifikovanju inbred linija prema njihovom poreklu, označavajući efikasnost SSR markera za analizu diverziteta i grupisanja. Prema ovim autorima ovakva ispitivanja mogu imati važne implikacije za programe oplemenjivanja koji su osmišljeni da poboljšaju toleranciju gustine kukuruza.

Analize molekularnih markera pružaju važan alternativni pristup za karakterizaciju genetičke raznovrsnosti, strukture populacije i genetskih odnosa između elitnog oplemenjivačkog materijala u okviru date kolekcije germoplazme kukuruza (Wu et al., 2016).

Pojedinačni nukleotidni polimorfizmi (SNP - Single Nucleotide Polymorphisms) su najzastupljeniji oblici genetske varijacije među jedinkama unutar vrste (Rafalski, 2002). Smatra se da su SNP-ovi raznovrsni alati za mnoge genetske primene kao što su pravljenje genetskih mapa, otkrivanje gena/lokusa kvantitativnih osobina (QTL), procena genetičke raznovrsnosti, verifikacija pedigreea, identifikacija sorte, analiza asocijacija i oplemenjivanje uz pomoć markera (Zhu et al., 2003). Štaviše, razvoj metoda genotipizacije visoke do ultravisoke propusnosti čini SNP veoma atraktivnim kao genetski markeri u različitim komercijalno važnim usevima kao što su kukuruz i soja (Chagné et al., 2007).

Razvoj SNP markera obično se sastoji od dva dela: SNP otkrivanja i SNP testa razvoja. Otkrivanje SNP-a u usevima nije lak zadatak zbog složenosti genoma i često nedostatka referentne sekvence genoma. Čak i kod useva kao što je kukuruz (*Zea mays* L.), gde je dostupna referentna sekvenca genoma, naponi u otkrivanju SNP velikih razmera su i dalje umanjani zbog veoma velikog ponavljanja (Meyers et al., 2001) i udvajanja (Gaut i Doebley, 1997) što je zavisno od prirode genoma. Da bi izbegli ponavljajuće sekvence, istraživači kukuruza su se fokusirali na otkrivanje SNP-ova unutar kodirajućih sekvenci ponovnim sekvenciranjem amplikona izvedenih iz unigena (Wright et al., 2005) ili in siliko vađenjem SNP-ova unutar EST-a (Batley et al., 2003). Prednost ovih pristupa je detekcija SNP-ova zasnovanih na genima. Međutim, oba pristupa imaju neke nedostatke: oni su niske propusnosti i nisu u stanju da otkriju SNP-ove koji se nalaze u nekodirajućim regionima sa malom količinom kopije i međugenskim prostorima. Pored toga, ponovno sekvenciranje amplikona je skupa i radno intenzivna procedura (Ganal et al., 2009).

Razumevanje bioloških puteva zahtevaće informacije sa nekoliko nivoa, genetskog nivoa, nivoa genskih proizvoda, metaboličkih puteva itd. Geni i proizvodi gena ne funkcionišu nezavisno, već učestvuju u složenim, međusobno povezanim putevima i molekularnim sistemima koji, zajedno, dovode do funkcionisanja organizama. Funkcionalna genomika kao rastuća nauka postaje važno oruđe u biotehnologiji. Ističe se da ne treba zanemariti činjenicu da biotehnologija postaje sve značajnija u poljoprivredi ali i da se preko 50% poljoprivredne produktivnosti u svetu ostvaruje tradicionalnim oplemenjivanjem biljaka. Iako tehnologija DNK markera ne može da zameni oplemenjivanje biljaka, ona će svakako povećati napore uzgajivača biljaka tako što će obezbediti nove mogućnosti i metode za ublažavanje i rešavanje mnogih problema sa kojima se oplemenjivači i proizvođači u praksi suočavaju (Mladenović Drinić et al., 2004).

Jedna od metoda otkrivanja SNP-ova je i genotipizacija po sekvenci (Genotyping-by-Sequencing (GBS)), tehnologija sekvenciranja nove generacije, je pristup sekvencioniranja visoke propusnosti, multipleksa i kratkog čitanja koji smanjuje kompleksnost genoma putem restriksijskih enzima i generiše markere visoke gustine za čitav genom (~ 1 milion) uz nisku cenu po uzorku označavanjem nasumično deljenih fragmenata DNK iz različitih uzoraka jedinstvenim, kratkim DNK sekvencama (bar kodovima) i objedinjavanjem uzoraka u jedan kanal za sekvenciranje (Elshire et al., 2011). Sada se koristi za generisanje velikog broja SNP-ova u mnogim vrstama. Genotipizacija po sekvenci se pojavila kao moćno sredstvo za različite genetske primene, kao što su analiza genetičke raznovrsnosti, mapiranje veza, mapiranje asocijacija i genomska selekcija (Crossa et al., 2013). TASSEL-GBS Discoveri/Production cevovod je posebno prilagođen GBS protokolima da koristi informacije o sekvenciranju referentnog genoma za otkrivanje i pozivanje SNP (Glaubitz et al., 2014). Kod kukuruza, Romay et al. (2013) su istražili genetski odnos 2815 inbred linija kukuruza iz celog sveta, sačuvanih u Nacionalnoj banci samooplodnog semena kukuruza SAD koristeći SNP molekularne markere i inbred liniju B73, kao referentni genom.

### 3.8 NIR (Near-Infrared Reflectance - Bliska infracrvena spektroskopija) i kvalitativne osobine zrna od značaja za oplemenjivanje kukuruza

Opšte poznata je činjenica da se kukuruzno zrno u pogledu hemijskog sastava sastoji od tri osnovne komponente: skroba (70-73%), proteina (8-11%) i ulja (4-5%). Sastoji se iz tri glavna dela klice, endosperm i omotača (perikarp). Na endosperm otpada više od 80% mase zrna, na klicu oko 12%, a ostatak čini omotač (perikarp) ploda odnosno zrna. Endospermom dominira skrob (oko 90%), a u klici ulje (oko 30%) i proteini (oko 18%). Neposredno ispod omotača nalazi se aleuronski sloj koji se sastoji se od specijalizovanih ćelija koje luče hidrolitičke enzime tokom klijanja. Ispod aleurona nalaze se skrobne ćelije endosperma koje su ispunjene skrobom i proteinima. Kukuruzni skrob se sastoji od dva polimera (homopolisaharida), amilopektina i amiloze, koji se razlikuju po dužini lanca i stepenu grananja. Amilopektin je više razgranat (lanac a-D-(1-4) i a-D-(1-6)-glukozidnih veza) i normalno čini oko 75% skrobnih granula. Amiloza je uglavnom linearna (a-D-(1-4)-vezani ostaci glukoze) i čini 25% granula skroba (Nelson i Pan, 1995; Jeon et al., 2010). Ova dva polimera imaju različita fizička svojstva, a odnos amiloze i amilopektina igra ključnu ulogu u izgledu, strukturi i kvalitetu industrijske obrade. Iz ovih razloga je oplemenjivačima bitna za neke unapred postavljene ciljeve promena relativnih proporcija ova dva polimera (Yu i Moon, 2022). Ove ćelije stvaraju takozvani staklasti i skrobni endosperm. Endosperm staklastog tela prenosi, dok skrobni endosperm ne prenosi svetlost.

Na osnovu morfoloških karakteristika ćelija endosperma, skroba i proteina u staklastom i brašnastom endospermu i ulja u zrnu kukuruza mogu se dobiti brojne informacije o kvalitativnim osobinama zrna značajnih za oplemenjivanje kukuruza.

Ove tehnologije generalno zahtevaju hemijsku ekstrakciju uzorka tkiva da bi se kvantifikovala jedinjenja od interesa. Fenotipovi semena predstavljaju poseban izazov za „omičnu“ analizu (Spielbauer et al., 2009). Primarni fenotip semena je akumulacija molekula za skladištenje, uključujući skrob, protein i ulja. Svaka od ovih klasa organskih molekula ima različite hemijske osobine i zahteva drugačiju strategiju za analizu. Za većinu vrsta, hemijska analiza bilo koje klase molekula za skladištenje zahteva jedno ili više semena, efikasno uništavajući pojedinačnu biljku koja se analizira.

NIR (Near-Infrared Reflectance) je nedestruktivna tehnologija koja se zasniva na apsorpciji elektromagnetnog zračenja na talasnim dužinama u opsegu 780–2500 nm (Osborne 2006). NIR je takođe jeftin analitički metod velike brzine sa širokom primenom u biologiji (Montes et al., 2007). NIR apsorpcione trake nastaju usled prizvuka i kombinovanih vibracija funkcionalnih grupa C-H, NH, O-H i S-H, koje omogućavaju predviđanje različitih organskih jedinjenja. NIR spektri iz bioloških materijala imaju višestruke preklapajuće obrasce apsorpcije zbog složene mešavine organskih jedinjenja u ovim uzorcima. Za tumačenje NIR spektra iz bioloških uzoraka potrebni su multivarijantni statistički pristupi. Spektri zrna žita se obično mere iz finog mlevenog praha ili kao rasuta cela zrna (Orman i Schuman, 1992). NIR podaci se prikupljaju od ovih tipova uzoraka stavljanjem u šolje ili kivete sa definisanom površinom i dužinom putanje. Metode mlevenog i celog zrna koriste više semena i mogu dati samo prosečne procene sastava za uzorak semena.

Endosperm kukuruza se sastoji od staklastog i brašnastog dela, a tvrdoća i gustina zrna su rezultat ravnoteže između ove dve komponente endosperma. Tvrdoća endosperma zrna kukuruza utiče na mnoge činioce obrade koje se odnose na prinose suvog i vlažnog mlevenja, proizvodnju etanola, svarljivost skroba u hrani i proizvodima za životinje i osetljivost na štetočine, između ostalog (Caballero-Rothar et al., 2019).

Skrob i proteini su glavne komponente endosperma kukuruza, i oba su mehanički povezana sa tvrdoćom zrna (Gayral et al., 2016). Granule skroba su ugrađene u proteinski oblik koji se rasteže dok granule skroba rastu. Nakon isušivanja zrna, proteinski oblik se cepa na delove gde je tanak i pojavljuju se labilni prostori ispunjeni vazduhom, što rezultira brašnastim endospermom. Poljedarske granule skroba rastu ugrađene u deblje i jače delove proteina endosperma da bi se dobila frakcija

endosperma staklastog tela. Unutar ovog dela se tokom isušivanja zrna ne formiraju praznine, što dovodi do kompaktnog i staklastog izgleda i tvrde teksture (Watson, 2003). Veće koncentracije proteina se obično primećuju u genotipovima tvrdog endosperma u poređenju sa mekšim (Abdala et al., 2018; Gerde et al., 2016).

Činjenica je da kukuruz sadrži samo oko 3-6% ulja, što je manje od većine uljanih biljaka, naravno ne smeta, da se široko koristi kao ulje za kuvanje, ulje za prženje, ulje za salatu ili kao sastojak za pripremu drugih proizvoda kao što su margarin, puter, grickalice i pekarski proizvodi. Kukuruzno ulje iz klica je omiljeno kod potrošača zbog njegovog prijatnog ukusa, laganog delikatnog ukusa, sadržaja zdravih masnih kiselina i dobrih fizičko-hemijskih svojstava. Pored toga, kukuruzno ulje je korisno za zdravlje ljudi jer sadrži do 65,5% linolne kiseline, kao i druga bioaktivna jedinjenja, uključujući sterole (b-sitosterol, kampesterol i stigmasterol), fenolne kiseline i flavonoide.

Na osnovu morfoloških karakteristika ćelija endosperma, skroba, proteina u staklastom i brašnastom endospermu i ulja u zrnu kukuruza mogu se dobiti brojne informacije o kvalitativnim osobinama zrna značajnih za oplemenjivanje kukuruza. Imajući to u vidu s obzirom na napredak u nauci traga se neprekidno za novim tehnikama ispitivanja koje bi omogućile dobijanje pouzdanih podataka o kvalitativnim osobinama semena svih useva pa i kukuruza.

Na osnovu dosadašnjih saznanja smatra se da će pored ovih navedenih najpoznatijih metoda, metode kao što su NIR - bliska infracrvena spektroskopija, teraherc spektroskopija i hiperspektralna slika biti efikasne u identifikaciji GM useva. Ove metode ne zahtevaju obradu uzorka, a vreme utrošeno za prikupljanje podataka je kratko. Obrada podataka, uključujući prethodnu obradu, odabir talasne dužine i uspostavljanje modela (kvalitativne i kvantitativne modele i metode na bazi dobrog poznavanja statistike, takođe zahteva stručno osoblje za analizu i obradu, a rezultati imaju izvesnu zavisnost od modela. Ako se može uspostaviti dobar model, on je od pomoći za naknadno otkrivanje, promociju i otkrivanje na mreži (Zhang et al., 2023).

## 4. RADNA HIPOTEZA

U ovom istraživanju polazi se od sledećih pretpostavki:

- Između ispitivanih genotipova kukuruza biće ispoljene razlike u dinamici otpuštanja vlage iz zrna.
- Utvrđivanje međuzavisnosti ispitivanih osobina kukuruza i sadržaja vlage u zrnu omogućava identifikaciju osobina koja imaju najveći uticaj na otpuštanje vlage iz zrna.
- Genetička karakteristika samooplodnih linija primenom SNP molekularnih markera pruža uvid u razliku dinamike otpuštanja vlage kod genetičkog materijala različite heterotične pripadnosti.
- Osobine koje imaju uticaj na otpuštanje vlage iz zrna imaju različitu genetičku osnovu nasleđivanja.
- Očekuje se da će dialelna analiza u ovoj disertaciji ukazati na kombinacione sposobnosti inbred linija i učešće aditivne i neaditivne komponente genotipa u ukupnom fenotipskom variranju.
- Hemijski sastav zrna ima uticaj na otpuštanje vlage iz zrna.

## 5. MATERIJAL I METODE RADA

### 5.1. Biljni materijal i postavljanje ogleda

Materijal istraživanja predstavlja šest elitnih samooplodnih linija kukuruza, kao i trideset hibridnih kombinacija nastalih ukrštanjem odabranih linija po metodu potpunog dialela. Samooplodne linije su selekcionisane u Institutu za kukuruz „Zemun Polje“ i predstavljaju roditeljske komponente vodećih komercijalnih ZP hibrida kukuruza. Na osnovu empirijskih saznanja, roditeljske linije pripadaju različitim grupama zrenja i imaju različitu heterotičnu pripadnost.

Tri odvojena ogleda (Školsko Dobro, Selekciono Polje u Zemun Polju i jedan u Sremskoj Mitrovici (Kukujevci u 2021 i Ruma u 2022 godini) sa samooplodnim linijama i hibridnim kombinacijama posejani na tri lokaliteta i u dva ponavljanja, tokom dve vegetacione sezone 2021 i 2022. godine. Svaki genotip posejan je u dvorednoj parceli, dužine 5 metara sa međurednim rastojanjem 0,75 metara. Na svakoj parceli bilo je posejano 50 biljaka, što odgovara gustini od 66.667 biljaka po hektaru. Da bi se postigla kompletna karakterizacija pojedinačnih biljaka, 10 reprezentativnih biljaka je bilo obeleženo etiketama sa brojevima u okviru svake eksperimentalne parcelice.

U istraživanju su praćene sledeće osobine:

- Izračunavanje intervala između metličanja i svilanja - ASI
- Nakon pedeset dana od momenta svilanja, za svaki genotip praćen je sadržaj vlage u zrnu. Sadržaj vlage meren je jednom nedeljno sve do momenta berbe. Na kraju je utvrđen konačni prinos na 14% vlage.
- Za svaki ispitivani genotip analizirane su sledeće morfološke osobine: broj listova komušine, površina listova komušine, debljina listova komušine, dužina klipa, prečnik klipa, prečnik oklaska, masa 1000 zrna i broj redova zrna na klipu.
- Određivanje sadržaja proteina, ulja i skorba primenom NIR (Near Infrared Reflectance) metode.

Genotipizacija ispitivanih linija kukuruza je izvršena primenom genskog čipa *Maize 25K XT array* koji sadrži 23908 SNPs ravnomerno raspoređenih po celom genomu kukuruza. Svi koraci u genotipizaciji su izvedeni od strane TraitGenetics GmbH u Nemačkoj. Snipovi koji su neuspešno prizvani u više od 5% linija (miss rate > 5%), kao i oni koji imaju frekvenciju minor alela ispod 5% (MAF < 5%) bili su isključeni iz daljih analiza.

U našem istraživanju korišćena je DNK iz ćelija lista ispitivanih inbred linija kukuruza. U tu svrhu, za svaku inbred liniju je naklijavano deset zrna, a klijanci su uzgajani do faze 3-4 lista nakon čega su listovi samleveni u uzorak iz kojeg će se vršiti izdvajanje DNK. U tom cilju je korišćen *GeneJET Plant Genomic DNA Purification Kit* namenjen za brzu i visokokvalitetnu ekstrakciju i purifikaciju genomske DNK iz biljnih tkiva. Ovaj kit koristi silikagel membransku tehnologiju za ekstrakciju DNK koja isključuje potrebu za primenom toksičnih hemikalija kao što su fenoli i hloroform. Standardni protokol primenjen je za ekstrakciju koji je izdvojio svu DNK veličine preko 30kb, što je omogućilo da prikupi i do 32 µg DNK iz 100 mg tkiva lista. Primenom standardizovanih rastvora za precipitaciju iz uzorka odstranjeni su proteini, polisaharidi i ostale nečistoće. Ovako izolovanu DNK visoke čistoće je bilo moguće direktno aplicirati u genski čip korišćen za genotipizaciju inbred linija.

Filtrirani, visoko informativni i kvalitetni markeri (SNPs) analizirani su u bioinformatičkom programu STRUKTURA 2.3.4. (Pritchard i sar, 2000) čime se utvrdila genetička struktura ispitivanih linija. Program STRUKTURA se bazira na primenama Bajesove statistike koja koristeći algoritam koji analizira razlike u frekvenciji alela i razvrstavanja ispituje genotipove na osnovu sličnog obrasca alelne varijacije. Genetička udaljenost između linija i pripadajući dendrogram dobijeni su analizom u programu TASSEL (Bradbury et al., 2007). Primenom TASSEL softvera sprovedena je klaster analiza primenom UPGMA metoda na osnovu podataka dobijenih za SNP markere.

Uzorci semena su analizirani na sadržaj proteina, skroba i ulja (% na osnovu suve materije) pomoću analizatora zrna Infraneo, Chopin Technologies®, na osnovu spektroskopije bliske infracrvene transmisije (NIRT). Uzorci semena prikupljeni su u fazi R6, slučajnim odabirom 5 biljaka po genotipu. Svaki uzorak je skeniran sa tri ponavljanja u crnoj šolji za uzorke. Spektri su sakupljeni od 890–1100 nm u koracima od 2 nm korišćenjem softvera VinISI II (Infra SoftInternational, USA).

Površina listova kumušine merena je aparatom „LI- 3100 Area Meter“ (Lincoln, Nebraska SAD). Uzorak za svaki genotip su činili 5 klipova nasumično uzetih sa parcele (Slika 1.).



Slika 1. Merenje broja, dužine, debljine i površine listova kumušine kukuruza

Istraživanja su sprovedena tokom 2021 i 2022. godine na tri različite lokacije u Srbiji koje koristi Institut za kukuruz u Zemun Polju (Selekciono Polje, Školsko Dobro, Kukujevci (2021) i Ruma (2022)). Navedene lokacije su uzete kao prvi faktor u ovom istraživanju.

Drugi faktor su bili različiti genotipovi (inbred linije i hibridi) kukuruza. Osnovni biljni materijal za ispitivanje predstavljaju samooplodne linije kukuruza iz dve FAO grupe zrenja 400 i 600 (Tabela 2). U prvoj FAO grupi zrenja 400 ispitivane su tri inbred linije, ZPL3 i ZPL4 pripadaju nezavisnoj osnovi, dok je linija ZPL6 predstavnik *Lancaster Sure Crop* izvora. Iz druge ispitivane grupe zrenja FAO 600, inbred linije ZPL1 i ZPL2 su predstavnici *Iowa Stiff Stalk Synthetic* (BSSS) izvora, dok linija ZPL5 pripada *Lancaster* izvoru.

Tabela 2. Podaci o šest samooplodnih linija kukuruza

LINIJA	POREKLO	FAO grupa zrenja
ZPL1	BSSS	600
ZPL2	BSSS	600
ZPL3	Nezavisna osnova	400
ZPL4	Nezavisna osnova	400
ZPL5	Lancaster	600
ZPL6	Lancaster	400

*Dinamika praćenja vlage u zrnu kukuruza.* Prvo uzimanje uzoraka u 2021. godini za određivanje vlage u zrnu na lokalitetu Selekciono Polje obavljeno je 30.8.2021, na Školskom Dobru 2.9.2021 i u Kukujevcima 27.8.2021. godine. Drugo uzimanje uzoraka bilo je 7.9.2021.god., na lokalitetu Selekciono Polje, 8.9.2021.god., na lokalitetu Školsko Dobro i 4.9.2021 u Kukujevcima. Treće uzimanje uzoraka za merenje vlage u zrnu na lokaciji Selekciono Polje obavljeno je 16.9.2021. god., na Školskom Dobru 15.9.2021 i 11.9.2021. godine u Kukujevcima. Žetva i poslednje merenje sadržaja vlage na lokacijama teritorije Beograda: Selekciono Polje urađeno je 28.9.2021.god., na Školskom Dobru 22.9.2021. god., a na teritoriji Sremske Mitrovice u Kukujevcima 23.9.2021. godine.

Prvo uzimanje uzoraka u 2022. godini za određivanje vlage u zrnu na lokalitetu Selekciono Polje obavljeno je 31.8.2022. god., na Školskom Dobru 29.8.2022. god. i u Rumi 1.9.2022. godine. (Ogled je i drugoj godini bio na ovoj trećoj lokaciji u Rumi, nedaleko od ogleda u prethodnoj godini). Drugo uzimanje uzoraka obavljeno je 7.9.2022. god., na lokalitetu Selekciono Polje, 6.9.2022. god., na lokalitetu Školsko Dobro i 8.9.2022. godine u Rumi. Treće uzimanje uzoraka za merenje vlage u zrnu na lokaciji Selekciono polje bilo je 13.9.2022.god., na Školskom Dobru 12.9.2022. god., i u Rumi 14.9.2022. godine. Žetva i poslednje merenje sadržaja vlage na lokaciji Selekciono Polje obavljeno je 22.9.2022. god., na Školskom Dobru 19.9.2022. god., i u Rumi 20.9.2022. godine.

Sadržaj vlage u zrnu u momentu berbe (%) meren je u laboratoriji na vlagomeru "Dickey John GAC 2100 Agri Moisture Tester".

Odmah po ubiranju kukuruza vršeno je merenje težine zrna po ponavljanjima i uzimanje prosečnih uzoraka za prinos. Procenat vlage u zrnu kukuruza u momentu berbe- žetve određen je klasičnom metodom sušenja zrna u sušnici (1 čas na temperaturi od 130 °C, a potom do konstantne težine).

$$\text{Sadržaj vlage (\%)} = \frac{\text{težina uzorka u vlažnom stanju} - \text{težina suvog uzorka}}{\text{težina uzorka u vlažnom stanju}} \times 100$$

Prinos zrna na 14% vlage je izračunat po sledećoj formuli:

$$= \frac{\text{Prinos u t/ha} \times \text{težina klipova u vlažnom stanju kg/ha} \times (100 - \text{procenat vlage u berbi}) \times 10000}{(100 - \text{željeni \% vlage}) \times \text{površina elementarne parcele m}^2 \times 1000}$$



## 5.2 Statistička analiza

*Analiza genotipskih podataka.* Analiza varijanse za kompletno dialelno ukrštanje, isključujući provere, urađena je korišćenjem softverskog paketa AGD-R (Analysis of Genetic Design in R) verzije 5.0 (2023). Podaci su testirani pomoću statističkog softvera (The Statistical Package for Social Sciences) SPSS version 26 i R-Studio. R Core Team, Version 4.2.3 (Rodríguez et al.,2020) i statističkom programu GenStat 12<sup>th</sup> 2009.

Grifingov (Griffing) metod I dialelne analize (uključeni su efekti roditelja,  $F_1$  i  $F_1$  recipročna ukrštanja) i model 1 (fiksni efekat) korišćen je za izračunavanje OKS efekata roditelja, PKS i recipročnih efekata ukrštanja. Analiza varijanse je urađena za sredine i osobine koje su ispitivane u ogledima. Značaj OKS, PKS i recipročnog izvora varijacija testiran je F-testom, dok je značaj OKS, PKS i recipročnih efekata testiran t-testom, sa standardnom greškom OKS, PKS i recipročnim efektima.

Analiza varijanse je korišćena za procenu OKS, PKS i recipročnih efekata za proučavane kvantitativne osobine inbred linija kukuruza. Podaci su analizirani dialelnom metodom za analizu opšte i posebne kombinacione sposobnosti i komponenti varijanse (Griffing, 1956):

### *Metod I, Model 1*

$$G_i = 1/2 (X_i + X_{.i}) - 1/2 X_{..} \quad (1)$$

gde su,  $G_i$  = opšti efekti kombinacionih sposobnosti za  $i$ th liniju,  $P$  = broj roditelja / linija,  $X_i$  = ukupne srednje vrednosti  $F_1$  koje su nastale ukrštanjem između  $j$ th i  $i$ th inbred linije,  $X_{.i}$  = ukupne srednje vrednosti  $F_1$  koje su rezultat ukrštanja između  $j$ th i  $i$ th inbred linije,  $X_{..}$  = ukupni zbir svih srednjih vrednosti.

$$S_{ij} = 1/2(X_{ij} + X_{ji}) - 1/2P (X_i + X_{.i} + X_j + X_{.j}) + 1/2 X_{..} \quad (2)$$

gde je  $S_{ij}$  = specifična kombinaciona sposobnost između  $i$ th i  $j$ th inbred linije,  $X_{ij}$  = srednje vrednosti  $F_1$  koje su rezultat ukrštanja između  $i$ th i  $j$ th inbred linija,  $X_i$  = srednje vrednosti  $F_1$  koje su rezultat ukrštanja između  $j$ th i  $i$ th inbred linija,  $P$  = broj roditelja / hibrida,  $X_{.i}$  = ukupne srednje vrednosti  $F_1$  koje su rezultat ukrštanja  $j$ th i  $i$ th inbred linija,  $X_{.i}$  = recipročne vrednosti  $X_i$ ,  $X_j$  = ukupne srednje vrednosti  $F_1$  koje su rezultat ukrštanja između  $i$ th i  $j$ th inbred linija,  $X_{.j}$  = recipročne vrednosti  $X_j$ ,  $X_{..}$  = ukupan zbir svih srednjih vrednosti.

$$R_{ij} = 1/2 (X_{ij} - X_{ji}) \quad (3)$$

gde su: je  $R_{ij}$  = recipročni efekti  $i$ th i  $j$ th linije,  $X_{ij}$  = srednje vrednosti  $F_1$  koje su rezultat ukrštanja između  $i$ th i  $j$ th linije,  $X_{ji}$  = srednje vrednosti  $F_1$  koje su rezultat ukrštanja između  $j$ th i  $i$ th linije.

Varijansa opšte kombinacione sposobnosti  $\sigma^2_{oks}$ , i posebne kombinacione sposobnosti  $\sigma^2_{pks}$  i varijanse recipročnog efekta  $\sigma^2_{rca}$  izračunate su prema sledećim jednačinama:

$$\sigma^2_{oks} = \frac{MS_{oks} - MSe}{2n} \quad (4)$$

$$\sigma^2 pks = MS pks - MSe \quad (5)$$

$$\sigma^2 rks = \frac{MS rks - MSe}{2} \quad (6)$$

$$MSe = \frac{MSe}{r} \quad (7)$$

Izračunat je odnos između varijanse opšte kombinacione sposobnosti prema specifičnom  $\sigma^2$  oks /  $\sigma^2$  pks i recipročnim ukrštanjima  $\sigma^2$  oks /  $\sigma^2$  rca

Procenjen je efekat opšte kombinacione sposobnosti ( $g_i$ ), posebne za ukrštanje ( $s_{ij}$ ) i posebne za recipročna ukrštanja ( $r_{ij}$ ). Za upoređivanje efekta opšte kombinacione sposobnosti, procenjena je standardna greška razlike između efekata opšte kombinacione sposobnosti  $g_i$ , prema sledećoj jednačini:

$$g_i = \frac{1}{2n} (y_i + y_j) - \frac{1}{n^2} y. \quad (8)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} (y_{ij} + y_{ji}) - \frac{1}{2n} (y_i + y_i + y_j + y_j) + \frac{1}{n^2} y \dots \dots \dots \quad (9)$$

$$r_{ij} = \frac{1}{2} (y_{ij} - y_{ji}) \quad (10)$$

Radi poređenja uticaja vrednosti posebne kombinacione sposobnosti, procenjena je standardna greška razlike između uticaja posebne kombinacione sposobnosti ( $s_{ij}$ ) za dva ukrštanja.

$$\text{Standardna greška } (g_i - g_j) = \sqrt{\frac{MSe}{n}} \quad (11)$$

Poređenjem uticaja vrednosti posebne kombinacione sposobnosti, procenjena je standardna greška razlike između efekata posebne kombinacione sposobnosti ( $r_{ij}$ ) za dva recipročna ukrštanja.

$$SE (S_{ij} - S_{ik}) = \sqrt{\frac{n-1}{n}} \times MSe \quad (12)$$

Procena varijanse opšte kombinacione sposobnosti roditelja  $\sigma^2_{g_{ii}}$ , varijanse posebne za ukrštanje  $\sigma^2_{s_{ij}}$  i posebne za recipročna ukrštanja  $\sigma^2_{r_{ij}}$ , za svakog roditelja obavljena je prema Singh i Chaudhary-ju (1985):

$$\sigma_g^2 = \left( g_i - \frac{1}{n^2} MSe \right) \quad (13)$$

$$\sigma^2_{S_{IJ}} = \frac{1}{N-2} \sum S^2_{ij} \frac{MSe(n^2)}{2n^2} \quad (14)$$

$$\sigma^2_{r_{ij}} = \frac{1}{n-2} \sum r^2_{ij} \frac{MSe}{2} \quad (15)$$

Vrednovanje genetskih parametara i delovanja gena:

$$\sigma^2 A = 2\sigma^2 oks \quad (16)$$

$$\sigma^2 D = \sigma^2 pks \quad (17)$$

$$\sigma^2 L = MSe \quad (18)$$

$$\sigma^2 G = \sigma^2 A + \sigma^2 D = 2\sigma^2 oks + \sigma^2 pks \quad (19)$$

F vrednosti za testiranje kombinacione sposobnosti su izračunate na sledeći način:

$$\sigma^2_{pksLok} = \frac{MS_{pksLok}}{MSe} \quad (20)$$

$$\sigma^2_{oksLok} = \frac{MS_{oksLok}}{MS_{pksLok}} \quad (21)$$

$$\sigma^2_{pks} = \frac{MS_{pks}}{MS_{pksLok}} \quad (22)$$

$$\sigma^2_{oks} = \frac{(MS_{oks} + MS_{pksLok})}{(MS_{pks} + MS_{oksLok})} \quad (23)$$

Gde su  $\sigma^2_{oks}$ ,  $\sigma^2_{pks}$ ,  $\sigma^2_{oksLok}$  i  $\sigma^2_{pksLok}$  varijanse OKS, PKS, OKS  $\times$  lokacije i PKS  $\times$  lokacije na nivou značajnosti, a  $MS_{oks}$ ,  $MS_{pks}$ ,  $MS_{pksLok}$ ,  $MS_{oksLok}$  i  $MS_e$  su sredine kvadrata OKS, PKS  $\times$  lokacije, OKS PKS  $\times$  lokacija i greška na nivou značajnosti.

Heritabilnost u širem smislu ( $h^2_{ss}$ ) i heritabilnost u užem smislu ( $h^2_{us}$ ) za srednje vrednosti preko lokacija izračunate su preko varijacionih komponenti (Teklewold i Becker 2005):

$$h^2_{ss} = \frac{2\sigma^2_{oks} + \sigma^2_{pks}}{2\sigma^2_{oks} + \sigma^2_{pks} + \left(\frac{2\sigma^2_{oks}}{2\sigma^2_{oksLok}}\right) + \left(\frac{\sigma^2_l}{RLok}\right)} \quad (24)$$

$$h^2_{us} = \frac{2\sigma^2_{gca}}{2\sigma^2_{gca} + \sigma^2_{sca} + \left(\frac{2\sigma^2_{gca}}{Env}\right) + \left(\frac{\sigma^2_{sca}}{Env}\right) + \left(\frac{\sigma^2_e}{REnv}\right)} \quad (25)$$

Procenat heritabilnosti se karakteriše po Singh-u (2001) (do 20%) kao nizak kada je manji od 40%, srednji, 40 – 59%, umereno visok, 60-79% i veoma visok 80% i više.

Baker (1978) je predložio pojam tzv. genetički odnos budući da se na ovaj način performanse potomstva mogu predvideti korišćenjem ovog odnosa kombinovanih komponenti varijanse sposobnosti:

$$Genetički\ odnos = \frac{2MS_{gca}}{2MS_{gca} + MS_{sca}} \quad (26)$$

Relativni značaj opšte i posebne kombinacione sposobnosti na performanse potomstva procenjen je kao odnos:

$$LSD = \sqrt{\frac{MSe}{r}} \times t \quad (27)$$

Gde je:  $MSe$  = srednji kvadrati greške;  $r$  = broj ponavljanja i  $t$  = tabelarna vrednost  $t$  na nivou značajnosti od 5 ili 1%. Kombinovane analize varijanse zasnovane na RCBD, genetskih parametara i poređenja srednjih vrednosti kvantitativnih osobina na osnovu Dankanovog (Duncan) testa (DNMRT), obavljene su softverskim paketom Genstat 12. Griffingova (1956) metoda I (model 1) dialelna analiza su korišćene za procenu OKS za linije i PKS za hibride i recipročne uticaje u različitim lokacijama. OKS i PKS ekvivalentne komponente varijanse srednjih kvadrata su izračunate pomoću fiksnog modela za dialelni dizajn (Baker 1978): Relativni značaj opšte i specifične sposobnosti kombinovanja na performanse potomstva procenjen je kao odnos:

$$Genetički\ odnos = \frac{\sigma^2_{oks}}{\sigma^2_{pks}} \quad (28)$$

gde su:  $\sigma^2_{oks}$  i  $\sigma^2_{pks}$  varijanse komponenti OKS i PKS

Prema Yao et al., (2013) linearni model za analizu kombinacione sposobnosti za metodu I potpunog dialelnog ukrštanja za različite sredine izračunava se preko sledećih jednačina (27,28 i 29.):

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_l + b_{kl} + v_{ij} + (\alpha v)_{ijl} + e_{ijkl} \quad (29)$$

$$v_{ij} = g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} \quad (30)$$

$$r_{ij} = m_i + m_j + n_{ij} \quad (31)$$

Gde je  $Y_{ijkl}$  posmatrana vrednost osobina iz svake jedinice životne sredine,  $\mu$  je srednja vrednost populacije,  $\alpha_l$  efekti lokacije (okruženja),  $b_{kl}$  je efekat bloka ili ponavljanja unutar svake lokacije,  $v_{ij}$  je  $F_1$  hibridni efekat =  $g_i + g_j + s_{ij}$  gde  $g_i = GC$  efekat za roditelja  $i^{th}$  sa rec. ukrštanjem

$$\sum_i g_i = 0 \quad (32)$$

$g_j$  = OKS efekat roditelja  $j^{th}$  sa

$$\sum_j g_j = 0 \quad (33)$$

$S_{ij}$  je PKS for  $ij^{th}$   $F_1$  hibrid sa  $S_{ij} = S_{ji}$

$$\sum_{i=j} S_{ij} = 0 \quad (34)$$

$(\alpha v)_{ijl}$  je interakcija između hibrida  $ij^{th}$  i lokacije  $l^{th}$ ,  $e_{ijkl}$  je podeljeni rezidualni efekat,  $r_{ij}$  je recipročno ukrštanje  $ij^{th}$  sa  $r_{ij} = -r_{ji}$ ,  $m_i$  is materinski efekat (MAT) roditeljskih linija

$$\sum_i m_i = 0 \quad (35)$$

$m_j$  je MAT od  $j^{th}$  roditeljske linije

$$\sum_j m_j = 0 \quad (36)$$

$n_{ij}$  je nematerinski efekat (NMAT) ukrštanja između  $i^{th}$  i  $j^{th}$  roditeljskih linija sa  $n_{ij} = -n_{ji}$

$$\sum_{i=j} n_{ij} = 0 \quad (37)$$

i  $n_{ij} = -n_{ji}$  efekti lokacije sa individualnim osmatranjima.

Prosečne vrednosti, analiza varijanse, pokazatelji varijabilnosti, genetičke korelacije kao i neparametrijske metode u proceni interakcije i stabilnosti genotipova izračunate su u programu Microsoft Office Excel, 2019.

*Analiza korelacije.* Fenotipska korelaciona analiza je sprovedena primenom metode Pirsonovog koeficijenta korelacije korišćenjem („corplot”) paketa u R Studio softverskoj verziji R - 4.1.1 [15.03. 2023 online pristup (<https://www.r-project.org/>).

Pirsonov koeficijent korelacije rasta, prinosa i osobina koje mu se pripisuju rađen je korišćenjem SPSS 26 prema opisanoj proceduri (jednačina 38.).

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (38)$$

gde je: r = Pirsonov koeficijent korelacije;  $x_i$  = x promenljiva;  $y_i$  = y promenljiva;  $\bar{x}$  = Srednja vrednost x promenljive  $\bar{y}$  = Srednja vrednost y promenljive

$$r_g = \frac{P_{cov} \times y}{\sqrt{(\sigma^2 g x \cdot \sigma^2 g y)}} \quad (39)$$

$$r_f = \frac{G_{cov} \times y}{\sqrt{(\sigma^2 p x \cdot \sigma^2 p y)}} \quad (40)$$

gde je:  $r_f$  koeficijent fenotipske korelacije,  $r_g$  je koeficijent genotipske korelacije između znakova x i y,  $P_{cov} \times y$  je fenotipska kovarijansa i  $G_{cov} \times y$  je genotipska kovarijansa između znakova x i y.

Prema Sivasubramanian-u i Menon-u (1973), mogu se kategorisati kao niske (manje od 10% fenotipskih i genotipskih koeficijenata varijacije), umerene (10-20% fenotipske i genotipske koeficijente varijacije i visoke (više od 20). % fenotipskih i genotipskih koeficijenata varijacije.

R softver je korišćen za izračunavanje analize varijanse prinosa i komponenti prinosa.

Na osnovu vrednosti iz analize varijanse i kovarijanse izračunati su apsolutni pokazatelji varijabilnosti - genetička i fenotipska varijansa. Genetička varijansa ( $\sigma^2 g$ ) izračunate su korišćenjem sledećih jednačina (38-40) po Burton-u i De Vane-u (1952):

$$\text{Varijansa životne sredine } \sigma^2 e = Ms_e \quad (41)$$

$$\text{Fenotipska varijansa } \sigma^2 f = (\sigma^2 g + \sigma^2 e) \quad (42)$$

$$\text{Genotipska varijansa } \sigma^2 g = (Ms_e - Ms_t) / r \quad (43)$$

gde je  $\sigma^2 f$  fenotipska varijansa,  $\sigma^2 g$  je genotipska varijansa,  $\bar{x}$  je srednja vrednost za osobine,  $Mse$  je srednja kvadratna greška,  $Ms_t$  je sredina kvadratnih tretmana i r je broj ponavljanja.

Genotipski i fenotipski koeficijenti varijacije su procenjeni prema proceduri koju su izneli Johnson et al. (1955):

$$FKV = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{x}} \times 100 \quad (44)$$

$$GKV = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{x}} \times 100 \quad (45)$$

gde je  $\sigma^2 f$  fenotipska varijansa,  $\sigma^2 g$  je genotipska varijansa,  $\bar{x}$  je velika srednja vrednost za osobine.

Vrednosti GKV i FKV su kategorisane kao niske, kada su manje od 10%; umerene, 10-20% i visoke, veće od 20% kao što navode Deshmukh et al (1986). Slično tome, genetička dobit je izračunata korišćenjem formule prema Johnson et al. (1955):

$$GD = \frac{K \times \sqrt{\sigma^2 p + \sigma^2 g}}{\sigma^2 p} \quad (46)$$

gde je GD očekivana genetička dobit, K je standardizovani diferencijal selekcije pri 5% intenziteta selekcije (K 2,063),  $\sigma^2 p$  je fenotipska varijansa, a  $\sigma^2 g$  je genotipska varijansa.

Prema Shukla et al. (2006), očekivana genetička dobit kao procenat srednje vrednosti (GDM) je procenjen na sledeći način:

$$GDM \% = \frac{GD}{\bar{x}} \times 100 \quad (47)$$

gde je: GDM genetička dobit kao procenat srednje vrednosti, GD očekivana genetička dobit i  $\bar{x}$  je velika srednja vrednost osobina.

Prema Sivasubramanian-u i Menon-u (1973), mogu se kategorisati kao procenjene osobine koje su imale niske (manje od 10% fenotipskih i genotipskih koeficijenata varijacije), umerene (10-20% fenotipske i genotipske koeficijente varijacije i visoke (više od 20) % fenotipskih i genotipskih koeficijenata varijacije.

„Path” analiza. „Path” koeficijenti dobijaju se rešavanjem skupa simultanih jednačina oblika koje su dali Dewey i Lu (1959). Da bi se uspostavila uzročno-posledična veza, prvi korak koji je upotrebljen bio je podela genotipskog i fenotipskog koeficijenta korelacije na direktne i indirektne efekte analizom puta, kao što su predložio Wright (1921), a razvili Dewey i Lu (1959).

Drugi korak u analizi puta je priprema dijagrama putanje zasnovane na uzročno-posledičnoj vezi. U ovom ispitivanju, dijagram puta je pripremljen uzimanjem prinosa kao efekta, odnosno funkcije različitih komponenti kao što su X1, X2, X3 i ove komponente su pokazale tip povezanosti jedne sa drugom.

U dijagramu putanje prinos je rezultat X, X2, X3.....Xn..... i nekih drugih nedefinisanih faktora označenih sa R. Linije sa dvostrukom strelicom označavaju međusobnu povezanost mereno koeficijentom korelacije. Jedna strelica predstavlja direktan uticaj meren koeficijentom puta Pij.

Koeficijenti puta su dobijeni rešavanjem skupa simultanih jednačina oblika prema Dewey i Lua (1959).

$$r_{ny} = P_{ny} + r_{n2} P_{2y} + r_{n3} P_{3y} + \dots \quad (48)$$

gde  $r_{ny}$  = predstavlja korelaciju između jedne komponente i prinosa;  $P_{ny}$  predstavlja koeficijent puta između tog znaka i prinosa;  $r_{n2}$  = predstavlja korelaciju između dotične osobine i svake druge osobine redom.

Učešće dodatnih nepoznatih osobina u analizi se procenjuje kao rezidualni efekat ( $h$ ). Ostatak je izračunat korišćenjem formule iz Dewey i Lu-a (1959) kao što je prikazano u jednačini (49):

$$h = \sqrt{(1 - R^2)} \quad (49)$$

Prosečne vrednosti, analiza varijanse, pokazatelji varijabilnosti, genetičke korelacije kao i neparametrijske metode u proceni interakcije i stabilnosti genotipova izračunate su u programu Microsoft Office Excel, 2019 i u R Studio softverskoj verziji R-4.1.1.

Međuzavisnost između prinosa i njegovih komponenti – proteina, skroba i ulja u zrnju obrađena je analizom glavnih komponenti (PCA) u SPSS 26.0 za Windows evaluacionu verziju (SPSS Inc., Čikago, IL, SAD).

*Linearno modeliranje.* Linearno modeliranje je urađeno preko modela programa u IBM SPSS Statistics 26. Ovaj model za inpute koristi nezavisne varijable u originalnim mernim jedinicama. Na ovaj način dobili smo uvid u koeficijente regresije, stepen uticaja nezavisno promenljivih na zavisno promenljivu, nivo značajnosti i grafičku vizualizaciju modela.



## 6. METEOROLOŠKI USLOVI ZA VREME IZVOĐENJA OGLEDA

Pored plodnosti zemljišta, najvažniji agroekološki faktor je klima, odnosno meteorološki uslovi, temperatura, količina i distribucija padavina tokom godine i u toku vegetacionog perioda kukuruza.

### 6.1 Temperatura

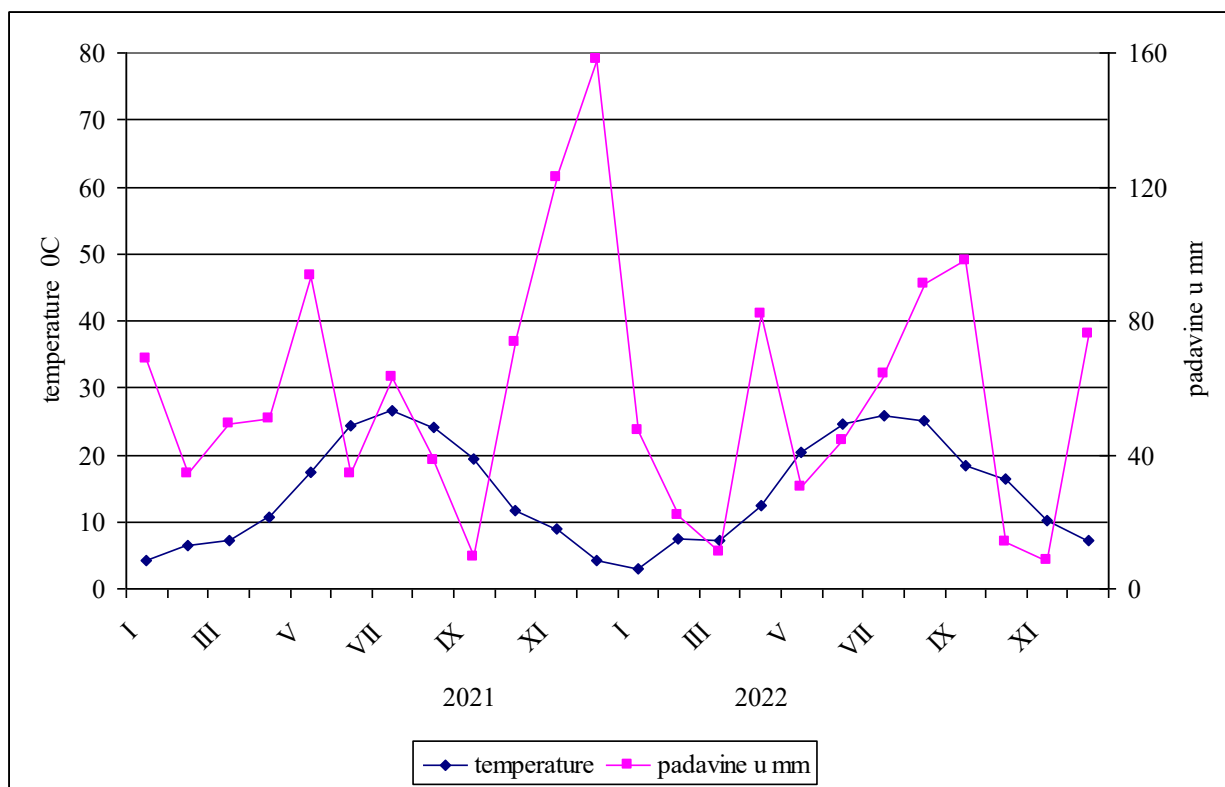
Tabela 3. Meteorološki uslovi u 2021 i 2022. godini u vreme izvođenja oglada

Meseci	Godine							
	2021				2022			
	Beograd		Sr. Mitrovica		Beograd		Sr. Mitrovica	
	temp. C <sup>0</sup>	pad u mm	temp. C <sup>0</sup>	pad u mm	temp. C <sup>0</sup>	pad u mm	temp. C <sup>0</sup>	pad u mm
I	4,3	68,6	2,7	37,7	2,9	47,0	1,8	15,0
II	6,5	34,4	4,7	49,1	7,4	22,0	6,1	37,0
III	7,2	49,3	5,5	38,0	7,1	11,0	5,4	7,0
IV	10,6	50,7	9,3	38,2	12,3	82,0	10,8	66,0
V	17,4	93,4	16,2	49,0	20,4	30,5	18,7	11,8
VI	24,3	34,2	22,7	7,2	24,5	44,0	22,5	46,0
VII	26,6	63,1	24,5	105,9	25,8	64,0	23,5	12,0
VIII	24,0	38,2	21,4	30,1	25,2	91,0	23,5	129,0
IX	19,4	9,4	17,5	7,8	18,3	98,0	19,2	133,0
X	11,7	73,4	10,2	71,6	16,4	14,0	15,0	11,0
XI	8,9	122,8	7,0	163,1	10,1	8,5	6,2	45,0
XII	4,1	157,8	2,9	129,3	7,2	76,0	5,4	55,0
Veg. per	20,4	289,0	18,6	238,2	17,8	294,0	15,8	319,8
Godišnja	13,7	796,2	12,1	727,2	14,8	528,0	11,2	674,4

Meteorološki (vremenski) uslovi značajno utiču na efekat primenjenih agrotehničkih mera u biljnoj proizvodnji. Od njihovog delovanja u velikoj meri zavise rastenje i razviće biljaka koji se odražava na prinos i kvalitet gajenih biljaka odnosno gajenih useva.

Da bi se sagledali osnovni pokazatelji vremenskih uslova korišćeni su meteorološki podaci u 2021 i 2022. godini Hidrometeorološkog Zavoda Srbije iz godišnjeg izveštaja za teritoriju Beograda i Sremske Mitrovice gde su locirane tri ogleadne parcele. Vrednosti navedenih meteoroloških podataka kao što su srednje mesečne temperature i padavine u predstavljeni su u tabeli 3., i u klimadijagramima 2 i 3. Na osnovu podataka koji su navedeni u tabeli 3., i grafikonu 2., sumarno su dati podaci za obe godine ispitivanja.

Na teritoriji Srbije, 2021. godina, sa srednjom temperaturom vazduha od 11,4°C, je šesnaesta najtoplija godina (tabela 3.) u periodu od 1951. godine do danas, a u Beogradu sa 13,7°C je dvanaesta najtoplija godina i treće najtoplije leto od početka rada meteorološke stanice 1888. godine. U Beogradu je zabeleženo 60 tropskih dana što je za 23 dana više od prosečnog broja za referentni period 1981-2010. godina. Registrovano je 45 tropskih noći, od toga 3 u Beogradu, što je 28 noći više od proseka (Godišnji izveštaj RHZS, 2021.).



Grafikon 2. Klimadijagram po Walteru za meteorološke uslove na teritoriji Beograda u 2021 i 2022. godini

Proleće 2021. godine (mart-maj) je započelo suvim i toplijim vremenom od uobičajenog, da bi od sredine marta došlo do značajnog zahlađenja. Takve vremenske prilike zadržale su se sve do poslednjih dana marta. Hladno vreme praćeno većim padavinama imalo je uticaja na kašnjenje sa rokovima setve i sporije nicanje i početak prvih faza porasta kukuruza. Tokom maja zabeležene su uobičajene količine padavina za ovaj prolećni mesec. Dospеле padavine nakvasile su površinski sloj zemljišta i omogućavale ravnomerni razvoj useva.

Leto 2021. godine (jun-avgust) bilo je toplije od uobičajenih proseka. U junu bili su povoljni toplotni uslovi u prve dve dekade, a u trećoj su nastupile veoma visoke temperature vazduha. Mesec juli bio je sa značajnije zabeleženim visokim temperaturama. Treba posebno izdvojiti dva toplotna talasa, od 5 do 15. jula i od 25 jula do kraja meseca, kada su temperature bile značajno više od prosečnih tokom većeg dela avgusta od 30 do 38°C, a ponegde i do 40°C što, naravno, nije pogodovalo kukuruza. Temperature preko 35°C u dužem vremenskom intervalu uz istovremeni nedostatak vlage delovao je stresno na fiziološke procese kojima se biljke bore protiv uvenuća. Septembar 2021. godine, poslednji mesec perioda vegetacije, obeležilo je toplo, suvo i pretežno sunčano vreme. Do polovine septembra prevladavalo je toplo i suvo vreme što je posle kišnog i hladnijeg kraja avgusta omogućilo ubrzano zrenje kukuruza.

Vegetacioni period 2021. godine (april-septembar) bio je topliji i suvlji u odnosu na prosečne uslove. Od aprila do septembra (tabela 3.) zabeleženo je prosečno za Srbiju oko 289 mm padavina, što je oko 70% prosečnih padavina.

Proleće u 2022. godini (mart-maj) je karakteristično po nižim temperaturama. Slično je bilo i u maju mesecu. Juni mesec je sa izrazito visokim vrednostima temperature kako na oba lokaliteta na teritoriji Beograda (24,5 °C), tako i u Sremskoj Mitrovici - Rumi (22,5 °C). Suvo i toplo vreme nastavljeno je i tokom jula. Leto 2022. godine. (jun-avgust) bilo je toplije u odnosu na prosečne uslove. Početkom juna meseca i u trećoj dekadi zabeležene su izuzetno visoke temperature vazduha, takozvani toplotni talasi. Tih dana maksimalne dnevne temperature vazduha su se kretale od 32°C do 41°C. Period sa visokim temperaturama vazduha i suvim vremenom produžio se tokom većeg dela avgusta. Dug period sa visokim temperaturama vazduha, bez padavina i bez dovoljno vlage u zemljištu doveo je do pogoršanja stanja prolećnih useva što je dovelo do slabijeg prinosa i kvaliteta roda. Najnepovoljnije stanje bilo je na teritoriji Vojvodine. Toplotni uslovi u septembru su tokom većeg dela meseca što je uticalo na ubrzano zrenje i berbu kukuruza koja je počela znatno ranije sa manjim prinosima u kvantitetu i u kvalitetu.

## 6.2 Padavine

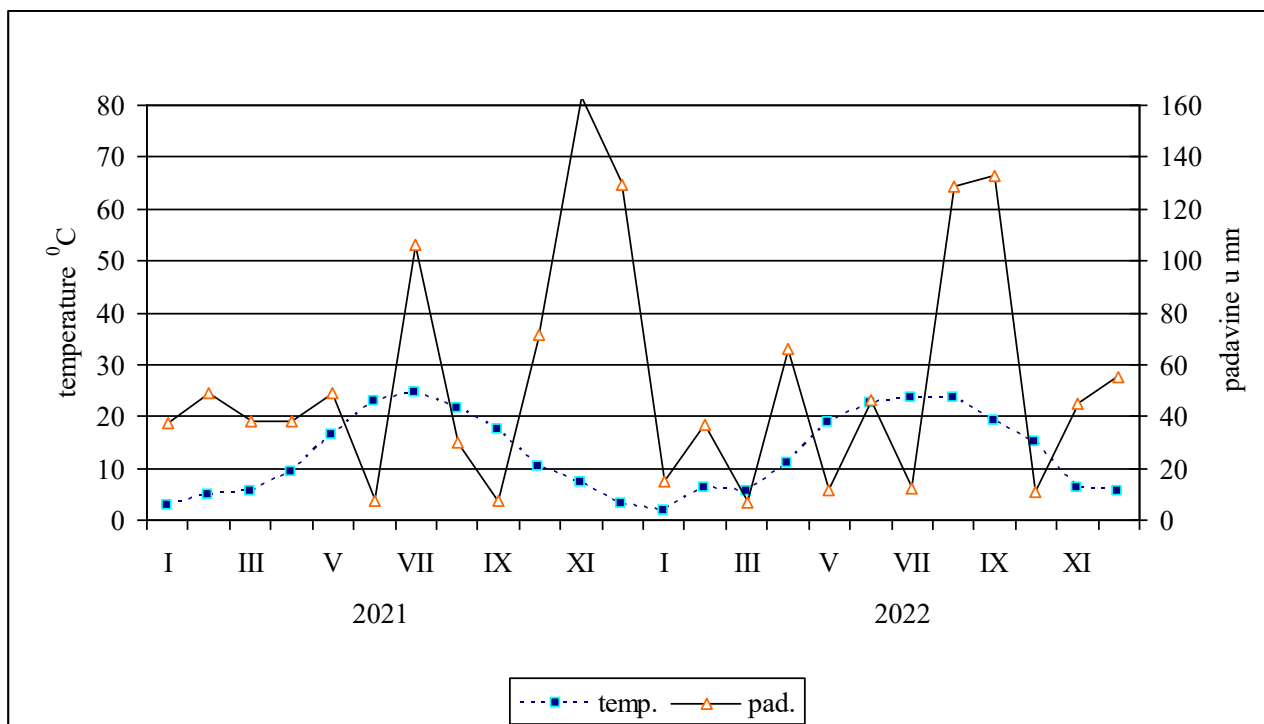
Proleće 2021. godine (mart-maj) je započelo suvljim vremenom da bi od sredine marta došlo do značajnog zahlađenja praćenog padavinama. Takve vremenske prilike zadržale su se sve do poslednjih dana marta. Hladno i vlažno vreme uslovlilo je kasniju setvu i pokretanje vegetacije. U nastavku proleća preovladavali su uglavnom uobičajeni vremenski uslovi koji su omogućavali nesmetano nicanje, rast i razvoj svih jarih useva. Količine padavina tokom maja je može se smatrati uobičajenom za ovaj prolećni mesec. Postojeće padavine su omogućile ravnomerni rast i razvoj kukuruza. Mesec jun je sa manjim prilivom padavina u vidu kiše. U Sremskoj Mitrovici treći najsuvlji juni mesec od početka rada meteorološke stanice. Visoke temperature koje su nastupile u poslednjih desetak dana juna uticale su značajno na povećanu potrošnju vode smanjujući i onako male zalihe vlage. Za potrebe kukuruza bile su neophodne nove, obilne padavine, jer je predstojao period kada ovi usevi ulaze u generativne faze razvoja i imaju povećanu potrošnju i potrebe za vodom. Sredinom jula došlo je do zahlađenja sa padavinama koje su dobro došle kukuruzu na oba ispitivana lokaliteta. U poslednjoj nedelji avgusta zabeleženo je zahlađenje sa kišom koja je bila obilnija na lokalitetu Sremske Mitrovice nego u Beogradu. Ove padavine su poprilično kasno stigle i nisu mogle u značajnoj meri uticati na prinos i kvalitet roda. Do polovine septembra prevladavalo je toplo i suvo vreme što je omogućilo ubrzano zrenje kukuruza. Tokom druge polovine septembra bilo je padavina i promenljivog vremena što je dovelo do usporenja i prekida berbe kukuruza. U 2022. godini vremenski uslovi su bili prilično ekstremni sa dominantno dugom sušom odnosno visokim srednje mesečnim, dekadnim temperaturama i nedostatkom vlage u periodu kada je bila neophodna naročito tokom vegetacionog perioda kukuruza (tabela 4., grafikoni 2 i 3.).

U 2022. godini vremenski uslovi su bili prilično ekstremni sa dominantno dugom sušom, odnosno visokim srednje mesečnim, dekadnim temperaturama i nedostatkom vlage u periodu kada je bila neophodna, naročito tokom vegetacionog perioda kukuruza (tabela 3,4 i 5 i grafikoni 2 i 3).

U 2022. godini vremenski uslovi su bili prilično ekstremni sa dominantno dugom sušom odnosno visokim srednje mesečnim, dekadnim temperaturama i nedostatkom vlage u periodu kada je bila neophodna naročito tokom vegetacionog perioda kukuruza (tabela 2., grafikoni 2 i 3.).

Proleće 2022. godini (mart-maj) karakteriše se sa manje padavina naročito na lokalitetu Sremske Mitrovice (11,8 mm). Od početka juna do sredine avgusta na najveći deficit padavina i najjača suša zahvatile su deo Vojvodine. Tokom juna zabeleženo je nešto manje padavina nego što je uobičajeno za ovaj deo godine, ali su one bile neravnomerno raspoređene i najčešće pljuskovitog karaktera. Period sa visokim temperaturama vazduha i suvim vremenom produžio se tokom većeg dela avgusta. Dug period sa visokim temperaturama vazduha, bez padavina i bez dovoljno vlage u

zemljištu doveo je do pogoršanja stanja u odnosu na potrebe kukuruza. U poslednjih desetak dana avgusta bilo je obilnijih padavina, ali uz ocenu da su ovakvi vremenski uslovi stigli prilično kasno.



Grafikon 3. Klimadijagram po Walteru za meteorološke uslove na teritoriji Sremske Mitrovice u 2021 i 2022. godini

Posmatrano sa stanovišta uticaja agrometeoroloških uslova na potrebe kukuruza kao gajenog useva obe ispitivane godine mogu se označiti kao nepovoljne, naročito u vegetacionom periodu jer su toplotni uslovi i nedostatak padavina na oba lokaliteta uticali na manje prinose od uobičajenih. U tom smislu su izraženiji nepovoljniji uslovi u 2022. godini na lokalitetu Sremske Mitrovice.

Meteorološki uslovi u septembru mesecu 2021 i 2022. godine u vreme prvog uzimanja vlage odakle je praćen početak dinamike otpuštanja vlage iz zrna kukuruza u ovom ispitivanju za vreme fiziološkog i punog zrenja kukuruza detaljnije su prikazani u tabelama 4 i 5.

Tabela 4. Dekadne vrednosti srednje mesečnih temperatura i padavina u 2021. godini u fazi fiziološke i pune zrelosti pred berbu kukuruza

	Dekade	Beograd		Sr. Mitrovica	
		t. C <sup>0</sup>	pad. u mm	t. C <sup>0</sup>	pad. u mm
Septembar	0-10	20,4	1,0	-	-
	11-20	21,3	3,4	-	-
	21-31	16,6	5,0	-	-
	Prosek	19,4	9,4	17,5	7,8

- Nisu zvanično registrovane (RHZS) dekadne vrednosti u 2021. godini na lokalitetu Sr. Mitrovice

Tabela 5. Dekadne vrednosti srednje mesečnih temperatura i padavina u 2022. godini u fazi fiziološke i pune zrelosti kukuruza

	Dekade	Beograd		Sr. Mitrovica	
		t C <sup>0</sup>	pad. u mm	t C <sup>0</sup>	pad. u mm
Septembar	0-10	21,7	19	20,5	57
	11-20	18,4	16	16,8	52
	21-31	16,9	25	15,1	25
	Prosek	19	60	17.4	134

Analizom dekadnih podataka iz tabela 4 i 5., vidi se da je u mesecu septembru sa svakom dekadom temperatura opadala. Što se tiče padavina u 2021. godini ih je bilo malo, a 2022. godinu karakterišu veće padavine, solidne u Beogradu, a dosta visoke na području Sremske Mitovice.

## 7. REZULTATI I DISKUSIJA

### 7.1 Prinos zrna samooplodnih linija i hibrida

Analizom varijanse (ANOVA) ispitana je značajnost uticaja faktora lokacije i genotipa, kao i njihova interakcija, na variranje prinosa zrna kod samooplodnih linija i hibrida kukuruza na tri lokaliteta u 2021. godini (tabela 6 i 7). Rezultati pokazuju da su oba faktora veoma značajno ( $p < 0,01$ ) uticali na prinos zrna kukuruza kako kod samooplodnih linija tako i kod hibrida. Interakcija između ova dva faktora nije bila statistički značajna u 2021. godini.

Tabela 6. Značajnost uticaja faktora na variranje prinosa zrna (t/ha) samooplodnih linija kukuruza u 2021. godini

Izvor variranja	Stepeni slobode	Sume kvadrata	Sredine suma kvadrata	F - odnos	p vrednost
Lokacija	2	199,01	99,5	83,96	<.001
Ponavljjanje	1	0,02	0,02	0,19	0,667
Genotip	5	65,44	13,08	11,04	<.001
Lokacija x Genotip	10	22,03	0,22	1,86	0,125
Greška	17	20,14	0,11		

Tabela 7. Značajnost uticaja faktora na variranje prinosa zrna (t/ha) hibrida kukuruza u 2021. godini

Izvor variranja	Stepeni slobode	Sume kvadrata	Sredine suma kvadrata	F - odnos	p vrednost
Lokacija	2	78,67	39,33	30,00	<.001
Ponavljjanje	1	7,67	7,67	5,85	0,018
Genotip	29	334,64	11,53	8,80	<.001
Lokacija x Genotip	58	68,95	1,18	0,39	0,652
Greška	89	116,70	1,31		

Srednje vrednosti prinosa zrna i vlage u berbi za ispitivane samooplodne linije i hibride na lokacijama Selekciono polje, Školsko dobro i Kukujevci u 2021. godini predstavljene su u tabeli 8. Pored prosečnih vrednosti dodate su standardne devijacije i urađen je Dankanov test ( $p < 0,05$ ) radi rangiranja proseka.

Najprinosnije samooplodne linije u 2021. godini bile su srednje kasne linije ZPL1 (2,88) i ZPL5 (2,48) takođe ove dve linije imale su i najveći prosečni sadržaj vlage u zrnu. Najlošiji prinos na tri lokacije u 2021. godini zabeležen je kod linija ZPL4 (1,57) i ZPL6 (1,57).

U prvoj 2021. godini ispitivanja, kao najprinosniji hibridi pokazali su se: H5 (ZPL1 x ZPL5), H5R (ZPL5 x ZPL1), H4 (ZPL1 x ZPL6), H9 (ZPL2 x ZPL5), H9R (ZPL5 x ZPL2) H12 (ZPL3 x ZPL5), H13 (ZPL4 x ZPL6), H2 (ZPL1 x ZPL3), H2R (ZPL3 x ZPL1) i H14 (ZPL4 x ZPL5). Može se primetiti da barem jedna linija ZPL5 ili ZPL6, koje pripadaju Lancaster heterotičnoj grupi, učestvuju u kreiranju svih najprinosnijih hibrida osim u slučaju H2 i H2R. Barat i Carena (2006) navode da je najeksploativniji heterotični par u oplemenjivanju kukuruza: BSSS x Lancaster. Međutim razlike u procentu vlage u berbi između ovih hibrida su veoma izražene, tako na primer dva najprinosnija hibrida H5 i H5R koji su ostvarili prosečni prinos na tri lokacije od 9,89 t/ha i 9,43 t/ha, imaju i najveći procenat vlage u berbi i to 24.2% i 24.4%. Linije ZPL1 i ZPL5 pripadaju grupi srednje kasnih linija i one su i pojedinačno ostvarile najveći prinos u 2021. godini. Za nekoliko procenata niži sadržaj vlage u zrnu zabeležen je kod hibrida H4, H9, H9R i H13. Linije ZPL2 i ZPL5 učestvuju u kreiranju hibrida H9 i H9R, ovde se kao i u prethodnom slučaju radi o dve srednje kasne linije. U prethodnom poglavlju mogli smo da vidimo da linija ZPL2 brže otpušta vlagu iz zrna nego linija ZPL1 i zbog toga ovakvi rezultati ne iznenađuju. Kod hibrida H4 i H13 roditeljske komponente čini jedna srednja kasna i jedna srednje rana samooplodna linija, takođe ova dva hibrida dele zajedničkog roditelja liniju ZPL6, koja kao što smo mogli da vidimo u prethodnom poglavlju u početnim merenjima brzo gubila vlagu ali tu vlagu zadržava do berbe.

Jedan od ciljeva ove doktorske disertacije je i identifikacija hibrida koji bi po prinosu zrna mogli da pariraju srednje kasnim hibridima a da sa druge strane imaju znatno niži procenat vlage u berbi. Hibridi koji zadovoljavaju upravo ove kriterijume su: H2 (ZPL1xZPL3), H2R (ZPL3xZPL1), H12 (ZPL3xZPL5) i H14 (ZPL4xZPL5). Kao što može da se primeti u kreiranju ovih hibrida kao jedna od roditeljskih komponenti učestvuju sa jedne strane najprinosnije srednje kasne linije ZPL1 i ZPL5 dok sa druge strane imamo linije ZPL3 i ZPL4 koji su pokazali izuzetne rezultate opštih kombinacionih sposobnosti za gubitak vlage iz zrna. Od ovih navedenih hibrida kao najprinosniji se pokazao hibrid H12 sa prosečnim prinosom na tri lokacije od 8,94 t/ha, dok je hibrid H14 ostvario najmanji prosečni sadržaj vlage u zrnu prilikom žetve od 16.6%.

Tabela 8. Srednje vrednosti i standardna devijacija prinosa i vlage zrna samooplodnih linija i hibrida kukuruza i Dankanov test višestrukih intervala za 2021. godinu

GODINA		2021						
		LOKACIJA						
GENOTIP	SP	ŠD	KU	PROSEK	RANG	VLAGA	RANG	
ZPL1	2,08	2,72	3,88	<b>2,88±0,80</b>	a	<b>23.7±4,1</b>	d	
ZPL2	1,39	2,28	2,62	<b>2,09±0,81</b>	b	<b>17.8±0,6</b>	b	
ZPL3	1,39	2,03	3,10	<b>2,17±1,17</b>	b	<b>13.8±1,4</b>	a	
ZPL4	1,25	1,23	2,24	<b>1,57±0,57</b>	c	<b>12.5±1,1</b>	a	
ZPL5	1,49	2,54	3,40	<b>2,48±0,93</b>	ab	<b>20.3±4,0</b>	c	
ZPL6	1,08	1,14	2,52	<b>1,57±0,97</b>	c	<b>14.0±2,0</b>	a	
H1	ZPL1xZPL2	4,74	6,25	6,55	<b>5,84±0,92</b>	hi	<b>24.1±4,4</b>	k
H1R	ZPL2xZPL1	6,34	5,06	6,57	<b>5,99±1,55</b>	ghi	<b>24.4±4,5</b>	k
H2	ZPL1xZPL3	8,81	8,17	9,14	<b>8,70±0,77</b>	abcdef	<b>19.2±1,4</b>	ef
H2R	ZPL3xZPL1	8,30	7,64	9,80	<b>8,57±1,27</b>	abcdef	<b>19.0±1,7</b>	def
H3	ZPL1xZPL4	6,71	7,90	7,68	<b>7,43±0,59</b>	efg	<b>19.3±2,0</b>	ef
H3R	ZPL4xZPL1	7,65	5,53	10,00	<b>7,72±2,06</b>	def	<b>18.3±1,3</b>	cde
H4	ZPL1xZPL6	8,09	8,92	11,02	<b>9,34±1,85</b>	abc	<b>22.8±3,6</b>	ij
H4R	ZPL6xZPL1	6,65	6,71	8,53	<b>7,29±1,26</b>	fgh	<b>23.1±2,1</b>	jk
H5	ZPL1xZPL5	8,69	9,87	11,13	<b>9,89±1,25</b>	a	<b>24.2±2,9</b>	k
H5R	ZPL5xZPL1	9,33	9,63	9,34	<b>9,43±0,38</b>	ab	<b>24.4±2,6</b>	k
H6	ZPL2xZPL3	6,89	6,76	7,95	<b>7,19±0,82</b>	fgh	<b>17.7±2,7</b>	bcd
H6R	ZPL3xZPL2	7,30	6,31	8,18	<b>7,26±1,18</b>	fgh	<b>16.7±0,3</b>	b
H7	ZPL2xZPL4	6,03	6,19	5,47	<b>5,89±0,51</b>	hi	<b>17.0±1,1</b>	bc
H7R	ZPL4xZPL2	7,50	6,81	7,46	<b>7,25±0,58</b>	fgh	<b>17.4±1,2</b>	bc
H8	ZPL2xZPL6	8,22	7,10	8,81	<b>8,04±0,97</b>	bcdef	<b>20.1±2,2</b>	fg
H8R	ZPL6xZPL2	7,24	8,64	9,04	<b>8,30±1,09</b>	bcdef	<b>20.8±1,5</b>	gh
H9	ZPL2xZPL5	9,99	7,76	9,51	<b>9,08±1,77</b>	abcd	<b>21.8±2,1</b>	hi
H9R	ZPL5xZPL2	9,01	7,64	10,28	<b>8,97±1,50</b>	abcde	<b>22.3±2,6</b>	ij
H10	ZPL3xZPL4	4,61	4,45	6,98	<b>5,34±1,39</b>	i	<b>15.0±1,1</b>	a
H10R	ZPL4xZPL3	4,60	4,48	6,77	<b>5,28±1,43</b>	i	<b>15.1±0,8</b>	a
H11	ZPL3xZPL6	7,38	7,58	10,04	<b>8,33±1,45</b>	bcdef	<b>17.9±1,0</b>	bcd
H11R	ZPL6xZPL3	7,26	6,72	10,05	<b>8,00±1,82</b>	bcdef	<b>17.3±0,6</b>	bc
H12	ZPL3xZPL5	8,64	8,08	10,11	<b>8,94±1,45</b>	abcde	<b>17.1±0,7</b>	bc
H12R	ZPL5xZPL3	7,61	8,19	7,28	<b>7,69±1,73</b>	def	<b>17.6±1,3</b>	bc
H13	ZPL4xZPL6	7,36	8,24	10,64	<b>8,74±1,60</b>	abcdef	<b>20.8±4,3</b>	gh
H13R	ZPL6xZPL4	7,56	7,23	8,79	<b>7,85±1,87</b>	bcdef	<b>16.9±0,4</b>	bc
H14	ZPL4xZPL5	7,98	8,20	8,83	<b>8,33±0,81</b>	bcdef	<b>16.6±0,2</b>	b
H14R	ZPL5xZPL4	8,40	6,66	8,30	<b>7,78±1,06</b>	cdef	<b>16.5±0,6</b>	b
H15	ZPL6xZPL5	4,74	4,71	5,76	<b>5,07±1,36</b>	i	<b>20.1±1,8</b>	fg
H15R	ZPL5xZPL6	4,62	3,94	6,45	<b>5,00±1,80</b>	i	<b>19.2±1,8</b>	ef



U 2022. godini analizom varijanse (ANOVA) ispitana je značajnost uticaja faktora lokacije i genotipa, kao i njihova interakcija, na variranje prinosa zrna kod samooplodnih linija i hibrida kukuruza na tri lokaliteta (tabela 9 i 10.). Rezultati prikazani u tabelama pokazuju da je faktor lokacije veoma značajno ( $p < 0,01$ ) uticao na prinos zrna kukuruza kod hibrida, dok je značajno ( $p < 0,05$ ) uticao na prinos zrna kod samooplodnih linija. Faktor genotipa bio je veoma značajan ( $p < 0,01$ ) na prinos zrna kod linija i hibrida. Interakcija između ova dva faktora nije bila statistički značajna ni u 2022. godini.

Tabela 9. Značajnost uticaja faktora na variranje prinosa zrna (t/ha) samooplodnih linija kukuruza hibrida kukuruza u 2022. godini

Izvor variranja	Stepeni slobode	Sume kvadrata	Sredine suma kvadrata	F - odnos	p vrednost
Lokacija	2	12,35	0,61	5,05	0,019
Ponavljanje	1	0,05	0,05	0,47	0,504
Genotip	5	126,52	25,30	20,68	<.001
Lokacija x Genotip	10	20,43	0,20	1,67	0,169
Greška	17	20,79	0,12		

Tabela 10. Značajnost uticaja faktora na variranje prinosa zrna (t/ha) hibrida kukuruza u 2022. godini

Izvor variranja	Stepeni slobode	Sume kvadrata	Sredine suma kvadrata	F - odnos	p vrednost
Lokacija	2	102,32	51,16	57,79	<.001
Ponavljanje	1	0,17	0,17	0,20	0,656
Genotip	29	576,15	19,86	22,44	<.001
Lokacija x Genotip	58	58,32	1,00	1,14	0,291
Greška	89	787,89	0,88		

U tabeli 11., prikazane su srednje vrednosti prinosa zrna i vlage u berbi kod samooplodnih linija i hibrida kukuruza na lokacijama Selekciono Polje, Školsko Dobro i Ruma u 2022. godini. Pored prosečnih vrednosti dodate su i standardne devijacije i urađen je Dankanov test na nivou značajnosti 0,05.

Najprinosnije samooplodne linije u 2022. godini bile su, kao i prethodne godine, ZPL1 sa prosečnim prinosom od 3,16 t/ha i ZPL5 sa prosečnim prinosom od 2,84 t/ha, linija ZPL1 imala je i najveći prosečni sadržaj vlage u zrnu (23.4%). Najlošiji prinos na sve tri lokacije ostvarile su linije ZPL6 (1,54t/ha) i ZP4 (1,93t/ha).

Tabela 11. Srednje vrednosti prinosa zrna samooplodnih linija i hibrida kukuruza sa standardnim devijacijama i Dankanovim testom višestrukih intervala za 2022. godinu

GODINA		2022						
		LOKACIJA						
GENOTIP		SP	ŠD	RU	PROSEK	RANG	VLAGA	RANG
	ZPL1	3,73	2,85	2,92	<b>3,16±0,37</b>	a	<b>23.4±1,5</b>	c
	ZPL2	3,06	2,41	2,26	<b>2,57±0,46</b>	b	<b>20.4±2,8</b>	b
	ZPL3	3,42	2,91	2,78	<b>3,03±0,64</b>	a	<b>15.9±2,8</b>	a
	ZPL4	1,69	2,27	1,84	<b>1,93±0,31</b>	c	<b>15.5±2,8</b>	a
	ZPL5	3,32	2,68	2,54	<b>2,84±0,45</b>	ab	<b>20.2±2,5</b>	b
	ZPL6	1,39	1,60	1,64	<b>1,54±0,12</b>	c	<b>15.5±2,4</b>	a
H1	ZPL1xZPL2	8,94	7,49	7,01	<b>7,81±1,15</b>	ij	<b>24.1±1,6</b>	q
H1R	ZPL2xZPL1	9,08	7,70	7,14	<b>7,97±1,45</b>	ij	<b>24.4±1,5</b>	q
H2	ZPL1xZPL3	12,23	13,36	10,64	<b>12,07±1,29</b>	abc	<b>19.1±0,6</b>	hij
H2R	ZPL3xZPL1	11,82	12,83	10,37	<b>11,67±1,35</b>	bcd	<b>18.9±0,9</b>	hij
H3	ZPL1xZPL4	11,14	11,49	9,26	<b>10,62±1,10</b>	defgh	<b>19.3±1,0</b>	ijk
H3R	ZPL4xZPL1	11,31	11,17	9,42	<b>10,63±0,95</b>	defgh	<b>19.4±1,6</b>	jkl
H4	ZPL1xZPL6	11,09	14,47	11,00	<b>12,18±1,80</b>	abc	<b>20.5±1,2</b>	m
H4R	ZPL6xZPL1	11,30	11,39	9,15	<b>10,61±1,22</b>	defgh	<b>22.3±1,6</b>	op
H5	ZPL1xZPL5	14,04	13,61	11,79	<b>13,14±1,49</b>	a	<b>23.1±1,6</b>	p
H5R	ZPL5xZPL1	13,66	12,89	11,26	<b>12,60±1,19</b>	ab	<b>22.8±1,2</b>	p
H6	ZPL2xZPL3	12,74	11,23	9,40	<b>11,12±1,85</b>	cdefg	<b>18.8±0,9</b>	hij
H6R	ZPL3xZPL2	10,19	11,46	8,97	<b>10,20±1,76</b>	efgh	<b>18.3±0,6</b>	efghi
H7	ZPL2xZPL4	11,23	7,02	7,38	<b>8,54±2,18</b>	i	<b>17.7±2,3</b>	defg
H7R	ZPL4xZPL2	10,17	10,59	8,76	<b>9,83±0,97</b>	gh	<b>17.5±1,9</b>	cde
H8	ZPL2xZPL6	10,55	10,95	9,39	<b>10,29±0,90</b>	efgh	<b>20.5±1,4</b>	m
H8R	ZPL6xZPL2	9,77	11,18	9,46	<b>10,13±0,85</b>	gh	<b>20.5±0,7</b>	m
H9	ZPL2xZPL5	12,55	12,81	10,81	<b>12,05±1,27</b>	abc	<b>21.7±0,7</b>	no
H9R	ZPL5xZPL2	11,29	12,56	10,43	<b>11,42±1,00</b>	bcdef	<b>20.9±0,8</b>	mn
H10	ZPL3xZPL4	7,65	7,56	6,44	<b>7,21±1,52</b>	jk	<b>14.4±1,0</b>	a
H10R	ZPL4xZPL3	7,66	8,47	6,60	<b>7,57±0,88</b>	ijk	<b>15.6±2,1</b>	b
H11	ZPL3xZPL6	10,48	10,51	9,47	<b>10,15±0,79</b>	fgh	<b>18.5±1,5</b>	fghij
H11R	ZPL6xZPL3	9,64	10,48	9,10	<b>9,73±0,72</b>	h	<b>17.7±1,5</b>	def
H12	ZPL3xZPL5	11,73	12,82	10,59	<b>11,71±1,06</b>	bcd	<b>18.2±0,5</b>	efgh
H12R	ZPL5xZPL3	11,44	11,80	9,55	<b>10,92±1,14</b>	cdefgh	<b>18.6±0,9</b>	ghij
H13	ZPL4xZPL6	10,07	11,78	9,91	<b>10,58±1,00</b>	defgh	<b>18.4±3,0</b>	fghi
H13R	ZPL6xZPL4	10,67	10,93	9,30	<b>10,30±0,97</b>	efgh	<b>17.1±1,2</b>	cd
H14	ZPL4xZPL5	12,35	11,95	10,17	<b>11,48±1,21</b>	bcde	<b>16.9±2,1</b>	cd
H14R	ZPL5xPZL4	10,16	10,87	9,16	<b>10,06±1,05</b>	gh	<b>16.7±1,5</b>	c
H15	ZPL6xZPL5	5,88	6,43	5,67	<b>5,99±1,37</b>	l	<b>20.0±2,5</b>	klm
H15R	ZPL5xZPL6	6,85	6,75	5,89	<b>6,49±0,87</b>	kl	<b>20.2±2,3</b>	lm

U drugoj godini istraživanja (tab. 11.), najprinosniji hibridi bili su: H5 (ZPL1 x ZPL5), H5R (ZPL5 x ZPL1), H4 (ZPL1 x ZPL6), H2 (ZPL1 x ZPL3), H9 (ZPL2 x ZPL5), H12 (ZPL3 x ZPL5), H2R (ZPL3 x ZPL1), H14 (ZPL4 x ZPL5), H9R (ZPL5 x ZPL2). Kao što se može primetiti najprinosniji hibridi iz 2021. godine opet su pokazali izuzetan genetski potencijal za rodnost i u 2022. godini. Takođe se potvrđuje da samooplodne linije ZPL5 i ZPL6, Lancaster heterotične osnove, čine većinski udeo roditeljskih komponenti najprinosnijih hibrida (videti poglavlje 7.9).

Hibridi sa najvećim prinosom zrna i visokim sadržajem vlage prilikom žetve i u 2022. godini bili su: H5 (13,14 t/ha) i H5R (12,60 t/ha), stvoreni od srednje kasnih najprinosnijih samooplodnih linija ZPL1 i ZPL5. Nešto manji sadržaj vlage u zrnu visoko prinosa hibrida kukuruza imali su H9, H9R i H4 čime se potvrđuje saznanja da samooplodna linija ZPL2 bolje otpušta vlagu iz zrna od linije ZPL1.

Najveći potencijal za prinos zrna uz mali procenat vlage prilikom žetve i u 2022. godini (tab.11) pokazali su sledeći hibridi: H2 (ZPL1 x ZPL3), H2R (ZPL3 x ZPL1), H6 (ZPL2 x ZPL3), H12 (ZPL3 x ZPL5) i H14 (ZPL4 x ZPL5). Svi ovi hibridi nastali su kombinacijom roditelja koji su sa jedne strane srednje kasni i izuzetno prinosa i sa druge strane srednje rani sa odličnim kombinacionim sposobnostima za otpuštanje vlage iz zrna. Najprinosniji od ovih hibrida bio je H2 sa prosečnom vrednošću od 12,07 t/ha, dok je najmanji prosečni sadržaj vlage imao hibrid H14 sa 16,9%.

Mehanička žetva u proizvodnji kukuruza sa niskim sadržajem vlage ne samo da smanjuje troškove sušenja i poboljšava efikasnost žetve, već i poboljšava kvalitet kukuruza.

Proces gubljenja vlage iz zrna kukuruza u polju obuhvata dehidraciju pre i posle fiziološke zrelosti (Li et al., 2017a). Odložena žetva nakon fiziološke zrelosti je univerzalna strategija upravljanja koja se koristi za smanjenje troškova sušenja zrna širom sveta (Parvej et al., 2020). Odlaganje žetve, sušenje stabla sa listovima (kukuruzovine) u polju, dehidracija zrna kukuruza, direktna žetva i skladištenje zrna tek nakon što je sadržaj vlage sveden na nivo bezbednog, u velikoj meri smanjuje troškove sušenja. Odložena (tj. sa malo vlage) berba- žetva kukuruza koristi prednosti regionalnih toplotnih i svetlosnih resursa, i predstavlja važan budući pravac u proizvodnji kukuruza (Zhao et al., 2023). Međutim, i dalje postoje značajne kontroverze u vezi sa uticajem odlaganja žetve na prinos kukuruza. Neka istraživanja su pokazala da su gubici prinosa prouzrokovani odloženom žetvom posle fiziološke zrelosti (Nielsen, 1996), dok po drugim nema značajnih promena (Elmore i Roeth, 1999). Međutim, konzistentno se pokazalo smanjenje sadržaja vlage zrna koje je rezultat odložene žetve (Martinez-Feria, 2019).

Sadržaj vlage u zrnu zrna je važan faktor u berbi-žetvi useva, skladištenju i upravljanju skladištenjem i ključna je karakteristika koja određuje cene kukuruznog zrna (Risius et al., 2017). Trgovci žitom su spremni da plate više cene za kukuruz sa niskom vlagom zrna < 13,0% (koji se odmah može bezbedno uskladištiti, nego za zrna sa nepoznatim ili višim sadržajem vlage. Prema navodima Plastina (2017), u severnom regionu srednjeg zapada SAD, troškovi sušenja zrna su glavni izdaci u proizvodnji kukuruza, odmah iza kupovine đubriva ili semena. Standardni opseg vlage zrna za prodaju žita i bezbedno skladištenje je 13–15,5% (Elmore i Roeth, 1999). Veći sadržaj vlage u uskladištenom zrnu može dovesti do kontaminacije aflatoksinom; gljive koje proizvode aflatoksine (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*) mogu da se razmnožavaju u zrnu kada vlaga u zrnu pređe 13%). Izveštaj o kvalitetu žetve američke Komisije za hranu pokazao je da je prosečna vlaga zrna bila 16,41% u toku žetvenog perioda kukuruza od 2011. do 2019. godine (Li et al., 2021). Vlažnost zrna kukuruza tokom perioda fiziološke zrelosti se obično kreće od 15–42%, sa značajnim razlikama između biljaka sa različitim genetskim poreklom i uslovima okruženja (Tremblay, 2008).

## 7.2 Korelacioni odnosi i "Path" analiza vlage u berbi i dnevnih gubitaka vlage iz zrna kukuruza

Kada su vremenski uslovi povoljni za brzo sušenje zrna, hibridi imaju tendenciju da odaju vlagu prilično ujednačenom brzinom. Kada vremenski uslovi nisu pogodni za brzo sušenje, tada postaju važnije karakteristike hibrida koje utiču na brzinu odavanja vlage iz zrna (Nielsen, 2018b).

Pirsonov koeficijent korelacije za vlagu u berbi i ostalih kvantitativnih osobina prikazani su iznad dijagonale u tabeli 12. Analiza je rađena zbirno za obe godine ispitivanja.

Sve ispitivane osobine bile su u visoko značajnoj pozitivnoj korelaciji sa vlagom u berbi. Najviše vrednosti korelacije sa vlagom u berbi imale su prečnik klipa (0,454), prečnik oklaska (0,448), masa 1000 zrna (0,416), površina listova komušine (0,399) i debljina listova komušine (0,389), dok su najmanje vrednosti zabeležene kod broja redova zrna (0,136) i dužine klipa (0,152).

Površina listova komušine je u visoko značajnoj pozitivnoj korelaciji sa svim ispitivanim osobinama osim sa brojem redova zrna gde nije zabeležena statistička značajnost. Najveću korelaciju sa površinom listova komušine imale su osobine dužina klipa (0,684) i prečnik klipa (0,548). Ovo su logični rezultati jer što je klip duži sa većim prečnikom to je više potrebno lisne površine da bi se on obuhvatio.

Debljina listova komušine imala je visoko značajnu pozitivnu korelaciju sa vlagom u berbi (0,389), površinom listova komušine (0,327), brojem listova komušine (0,291), intervalom metličnja i svilanja (0,350) i prečnikom oklaska (0,141), dok je pozitivna značajna vrednost bila sa masom 1000 zrna. Negativna visoko značajna korelacija zabeležena je između debljine listova komušine i brojem redova zrna (-0,132), ovo je zbog toga što linije ZPL5 i ZPL6 koje pripadaju Lancaster heterotičnoj grupi imaju manji broj redova zrna sa većom debljinom listova komušine što je potvrđeno opštim kombinacionim sposobnostima. Dužina klipa i prečnik klipa nisu ostvarile statističku značajnost sa debljinom listova komušine.

Broj listova komušine imao je veoma značajnu i značajnu pozitivnu korelaciju sa svim ostalim kvantitativnim osobinama osim sa intervalom metličnja i svilanja (-0,051) gde je zabeležena negativna vrednost koja nije bila statistički značajna. Najveća pozitivna korelacija između broja listova komušine ostvarena je sa prečnikom oklaska (0,323) i površinom listova komušine (0,306)..

Visoko značajna pozitivna korelacija sa osobinom interval metličnja i svilanja ostvarena je sa debljinom listova komušine (0,350), vlagom u berbi (0,231) i površinom listova komušine (0,141), dok je visoko značajna negativna korelacija zabeležena sa masom 1000 zrna (-0,185), prečnikom klipa (-0,177) i brojem redova zrna (-0,156). Broj listova komušine, dužina klipa i prečnik oklaska nisu ostvarili statistički značajnu korelaciju sa intervalom metličnja i svilanja.

Kada su u pitanju komponente prinosa, za osobinu dužina klipa ustanovljena je visoko značajna pozitivna korelacija sa šest drugih osobina od toga najveća vrednost je zabeležena sa površinom listova komušine (0,684) i sa prečnikom klipa (0,514). Prečnik klipa imao je najveću pozitivnu korelaciju sa prečnikom oklaska (0,706), masom 1000 zrna (0,556), površinom listova komušine (0,548) i brojem redova zrna (0,510). Prečnik oklaska je bio u pozitivnoj visoko značajnoj korelaciji sa svim drugim ispitivanim osobinama osim sa intervalom metličnja i svilanja. Broj redova zrna imalo je visoko značajne pozitivne vrednosti sa prečnikom klipa (0,510), prečnikom oklaska (0,487), masom 1000 zrna (0,157) i vlagom u berbi (0,136). Masa 1000 zrna ostvarila je najveću pozitivnu korelaciju sa prečnikom klipa (0,556), prečnikom oklaska (0,435) i vlagom u berbi (0,416) dok je negativna visoko značajna korelacija zabeležena sa intervalom metličnja i svilanja (-0,185).

Pirsonov koeficijent korelacije za dnevni gubitak vlage iz zrna i ostalih kvantitativnih osobina prikazani su iznad dijagonale u tabeli 13. Analiza je rađena zbirno za obe godine ispitivanja.

Kao što je ranije napisano vlaga u berbi i dnevni gubitak vlage iz zrna su obrnuto proporcionalne osobine, sa selekcionog stanovišta idealan hibrid je onaj koji ima niske vrednosti vlage u berbi, odnosno visok gubitak vlage iz zrna na dnevnom nivou.

Veoma značajne negativne vrednosti korelacije ostvarene su između dnevnog otpuštanja vlage iz zrna i sledećih osobina: površina listova komušine (-0,466), prečnika klipa (-0,392), debljina listova komušine (-0,325), mase 1000 zrna (-0,309), prečnika oklaska (-0,294), intervala metličanja i svilaranja (-0,269) i dužine klipa (-0,232). Osobina broj redova zrna takođe je ostvarila negativnu korelaciju sa dnevnim otpuštanjem vlage iz zrna ali vrednost od -0,079 nije bila statistički značajna.

S obzirom da su vrednosti izračunate u iste dve godine ispitivanja kao kod vlage u berbi, vrednosti korelacionih koeficijenata između ostalih ispitivanih osobina nisu se menjale.

Poznavanje stepena povezanosti između osobina je od fundamentalnog značaja u programima oplemenjivanja biljaka. Ovaj značaj se povećava, posebno u slučajevima ako je prisutna neka poželjna osobina, ili ako je u pitanju niska heritabilnost (Cruz et al., 2014). Pirsonov (Pearson) koeficijent korelacije se široko koristi za ove svrhe. Pirsonov koeficijent korelacije je koeficijent korelacije koji meri linearnu korelaciju između dva skupa podataka. To je odnos između kovarijanse dve varijable i proizvoda njihovih standardnih devijacija; dakle, to je u suštini normalizovano merenje kovarijanse, tako da rezultat uvek ima vrednost između "-1" i "1". Kao i kod same kovarijanse, mera može odražavati samo linearnu korelaciju promenljivih i zanemaruje mnoge druge tipove odnosa ili korelacije. Ova korelacija otkriva pravac i stepen linearne povezanosti između dve osobine, ali ona ne pokazuje međusobne veze uzroka i posledice. Tako je (Wright, 1923) u svom radu pod naslovom „Korelacija i uzročnost" predložio metod poznat kao „Path“ analiza kojim se pojašnjava ovo razumevanje. Metoda se zasniva na podeli koeficijenta linearne korelacije na direktne i indirektne efekte grupe predviđajućih osobina na odgovor zavisne osobine. „Path“ analiza se koristi kao metod u oplemenjivanju bilja, jer selekcija koja ima za cilj poboljšanje poželjnog svojstva koje je teško izmeriti i koje ima nisku heritabilnost, može indirektno da se sprovede drugom osobinom, koja je direktno povezana sa poželjnom osobinom, ali koja pokazuje visoku heritabilnost i lako je merljiva.

Tabela 12. Pirsonov koeficient korelacije vlage u berbi i ostalih kvantitativnih osobina (prosečno 2021 i 2022. god)

	Vlaga u berbi	Povrsina listova komušine	Debljina listova komušine	Broj listova komušine	Interval metličjenja i svilanja	Dužina klipa	Prečnik klipa	Prečnik oklaska	Broj redova zrna	Masa 1000 zrna
Vlaga u berbi	1	0,399**	0,389**	0,235**	0,231**	0,152**	0,454**	0,448**	0,136**	0,416**
Povrsina listova komušine		1	0,327**	0,306**	0,141**	0,684**	0,548**	0,280**	0,084 <sup>nz</sup>	0,383**
Debljina listova komušine			1	0,291**	0,350**	0,082 <sup>nz</sup>	0,015 <sup>nz</sup>	0,141**	-0,132**	0,101*
Broj listova komušine				1	-0,051 <sup>nz</sup>	0,175**	0,262**	0,323**	0,109*	0,295**
Interval metličjenja i svilanja					1	0,002 <sup>nz</sup>	-0,177**	-0,092 <sup>nz</sup>	-0,156**	-0,185**
Dužina klipa						1	0,514**	0,185**	0,063 <sup>nz</sup>	0,271**
Prečnik klipa							1	0,706**	0,510**	0,556**
Prečnik oklaska								1	0,487**	0,435**
Broj redova zrna									1	0,157**
Masa 1000 zrna										1

\* - značajno pri  $p < 0,05$ ; \*\* - značajno pri  $p < 0,01$ ; <sup>nz</sup> – nije značajno

Tabela 13. Pirsonov koeficient korelacije dnevnog gubitka vlage iz zrna i ostalih kvantitativnih osobina (prosečno 2021 i 2022. god.)

	Dnevni gubitak vlage	Površina listova komušine	Debljina listova komušine	Broj listova komušine	Interval metličanja i svilanja	Dužina klipa	Prečnik klipa	Prečnik oklaska	Broj redova zrna	Masa 1000 zrna
Dnevni gubitak vlage	1	-0,466**	-0,325**	-0,119*	-0,269**	-0,232**	-0,392**	-0,294**	-0,079 <sup>nz</sup>	-0,309**
Površina listova komušine		1	0,327**	0,306**	0,141**	0,684**	0,548**	0,280**	0,084 <sup>nz</sup>	0,383**
Debljina listova komušine			1	0,291**	0,350**	0,082 <sup>nz</sup>	0,015 <sup>nz</sup>	0,141**	-0,132**	0,101*
Broj listova komušine				1	-0,051 <sup>nz</sup>	0,175**	0,262**	0,323**	0,109*	0,295**
Interval metličanja i svilanja					1	0,002 <sup>nz</sup>	-0,177**	-0,092 <sup>nz</sup>	-0,156**	-0,185**
Dužina klipa						1	0,514**	0,185**	0,063 <sup>nz</sup>	0,271**
Prečnik klipa							1	0,706**	0,510**	0,556**
Prečnik oklaska								1	0,487**	0,435**
Broj redova zrna									1	0,157**
Masa 1000 zrna										1

\* - značajno pri  $p < 0,05$ ; \*\* - značajno pri  $p < 0,01$ ; <sup>nz</sup> – nije značajno

Kada su vremenski uslovi povoljni za brzo sušenje zrna, hibridi imaju tendenciju da odaju vlagu prilično ujednačenom brzinom. Kada vremenski uslovi nisu pogodni za brzo sušenje, tada postaju važnije karakteristike hibrida koje utiču na brzinu odavanja vlage iz zrna (Nielsen, 2018b).

Path analiza direktnih i indirektnih efekata kvantitativnih osobina koje utiču na vlagu u berbi za obe godine ispitivanja predstavljane su u tabeli 14.

Postoji kategorizacija za procenu vrednosti dobijenih "Path" analizom koju su dali Lenka i Mishra (1973), po kojoj se zanemarljive vrednosti smatraju onim od 0,00 do 0,09; niske od 0,10 do 0,19; srednje u rangu 0,20 do 0,29; visoke od 0,30 do 0,99 i veoma visoke su vrednosti preko 1,00.

Po ovoj kategorizaciji, na vlagu u berbi visoko pozitivan direktni efekat ostvario je prečnik klipa (0,371); srednji pozitivni direktni efekat imali su interval metličanja i svilanja (0,233) i debljina listova komušine (0,230); nizak pozitivni efekat zabeležen je sa masom 1000 zrna (0,194), površinom listova komušine (0,138) i prečnikom oklaska (0,136); zanemarljiv efekat imali su broj listova komušine (-0,013) i broj redova zrna (-0,080), dok je dužina klipa imala srednji negativni direktni efekat na vlagu u berbi (-0,223).

Što se tiče indirektnih efekata na vlagu u berbi najviše su uticali prečnik klipa preko prečnika oklaska (0,261), prečnik klipa preko mase 1000 zrna (0,206) i prečnik klipa preko površine listova komušine (0,203). Nizak pozitivni indirektni efekat ostvaren je kod prečnika klipa preko dužine klipa (0,190), prečnika klipa, broja redova zrna (0,189) i mase 1000 zrna preko prečnika klipa (0,107). Dužina klipa preko površine listova komušine (-0,152) i dužina klipa preko prečnika klipa (-0,114) delovali su negativnim niskim indirektnim efektom na vlagu u berbi. Ostali indirektni efekti u istraživanju bili su zanemarljivi.

"Path analiza direktnih i indirektnih efekata kvantitativnih osobina koje utiču na dnevno otpuštanje vlage iz zrna za obe godine ispitivanja predstavljane su u tabeli 15.

Kada je u pitanju dnevno otpuštanje vlage iz zrna najveći direktni efekat na ovu osobinu imali su prečnik klipa (-0,346) i površina listova komušine (-0,301). Srednji direktni efekat ostvaren je sa intervalom metličanja i svilanja (-0,240), dok je nizak direktni efekat zabeležen sa debljinom listova komušine (-0,158) i masom 1000 zrna (-0,111). Zanemarljiv direktni efekat imali su broj redova zrna (0,067) i prečnik oklaska (-0,014). Dužina klipa (0,177) i broj listova komušine (0,097) imali su nizak pozitivan direktni efekat na dnevno otpuštanje vlage iz zrna. Što je manji broj listova komušine brži je gubitak vlage u zrnu. Ustvari, savremeni hibridi imaju manje listova komušine od onih koji su se obično uzgajali pre mnogo godina. Debljina lista ljuske. Što je ljuska tanja, to je brži gubitak vlage u zrnu kako navodi Nielsen (2018b).

Najveći indirektni efekat na dnevni gubitak vlage iz zrna ostvario je prečnik klipa preko prečnika oklaska (-0,244) i površina listova komušine preko dužine klipa (-0,205).

Kada je u pitanju prečnik klipa dobijene su niske indirektno vrednosti na dnevni gubitak vlage iz zrna preko sledećih osobina: mase 1000 zrna (-0,192), površine listova komušine (-0,189), dužine klipa (-0,178) i broja redova zrna (-0,173). Površina listova komušine indirektno je uticala na dnevni gubitak vlage preko prečnika klipa (-0,164) i mase 1000 zrna (-0,115). Dužina klipa imala je pozitivan nizak indirektni uticaj na dnevno otpuštanje vlage iz zrna preko površine listova komušine. Ostali indirektni efekti ispitivanih osobina u istraživanju bili su zanemarljivi.

Na grafikonima 4 i 5., mogu se videti "Path" dijagrami za vlagu u berbi i dnevni gubitak vlage iz zrna. Na levoj strani oba grafikona predstavljene su korelacije između nezavisno promenljivih osobina, dok se na desnoj strani mogu videti direktni efekti nezavisno promenljivih na zavisno promenljivu. Takođe, uočava se da koeficijent determinacije kod vlage u berbi iznosi 46%, dok je kod dnevnog gubitka vlage iz zrna nešto manji i iznosi 37%.



Tabela 14. Path analiza direktnih i indirektnih efekata kvantitativnih osobina koje utiču na vlagu u berbi (prosečno 2021 i 2022. god)

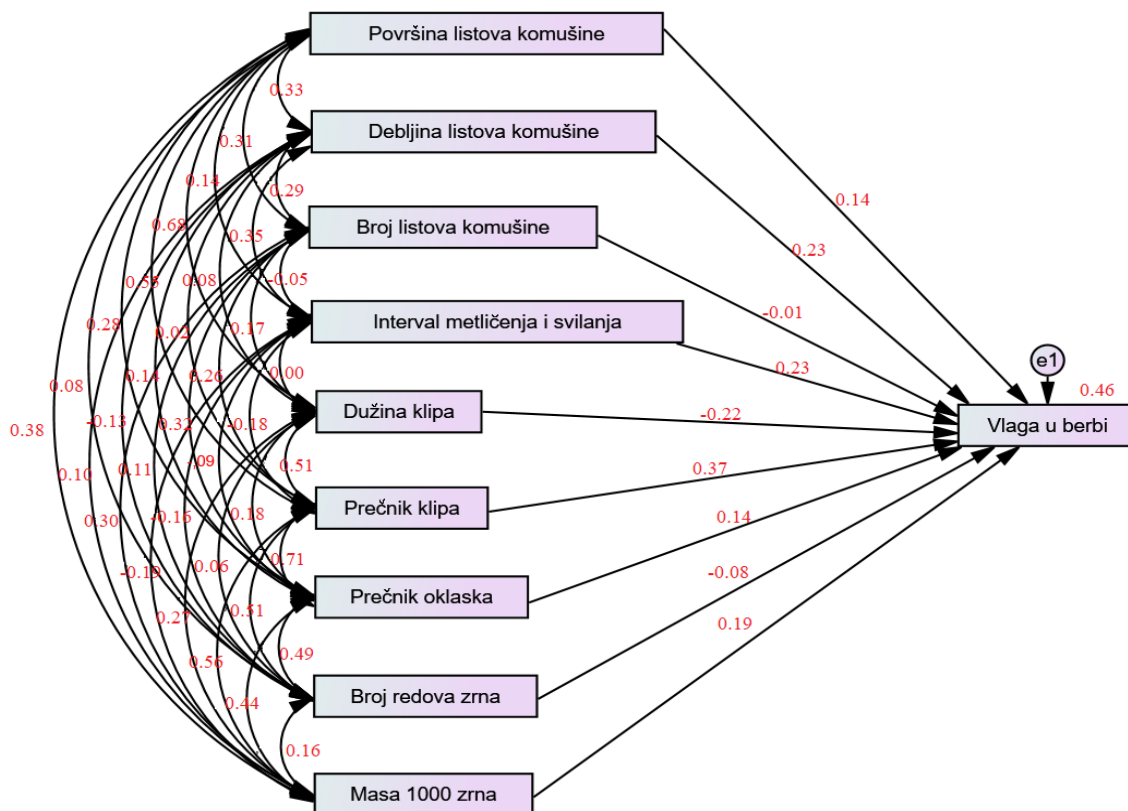
	Povrsina listova komušine	Debljina listova komušine	Broj listova komušine	Interval metličanja i svilanja	Dužina klipa	Prečnik klipa	Prečnik oklaska	Broj redova zrna	Masa 1000 zrna
Povrsina listova komušine	<b>0,138</b>	0,045	0,042	0,019	0,094	0,075	0,038	0,011	0,052
Debljina listova komušine	0,075	<b>0,230</b>	0,066	0,080	0,019	0,003	0,032	-0,030	0,023
Broj listova komušine	-0,003	-0,003	<b>-0,013</b>	0,001	-0,002	-0,003	-0,004	-0,001	-0,003
Interval metličanja i svilanja	0,032	0,081	-0,011	<b>0,233</b>	0,001	-0,041	-0,021	-0,036	-0,043
Dužina klipa	-0,152	-0,018	-0,039	-0,001	<b>-0,223</b>	-0,114	-0,041	-0,014	-0,060
Prečnik klipa	0,203	0,005	0,097	-0,065	0,190	<b>0,371</b>	0,261	0,189	0,206
Prečnik oklaska	0,038	0,019	0,043	-0,012	0,025	0,096	<b>0,136</b>	0,066	0,059
Broj redova zrna	-0,006	0,010	-0,008	0,012	-0,005	-0,040	-0,038	<b>-0,080</b>	-0,012
Masa 1000 zrna	0,074	0,019	0,057	-0,035	0,052	0,107	0,084	0,030	<b>0,194</b>

Dijagonalne boldovane vrednosti- direktni efekti; vrednosti van dijagonale-indirektni efekti

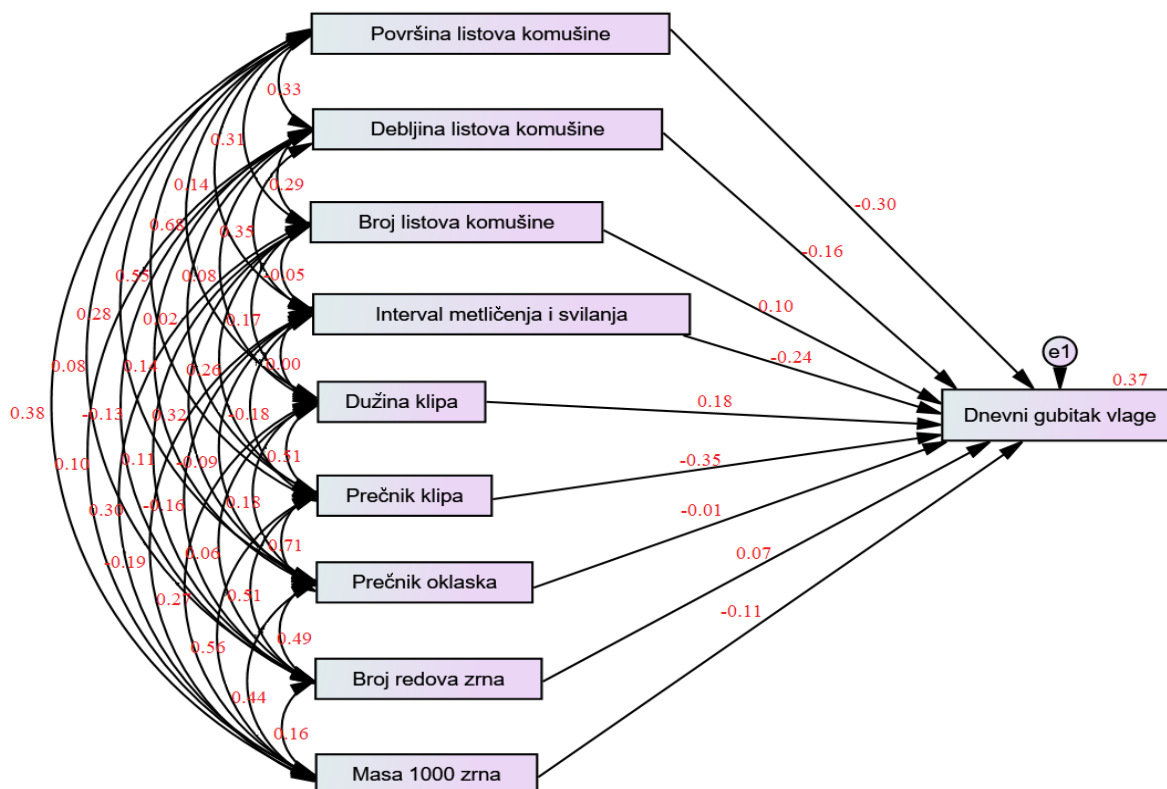
Tabela 15.Path analiza direktnih i indirektnih efekata kvantitativnih osobina koje utiču na dnevno otpuštanje vlage iz zrna (prosečno 2021 i 2022.god.)

	Površina listova komušine	Debljina listova komušine	Broj listova komušine	Interval metličanja i svilanja	Dužina klipa	Prečnik klipa	Prečnik oklaska	Broj redova zrna	Masa 1000 zrna
Površina listova komušine	<b>-0,301</b>	-0,098	-0,092	-0,042	-0,205	-0,164	-0,084	-0,025	-0,115
Debljina listova komušine	-0,051	<b>-0,158</b>	-0,045	-0,055	-0,013	-0,002	-0,022	0,020	-0,015
Broj listova komušine	0,029	0,028	<b>0,097</b>	-0,004	0,016	0,025	0,031	0,011	0,028
Interval metličanja i svilanja	-0,033	-0,084	0,012	<b>-0,240</b>	-0,001	0,042	0,022	0,037	0,044
Dužina klipa	0,121	0,014	0,030	0,001	<b>0,177</b>	0,090	0,032	0,011	0,047
Prečnik klipa	-0,189	-0,005	-0,090	0,061	-0,178	<b>-0,346</b>	-0,244	-0,173	-0,192
Prečnik oklaska	-0,003	-0,001	-0,004	0,001	-0,002	-0,009	<b>-0,014</b>	-0,006	-0,006
Broj redova zrna	0,005	-0,008	0,007	-0,010	0,004	0,034	0,032	<b>0,067</b>	0,010
Masa 1000 zrna	-0,042	-0,011	-0,032	0,020	-0,030	-0,061	-0,048	-0,017	<b>-0,111</b>

Dijagonalne boldovane vrednosti-direktni efekti; vrednosti van dijagonale-indirektni efekti



Grafikon 4. Path dijagram za vlagu u berbi (prosečno u 2021 i 2022. god.)



Grafikon 5. Path dijagram za dnevni gubitak vlage iz zrna (prosečno u 2021 i 2022. god.)

### 7.3 Korelacija i "Path" analiza između prinosa zrna i komponenti prinosa

Većina programa za poboljšanje useva se prvenstveno zasniva na odabiru jedne biljke u smislu superiornih performansi i druge kompozicije željenih osobina useva. Ove metode su skupe i dugotrajne; ne daju veliki uspeh kada se koriste za direktnu selekciju prinosa i ne izazivaju značajno povećanje komponenti prinosa (Marefatzadeh Khameneh et al., 2012). Iz ovih razloga je za postizanje napretka u povećanju performansi predloženo korišćenje komponenti prinosa i odgovarajućih morfoloških ili fizioloških osobina kao indikatora za indirektnu selekciju (Willman et al., 1987; Dwyer et al., 1994).

Analiza putem „Path“ koeficijenta se široko koristi u oplemenjivanju useva da bi se saznala priroda odnosa između prinosa zrna i njegovih komponenti i da bi se identifikovale one komponente sa značajnim uticajem na prinos koje bi mogle imati potencijalnu upotrebu kao kriterijum za izbor (Kang et al., 1983; Milligan et al., 1990; Williams et al., 1990; Board et al., 1997; Moghaddam et al., 1997; Samonte et al., 1998; Mohammadi et al., 2003b).

"Path" analiza se koristi za određivanje količine direktnog efekta („Path“ koeficijent) i indirektnih efekata (efekti koji se vrše preko drugih nezavisnih varijabli) uzročnih komponenti na zavisnu varijablu (Li, 1956). Ova metoda pomaže oplemenjivačima da izaberu najbolje genotipove na osnovu prinosa i srodnih osobina.

Da bi dobili nove inbred linije i hibride koji će nadmašiti postojeće hibride u pogledu brojnih osobina, oplemenjivači su imali mogućnost odabira poželjnih genotipova u ranim generacijama ili odlaganja intenzivne selekcije do naprednih generacija (Puri et al., 1982). U radu na ovom cilju, posebna pažnja se poklanja prinosu zrna kao najvažnije agronomске karakteristike, ali selekcija samo na osnovu karaktera prinosa zrna obično nije delotvorna i efikasna jer je prinos zrna složena kvantitativna osobina koja zavisi od niza faktora. Prinos zrna je složena kvantitativna osobina koja zavisi od genetike biljke i njene interakcije sa uslovima sredine (Khatab et al., 2016). Za utvrđivanje ovakvih odnosa koriste se korelacione analize tako da se vrednosti za dve osobine analiziraju na bazi parova, čiji rezultati mogu biti pozitivni ili negativni (Akhtar et al., 2015). Rezultat korelacije je od velike vrednosti u proceni najefikasnijih postupaka selekcije superiornih genotipova. Kada postoji pozitivna povezanost glavnih osobina koje učestvuju u stvaranju prinosa, komponentno oplemenjivanje bi bilo veoma efikasno, ali kada su ovi karakteri negativno povezani, bilo bi teško izvršiti istovremenu selekciju za takve karakteristike u razvoju sorte (Nemat et al., 2009; Mesenbet et al., 2017).

Za potpuno razumevanje složenih odnosa između prinosa zrna i drugih karakteristika, od suštinskog je značaja izračunavanje direktnih i indirektnih efekata ovih osobina na prinos zrna. Malik et al. (2005), ističu da je najvažniji krajnji cilj svakog oplemenjivačkog programa stvaranje perspektivnih genotipova kukuruza sa većim potencijalom prinosa. Osnovni preduslov za to je, svakako dobro poznavanje korelacije između različitih osobina, posebno sa prinosom zrna (Mohammadi et al., 2003). Naročito je bitno poznavanje onih karakteristika koje imaju značajnu korelaciju sa prinosom jer se te osobine mogu koristiti kao indirektni kriterijumi selekcije za poboljšanje srednjeg učinka sorti u novoj biljnoj populaciji (Ojo et al., 2006).

Postoji nekoliko statističkih modela koji se obično koriste za procenu performansi hibrida kukuruza. Modeli koji omogućavaju podelu interakcije genotip x sredina (lokacija) ili drugačije rečeno na genetske komponente i komponente životne sredine korisni su za procenu adaptibilnosti i stabilnosti hibrida, posebno u proceni oplemenjivačke i upotrebne vrednosti.

Mešoviti modeli sa fiksnim i slučajnim komponentama varijanse takođe su se pokazali efikasnim za identifikaciju obećavajućih hibrida u programima oplemenjivanja (Baretta et al., 2016).

Pirsonov koeficient korelacije za prinos zrna i komponente prinosa prikazan je iznad dijagonale u tabeli 16. Analiza je rađena zbirno za obe godine ispitivanja.

Sve ispitivane osobine bile su u visoko značajnoj pozitivnoj korelaciji sa prinosom zrna. Najviše vrednosti korelacije sa prinosom zrna imali su prečnik klipa (0,669), dužina klipa (0,599), masa 1000 zrna (0,539), prečnik oklaska (0,356) i broj redova zrna (0,311), upravo tim redosledom.

Dužina klipa, pored prinosa zrna, ostvarila je veoma značajnu pozitivnu korelaciju i sa prečnikom klipa (0,514), masom 1000 zrna (0,271) i prečnikom oklaska (0,185). Između dužine klipa i broja redova zrna nije zabeležena statistički značajna korelacija.

Prečnik klipa imao je pozitivnu veoma značajnu korelaciju sa svim drugim ispitivanim osobinama. Najveća vrednost korelacije zabeležena je između prečnika klipa i prečnika oklaska (0,706), dok je najmanja vrednost zabeležena sa brojem redova zrna (0,510).

Prečnik oklaska i masa 1000 zrna, takođe su ostvarili pozitivnu veoma značajnu korelaciju sa svim drugim ispitivanim kvantitativnim osobinama. Masa 1000 zrna imala je najveću korelaciju sa prečnikom klipa (0,556) i prinosom zrna (0,539).

Suprotno od naših rezultata (You et al., 1998; Annapurna et al., 1998) su utvrdili pozitivne i značajne korelacije između prinosa zrna, broja redova zrna i broja zrna u redu. Khatun et al. (1999) navode da je prinos zrna po biljci bio u pozitivnoj i značajnoj korelaciji sa brojem zrna po klipu, masom klipa, masom 1000 zrna i visinom do prvog klipa. Slične rezultate smo dobili i mi sa osobinom 1000 zrna i njenim uticajem na prinos.

Tabela 16. Pirsonov koeficient korelacije između prinosa zrna i komponenti prinosa (prosečno u 2021 i 2022. god.)

	Prinos zrna	Dužina klipa	Prečnik klipa	Prečnik oklaska	Broj redova zrna	Masa 1000 zrna
Prinos zrna	1	0,599**	0,669**	0,356**	0,311**	0,539**
Dužina klipa		1	0,514**	0,185**	0,063 <sup>nz</sup>	0,271**
Prečnik klipa			1	0,706**	0,510**	0,556**
Prečnik oklaska				1	0,487**	0,435**
Broj redova zrna					1	0,157**
Masa 1000 zrna						1

"Path" analiza direktnih i indirektnih efekata komponenti prinosa koji utiču na prinos zrna za obe godine ispitivanja predstavljane su u tabeli 17.

Prema kategorizaciji koju su predložili Lenka i Mishra (1973), visoke pozitivne vrednosti direktnih efekata na prinos imali su prečnik klipa (0,383) i dužina klipa (0,348). Masa 1000 zrna imala je srednji pozitivan direktni efekat na prinos zrna (0,284). Nizak pozitivan direktni efekat na prinos imao je broj redova zrna (0,129), dok je nizak negativan direktni efekat imao prečnik oklaska (-0,165).

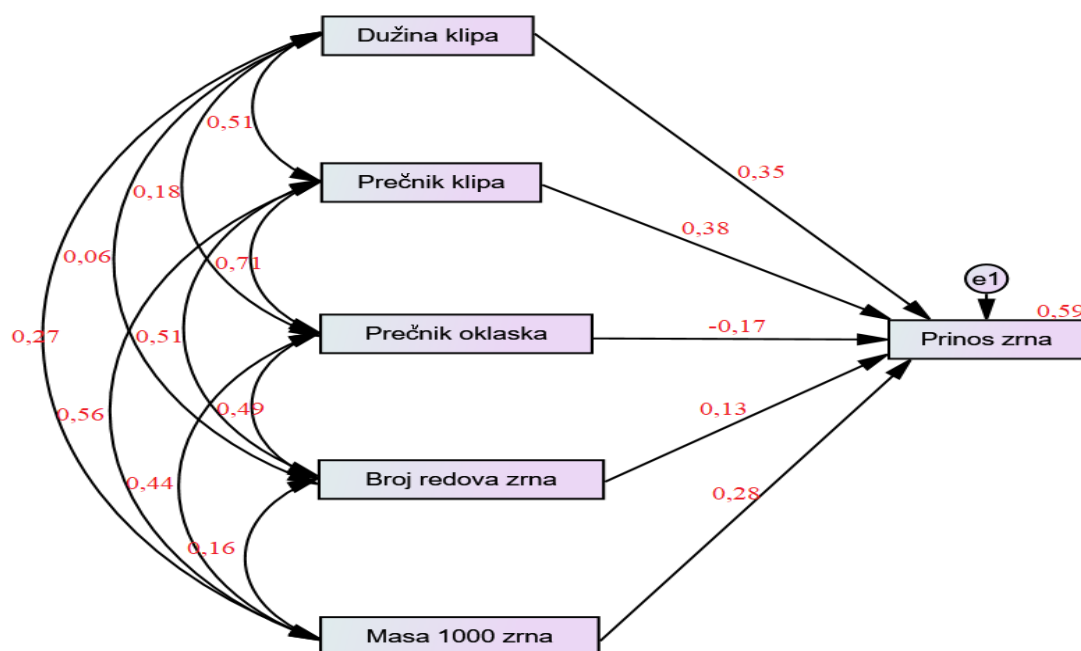
Prečnik klipa uticao je indirektno na prinos zrna preko svih ispitivanih kvantitativnih osobina. Srednji indirektni efekti na prinos ostvareni su preko prečnika oklaska (0,270) i mase 1000 zrna (0,212). Niski indirektni efekti na prinos zrna ostvareni su preko dužine klipa (0,196) i broja redova zrna (0,195). Dužina klipa imala je nizak indirektni efekat na prinos zrna preko prečnika klipa (0,178). Masa 1000 zrna imala je nizak indirektni efekat na prinos zrna preko prečnika klipa (0,157) i prečnika oklaska (0,123). Prečnik oklaska imao je negativan nizak indirektni efekat na prinos zrna preko prečnika klipa (-0,116).

Na grafikonu 6., može se videti "Path" dijagram za prinos zrna. Kao i u prethodna dva grafikona (6 i 7.), sa leve strane predstavljene su korelacije između nezavisno promenljivih osobina, a sa desne strane direktni efekti nezavisno promenljivih na zavisno promenljivu. Koeficijent determinacije u ovom slučaju iznosi 59%.

Tabela 17. "Path" analiza direktnih i indirektnih efekata komponenti prinosa koje utiču na prinos zrna (prosečno u 2021 i 2022. god.)

	Dužina klipa	Prečnik klipa	Prečnik oklaska	Broj redova zrna	Masa 1000 zrna
Dužina klipa	<b>0,348</b>	0,178	0,064	0,022	0,094
Prečnik klipa	0,196	<b>0,383</b>	0,270	0,195	0,212
Prečnik oklaska	-0,030	-0,116	<b>-0,165</b>	-0,080	-0,071
Broj redova zrna	0,008	0,065	0,062	<b>0,129</b>	0,020
Masa 1000 zrna	0,076	0,157	0,123	0,044	<b>0,284</b>

Dijagonalne boldovane vrednosti- direktni efekti; vrednosti van dijagonale-indirektni efekti



Grafikon 6. "Path" dijagram za prinos zrna (prosečno u 2021 i 2022. god)

Generalno posmatrano, metod „Path“ koeficijentata pruža više informacija među varijablama nego koeficijenti korelacije, jer ova analiza pruža direktne efekte specifičnih komponenti prinosa na prinos, i indirektne efekte preko drugih komponenti prinosa (Praveen et al., 2014). Zato je za njihove procene potrebna prethodno procenjena matrica linearne korelacije među osobinama koje se proučavaju (Olivoto et al., 2016).

„Path“ analiza pokazuje povezanost uzroka i posledice, a njena procena je zasnovana na principima višestruke regresije. Smatra se da može biti pristrasna zbog složene prirode podataka, pri čemu je odgovor zavisne osobine povezan sa velikim brojem predviđajućih osobina koje su često u korelaciji između njih navodi Graham (2003). Mnogi istraživači koriste analizu putanje kako bi otkrili veze između prinosa kao zavisne varijable i srodnih osobina kao predviđajućih varijabli (sve kao varijable prvog reda) (Xu, 1986; Simon, 1993; Agrama, 1996; Board et al., 1997; Kumar et al., 1999). Korelirane osobine je teško analizirati jer njihov uticaj na varijablu odgovora može biti posledica bilo kakvog sinergističkog odnosa između varijabli ili lažnih korelacija. Ovaj pristup može dovesti do multi-kolinearnosti za varijable, posebno kada su korelacije koeficijentata među nekim osobinama visoke (Samonte et al., 1998). Tamo gde su dve predviđajuće osobine veoma povezane, teško je proceniti odnos svake pojedinačne osobine, pošto one, kao celina, doprinose objašnjenju linearne veze. Ova posebnost je poznata kao multikolinearnost (Blalock, 1963). To je izvesna poteškoća u ovom metodu. Na ovaj problem ukazali su, takođe Filipović et al. (2014), navodeći da je osnovna pretpostavka u primeni višestruke regresije da su komponente prinosa nezavisne jedna od druge. Ustvari, komponente prinosa su u složenim međusobnim odnosima koji rezultiraju multikolinearnošću. Visoko su statistički značajne ( $p < 0,01$ ) genetičke i fenotipske korelacije koje su su ovi autori dobili između sledećih parova osobina: visine biljke i visine klipa; prečnika klipa i vlažnost zrna; broja redova zrna i vlažnosti zrna, dok su genetske i fenotipske korelacije između visine biljke i vlažnosti zrna bile statistički značajne. Ovakvi rezultati kako navode autori ukazuju na to da su ove osobine međusobno u jakoj korelaciji i da se na ovu činjenicu mora obratiti pažnja u procesu oplemenjivanja kukuruza. Tačnije, smatraju da multikolinearnost komponenti prinosa može prikriti stvarni značaj određene osobine ili, s druge strane, može preceniti neku drugu osobinu. Konvencionalna „Path“ analiza ne uzima u obzir multikolinearnost nezavisnih varijabli i zato mogu nastati poteškoće u interpretaciji rezultata stvarnog učešća svake varijable.

Na osnovu podataka rezultata oglada koje su dobili Filipović et al. (2014), zaključuju da dužina klipa nema direktne pozitivne efekte na prinos i da nije u korelaciji sa prinosom. Međutim, dužina klipa je bila u negativnoj korelaciji sa prečnikom klipa, a istovremeno imala negativan indirektan uticaj preko prečnika klipa na prinos. To znači, kako su naveli autori, da što je veća dužina klipa to je manji prečnik, a samim tim i manji prinos. Pored toga, manja dužina klipa znači i veći prečnik klipa, što pozitivno utiče na prinos. Istovremeno, sadržaj vlage u zrnu je veći, a prinos manji. Ovi rezultati po mišljenju autora sugerišu potrebu da se pronađe određena ravnoteža između dužine i prečnika klipa.

Pavlov et al. (2015) na osnovu ispitivanja „Path“ analizom navode pozitivne direktni efekte na prinos zrna kukuruza, za visinu biljke do osnove metlice i visinu biljke, dok su negativni direktni efekti dobijeni za visinu klipa i ukupan broj listova. Što se tiče indirektnih efekata, autori ističu pozitivan uticaj visine položaja klipa na prinos u odnosu na ukupnu visinu biljke.

Jedan od najvećih izazova za oplemenjivače kukuruza je razvoj hibrida koji imaju prednost u okruženjima sa ograničenom količinom vode. Značajan broj radova u oplemenjivanju kukuruza uključuje korelacije između agronomskih i fizioloških karakteristika i prinosa zrna. U ispitivanju koje su sproveli Bekavac et al. (2007) glavni cilj bio je da se identifikuju osobine koje se mogu odnositi na stay-green osobinu i prinos zrna u dve sintetičke populacije kukuruza. Analiza korelacija i „Path“ koeficijentata pokazala je da je sadržaj vode u listovima imao najveći uticaj na zadržavanje (stay-green) osobine. Najveći pozitivan direktan efekat na prinos zrna utvrđen je za stay-green osobinu u obe ispitivane populacije ( $P_{2,1} = 0,717^{**}$  i  $P_{2,1} = 0,649^{**}$ , respektivno). Na osnovu toga zaključuju da je oplemenjivanje za stay-green osobinu kod kukuruza (dugo očuvanje zelene boje, ostati zelen)

izvodljivo u mnogim primenjenim programima oplemenjivanja, posebno zbog njegove jednostavnosti za postizanje rezultata na velikom broju unosa.

Ima dosta radova u kojima su autori koristili „Path” analizu koja se pokazala kao uspešna u smislu otkrivanja uzročnosti međuodnosa između osobina, bilo da se radi o prinosu, kvalitetu zrna ili efektima interakcije genotip x okruženje, ili upravljanja oplemenjivačkim zadacima i programima (Jadhav et al, 2014; Adesoji et al, 2015; Ma et al, 2015; Nardino et al, 2016). Istraživanja sa „Path” analizom kukuruza uspela su da otkriju i objasne međusobne veze između komponenti prinosa. Ukratko, rezultati iz navedenih radova se približavaju zajedničkom zaključku da su broj zrna po klipju i težina hiljadu zrna osobine koje imaju veću direktnu vezu sa prinosom zrna (Mohammadi et al., 2003a; Reddy et al., 2012; Marefatzadeh Khameneh et al., 2012). Ovi rezultati su saglasni sa rezultatima koje su dobijeni u ovim istraživanjima.

Prinos zrna je bio pozitivno i značajno povezan sa visinom biljke i klipja, prečnikom klipja, brojem zrna, brojem zrna u redu i masom 1000 zrna. Ova istraživanja su slična rezultatima koje smo dobili u našem ispitivanju u okviru ove disertacije.

Geetha i Jayaraman (2000) proučavali su direktne i indirektne efekte različitih kvantitativnih osobina na prinos zrna kod 90 hibrida i objavili da je broj zrna po klipju imao maksimalni direktan uticaj na prinos zrna. Na osnovu toga sugerišu da bi odabir broja zrna po klipju mogao biti veoma efikasan za poboljšanje prinosa zrna. Kumar i Kumar (2000) su takođe naglasili da se visina biljke sa većim brojem zrna u redu, masom klipja i brojem klipjova može odabrati za visok prinos.

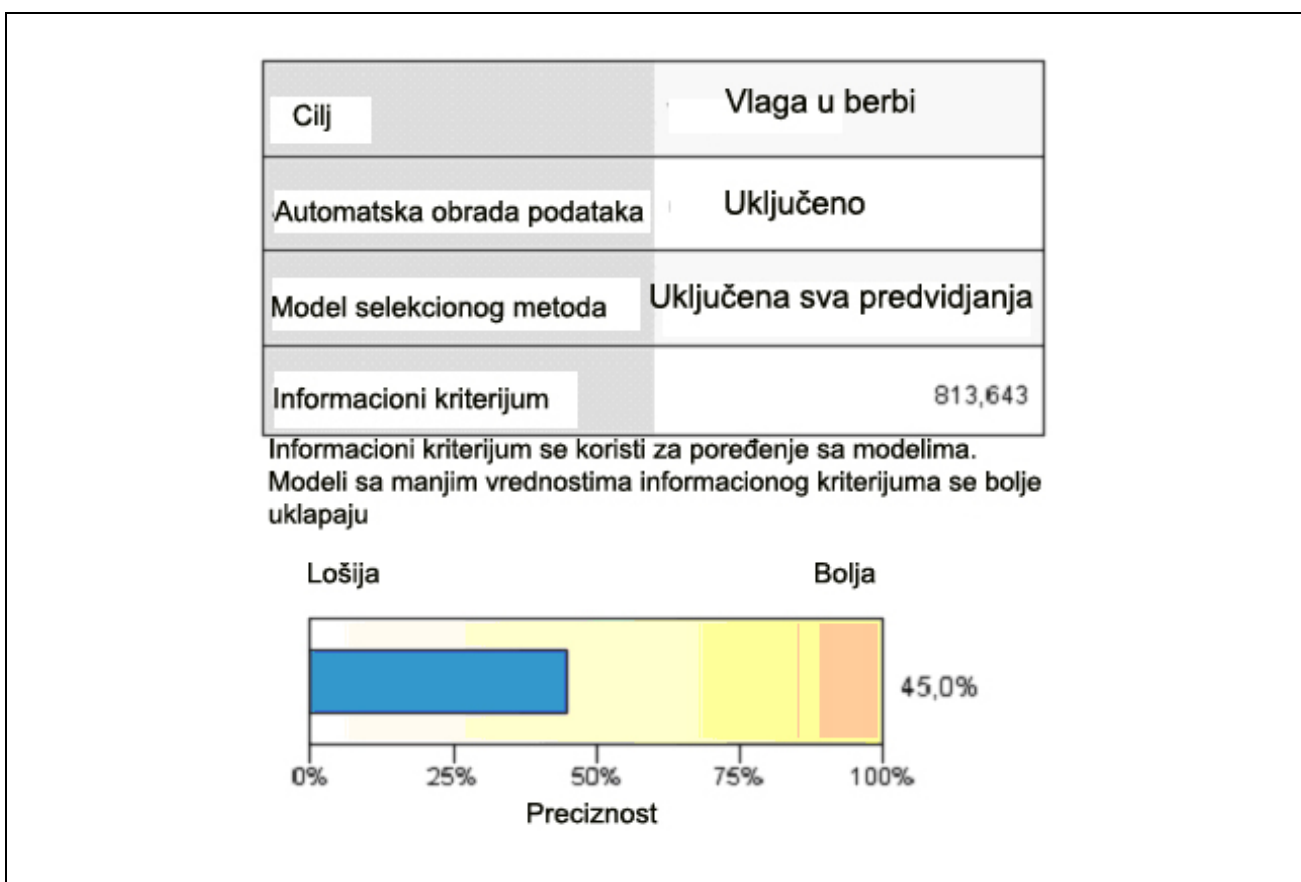
Olivoto et al., (2016) navode da će posmatrano sa stanovišta oplemenjivanja, efikasnost indirektne selekcije zasnovane na „Path” koeficijentima zavisiti od: (1) sposobnosti istraživača da ispravno proceni koeficijente korelacije; (2) preduzimanja pravih koraka za prilagođavanje multikolinearnosti njihovih matrica; (3) uključivanja u predviđenu grupu osobina koje objašnjavaju većinu uočene varijanse zavisne osobine; (4) sposobnosti da izvrši selekciju na osnovu osobina sa visokom heritabilnošću koje su direktno povezane sa odgovorom zavisne osobine. Iati autori istovremeno smatraju da je analiza putem „Path” koeficijenata pomogla istraživačima iz nekoliko oblasti nauke da otkriju logičke veze uzroka i posledice. Posebno u oplemenjivanju kukuruza, ova tehnika je omogućila poznavanje međuodnosa između osobina, omogućavajući bržu indirektnu selekciju linija u procesu inbridinga. Metode koje se trenutno koriste za prilagođavanje multikolinearnosti matrica predviđajućih osobina su efikasne. Zabrinjavajuće je po njihovom mišljenju na osnovu analize koju su sproveli što se u nekim radovima mogu primetiti, ponekad tendenciozno procenjeni koeficijenti korelacije, kao i radovi sa skrivenim važnim informacijama, kao što su koeficijent determinacije i rezidualni ostatak (šum) modela.



#### 7.4 Linearno modeliranje zavisnosti vlage u berbi i dnevnog otpuštanja vlage iz zrna od kvantitativnih osobina kod kukuruza

Linearno modeliranje je jedan od statističkih modela programa IBM SPSS Statistics 26, sličan je "Path" analizi koji se, takođe zasniva na regresiji. Za razliku od "Path" analize koja koristi standardizovane varijable ovaj model za inpute koristi nezavisne varijable u originalnim mernim jedinicama. Primenom ovog modela dobijen je uvid u koeficijente regresije, stepen uticaja nezavisno promenljivih na zavisno promenljivu, nivo značajnosti i grafička vizualizaciju modela.

Sažetak modela koji je koristio vlagu u berbi kao zavisno promenljivu možemo videti u grafikonu 7. (prosečno za 2021 i 2022. godinu) Na ovom grafikonu vidi se da je 45% ispitivanih parametara objašnjeno zdatim modelom.



Grafikon 7. Sažetak modela zavisnosti vlage u berbi od kvantitativnih osobina kod kukuruza

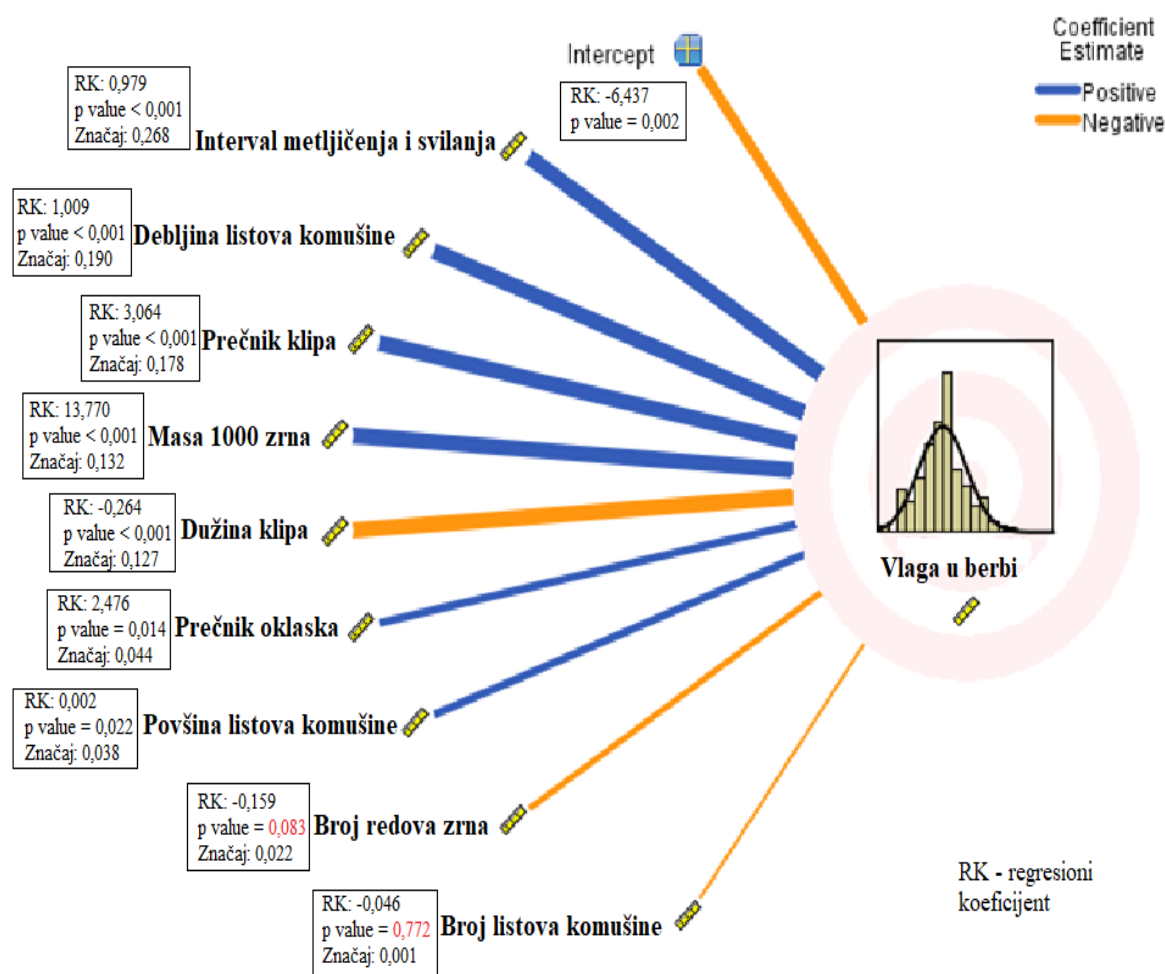
Iz podataka u tabeli 18., može se videti da su variranja osobina kod intervala metličenja i svilanja, debljine listova komušine, prečnika klipa, mase 1000 zrna i dužine klipa bila statistički značajna na nivou  $p < 0,01$ , dok su prečnik oklaska i površina listova komušine bili značajni na nivou  $p < 0,05$ . Za variranje broja redova zrna i broja listova komušine nisu pronađeni dokazi da utiču na vlagu u berbi.

Koeficijent regresije 0,979 za interval metličenja i svilanja nam pokazuje da za svako povećanje vlage u berbi za 1% a drugi parametri ostanu konstantni, interval metličenja i svilanja će

se povećati za 0,979 dana. Kod debljine listova kumušine za svako povećanje vlage u berbi za 1%, pri konstantnim ostalim parametrima, došlo bi do povećanja debljine listova kumušine za 1,009 cm.

Tabela 18. Koeficijenti regresije, p vrednost i stepen uticaja kvantitativnih osobina na vlagu zrna u berbi kukuruza

Kvantitativne osobine	Koeficijent ▼	St.greška	t	Sig.	95% interval poverenja		Važnost
					Niža	Viša	
Intercept	-6,437	2,045	-3,148	,002	-10,456	-2,418	
Interval metličanja i svilanja	0,979	0,161	6,070	,000	0,662	1,296	0,268
Debljina listova kumušine	1,009	0,198	5,106	,000	0,621	1,398	0,190
Prečnik klipa	3,064	0,619	4,947	,000	1,847	4,281	0,178
Masa1000 zrna	13,770	3,234	4,258	,000	7,413	20,127	0,132
Dužina klipa	-0,264	0,063	-4,177	,000	-0,388	-0,140	0,127
Prečnik oklaska	2,476	1,008	2,457	,014	0,495	4,457	0,044
Površina listova kumušine	0,002	0,001	2,294	,022	0,000	0,003	0,038
Broj redova zrna	-0,159	0,092	-1,736	,083	-0,340	0,021	0,022
Broj listova kumušine	-0,046	0,160	-0,290	,772	-0,360	0,268	0,001



Grafikon 8. Rezultati linearnog modeliranja zavisnosti vlage u berbi od kvantitativnih osobina

Rezultati modela zavisnosti vlage u berbi od kvantitativnih osobina prosečno za 2021 i 2022. godinu prikazani su na grafikonu 8.

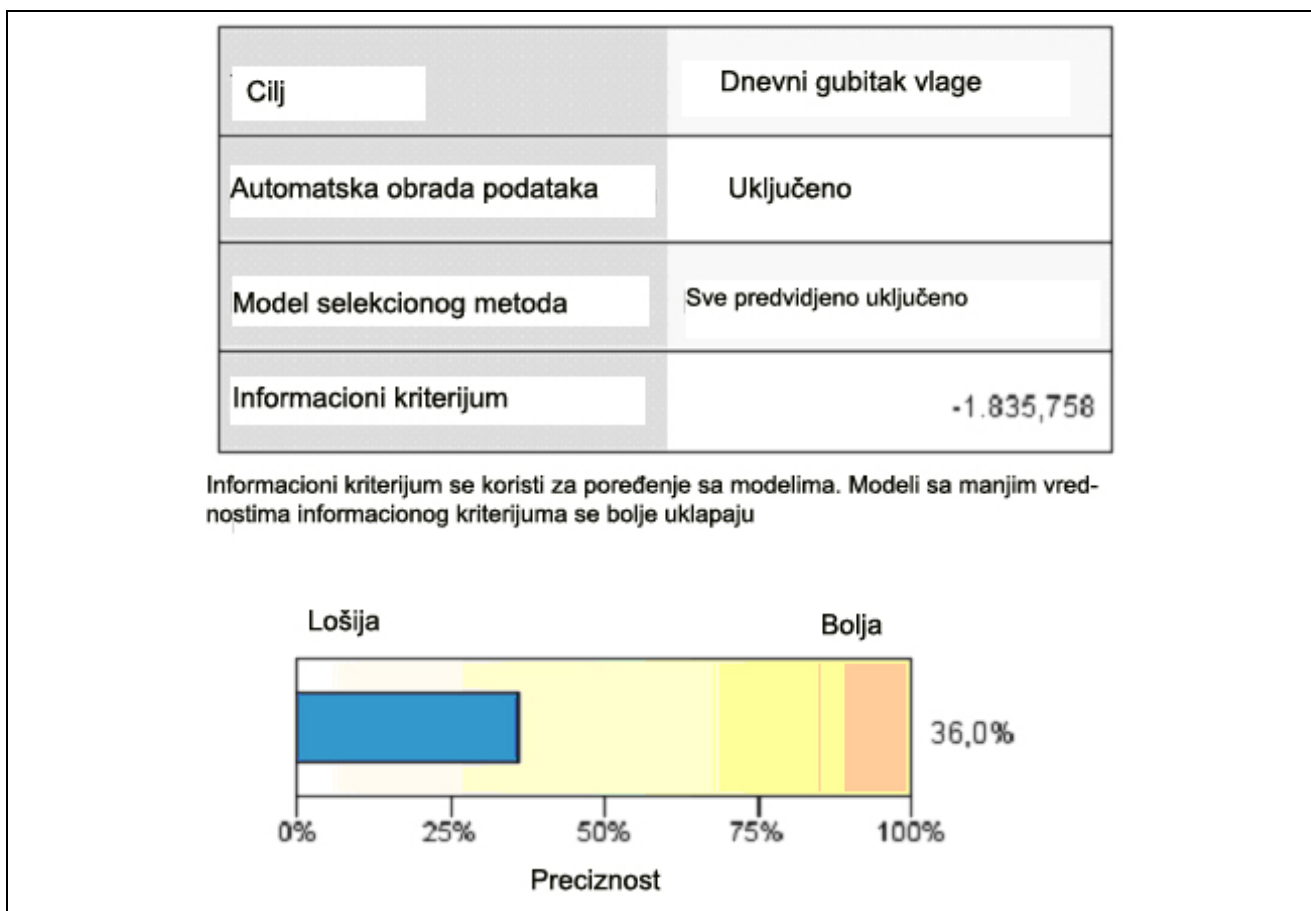
Pozitivan stepen uticaja nezavisno promenljivih na zavisno promenljivu označen je plavom bojom, a negativni stepen uticaja narandžastom bojom.

Najveći značaj na vlagu u berbi pronađen je kod intervala metliččenja i svilanja (0,268), zatim kod debljine listova kumušine (0,190), prečnika klipa (0,178), mase 1000 zrna (0,132), dužine klipa (0,127), prečnika oklaska (0,044) i površine listova kumušine (0,038).

Dužina klipa imala je negativan smer uticaja na vlagu u berbi što implicira da je smanjenje dužine klipa uticalo na povećanje procenta vlage u berbi.

Broj redova zrna i broj listova kumušine imale su takođe, negativan smer uticaja na vlagu u berbi, ali kod variranja ovih osobina nisu pronađeni dokazi da deluju na vlagu u berbi.

Sažetak modela koji je koristio dnevni gubitak vlage iz zrna kao zavisno promenljivu možemo videti na grafikonu 9. Na ovom grafikonu vidi se da je ovim modelom objašnjeno ukupno 36% varijanse.

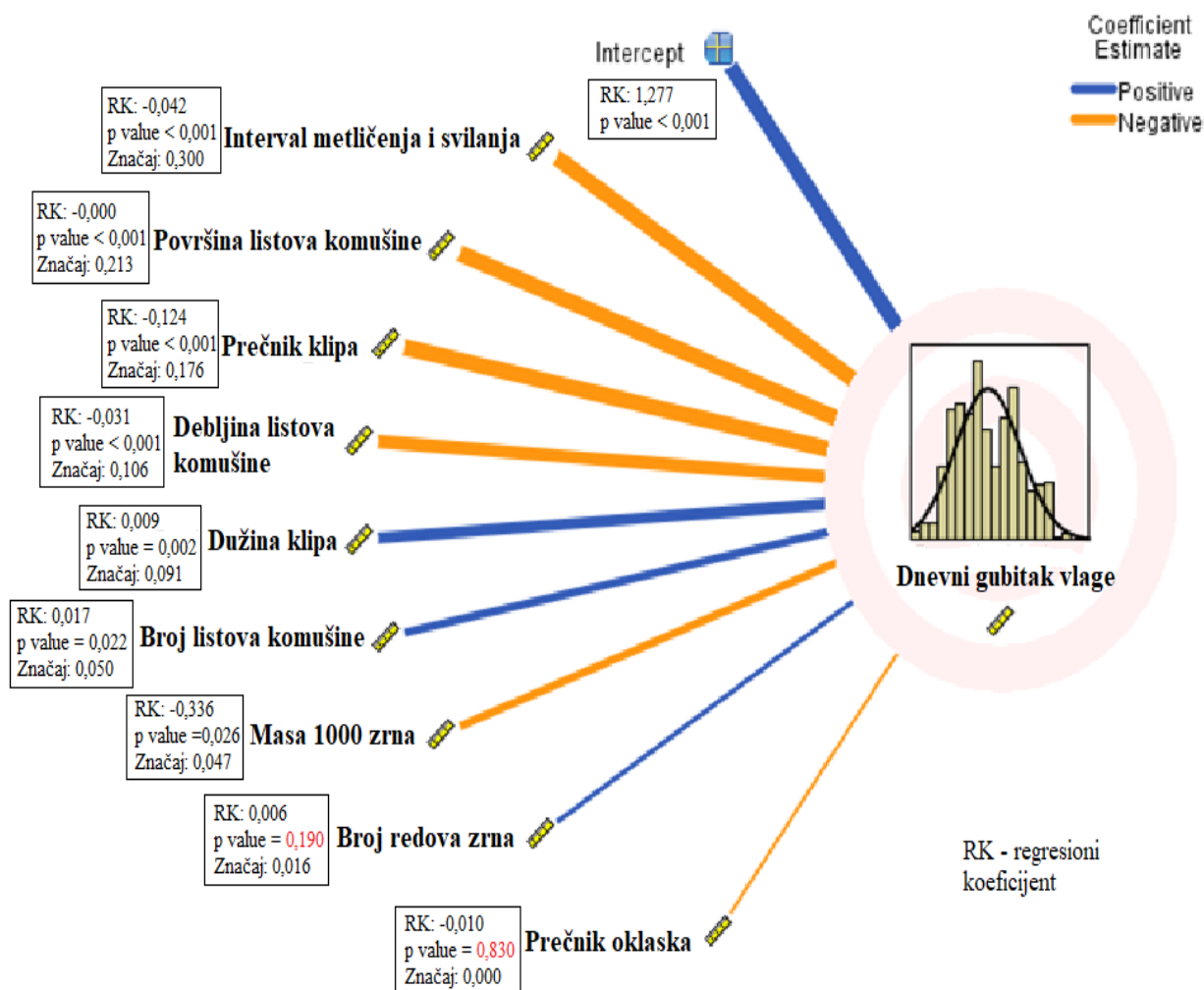


Grafikon 9. Sažetak modela uticaja kvantitativnih osobina na dnevni gubitak vlage

Iz podataka u tabeli 19., vidi se da su variranja kod intervala metličenja i svilanja, površine listova kumušine, prečnika klipa, debljine listova kumušine i dužine klipa bila statistički značajna na nivou  $p < 0,01$ , dok su variranja kod broja listova kumušine i mase 1000 zrna bila značajna na nivou  $p < 0,05$ . Za variranja osobina broj redova zrna i prečnik oklaska nisu pronađeni dokazi da utiču na dnevno otpuštanje vlage iz zrna. U oba ispitivana modela variranja u broju redova zrna nisu ostvarila statističku značajnost na zavisno promenljive.

Tabela 19. Koeficijenti regresije, p vrednost i stepen uticaja kvantitativnih osobina na dnevni gubitak vlage iz zrna kukuruza

Kvantitativne osobine	Koeficijent ▼	St. greška	t	Sig.	95% Interval poverenja		Važnost
					Niža	Viša	
Intercept	1,277	0,095	13,411	,000	1,090	1,465	
Interval metličanja i svilanja	-0,042	0,008	-5,621	,000	-0,057	-0,027	0,300
Debljina listova komušine	-0,000	0,000	-4,731	,000	-0,000	-0,000	0,213
Prečnik klipa	-0,124	0,029	-4,309	,000	-0,181	-0,068	0,176
Masa 1000 zrna	-0,031	0,009	-3,334	,001	-0,049	-0,013	0,106
Dužina klipa	0,009	0,003	3,091	,002	0,003	0,015	0,091
Prečnik oklaska	0,017	0,007	2,291	,022	0,002	0,032	0,050
Površina listova komušine	-0,336	0,151	-2,231	,026	-0,632	-0,040	0,047
Broj redova zrna	0,006	0,004	1,314	,190	-0,003	0,014	0,016
Broj listova komušine	-0,010	0,047	-0,215	,830	-0,102	0,082	0,000



Grafikon 10. Rezultati linearnog modeliranja u zavisnosti dnevnog gubitka vlage iz zrna od kvantitativnih osobina

Rezultati modela zavisnosti dnevnog gubitka vlage iz zrna od kvantitativnih osobina na osnovu proseka u 2021 i 2022. godini prikazani su na grafikonu 10.

Najveći stepen uticaja na dnevni gubitak vlage zabeležen je sa intervalom metličanja i svilanja (0,300) kao i u prethodnom modelu, zatim sa površinom listova kumušine (0,213), prečnikom klipa (0,176), debljinom listova kumušine (0,106), dužinom klipa (0,091), brojem listova kumušine (0,050) i masom 1000 zrna (0,047). Variranja u broju redova zrna i prečniku oklaska nisu imala statističku značajnost na dnevno otpuštanje vlage iz zrna.

Negativan stepen uticaja na zavisno promenljivu utvrđen je sa intervalom metličanja i svilanja, površinom listova kumušine, prečnikom klipa, debljinom listova kumušine i masom 1000 zrna, drugim rečima smanjenjem vrednosti neke od ovih osobina dovodi do povećanja vrednosti dnevnog otpuštanja vlage. Povećanjem vrednosti dužine klipa i broja listova kumušine povećava se i vrednost dnevnog otpuštanja vlage.

## 7.5 Dinamika otpuštanja vlage iz zrna kod hibrida kukuruza

U momentu berbe sadržaj vlage u zrnu je veoma važna kvantitativna osobina kukuruza. Kukuruz sa malom vlagom u zrnu može se požnjati ranije, što ima za rezultat smanjenje gubitaka u prinosu zrna u polju. Rana berba omogućava raniju setvu ozimih useva koji se seju posle kukuruza, smanjuje troškove oko naknadnog sušenja na veštački način, itd (Sweeney et al. (1994).

Konačnu vlagu zrna pri žetvi određuju dva faktora: početni sadržaj vlage u fiziološkoj zrelosti i naknadna stopa sušenja u poljskom okruženju (Chase, 1964). Vlažnost zrna u punoj zrelosti u kukuruzu je prvenstveno kontrolisana genetikom (Cross, 1985; De-Jager et al., 2004; Purdy i Crane, 1967a; Zhang et al., 1996), a takođe je i pod uticajem faktora sredine (Magari et al., 1997). Gubitak vlage iz zrna se, uglavnom može pripisati promenama temperature ako početna vlažnost zrna prelazi 30%; inače, na stopu sušenja uglavnom utiče relativna vlažnost (Schmidt i Hallauer, 1966).

Odabir samooplodnih linija za proizvodnju hibrida sa niskom vlagom zrna može se zasnivati ili na direktnoj selekciji za vlagu zrna tokom berbe ili na indirektnoj selekciji za brzinu otpuštanja vlage (Sweeney et al., 1994 *ibid.*). Relativno visoka heritabilnost (Hallauer i Miranda, 1981), visok udeo aditivne varijanse, nedostatak inbreeding depresije (Cornelius i Dudley, 1974) i uspeh selekcije zasnovan na vlažnosti zrna u sintetičke populacije (Cross et al. 1987) dovode do predviđanja da bi selekcija inbred linija sa niskom vlagom zrna rezultirala hibridima sa niskom vlagom zrna. Iako su dostupni jeftini ručni merači vlage (Kang et al., 1978; Reid et.al., 2010), oni se nisu u velikoj meri koristili za direktnu selekciju među linijama rane generacije u velikim programima oplemenjivanja. Brzina otpuštanja vlage utiče na vlažnost hibridnog zrna pri berbi. Kang i Zuber (1987) su utvrdili značajnu prostu korelaciju ( $r = -0,62$ ) između brzine otpuštanja u kasnoj sezoni i vlažnosti zrna u berbi. Mnogi istraživači su utvrdili da stepen otpuštanja vlage na polju i sušenja klipova sa uklonjenom komušinom variraju među genotipovima kukuruza (Hallauer i Russell, 1961; Troyer i Ambrose, 1971).

Uspešna selekcija za nisku vlažnost zrna putem selekcije inbred linija sa brzim otpuštanjem vlage je moguća. Rad na oplemenjivanju kukuruza sa brzim otpuštanjem vlage u fazi fiziološke i pune zrelosti je dosta zahtevan. Uzorke za vlagu treba uzimati nekoliko puta da bi se pratila brzina odavanja vlage. S obzirom da na brzinu odavanja vlage utiče mikroklima (u našim uslovima septembar-oktobar mesec), neophodno je testiranje sa višestrukim ponavljanjem i poduzorkovanjem. Ovako opsežno uzorkovanje i testiranje je nepraktično u ranim generacijama inbridinga. Razlike u brzini otpuštanja vlage, i na kraju, vlažnosti zrna tokom žetve, mogu biti posledica razlika i u fiziologiji zrna. Pokazalo se da su razlike u brzini otpuštanja vlage povezane i sa tipom endosperma, osmotskim difuzionim pritiskom zrna i debljinom perikarpa (Hunter et al., 1979).

Iako je moguće odabrati vlažnost zrna na osnovu jedne od ovih fizioloških osobina, procena ovih osobina će verovatno biti radno intenzivna. Takođe, je moguće da bi selekcija za ove osobine smanjila kvalitet zrna. Oplemenjivači koji žele da smanje vlažnost zrna često koriste datum svilanja kao kriterijum selekcije. Neki autori su utvrdili značajan pozitivan uticaj datuma svilanja i tvrde da je povezan sa vlagom zrna tokom berbe (Hallauer et al., 1967). Nasuprot njima, Cross (1975) nije našao značajnu korelaciju između datuma svilanja i vlage. Formiranje crnog sloja ukazuje na fiziološku zrelost kukuruza (Daynard i Duncan, 1969). Selekcija za raniju zrelost može imati kao krajnji rezultat manju vlagu zrna tokom žetve, ali direktna procena formiranja crnog sloja je teže utvrdiva. Daynard (1972) je utvrdio da se genotipovi uveliko razlikuju u sadržaju vlage pri kojoj se javlja crni sloj. S obzirom na mnoge veze između morfoloških osobina i vlažnosti zrna ili brzine otpuštanja vlage, čini se da je indirektna selekcija na nižu vlažnost zrna u berbi izvodljiva.

Više faktora utiče na brzinu otpuštanja vlage iz zrna kukuruza uključujući sledeće: temperaturu i vlažnost vazduha (Schmidt i Hallauer, 1966), preuranjeno sušenje biljaka, nepropusnost komušine (Troyer i Ambrose, 1971; Hicks et al, 1976), debljinom i propusnošću perikarpa (Crane et al, 1959), veličinom i oblikom zrna i klipa (Cross, 1985; Hunter et al., 1979.),

stepenom nalivenosti zrna (Kang et al, 1986.), i defolijacijom biljaka (Tollenaar i Daynard, 1978). Generalno, što više vremena biljka ima za nalivanje semena, prinosi će biti veći smatraju Daynard i Kannenberg (1976), a takođe i Cavalieri i Smith, 1985).

Na osnovu prosečnih vrednosti, tipično sezonsko odavanje vlage iz zrna u fiziološkoj zrelosti kreću se od 0,4 do 0,8% dnevno (De-Jager et al, 2004; Brooking, 1990; Duncan i Hatfield, 1964). Hellevang (2004) je utvrdio manju brzinu otpuštanja vlage iz zrna kukuruza od 0,3 % dnevno. Ako se jesenji meseci razlikuju od normalnih u pogledu temperature ili vlage, brzina odavanja vlage će se razlikovati na primer, vlažno i hladno vreme će usporiti, a toplo i suvo vreme ubrzati odavanje vlage iz zrna. Reid et al. (2010) navode da spoljni faktori mogu pozitivno ili negativno uticati na brzinu gubitka vode iz zrna. Pozitivni faktori koji favorizuju gubitak vode zrna su: intenzitet sunčeve svetlosti, temperatura na nivou tla, temperatura vazduha, brzina vetra i evapotranspiracija. Negativan uticaj na brzinu gubitka vode zrna može imati: relativna vlažnost vazduha, vlažnost zemljišta i gustina biljaka. Sve ovo su elementi koji utiču vrlo raznoliko u zavisnosti od agrometeoroloških uslova u kojima se analiziraju i dobijaju ovi podaci. Prosečno gubljenje vlage iz zrna kukuruza kreće se od oko 0,8 procentnih poena dnevno za zrno koje se približava zrelosti krajem avgusta do oko 0,4 procentna poena dnevno za zrno koje se približava zrelosti sredinom do kraja septembra u klimatskim uslovima kukuruznog pojasa SAD. Gubitak vlage u zrnu za bilo koji određeni dan može biti prilično visok ili nizak u zavisnosti od tačne temperature, vlažnosti, sunca ili kiše tog dana. Nije neuobičajeno da vlažnost zrna opada više od jednog procentnog poena dnevno tokom perioda kada su uslovi topli, sunčani, vetroviti i suvi (Nielsen, 2018b).

Ekstremni stresni uslovi u toku vegetacionog perioda kukuruza uključuju štetu koja može biti izazvana jakom zemljišnom i vazdušnom sušom uz dodatno visoku temperaturu, olujama sa gradom u kasnoj sezoni i mrazom ili smrzavanjem pre fiziološke zrelosti. Efekti ovakvih iznenadnih pojedinačnih stresnih događaja kao što su grad ili mrazevi pre fiziološke zrelosti često stvaraju svojevrsnu optičku iluziju u odnosu na naknadno sušenje zrna na polju. Budući da odumiranje listova ili celih biljaka nezrelog useva može nastupiti prilično brzo sadržaj vlage u još nezrelom zrnu će „izgledati“ prilično visok s obzirom na to da biljke izgledaju sasušeno i sugerišu kao da je usev „zreo“. Pojava osušenog biljnog tkiva daje iluziju da je stepen gubitka vlage usporen. Ustvari, naknadno odavanje vlage zahvaćenog zrna na polju će se desiti prilično normalno u odnosu na njihovu nezrelu fazu razvoja (Hicks, 2004).

Na grafikonima je predstavljen bar dijagram dinamike otpuštanja vlage iz zrna kukuruza na tri lokaliteta u 2021. godini, sa ucrtanim standardnim devijacijama (grafikoni 11,12 i 13.).

Plavom bojom označene su srednje vrednosti pet klipova dobijenih iz prvog merenja vlage u zrnu 7 nedelja nakon oplodnje, zelenom bojom označene su srednje vrednosti pet klipova dobijenih iz drugog merenja vlage u zrnu 8 nedelja nakon oplodnje, žutom bojom označene su srednje vrednosti pet klipova dobijenih iz trećeg merenja vlage u zrnu 9 nedelja nakon oplodnje i crvenom bojom su označene srednje vrednosti pet klipova dobijenih iz četvrtog merenja vlage u zrnu 10 nedelja nakon oplodnje.

Na lokaciji Selekciono Polje u prvoj godini ispitivanja (grafikon 13.), sedme nedelje nakon oplodnje, hibridi koji su imali najveći procenat vlage u zrnu bili su: H4R (ZPL6 x ZPL1), H12 (ZPL3 x ZPL5), H14 (ZPL4 x ZPL5), H13R (ZPL6 x ZPL4) i H6R (ZPL3 x ZPL2). U osmoj nedelji nakon oplodnje najveći procenat vlage u zrnu zabeležen je kod hibrida: H1R (ZPL2 x ZPL1), H3R (ZPL4 x ZPL1), H6 (ZPL2 x ZPL3), H7R (ZPL4 x ZPL2), H4R (ZPL6 x ZPL1). U devetoj nedelji nakon oplodnje hibridi koji su ostvarili najveći sadržaj vlage u zrnu bili su: H6R (ZPL3 x ZPL2), H1 (ZPL1 x ZPL2), H4R (ZPL6 x ZPL1), H1R (ZPL2 x ZPL1) i H3R (ZPL4 x ZPL1). U desetoj nedelji nakon oplodnje hibridi sa najvećom vlagom u zrnu bili su: H4R (ZPL6 x ZPL1), H5 (ZPL1 x ZPL5), H5R (ZPL5 x ZPL1), H9R (ZPL5 x ZPL2) i H3R (ZPL4 x ZPL1).

Sa druge strane hibridi koji su imali najmanji procenat vlage u zrnu u sedmoj nedelji nakon oplodnje bili su: H12R (ZPL5 x ZPL3), H15 (ZPL6 x ZPL5), H7 (ZPL2 x ZPL4), H14R (ZPL5 x ZPL4) i H10 (ZPL3 x ZPL4). U osmoj nedelji nakon oplodnje najmanji procenat vlage u zrnu imali



su sledeći hibridi: H10 (ZPL3 x ZPL4), H7 (ZPL2 x ZPL4), H14R (ZPL5 x ZPL4), H12R (ZPL5 x ZPL3) i H15R (ZPL5 x ZPL6). U devetoj nedelji najmanje vlage u zrnu zabeležili su hibridi H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H14R (ZPL5 x ZPL4), H7 (ZPL2 x ZPL4) i H12R (ZPL5 x ZPL3). Prilikom žetve, odnosno u 10 nedelji nakon oplodnje hibridi koji su imali najmanji procenat vlage u zrnu bili su: H10 (ZPL3 x ZPL4), H7 (ZPL2 x ZPL4), H6R (ZPL3 x ZPL2), H13 (ZPL4 x ZPL6) i H14 (ZPL4 x ZPL5).

Na lokaciji Školsko Dobro u 2021. godini (grafikon 14.), u prvoj nedelji merenja vlage u zrnu, odnosno sedmoj nedelji nakon oplodnje hibridi sa najvećim sadržajem vlage u zrnu bili su: H13 (ZPL4 x ZPL6), H14 (ZPL 4 x ZPL5), H15R (ZPL6 x ZPL5), H8R (ZPL6 x ZPL2) i H3 (ZPL1 x ZPL4). U osmoj nedelji nakon oplodnje najviši procenat vlage u zrnu imali su sledeći hibridi: H1R (ZPL2 x ZPL1), H1 (ZPL1 x ZPL2), H4R (ZPL6 x ZPL1), H13 (ZPL4 x ZPL6) i H4 (ZPL1 x ZPL6). U devetoj nedelji nakon oplodnje najviši procenat vlage u zrnu zabeležen je kod hibrida: H9 (ZPL2 x ZPL5), H4R (ZPL6 x ZPL1), H1R (ZPL2 x ZPL1), H5R (ZPL5 x ZPL1) i H5 (ZPL1 x ZPL5). U poslednjoj nedelji merenja, odnosno u desetoj nedelji nakon oplodnje hibridi sa najvećim procentom vlage u zrnu bili su: H1R (ZPL2 x ZPL1), H1 (ZPL1 x ZPL2), H5 (ZPL1 x ZPL5), H5R (ZPL5 x ZPL1) i H4 (ZPL1 x ZPL6).

Na istoj lokaciji, tri hibrida istakla su se niskim sadržajem vlage u zrnu prilikom prvog merenja, sedam nedelja nakon oplodnje i to: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3) i H12R (ZPL5 x ZPL3). U osmoj nedelji nakon oplodnje nizak procenat vlage zabeležen je kod hibrida: H10 (ZPL3 x ZPL4), H7R (ZPL4x ZPL2), H6 (ZPL2 x ZPL3), H12R (ZPL5 x ZPL3) i H14 (ZPL4 x ZPL5). U devetoj nedelji nakon oplodnje hibridi sa najmanjom vlagom u zrnu bili su: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H13R (ZPL6 x ZPL4), H6 (ZPL2 x ZPL3). H11 (ZPL3 x ZPL6) i H11R (ZPL6 x ZPL3). U poslednjem merenju, desete nedelje nakon oplodnje hibridi sa najmanjom vlagom bili su: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H14 (ZPL4 x ZPL5), H12 (ZPL3 x ZPL5), H13R (ZPL6 x ZPL4) i H14R (ZPL4 x ZPL5).

Na grafikonu 15., prikazana je dinamika gubitka vlage iz zrna kod 30 hibrida kukuruza na lokaciji Kukujevci za 2021. godinu. Na prvom merenju sadržaja vlage u zrnu, sedam nedelja nakon oplodnje hibridi sa najvećim procentom vlage bili su: H13 (ZPL4 x ZPL6), H8R (ZPL6 x ZPL2), H15 (ZPL6 x ZPL5), H14 (ZPL4 x ZPL5) i H1 (ZPL1 x ZPL2). U osmoj nedelji nakon oplodnje najviši procenat vlage u zrnu zabeležen je kod hibrida: H13 (ZPL4 x ZPL6), H14 (ZPL4 x ZPL5), H13R (ZPL6 x ZPL4), H7R (ZPL4 x ZPL2) i H3R (ZPL4 x ZPL1). U devetoj nedelji nakon oplodnje najviše vlage u zrnu imali su hibridi: H9R (ZPL5 x ZPL2). H13 (ZPL4 x ZPL6), H9 (ZPL2 x ZPL5), H7R (ZPL4 x ZPL2) i H5 (ZPL1 x ZPL5). Prilikom žetve kukuruza u desetoj nedelji nakon oplodnje najviši sadržaj vlage u zrnu imali su hibridi: H1 (ZPL1 x ZPL2), H5 (ZPL1 x ZPL5), H5R (ZPL5 x ZPL1), H9 (ZPL2 x ZPL5), H15 (ZPL6 x ZPL5) i H8 (ZPL2 x ZPL6).

Nasuprot njima, hibridi sa najmanjim procentom vlage u zrnu u sedmoj nedelji nakon oplodnje bili su: H14R (ZPL5 x ZPL4), H2 (ZPL1 x ZPL3), H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H11 (ZPL3 x ZPL6) i H7 (ZPL2 x ZPL4). U osmoj nedelji nakon oplodnje najmanji sadržaj vlage u zrnu zabeležen je kod hibrida: H10 (ZPL3 x ZPL4), H7 (ZPL2 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H12R (ZPL5 x ZPL3) i H14R (ZPL5 x ZPL4). U devetoj nedelji nakon oplodnje hibridi: H10 (ZPL3 x ZPL4), H7 (ZPL2 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H14R (ZPL5 x ZPL4) i H13 (ZPL4 x ZPL6) imali su najmanji sadržaj vlage u zrnu, dok su prilikom poslednjeg merenja odnosno desete nedelje nakon oplodnje to bili sledeći hibridi: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H7R (ZPL4 x ZPL2), H6R (ZPL3 x ZPL2), H11 (ZPL3 x ZPL6) i H13 (ZPL4 x ZPL6).

Hibridne kombinacije od H1 do H5 sa recipročnim ukrštanjima imaju u sebi kao roditeljsku komponentu srednje kasnu samooplodnu liniju ZPL1, dok hibridi od H6 do H9 sa recipročnim kombinacijama u sebi sadrže samooplodnu liniju ZPL2 koja je takođe srednje kasna. U hibridima H5, H9, H12, H14 i H15 sa recipročnim kombinacijama nalazi se treća srednje kasna samooplodna linija ZPL5 kao jedna od roditeljskih komponenti. Upravo ovakav raspored na grafikonu pokazuje da su crveni stubići u dijagramu, odnosno vrednosti sadržaja vlage u zrnu dobijeni prilikom poslednjeg

merjenja u desetoj nedelji nakon oplodnje, znatno veći sa leve strane grafikona nego na desnoj strani na kojoj su učestalija ukrštanja srednje ranih samooplodnih linija. Sa tim se potvrđuje da srednje kasne linije u svojim potomstvima imaju tendenciju češćeg zadržavanja vlage u zrnu.

Srednje rane samooplodne linije pokazale su međusobno različitu dinamiku otpuštanja vlage iz zrna. Samooplodna linija ZPL3 učestvovala je kao jedna od roditeljskih komponenti u hibridima H2, H6, H10, H11 i H12 sa recipročnim ukrštanjima. Samooplodna linija ZPL4 učestvovala je u hibridima H3, H7, H10, H13 i H14 takođe sa recipročnim kombinacijama, dok je samooplodna linija ZPL6 bila roditeljska komponenta kod hibrida H4, H8, H11, H13 i H15 sa njihovim recipročnim kombinacijama.

Na sve tri lokacije jasno je uočljivo da hibrid H10 (ZPL3 x ZPL4) sa njegovom recipročnom kombinacijom H10R (ZPL4 x ZPL3) ostvaruje najmanji procenat vlage u sva četiri merjenja, sa obzirom da se radi o hibridizaciji samooplodnih linija koje pripadaju istoj heterotičnoj grupi (nezavisna heterotična grupa) značajan heterozis i prinos nisu ostvareni. Međutim, rezultati dobijeni merenjem dinamike otpuštanja vlage u zrnu pokazuju da se radi o velikom potencijalu kako za stvaranje F2 populacije sa ciljem stvaranja novih ranostasnih samooplodnih linija, tako i za stvaranje sestrinskih ukrštanja za trolinijske hibride koji će imati ubranu dinamiku otpuštanja vlage iz zrna.

Do zanimljivih zaključaka može se doći i prateći dinamiku opadanje vlage u zrnu kroz prizmu ukrštanja srednje ranih sa srednje kasnim samooplodnim linijama. Tako, srednje rane linije ZPL3, ZPL4 i ZPL6 sa srednje kasnom samooplodnom linijom ZPL1 daju hibride: H2 (ZPL1 x ZPL3), H2R (ZPL3 x ZPL1), H3 (ZPL1 x ZPL4), H3R (ZPL4 x ZPL1), H4 (ZPL1 x ZPL6) i H4R (ZPL6 x ZPL1). Na sve tri lokacije u 2021. godini u prvom merenju hibridi H3/H3R i H4/H4R su imali veći procenat vlage od hibrida H2/H2R, prilikom drugog i trećeg merjenja ove razlike se ujednačavaju s' tim da hibrid H3/H3R i dalje ima najviše vlage u zrnu, dok u poslednjem merenju hibrid H3/H3R ubrzano otpušta vlagu i spušta se na nivo hibrida H2/H2R a hibrid H4/H4R zadržava vlagu prilikom poslednja dva merjenja i ostaje poprilično iznad prethodna dva hibrida.

Linije ZPL3, ZPL4 i ZPL6 sa srednje kasnom samooplodnom linijom ZPL2 daju hibride: H6 (ZPL2 x ZPL3), H6R (ZPL3 x ZPL2), H7 (ZPL2 x ZPL4), H7R (ZPL4 x ZPL2), H8 (ZPL2 x ZPL6) i H8R (ZPL6 x ZPL2). Na sve tri lokacije hibrid H7 (ZPL2 x ZPL4) pokazao je odlične rezultate otpuštanja vlage iz zrna u prvim fazama merjenja. U slučaju da izostavimo ovaj hibrid, može se reci da su ostali hibridi u prvoj fazi merjenja ostvarili ravnomerno visok sadržaj vlage u zrnu. U drugom merenju hibrid H8/H8R bolje otpušta vlagu od hibrida H6/H6R, dok hibrid H7R ima najbrže otpuštanje vlage iz zrna u prvim fazama. U poslednja dva merjenja (9 i 10. nedelja posle oplodnje) dolazi do rapidnog otpuštanja vlage kod hibrida H6/H6R i hibrida H7R dok hibrid H8/H8R prilikom žetve, opet beleži veći procenat vlage u zrnu od druga dva hibrida. Kod recipročnog hibrida H6R dobijeni su na sve tri lokacije manji procenti vlage u zrnu naspram njegove originalne kombinacije.

Linije ZPL3, ZPL4 i ZPL6 sa srednje kasnom samooplodnom linijom ZPL5 daju hibride H12 (ZPL3 x ZPL5), H12R (ZPL5 x ZPL2), H14 (ZPL4 x ZPL5), H14R (ZPL5 x ZPL2), H15 (ZPL6 x ZPL5) i H15R (ZPL5 x ZPL6). Na sve tri lokacije jasno se uočava da recipročne kombinacije hibrida odnosno H12R i H14R imaju znatno niži sadržaj vlage u zrnu prilikom prva dva merjenja (7 i 8 nedelja nakon oplodnje) naspram njihovih originalnih kombinacija, prilikom poslednjeg merjenja (10 nedelja nakon oplodnje) ove vlage se poprilično ujednačavaju. Upravo ovaj primer i primer hibrida H6R ukazuju na bitnost testiranja i recipročnih kombinacija, prilikom pronalaženja što boljeg hibrida.

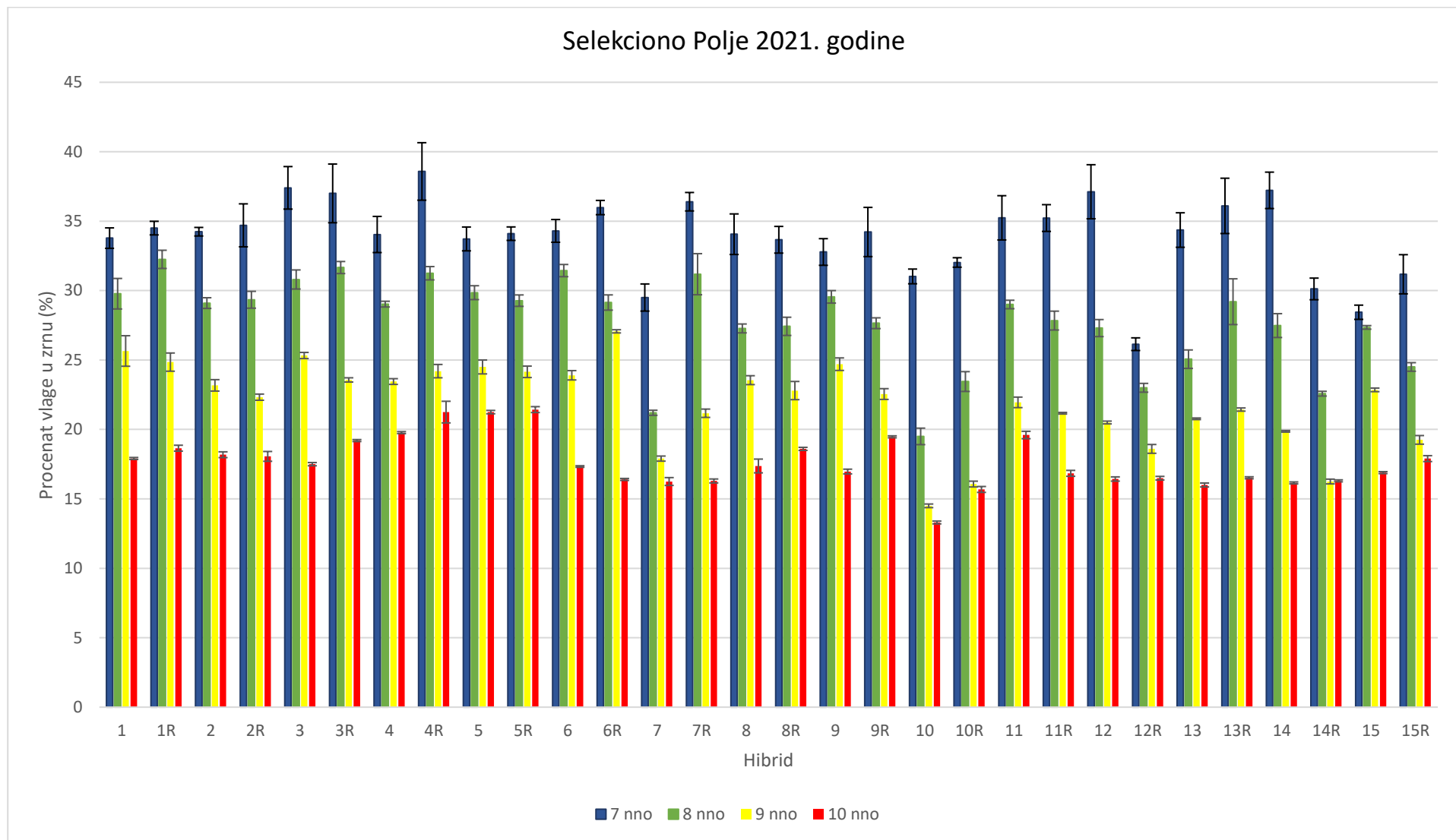
Iz svega navedenog može se zaključiti da samooplodna linija ZPL4 koja učestvuje kao roditeljska komponenta u hibridima H3/H3R, H7/H7R i H14/H14R i samooplodna linija ZPL3 koja učestvuje u hibridima H2/H2R, H6/H6R i H12/H12R unose u potomstvo gene koji su zaduženi za brzo otpuštanje vlage iz zrna, dok samooplodna linija ZPL6 koja je, takođe srednje rana i koja učestvuje kao jedna od roditeljskih komponentata u hibridima H4/H4R, H8/H8R i H15/H15R, u prvim merenjima značajno obori vlagu, ali tu vlagu teže otpušta do berbe.

Na grafikonima 14, 15 i 16., prikazani su bar dijagrami za dinamiku otpuštanja vlage iz zrna sa ucrtanim standardnim devijacijama, na tri lokaliteta za 2022. godinu.

Na lokacijama Selekciono Polje i Ruma, prvo uzimanje uzoraka bilo je u 7 nedelji nakon oplodnje isto kao i u 2021. godini, dok se prvo uzorkovanje na lokaciji Školsko Dobro obavilo u 8 nedelji nakon oplodnje čime se merenje na ovoj lokaciji pomerilo za jednu nedelju, odnosno analizirane su 8,9,10 i 11 nedelja nakon oplodnje.

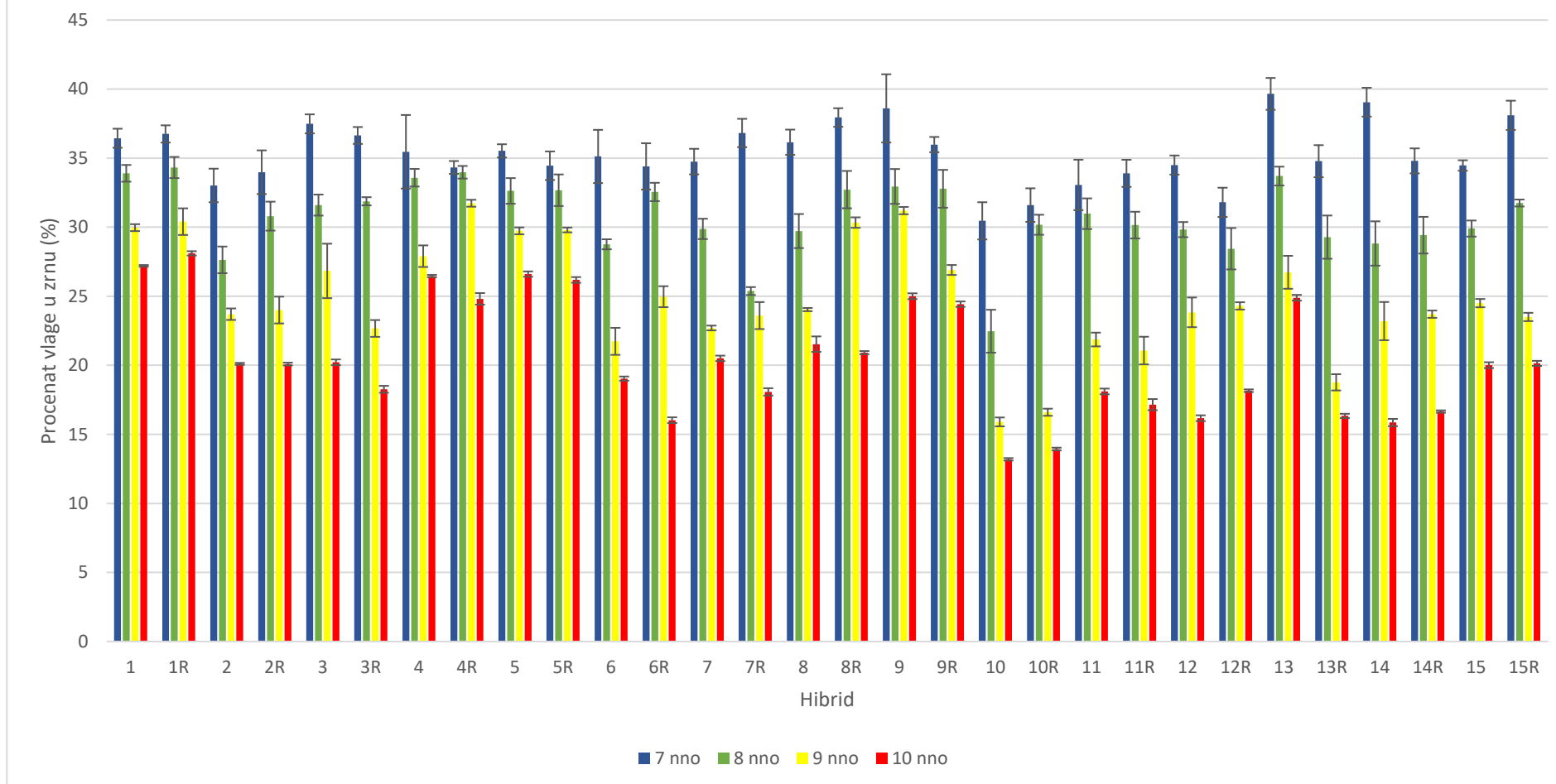
Na lokaciji Selekciono Polje u 2022. godini (grafikon 16.), u prvoj nedelji merenja vlage u zrnu, odnosno sedmoj nedelji nakon oplodnje hibridi sa najvećim sadržajem vlage u zrnu bili su: H1R (ZPL2 x ZPL1), H8R (ZPL6 x ZPL2), H9 (ZPL2 x ZPL5), H15 (ZPL6 x ZPL5) i H1 (ZPL1 x ZPL2). U osmoj nedelji nakon oplodnje najviši procenat vlage u zrnu imali su: H1R (ZPL2 x ZPL1), H9 (ZPL2 x ZPL5), H14R (ZPL5 x ZPL4), H8R (ZPL6 x ZPL2) i H5 (ZPL1 x ZPL5). U devetoj nedelji nakon oplodnje najviši procenat vlage u zrnu zabeležen je kod sledećih hibrida: H1R (ZPL2 x ZPL1), H1 (ZPL1 x ZPL2), H5 (ZPL1 x ZPL5), H9 (ZPL2 x ZPL5) i H8 (ZPL2 x ZPL6). U poslednjoj nedelji merenja, odnosno u desetoj nedelji nakon oplodnje hibridi sa najvećim procentom vlage u zrnu bili su hibridi: H1 (ZPL1 x ZPL2), H1R (ZPL2 x ZPL1), H5R (ZPL5 x ZPL1), H5 (ZPL1 x ZPL5) i H9 (ZPL2 x ZPL5).

Sa druge strane hibridi koji su imali najmanji procenat vlage u zrnu na istoj lokaciji, u sedmoj nedelji nakon oplodnje bili su: H10 (ZPL3 x ZPL4), H13 (ZPL4 x ZPL6), H10R (ZPL4 x ZPL3), H13R (ZPL6 x ZPL4) i H4 (ZPL1 x ZPL6). U osmoj nedelji nakon oplodnje najmanji precenat vlage u zrnu imali su sledeći hibridi: H10R (ZPL4 x ZPL3), H10 (ZPL3 x ZPL4), H7R (ZPL4 x ZPL2), H13R (ZPL6 x ZPL4) i H11 (ZPL3 x ZPL6). U devetoj nedelji najmanje vlage u zrnu zabeležili su hibridi: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H14R (ZPL5 x ZPL4), H13 (ZPL4 x ZPL6), H13R (ZPL6 x ZPL4) i H11 (ZPL3 x ZPL6). Prilikom žetve, odnosno u 10 nedelji nakon oplodnje hibridi koji su imali najmanji sadržaj vlage u zrnu bili su: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H13 (ZPL4 x ZPL6), H14 (ZPL4 x ZPL5), H14R (ZPL5 x ZPL4) i H7R (ZPL4 x ZPL2).

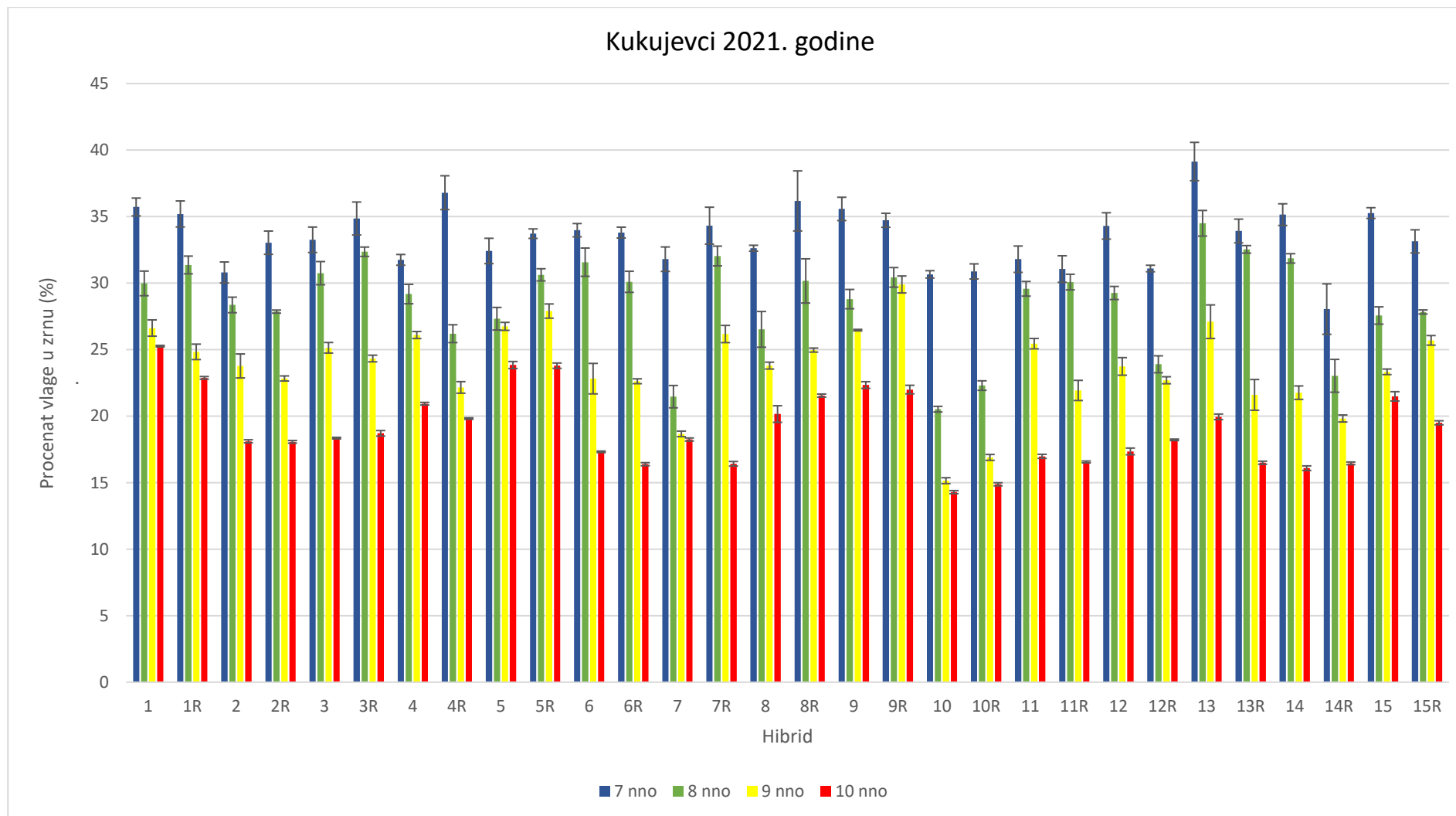


Grafikikon 11. Dinamika otpuštanja vlage iz zrna na lokaciji Selekciono Polje u 2021. godini sa ucrtanim standardnim devijacijama

### Školsko Dobro 2021. godine



Grafikon 12. Dinamika otpuštanja vlage iz zrna na lokaciji Školsko Dobro u 2021. godini sa ucrtanim standardnim devijacijama



Grafikikon 13. Dinamika otpuštanja vlage iz zrna na lokaciji Kukujevci u 2021. godini sa ucrtanim standardnim devijacija

Na grafikonima 14, 15 i 16., prikazani su bar dijagrami za dinamiku otpuštanja vlage iz zrna sa ucrtanim standardnim devijacijama, na tri lokaliteta za 2022. godinu.

Na lokaciji Selekciono Polje u 2022. godini (grafikon 14.), u prvoj nedelji merenja vlage u zrnu, odnosno sedmoj nedelji nakon oplodnje hibridi sa najvećim sadržajem vlage u zrnu bili su: H1R (ZPL2 x ZPL1), H8R (ZPL6 x ZPL2), H9 (ZPL2 x ZPL5), H15 (ZPL6 x ZPL5) i H1 (ZPL1 x ZPL2). U osmoj nedelji nakon oplodnje najviši procenat vlage u zrnu imali su: H1R (ZPL2 x ZPL1), H9 (ZPL2 x ZPL5), H14R (ZPL5 x ZPL4), H8R (ZPL6 x ZPL2) i H5 (ZPL1 x ZPL5). U devetoj nedelji nakon oplodnje najviši procenat vlage u zrnu zabeležen je kod sledećih hibrida: H1R (ZPL2 x ZPL1), H1 (ZPL1 x ZPL2), H5 (ZPL1 x ZPL5), H9 (ZPL2 x ZPL5) i H8 (ZPL2 x ZPL6). U poslednjoj nedelji merenja, odnosno u desetoj nedelji nakon oplodnje hibridi sa najvećim procentom vlage u zrnu bili su hibridi: H1 (ZPL1 x ZPL2), H1R (ZPL2 x ZPL1), H5R (ZPL5 x ZPL1), H5 (ZPL1 x ZPL5) i H9 (ZPL2 x ZPL5).

Sa druge strane hibridi koji su imali najmanji procenat vlage u zrnu na istoj lokaciji, u sedmoj nedelji nakon oplodnje bili su: H10 (ZPL3 x ZPL4), H13 (ZPL4 x ZPL6), H10R (ZPL4 x ZPL3), H13R (ZPL6 x ZPL4) i H4 (ZPL1 x ZPL6). U osmoj nedelji nakon oplodnje najmanji procenat vlage u zrnu imali su sledeći hibridi: H10R (ZPL4 x ZPL3), H10 (ZPL3 x ZPL4), H7R (ZPL4 x ZPL2), H13R (ZPL6 x ZPL4) i H11 (ZPL3 x ZPL6). U devetoj nedelji najmanje vlage u zrnu zabeležili su hibridi: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H14R (ZPL5 x ZPL4), H13 (ZPL4 x ZPL6), H13R (ZPL6 x ZPL4) i H11 (ZPL3 x ZPL6). Prilikom žetve, odnosno u 10 nedelji nakon oplodnje hibridi koji su imali najmanji sadržaj vlage u zrnu bili su: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H13 (ZPL4 x ZPL6), H14 (ZPL4 x ZPL5), H14R (ZPL5 x ZPL4) i H7R (ZPL4 x ZPL2).

Na lokaciji Školsko Dobro u drugoj godini ispitivanja (grafikon 15.), prilikom prvog merenja (8 nedelja nakon oplodnje), hibridi koji su imali najveći procenat vlage u zrnu bili su: H15R (ZPL5 x ZPL6), H15 (ZPL6 x ZPL5), H11 (ZPL3 x ZPL6), H12 (ZPL3 x ZPL5) i H1 (ZPL1 x ZPL2). U devetoj nedelji nakon oplodnje najveći procenat vlage u zrnu zabeležen je kod hibrida: H15R (ZPL5 x ZPL6), H1R (ZPL2 x ZPL1), H9 (ZPL2 x ZPL5), H11 (ZPL3 x ZPL6) i H15 (ZPL6 x ZPL5). U desetoj nedelji nakon oplodnje hibridi koji su ostvarili najveći sadržaj vlage u zrnu bili su H15R (ZPL5 x ZPL6), H15 (ZPL6 x ZPL5), H1R (ZPL2 x ZPL1), H11 (ZPL3 x ZPL6) i H12 (ZPL3 x ZPL5). U jedanaestoj nedelji nakon oplodnje, prilikom žetve hibridi koji su pokazali najveći procenat vlage u zrnu bili su: H15R (ZPL5 x ZPL6), H15 (ZPL6 x ZPL5), H1 (ZPL1 x ZPL2), H1R (ZPL2 x ZPL1), H5 (ZPL1 x ZPL5) i H9 (ZPL2 x ZPL5).

Na istoj lokaciji, tri hibrida su se istakla niskim procentom vlage u zrnu prilikom prvog merenja tokom osme nedelje nakon oplodnje i to: H10 (ZPL3 x ZPL4), H8 (ZPL2 x ZPL6) i H4R (ZPL6 x ZPL1). U devetoj nedelji najmanje vlage u zrnu zabeležili su hibridi: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H4R (ZPL6 x ZPL1), H13R (ZPL6 x ZPL4) i H3 (ZPL1 x ZPL4). U desetoj nedelji nakon oplodnje hibridi koji su imali najmanji procenat vlage u zrnu bili su: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H4R (ZPL6 x ZPL1), H3 (ZPL1 x ZPL4), H13 (ZPL4 x ZPL6) i H13R (ZPL6 x ZPL4). Prilikom žetve u jedanaestoj nedelji nakon oplodnje najmanju vlagu imali su hibridi: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H3 (ZPL1 x ZPL4), H4R (ZPL6 x ZPL1), H13 (ZPL4 x ZPL6) i H13R (ZPL6 x ZPL4).

Na grafikonu 16., prikazana je dinamika gubitka vlage iz zrna na lokaciji Ruma za 2022. godinu. Na prvom merenju sadržaja vlage u zrnu (7 nedelja nakon oplodnje) hibridi sa najvećim procentom vlage bili su: H1R (ZPL2 x ZPL1), H4R (ZPL6 x ZPL1), H8R (ZPL6 x ZPL2), H9 (ZPL x ZPL) i H9R (ZPL5 x ZPL2). U osmoj nedelji nakon oplodnje najviši procenat vlage u zrnu dobijen je kod sledećih hibrida: H1R (ZPL2 x ZPL1), H5 (ZPL1 x ZPL5), H5R (ZPL5 x ZPL1), H9 (ZPL2 x ZPL5) i H4 (ZPL1 x ZPL6). U devetoj nedelji nakon oplodnje najviše vlage u zrnu na ovoj lokaciji imali su sledeći hibridi: H1R (ZPL2 x ZPL1), H1 (ZPL1 x ZPL2), H5 (ZPL1 x ZPL5), H5R (ZPL5 x ZPL1) i H9 (ZPL2 x ZPL5). Prilikom žetve kukuruza u desetoj nedelji nakon oplodnje najviši

sadržaj vlage u zrnu imali su hibridi: H1 (ZPL1 x ZPL2), H1R (ZPL2 x ZPL1), H5 (ZPL1 x ZPL5), H5R (ZPL5 x ZPL1), H9 (ZPL2 x ZPL5) i H4 (ZPL1 x ZPL6).

Sa druge strane, dva hibrida izdvojila su se sa najmanjim procenatom vlage u sedmoj nedelji nakon oplodnje i to hibrid H10 (ZPL3 x ZPL4) i njegova recipročna kombinacija H10R (ZPL4 x ZPL3). U osmoj nedelji nakon oplodnje najmanji procenat vlage u zrnu imali su hibridi: H10R (ZPL4 x ZPL3), H10 (ZPL3 x ZPL4), H14 (ZPL4 x ZPL5), H11 (ZPL3 x ZPL6), H11R (ZPL6 x ZPL3) i H7 (ZPL2 x ZPL4). U devetoj nedelji najmanje vlage u zrnu zabeležili su hibridi: H10 (ZPL3 x ZPL4), H10R (ZPL4 x ZPL3), H14 (ZPL4 x ZPL5), H7 (ZPL2 x ZPL4) i H6 (ZPL2 x ZPL3). Prilikom žetve, odnosno u 10 nedelji nakon oplodnje hibridi koji su imali najmanji procenat vlage u zrnu bili su: H10 (ZPL3 x ZPL4), H6 (ZPL2 x ZPL3), H7 (ZPL2 x ZPL4), H11 (ZPL3 x ZPL6), H14 (ZPL4 x ZPL5) i H13 (ZPL4 x ZPL6) i njihove recipročne kombinacije.

U 2022. godini ispitivanja potvrđeni su rezultati dinamike otpuštanja vlage iz zrna kod hibrida H10/H10R (ZPL3 x ZPL4; ZPL4 x ZPL3) sa rezultatima iz prethodne godine, te se može usvojiti pretpostavka da se radi o odličnom materijalu za stvaranje F2 populacije radi stvaranja novih ranostasnih samooplodnih linija, ili za upotrebu ove kombinacije kao sestrinskog ukrštanja pri stvaranju trolinijskih hibrida.

Posmatrajući dinamiku otpuštanja vlage iz zrna u 2022. godini kroz odnos hibridizacije srednje ranih samooplodnih linija sa srednje kasnim samooplodnim linijama, može se reći da se rezultati ponavljaju.

U ukrštanju tri srednje rane linije ZPL3, ZPL4 i ZPL6 sa srednje kasnom linijom ZPL1 i njihovih recipročnih kombinacija napravljeni su hibridi: H2/H2R, H3/H3R i H4/H4R, upravo tim redosledom. Na lokaciji Selekciono Polje (grafikon 12.) prilikom prvog merenja hibrid H3/H3R ima veću vlagu od hibrida H4/H4R i H2/H2R, prilikom drugog merenja vlage između ovih šest hibrida se ujednačavaju, da bi prilikom poslednja dva merenja hibridi H2/H2R i H3/H3R značajno brže otpustili sadržaj vlage iz zrna dok se kod hibrida H4/H4R procenat vlage teže spuštao kako se bližila žetva. Na lokaciji Školsko Dobro prvo uzimanje uzoraka desilo se nedelju dana kasnije, odnosno 8 nedelje nakon oplodnje. Na grafikonu 13., primećuje se da su vlage kod svih šest hibrida prilično ujednačene prilikom prvog merenja, da bi u narednim merenjima došlo do ubrzanijeg pada vlage kod hibrida H3 (ZPL1 x ZPL4). Prilikom žetve najbolje rezultate ostvarili su hibridi H3/H3R, zatim H2/H2R i na kraju H4/H4R. Na lokaciji Ruma prilikom prvog merenja veći procenat vlage u zrnu zabeležen je kod hibrida H4/H4R i H3/H3R nego kod hibrida H2/H2R. Prilikom sledećih merenja vidi se da hibridi H2/H2R i H3/H3R lakše i brže otpuštaju vlagu od hibrida H4/H4R.

U ukrštanju tri srednje rane linije ZPL3, ZPL4 i ZPL6 sa srednje kasnom linijom ZPL2 i njihovih recipročnih kombinacija stvoreni su hibridi H6/H6R, H7/H7R i H8/H8R, tim redosledom. Na lokacijama Selekciono Polje i Kukujevci prilikom prvog merenja sadržaja vlage u zrnu koje se desilo u sedmoj nedelji nakon oplodnje, primetno je da hibrid H8/H8R ima veći sadržaj vlage naspram H6/H6R i H7/H7R, na lokaciji Školsko Dobro prvo merenje desilo se nedelju dana kasnije pa su vlage dosta ujednačene. U kasnijim merenjima primetno je da hibrid H7/H7R poseduje izuzetnu sposobnost brzog otpuštanja vlage iz zrna. Prilikom žetve odnosno poslednjeg merenja vidi se da hibrid H7/H7R za nijansu bolje otpusti vlagu od hibrida H6/H6R dok hibrid H8/H8R zadrži najveće procenat.

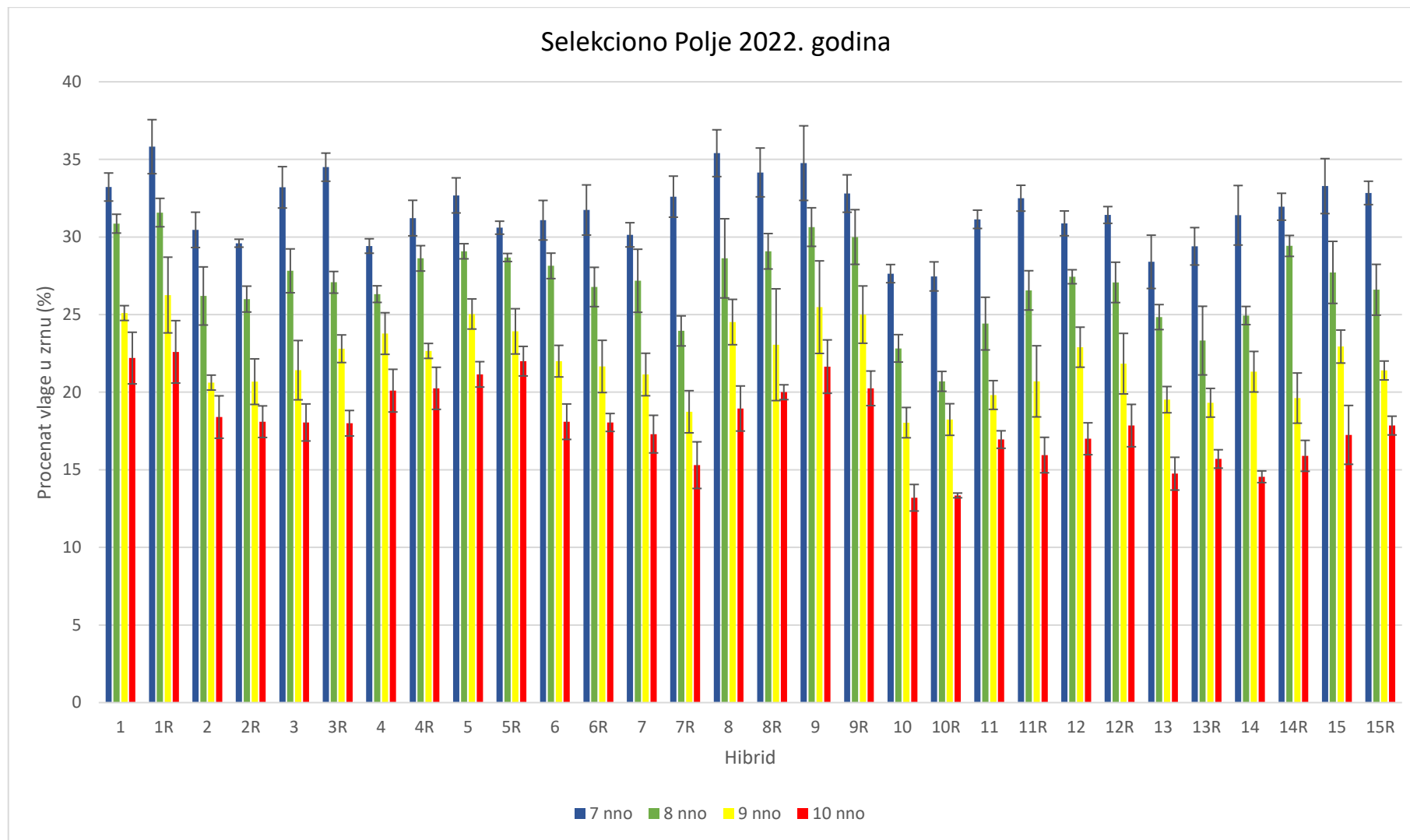
U ukrštanju tri srednje rane linije ZPL3, ZPL4 i ZPL6 sa srednje kasnom linijom ZPL5 i njihovih recipročnih kombinacija napravljeni su hibridi H12/H12R, H14/H14R i H15/H15R, tim redosledom. Na sve tri lokacije prilikom prvog merenja najmanji procenat vlage vidimo kod hibrida H12/H12R, zatim kod hibrida H14/H14R, dok najveću vlagu prilikom prvog merenja uočavamo kod hibrida H15/H15R. U narednim merenjima hibrid H14/H14R brže otpušta vlagu od hibrida H12/H12R i završava kao hibrid sa najmanjom vlagom na sve tri lokacije. Hibrid H15/H15R u uslovima veće količine padavina ima znatno veće procenat sadržaja vlage u zrnu naspram početne 2021. godine ovog ispitivanja.

Može se primetiti da su standardne devijacije u 2022. godini znatno veće u odnosu na 2021. godinu i to se može objasniti većom količinom padavina u 2022. godini. Veće vrednosti standardnih

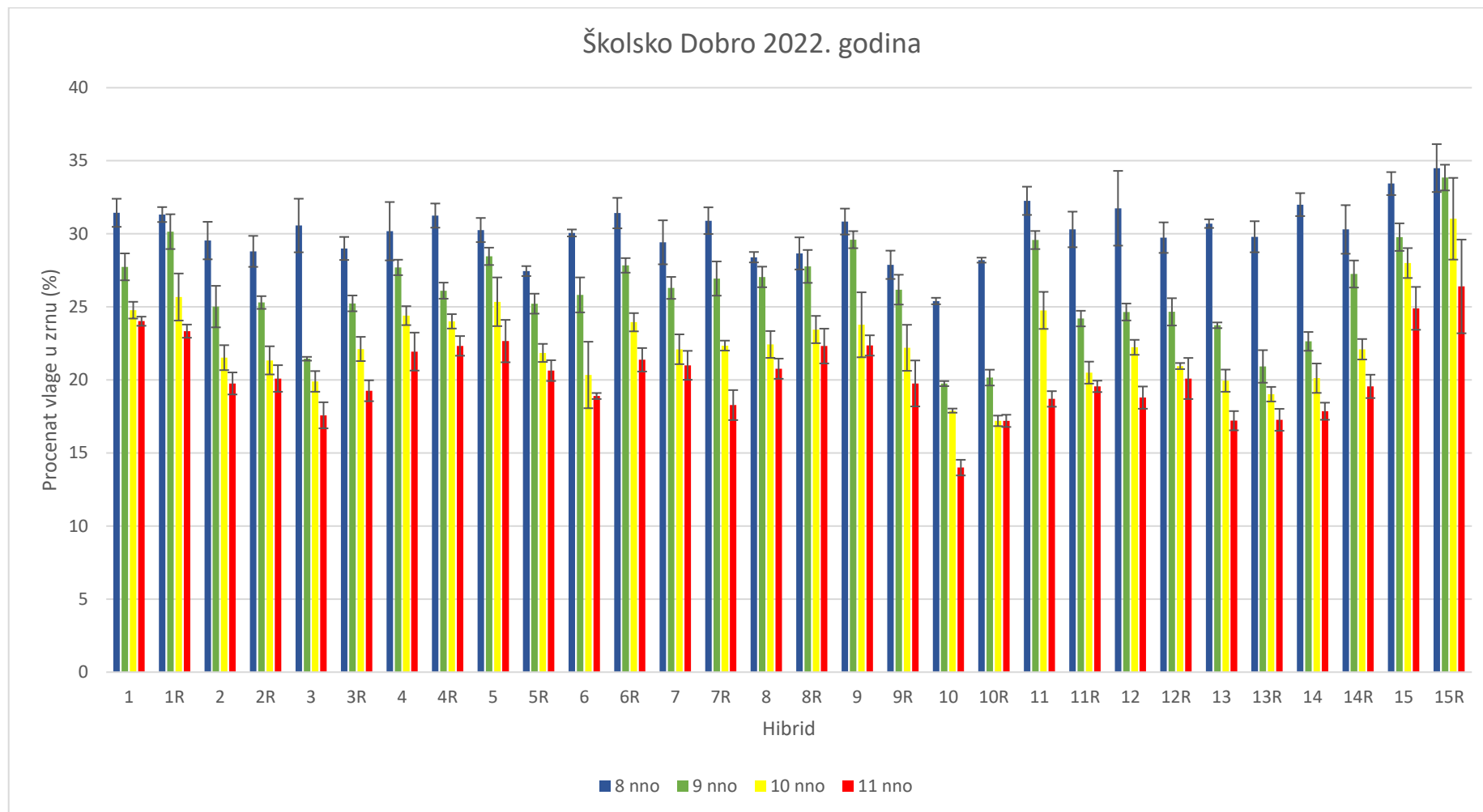


devijacija, odnosno odstupanja od aritmetičke sredine uzorka sreću se u prva dva merenja koja su označena plavom i zelenom bojom. U poslednja dva merenja, koja su obeležena žutom i crvenom bojom, primetno je smanjenje standardne devijacije u obe godine istraživanja.

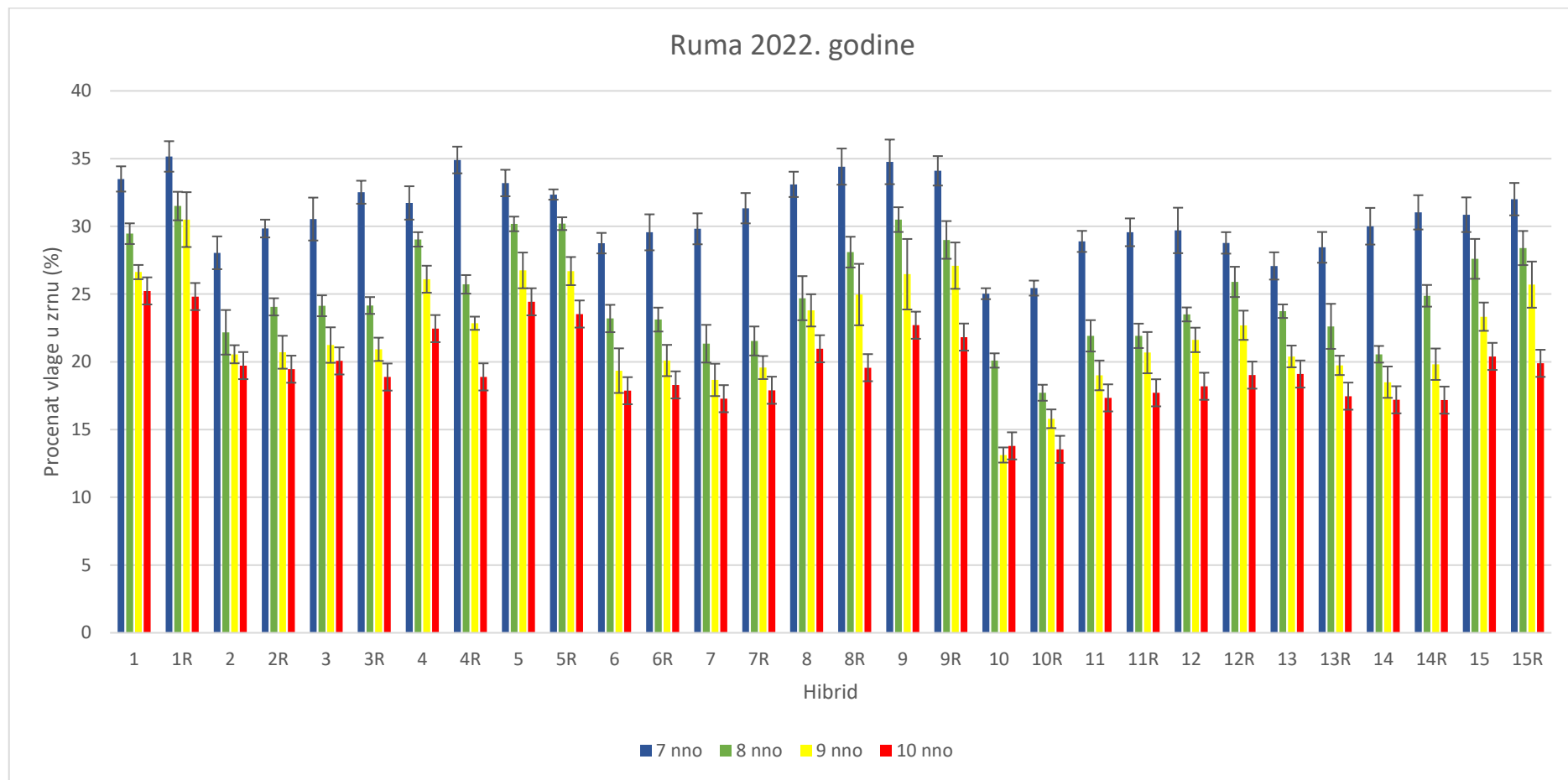
Melut i Rosca (2016) navode da kada su u pitanju hibridi kukuruza onda njihova pripadnost različitim vremenima stasavanja igra važnu ulogu u brzini otpuštanja vlage. Raniji hibridi brže otpuštaju vlagu od kasnostasnijih, Pokrivenost komušinom, površina i broj listova komušine, čvrstina obuhvatanja klipa, brzina starenja su razlozi za brže ili sporije odavanje vlage u zrenju može ubrzati, ali i usporiti otpuštanje vlage. Pokazalo se da vlaga komušine ima direktan pozitivan efekat, na fenotipskom nivou, na procenat vlage zrna kukuruza u punoj zrelosti (Kang et al., 1983).



Grafikikon 14. Dinamika otpuštanja vlage iz zrna na lokaciji Selekciono Polje u 2022. godini sa ucrtanim standardnim devijacijama



Grafikon 15. Dinamika otpuštanja vlage iz zrna na lokaciji Školsko Dobro u 2022. godini sa ucrtanim standardnim devijacijama



Grafikon 16. Dinamika otpuštanja vlage iz zrna na lokaciji Ruma u 2022. godini sa ucrtanim standardnim devijacijama

Vlažnost lista komušine je važan faktor koji utiče na brzinu gubljenja vlage zrna u kukuruza. Osobine komušine, uključujući broj listova, dužinu i težinu komušine, povezane su sa sadržajem vlage u zrnu u fazi žetve-berbe (Cross et al., 1987). Sawada et al. (1995) smatraju da je komušina kao sastavni deo klipa najefikasniji fotosintetički organ kukuruza, koji ima veću efikasnost asimilacije ugljenika i veći doprinos suvoj materiji zrna po jedinici površine nego same liske kukuruza. Odgovarajuća čvrstina i pokrivenost komušine štiti klip od invazije bolesti i insekata (Pengelly et al., 2011). Pored toga, komušina održava odgovarajuću temperaturu za rast i razvoj klipa (Quatter et al., 1987).

Osobine perikarpa zrna-tvrđi sporije otpušta vlagu. Položaj klipa u odnosu na stablo (uspravni nisu pogodni kao polusavijeni i savijeni klipovi u fazi zrenja). Hunter et al. (1979), su ispitivali u klimatskim uslovima Ontarija (SAD) brzinu otpuštanja vlage u zrnu kukuruza i utvrdili da hibridi tipa zubana imaju viši nivo vlage u fiziološkoj zrelosti od hibrida tvrdunaca, ali da nema inherentne velike razlike u brzini sušenja na terenu između tipova endosperma zubana i tvrdunaca. Ovo ne sugerise da sastav endosperma ima ekvivalentnu stopu gubljenja vlage kao i germplazma endosperma zubana koja se toliko koristi u Severnoj Americi. Međutim, podaci sugerisu da tip endosperma tvrdunaca sam po sebi nije odgovoran za sporo odavanje vlage iz zrna kukuruza.

Melut i Rosca (2016 *ibid.*) analizirali su 18 komercijalnih hibrida u Rumuniji iz različitih grupa zrenja FAO 260-510 sa ciljem da utvrde brzinu gubitka vlage iz zrna. Prvo određivanje vlage je izvršeno u fazi fiziološke zrelosti (vlažnost 30%) od 3 u 3 dana (crni sloj). Posle toga uzorke su uzimali i utvrđivali vlagu svakodnevno do vlažnosti od 15% vlažnosti zrna za svaki hibrid. Rezultati pokazuju procenat gubitka vode iz zrna od 0,28 do 1,1% na dnevnom nivou u zavisnosti od hibrida. Navode da je gubitak vlage bio ravnomerniji kod ranih hibrida i iznosio je 0,58% po danu, a kod kasnostasnijih 0,79% po danu. Neposredno po dostizanju fiziološke zrelosti, brzina gubitka vlage zrna kod ranih hibrida je sporija od vrednosti kod kasnih hibrida i iznosi 0,47%/dan i 0,79%/dan, tim redosledom. Prelaskom iz fiziološke zrelosti u punu, stepen gubitka vlage po danu se smanjio i iznosio je za rane hibride sa sintezom suve materije u zrnu fiziološke zrelosti za tehnološku zrelost (15%), stopa gubitka vode u zrnu iznosi 0,38%/dan za rane hibride i 0,43%/dan za kasne hibride. Drugi aspekt eksperimentisanja je zauzet nakon što je zaključeno da hibridi sa zrnom u tipu tvrdunaca gube vodu sporije 0,33% po danu od hibrida zrna zubana, u proseku 0,73% po danu. Ovi rezultati su saglasni sa našim rezultatima.

Od ispitivanih hibrida tvrdunci gube vodu sporije od hibrida zubana, u proseku 0,33%/dan i 0,73%/dan, tim redosledom.

Proizvođači kukuruza u brdskim predelima kod nas gde je obično zbog nadmorske visine kraći vegetacioni period često će rado izabrati za setvu kasnostasniji hibrid sa većim potencijalom prinosa zrna nego što je preporučeno na osnovu rejonizacije za njihov region. Ako se ovi hibridi srednjeg do kasnog stasavanja ne opraše do avgusta, postoji rizik od nedovoljnog vremena za nalivanje zrna i odavanje vlage pre dolaska hladnijeg vremena što usporava razvoj ili dolazi do ranog mraza. Poželjan hibrid bi za te uslove bio jedan sa srednjom do kasnom zrelošću i sa brzim otpuštanjem vlage iz zrna. Ima dosta radova sa selekcijom genotipova kukuruza sa brzim otpuštanjem vlage iz zrna (Cross, 1995; Magari et al, 1997; Poneleit i Egli, 1979).

## **7.6 Regresiona analiza dinamike otpuštanja vlage iz zrna samooplodnih linija kukuruza na osnovu potomstva**

Za predviđanje dinamike otpuštanja vlage iz zrna kod samooplodnih linija kukuruza prateći procenat vlage njihovog potomstva korišćen je model linearne regresije. Za nezavisno promenljivu varijablu ( $x$ ) uzet je broj nedelja nakon oplodnje, a za zavisno promenljivu ( $y$ ) uzet je procenat vlage u zrnu. Ispitujući svaku samooplodnu liniju ponaosob za analizu su uzeti svi hibridi u kojima je ispitivana samooplodna linija činila jednu roditeljsku komponentu, a takvih hibrida u ogledu bilo je

10. Za svaku godinu ispitivanja, četiri nedelje merenja se analiziralo počevši od sedme nedelje nakon oplodnje, na sve tri lokacije. Dakle, sve ukupno 120 opservacija za svaku samooplodnu liniju.

Na grafikonu 17., predstavljena je linearna regresija dinamike otpuštanja vlage iz zrna kod srednje kasnih samooplodnih linija kukuruza u 2021. godini.

Za srednje kasnu samooplodnu liniju ZPL1 izabrani model je izračunao koeficijent regresije od  $-4,44$  kako ova vrednost predstavlja prosečnu promenu zavisno promenljive ( $y$ ) za jedinično povećanje nezavisno promenljive ( $x$ ), regresioni model drugim rečima predviđa smanjenje vlage u proseku za  $-4,44\%$  na nedeljnom nivou kod svih hibrida koji u sebi imaju liniju ZPL1 kao jednu od roditeljskih komponenti.

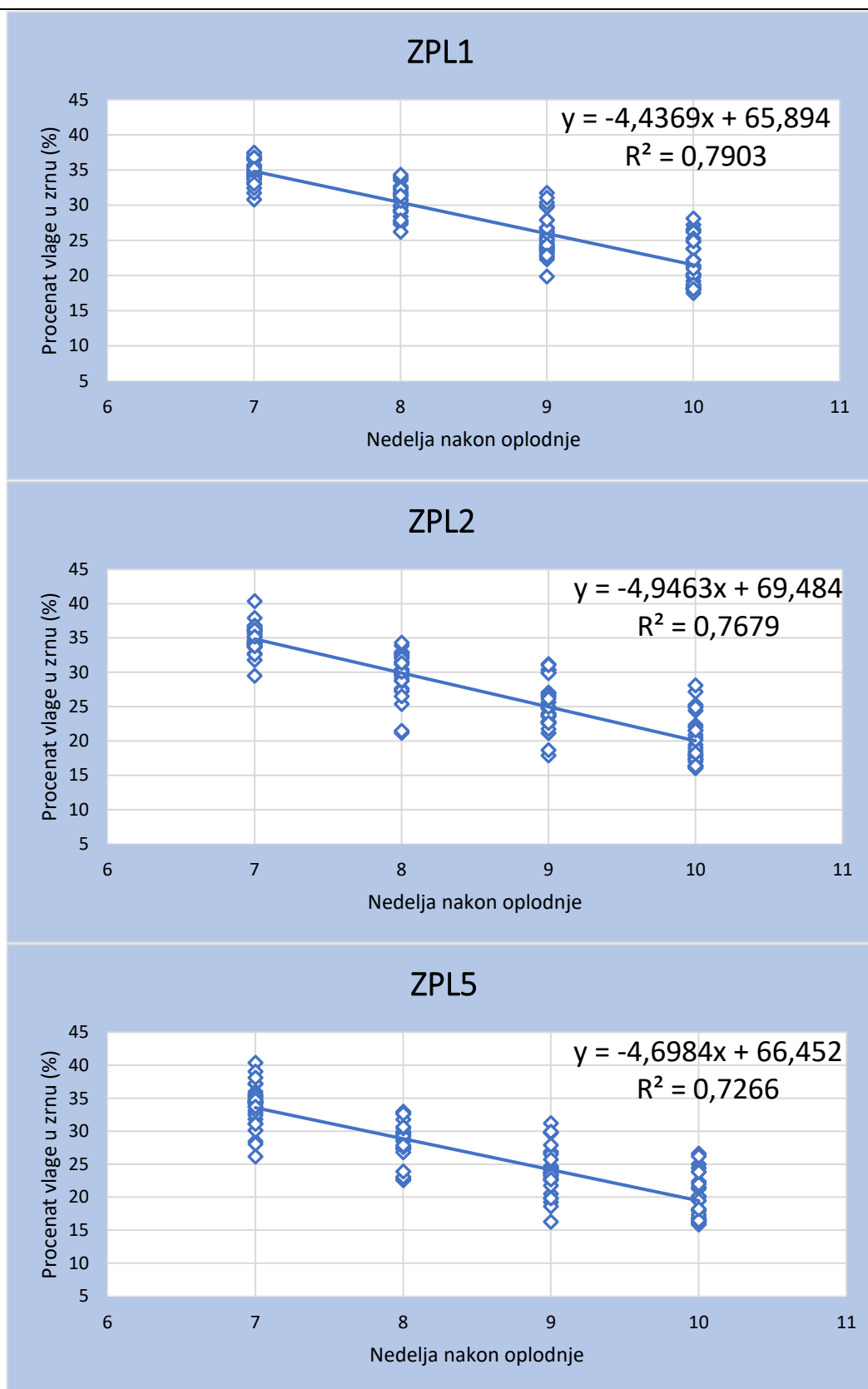
Regresiona konstanta je  $65,89$ , dok je koeficijent determinacije  $R^2 = 0,79$ . Dakle,  $79\%$  ispitivanih varijacija je objašnjeno ovim modelom. Kod druge srednje kasne samooplodne linije ZPL2 koeficijent regresije bio je  $-4,95$ , regresiona konstanta je  $69,48$  dok ovakav model objašnjava  $77\%$  ispitivanih varijacija. Koeficijent regresije poslednje samooplodne linije ZPL5 iznosio je  $-4,70$ , regresiona konstanta je  $66,45$  dok je koeficijent determinacije  $R^2$  bio  $0,73$ .

Iz ovoga bi se moglo zaključiti da su hibridi koji su u sebi imali srednje kasnu samooplodnu liniju ZPL1 na nedeljnom nivou najsporije gubili vlagu iz zrna ( $-4,44\%$ ), zatim hibridi koji su u sebi imali liniju ZPL5 ( $-4,70$ ), dok su hibridi koji su u sebi imali srednje kasnu liniju ZPL2 najbrže gubili vlagu iz kategorije srednje kasnih linija, odnosno u proseku za  $-4,95\%$  na nedeljnom nivou.

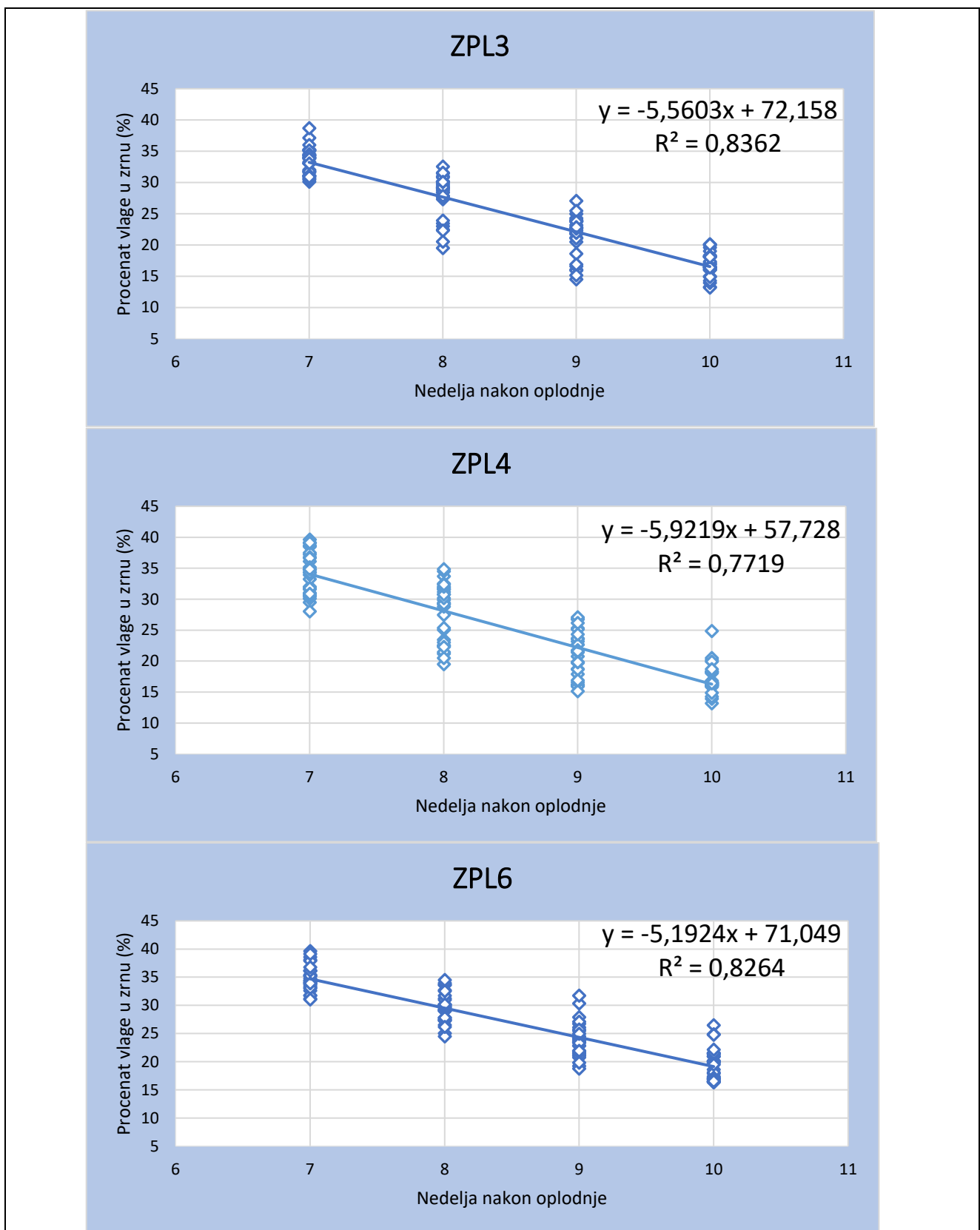
Na grafikonu 18., predstavljena je linearna regresija dinamike otpuštanja vlage iz zrna kod srednje ranih samooplodnih linija kukuruza u 2021. godini.

Za srednje ranu samooplodnu liniju ZPL3 statistički model izračunao je koeficijent regresije od  $-5,56$ , regresionu konstantu od  $72,16$  i koeficijent determinacije od  $0,84$ . Srednje rana linija ZPL4 imala je najveći koeficijent regresije od ispitivanih samooplodnih linija i on je iznosio  $-5,92$  sa koeficijentom determinacije od  $0,77$ . ZPL6 ostvarila je vrednost koeficijenta regresije od  $-5,19$ , regresiona konstanta iznosila je  $71,05$  dok je koeficijent determinacije bio  $83\%$ .

Kada su u pitanju srednje rane linije jasno se uočava da hibridi koji u sebi sadrže samooplodnu liniju ZPL4 kao jednu od roditeljskih komponenti, brzo otpuštaju vlagu iz zrna i to za  $-5,92\%$  nedeljno; zatim sledi linija ZPL3 sa  $-5,56\%$  gubitke vlage iz zrna nedeljno; dok se najsporije otpuštanje vlage dešava kod hibrida koji u sebi imaju liniju ZPL6 kao roditeljsku komponentu sa  $-5,19\%$  na nedeljnom nivou.



Grafikon 17. Regresiona analiza dinamike otpuštanja vlage srednje kasnih samooplodnih linija u 2021. godini



Grafikon 18. Regresiona analiza dinamike otpuštanja vlage srednje ranih samooplodnih linija u 2021. godini



Na grafikonu 19., predstavljena je linearna regresija dinamike otpuštanja vlage iz zrna kod srednje kasnih, a na grafikonu 20., srednje ranih samooplodnih linija kukuruza u 2022. godini.

Srednje kasna linija ZPL1 u drugoj godini ispitivanja imala je koeficijent regresije od -3,50; regresiona konstanta iznosila je 55,37., dok je koeficijent determinacije ( $R^2$ ) iznosio 0,70. Druga srednje kasna linija ZPL2 imala je koeficijent regresije -3,80, regresiona konstanta bila je 58,07., a koeficijent determinacije 72%. Koeficijent regresije kod treće srednje kasne samooplodne linije ZPL5 iznosio je -3,77, regresiona konstanta 57,76., a koeficijent determinacije 0,73.

Upoređujući rezultate sa rezultatima iz 2021. godine, može se primetiti da se rang koeficijenata regresije nije menjao, te da su hibridi koji su u sebi imali samooplodnu liniju ZPL1 za majku ili oca u proseku gubili vlagu za -3,50% na nedeljnom nivou, zatim idu hibridi koji su imali jednu od roditeljskih komponenti liniju ZPL5 sa nedeljnim gubitkom vlage od oko -3,77; dok su vlagu najbrže otpuštali hibridi u kojima je učestvovala linija ZPL2 sa nedeljnim gubitkom vlage iz zrna od -3,80%.

Kod srednje rane linije ZPL3 model je izračunao koeficijent regresije od -4,00, regresiona konstanta iznosila je 57,01; a koeficijent determinacije bio je 0,78 (grafikon 22). Druga srednje rana linija ZPL4 opet je imala najveći koeficijent regresije i on je iznosio -4,30, kod ove linije regresiona konstanta bila je 59,03; a koeficijent determinacije 0,79. Treća srednje rana samooplodna linija ZPL6 imala je koeficijent regresije od -3,92, regresionu konstantu 46,26 i koeficijent determinacije 0,69.

Naspram rezultata iz početne 2021. godine, ni u ovoj godini nije došlo do promene ranga i kod srednje ranih samooplodnih linija. Hibridi koji su najbrže otpuštali vlagu imali su u sebi kao roditeljsku komponentu liniju ZPL4 i oni su je otpuštali u proseku na nedeljnom nivou za -4,30%, pratili su ih hibridi koji su za majčinsku ili očinsku komponentu imali samooplodnu liniju ZPL3 sa nedeljnim gubitkom vlage od -4,00%, dok su najsporije vlagu iz zrna otpuštali hibridi koji su kao roditeljsku komponentu imali liniju ZPL6 i to za -3,92% na nedeljnom nivou.

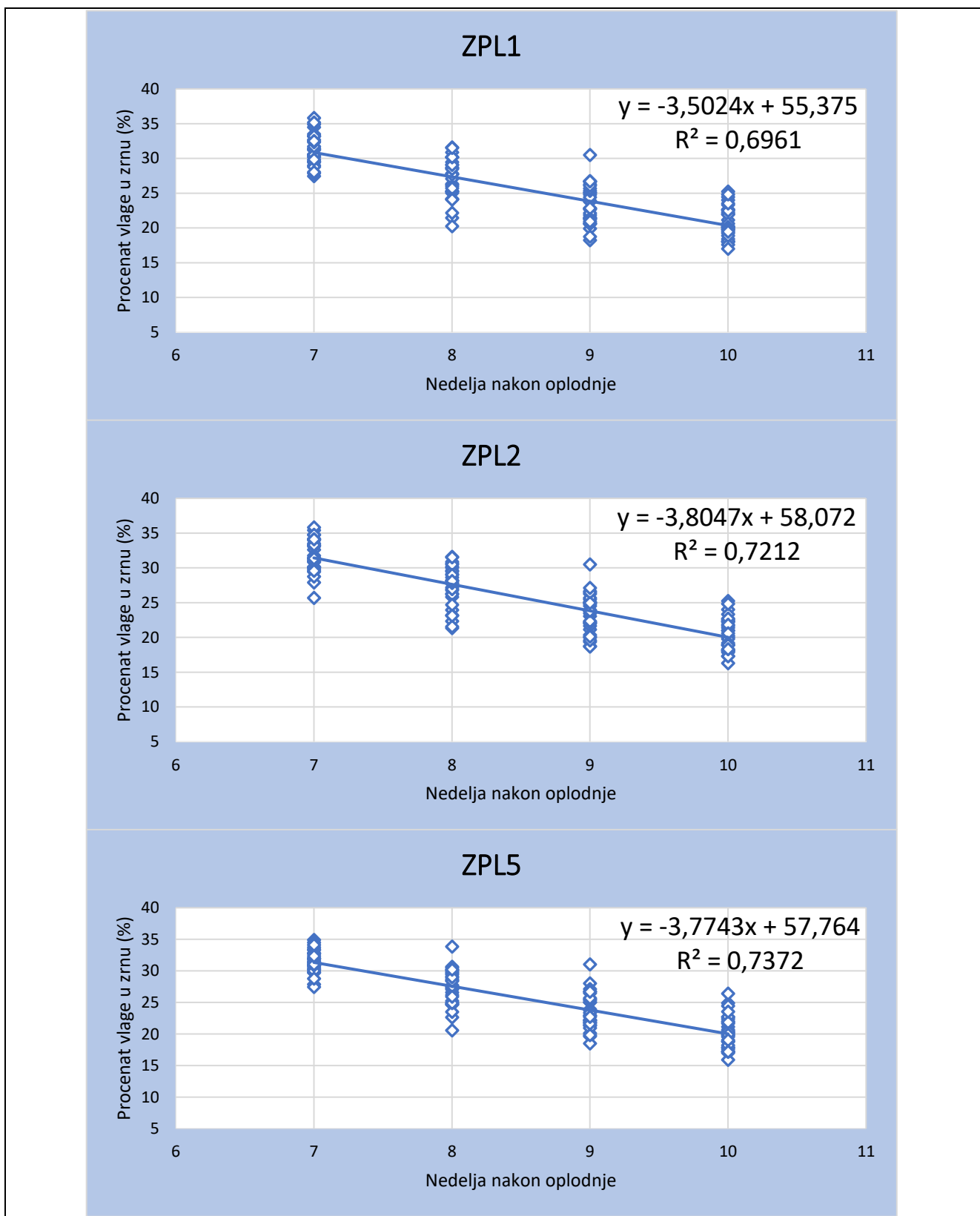
Može se primetiti i da su koeficijenti regresije bili niži u 2022. godini, to je zbog toga što se kasnilo za jednu nedelju prilikom prvog uzorkovanja sa lokacije Školsko Dobro.

Širok raspon vrednosti objavljenih u naučnim i stručnim radovima je onemogućio korišćenje vlage zrna kao procene fiziološke zrelosti kod kukuruza (*Zea mays* L.). Razlog za ovu varijabilnost u vrednostima za vlažnost zrna ostaje nejasan.

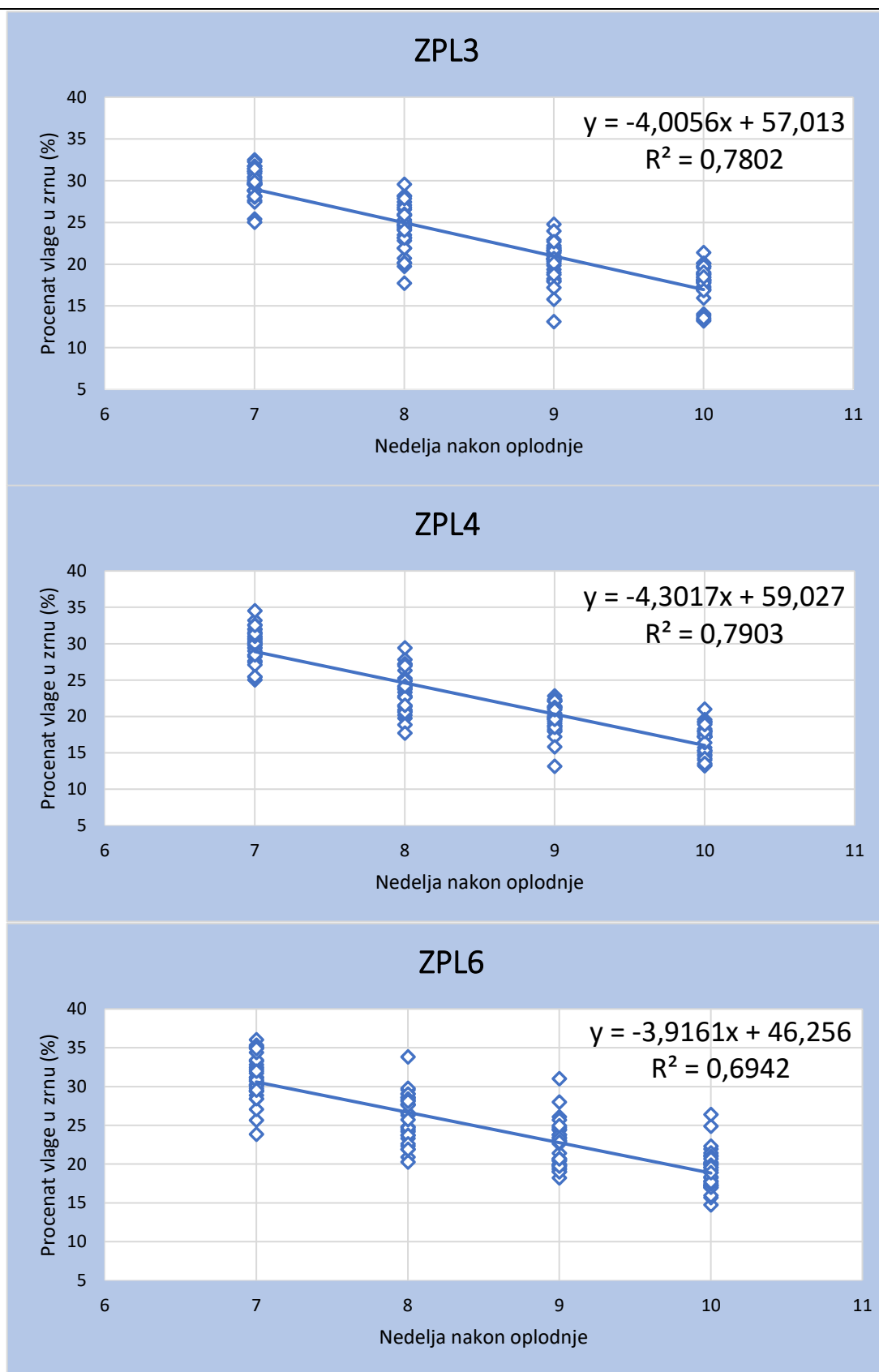
Tačan i jednostavan metod za procenu fiziološke zrelosti bio bi dragocen za proizvođače semena i za oplemenjivače kukuruza. U tom pogledu razvijene su različite metodologije. Najtačniji metod za određivanje fiziološke zrelosti je praćenje akumulacije suve materije u jezgru posle oplodnje. Koristeći ovu metodu (Rench i Shaw, 1971; Daynard, 1972; Carter i Poneleit, 1973) potvrđuju da vlažnost zrna u fiziološkoj zrelosti može uveliko varirati (15,4–37,3% u citiranim radovima) kada je fiziološka zrelost zasnovana na formiranju crnog sloja. Ova varijabilnost je verovatno povezana sa neujednačenošću u formiranju crnog sloja između zrna i između biljaka, kao i sa dužim vremenom potrebnim da se crni sloj u potpunosti formira u hladnim uslovima koji se često susreću na kraju vegetacionog perioda u kasnoj jeseni. Zato je potreban oprez kada se koriste metode indirektnog procenjivanja fiziološke zrelosti kao što je crni sloj za procenu vlažnosti zrna na fiziološka zrelost (Brooking, 1990).

Druga metodologija koja se koristi za određivanje fiziološke zrelosti zasniva se na vlažnosti zrna. Tradicionalno, zrna kukuruza se smatraju zrelim kada dostignu vlažnost od 30 do 35% (Carter i Poneleit, 1973).

Čini se da je dinamika sadržaja vode u zrnu tokom punjenja zrna blisko koordinisana sa nakupljanjem i taloženjem suve materije tokom efektivnog perioda nalivanja zrna. Jedan od načina da se vizuelizuju ovi koordinisani procesi je da se prati odnos smanjenja vlage zrna tokom nalivanja zrna (Sala et al., 2007).



Grafikon 19. Regresiona analiza dinamike otpuštanja vlage srednje kasnih samooplodnih linija kukuruza u 2022. godini



Grafikon 20. Regresiona analiza dinamike otpuštanja vlage srednje ranih samooplodnih linija kukuruza u 2022. godini

Vlaga u zrnu kukuruza u žetvi (berbi) u velikoj meri zavisi od vremenskih uslova, primenjene agrotehnike i hibridnih svojstava. Oplemenjivanjem i setvom hibrida visokog potencijala za prinos odgovarajućih grupa, naravno u skladu sa rejonizacijom u konkretnim geografskim i klimatskim uslovima mogu se prirodno sušiti u polju oko 30 dana pre žetve, a vlaga u zrnu se može smanjiti na 15–17% (Huang et al., 2021).

Na sušenje zrna kukuruza, odnosno brzinu gubljenja vlage utiču genotip i okruženje (Schmidt i Hallauer, 1966; Daynard i Duncan, 1969; Carter i Poneleit, 1973; Borrás et al., 2003; Elmore i Abendroth, 2010). Kang et al. (1978) utvrdili da kasnostasni hibridi kukuruza imaju veća mehanička oštećenja zbog sporijeg odavanja vlage iz zrna prilikom berbe. Na rast i razvoj kukuruza u polju uglavnom utiču temperatura, sunčevo zračenje i fotoperiodska reakcija. Temperatura ne samo da utiče na proces rasta kukuruza, već i određuje brzinu i trajanje sušenja zrna i glavni je faktor kod gubljenja vlage zrna u periodu sušenja (Warrington i Kanemasu, 1983). Temperatura naglo pada tokom jeseni i dolazi do značajnog smanjenja toplotnih resursa koji prirodno suše zrna kukuruza u polju.

Proces sušenja zrna se može podeliti u dve različite faze prenosa vlage, kao što je kapilarno delovanje (sušenje sa konstantnom brzinom) i unutarćelijsko delovanje (period brzine pada), koje imaju različite fiziološke aktivnosti usled difuzije (Brooking, 1990). U proizvodnji kukuruza u svim zemljama sveta važno je uspostaviti sistem napredne i efikasne proizvodnje usredsređene na mehaničku žetvu odnosno berbu kroz stalni rad na oplemenjivanju i poboljšanju osobina hibrida unapređenje hibrida (Huang et al., 2021). Veći sadržaj vlage u zrnu nije povoljan ni kod žetve kombajnima jer povećava stepen lomljenja zrna pri žetvi (Maiorano et al., 2014). Brzina lomljenja zrna ima kvadratni polinomski odnos sa sadržajem vlage u zrnu pri žetvi. Da bi se obavila kvalitetna žetva kombajnima sa što manje mehanički slomljenog zrna neophodna je odgovarajuća vlaga u fazi pune zrelosti (Wang et al., 2019): Najmanje lomljenje zrna bilo je kada se vlaga u zrnu kretala između 18 i 23 % (Plett, 1994).

Sadržaj vlage u zrnu kukuruza je pouzdan znak njegove zrelosti (Hallauer i Russell, 1962). Postoji bliska korelacija između gubitka sadržaja vlage i nalivanja zrna (Kang et al. 1986). Različiti hibridi i sorte pokazuju različite nivoe stabilnosti u pogledu uticaja efekata povezanih sa uslovima životne sredine (Hallauer i Russell, 1961). Genotip koji pripada kasnijoj grupi zrelosti gubi vlagu sporije što je saglasno sa rezultatima koje smo dobili u ovoj disertaciji.

Različiti hibridi i sorte pokazuju različite nivoe stabilnosti u pogledu uticaja efekata povezanih sa uslovima životne sredine (Hallauer i Russell, 1961). Licht i Archontoulis, 2017., i Licht et al., 2017., proučavajući gubitak suve materije kukuruza u polju posle zrenja utvrdili su da ga nije bilo bilo sa opadanjem vlažnosti semena od 30% na 15% u nekoliko rokova berbe.

## **7.7 Analiza varijanse kombinacionih sposobnosti samooplodnih linija kukuruza**

Inbred linije se koriste za stvaranje hibrida i njihova vrednost se smatra njihovim performansama u kombinaciji sa različitim drugim inbred linijama. Sposobnost linije da prenese svoje performanse na potomstvo opisuje se kao kombinaciona sposobnost inbred linije. Kombinaciona sposobnost samooplodnih linija daje informacije o genetičkoj prirodi kvantitativnih osobina i pogoduje odabiru najpogodnijih roditelja koji će se koristiti za oplemenjivanje. Oplemenjivačka vrednost jednog primerka na osnovu srednjeg učinka se smatra opštom kombinacionom sposobnošću (OKS). Posebna kombinaciona sposobnost je kumulativni učinak bilo koje dve vrste u njihovoj specifičnoj hibridnoj kombinaciji. Varijansa opšte kombinacione sposobnosti (OKS) je indikator stepena aditivnog delovanja gena, varijansa zbog posebne kombinacione sposobnosti (PKS) pokazuje stepen neaditivnog delovanja gena. Aditivni i neaditivni tipovi delovanja gena su veoma važni za gensku ekspresiju prinosa i drugih kvantitativnih svojstava.

Analizom varijanse utvrđeno je da su efekti lokacija u 2021. godini bili statistički značajni za osobine površina listova komušine, debljina listova komušine, broj listova komušine, vlagu u berbi, dnevni gubitak vlage, dužina klipa, prečnik oklaska, masa 1000 zrna i prinos (tabela 21.). Ovi rezultati

ukazuju da su na ove osobine uticali efekti spoljne sredine. Statistička značajnost nije pronađena kod osobina interval metličjenja i svilanja, prečnik klipa i broj redova zrna, što znači da na ove osobine nisu uticali faktori spoljne sredine. Slični rezultati dobijeni su i u 2022. godini (tabela 22.). Statistički značajne razlike nisu pronađene kod osobina interval metličjenja i svilanja, broj redova zrna i masa 1000 zrna dok su za sve ostale osobine zabeležene veoma značajne vrednosti.

Dialelna metoda je veoma važna za identifikaciju željenih linija kako bi se povećala učestalost ciljanih alela kod hibrida. Relativni značaj aditivnog i neaditivnog tipa delovanja gena takođe se utvrđuje dialelnom analizom. Griffingov dialelni metod (1956) se veoma mnogo koristi za procenu kombinacionih sposobnosti inbred linija što olakšava selekciju.

Metodom analize varijanse za genotipove utvrđene su veoma značajne vrednosti ( $p \leq 0.01$ ) svih ispitivanih osobina u obe godine istraživanja, ovi rezultati ukazuju na genetičku varijabilnost između genotipova. Upravo velika genetička varijabilnost predstavlja odličnu priliku oplemenjivačima kukuruza da poboljšaju prinos i druge agronomske osobine.

Efekti interakcije genotip x lokacija bili su statistički značajni u 2021. godini za sve osobine osim za prinos, dok u 2022. godini interval metličjenja i svilanja, broj redova zrna i prinos nisu bili statistički značajni. Visoke vrednosti interakcije genotip x lokacija označavaju promene u rangju genotipova na različitim lokacijama, što otežava selekciju, ovo ukazuje na potrebu sprovođenja ispitivanja na više lokacija.

Rezultati dobijeni primenom metode analize varijanse prikazani su u tabelama 20 i 21. Na osnovu Griffingovog metoda 1, genotipska varijansa je dalje podeljena na varijanse opštih kombinacionih sposobnosti, posebnih kombinacionih sposobnosti i recipročne. Recipročna varijansa se dalje deli na materinsku i nematerinsku varijansu. Griffing analiza varijansi za dialelno ukrštanje pokazala je značajne OKS i PKS vrednosti sredine kvadrata za većinu osobina što je indicacija važnosti i aditivnih i neaditivnih genetskih efekata. Ovo je u saglasnosti sa rezultatom Glover et al. (2005).

Za sve ispitivane osobine utvrđena je statistička značajnost za opšte kombinacione sposobnosti, posebne kombinacione sposobnosti i recipročne vrednosti, osim za osobinu broj redova zrna koja nije pokazala statističku značajnost u recipročnim ukrštanjima u 2021. godini. Ovi rezultati sugerišu da oplemenjivači kukuruza u slučaju da žele da poprave neku od osobina moraju da uzmu u obzir ne samo koje samooplodne linije žele da ukrste nego i koja samooplodna linija će biti uzeta kao majka, a koja kao otac. Izbor odgovarajućeg oplemenjivačkog programa za maksimalno genetičko poboljšanje zasniva se na relativnim vrednostima opšte i specifične kombinacione sposobnosti (Hayman, 1954; Griffing, 1956). Dominantna i aditivna genska dejstva se efikasno koriste za poboljšanje hibrida (Kumar et al., 2012).

Efekti opšte kombinacione sposobnosti obezbeđuju procenu delovanja aditivnih gena, efekti posebnih kombinacionih sposobnosti obezbeđuju procenu delovanja neaditivnih gena, dok recipročni efekti procenjuju uticaj aditivnih gena preko materinskog efekta i neaditivnih gena preko nematerinskih efekata (Fan et al., 2014; Mahgoub, 2011).

Materinski efekti se mogu pripisati citoplazmatskim genskim faktorima, dok se nematerinski efekti mogu objasniti interakcijom između jedarnih gena i genima unutar citoplazme (Evans i Kemicle, 2001).

Statistički značajne vrednosti interakcije materinskih efekata x lokacija i nematerinskih efekata x lokacija u 2021. godini dobijene su kod sledećih osobina: debljina listova komušine, dnevni gubitak vlage, dužina klipa i masa 1000 zrna, dok su u narednoj godini sledeće osobine bile značajne: površina listova komušine, dnevni gubitak vlage, dužina klipa, prečnik oklaska i masa 1000 zrna (tabela 20 i 21.). Ovo predstavlja jasnu indicaciju nedostatka stabilnosti ovih osobina kroz lokacije, što naglašava potrebu sprovođenja višelokacijskih oglada.

Tabela 20. Sredine kvadrata vrednosti kombinacionih sposobnosti samooplodnih linija kukuruza u 2021. godini

		<b>Površina listova komušine</b>	<b>Debljina listova komušine</b>	<b>Broj listova komušine</b>	<b>Interval metličanja i svilanja</b>	<b>Vlaga u berbi</b>	<b>Dnevni gubitak vlage</b>	<b>Dužina klipa</b>	<b>Prečnik klipa</b>	<b>Prečnik oklaska</b>	<b>Broj redova zrna</b>	<b>Masa 1000 zrna</b>	<b>Prinos zrna</b>
<b>Izvor varijacija</b>	<b>Df</b>	<b>Sredine kvadrata</b>											
Lokacije	2	1543,98**	19,45**	8,23**	0,34 <sup>nz</sup>	143,08**	0,28**	10,39**	0,05 <sup>nz</sup>	0,17**	1,19 <sup>nz</sup>	0,005**	48,71**
Ponavljjanje/Lokacija	3	37051,70**	0,35*	0,23 <sup>nz</sup>	0,19 <sup>nz</sup>	4,47*	0,01**	75,09**	0,44**	0,06**	0,30 <sup>nz</sup>	0,002**	5,61**
Genotip	35	344319,37**	1,51**	3,18**	3,42**	61,54**	0,11**	22,26**	0,85**	0,19**	11,01**	0,013**	37,70**
OKS	5	1364974,63**	6,82**	12,84**	10,54**	337,06**	0,55**	47,25**	2,13**	0,70**	37,09**	0,030**	8,00**
PKS	15	320095,41**	0,73**	2,63**	3,20**	27,30**	0,04**	27,20**	1,20**	0,17**	12,15**	0,019**	83,46**
Recipročne	15	28324,92**	0,51**	0,50*	1,27**	3,93**	0,04**	8,98**	0,06*	0,05**	1,17 <sup>nz</sup>	0,001**	1,84*
Materinska	5	58395,53**	0,66**	1,05**	1,58**	2,02 <sup>nz</sup>	0,07**	13,76**	0,04 <sup>nz</sup>	0,06**	1,46 <sup>nz</sup>	0,001 <sup>nz</sup>	3,30*
Nematerinska	10	13289,61 <sup>nz</sup>	0,43**	0,23 <sup>nz</sup>	1,11**	4,89**	0,028**	6,59**	0,07 <sup>nz</sup>	0,05**	1,03 <sup>nz</sup>	0,001**	1,11 <sup>nz</sup>
Genotip x Lokacija	70	27434,87**	0,41**	0,51**	0,44**	6,84**	0,010**	3,40**	0,06**	0,02*	1,52**	0,001**	1,03 <sup>nz</sup>
OKS x Lokacija	10	59347,74**	0,52**	0,96**	0,68**	21,35**	0,026**	1,19 <sup>nz</sup>	0,03 <sup>nz</sup>	0,03*	2,08**	0,001**	1,20 <sup>nz</sup>
PKS x Lokacija	30	31470,34**	0,49**	0,48*	0,45*	6,24**	0,009**	4,29**	0,09**	0,02*	1,44*	0,001**	0,80 <sup>nz</sup>
Recipročno Lokacija	x 30	12761,79 <sup>nz</sup>	0,30**	0,39 <sup>nz</sup>	0,35 <sup>nz</sup>	2,61*	0,006**	3,24**	0,05 <sup>nz</sup>	0,02 <sup>nz</sup>	1,42*	0,001**	1,20 <sup>nz</sup>
Materinska Lokacija	x 10	11048,48 <sup>nz</sup>	0,27**	0,38 <sup>nz</sup>	0,46 <sup>nz</sup>	3,93**	0,008**	2,86*	0,06 <sup>nz</sup>	0,03*	1,01 <sup>nz</sup>	0,001**	1,37 <sup>nz</sup>
Nematerinska Lokacija	x 20	13618,44 <sup>nz</sup>	0,31**	0,39 <sup>nz</sup>	0,29 <sup>nz</sup>	1,95 <sup>nz</sup>	0,005**	3,43**	0,04 <sup>nz</sup>	0,01 <sup>nz</sup>	1,63*	0,01**	1,12 <sup>nz</sup>
Greška	105	8881,95	0,09	0,27	0,24	1,53	0,001	1,38	0,03	0,01	0,82	0,001	1,04
Ukupno	365												

Tabela 21. Sredine kvadrata vrednosti kombinacionih sposobnosti samooplodnih linija kukuruza u 2022. godini

		Površina listova komušine	Debljina listova komušine	Broj listova komušine	Interval metličnja i svilanja	Vlaga u berbi	Dnevni gubitak vlage	Dužina klipa	Prečnik klipa	Prečnik oklaska	Broj redova zrna	Masa 1000 zrna	Prinos zrna
Izvor varijacija	Df	Sredine kvadrata											
Lokacije	2	112424,99**	6,22**	3,47**	0,50 <sup>nz</sup>	165,38**	0,023**	26,29**	0,28**	0,15**	0,57 <sup>nz</sup>	0,001 <sup>nz</sup>	44,50**
Ponavljjanje/Lokacija	3	122509,13**	0,24 <sup>nz</sup>	0,28 <sup>nz</sup>	0,07 <sup>nz</sup>	2,46*	0,012**	27,35**	0,23**	0,03**	0,67 <sup>nz</sup>	0,001**	0,80 <sup>nz</sup>
Genotip	35	349721,85**	1,99**	2,70**	3,19**	38,72**	0,076**	24,81**	0,51**	0,08**	13,23**	0,009**	70,37**
OKS	5	796542,03**	9,87**	11,07**	11,79**	235,12**	0,377**	28,43**	0,91**	0,27**	48,11**	0,018**	20,58**
PKS	15	453974,77**	0,91**	1,79**	2,57**	10,18**	0,022**	44,26**	0,86**	0,06**	10,84**	0,014**	155,50**
Recipročne	15	96528,86**	0,43**	0,81**	0,94**	1,79**	0,030**	4,16**	0,04**	0,03**	3,98**	0,001**	1,83**
Materinska	5	85966,73**	0,51*	0,27 <sup>nz</sup>	1,26**	1,73*	0,042**	4,98**	0,04*	0,06**	2,46*	0,001**	3,44**
Nematerinska	10	101809,92**	0,39*	1,07**	0,78**	1,81**	0,023**	3,75**	0,04*	0,02**	4,75**	0,001**	1,03 <sup>nz</sup>
Genotip x Lokacija	70	38606,70**	0,27**	0,28*	0,21 <sup>nz</sup>	2,40**	0,004**	3,65**	0,04**	0,02**	1,15 <sup>nz</sup>	0,001**	1,06 <sup>nz</sup>
OKS x Lokacija	10	61951,44**	0,69**	0,32 <sup>nz</sup>	0,44*	3,91**	0,004**	5,73**	0,049**	0,02**	1,03 <sup>nz</sup>	0,001**	1,22 <sup>nz</sup>
PKS x Lokacija	30	39573,88**	0,29*	0,34**	0,17 <sup>nz</sup>	3,18**	0,005**	3,60**	0,06**	0,03**	1,24 <sup>nz</sup>	0,001**	1,23*
Recipročno Lokacija	x 30	29857,94**	0,11 <sup>nz</sup>	0,21 <sup>nz</sup>	0,17 <sup>nz</sup>	1,11*	0,002**	3,00**	0,035**	0,02**	1,09 <sup>nz</sup>	0,001**	0,84 <sup>nz</sup>
Materinska Lokacija	x 10	38830,96**	0,16 <sup>nz</sup>	0,30 <sup>nz</sup>	0,20 <sup>nz</sup>	1,02 <sup>nz</sup>	0,003**	4,57**	0,03 <sup>nz</sup>	0,02**	0,97 <sup>nz</sup>	0,001**	1,23 <sup>nz</sup>
Nematerinska Lokacija	x 20	25371,44**	0,09 <sup>nz</sup>	0,17 <sup>nz</sup>	0,15 <sup>nz</sup>	1,16*	0,001**	2,22**	0,03*	0,02**	1,15 <sup>nz</sup>	0,002**	0,65 <sup>nz</sup>
Greška	105	11835,41	0,16	0,2	0,22	0,62	0,001	0,78	0,01	0,01	0,8	0,001	0,76
Ukupno	365												

## 7.8 Procena genetičkih parametara na osnovu odnosa varijansi OKS PKS

Predvidljivost zasnovana na OKS genetičkom odnosu (Baker 1978) ukazuje da što je ta vrednost bliža jedinici, to je veća prevaga aditivnih u odnosu na neaditivne genske efekte. Visoke vrednosti Bejkerovog odnosa u obe godine našeg ispitivanja ustanovljene su za debljinu listova komušine, vlagu u berbi i dnevni gubitak vlage iz zrna, označavajući prevagu aditivnih genskih efekata pri ekspresiji ovih osobina (tabele 22 i 23.). Takođe, odnos varijansi OKS/PKS može da ukazuje na udeo aditivne i neaditivne komponente genetičke varijanse u ukupnom fenotipskom variranju. Odnos varijansi OKS/PKS sa vrednošću većom od jedan ukazuje na aditivni genski efekat, dok odnos varijansi OKS/PKS sa vrednošću manjom od jedan ukazuje na neaditivni (dominacija i epistaza) genski efekat. U ovom istraživanju, površina listova komušine, broj listova komušine, interval metličanja i svilanja, dužina klipa, prečnik klipa, broj redova zrna, masa 1000 zrna i prinos, pokazali su neaditivne genske efekte, što ukazuje na prevagu dominantnih i epistatičnih efekata gena za nasleđivanje ovih osobina. Preovlađivanje PKS varijanse označava da su neaditivni genski efekti u velikoj meri uticali na ekspresiju ovih osobina, stoga bi se heterozis i upotreba hibridne snage mogli primeniti za njihovo poboljšanje.

Ovi rezultati su bili u saglasnosti sa izveštajima drugih istraživača o preovladavanju neaditivnih genskih efekata za dužinu klipa (Rezaei i Roohi, 2004; Aslam, 2017; Amiruzzaman 2011), broj redova zrna (Zare 2019; Saeed et al., 2000; Vidal-Martinez et al., 2001), i prinos zrna (Srđić et al., 2007; Bhatnagar et al., 2004; Ahmed, 2017; Amiruzzaman 2011; Aslam, 2017). Za razliku od ostalih Chiuta (2020) je dobio uticaj aditivnih gena u formiranju prinosa zrna kukuruza.

Debljina listova komušine, vlaga u berbi i dnevni gubitak vlage su osobine koje su pokazale aditivne genske efekte, što ukazuje da su aditivni genski efekti važniji od neaditivnih genskih efekata u nasleđivanju ovih osobina. Prema važnoj ulozi OKS, poboljšanje ovih osobina je lako izvodljivo kroz selekciju. Hillson i Penny (1965) su potvrdili da hibridi gube vlagu različitim brzinama i da se roditeljske inbred linije razlikuju po efektima kod hibrida na brzinu otpuštanja vlage. Purdy i Crane (1967a) proučavali su nasleđivanje gubitka vlage u punom zrenju i utvrdili da su aditivni genski efekti važniji od neaditivnih efekata. Putem svojih istraživanja Cross i Kabir (1989) o stepenu gubitka vlage klipa utvrdili da su efekti OKS i PKS značajni, pri čemu je aditivna genska komponenta važnija od neaditivne genske komponente.

Prema Jilo et al. (2018), heritabilnost u širem smislu predstavlja procenu ukupnog doprinosa genetske varijanse celokupnoj fenotipskoj varijansi. Heritabilnost u širem smislu je korisna za određivanje relativne važnosti aditivne genetske varijanse koja će se preneti na potomstvo. Kada aditivni efekti gena kontrolišu neku osobinu, ta osobina obično daje visoku vrednost heritabilnosti i genetičke dobiti, ali neaditivna dejstva gena mogu dovesti i do visoke heritabilnosti, ali loše genetičke dobiti. Po kategorizaciji Robinson et al. (1955), niske vrednosti heritabilnosti su od 0-30%, srednje vrednosti su od 30-60% dok se visokim smatraju vrednosti preko 60%. U 2021. godini samo interval metličanja i svilanja je imao srednju vrednost heritabilnost, dok su sve druge osobine ostvarile visoke vrednosti heritabilnosti u širem smislu. U 2022. godini srednje vrednosti su zabeležene kod broja listova komušine, dok su ostale osobine imale visoke vrednosti heritabilnosti u širem smislu. Visoko aditivno delovanje gena ukazuje na veću heritabilnost i manje uticaje okoline (Hakizimana et al., 2004).

Procenjena heritabilnost u užem smislu, u obe godine ispitivanja, za interval metličanja i svilanja (0,252; 0,327), dužinu klipa (0,139; 0,005), prečnik klipa (0,161; 0,026), broj redova zrna (0,265; 0,339), masa 1000 zrna (0,141; 0,078) i prinos zrna (0,001; 0,001) kao i niske vrednosti Bejkerovog odnosa, jasno ukazuju na prevagu neaditivnih genskih efekata u kontroli ovih osobina (tabele 22 i 23). Do istih zaključaka su došli (Amiruzzaman et al., 2010; Perić (2022) koji su utvrdili uticaj neaditivnih gena u formiranju prinosa zrna kukuruza, dok su Pavlov (2013) i Shiri et al. (2010) dobili podatke o podjednakom uticaju aditivnih i neaditivnih gena. Živanović et al., (2010) navode



da je prinos zrna kukuruza uslovljen aditivnim i neaditivnim delovanjem gena uz preovladavanje neaditivnog delovanja gena (dominacija i epistaza). Postoji, takođe nekoliko radova gde je ukazano na važnost aditivne varijanse u varijacijama prinosa zrna (Alam et al. 2008; Ojo et al. 2007; Vacaro et al. 2002),

Kondapi et al. (1993) predlažu upotrebu rekurentne selekcije za popravljavanje svojstava koja imaju visoke vrednosti heritabilnosti u užem smislu, u našem ispitivanju takve osobine su debljina listova komušine, vlaga u berbi i dnevni gubitak vlage iz zrna.

Koeficijent heritabilnosti i genetička dobit predstavljaju važne selekzione parametre, pri čemu kada se zajedno posmatraju su informativniji u predviđanju dobiti od selekcije, a ne korišćenjem samo heritabilnosti u širem smislu kao individualnog pokazatelja. Visoka heritabilnost u širem smislu praćena niskom genetičkom dobiti je indikator neaditivne genske akcije u ispoljavanju osobine i tada se primenjuje oplemenjivanje zasnovano na iskorišćavanju heterozisa, dok su visoke vrednosti heritabilnost u širem smislu i genetička dobit pokazatelji aditivnog dejstva gena i anticipiranog uspeha klasične selekcije (Johnson et al., 1955).

Očekivana genetička dobit izražena u procentima od proseka (GAM) pomaže u razumevanju načina delovanja gena pri ekspresiji određene osobine. Prema klasifikaciji Falkoner and Mackkay (1996), niske vrednosti očekivane genetičke dobiti izražene u procentima su ispod 10%, srednje između 10-20% a visoke preko 20%. Visoke vrednosti genetičke dobiti izražene u procentima u obe godine ispitivanja zabeležene su kod sledećih osobina: prinos zrna, vlaga u berbi, dnevni gubitak vlage iz zrna, površina listova komušine, debljina listova komušine, masa 1000 zrna i interval metličjenja i svilanja. Visoke vrednosti heritabilnosti u širem smislu i visoke vrednosti genetičke dobiti nude najpogodniji uslov za selekciju.

Tabela 22. Procena genetskih parametara osobina kukuruza u 2021. godini

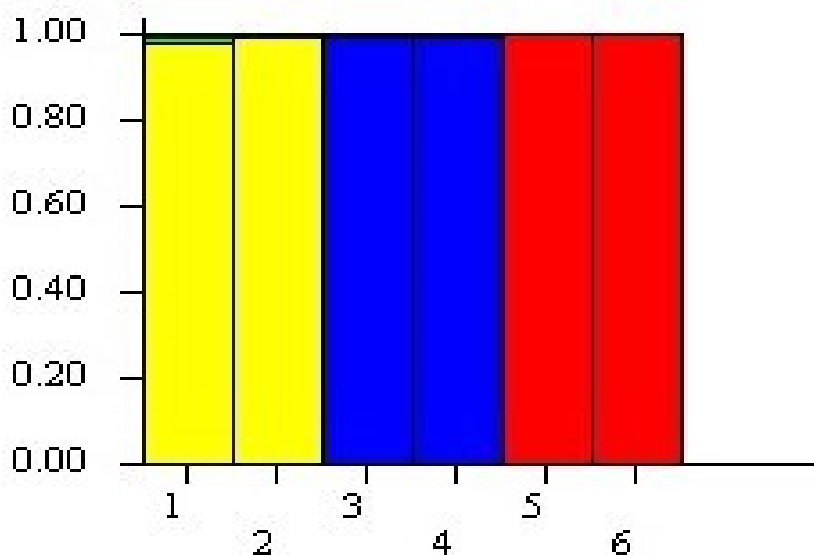
Genetski parametri	Površina listova komušine	Debljina listova komušine	Broj listova komušine	Interval metličjenja i svilanja	Vlaga u berbi	Dnevni gubitak vlage	Dužina klipa	Prečnik klipa	Prečnik oklaska	Broj redova zrna	Masa 1000 zrna	Prinos zrna
$\sigma^2_{oks}$	14254,33**	0,116**	0,136**	0,099*	4,101**	0,006**	0,331 <sup>nz</sup>	0,014 <sup>nz</sup>	0,007**	0,342*	0,0001 <sup>nz</sup>	0,0001 <sup>nz</sup>
$\sigma^2_{pks}$	27931,45**	0,018 <sup>nz</sup>	0,208**	0,266**	2,037**	0,003**	2,217**	0,107**	0,014**	1,037**	0,0017**	5,328**
$\sigma_A^2$	28508,67	0,233	0,272	0,199	8,203	0,013	0,663	0,028	0,014	0,684	0,0003	0,0002
$\sigma_D^2$	27931,45	0,018	0,208	0,266	2,037	0,003	2,217	0,107	0,014	1,037	0,0017	5,3282
$\sigma^2_{oks} / \sigma^2_{pks}$	0,511	6,48	0,653	0,375	2,012	2,005	0,149	0,131	0,497	0,329	0,0978	0,00001
Baker odnos	0,505	0,928	0,566	0,429	0,801	0,800	0,230	0,208	0,498	0,397	0,1637	0,00003
GAM (%)	34,27	21,59	12,69	62,31	28,58	43,59	16,74	13,95	11,07	14,02	23,14	70,56
Heritabilnost (us)	0,427	0,653	0,349	0,252	0,682	0,671	0,139	0,161	0,307	0,265	0,1406	0,00003
Heritabilnost (šs)	0,846	0,704	0,617	0,589	0,852	0,838	0,607	0,778	0,616	0,667	0,8592	0,8811

Tabela 23. Procena genetskih parametara osobina kukuruza u 2022. godini

Genetski parametri	Površina listova komušine	Debljina listova komušine	Broj listova komušine	Interval metličjenja i svilanja	Vlaga u berbi	Dnevni gubitak vlage	Dužina klipa	Prečnik klipa	Prečnik oklaska	Broj redova zrna	Masa 1000 zrna	Prinos zrna
$\sigma^2_{oks}$	4632,74 <sup>nz</sup>	0,119**	0,129**	0,125**	3,117**	0,004**	0,012 <sup>nz</sup>	0,001 <sup>nz</sup>	0,003**	0,524**	0,00001 <sup>nz</sup>	0,0003 <sup>nz</sup>
$\sigma^2_{pks}$	40103,31**	0,060**	0,141**	0,231**	0,677**	0,001**	3,096**	0,077**	0,002*	0,929**	0,0013**	7,3150**
$\sigma_A^2$	9265,48	0,238	0,259	0,251	6,234	0,009	0,024	0,002	0,006	1,049	0,0001	0,00004
$\sigma_D^2$	40103,31	0,062	0,141	0,231	0,677	0,001	3,096	0,077	0,002	0,929	0,0013	7,315005
$\sigma^2_{oks} / \sigma^2_{pks}$	0,115	1,980	0,919	0,541	4,599	3,138	0,003	0,016	1,075	0,564	0,0454	0,00004
Baker odnos	0,187	0,798	0,647	0,519	0,901	0,862	0,007	0,032	0,682	0,531	0,0832	0,00004
GAM (%)	27,58	23,45	12,99	59,14	24,18	42,44	16,26	10,28	6,18	16,28	22,85	76,72
Heritabilnost (us)	0,137	0,488	0,383	0,327	0,821	0,687	0,005	0,026	0,471	0,339	0,0783	0,000002
Heritabilnost (šs)	0,730	0,611	0,591	0,632	0,914	0,796	0,702	0,805	0,691	0,641	0,9411	0,91798

## 7.9 SNP molekularni markeri

Grafički prikaz STRUCTURE analize šest samooplodnih linija kukuruza, dobijenih pomoću 18889 informativnih SNP molekularnih markera, prikazani su u grafikonu 21. Heterotične grupe obeležene su različitim bojama a linije su dodeljene odgovarajućoj heterotičnoj grupi prema poreklu. Žutom bojom označene su samooplodne linije koje pripadaju BSSS heterotičnoj grupi, plavom bojom su označene samooplodne linije iz Nezavisnog izvora, dok su crvenom bojom označene linije koje predstavljaju *Lancaster* izvor. Zhang et al. (2015) izvršili su genotipizaciju 3273 inbred linije pomoću 955,690 SNP-ova. Jiang et al. (2023) su ispitujući predikciju heterozisa 19 inbred linija sa 5 testera, posle filtriranja podataka analizirali 58,986,791 informativnih SNP-ova. Zbog relativno malog uzorka od šest inbred linija, rezultate STRUCTURE analize treba uzeti sa rezervom. Prema ovim rezultatima sve samooplodne linije predstavljaju klasične predstavnike svojih heterotičnih grupa. ZPL1 i ZPL2 su predstavnici BSSS izvora, ZPL3 i ZPL4 su predstavnici Nezavisnog izvora, dok su linije ZPL5 i ZPL6 klasični predstavnici *Lancaster* heterotične grupe.



Grafikon 21. Grafički prikaz STRUCTURE analize šest samooplodnih linija kukuruza

Rezultati ispitivanje genetičke distance između samooplodnih linija kukuruza, koji su dobijeni primenom 18889 informativnih SNP molekularnih markera, prikazani su u tabeli 24. Sa obzirom da je korišćen veliki broj informativnih SNP markera, može se smatrati da su rezultati veoma pouzdani. Dube et al. (2023) su ispitujući genetski diverzitet 128 samooplodnih linija, koristili 11,450 informativnih SNP markera.

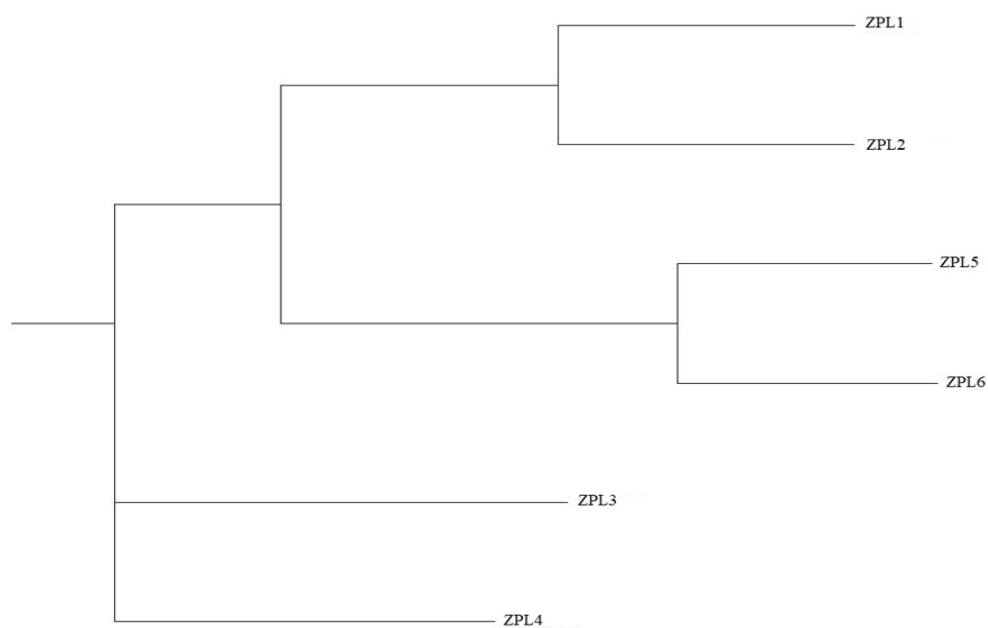
Najniže vrednosti genetičke distance zabeležene su između linija ZPL5 i ZPL6 koje pripadaju *Lancaster* heterotičnoj grupi (0,172), zatim linija ZPL1 i ZPL2 koji su predstavnici BSSS izvora (0,198) i ZPL3 i ZPL4 koji pripadaju nezavisnom izvoru (0,279).

Najviše vrednosti genetičke udaljenosti ostvarene su između linije ZPL3 i ZPL6 (0,419), zatim ZPL1 i ZPL6 (0,415), istu vrednost genetičke distance imale su linije ZPL1 i ZPL5 i linije ZPL4 i ZPL5 (0,414). Na osnovu SNP molekularnih markera je potvrđeno da se *Lancaster* izvor daje poželjnu genetičku distancu sa BSSS i Nezavisnim izvorom, čineći odličan preduslov za stvaranje visokoprinosnih hibrida. Do sličnih rezultata došla je i Perić (2022).

Tabela 24. Genetička distanca između ispitivanih samooplodnih linija kukuruza na osnovu SNP molekularnih markera

Samooplodna linija	ZPL1	ZPL2	ZPL3	ZPL4	ZPL5	ZPL6
ZPL1	1					
ZPL2	0,198	1				
ZPL3	0,411	0,411	1			
ZPL4	0,361	0,367	0,279	1		
ZPL5	0,414	0,406	0,411	0,414	1	
ZPL6	0,415	0,407	0,419	0,413	0,172	1

Dendrogram je podelio samooplodne linije u dva subklastera (grafikon 22). Prvi subklaster čine dve grupe, u prvoj su linije ZPL1 i ZPL2, dok su u drugoj linije ZPL5 i ZPL6. U drugom subklasteru se nalaze zasebno linije ZPL3 i ZPL4.



Grafikon 22. Dendrogram genetičke sličnosti između ispitivanih samooplodnih linija na osnovu SNP markera

## 7.10 Ocena opštih kombinacionih sposobnosti (OKS) samooplodnih linija kukuruza

Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti (OKS) samooplodnih linija kukuruza predstavljene su u tabelama 25 i 26.

OKS i PKS su važni u identifikaciji performansi odabranih linija. Što se tiče genetičkih varijansi, OKS predstavlja aditivno delovanje gena, dok PKS predstavlja dominantno dejstvo gena. Tip delovanja gena ima veliki uticaj na izbor metoda oplemenjivanja koje će se primeniti. Osobine sa visokim OKS mogu se poboljšati metodom rekurentne selekcije (Muraya et al., 2006).

Analiza kombinacionih sposobnosti pomaže pri evaluaciji samooplodnih linija kukuruza, u pogledu njihove genetičke vrednosti i u selekciji poželjnih roditelja za hibridizaciju, takođe se mogu identifikovati superiorna ukrštanja koja kasnije mogu da posluže u komercijalne svrhe. Pomoću opštih kombinacionih sposobnosti (OKS) može se na osnovu vrednosti dobijenog potomstva ustanoviti doprinos određene samooplodne linije u ukrštanju sa drugim linijama. Kada jedna inbred linija ima veoma značajne pozitivne ili negativne vrednosti OKS za određenu osobinu smatra se da u ukrštanju sa drugom linijom može dati superiorno potomstvo.

Razumevanje genetskog potencijala populacije i odlučivanje o strategiji oplemenjivanja koja će se koristiti u datoj populaciji zahteva poznavanje prirode i veličine delovanja gena. (Ingle et al., 2018).

Efikasan prenos željenih gena sa odabranih roditelja na njihovo potomstvo zahteva temeljno razumevanje funkcije gena (Falconer i Mackay, 1981). Metoda ukrštanja kao što je potpuno dialno i tester linija pruža pouzdane informacije u vezi sa opštim i posebnim kombinacionim sposobnostima roditelja, kao i njihovim unakrsnim kombinacijama. Osnovni preduslov za poboljšanje nekog useva, a samim tim i kukuruza, je identifikacija prihvatljivih roditelja koji mogu dobro da se kombinuju i proizvode poželjne hibride.

Krajnji cilj u oplemenjivanju predstavlja visok prinos zrna. Zato je neophodno utvrditi oplemenjivačke sposobnosti inbred linija kako bi se unapred znalo da li one mogu dati hibrid visokog prinosa zrna. Za to su veoma pogodne opšte kombinacione sposobnosti (tabele 25 i 26.).

Na osnovu podataka iz tabela 25 i 26., može se videti da je od ukupno šest ispitivanih samooplodnih linija, tri linije su imale visoko značajne ( $p \leq 0.01$ ) vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti za prinos zrna u obe godine ispitivanja, s' tim da je linija L6 imala visoko značajnu negativnu vrednost samo u 2022. godini (-0,641). Linije ZPL1 (0,419; 0,728) i ZPL5 (0,351; 0,401) imale su visoko značajne pozitivne vrednosti, dok je linija ZPL4 (-0,437; -0,514) zabeležila visoko značajnu negativnu vrednost. U okviru ispitivanih rezultata u najbolje opšte kombinatore za prinos, spadaju samooplodne linije ZPL1 i ZPL5. Njihove pozitivne visoko značajne vrednosti ukazuju na visoku frekvenciju poželjnih alela za prinos, zbog toga ove dve linije treba koristiti u programima selekcije radi stvaranja visoko prinostnih hibrida kukuruza. Linija ZPL4 imala je visoko značajne negativne vrednosti te se ova linija ne preporučuje u selekcionim programima poboljšanja prinosa. Problem može biti mali broj linija obuhvaćenih testiranjem, te ovu liniju treba dodatno testirati.

Prinos zrna je ekonomski najznačajnija osobina kod kukuruza, međutim u ovom ispitivanju pored prinosa zrna akcentat je stavljen na dinamiku gubljenja vlage iz zrna. Za tu svrhu, ispitivane su dve osobine, sadržaj vlage u momentu berbe i dnevni gubitak vlage u zrnju. Hibridi koji postižu visoke prinose sa niskim sadržajem vlage, imaju veliki ekonomski značaj sa aspekta selekcije, jer se na taj način ostvaruju uštede pri sušenju semena. Agronomski gledano ove dve osobine trebale bi da budu obrnuto proporcionalne, odnosno idealan hibrid trebao bi da poseduje nizak sadržaj vlage u berbi uz visok dnevni gubitak vlage iz zrna.

Visoko značajne ( $p \leq 0.01$ ) pozitivne vrednosti OKS za procenat vlage u berbi u obe godine ispitivanja ostvarile su linije: ZPL1 (3,144; 2,475), ZPL2 (0,805; 1,177) i ZPL5 (1,005; 0,717), dok su visoko značajne i značajne ( $p \leq 0,05$ ) negativne vrednosti zabeležile linije: ZPL3 (-2,342; -1,760), ZPL4 (-2,522; -2,251) i ZPL6 (-0,091; -0,357). Samooplodne linije ZPL1 (-0,113; -0,082), ZPL2 (-0,038; -0,043) i ZPL5 (-0,055; -0,044) imale su visoko značajne negativne vrednosti OKS za osobinu dnevni gubitak vlage iz zrna u obe godine ispitivanja. Visoko značajne pozitivne vrednosti imale su linije ZPL3 (0,084; 0,064) i ZPL4 (0,118; 0,106). Linija ZPL6 je ostvarila značajnu pozitivnu vrednost u 2021. godini, dok je sledeće godine ostvarila negativnu vrednost OKS koja nije bila statistički značajna.

U oplemenjivačkoj praksi poželjno je da vrednosti OKS za vlagu u berbi budu negativno značajni. Linije ZPL3 i ZPL4 se ističu veoma visokim negativnim vrednostima, što znači da u ukrštanju sa drugim linijama prenose gene koji utiču na smanjenu vlagu u berbi. Prilikom selekcije treba obratiti pažnju i na činjenicu da se linija ZPL4 pokazala kao izuzetno loš kombinator za prinos u obe godine ispitivanja, te bi se prednost trebala dati liniji ZPL3 koja nije pokazala statističku značajnost. Linije koje su u svoje potomstvo prenosile gene koji su ispoljili visok sadržaj vlage u berbi bile su ZPL1, ZPL2 i ZPL5 s' tim da se linija ZPL1 izdvaja sa svojim izuzetno visokim vrednostima, te se ova linija ne bi trebala koristiti prilikom stvaranja ranih hibrida. Što se tiče dnevnog gubitka vlage iz zrna dobijeni su obrnuto proporcionalni rezultati kao i što se očekivalo. Linije ZPL4 i ZPL3 davali su potomstva koja su imala najveću dinamiku gubljenja vlage na dnevnom nivou, dok su linije ZPL1, ZPL2 i ZPL5 pokazale visoku frekvenciju alela koji su vezani za sporo gubljenje vlage iz zrna.

Za osobine površina listova komušine, debljina listova komušine i broj listova komušine sa oplemenjivačkog aspekta poželjno je da imaju značajne negativne vrednosti OKS, jer se sa time pozitivno utiče na brže otpuštanje vlage iz zrna.

Značajne ( $p \leq 0,05$ ) i visoko značajne ( $p \leq 0.01$ ) vrednosti OKS za površinu listova komušine su utvrđene kod svih ispitivanih linija u obe godine istraživanja osim kod linije ZPL2, kod koje nisu zabeležene statistički značajne razlike. Visoko značajne negativne vrednosti ostvarile su linije: ZPL3 (-209,693; -123,013) i ZPL4 (-110,196; -108,072). Preostale tri linije ostvarile su pozitivne vrednosti ZPL1 (59,788; 31,686), ZPL5 (161,529; 147,058) i ZPL6 (94,841; 73,622). Linije ZPL3 i ZPL4 prenosile su na potomstvo niske vrednosti za površinu listova komušine, takođe ova osobina je u korelaciji sa dužinom klipa i prečnikom klipa jer sto su prečnik i dužina klipa veći i površina listova komušine raste. Linije ZPL5 i ZPL6, koje pripadaju *Lancaster* heterotičnoj grupi, ističu se jer u potomstvima daju hibride sa izuzetno lisnatom komušinom.

U 2021. godini sve ispitivane linije ostvarile su visoko značajne vrednosti OKS za osobinu debljina listova komušine (tabela 25.). Sledeće godine ispitivanja samo linija ZPL6 nije ostvarila statistički značajne vrednosti OKS (tabela 26.). Linije sa visoko značajnim negativnim vrednostima su: ZPL2 (-0,133; -0,361), ZPL3 (-0,469; -0,361) i linija ZPL4 (-0,306; -0,312), nasuprot njima pozitivne vrednosti su utvrđene kod linija: ZPL1 (0,322; 0,535), ZPL5 (0,376; 0,324) i linija ZPL6 (0,210) u 2021. godini. Linije ZPL1 i ZPL5 koje su kasnije grupe zrenja i odlični opšti kombinatori za prinos daju hibride koji imaju debele listove komušine, što utiče na slabije otpuštanje vlage iz zrna. Ukoliko se žele dobiti hibridi sa tankim listovima komušine trebalo bi uključiti u selekzione programe linije ZPL2, ZPL3 i ZPL4.

Vrednosti OKS za broj listova komušine u obe godine ispitivanja bile su statistički značajne za sve linije osim za liniju ZPL5. U prvoj godini ispitivanja visoko značajne negativne vrednosti zabeležile su linije ZPL2 (-0,561) i ZPL6 (-0,214), značajnu negativnu vrednost ostvarila je linija ZPL3 (-0,165), dok su linije ZPL1 (0,685) i ZPL4 (0,135) ostvarile visoko značajne i značajne pozitivne vrednosti. U drugoj godini ispitivanja linije koje su zabeležile visoko negativne vrednosti bile su: ZPL2 (-0,409), ZPL3 (-0,160) i ZPL6 (-0,279), nasuprot njima linije sa visoko značajnim i značajnim rezultatima bile su ZPL1 (0,691) i ZPL4 (0,135). Linije koje se ističu sa visokim vrednostima OKS za broj listova komušine su ZPL1 sa pozitivnim i ZPL2 sa negativnim vrednostima.

Samooplodna linija ZPL4 imala je značajne pozitivne vrednosti, što znači da je u svoja potomstva prenosila osobinu za veći broj listova komušine. Ova linija je najbolji opšti kombinator za dnevni gubitak vlage i vlagu u berbi, te se može zaključiti da iako ova linija prenosi veći broj listova na potomstvo da su u pitanju tanki i rastresiti listovi komušine sa malom površinom i da oni ne igraju presudnu ulogu pri otpuštanju vlage. Ovakvi rezultati su u saglasnosti sa Troyer i Ambrose (1971), koji navode da je dinamika otpuštanja vlage relativno nezavisna od broja listova komušine, te da osobine rastresitost, mala debljina i površina listova komušine pogoduju brzom otpuštanju vlage.

Linije ZPL1 (0,245; 0,270), ZPL5 (0,377; 0,346) i ZPL6 (0,384; 0,388) imale su visoko značajne pozitivne vrednosti za ASI (eng. - Anthesis-Silking Interval) u obe godine ispitivanja. Visoko značajne i značajne negativne vrednosti u 2021 (tab.25). godini ostvarile su linije ZPL3 (-0,393), ZPL4 (-0,446) i ZPL2 (-0,167). Slični rezultati dobijeni su i sledeće godine (tab. 26.) s' tim da linija ZPL3 nije ostvarila statistički značajne vrednosti OKS. Negativne vrednosti OKS za ASI su od većeg interesa za selekcionere kukuruza, jer se postiže bolja sinhronizacija metličanja i svilanja. Takođe, utvrđeno je da niske vrednosti ASI pozitivno deluju na selekciju kukuruza tolerantnijih na sušu (Ngugi, 2013). Zbog toga samooplodne linije ZPL4 i ZPL2 predstavljaju odlične donore gena za skraćanje intervala metličanja i svilanja. Linije ZPL1, ZPL5 i ZPL6 predstavljaju loše donatore gena koji su zaduženi za cvetanje.

U veoma značajne komponente prinosa ubrajaju se dužina klipa, broj redova zrna, prečnik klipa i masa 1000 zrna. Što je klip duži sa većim prečnikom klipa i većom masom 1000 zrna to je prinos zrna veći, te su često ove osobine u pozitivnoj korelaciji. U savremenom oplemenivanju je poželjno da klip ima veliki broj redova zrna i prečnik klipa kao i da je zrno sitnije te je takav hibrid povoljniji za semensku proizvodnju.

Samooplodne linije, koje pripadaju *Lancaster* heterotičnoj grupi, ZPL5 (1,311; 0,864) i ZPL6 (0,717; 0,423) ostvarile su visoko značajne pozitivne vrednosti za osobinu dužina klipa, u obe godine ispitivanja. Linije ZPL2, ZPL3 i ZPL4 imale su visoko značajne negativne vrednosti, dok je linija ZPL1 u prvoj godini ispitivanja ostvarila negativnu a u drugoj godini pozitivnu visoku značajnost.

Visoko značajne pozitivne vrednosti OKS za osobinu prečnik klipa, ostvareni su kod linija koje pripadaju BSSS heterotičnoj grupi a to su linije ZPL1 (0,212; 0,131) i ZPL2 (0,193; 0,133) u obe godine, dok su linije ZPL3 (-0,189; -0,123) i ZPL6 (-0,134; -0,110) imale negativne vrednosti. Slični rezultati dobijeni su i za osobinu prečnik oklaska. Pozitivne visoko značajne vrednosti uočene su kod samooplodnih linija ZPL1(0,147; 0,100) i ZPL2(0,077; 0,038), dok su linije ZPL3(-0,119; -0,075) i ZPL6 (-0,078; -0,039) imale visoko značajne negativne vrednosti. Linije ZPL4 i ZPL5 nisu ostvarili statistički značajne rezultate u prvoj godini ispitivanja, dok je linija ZPL5 u drugoj godini imala visoko značajnu negativnu vrednost (-0,02).

Ispitivanjem opštih kombinacionih sposobnosti samooplodnih linija za osobinu broj redova zrna utvrđene su visoko značajne pozitivne vrednosti kod linija ZPL1 (0,643; 0,817) i ZPL2 (0,629; 0,518) u obe godine ispitivanja. Linija ZPL4 (0,233) imala je značajnu pozitivnu vrednost u 2022. godini. Samooplodne linije ZPL3 (-0,481; -0,217) i ZPL5 (-1,203; -1,509 ) ostvarile su veoma značajne i značajne negativne vrednosti, dok vrednosti linije ZPL6 nisu bile statistički značajne.

Samooplodne linije srednje kasne grupe zrenja ZPL1 (0,022; 0,016), ZPL2 (0,013; 0,011 ) i ZPL5 (0,019; 0,014) imale su veoma značajne pozitivne vrednosti čega za masu 1000 zrna, dok su linije srednje rane grupe zrenja ZPL3 (-0,013; -0,009), ZPL4 (-0,023; -0,016) i ZPL6 (-0,017; -0,016) imale veoma značajne negativne vrednosti.

Veoma značajni materinski efekti primećeni su kod dnevnog gubitka vlage, otkrivajući da za ekspresiju ove osobine veoma značajnu ulogu igraju geni iz citoplazme. Ovo dalje implicira da je pri selekciji kukuruza na osobinu dnevni gubitak vlage iz zrna izuzetno značajno obratiti pažnju na to koju samooplodnu liniju biramo za ulogu majčinske roditeljske komponente u stvaranju hibrida.

Tabela 25. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti (OKS) i materinskog efekta (MAT) ispitivanih samooplodnih linija u 2021. godini

Linije	Površina listova komušine		Debljina listova komušine		Broj listova komušine		Interval metličnja i svilanja (ASI)		Vlaga u berbi		Dnevni gubitak vlage	
	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT
ZPL1	59,788**	23,057 <sup>nz</sup>	0,322**	0,052 <sup>nz</sup>	0,685**	-0,059 <sup>nz</sup>	0,245**	0,076 <sup>nz</sup>	3,144**	-0,061 <sup>nz</sup>	-0,113**	0,020**
ZPL2	3,73 <sup>nz</sup>	2,943 <sup>nz</sup>	-0,133**	0,022 <sup>nz</sup>	-0,561**	0,019 <sup>nz</sup>	-0,167*	-0,213*	0,805**	0,027 <sup>nz</sup>	-0,038**	0,029**
ZPL3	-209,693**	6,163 <sup>nz</sup>	-0,469**	0,051 <sup>nz</sup>	-0,165*	-0,002 <sup>nz</sup>	-0,393**	0,218*	-2,342**	0,097 <sup>nz</sup>	0,084**	-0,028**
ZPL4	-110,196**	32,455 <sup>nz</sup>	-0,306**	-0,022 <sup>nz</sup>	0,135*	0,218 <sup>nz</sup>	-0,446**	-0,018 <sup>nz</sup>	-2,522**	-0,277 <sup>nz</sup>	0,118**	-0,046**
ZPL5	161,529**	-19,352 <sup>nz</sup>	0,376**	0,056 <sup>nz</sup>	0,120 <sup>nz</sup>	-0,034 <sup>nz</sup>	0,377**	-0,097 <sup>nz</sup>	1,005**	-0,008 <sup>nz</sup>	-0,055**	0,029**
ZPL6	94,841**	-45,266*	0,210**	-0,159*	-0,214**	-0,143 <sup>nz</sup>	0,384**	0,034 <sup>nz</sup>	-0,091*	0,222 <sup>nz</sup>	0,003*	-0,004 <sup>nz</sup>

Linije	Dužina klipa		Prečnik klipa		Prečnik oklaska		Broj redova zrna		Masa 1000 zrna		Prinos zrna	
	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT
ZPL1	-0,472**	0,731**	0,212**	-0,031 <sup>nz</sup>	0,147**	-0,052*	0,643**	0,069 <sup>nz</sup>	0,022**	-0,002 <sup>nz</sup>	0,419**	-0,183 <sup>nz</sup>
ZPL2	-0,412**	0,161 <sup>nz</sup>	0,193**	0,038 <sup>nz</sup>	0,077**	0,001 <sup>nz</sup>	0,629**	-0,001	0,013**	0,001 <sup>nz</sup>	-0,223 <sup>nz</sup>	0,119 <sup>nz</sup>
ZPL3	-0,567**	-0,193 <sup>nz</sup>	-0,189**	0,009 <sup>nz</sup>	-0,119**	0,007 <sup>nz</sup>	-0,481**	0,138 <sup>nz</sup>	-0,013**	0,004 <sup>nz</sup>	0,013 <sup>nz</sup>	-0,131 <sup>nz</sup>
ZPL4	-0,576**	0,122 <sup>nz</sup>	-0,104**	0,005 <sup>nz</sup>	-0,005 <sup>nz</sup>	0,038 <sup>nz</sup>	0,212 <sup>nz</sup>	-0,111 <sup>nz</sup>	-0,023**	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,437**	-0,252 <sup>nz</sup>
ZPL5	1,311**	-0,459 <sup>nz</sup>	0,022 <sup>nz</sup>	-0,026 <sup>nz</sup>	-0,021 <sup>nz</sup>	-0,001 <sup>nz</sup>	-1,203**	-0,222 <sup>nz</sup>	0,019**	0,001 <sup>nz</sup>	0,351**	0,203 <sup>nz</sup>
ZPL6	0,717**	-0,361 <sup>nz</sup>	-0,134**	0,005 <sup>nz</sup>	-0,078**	0,005 <sup>nz</sup>	0,199 <sup>nz</sup>	0,125 <sup>nz</sup>	-0,017**	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,124 <sup>nz</sup>	0,243 <sup>nz</sup>



Tabela 26. Vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti (OKS) i materinskog efekta (MAT) ispitivanih samooplodnih linija u 2022. godini

Linije	Površina listova komušine		Debljina listova komušine		Broj listova komušine		Interval metličjenja i svilanja (ASI)		Vlaga u berbi		Dnevni gubitak vlage	
	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT
ZPL1	31,686*	-15,439 <sup>nz</sup>	0,535**	-0,091 <sup>nz</sup>	0,691**	-0,065 <sup>nz</sup>	0,270**	0,076 <sup>nz</sup>	2,475**	0,158 <sup>nz</sup>	-0,082**	-0,006 <sup>nz</sup>
ZPL2	-21,280 <sup>nz</sup>	30,659 <sup>nz</sup>	-0,247**	-0,077 <sup>nz</sup>	-0,409**	0,069 <sup>nz</sup>	-0,271**	-0,131 <sup>nz</sup>	1,177**	-0,143 <sup>nz</sup>	-0,043**	0,015**
ZPL3	-123,013**	-16,383 <sup>nz</sup>	-0,361**	0,124 <sup>nz</sup>	-0,160**	-0,080 <sup>nz</sup>	-0,111 <sup>nz</sup>	0,206*	-1,760**	0,123 <sup>nz</sup>	0,064**	-0,001 <sup>nz</sup>
ZPL4	-108,072**	54,534*	-0,312**	0,017 <sup>nz</sup>	0,135*	-0,007 <sup>nz</sup>	-0,624**	-0,123 <sup>nz</sup>	-2,251**	-0,234 <sup>nz</sup>	0,106**	-0,039**
ZPL5	147,058**	-18,786 <sup>nz</sup>	0,324**	0,064 <sup>nz</sup>	0,022 <sup>nz</sup>	0,054 <sup>nz</sup>	0,346**	-0,069 <sup>nz</sup>	0,717**	0,052 <sup>nz</sup>	-0,044**	0,032**
ZPL6	73,622**	-34,585 <sup>nz</sup>	0,062 <sup>nz</sup>	-0,037 <sup>nz</sup>	-0,279**	0,028 <sup>nz</sup>	0,388**	0,041 <sup>nz</sup>	-0,357**	0,043 <sup>nz</sup>	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,001 <sup>nz</sup>

Linije	Dužina klipa		Prečnik klipa		Prečnik oklaska		Broj redova zrna		Masa 1000 zrna		Prinos zrna	
	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT	OKS	MAT
ZPL1	0,332**	0,165 <sup>nz</sup>	0,131**	0,002 <sup>nz</sup>	0,100**	-0,047**	0,817**	-0,062 <sup>nz</sup>	0,016**	-0,003*	0,728**	-0,196 <sup>nz</sup>
ZPL2	-0,715**	-0,041 <sup>nz</sup>	0,133**	-0,016 <sup>nz</sup>	0,038**	-0,014 <sup>nz</sup>	0,518**	0,277 <sup>nz</sup>	0,011**	0,001 <sup>nz</sup>	-0,160 <sup>nz</sup>	-0,048 <sup>nz</sup>
ZPL3	-0,365**	0,133 <sup>nz</sup>	-0,123**	0,047 <sup>nz</sup>	-0,075**	0,024*	-0,217*	0,166 <sup>nz</sup>	-0,009**	0,001 <sup>nz</sup>	0,187 <sup>nz</sup>	0,039 <sup>nz</sup>
ZPL4	-0,539**	0,313 <sup>nz</sup>	0,002 <sup>nz</sup>	-0,002 <sup>nz</sup>	0,001 <sup>nz</sup>	0,013 <sup>nz</sup>	0,233*	-0,076 <sup>nz</sup>	-0,016**	0,001 <sup>nz</sup>	-0,514**	-0,280 <sup>nz</sup>
ZPL5	0,864**	-0,422*	-0,032*	-0,028 <sup>nz</sup>	-0,02**	-0,011 <sup>nz</sup>	-1,509**	-0,222 <sup>nz</sup>	0,014**	0,001 <sup>nz</sup>	0,401**	0,240 <sup>nz</sup>
ZPL6	0,423**	-0,148 <sup>nz</sup>	-0,110**	-0,003 <sup>nz</sup>	-0,039**	0,035**	0,157 <sup>nz</sup>	-0,083 <sup>nz</sup>	-0,016**	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,641**	0,245 <sup>nz</sup>

## 7.11 Ocena posebnih kombinacionih sposobnosti (PKS) i recipročnih efekata (REC) dialelnih ukrštanja kukuruza

Ispitivanjem vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti ukrštanja moguće je utvrditi pojavu superiornog potomstva u odnosu na roditelje u F1 generaciji, odnosno heterotični efekat.

Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti i recipročnih efekata prikazane su u tabelama 27 i 28., za svaku godinu posebno.

Analiza posebnih kombinacionih sposobnosti pokazala je da su kod svih petnaest originalnih ukrštanja dobijene visoko značajne vrednosti PKS ( $p < 0,01$ ) u obe godine ispitivanja, za osobinu prinos zrna. Jedini izuzetak predstavlja ukrštanje ZPL2 x ZPL4, koje je bilo značajno ( $p < 0,05$ ) u 2021. godini. Negativne vrednosti PKS utvrđene su kod sledećih genotipova: ZPL1 x ZPL2, ZPL3 x ZPL4 i ZPL5 x ZPL6, što je potvrdilo saznanja SNP markera da su u pitanju genetički slične samooplodne linije koje pripadaju istoj heterotičnoj grupi. Kanyamasoro (2012) navodi da značajne pozitivne vrednosti PKS ukazuju na to da su inbred linije iz različitih heterotičnih izvora, dok negativne vrednosti PKS ukazuju na sličnost između roditelja.

Najveće pozitivne vrednosti PKS za prinos zrna imale su hibridne kombinacije: ZPL1 x ZPL5, ZPL2 x ZPL5, ZPL4 x ZPL6 i ZPL2 x ZPL6. Ovde se uočava da se samooplodne linije ZPL5 i ZPL6 koje pripadaju *Lancaster* heterotičnoj grupi dobro kombinuju sa ostalim samooplovnim linijama koje su dobijene iz BSSS i Nezavisnog izvora. Samooplodne linije ZPL1 i ZPL5 su imale i najviše pozitivne vrednosti OKS i samim tim su dale hibrid sa najvećim prinosom zrna. Perić (2022) ističe da nije uvek pravilo da obe samooplodne linije moraju da imaju najviše OKS vrednosti da bi dale superioran hibrid, već je dovoljno da samo jedna roditeljska komponenta ima visoke vrednosti OKS. Atanaw i sar. (2003) tvrde da se značajne vrednosti PKS za prinos zrna dobijaju ukrštanjem jednog pozitivnog i jednog negativnog opšteg kombinatora.

U prvoj 2021. godini ispitivanja, od ukupno petnaest recipročnih ukrštanja, 4 genotipa su pokazala statističku značajnost. U drugoj godini 2021. godini 5 genotipova statistički su se značajno razlikovali od originalnih ukrštanja. Veoma značajnu pozitivnu vrednost recipročnih efekata na prinos, u obe godine ispitivanja, zabeležilo je ukrštanje ZPL2 x ZPL4. Zbog ovakvih rezultata, u selekcionim programima preporučuje se upotreba recipročnih ukrštanja radi detekcije što boljeg heterozisa.

Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti za vlagu u berbi u 2021. godini bile su pozitivne i veoma značajne kod 7 genotipova i značajne kod ukrštanja ZPL2 x ZPL6 (tabela 26.). Kod 3 ukrštanja zabeležene su visoko značajne i značajne negativne vrednosti (ZPL1 x ZPL3, ZPL1 x ZPL4 i ZPL4 x ZPL5). Sledeće godine 2022. (tabela 27.) veoma značajne pozitivne vrednosti dobijene su kod 4 ukrštanja značajne pozitivne vrednosti imala su 2., dok su veoma značajne negativne vrednosti zabeležila 3 ukrštanja (ZPL1 x ZPL3, ZPL2 x ZPL4 i ZPL4 x ZPL5). Najveću negativnu vrednost posebnih kombinacionih sposobnosti u obe godine ispitivanja imalo je ukrštanje ZPL1 x ZPL3 (-0,967), a najveću pozitivnu ukrštanje ZPL4 x ZPL6 (2,484).

Sa selekcionog stanovništva, poželjne su negativne vrednosti PKS za ovu osobinu. U obe godine ispitivanja jasno se uočava da kod ukrštanja koja su imala statistički veoma značajne negativne vrednosti, jednu roditeljsku komponentu čini samooplodna linija srednje rane grupe zrenja i druga roditeljska linija koja je srednje kasne grupe zrenja. Najčešće je slučaj da kada ukrstimo dve rane samooplodne linije dobijemo hibrid koji ima nizak sadržaj vlage u berbi. Ovakvi hibridi iako su imali *per se* najniži procenat vlage u berbi, nisu iskočili sa najvećim negativnim vrednostima za PKS zbog niskih prosečnih vrednosti roditeljskih komponenta.

U 2021. godini ispitivanja primenom recipročnih ukrštanja sadržaj vlage u berbi se statistički razlikovao od originalnih ukrštanja kod 2 genotipa, dok su u 2022. godini zabeležena statistički veoma značajna i značajna odstupanja od originalnih ukrštanja kod 5 genotipova.

Dnevni gubitak vlage je najčešće obrnuto proporcionalan sadržaju vlage u berbi. U 2021. godini svi hibridi su imali veoma značajne vrednosti PKS za osobinu dnevni gubitak vlage iz zrna.

Hibrid sa najvećom vrednošću PKS bio je ZPL1 x ZPL4 (0,095), dok je najmanja vrednost dobijena kod hibrida ZPL1 x ZPL2 (-0,060). Oba hibrida dele zajedničkog roditelja, samooplodnu liniju ZPL1, zbog toga se potvrđuju saznanja OKS da samooplodna linija ZPL4 unosi u potomstvo željene gene koji pozitivno utiču na ubrzano otpuštanje vlage iz zrna.

U 2022. godini 10 hibridnih kombinacija imalo je statistički značajne vrednosti PKS za ovu osobinu. Najveću značajnu pozitivnu vrednost imao je hibrid ZPL1 x ZPL4 (0,073), dok je najsporije dnevno otpuštanje vlage imao hibrid ZPL1 x ZPL6 (-0,069). Ove dve hibridne kombinacije dele zajedničkog roditelja, samooplodnu liniju ZPL1 (tabela 27.).

U 2021. godini od ukupno 15 recipročnih ukrštanja njih šest imalo je statistički značajne razlike u odnosu na originalna ukrštanja, sledeće godine 5 recipročnih hibrida je ostvarilo visoko značajne i značajne razlike za ovu osobinu. Najveću pozitivnu vrednost u obe godine ispitivanja imao je hibrid ZPL2 x ZPL4 (0,112; 0,115), i to u slučaju kada je samooplodna linija ZPL4 učestvovala u hibridizaciji kao majka. Recipročni hibridi koji su najsporije otpuštali vlagu na dnevnom nivou bili su ZPL4 x ZPL5 (-0,134; -0,098) i ZPL3 x ZPL5 (0,101; -0,101). Kod oba hibrida samooplodna linija ZPL5 bila je majčinska komponenta (tabela 26).

Vrednosti PKS za dužinu klipa u 2021. godini bili su statistički značajni kod 9 ukrštanja, naredne godine kod 12. U obe godine ispitivanja najviše vrednosti ostvarila su ukrštanja ZPL1 x ZPL3, ZPL2 x ZPL5 i ZPL4 x ZPL6. Negativne vrednosti PKS su dobijene između ukrštanja samooplodnih linija koje pripadaju istoj heterotičnoj grupi (ZPL1 x ZPL2, ZPL3 x ZPL4 i ZPL5 x ZPL6).

U 2021. godini 7 recipročnih ukrštanja statistički se razlikovalo od originalnih kombinacija i to 5 sa pozitivnim vrednostima i 2 sa negativnim. Naredne 2022. godine osam recipročnih ukrštanja se bitno razlikovalo od originalnih ukrštanja i to 6 pozitivnih i 2 ukrštanja sa negativnim vrednostima.

Jedanaest ukrštanja imalo je značajne i veoma značajne vrednosti PKS za prečnik klipa u 2021. godini, dok je u 2022. godini deset hibrida imalo značajne i veoma značajne vrednosti. Najveće značajne pozitivne vrednosti bile su kod hibrida ZPL4 x ZPL6 (0,339) u prvoj 2021. godini i kod hibrida ZPL2 x ZPL5 (0,281) u drugoj 2022 godini ispitivanja. Zanimljivo je napomenuti da su obe samooplodne linije ZPL4 i ZPL6, imale negativne vrednosti OKS za prečnik klipa, a njihova kombinacija dala je hibrid sa najvećom vrednošću PKS u 2021. godini.

Od ukupno 15 recipročnih ukrštanja, samo po 2 hibrida ostvarila su statistički značajne pozitivne vrednosti u obe godine ispitivanja. Na osnovu ovakvih rezultata može se pretpostaviti da geni koji se nalaze u mitohondrijama nisu zaslužni za ekspresiju ove osobine.

Za osobinu prečnik oklaska zabeležene su značajne i veoma značajne vrednosti kod 8 hibridnih kombinacija u prvoj godini ispitivanja i 9 u drugoj. U oplemenjivačkoj praksi poželjno je da hibrid poseduje što veći prečnik klipa i što manji prečnik oklaska, odnosno da je masa oklaska što manja. Ovakav je upravo hibrid ZPL2 x ZPL5, koji je u obe godine ispitivanja pokazao visoko značajne pozitivne vrednosti za prečnik klipa, dok mu vrednosti za prečnik oklaska nisu bili statistički značajne. U 2021. godini u recipročnim ukrštanjima hibrid ZPL2 x ZPL4 je pokazao iste karakteristike u slučaju kada se samooplodna linija ZPL4 koristi kao majčinska komponenta.

U savremenim oplemenjivačkim programima poželjno je da klip ima veliki broj redova zrna i broj zrna u redu, kao i da je zrno sitnije jer je takav hibrid smatra odličnim za semensku proizvodnju. U 2021. godini 6 hibrida imalo je značajne i veoma značajne pozitivne vrednosti PKS za broj redova zrna, dok su 3 hibrida imala značajne i veoma značajne negativne vrednosti. Naredne 2022. godine 5 hibrida su imali statistički značajne vrednosti PKS za ovu osobinu, od toga 4 sa pozitivnom vrednošću. Hibridi ZPL1 x ZPL4 i ZPL2 x ZPL6 imali su u obe godine statistički značajne pozitivne vrednosti. Najveću pozitivnu vrednost u prvoj godini ostvario je hibrid ZPL1 x ZPL4 (1,439), a u drugoj hibrid ZPL1 x ZPL3 (1,474).

Primenom recipročnih ukrštanja u prvoj 2021. godini utvrđene su značajne i veoma značajne pozitivne razlike u odnosu na originalna ukrštanja kod 4 hibrida, a u drugoj 2022. godini kod 5 hibrida.

Masa 1000 zrna je u pozitivnoj korelaciji sa prinosom zrna, u 2021. godini. Značajne i veoma značajne vrednosti ostvarilo je 11 hibrida, a u 2022. godini 12 hibrida. Najveću pozitivnu vrednost PKS u obe godine ispitivanja imao je hibrid ZPL3 x ZPL6 (0,055; 0,049). Zanimljivo je da su obe samooplodne linije ZPL3 i ZPL6 imale negativne vrednosti OKS za ovu osobinu, a dale su hibrid sa najvećom vrednošću PKS. Najmanju vrednost imali su hibridi koji pripadaju istim heterotičnim grupama ZPL3 x ZPL4, ZPL5 x ZPL6 i ZPL1 x ZPL2. Na osnovu ove činjenice može se reći da što su samooplodne linije genetski sličnije, rezultati PKS za masu 1000 zrna biće negativni.

Kod 9 od 15 recipročnih hibrida se statistički značajno razlikovalo od originalnih u prvoj godini ispitivanja, dok ih je u drugoj 2022. godini bilo 10. U obe godine najvišu pozitivnu vrednost imao je hibrid ZPL1 x ZPL5, kada se linija ZPL5 koristila kao majka.

Tabela 26. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti (PKS) i recipročnog efekta (REC) ispitivanih samooplodnih linija u 2021. godini

Hibrid	Površina listova kumušine		Debljina listova kumušine		Broj listova kumušine		Interval metličanja i svilanja		Vlaga u berbi		Dnevni gubitak vlage	
	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC
ZPL1 x ZPL2	106,718**	26,963 <sup>nz</sup>	-0,498**	-0,159*	-0,685**	-0,072 <sup>nz</sup>	0,437**	0,791**	1,270**	0,131 <sup>nz</sup>	-0,060**	0,005 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL3	-23,217 <sup>nz</sup>	7,143 <sup>nz</sup>	-0,011 <sup>nz</sup>	-0,110 <sup>nz</sup>	0,374**	-0,138 <sup>nz</sup>	-0,293*	-0,333**	-0,734*	-0,115 <sup>nz</sup>	0,035**	0,019 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL4	-22,918 <sup>nz</sup>	-23,505 <sup>nz</sup>	0,063 <sup>nz</sup>	0,075 <sup>nz</sup>	0,159 <sup>nz</sup>	-0,058 <sup>nz</sup>	0,133 <sup>nz</sup>	-0,291*	-0,830*	-0,508 <sup>nz</sup>	0,095**	-0,010 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL5	61,666*	-0,549 <sup>nz</sup>	-0,240**	-0,115 <sup>nz</sup>	-0,183 <sup>nz</sup>	-0,033 <sup>nz</sup>	-0,148 <sup>nz</sup>	0,250*	1,034**	-0,016 <sup>nz</sup>	-0,056**	0,006 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL6	40,505 <sup>nz</sup>	128,291**	-0,046 <sup>nz</sup>	0,623**	-0,270*	-0,055 <sup>nz</sup>	-0,696**	0,041 <sup>nz</sup>	0,901**	0,140 <sup>nz</sup>	-0,038**	0,021*
ZPL2 x ZPL3	19,927 <sup>nz</sup>	36,544 <sup>nz</sup>	-0,068 <sup>nz</sup>	0,226**	0,024 <sup>nz</sup>	0,152 <sup>nz</sup>	-0,023 <sup>nz</sup>	-0,575**	-0,250 <sup>nz</sup>	-0,518*	0,070**	-0,008 <sup>nz</sup>
ZPL2 x ZPL4	84,668**	-23,937 <sup>nz</sup>	0,233**	0,011 <sup>nz</sup>	0,561**	-0,175 <sup>nz</sup>	-0,162 <sup>nz</sup>	0,083 <sup>nz</sup>	-0,121 <sup>nz</sup>	0,190 <sup>nz</sup>	-0,013**	0,112**
ZPL2 x ZPL5	115,787**	5,518 <sup>nz</sup>	0,082 <sup>nz</sup>	-0,090 <sup>nz</sup>	0,466**	-0,097 <sup>nz</sup>	-0,152 <sup>nz</sup>	-0,250*	1,233**	0,275 <sup>nz</sup>	-0,028**	-0,010 <sup>nz</sup>
ZPL2 x ZPL6	166,384**	26,496 <sup>nz</sup>	0,244**	-0,169*	0,254 <sup>nz</sup>	0,166 <sup>nz</sup>	-0,159 <sup>nz</sup>	0,250*	0,683*	0,345 <sup>nz</sup>	-0,028**	0,027**
ZPL3 x ZPL4	-62,192*	5,295 <sup>nz</sup>	-0,083 <sup>nz</sup>	0,154*	-0,368**	-0,321**	-0,127 <sup>nz</sup>	0,275*	0,875**	0,026 <sup>nz</sup>	-0,052**	0,012 <sup>nz</sup>
ZPL3 x ZPL5	91,714**	33,252 <sup>nz</sup>	0,062 <sup>nz</sup>	0,030 <sup>nz</sup>	0,023 <sup>nz</sup>	0,222*	0,074 <sup>nz</sup>	0,166 <sup>nz</sup>	-0,328 <sup>nz</sup>	0,245 <sup>nz</sup>	0,018**	-0,101**
ZPL3 x ZPL6	90,020**	42,121*	-0,204**	0,237**	0,580**	0,111 <sup>nz</sup>	-0,724**	-0,041 <sup>nz</sup>	0,994**	-0,319 <sup>nz</sup>	-0,037**	0,005 <sup>nz</sup>
ZPL4 x ZPL5	65,169**	88,726**	-0,008 <sup>nz</sup>	-0,016 <sup>nz</sup>	0,116 <sup>nz</sup>	0,216 <sup>nz</sup>	-0,456**	0,166 <sup>nz</sup>	-0,951**	-0,014 <sup>nz</sup>	0,050**	-0,134**
ZPL4 x ZPL6	140,482**	63,857**	-0,082 <sup>nz</sup>	0,122*	0,186 <sup>nz</sup>	0,537**	-0,088 <sup>nz</sup>	-0,208*	2,484**	-1,93**	0,011**	-0,020*
ZPL5 x ZPL6	-35,964 <sup>nz</sup>	10,834 <sup>nz</sup>	0,092 <sup>nz</sup>	0,143*	0,175 <sup>nz</sup>	0,102 <sup>nz</sup>	0,129 <sup>nz</sup>	-0,250*	-0,260 <sup>nz</sup>	0,436 <sup>nz</sup>	-0,051**	-0,011 <sup>nz</sup>

nastavak tabele

Hibrid	Dužina klipa		Prečnik klipa		Prečnik oklaska		Broj redova zrna		Masa 1000 zrna		Prinos zrna	
	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC
ZPL1 x ZPL2	-1,315**	-0,283 <sup>nz</sup>	0,024 <sup>nz</sup>	-0,019 <sup>nz</sup>	-0,023 <sup>nz</sup>	0,006 <sup>nz</sup>	0,189 <sup>nz</sup>	0,249 <sup>nz</sup>	-0,010*	-0,010**	-0,948**	0,070 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL3	1,501**	1,761**	0,143**	-0,155**	0,104**	-0,183**	0,217 <sup>nz</sup>	-0,166 <sup>nz</sup>	0,021**	-0,003 <sup>nz</sup>	1,537**	-0,063 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL4	-0,468 <sup>nz</sup>	0,231 <sup>nz</sup>	0,037 <sup>nz</sup>	-0,055 <sup>nz</sup>	-0,027 <sup>nz</sup>	-0,044 <sup>nz</sup>	1,439**	-0,083 <sup>nz</sup>	-0,002 <sup>nz</sup>	-0,012**	0,925**	0,148 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL5	0,549 <sup>nz</sup>	1,770**	0,248**	0,067 <sup>nz</sup>	0,102**	-0,034 <sup>nz</sup>	0,189 <sup>nz</sup>	0,416*	0,037**	0,022**	2,222**	-0,232 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL6	0,746*	0,908**	0,109*	-0,025 <sup>nz</sup>	0,006 <sup>nz</sup>	-0,058*	-0,129 <sup>nz</sup>	-0,001 <sup>nz</sup>	0,003 <sup>nz</sup>	-0,013**	1,355**	-1,022**
ZPL2 x ZPL3	0,546 <sup>nz</sup>	-0,183 <sup>nz</sup>	0,078 <sup>nz</sup>	0,063 <sup>nz</sup>	0,048 <sup>nz</sup>	-0,005 <sup>nz</sup>	0,898**	-0,001 <sup>nz</sup>	0,001 <sup>nz</sup>	-0,004 <sup>nz</sup>	0,769**	0,032 <sup>nz</sup>
ZPL2 x ZPL4	-0,410 <sup>nz</sup>	0,150 <sup>nz</sup>	0,149**	0,097*	0,045 <sup>nz</sup>	0,010 <sup>nz</sup>	0,537*	0,500*	0,016**	0,004 <sup>nz</sup>	0,565*	0,678**
ZPL2 x ZPL5	1,476**	-0,733**	0,197**	-0,006 <sup>nz</sup>	0,049 <sup>nz</sup>	0,012 <sup>nz</sup>	-0,546*	-0,166 <sup>nz</sup>	0,034**	-0,015**	2,232**	-0,054 <sup>nz</sup>
ZPL2 x ZPL6	1,219**	1,450**	0,215**	0,054 <sup>nz</sup>	0,125**	-0,001 <sup>nz</sup>	0,467*	-0,083 <sup>nz</sup>	0,025**	0,006 <sup>nz</sup>	1,851**	0,131 <sup>nz</sup>
ZPL3 x ZPL4	-0,218 <sup>nz</sup>	-0,220 <sup>nz</sup>	-0,230**	0,005 <sup>nz</sup>	-0,131**	-0,076**	-1,268**	0,250 <sup>nz</sup>	-0,015**	0,003 <sup>nz</sup>	-0,932**	-0,031 <sup>nz</sup>
ZPL3 x ZPL5	1,277**	0,2875 <sup>nz</sup>	0,033 <sup>nz</sup>	0,027 <sup>nz</sup>	-0,060 <sup>nz</sup>	-0,004 <sup>nz</sup>	0,064 <sup>nz</sup>	0,666**	0,001 <sup>nz</sup>	0,007*	1,280**	-0,625**
ZPL3 x ZPL6	1,091**	0,350 <sup>nz</sup>	0,257**	-0,069 <sup>nz</sup>	0,087**	-0,060*	0,412 <sup>nz</sup>	-0,250 <sup>nz</sup>	0,055**	0,007*	1,609**	-0,161 <sup>nz</sup>
ZPL4 x ZPL5	0,393 <sup>nz</sup>	0,880**	0,261**	0,143**	0,093**	0,112**	0,620**	0,416*	0,026**	-0,002 <sup>nz</sup>	1,476**	-0,274 <sup>nz</sup>
ZPL4 x ZPL6	1,300**	0,016 <sup>nz</sup>	0,339**	-0,062 <sup>nz</sup>	0,172**	0,007 <sup>nz</sup>	1,217**	-0,416*	0,024**	-0,003*	2,192**	-0,444*
ZPL5 x ZPL6	-1,232**	-0,554*	-0,231**	0,072 <sup>nz</sup>	-0,119**	0,077**	-0,782**	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,015**	0,011**	-1,860**	0,033 <sup>nz</sup>

Tabela 27. Vrednosti posebnih kombinacionih sposobnosti (PKS) i recipročnog efekta (REC) ispitivanih samooplodnih linija u 2022. godini

Hibrid	Površina komašine		listova Debljina komašine		listova Broj komašine		Interval metličanja svilanja		i Vlaga u berbi		Dnevni vlage gubitak	
	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC
ZPL1 x ZPL2	-169,120**	20,976 <sup>nz</sup>	-0,317*	0,082 <sup>nz</sup>	-0,482**	0,143 <sup>nz</sup>	0,167 <sup>nz</sup>	0,541**	1,329**	0,147 <sup>nz</sup>	-0,003 <sup>nz</sup>	0,012 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL3	108,780**	-41,520 <sup>nz</sup>	0,031 <sup>nz</sup>	-0,494**	0,464**	-0,330**	-0,202 <sup>nz</sup>	-0,250*	-0,967**	-0,053 <sup>nz</sup>	-0,009 <sup>nz</sup>	-0,005 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL4	127,058**	-45,831*	-0,048 <sup>nz</sup>	-0,058 <sup>nz</sup>	-0,036 <sup>nz</sup>	0,123 <sup>nz</sup>	0,311*	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,131 <sup>nz</sup>	0,086 <sup>nz</sup>	0,073**	-0,046**
ZPL1 x ZPL5	162,762**	-58,190*	-0,156 <sup>nz</sup>	-0,151 <sup>nz</sup>	0,141 <sup>nz</sup>	-0,085 <sup>nz</sup>	-0,200 <sup>nz</sup>	0,208*	0,548**	-0,153 <sup>nz</sup>	-0,041**	-0,012 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL6	36,311 <sup>nz</sup>	31,931 <sup>nz</sup>	-0,048 <sup>nz</sup>	0,072 <sup>nz</sup>	-0,357**	-0,241*	-0,492**	-0,041 <sup>nz</sup>	0,028 <sup>nz</sup>	0,921**	-0,069**	-0,008 <sup>nz</sup>
ZPL2 x ZPL3	142,231**	174,735**	0,294**	-0,042 <sup>nz</sup>	0,436**	0,525**	0,339**	-0,416**	-0,107 <sup>nz</sup>	-0,236 <sup>nz</sup>	0,020**	-0,012 <sup>nz</sup>
ZPL2 x ZPL4	24,476 <sup>nz</sup>	14,630 <sup>nz</sup>	0,093 <sup>nz</sup>	0,108 <sup>nz</sup>	0,211 <sup>nz</sup>	0,334**	-0,063 <sup>nz</sup>	0,083 <sup>nz</sup>	-0,570**	-0,111 <sup>nz</sup>	-0,029**	0,115**
ZPL2 x ZPL5	86,754**	-78,994**	-0,034 <sup>nz</sup>	-0,403**	-0,045 <sup>nz</sup>	-0,164 <sup>nz</sup>	-0,117 <sup>nz</sup>	-0,166 <sup>nz</sup>	0,135 <sup>nz</sup>	-0,385*	0,005 <sup>nz</sup>	-0,012 <sup>nz</sup>
ZPL2 x ZPL6	215,321**	94,561**	-0,109 <sup>nz</sup>	-0,046 <sup>nz</sup>	0,321**	-0,133 <sup>nz</sup>	-0,659**	0,250*	0,423*	0,020 <sup>nz</sup>	-0,031**	0,014 <sup>nz</sup>
ZPL3 x ZPL4	-175,143**	11,350 <sup>nz</sup>	-0,240*	0,073 <sup>nz</sup>	-0,319**	-0,202*	-0,257*	0,283**	-0,238 <sup>nz</sup>	0,637**	-0,038**	0,026*
ZPL3 x ZPL5	76,500**	60,339*	-0,228*	0,172*	-0,277*	0,095 <sup>nz</sup>	0,262*	-0,041 <sup>nz</sup>	0,186 <sup>nz</sup>	0,230 <sup>nz</sup>	0,010 <sup>nz</sup>	-0,101**
ZPL3 x ZPL6	68,787*	-36,773 <sup>nz</sup>	-0,411**	-0,033 <sup>nz</sup>	0,456**	-0,179 <sup>nz</sup>	-0,487**	0,333*	0,936**	-0,416*	0,011 <sup>nz</sup>	0,001 <sup>nz</sup>
ZPL4 x ZPL5	159,867**	100,200**	0,045 <sup>nz</sup>	0,012 <sup>nz</sup>	0,451**	-0,255*	-0,514**	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,896**	-0,118 <sup>nz</sup>	0,050**	-0,098**
ZPL4 x ZPL6	190,768**	207,157**	-0,165 <sup>nz</sup>	0,218*	0,122 <sup>nz</sup>	0,465**	-0,098 <sup>nz</sup>	-0,375**	1,122**	-0,676**	0,013*	-0,017 <sup>nz</sup>
ZPL5 x ZPL6	-143,032**	-89,363**	0,104 <sup>nz</sup>	0,015 <sup>nz</sup>	0,007 <sup>nz</sup>	-0,083 <sup>nz</sup>	0,306*	-0,416**	0,480*	-0,111 <sup>nz</sup>	-0,013*	-0,014 <sup>nz</sup>

nastavak tabele

Hibrid	Dužina klipa		Prežnik klipa		Prečnik oklaska		Broj redova zrna		Masa 1000 zrna		Prinos zrna	
	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC	PKS	REC
ZPL1 x ZPL2	-1,649**	0,553**	0,014 <sup>nz</sup>	0,066*	0,030*	0,031**	-0,178 <sup>nz</sup>	-0,125 <sup>nz</sup>	-0,012**	-0,009**	-1,533**	0,080 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL3	2,304**	0,220 <sup>nz</sup>	0,187**	-0,070*	0,108**	-0,092**	1,474**	0,125 <sup>nz</sup>	0,020**	-0,007**	2,100**	-0,201 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL4	0,952**	-0,576**	0,107**	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,027*	-0,076**	0,731**	-0,001 <sup>nz</sup>	0,008**	-0,012**	1,556**	0,001 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL5	0,482*	0,182 <sup>nz</sup>	0,172**	0,025 <sup>nz</sup>	0,028*	-0,015 <sup>nz</sup>	0,182 <sup>nz</sup>	0,258 <sup>nz</sup>	0,025**	0,017**	2,884**	-0,272 <sup>nz</sup>
ZPL1 x ZPL6	-0,305 <sup>nz</sup>	0,610**	0,088*	-0,004 <sup>nz</sup>	0,064**	-0,131**	0,891**	-0,833**	0,001 <sup>nz</sup>	-0,008**	2,454**	-0,786**
ZPL2 x ZPL3	0,662**	-0,210 <sup>nz</sup>	0,109**	-0,047 <sup>nz</sup>	0,051**	-0,049**	0,273 <sup>nz</sup>	-0,875**	-0,001 <sup>nz</sup>	0,005**	1,780**	-0,457*
ZPL2 x ZPL4	0,120 <sup>nz</sup>	0,0159 <sup>nz</sup>	-0,055 <sup>nz</sup>	-0,050 <sup>nz</sup>	-0,001 <sup>nz</sup>	0,015 <sup>nz</sup>	0,405 <sup>nz</sup>	0,375*	0,019**	0,001 <sup>nz</sup>	1,00**	0,647**
ZPL2 x ZPL5	1,890**	-0,014 <sup>nz</sup>	0,281**	0,053 <sup>nz</sup>	0,026 <sup>nz</sup>	0,017 <sup>nz</sup>	0,356 <sup>nz</sup>	1,166**	0,029**	-0,008**	2,642**	-0,315 <sup>nz</sup>
ZPL2 x ZPL6	1,458**	0,512*	0,145**	0,011 <sup>nz</sup>	-0,003 <sup>nz</sup>	-0,039**	0,481*	0,875**	0,019**	0,003*	2,159**	-0,081 <sup>nz</sup>
ZPL3 x ZPL4	-1,218**	-0,020 <sup>nz</sup>	-0,018 <sup>nz</sup>	0,056 <sup>nz</sup>	-0,023 <sup>nz</sup>	-0,005 <sup>nz</sup>	0,266 <sup>nz</sup>	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,018**	0,001 <sup>nz</sup>	-1,132**	0,179 <sup>nz</sup>
ZPL3 x ZPL5	1,395**	0,445*	0,040 <sup>nz</sup>	0,155**	-0,022 <sup>nz</sup>	0,073**	-0,157 <sup>nz</sup>	0,583**	-0,001 <sup>nz</sup>	-0,001 <sup>nz</sup>	1,873**	-0,393*
ZPL3 x ZPL6	1,390**	0,387*	0,222**	-0,044 <sup>nz</sup>	0,005 <sup>nz</sup>	-0,061**	-0,074 <sup>nz</sup>	-0,333 <sup>nz</sup>	0,049**	0,008**	1,542**	-0,207 <sup>nz</sup>
ZPL4 x ZPL5	0,035 <sup>nz</sup>	0,361 <sup>nz</sup>	0,108**	-0,061*	0,045**	0,005 <sup>nz</sup>	-0,692**	-0,500*	0,033**	-0,002 <sup>nz</sup>	2,028**	-0,713**
ZPL4 x ZPL6	2,048**	0,941**	0,135**	0,052 <sup>nz</sup>	0,056**	0,008 <sup>nz</sup>	0,224 <sup>nz</sup>	0,416*	0,014**	0,001 <sup>nz</sup>	2,390**	-0,142 <sup>nz</sup>
ZPL5 x ZPL6	-0,590*	-1,561**	-0,024 <sup>nz</sup>	0,004 <sup>nz</sup>	-0,029*	0,013 <sup>nz</sup>	-0,240 <sup>nz</sup>	0,321 <sup>nz</sup>	-0,022**	0,014**	-2,374**	-0,252 <sup>nz</sup>



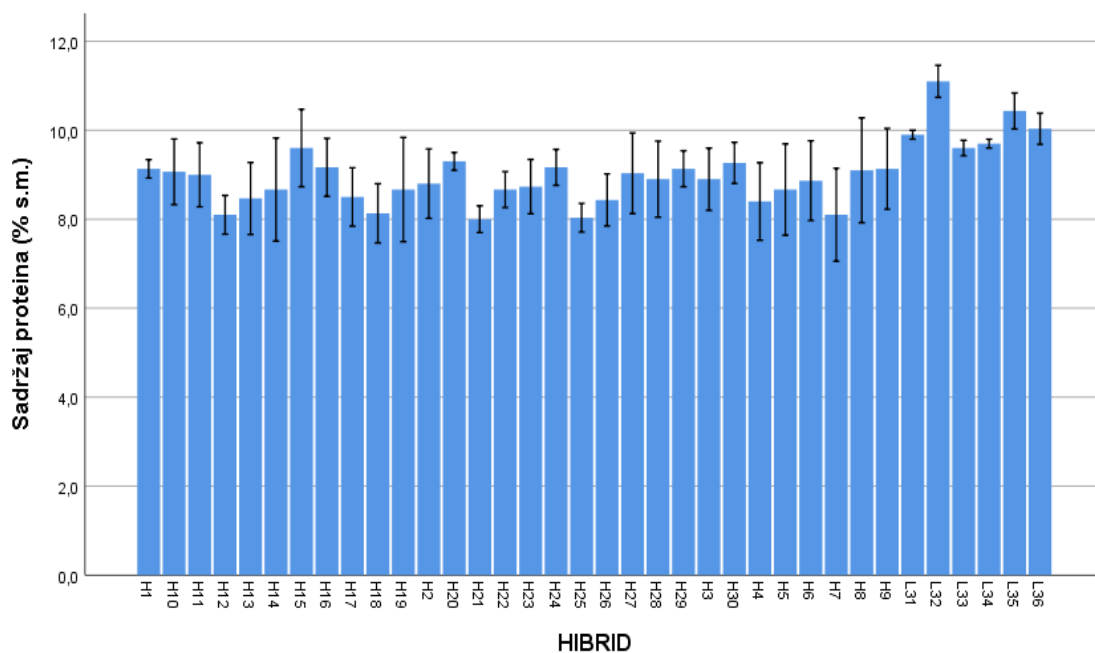
## 7.12 Sadržaj proteina, ulja i skroba kod samooplodnih linija i hibrida kukuruza

Na grafikonima 23, 24 i 25., prikazane su prosečne vrednosti sadržaja proteina, skroba i ulja u zrnu kukuruza kod samooplodnih linija i hibrida. Zbog problema sa kalibracijom aparature NIR Infratec 1241 Grain analyzer (Foss Tecator, Sweden) koje smo imali u 2021. godini, prikazani su samo rezultati iz 2022. godine sa tri lokaliteta (Lok. 1 - Selekciono Polje, Lok. 2 - Školsko Dobro i Lok. 3-Ruma). Ove vrednosti izražene su kao procenat apsolutno suve mase zrna (% s.m).

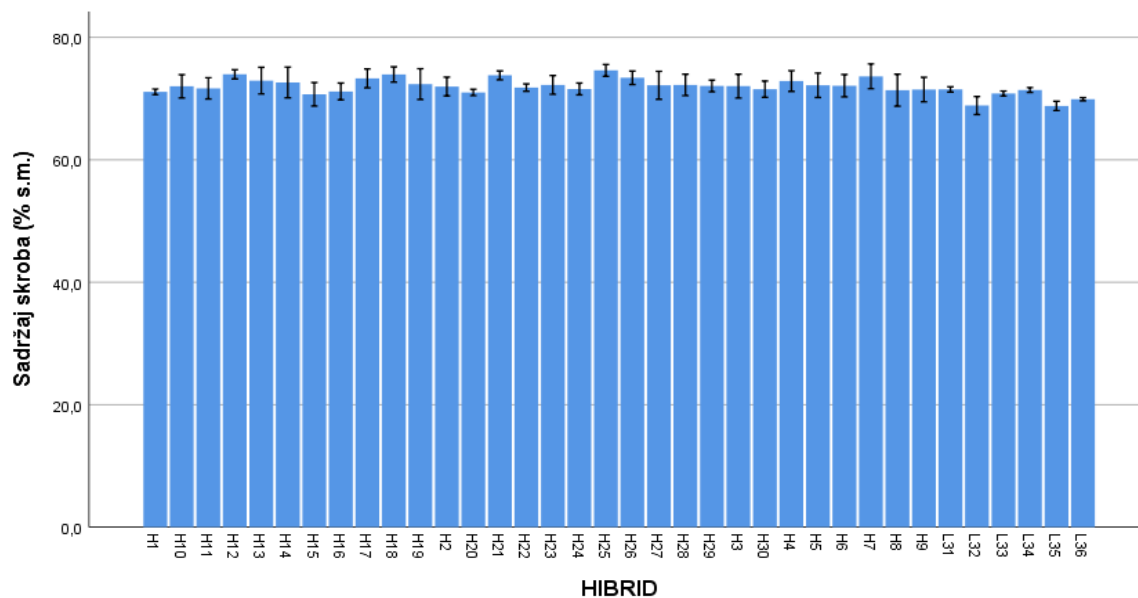
Prosečni sadržaj proteina u zrnu po lokacijama se razlikovao, a sa sve 3 lokacije bio je 8,99%. Najveći prosečni sadržaj proteina zabeležen je na lokaciji Ruma sa 9,60%, dok je namanji prosečni sadržaj proteina dobijen na lokaciji Selekciono Polje sa 8,61%. Najmanji prosečni sadržaja proteina imali su sledeći hibridi: H7 (ZPL2 x ZPL4) 7,40%, H18 (ZPL5 x ZPL3) 7,70% i H21 (ZPL6 x ZPL4). Najveći prosečni sadržaj proteina zabeležen kod ZPL2 sa 11,50%, ZPL5 sa 10,80% i H15 (ZPL6 x ZPL5) sa 10,6%. Poznato je da sadržaj proteina varira između genotipova kukuruza (Lorenz i sar, 2007, Mladenović Drinić et al., 2009, Stevanović et al., 2012).

Skrob je glavni ugljenohidratni i hemijski konstituent zrna kukuruza i glavni izvor energije (Mladenović Drinić et al., 2013). Sadržaj skroba na sve 3 lokacije je varirao i u proseku je iznosio 71,97%, najveći prosečni sadržaj skroba ostvaren je na lokaciji 1- Selekciono Polje sa 72,81% dok je najmanji prosečni sadržaj skroba zabeležen na lokaciji Ruma sa 70,65%. Hibridi koji su imali najveći prosečni sadržaj skroba bili su H25 (ZPL4 x ZPL3) sa 75,31% i H17 (ZPL5 x ZPL4) sa 75,00%.

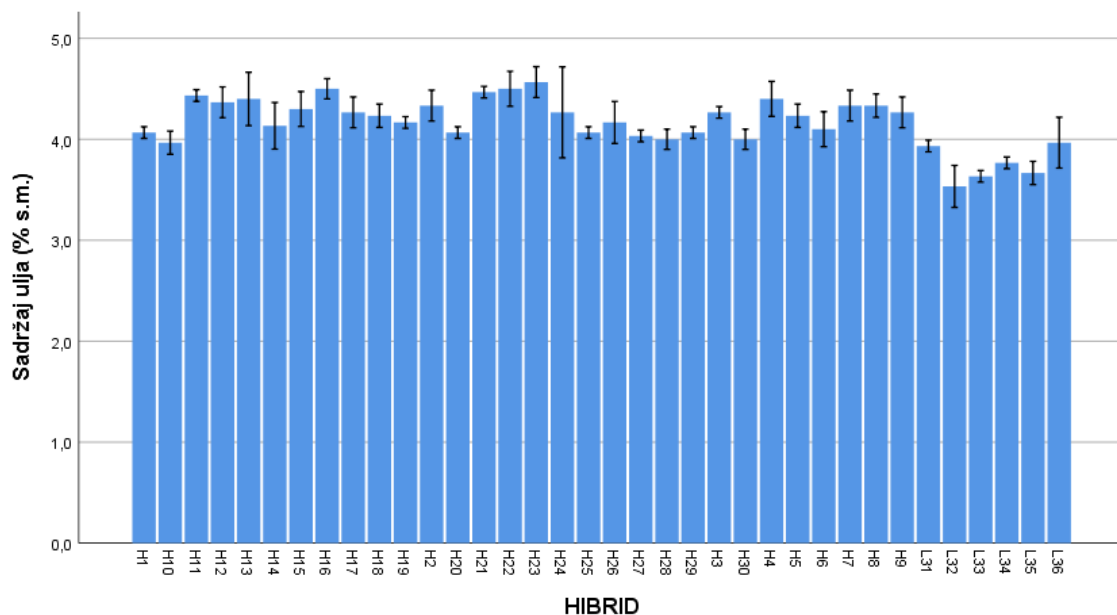
Tipično sadržaj ulja u zrnu kukuruza varira od 3,5 do 5%. Genotipovi sa visokim sadržajem ulja imaju od 7 do 8% (Heiniger and Dunphy, 1997). Sadržaj ulja je kvantitativno svojstvo pod kontrolom većeg broja gena sa malim efektom (Dudley, 1977). Prosečni sadržaj ulja u ispitivanim samooplodnim linijama i hibridima na sve tri lokacije bio je 4,16%, najveći prosečni sadržaj ulja ostvaren je na lokaciji 2 - Školsko Dobro (4,23%), dok je najmanji dobijen na lokaciji 3 - Ruma (4,07%). Najveći prosečni sadržaj ulja u zrnu imali su hibridi H24 (ZPL6 x ZPL1) i H23 (ZPL6 x ZPL2) sa 4,70%, dok je najmanji procenat ulja ostvaren kod samooplodnih linija ZPL2 (3,30%), ZPL3 (3,60%) i ZPL5 (3,60%).



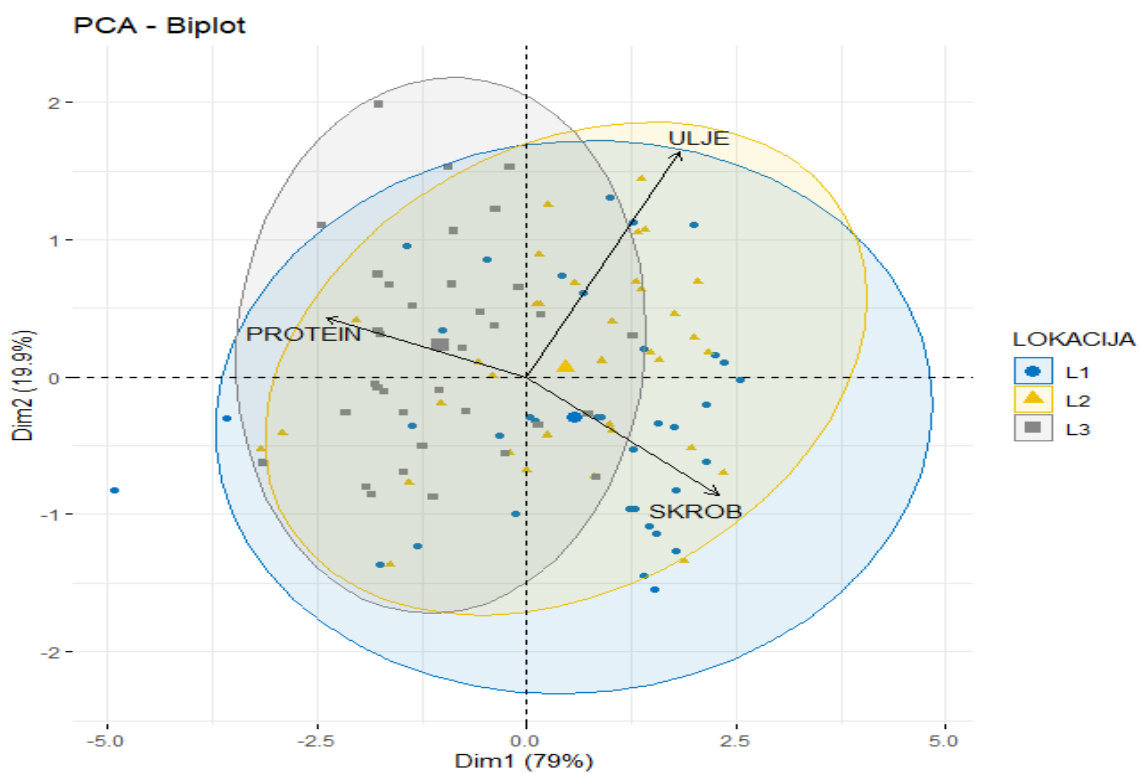
Grafikon 23. Bar dijagram prosečnog sadržaja proteina u zrnju kod samooplodnih linija i hibrida kukuruza na tri lokacije u 2022. godini sa ucrtanim standardnim devijacijama



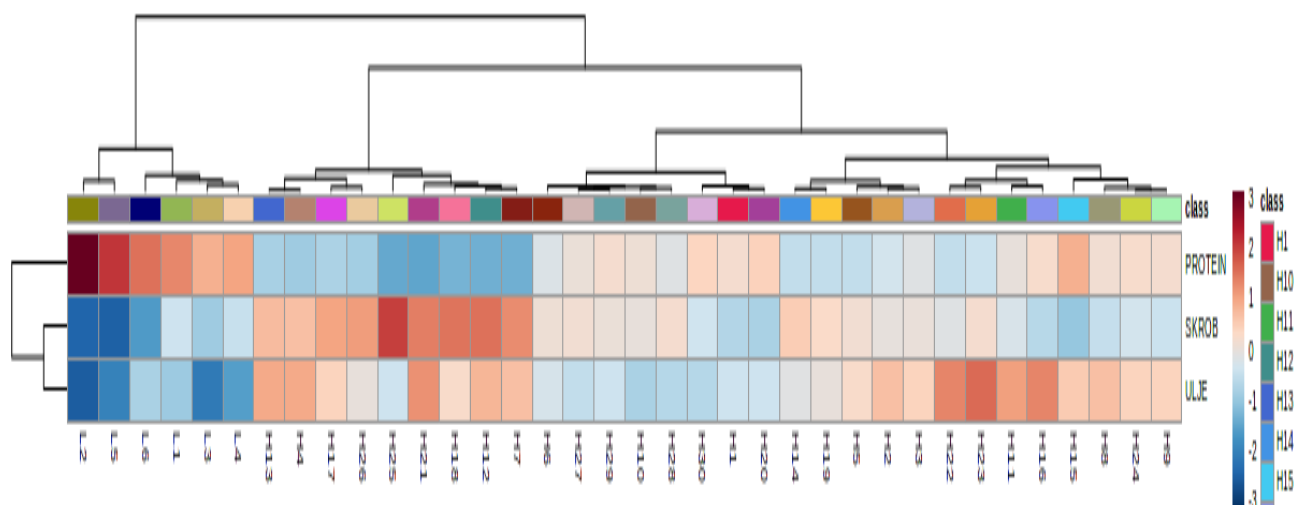
Grafikon 24. Bar dijagram prosečnog sadržaja skroba u zrnju kod samooplodnih linija i hibrida kukuruza na tri lokacije u 2022. godini sa ucrtanim standardnim devijacijama



Grafikon 25. Bar dijagram prosečnog sadržaj ulja u zrnju kod samooplodnih linija i hibrida kukuruza na tri lokacije u 2022. godini sa ucrtanim standardnim devijacijama



Grafikon 26. Biplot: sumiranje rezultata analize glavnih komponenti. Elipse reprezentuju pojedine lokalitete (L1 -Selekciono Polje, L2-Školsko Dobro, L3-Ruma)



Grafikon 27. Hitmapa sa dendrogramima

Na osnovu položaja elipsi (grafikon 26.), koje predstavljaju lokacije, vidi se da su one homogene i da nema velikih odstupanja između njih. Prema položaju vektora možemo da vidimo da su sadržaj proteina i sadržaj skroba u negativnoj korelaciji jer formiraju tup ugao, odnosno da povećanjem proteina kod nekog hibrida dovodi do smanjenja sadržaja skroba i obrnuto. Prav ugao se formirao između sadržaja proteina i sadržaja ulja kao i između sadržaja ulja i sadržaja skroba, označavajući tako da između posmatranih parametara ne postoji korelacija.

Na grafikonu 27., predstavljena je hitmapa. Dendrogram koji grupiše genotipove jasno je izdvojio samooplodne linije od preostalih genotipova. Ove roditeljske linije karakteriše nizak nivo skroba i ulja, a visok nivo proteina. Unutar klastera genotipova (bez roditeljskih linija), uočavaju se dva subklastera. Jedan od njih čine genotipovi: H13 (ZPL4 x ZPL6), H4 (ZPL1 x ZPL6), H17 (ZPL5 x ZPL4), H26 (ZPL4 x ZPL2), H25 (ZPL4 x ZPL3), H21 (ZPL6 x ZPL4), H18 (ZPL5 x ZPL3), H12 (ZPL3 x ZPL5) i H7 (ZPL2 x ZPL4). Ovaj subklaster je karakterističan po tome što njegovi genotipovi sadrže manje proteina, a više ulja i skroba od ostalih genotipova.

Prema ovim saznanjima i analizama rezultata iz poglavlja 7.4;7.5 i 7.6, gde smo ustanovili dinamiku otpuštanja vlage iz zrna, možemo da zaključimo da svi hibridi iz datog klastera pripadaju grupi hibrida sa odličnom dinamikom otpuštanja vlage. Neke od karakteristika hibrida koji poseduju dobru dinamiku otpuštanja vlage iz zrna bile su sa visokim sadržajem ulja i skroba i sa niskim sadržajem proteina.

Spektroskopija skoro infracrvene refleksije (NIR) može se koristiti za brzo i pouzdano predviđanje organskih jedinjenja u složenim biološkim uzorcima. U našem ispitivanju koristili smo instrument za NIR spektroskopiju za analizu odnosno predviđanje sadržaja skroba, proteina, ulja i težine pojedinačnih zrna kukuruza. Kalibracije skroba, proteina i ulja imaju pouzdanost jednaku ili bolju NIR analizatorima za krupno zrno. Ova tehnologija ima višestruku primenu za proučavanje genetskih i fizioloških uticaja na osobine zrna (Spielbauer et al., 2009).

Zrna žita imaju skrobni endosperm i klicu bogatu uljem. Klica kukuruza je veća od klice drugih žita, što daje asimetričnu distribuciju proteina, skroba i ulja unutar zrna. Zrna kukuruza su, takođe promenljiva po veličini i obliku i imaju različite površine i dužine putanje za spektralno sakupljanje. Spektroskopija bliske infracrvene propustljivosti (NIT) može objasniti asimetričnu distribuciju sastojaka semena jer se spektri prikupljaju od svetlosti koja prolazi kroz cela zrna.

Primarni fenotip semena je akumulacija molekula za skladištenje, uključujući skrob, proteine za skladištenje i ulja. Svaka od ovih klasa organskih molekula ima različite hemijske osobine i zahteva drugačiju strategiju za analizu. Za većinu vrsta, hemijska analiza bilo koje klase molekula za skladištenje zahteva jedno ili više semena, efikasno uništavajući pojedinačnu biljku koja se analizira. Spektroskopija skoro infracrvene refleksije (NIR) je nedestruktivna tehnologija koja može istovremeno izvesti glavne molekule skladištenja semena.

Materije koje se skladište u zrnju kukuruza, uglavnom skrob i proteini, sintetišu se, počevši od oko 15 dana posle svilanja, u subaleuronskim i skrobnim ćelijskim slojevima endosperma. Njihova sinteza se nastavlja sve dok se metabolička aktivnost ne spreči gubljenjem vlage iz zrna u fazi zrenja kukuruza koje nastupa nakon 40 dana posle svilanja (Motto et al., 2010).

Primarni proteini za skladištenje u zrnju kukuruza su prolamini koji se nazivaju „zeini“. Konkretno, zeini su najzastupljenija komponenta za skladištenje proteina (>60%) u tkivima endosperma u razvoju i sastoje se od jedinjenja rastvorljivih u alkoholu sa karakterističnim sastavom aminokiselina, bogati su glutaminom, prolinom, alaninom i leucinom i skoro potpuno bez lizina i triptofana (Gibbon i Larkins 2005). Zeini takođe imaju jedinstvenu funkcionalnu i biohemijska svojstva koja su pogodna za razne prehrambene, farmaceutske i industrijske proizvode (Lawton 2002).

Zrela klica kukuruza ima približno 33% ulja u standardnim hibridima i sadrži oko 80% ulja zrna (Val et al., 2009). Akumulacija ulja tokom razvoja paralelno sa rastom klice, počevši od oko 15 dana posle svilanja i nastavlja se do zrelosti (Watson 1987). Triacilglicerol je ulje za skladištenje koje klijanac koristi za energiju tokom ranog rasta i sadrži 70-85% klice (Tan i Morrison, 1979). Ostala ulja u klici uključuju digliceride i sterilne estere. Približno polovina ulja endosperma je povezana sa skrobom, a ova ulja se sastoje prvenstveno od slobodnih masnih kiselina (60%) i lizofosfolipida (25%). Ulje u aleuronu i susednim skrobnim slojevima endosperma slično je sa onima u klici (Weber 1987).

Hibridi kukuruza se razlikuju po tvrdoći ili staklavosti endosperma, odnosno po osetljivosti na lomljenje, što u velikoj meri zavisi od genetske pozadine. Odnos staklastog (tvrdog) i brašnastog (mekog) endosperma je važna agronomska osobina koja može uticati na tvrdoću zrna, otpornost posle žetve na štetočine i mikroorganizme, kao i na brzinu svarljivosti skroba. Kada je u pitanju sadržaj proteina, kukuruz se smatra jednom od siromašnih osnovnih namirnica za žitarice. Iako je skrob glavni izvor konzumiranih kalorija, proteini obezbeđuju esencijalne hranljive materije za naše snabdevanje hranom (Milenković et al., 2014).

Genetske karakteristike linija i hibrida nesporno imaju veliku ulogu po uticaju na fizičke karakteristike zrna. Ne treba zaboraviti da na tvrdoću zrna i druge parametre kvaliteta utiču i drugi faktori: agroekološki uslovi, primenjena agrotehnika, žetva i skladištenje. mogu uticati na kvalitet zrna (Nikolić et al., 2020). Zapreminska masa je značajan parametar kvaliteta zrna, naročito u trgovini semenom. Veća težina 1000 zrna je poželjna karakteristika mokrog mlevenja jer je povezana sa većim prinosom skroba i proteina i nižim prinosom vlakana.

Odložena žetva kukuruza nakon fiziološke zrelosti je univerzalna praksa u američkom kukuruznom pojasu za smanjenje troškova sušenja zrna, Koncepte gubitka prinosa spominju Nielsen et al. (1996) u Indijani (SAD) od 1991 do 1994. godine. Posle fiziološke zrelosti kada sadržaj vlage dođe na nivo 280 g/kg i počne da pada na 180 g/kg (28 do 18%) sa svakim procentom smanjenja vlage u zrnju kukuruza gubi se oko 1% suve materije. Pored gubitaka vlage odložena žetva dovodi do poleganja stabla, povećava se razvoj truleži klipa kukuruza i oštećenja od insekata, a što sve utiče na gubitke u konačnom prinosu. Mnogi američki farmeri i prodavci semena na malo imali su gubitke u prinosu kukuruza zbog kašnjenja sa žetvom (ISA, 2015). Gubici prinosa izazvani zakašnjenjem žetve u periodu između fiziološke i pune zrelosti iznosili su od faze fiziološke zrelosti (~300 g/kg vlage zrna) do pune zrelosti (~150 g/kg vlage zrna), Prema istraživanju USDA iz 1970-ih u najpoznatijim državama američkog kukuruznog pojasa Ilinoisu, Indijani, Ajovi i Nebraski, gubici u žetvi-berbi kukuruza porasli su sa 5% u oktobru na 18% u decembru kako navode Parvej et al. (2020). Veći

sadržaj vlage u zrnu nije povoljan ni kod žetve kombajnima jer povećava stepen lomljenje zrna pri žetvi (Maiorano et al., 2014). Brzina lomljenja zrna ima kvadratni polinomski odnos sa sadržajem vlage u zrnu pri žetvi. Da bi se obavila kvalitetna žetva kombajnima sa što manje mehanički slomljenog zrna neophodna je odgovarajuća vlaga u fazi pune zrelosti (Wang et al., 2019): Najmanje lomljenje zrna bilo je kada se vlaga u zrnu kretala između 18 i 23 % (Plett,1994).

Koncentracije proteina, ulja i skroba u zrnu su bile skoro nepromenjene između fiziološke zrelosti i žetve, iako su na njih uticali glavni efekti i/ili interakcijski efekti između datuma žetve i hibrida za većinu godina na lokaciji. Rezultati sugerišu da kukuruz može da se bere u bilo koje vreme posle fiziološke zrelosti bez ikakvih promena u suvoj materiji i kvalitetu, a žetvu treba obaviti na osnovu vlažnosti zrna i standardnih testova merenja težine kako bi se sveo na najmanju meru gubitak zrna u polju. Relativno malo saznanja ima do sada o uticaju odložene žetve na kvalitet zrna kukuruza. Cloninger (1975) su istraživali kvalitet zrna kukuruza na koji utiču datumi žetve u Misuriju i utvrdili su da odložena žetva nije uticala na koncentraciju proteina u zrnu već na smanjenje koncentracije ulja. Kukuruzno ulje je bogat izvor hranjivog ulja sa najmanje štetnih efekata na ljudsko zdravlje.

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju ukazuju na različite mogućnosti primene ispitivanih inbred linija kukuruza u narednim fazama oplemenjivanja. Ovi podaci ukazuju na to da genetička varijabilnost ispitivanih inbred linija i njihovih recipročnih kombinacija sa namerom da se izaberu kombinacije za što brze odavanje vlage mogu imati i različite mogućnosti za njihovu tehnološku preradu i upotrebu. Međutim, potrebne su dalje, detaljnije studije o fizičkim osobinama, hemijskom sastavu i biohemijskim osobinama kako bi se procenili kompletni nutritivni potencijali ovih inbred linija kukuruza u tom smislu.

## 8. ZAKLJUČAK

Na osnovu dvogodišnjeg ispitivanja kvantitativnih osobina nasleđivanja putem dialelnog ukrštanja, na tri lokacije sa 6 elitnih samooplodnih linija kukuruza i njihovih recipročnih kombinacija u cilju selekcije roditeljskih linije sa svojstvom brzog otpuštanja vlage, mogu se izvesti sledeći zaključci:

Meteorološki uslovi u obe godine ispitivanja se mogu okarakterisati kao nepovoljniji u odnosu na prosečne uslove koji vladaju u ovom podneblju. Naime, obe godine su toplije sa manjim količinama padavina u toku vegetacionog perioda. Vegetacioni period kukuruza u 2021. godini (april-septembar) bio je topliji i suvlji u odnosu na prosečne uslove. Od aprila do septembra zabeleženo je prosečno za celu teritoriju Srbije oko 285 mm padavina, što je oko 70% prosečnih padavina. U 2022. godini bila je slična situacija sa nešto većom količinom padavina krajem avgusta meseca.

Lokacije i genotipovi su imali uticaj na ispitivane osobine i variranje prinosa zrna i dinamike opadanja vlage iz zrna.

Kao najprinosnija samooplodna linija *per se* izdvojila se linija ZPL1 koja je ostvarila prosečne prinose od 2,88 t/ha u 2021. godini i 3,16 t/ha u 2022. godini.

Najprinosniji hibridi u obe godine ispitivanja bili su: ZPL1 x ZPL5 (9,89 t/ha; 13,14 t/ha), ZPL1 x ZPL6 (9,34 t/ha; 12,18 t/ha) i ZPL2 x ZPL5 (9,08 t/ha; 12,05 t/ha). U svim hibridnim kombinacijama učestvovala su, kao jedna od roditeljskih komponenti, inbred linije ZPL5 i ZPL6 koje pripadaju *Lancaster* heterotičnoj grupi i to kao očinska komponenta i inbred linije ZPL1 i ZPL2, koje pripadaju BSSS heterotičnoj grupi kao majčinska komponenta. Ovom činjenicom se potvrđuje da je *Lancaster* x BSSS izvor odličan par za stvaranje visokoprinosa hibrida kukuruza.

Najviše vrednosti PKS za prinos zrna, u obe godine ispitivanja, dobijene su kod ukrštanja ZPL1 x ZPL5 i ZPL2 x ZPL5. Linije ZPL1 i ZPL5 imale su veoma značajne pozitivne vrednosti OKS za prinos, dok je linija ZPL2 imala statistički zanemarljive vrednosti OKS. To dokazuje da je u ukrštanju jednog roditelja sa visokim, i drugog sa niskim vrednostima OKS moguće, te se može očekivati superiorno potomstvo.

Procenjena heritabilnost u užem smislu, u obe godine ispitivanja iznosila je: za interval metličanja i svilanja (0,252; 0,327); dužinu klipa (0,139; 0,005); prečnik klipa (0,161; 0,026); broj redova zrna (0,265; 0,339); masu 1000 zrna (0,141; 0,078) i prinos zrna (0,001; 0,001) kao i niske vrednosti Bejkerovog odnosa, što jasno ukazuje na prevagu neaditivnih genskih efekata (prevagu dominantnih i epistatičnih gena) u kontroli ovih osobina. Debljina listova komušine, vlaga u berbi i dnevni gubitak vlage su osobine koje su pokazale aditivne genske efekte, što ukazuje da su aditivni efekti važniji od neaditivnih genskih efekata u nasleđivanju ovih osobina. Visoke vrednosti genetičke dobiti izražene u procentima (GAM) u obe godine ispitivanja zabeležene su kod sledećih osobina: prinosa zrna, vlage u berbi, dnevnog gubitka vlage iz zrna, površine listova komušine, debljine listova komušine, mase 1000 zrna i intervala metličanja i svilanja.

Samooplodne linije ZPL1 i ZPL5 pokazale su odlične vrednosti OKS za prinos zrna i komponente prinosa i kao takve mogu se koristiti u programima selekcije kao donori poželjnih gena vezanih za prinos. Nasuprot tome ove linije imale su loše opšte kombinacione sposobnosti za osobine vlage u berbi i dnevnog gubitka vlage. Sa druge strane samooplodne linije ZPL3 i ZPL4 bile su odlični donori poželjnih osobina za ubrzano otpuštanje vlage iz zrna. Zbog toga se upravo

kombinovanje ovakva dva tipa samooplodnih linija preporučuje za stvaranje visokoprinosnih hibrida sa ubrzanom dinamikom otpuštanja vlage iz zrna kukuruza.

Na osnovu Pirsonovog koeficienta korelacije između vlage u berbi i ostalih kvantitativnih osobina utvrđena je visoko značajna pozitivna korelacija. Veoma značajne negativne vrednosti korelacije ostvarene su između dnevnog otpuštanja vlage i svih drugih ispitivanih osobina, osim sa brojem redova zrna sa kojim nije ostvarena statistički značajna korelacija.

„Path“ analiza je pokazala da na vlagu u berbi visoko pozitivan direktni efekat ima prečnik klipa (0,371), zatim interval metličjenja i svilanja (0,233) i debljina listova komušine (0,230). Negativan direktan efekat na vlagu u berbi ima dužina klipa (-0,223). Na osobinu dnevni gubitak vlage iz zrna, najveći negativan direktni efekat ima prečnik klipa (-0,346), zatim površina listova komušine (-0,301) i interval metličjenja i svilanja (-0,240), dok pozitivan direktan efekat na dnevno otpuštanje vlage ima dužina klipa (0,177). Sve ispitivane osobine bile u visoko značajnoj pozitivnoj korelaciji sa prinosom.

Na osnovu „Path“ analize utvrđeno je da su visoko pozitivne vrednosti direktnih efekata na prinos imali prečnik klipa (0,383) i dužina klipa (0,348), dok je nizak negativan direktni efekat imao prečnik oklaska (- 0,165).

Linearnim modelom utvrđeno je da na vlagu u berbi najveći pozitivan uticaj imaju interval metličjenja i svilanja (0,268), debljina listova komušine (0,190) i prečnik klipa (0,178). Povećanjem neke od ovih osobina, povećava se i vlaga u berbi. Najveći stepen uticaja na dnevni gubitak vlage zabeležen je sa intervalom metličjenja i svilanja (0,300), zatim sa površinom listova komušine (0,213) i prečnikom klipa (0,176). Negativan stepen uticaja na dnevni gubitak vlage iz zrna utvrđen je sa ovim osobinama, drugim rečima smanjenje vrednosti neke od ovih osobina dovodi do povećanja vrednosti dnevnog otpuštanja vlage.

Osobina debljina listova komušine ima dosta značajniju ulogu od broja listova komušine, kako za vlagu u berbi, tako i za dnevni gubitak vlage. Samooplodna linija ZPL4 prenosila je u svoja potomstva veći broj listova komušine nego linija ZPL6, međutim, ti listovi su bili dosta tanji i rastresitiji što je imalo veći uticaj na otpuštanja vlage.

Srednje kasne linije u svojim potomstvima imaju tendenciju češćeg zadržavanja vlage u zrnu. U tom smislu naročito su se istakla ukrštanja u kome je učestvovala samooplodna linija ZPL1 kao jedna od roditeljskih komponenti.

Srednje rane samooplodne linije pokazale su međusobno različitu dinamiku otpuštanja vlage iz zrna. Inbred linije kukuruza ZPL4 i ZPL3 unose u potomstvo gene koji su zaduženi za brzo otpuštanje vlage iz zrna, dok inbred linija ZPL6 koja je, takođe srednje rana, u prvim merenjima značajno obori vlagu, ali kasnije tu vlagu teže otpušta do berbe.

Hibrid H10 (ZPL3 x ZPL4) sa njegovom recipročnom kombinacijom H10R (ZPL4 x ZPL3) ostvaruje najmanji procenat vlage, s obzirom da se radi o hibridizaciji inbred linija koje pripadaju istoj heterotičnoj grupi (nezavisna heterotična grupa), značajan heterozis i prinos nisu ostvareni. Rezultati dobijeni merenjem dinamike otpuštanja vlage u zrnu pokazuju da se radi o velikom potencijalu kako za stvaranje F2 populacije sa ciljem stvaranja novih ranostasnih samooplodnih linija, tako i za stvaranje sestrinskih ukrštanja za trolinijske hibride koji će imati ubrzanu dinamiku otpuštanja vlage iz zrna.

Recipročnim ukrštanjima ustanovljene su statistički značajne razlike kod nekih hibrida u prinosu i dinamici otpuštanja vlage iz zrna, što ukazuje na neophodnost testiranja i recipročnih kombinacija, prilikom pronalaženja što boljeg hibrida.

Regresionom analizom dinamike otpuštanja vlage iz zrna srednje kasnih samooplodnih linija kukuruza kroz njihova potomstva, utvrđeno je da su u 2021. godini hibridi koji su u sebi imali samooplodnu liniju ZPL1 na nedeljnom nivou najsporije gubili vlagu iz zrna (-4,44%), zatim hibridi koji su u sebi imali liniju ZPL5 (-4,70%), dok su hibridi koji su u sebi imali srednje kasnu liniju ZPL2 najbrže gubili vlagu iz kategorije srednje kasnih linija, u proseku za -4,95% na nedeljnom nivou. U



2022. godini linija ZPL1 na nedeljnom nivou gubila je vlagu iz zrna za -3,50%, inbred linija ZPL5 za -3,77%, dok je linija ZPL2 gubila vlagu za -3,80% na nedeljnom nivou.

Regresiona analiza dinamike otpuštanja vlage iz zrna srednje ranih samooplodnih linija kukuruza kroz njihova potomstva, pokazala je da su u 2021. godini hibridi koji u sebi sadrže samooplodnu liniju ZPL4 kao jednu od roditeljskih komponenti, rapidno otpuštali vlagu iz zrna i to za -5,92% nedeljno, zatim sledi linija ZPL3 sa -5,56% gubitke vlage iz zrna nedeljno, dok se najsporije otpuštanje vlage dešava kod hibrida koji u sebi imaju liniju ZPL6 kao roditeljsku komponentu sa -5,19% na nedeljnom nivou. U 2022. godini hibridi koji su najviše otpuštali vlagu imali su u sebi kao roditeljsku komponentu liniju ZPL4 i oni su otpuštali u proseku na nedeljnom nivou vlagu za -4,30%, zatim hibridi koji su za majčinsku ili očinsku komponentu imali samooplodnu liniju ZPL3 sa nedeljnim gubitkom vlage od -4,00%, dok su najsporije vlagu iz zrna otpuštali hibridi koji su kao roditeljsku komponentu imali liniju ZPL6 i to za -3,92% na nedeljnom nivou.

Vrednosti genetičke distance dobijene na osnovu SNP markera bile su u saglasnosti sa podacima o poreklu inbred linija. Inbred linije su u okviru klastera podeljene u dva subklastera. Prvi subklaster čine dve grupe, u prvoj su linije ZPL1 i ZPL2, koje pripadaju BSSS heterotičnoj grupi, dok su u drugoj linije ZPL5 i ZPL6, koje su predstavnici *Lancaster* heterotične grupe. U drugom subklasteru se nalaze zasebno linije ZPL3 i ZPL4, koje su svrstane u nezavisan izvor.

Analizom bliske infracrvene spektroskopije (NIR-Near-infrared) utvrđeno je da samooplodne linije, naspram hibrida, karakteriše nizak nivo skroba i ulja, a visok nivo proteina. Hitmapa sa dendrogramima otkriva dva podklastera. Jedan od njih čine genotipovi: H13 (ZPL4 x ZPL6), H4 (ZPL1 x ZPL6), H17 (ZPL5 x ZPL4), H26 (ZPL4 x ZPL2), H25 (ZPL4 x ZPL3), H21 (ZPL6 x ZPL4), H18 (ZPL5 x ZPL3), H12 (ZPL3 x ZPL5) i H7 (ZPL2 x ZPL4). Ovaj podklaster je karakterističan po tome što njegovi genotipovi sadrže manje proteina, a više ulja i skroba od ostalih genotipova. Prema ovim saznanjima i saznanjima iz dinamike otpuštanja vlage iz zrna, može se zaključiti da su svi hibridi iz datog klastera (manji sadržaj proteina, veći sadržaj ulja i skroba) pripadali grupi hibrida sa odličnom dinamikom otpuštanja vlage.

## 9. LITERATURA

- Abdala, L.J., Gambin, B.L., Borrás, L. (2018): Sowing date and maize grain quality for dry milling. *Eur. J. Agron.* 92, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.013>.
- 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. *Pak. J. Biol. Sci.* 12 (5), 433–438.
- Adesoji, A.G., Abubakar, I.U., Labe, D.A. (2015): Character Association and Path Coefficient Analysis of Maize (*Zea mays* L.) Grown under Incorporated Legumes and Nitrogen. *Journal of Agronomy*, 14:158–163.
- Aguirre, G., Bellon, M. R., Smale. M. (1998): A regional analysis of maize biological diversity in South-Eastern Guanajuato, Mexico. CIMMYT Economic Working Paper 98-06. CIMMYT, Mexico.
- Agrama, H.A.S. (1996): Sequential path analysis of grain yield and it's components in maize. *Plant Breed.* 115:343-346.
- Ahmed, S., Begum, S. Islam, M. A., Ratna, M., Karim, M. R. (2017): Combining ability estimates in maize (*Zea mays* L.) through line × tester analysis. *Bangladesh J. Agril. Res.* 42(3): 425-436. ISSN 0258-7122 (Print), 2408-8293 (Online).
- Akaogu, I.C., Badu-Apraku, B., Adetimirin, V.O., Vroh-Bi, I., Oyekunle, M., Akinwale, R.O. (2013): Genetic diversity assessment of extra-early maturing yellow maize inbreds and hybrid performance in Striga-infested and Striga-free environments. *J. Agric. Sci.* 2013, 151, 519–537.
- Akinwale, R., Badu-Apraku, B., Fakorede, M., Vroh-Bi, I. (2014): Heterotic grouping of tropical early-maturing maize inbred lines based on combining ability in Striga-infested and Striga-free environments and the use of SSR markers for genotyping. *Field Crop. Res.*, 156, 48–62.
- Alam, A.K.M.M., Ahmed, S., Begum, M., Sultan, M.K. (2008): Heterosis and combining ability for grain yield and its contributing characters in maize. *Bangladesh J. Agric. Res.*, 33(3): 375-379.
- Alam, M.A., Rahman, M., Ahmed, S., Jahan, N.; Khan, M.A.A., Islam, M.R., Alsuhaibani, A.M., Gaber, A., Hossain, A. (2022): Genetic variation and genotype by environment interaction for agronomic traits in maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Plants*, 11, 1522. <https://doi.org/10.3390/plants11111522>.
- Aldrich, S.R., Scott, W.O., Leng, E.R. (1975): Modern corn production. 2nd ed. A and L Publications, Champaign, IL.
- Allard, R.W. (1999): Principle of plant breeding. John Wiley and son. New York.
- Altieri, M. A. (1995): Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. Boulder, CO: Westview Press.
- Akhtar, L.H., Minhas, R., Bukhari, M.S., Shah, S.A.S. (2015): Genetic Analysis of Some Quantitative Traits in Cluster Bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Journal of Environmental & Agricultural Sciences.* 4:48- 51.
- Annapurna, D., Khan, K.H.A., Mohammad, S. (1998): Genotypic phenotypic correlations and path coefficient analysis between seed yield and other associated characters in tall genotypes of maize. *Crop. Res.*, 16: 205-209.
- Aman. M. (2021): Genetic variability, heritability and association of quantitative traits in maize (*Zea mays* L) Genotypes: *EAS J. Biotechnol. Genet.*; Vol-3, Iss-2: 38-46.
- Amiruzzaman, M., Islam, M.A., Hassan, L., Rohman, M.M. (2010): Combining Ability and Heterosis for Yield and Component Characters in Maize. *Academic Journal of Plant Sciences* 3 (2): 79-84.

- Amiruzzaman, M., Islam, M., Pixley, K., Rohman, M. (2011): Heterosis and combining ability of CIMMYT's, tropical x subtropical quality protein maize germplasm. *Journal of Sustainable Agriculture* 3(3):76-81.
- Amiruzzaman, M., Islam, M.A., Hasan, L., Kadir, M., Rohman, M.M. (2013): Heterosis and combining ability in a diallel among elite inbred lines of maize (*Zea mays* L.) *Emir. J. Food Agric.* 25 (2): 132-137 doi: 10.9755/ejfa.v25i2.6084 <http://www.ejfa.info/> 132.
- Andelković, V. (2000): Identifikacija pokazatelja otpornosti kukuruza (*Zea mays* L.) prema suši kod top-cross potomstva sa egzotičnom germplazmom. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Andrew. R.H., Ferwerda, F. P., Strommen, A. M. (1956): Maturation and yield of corn as influenced by climate and production technique. *Agron. J.* 48: 231-236.
- Arya, K., Dijee, B., Lekharani, C., Abdul Khader, K.M. (2013): A Practical Manual on Principles of Plant Breeding.
- Asaduzzaman, M., Bhuiyan J.H., Hossain, M.A. & Raffi, S.A. (2015): Genetic variability, heritability and genetic advance of yield and yield contributing characters of Lablab bean (*Lablab purpureus* L.). *Progressive Agriculture* 26: 22-25.
- Aslam, M., Sohail, Q., Maqbool, M. A., Ahmad, S., Shahzad, R. (2017): Combining ability analysis for yield traits in diallel crosses of maize. *The J. Anim. Plant Sci.* 27(1): 136-143. ISSN: 1018-7081.
- Atanaw A., Nayakar N.Y., Wali M.C. (2003): Combining Ability, Heterosis and per se Performance of Height Characters in Maize. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 16(1): 131-133.
- Babić V, Ivanović, M., Babić, M. (2012): Nastanak, evolucija kukuruza i putevi uvođenja u naše krajeve. *Ratarstvo i povrtarstvo* 49: 92-104.
- Badu-Apraku, B., Oyekunle, M., Fakorede, M.A.B., Vroh, I., Akinwale, R.O., Aderounmu, M. (2013): Combining ability, heterotic patterns and genetic diversity of extra-early yellow inbreds under contrasting environments. *Euphytica*, 192, 413–433.
- Baker, R.J. (1978): Issues in diallel analysis. *Crop Sci.*, 18: 535- 536.
- Barat, C., Carena, M. (2006): Classification of North Dakota maize inbred lines into heterotic groups based on molecular and testcross data. *Euphytica*, 151: 339-349.
- Baretta, D., Nardino, M., Carvalho, I.R., Oliveira, A.C. de Souza, V.Q. Maia, L.C. (2016): Performance of maize genotypes of Rio Grande do Sul using mixed models. *Científica*, 44:403-411.
- Batley, J., Barker, G., O'Sullivan, H., Edwards, K.J., Edwards, D. (2003): Mining for single nucleotide polymorphisms and insertions/ deletions in maize expressed sequence tag data. *Plant Physiol.* 132:84–91.
- Batool, Z., Danial, K., Alireza, P.A., Farhad, S. (2012): Correlation and path coefficient analysis for determining interrelationships among grain yield and related characters in corn hybrids (*Zea mays* L.). *Intl. J. Agri. Crop Sci.* 4(20), 1519-1522.
- Baute, T., Hayes, A., McDonald, I., Reid, K. (2002): *Agronomy Guide for Field Crops*. Publication 811. The Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- Begna, T. (2021): Combining ability and heterosis in plant improvement. *Open J Plant Sci* 6(1): 108-117. DOI: <https://dx.doi.org/10.17352/ojps.000043>
- Bekavac, G., Purar, B., Stojaković, M., Jocković, Đ., Ivanović, M., Nastasić, A. (2007): Genetic Analysis of stay-green trait in broad-based maize populations. *Cereal Research Communications* 35(1): 31–41 DOI: 10.1556/CRC.35.2007.1.5
- Bello, O. B., Abdulmalik, S. Y., Afolabi, M. S., Ige, S. A. (2010): Correlation and path coefficient analysis of yield and agronomic characters among open pollinated maize varieties and their F1 hybrids in a diallel cross. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9 (18), pp. 2633-2639. <http://www.academicjournals.org/AJB ISSN 1684–5315>.

- Bello, O. B., Ige, S. A., Azeez, M. A., Afolabi, M. S., Abdulmaliq, S. Y., Mahamood, J. (2012): Heritability and Genetic Advance for Grain Yield and its Component Characters in Maize (*Zea Mays* L.). *International Journal of Plant Research*, 2(5): 138-145. DOI: 10.5923/j.plant.20120205.01.
- Bertan, I., de Carvalho, F.I.F., de Oliveira, A.C. (2007): Parental Selection Strategies in Plant Breeding Programs. *J. Crop Sci. Biotech.* 10 (4) : 211-222.
- Bhatt, G. (1973). Significance of path coefficient analysis in determining the nature of the trait. *Euphytica*. 22: 338-343.
- Bhateria, S., Shailesh, P.S., Pathania, A. (2006): Genetic Analysis of Quantitative Traits Across Environments in Linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica*, 150: 185–194.
- Bhatnagar, S., Betrán, F.J., Rooney, L.W. (2004): Combining Abilities of Quality Protein Maize Inbreds. *Crop Sci.*, 44: 1997-2005.
- Bhusal, T.N., Lal, G.M., Marker, S. Synrem, G.J. (2017): Genetic variability and traits association in maize (*Zea mays* L.) genotypes *Annals of Plant and Soil Research* 19(1): 59-65.
- Blalock, H.M. (1963): Correlated Independent Variables: The Problem of Multicollinearity. *Social Forces*, 42:233–237.
- Board, J.E., Kang, M.S., Harville, B.G. (1997): Path analyses identify indirect selection criteria for yield of late-planted soybean. *Crop Sci.* 37:879- 884.
- Boćanski, J., Petrović, Z., Vasić, N., Šeremešić, S.(2002): Kvantitativno ispitivanje načina nasleđivanja nekih komponenti prinosa kukuruza (*Zea mays* L.), „Zbornik radova“, Sveska 36:327- 335.Naučni Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad.
- Boćanski, J., Srećkov, Z., Nastasić, A. (2009): Genetic and phenotypic relationship between grain yield and components of grain yield of maize (*Zea mays* L.). *Genetika*, 41(2), 145-154.
- Borrás, L., Westgate, M.E., Otegui, M.E. (2003): Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Ann. Bot.* 91, 857–867. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg090>.
- Borrás, L., Westgate, M.E., Otegui, M.E. (2003): Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Ann. Bot.* 91, 857–867. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg090>.
- Borrás, L., Slafer, G.A., Otegui, M.E. (2004): Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 86, 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.002>.
- Bradbury, P.J., Zhang, Z., Kroon, D.E., Casstevens, T.M., Ramdoss, Y., Buckler, E.S. (2007): TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples. *Bioinformatics* 23:2633–2635.
- Brooking, I. R. (1990): Maize ear moisture during grain-filling, and its relation to physiological maturity and grain-drying. *Field Crops Res.* 23: 55–68.
- Bruce, G. (1956): Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austra. J. Biolog. Sci.*, 9: 463-493.
- Buckler, E. S., Thornsberry, J. M., Kresovich, S. (2001): Molecular diversity, structure and domestication of grasses. *Genetics Research* 77:213-218.
- Burton, G. (1952): Quantitative inheritance in grasses. *Proc. VI Int. Grassl. Cong.*:277–283. Available online: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10012936842> (accessed on 17 September 2021).
- Čamdžija, Z., Filipović M., Stevanović, M., Mladenović Drnić, S., Vančetović, J., Babić, M. (2012): Prinos i komponente prinosa komercijalnih ZP hibrida kukuruza različitih grupa zrenja. *Selekcija i semenarstvo*, Vol. XVIII, 41-48.
- Čamdžija, Z.( 2014): Kombinacione sposobnosti za prinos zrna i agronomska svojstva ZP inbred linija kukuruza. *Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet Zemun*:1-137.

- Caballero-Rothar, N.N., Abdala, L.J., Borrás, L., Gerde, J.A. (2019): Role of yield genetic progress on the biochemical determinants of maize kernel hardness. *Journal of Cereal Science* 87: 301–310.
- Campos H, Cooper M, Haben JE, Edmeades GO, Barker T (2004): Improving drought tolerance in maize: A view from industry. *Field Crops Research* 90: 19- 34.
- Carter, M., and Poneleit, C. (1973): Black layer maturity and filling period variation among inbred lines of corn (*Zea mays* L.) 1. *Crop Sci.* 13, 436–439.
- Cavaliere, A. J., Smith, O. S.(1985): Grain Filling and Field Drying of a Set of Maize Hybrids Released From 1930 to 1982. *Crop Sci.*, Vol.. 25:856-860.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., Rahmanian, M., Taheri, A., Al-Yassin, A., Benbelkacem, A., Labdi, M., Mimoun, H., Nachit, M. (2010): Plant breeding and climate changes. *Journal of Agricultural Science* (2010), 148, 627–637. © Cambridge University Press, doi:10.1017/S0021859610000651
- Chagné, D., Batley, J., Edwards, D., Forster, J.W. (2007): Single nucleotide polymorphisms genotyping in plants. In: Oraguzie NC, Rikkerink EHA, Susan E, Gardiner SE, De Silva HN (eds) *Association mapping in plants*. Springer, New York: 77–94.
- Chase, S.S. (1964): Relation of yield and number of days from planting to flowering in early maturity maize hybrids of equivalent grain moisture at harvest. *Crop Sci.* 4, 111–112.
- Chaudhary, A.K., Chaudhary, L.B., Sharma, K.C. (2000): Combining ability estimates of early generation inbred lines derived from two maize populations. *Ind. J. Genet. Plant Breed.* 60, 55–61.
- Chazarreta, Y.D., Amas, J.I., Otegui, M.E. (2021): Kernel filling and desiccation in temperate maize: breeding and environmental effects. *Field Crops Res.* 271,108243  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108243>.
- Chazarreta, Y.D. Carcedo, A.J.P., Pradol S; A., Massigoge, I., Amas, J. I., Fernandez, J.A., Ciampitti, I. A., Otegui, M. E. (2023): Enhancing maize grain dry-down predictive models. *Agricultural and Forest Meteorology* 334. 109427. Available online 31 March 2023 0168-1923/© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.
- Chinnadurai, I. S, Nagarajan, P (2011): Interrelationship and Path-coefficient studies for qualitative traits, grain yield and other yield attributes among maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Plant Breeding and Genetics* 5 (3): 209-223.
- Chiuta, N.E., Mutengwa, C.S. (2020): Combining Ability of Quality Protein Maize Inbred Lines for Yield and Morpho-Agronomic Traits under Optimum as Well as Combined Drought and Heat-Stressed Conditions. *Agronomy*, 10, 184;1-14. doi:10.3390/agronomy10020184
- Cloninger, F. D., Horrocks, R. D., Zuber, M. S. (1975): Effects of harvest date, plant density, and hybrid on corn grain quality. *Agronomy Journal*, 67, 693–695.
- Cornelius, P. L., Dudley, J. W. (1974): Effects of inbreeding by selfing and full-sib mating in a maize population. *Crop Sci.* 14:815-819.
- Crane, P.L., Miles, S.R., Newman, J.E. (1959): Factors associated with varietal differences in rate of field drying in corn. *Agron. J.* 51:318-320.
- Cross, H.Z. (1975): Diallel analysis of duration and rate of grain filling of seven inbred lines of corn. *Crop Sci.* 15:532-535.
- Cross, H. (1985): A selection procedure for ear drying-rates in maize. *Euphytica* 34, 409–418.
- Cross, H.Z., Chyle, Jr., Hammond, J.J. (1987): Divergent selection for ear moisture in early maize. *Crop Sci.* 27:914-918.
- Cross, H. Z., Kabir, K.M. (1989): Evaluation of field dry-down rates in early maize. *Crop Sci.* 29:54- 58.
- Cross, H. Z. (1995): Ear moisture during kernel development as influenced by field and laboratory selection. *Can. J. Plant Sci.* 75: 557-563.

- Crossa, J., Beyene, Y., Kassa, S., Perez, P., Hickey, J.M., Chen, C., de Los Campos, G., Burgueno, J., Windhausen, V.S., Buckler, E.S., Jannink, J., Lopez Cruz, M.A., Babu, R. (2013): Genomic prediction in maize breeding populations with genotyping-by-sequencing. *G3* 3:1903–1926.
- Cruz, C.D., Carneiro, P.C.S., Regazzi, A.J. (2014): Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético, 3rd ed. UFV, Viçosa, MG.
- Dabholkar, A.R. (1992): Elements of Biometrical Genetics. Concept Publishing Company, New Delhi, India: 138-140.
- Dagne, W.G. (2002). Combining ability analysis for traits of agronomic importance in maize (*Zea mays* L.) inbred lines with different levels of resistance to grey leaf spot (*Cercospora zeaemaydis*). Phd Thesis. 1-83.
- Daynard, T.B., Duncan, W.G. (1969): The black layer and grain maturity in corn. *Crop Science* 9, 473–476.
- Daynard, T. B., Kannenberg, L. W. (1976): Relationships between length of the actual and effective grain filling periods and the grain yield of corn. *Canadian Journal of Plant Science*. 56(2): 237-242. <https://doi.org/10.4141/cjps76-038>
- Daynard, T. B., Tanner, J. W., Duncan, W.G. (1971): Duration of the grain filling period and its relation to grain yield in corn (*Zea mays* L.), *Crop Sci.* 11: 45–48.
- Daynard, T.B. (1972): Relationships among black layer formation, grain moisture percentage and hest accumulation. *Agron. J.* 64:716-719.
- De-Jager, B., Roux, C.Z., Kuhn, H.C. (2004): An evaluation of two collections of South African maize (*Zea mays* L.) germplasm: 2. the genetic basis of drydown rate. *South African J. Plant Soil* 21, 120–122.
- Delić, N., Pavlov, J., Babić, V., Šurlan-Momirović, G., Živanović, T. (2010): Parameters in the estimation of the most suitable F2 population size in conventional maize (*Zea mays* L.) breeding programs. *Genetika*, Vol. 42, No. 3, 455-464.
- Deshmukh, S.N.N., M.S. Basu and P.S. Reddy (1986): Genetic variability, character association and path coefficients of quantitative traits in Virginia Bunch varieties of groundnut. *Indian J. Agric. Sci.* 56:816- 821.
- Dessureaux, L., Neal, N.P., Brink, R. A. (1948): Maturation in corn. *J. Am. Soc. Agron.* 40:733-745.
- Dewey, D. R., Lu, K. H (1959): A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production, *Agronomy Journal*, vol. 51, No. 9. 515–518.
- Dube, S.P., Sibiya, J., Kutu, F. (2023): Genetic diversity and population structure of maize inbred lines using phenotypic traits and single nucleotide polymorphism (SNP) markers. *Sci. Rep.* 13, 17851. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44961-3>
- Dudley, J.W., Moll, R.H. (1969): Interpretation and Use of Estimates of Heritability and Genetic Variance in Plant Breeding. *Crop Sci.*, 9:257-262.
- Dudley, J. (1977): Seventy-six generations of selection for oil and protein percentage in maize. Book of Proceedings of the International Conference on Quantitative Genetics. ISU, 459-473.
- Duncan W.G., Hatfield A.L. (1964): A method for measuring the daily growth of corn kernels. *Crop Sci.* 54, 550-551.
- Duvick, D. (2005): The Contribution of Breeding to Yield Advances in Maize (*Zea Mays* L.). *Advances in Agronomy*. 86. 83-145. 10.1016/S0065-2113(05)86002-X.
- Dwyer, L.M, Ma, B.L., Evenson, L., Hamilton, R.I. (1994): Maize physiological traits associated with recurrent selection for grain yield and harvest moisture in mid- to short season environment. *Crop Sci.* 34:985-992.
- Elmore, R.W., Roeth, F.W. (1999): Corn kernel weight and grain yield stability during post-maturity dry down. *J. Prod. Agric.* 12: 300–305.

- Elmore, R., Abendroth, L (2010): In-field drydown rates and harvest. Retrieved from Iowa State University Digital Repository.
- Elshire, R.J., Glaubitz, J.C., Sun, Q., Poland, J.A., Kawamoto, K., Buckler, E.S., Mitchell, Se. (2011): A robust, simple genotyping-by-sequencing (GBS) approach for high diversity species. *PLoS One* 6:e1937.
- El-Shouny, K.A., Olfat, H., El-Bagoury, H., El-Sherbieny, Y., AlAhmed, S.A. (2003): Combining ability estimates for yield and its components in yellow maize (*Zea mays* L.) under two plant densities. *Egypt J. Plant Breed.* 7, 399–417.
- Epinat-Le Signor, C., Dousse, S., Lorgeou, J., Denis, J. B., Bonhomme, R., Carolo, P., Charcosset, A., (2001): Interpretation of genotype x environment interactions for early maize hybrids over 12 years. *Crop Science*, 41: 663-669.
- Evans, M.M., Kermicle, J.L. (2001): Interaction between maternal effect and zygotic effect mutations during maize seed development. *Genetics* 159: 303–315.
- Falconer, D.S., Mackay, T.F.C. (1996): Introduction to quantitative genetics. 4<sup>th</sup> ed. Benjamin Cummings, England, pp. 245-247.
- Falconer, D.S., Mackay, T.F.C. (1981): Introduction to quantitative genetics. Link: <https://bit.ly/3JgR5oW>
- Fan, X.M., Zhang Y. D., Yao, W.H., Bi, Y.Q., Liu, L., Chen, H.M., Kang, M.S. (2014): Reciprocal diallel crosses impact combining ability, variance estimation, and heterotic group classification. *Crop Sci.* 54:89–97.
- Fasahat, P., Rajabi, A., Rad, J.M., Derera, J. (2016): Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biom. Biostat. Int. J.*, 4(1):1–22. DOI: 10.15406/bbij.2016.04.00085.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2000): Tropical maize. Improvement and production. Plant Production and Protection Series, Vol. 28. R.L. Paliwal, Ed.: 1–363, Rome.
- FAO (2020): Faostat. Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- FAO (2021): The Impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security. Rome: Food and agriculture organization of the United Nations.
- FAO (2020): World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020. Rome.
- FAO (2021): World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021. Rome.
- FAO (2022): World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2022. Rome.
- Filipović, M., Srdić, J., Simić, M., Videnović, Z., Radenović, Č., Čamdžija, Z., Jovanovic, Ž. (2013): Potential of early maturity flint and dent maize hybrids at higher altitudes. *Romanian Agricultural Research*, No. 30, 2013.
- Fehr, W.R. (1993): Principles of cultivar development: development of hybrid cultivars. Macmillan Publishing Company, New York, USA 539.
- Filipović, M., Babić, M., Delić N., Bekavac, G., Babić, V. (2014): Determination relevant breeding criteria by the path and factor analysis in maize. *Genetika*, Vol 46, No. 1, 49-58.
- Flora, C. (2001): Interactions between Agroecosystems and Rural Communities. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Gambín, B.L., Borrás, L., Otegui, M.E. (2007): Kernel water relations and duration of grain filling in maize temperate hybrids. *Field Crops Res.* 101, 1–9.
- Ganal, M., Altmann, T., Röder M.S. (2009): SNP identification in crop plants. *Curr. Opin. Biotechnol.* 12:211–217.
- Gardner, C.O. (1963): Estimation of genetic parameters in cross-pollinated plants and their implications in plant breeding. In: *Statistical Genetics and Plant Breeding* (Hanson W.D., Robinson H.F., eds.). NASNRS Washington D. C. Publication 982: 228-24.
- Gardner, C.O., Eberhart, S.A. (1966): Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-452.

- Gauch, G.H. (2006): Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46: 1488-1500. *Geophysical Research Letters*, Vol.. 30, No. 5, 1248, doi:10.1029/2002GL016450.
- Gaut, B.S., Doebley, J.F. (1997): DNA sequence evidence for the segmental allotetraploid origin of maize. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 96:6809–6814.
- Gayral, M., Gaillard, C., Bakan, B., Dalgalarondo, M., Elmorjani, K., Delluc, C., Brunet, S., Linossier, L., Morel, M.H., Marion, D., (2016): Transition from vitreous to floury endosperm in maize (*Zea mays* L.) kernels is related to protein and starch gradients. *J. Cereal Sci.* 68, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.01.013>.
- Gerde, J.A., Tamagno, S., Di Paola, J.C., Borrás, L. (2016): Genotype and nitrogen effects over maize kernel hardness and endosperm zein profiles. *Crop Sci.* 56, 1225–1233. <http://doi:10.2135/cropsci2015.08.0526>.
- Geetha, K., Jayaraman, N. (2000): Path analysis in maize (*Zea mays* L.). *Agric. Sci. Digest*. 20:60-61.
- Gibbon, B.C., Larkins, B.A. (2005): Molecular genetic approaches to developing quality protein maize. *Trends in Genet.*, 21(4):227-233. doi: 10.1016/j.tig.2005.02.009 [www.sciencedirect.com/0168-9525/\\$-see front matter Q 2005](http://www.sciencedirect.com/0168-9525/$-see%20front%20matter%20Q%202005).
- Glaubitz, J.C., Casstevens, T.M., Lu, F., Harriman, J., Elshire, R.J., Sun, Q., Buckler, E.S. (2014): TASSEL-GBS: a high capacity genotyping by sequencing analysis pipeline. *PLoS One* 9:e90346.
- Glover, M.A., Willmot, D.B., Darrah, L.L., Hibbard, B.E., Zhu, X. (2005): Diallel Analyses of Agronomic Traits Using Chinese and U.S. Maize Germplasm. *Plant Genetic Resource*. Vol 45, Pages 1096-1102.
- Glamočlija, Đ (2012): Posebno ratarstvo, žita i zrneve mahunarke. Poljoprivredni fakultet, Beograd, Beograd.
- Graham, M.H. (2003): Confronting Multicollinearity in Ecological Multiple Regression. *Ecology*, 84:2809–2815.
- Grčić, N. (2016): Genetička analiza nasleđivanja kvantitativnih osobina kukuruza primenom metoda dialela i generacijskih proseka. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu. Poljoprivredni fakultet, Beograd-Zemun, pp 1-138.
- Grčić, N., Stevanović, M., Pavlov, J., Obradović, A., Čamdžija, Z., Mladenović, M. (2018): Influence of the reciprocal crosses on grain yield and morphological traits in single-cross maize hybrids. *Proceedings of the IX International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2018"*, 4-7 October 2018, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 708-712.
- Griffing, B. (1956): Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9, 463-493.
- Grzesiak, S. (2001): Genotypic variation between maize (*Zea mays* L.) single-cross hybrids in response to drought stress. *Acta Physiologic Plantarium*. 23 (4): 443-456.
- Habiba, R.M.M., El-Diasty, M.Z., Aly, R.S.H. (2022): Combining abilities and genetic parameters for grain yield and some agronomic traits in maize (*Zea mays* L.). *Beni-Suef Univ. J. Basic Appl. Sci.* 11:108. <https://doi.org/10.1186/s43088-022-00289-x>
- Hallauer, A.R., Russell, W.A. (1961): Effects of selected weather factors on grain moisture reduction from silking to physiologic maturity in corn. *Agron. J.* 53:225-229.
- Hallauer, A. R., Russell, W. A. (1962): Estimates of maturity and its inheritance in maize. *Crop Science*. 2: 289–294.
- Hallauer, A.R., Hutchcroft, M.T., Hillson, M.T., Higgs, R.L. (1967): Relation among three maturity measurements and yield of grain in corn. *Iowa State J.Sci.*42:121-136.
- Hallauer, A. R., Schos, J. H. (1973): Change in quantitative traits associated with inbreeding in synthetic variety of maize. *Crop Sci.* 13 (3): 327330.



- Hallauer, A. R., Miranda, Fo J.B. (1981): Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames.
- Hallauer, A.R., Miranda Filho, J, B. (1988): Quantitative genetics in maize breeding. 2<sup>nd</sup> ed. Ames, Iowa: Iowa State University Press; pp 468.
- Hakizimana, F., Ibrahim, M. H., Marie A. C. Langham, S. Haley, D., Rudd, J. C. (2004): Diallel analysis of wheat streak mosaic virus resistance in winter wheat. *Crop Science*, 44.1: 89-92.
- Hanway, J. (1963) Growth stages of corn (*Zea mays*, L.). *Agron. J.* 55, 487–92.
- Hayman, B. I. (1954): The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39: 789-809.
- Heiniger, R., Dunphy, J. (1997): High oil corn production q&a. NC State University, 22-28
- Hellevang, K. J. (2004): Post-harvest tips for late maturing corn. NDSU Extension Service, North Dakota State University.
- Hicks, D.R., Geadelmann, J.L., Peterson, R.H. (1976): Drying rates of frosted maturing maize. *Agron J.* 68: 452-455.
- Hicks, D. R. (2004): The Corn Crop–Frost and Maturity. Univ. of Minnesota <http://www.extension.umn.edu/cropenews/2004/04MNCN28.htm>
- Hillson, M.T., Penny, L.H. (1965): Dry matter accumulation and moisture loss during maturation of corn grain. *Agron. J.* 57:150-153.
- Huang, Z.F., Hou, L.Y., Xue, J., Wang, K.R., Xie, R.Z., Hou, P., Ming, B., Li, S.K. (2021): The variability of maize kernel drying: sowing date, harvest scenario and year. *The Journal of Agricultural Science* 159, 535–543. <https://doi.org/10.1017/S002185962100054X>
- Hunter, R. B., Mortimore, G., Gerrish, E. E., Kannenberg, L W.(1979): Field Drying of Flint and Dent Endosperm Maize. *Crop Sci.* Vol. 19, May-June: 401-402.
- Hussain, M. A, Hassan, Z. A. (2014). Genetic variability, heritability and correlation studied for yield and yield components in maize hybrids. *Sarhad Journal of Agriculture*, 30 (4): 472-478.
- Ishaq, M., Hidayatur, R., Ghulam, H., Iqbal, M., Khalil, I. A., Ali Khan, S., Ahmad Khan, S., Rafiullah, Jamal, H.. (2015): Genetic Potential, Variability and Hepath analysis in maize (*Zea mays* L.). *Agric. Res.*, 48(1): 35 -38.
- Ivanović, M., Vasić, N., Trifunović, V., Vidojević, Ž., Vuković, M., Jakovljević, L., Jovandić, N. (2002): Inbred linije koje su obeležile jugoslovensku selekciju kukuruza. *Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad. Zbornik radova, Sv. 36, 301-310.*
- Ingle, K.P., Gahukar, S.J., Khelurkar, V.C., Ghorade, R.B., Kalpande, V.V., Jadhav, P.V., Moharil, M.P. (2018): Heterosis and Combining Ability for Grain Yield Trait in Rabi Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Using Line x Tester Mating Design. *Int J Curr Microbiol App. Sci.* 1: 1925-1934. Link: <https://bit.ly/3mv2wQ1>
- Jadhav, N.H., Kashid, D.N., Kulkarni, S.R. (2014): Subset selection in multiple linear regression in the presence of outlier and multicollinearity. *Statistical Methodology*, 19:44–59.
- Jeon, J.S. Ryoo, N. Hahn, T.R. Walia, H. Nakamura, Y.(2010): Starch biosynthesis in cereal endosperm. *Plant Physiol. Biochem.* 2010, 48, 383–392.
- Jilo, T., Tulu, L., Birhan, T., Beksisa, L. (2018): Genetic variability, heritability and genetic advance of maize (*Zea mays* L.) inbred lines for yield and yield related traits in southwestern Ethiopia. *Journal of plant breeding and crop science*, 10(10), 281-289.
- Jiang, F., Yin, X., Li, Z.W., Guo, R., Wang, J., Fan, J., Zhang, Y., Kang, M.S., Fan, X. (2023): Predicting heterosis via genetic distance and the number of SNPs in selected segments of chromosomes in maize. *Front. Plant Sci.* 14:1111961. doi: 10.3389/fpls.2023.1111961
- Jinks, J.L. (1954): The analysis of heritable variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica* varieties. *Genetics* 39: 767-788.
- Johnson, H.W., Robinson, H.F., Comstock, R. E. (1955): Genotypic and phenotypic correlations and their implications in selection of soybean. *Agron. J.*, 47: 477-483.

- Johnson, D. R., Tanner, J. W. (1972): Calculation of the rate and duration of grain filling in corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 12: 485–486.
- Jumbo, M.B., Carena, M.,J. (2008): Combining ability, maternal and reciprocal effects of elite early-maturing maize population hybrids. *Euphytica*, 162: 325-333.
- Kamara, M.M., Rehan, M., Khaled M. Ibrahim, K.M., Alsohim, A.S., Elsharkawy, M.M., Kheir, A.M.S., Hafez, E.M., El-Esawi, M.A. (2020): Genetic Diversity and Combining Ability of White Maize Inbred Lines under Different Plant Densities. *Plants*, 9, 1140: 1-23. doi:10.3390/plants9091140 [www.mdpi.com/journal/plants](http://www.mdpi.com/journal/plants)
- Khameneh, M.M., Bahraminejad, S., Sadeghi, F., Honarmand, S.J., Maniee, M. (2012): Path analysis and multivariate factorial analyses for determining interrelationships between grain yield and related characters in maize hybrids. *African Journal of Agricultural Research*, 7:6437–6446.
- Kang, M.S., T.R. Colbert, M.S. Zuber, and R.D. Horrocks. (1975): Grain moisture loss as related to dry-down rates in corn. p. 57 In: *Agronomy Abstracts*. ASA. Madison, WI. 95
- Kang, M.S., Zuber, M.S., Horrocks. R.D. (1978): An electronic probe for estimating ear moisture content of maize. *Crop Sci.* 18:1083-1084.
- Kang, M.S., Miller, J.D., Tai, P.Y.P. (1983): Genetic and phenotypic path analyses and heritability in sugarcane. *Crop Sci.* 23:643-647.
- Kang, M. S., Zuber, M.S., Colbert, T.R., Horrocks, R.D. (1986): Effects of certain agronomic traits on and relationship between rates of grain-moisture reduction and grain fill during the filling period in maize. *Field Crops Res.* 14:339-347.
- Kang, M.S., Zuber, M.S. (1987): Grain dry-down studies in corn. 220-226. In D. Wilkinson (ed.). *Proc. of the Forty-Second Annu. Corn and Sorghum Industry Res. Conf.*, Chicago. 1L. 7-9 Dec. 1987. ASTA, Washington, DC.
- Kanyamasoro, M. G., Karungi, J., Asea, G., Gibson, P. (2012): Determination of the heterotic groups of maize inbred lines and the inheritance of their resistance to the maize weevil. *African Crop Science Journal*, 20(1), 99–104.
- Kiesselbach, T. A. (1950): Progressive Development and Seasonal Variations of the Corn Crop. *Research Bulletin: Bulletin of the Agricultural Experiment Station of Nebraska No. 166*. Available in <http://digitalcommons.unl.edu/ardhistrb/231>.
- Kitti, B., Peerasak, S., Pramote, S., Choosak, J. (2012): Genetic distance and heterotic pattern among single cross hybrids within waxy maize (*Zea mays* L.). *SABRAO Journal of Breeding and Genetics* 44:382-397.
- Khatab, I.A., Farid, M.A., Kumamaru, T. (2016): Genetic diversity associated with heading date in some rice (*Oryza sativa* L.) genotypes using microsatellite markers. *Journal of Environmental & Agricultural Sciences*. 6: 58-63.
- Khatun, F., Begum, S., Motin, A., Yasmin, S., Islam, M.R. (1999): Correlation coefficient and path analysis of some maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Bangladesh J. Bot.* 28:9-15.
- Kondapi. N., Kang. M.S. Zhang, Y., Deng, X. (1993): Genetics of grain dry down rate in corn. p. 91-92. *Agronomy Abstracts*. ASA, Madison, WI.
- Kovačević, A. (2019): Ocena stabilnosti prinosa hibrida kukuruza na osnovu interakcije genotipa i spoljne sredine. Master rad. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd-Zemun. pp 1-53.
- Kovačević, D., Oljača, S., Momirović, N., Bročić, Z., Dolijanović, Ž., Milić, V. (2020): Potencijalni uticaj klimatskih promjena na proizvodnju gajenih biljaka. Ur: Janjić, V., Pržulj, N. (urednici) *Ograničenja i izazovi u biljnoj proizvodnji. Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske. Banja Luka. Monografija. LXII:45-87.*
- Kravić, N. (2013): Analiza genetičke varijabilnosti kukuruza na tolerantnost prema suši. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd-Zemun, 1-170.

- Kumar, M.N.V., Kumar, S.S., Ganesh, M. (1999): Combining ability studies for oil improvement in maize (*Zea mays* L.). *Crop Res. Hisser* 18:93- 99.
- Kumar, N.M.V., Kumar, S. (2000): Studies on characters association and path coefficient for grain yield and oil content in maize (*Zea mays* L.). *Ann. agric., Res.*, 21: 73-78.
- Kumar, T.S., Reddy, D.M., Naik, V.S., Parveen, S.I., Subbaiha, P.V. (2012): Gene action for yield and morpho-physiological traits in maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *J. Agric. Sci.* 4(5): 30-35.
- Laghari, K.A., Sial, M.A., Arain, M.A., Mirbahar, A.A., Pirzada, A. J., Dahot, M.U., Mangrio, S.M. (2010): Heritability studies of yield and yield associated traits in bread wheat. *Pak. J. Bot.*, 42(1): 111-115.
- Larik, A.S., Malik, S.I., Kakar, A.A., Naz, M.A. (2000): Assessment of heritability and genetic advance for yield and yield components in *Gossypium hirsutum* L. *Scientific Khyber* 13: 39-44.
- Lawton, J.W. (2002): Zein, a history of processing and use. *Cereal. Chem.*, 79: 1-18.
- Lenka, D., Mishra, B. (1973): Path coefficient analysis of yield in rice varieties. *Indian J. Agric. Sci.*, 43: 376-379.
- Lee, E., Tollenaar, M. (2007): Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Science*.47(3):202-215.
- Li , C. C. (1956) : The concept of path coefficient and its impact on population genetics. *Biometrics* . 12:190-210.
- Li, L.L., Wang, K.R., Xie, R.Z., Ming, B., Zhao, L., Li, S.S., Hou, P., Li, S.K. (2017a): Corn Kernel Weight and Moisture Content After Physiological Maturity in Field. *Sci. Agric. Sin.* 50: 2052-2060.
- Li, L.L., Ming B., Xue Jun, Gao S., Wang K., Xie R., Hou P., Li, S., (2027b): Difference in corn kernel moisture content between pre- and postharvest. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(7): 1775-1782.
- Licht, M., Archontoulis, S. (2017): Corn grain dry down in field from maturity to harvest. Iowa State University Extension
- Licht, M., Hurburgh, C., Kots, M., Blake, P., Hanna, M. (2017): Is there loss of corn dry matter in the field after maturity? *Integrated Crop Management Conference - Iowa State University*:35:39.
- Lorch, A. (2005): A report prepared for Greenpeace International, January 2005. *ifrik - research on genetic engineering* www.ifrik.org 12 pp.
- Lorenz, A., Scott, P., Lamkey, K., (2007): Quantitative determination of phytate and inorganic phosphorus for maize breeding. *Crop Sci* 47: 598-604.
- Ma, Z., Qin, Y., Wang, Y., Zhao, X., Zhang, F., Tang, J., and Fu, Z., (2015): Proteomic analysis of silk viability in maize inbred lines and their corresponding hybrids. *PLoS One* 10: e0144050.
- Machida, L., Derera, J., Tongoona, P., MacRobert, J. (2010): Combining ability and reciprocal cross effects of elite quality protein maize inbred lines in subtropical environments. *Crop Science* 50(5): 1708-1717.
- Magari, R., Kang, M.S., Zhang, Y. (1997) : Genotype by environment interaction for ear moisture loss rate in corn. *Crop Sci* 37: 774-779.
- Maddoni, G. A., Otegui, M. E., Bonhomme, R. (1998): Grain yield components in maize: II. Postsilking growth and kernel weight. *Field Crops Research*, 56(3), 257-264.
- Mahgoub, G.M.A. (2011): Partitioning of general and specific combining ability effects for estimating maternal and reciprocal effects. *J. Agric. Sci.* 3:213-221.
- Mahmood, Z., Malik, S.R., Akhtar, R., Rafique, T. (2004). Heritability and genetic advance estimates from maize genotypes in Shishi Lusht, a valley of Karakoram. *International Journal of Agriculture and Biology*. 6: 790-795.

- Mahto, R.N., Ganguli, D.K., Yadava, M.S. (2002): Evaluation of inbred lines and their F1 crosses of maize. *J. Res., Birsa Agric. Univ.*, 14 (1): 45-49. 31.
- Maiorano, A., Fanchini, D., Donatelli, M. (2014): MIMYCS. Moisture, a process-based model of moisture content in developing maize kernels. *Eur. J. Agron.* 59:86–95. doi:10.1016/j.eja.2014.05.011
- Malik, H.N., Malik, S.I., Hussain, M., Chughtai, S.R., Jabib, I.J. (2005): Genetic Correlation among Various Quantitative Characters in Maize (*Zea mays* L.) Hybrids. *Journal of Agriculture and Social Sciences* 1:262-265.
- Mansir, Y. (2010): Genetic variability and correlation in single cross hybrids of quality protein maize (*Zea mays* L.). Morphological and yield traits among maize synthetics. *Electronic Journal of Biology*, Vol.11 (4): 187-191.
- Marefatzadeh Khameneh, M., Bahraminejad, S., Sadeghi, F., Jalali Honarmand, S., Maniee, M. (2012): Path analysis and multivariate factorial analyses for determining interrelationships between grain yield and related characters in maize hybrids. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 7(48): 6437-6446.  
Available online at <http://www.academicjournals.org/AJAR>
- Martinez-Feria, R. A., Licht M. A., Ordóñez, R. A., Hatfield J.L., Coulter, J.A, Archontoulis, S.V. (2019): Evaluating maize and soybean grain dry-down in the field with predictive algorithms and genotype-by-environment analysis. Article in *Scientific Reports* May. <https://www.researchgate.net/publication/332965588>.
- Melut, L. C., Rosca, A. E.(2016): Dry-down coefficient analysis in some commercial corn hybrids. *Lucrări Științifice – vol. 59(2), seria Agronomie*.213-218.
- Mendum, R., Glenna, L.L.(2010): Socioeconomic obstacles to establishing a participatory plant breeding program for organic growers in the United States. *Sustainability* 2, 73–91.
- Mesenbet, Z., Zeleke, H., Wolde, L. (2017): Correlation and path coefficient analysis of grain yield and yield attributed of elite line of maize (*Zea mays* l.) hybrids. *Academic Research Journal of Agricultural Science and Research*.Vol. 5(1):1-9. DOI: 10.14662/ARJASR2016.033
- Meyers, B.C., Tingey, S.V., Morgante, M. (2001): Abundance, distribution and transcriptional activity of repetitive elements in the maize genome. *Genome Res* 11:1660–1676.
- Milenković, J., Stanisavljević, R., Anđelković, S., Terzić, D., Đokić, D., Vasić,T., Sokolović, D. (2014): Grain quality of maize inbred lines originated from local populations, *Journal on Processing and Energy in Agriculture* 18 (5), 232- 234.
- Milligan, S.B., Gravois, K.A., Bischoff, K.P., Martin, F.A. (1990): Crop effects on genetic relationships among sugarcane traits. *Crop Sci.* 30:927- 931.
- Misevic, D., Alexander, D. E., Dumanovic, J., Kerecki, B., Ratkovic, S. (1988): Grain moisture loss rate of high-oil and standard-oil maize hybrids. *Agron. J.* 80:841-845.
- Mladenović Drinić, S., Ignjatović Micić, D., Erić, I., Anđelković,V., Jelovac, D., Konstatinov, K. (2004): Biotechnology in maize breeding. *Genetika*. Vol. 36, No. 2, 93-109, 2004.
- Mladenović Drinić, S., Filipović, M., Janakuloski, L., Čamdžija, Z., Stevanović, M., Kovačević, D. (2009): Kvalitet zrna linija i hibrida kukuruza. *Journal of Scientific Agricultural Research*, 70(4): 43-49.
- Mladenović Drinić, S., Dragičević, V., Filipović, M., Čamdžija, Z., Stevanović, M., Kovačević, D. (2013): Variranje sadržaja proteina, ulja i skroba u ZP inbred linijama kukuruza. *Selekcija i semenarstvo*, Vol. XIX., Broj 2:61-69.
- Moghaddam, M., Ehdaie, B., Waines, J.G. (1997): Genetic variation for interrelationships among agronomic traits in landraces of bread wheat from southwestern Iran. *Euphytica* 95:361-369.
- Mohammadi, S. A., Prasanna, B. M., Singh, N. N. (2003): Sequential path model for determining interrelationships among grain yield and related traits in maize. *Crop Sci.*, 1690–1697.
- Mohammadi, S.A., Prasanna, B.M. (2003): Analysis of genetic diversity in crop plants salient statistical tools and considerations. *Crop Science* 43:1235–1248.

- Mohammadi, R., Farshadfar, E., Amri, A. (2016): Path analysis of genotype x environment interactions in rainfed durum wheat. *Plant Production Science*, 19:43–50.
- Montes, J. M., Melchinger, A. E., Reif, J. C. (2007): Novel throughput phenotyping platforms in plant genetic studies. *Trends Plant Sci.* 12:433-436.
- Motto M., Balconi, C., Hartingsm H., Rossi, V. (2010): Gene discovery for improvement of kernel quality-related traits in maize. *Genetika*, Vol. 42, No. 1: 23 - 56.
- Muraya, M.M, Ndirangu, C.M., Omolo, E.O. (2006): Heterosis and combining ability in diallel crosses involving maize (*Zea mays*) S1 lines. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46, 387–394. [www.publish.csiro.au/journals/ajea](http://www.publish.csiro.au/journals/ajea).
- Murtadha, M.A., Ariyo, O.J., Alghamdi, S.S.(2018): Analysis of combining ability over environments in diallel crosses of maize (*Zea mays* L). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 17, 69–78.[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Nagar, P. (2015): Slide share. Roll no-04-26905-2015. [www.slideshow.net/pawan,nagar](http://www.slideshow.net/pawan,nagar) 8.
- Nardino, M., Souza, V.Q. de, Baretta, D., Konflanz, V.A., Carvalho, I.R., Follmann, D.N., Caron, B.O. (2016): Association of secondary traits with yield in maize F1's. *Ciência Rural* 46:776–782.
- Nelson, O. Pan, D. (1995): Starch synthesis in maize endosperms. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1995, 46, 475–496.
- Nemat, I. A., Sedghi, M., Sharifi, R.S., Seiedi, M.N. (2009): Investigation of correlation between traits and path analysis of corn (*Zea mays* L.) grain yield at the climate of Ardabil region (Northwest Iran). *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*, 37(1): 194-198.
- Nielsen, R.L., Brown, G., Wuethrich, K., Halter, A. (1996): Kernel Dry Weight Loss during Post-Maturity Drydown Intervals in Corn; Purdue Univ: West Lafayette, IN, USA, 1996. Available online: <https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/research/rpt94-01.htm>.(accessed on 23 October 2023).
- Ngugi, K., Collins, J. O., Muchira, S. (2013): Combining, earliness, short anthesis to silking interval and yield based selection indices under intermittent water stress to select for drought tolerant maize. *Australian Journal of Crop Science*, 7(13), 2014–2020. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.801015356967974>
- Nielsen, R.L. (2018a): Grain Fill Stages in Corn. *Corny News Network*, Purdue Univ. <http://www.kingcorn.org/news/timeless/GrainFill.html> [URL accessed Sep 2018].
- Nielsen, R.L. (2018b): Converting Wet Corn Weight to Dry Corn Weight. *Corny News Network*, Purdue Univ.<http://www.kingcorn.org/news/timeless/WaterShrink.html> [URL accessed Sep 2018]
- Nigussie, M., Zelleke, H. (2001): Heterosis and combining ability in a diallel elite maize populations. *Afr. Crop Sci. J.* 9, 471–479.
- Nikolić, V., Žilić, S., Radosavljević, M., Simić, M., Filipović, M., Čamdžija, Z., Sečanski, M. (2020): Journal on Processing and Energy in Grain properties of new inbred lines in comparison with maize hybrids. *Agriculture*, 24, 3-4. 95-99.
- Ogunniyan, D.J., Olakojo, S.A. (2015): Genetic variation, heritability, genetic advance and agronomic character association of yellow elite inbred lines of maize (*Zea mays* L.). *Nigerian Journal of Genetics*, 28 (2014) 24-28.
- Ojo, D.K., O. A. Omikunle, O.A. Oduwaye, M.O. Ajala and S.A. Ogunbayo (2006): Heritability, character correlation, and path coefficient analysis among six inbredlines of maize (*Zea mays* L.) . *World J. Agric. Sci.* 2 (3), 352–358.
- Ojo, G.O.S., Adedzwa, D.K., Bello, L.L. (2007): Combining ability estimates and heterosis for grain yield and yield components in maize (*Zea mays* L.). *J. Sustain. Develop. Agri. Env.*, 3: 49-57.
- Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I. R., Follmann,D.N., Ferrari, M., de Souza, V. Q. (2016): Review Article Pearson Correlation coefficients and Accuracy of path analysis used in Maize

- Breeding: A Critical Review. *International Journal of Current Research*, Vol. 8, Issue, 09: 37787-37795. Available online at <http://www.journalcra.com>
- Orman, B. A., Schumann, R. A. (1992): Nondestructive single-kernel oil determination of maize by near-infrared transmission spectroscopy. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 69:1036-1038.
- Osborne, B. G. (2006): Applications of near infrared spectroscopy in quality screening of early-generation material in cereal breeding programmes. *J. Near Infrared Spectrosc.* 14:93-101.
- Paliwal, R.L. Smith, M.E. (2002). *Tropical maize: Innovative approaches for sustainable productivity and production increases.* pp. 43–73. Food Products Press, an imprint of Haworth Press, Binghamton, New York.
- Parvej, M.R., Hurburgh, C.R., Hanna, H.M., Licht, M.A. (2020): Dynamics of corn dry matter content and grain quality after physiological maturity. *Agronomy Journal.* 112:998–1011. <https://doi.org/10.1002/agj2.20042>
- Pavlov, J. (2013): Uticaj sestrinskih ukrštanja na prinose i agronomске osobine kukuruza (*Zea mays* L.). Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet Zemun:1-116.
- Pavlov, J., Delić, N., Marković, K., Crevar, M., Čamdžija, Z., Stevanović, M. (2015): Path analysis for morphological traits in maize (*Zea mays* L.). *Genetika*, Vol 47, No. 1, 295-301.
- Perić, S. (2022): Uticaj fenotipske i genetičke udaljenosti inbred linija na ispoljavanje heterozisa kod dialelnih hibrida kukuruza. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu. Poljoprivredni fakultet, Beograd-Zemun, pp 1-112.
- Pengelly, J.J., Kwasny, S., Bala, S., Evans, J.R., Voznesenskaya, E.V., Koteyeva, N.K., Edwards, G.E., Furbank, R.T., von Caemmerer, S. (2011): Functional analysis of corn husk photosynthesis, *Plant Physiol.* 156: 503–513.
- Phumichai, C., Dounghan, W., Puddhanon, P., Jampatong, S., Grudloyma, P., Kirdsri, C., Chunwongse, J., Pulam, T. (2008): SSR-based and grain yield-based diversity of hybrid maize in Thailand. *Field Crop. Res.*, 108, 157–162.
- Piperno, D.R., Flannery, K.V. (2001): The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: new accelerator mass spectrometry dates and their implications. *Proc. Natl.Acad. Sci. U. S. A.* 98: 2101–2103.
- Plastina, A. A. (2017): Estimated Crop Production Costs in Iowa (A1–20). *Ag Decision Maker— Iowa State University Extension.* Available online: <https://www.extension.iastate.edu/agdm/crops/html/a1-20.html> (accessed on 23 October 2023).
- Plett, S. (1994): Corn kernel breakage as a function of grain moisture at harvest in a prairie environment. *Can. J. Plant Sci.* 74:543–544. doi:10.4141/cjps94-097
- Poehlman, J.M., Sleper, D.A. (1986): *Breeding Field Crops.* Fourth edition. IOWA state University Press/Ames U. S. A.:75-77.
- Poneleit, C.G., Egli, D.B. (1979): Kernel growth rate and duration in maize as affected by plant density and genotype. *Crop Sci.* 19: 385-388. doi: 10.2135/cropsci1979.0011183X001900030027x
- Popović, A., Babić, V., Kravić, N., Sečanski, M., Prodanović, S. (2014): Mogući pravci oplemenjivanja i poljoprivredne mere u cilju prilagođavanja biljaka na klimatske promene u Srbiji. *Selekcija i semenarstvo*, Vol. XX (2014) broj 2. 59-72.
- Praveen, G. K., Prashanth, Y., Narsimha, V., Sudheer, R., Venkateshwara, S. K. (2014): Character association and path coefficient analysis in maize (*Zea mays* L.) *International J. of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 5(1):257-260.
- Pritchard J.K., Stephens, M., Donnelly, P (2000): Inference of population structure using multilocus genotype Data. *Genetics*, 155: 945-959.
- Prodanović, S., Sabljarević, V., Šurlan-Momirović, G., Zorić, D., Petrović, D., Živanović, T. (1996): Genetic values of yield components and protein content in F1 generation of maize

- (*Zea mays* L.) hybrids. EUCARPIA, 17th Conference on genetics, biotechnology and breeding of maize and sorghum. Thessaloniki, Greece, 20-25.10. 1996. Abstract, pp. 126.
- Purdy, J. L., Crane, P. L. (1967a): Inheritance of drying rate in "mature" corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 7:294-297.
- Purdy, J. L., Crane, P. L. (1967b): Influence of pericarp on differential drying rate in "mature" com (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 7:379-381.
- Puri, Y.P., Qualset, C.O., Williams, W.A. (1982): Evaluation of yield components as selection criteria in barley breeding. *Crop Sci.* 22: 927–931.
- Quatter, S., Jones, R., Crookston, K.(1987): Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development, *Crop Sci.* 27: 726–730.
- R Core Team. A Language and Environment for Statistical Computing. R Found. Stat. Comput. 2021. Available online: <https://www.r-project.org/> (accessed on 12 February 2023).
- Radović, G., Jelovac, D. (1995): Genetički resursi u oplemenjivanju kukuruza. u: Oplemenjivanje, proizvodnja i iskorišćavanje kukuruza - 50 godina Instituta za kukuruz 'Zemun Polje', 28-29 septembar, Beograd-Zemun, 17-27.
- Rafalski, A. (2002): Novel genetic mapping tools in plant: SNPs and LD-based approaches. *Plant Sci* 162:329–333.
- Radić, D. (1872): Sve o kukuruzu. Društvo za poljsku privredu, Beograd.
- Rafique, M., Hussain, A., Mahmood, T., Alvi, A.W., Alvi, M.B. (2004): Heritability and interrelationships among grain yield and yield components in maize (*Zea mays* L.). *Int. J. Agri. Biol.*, Vol. 6, No. 6:1113–1114 <http://www.ijab.org>
- Rafique, M., Hussain, A., Altaf, M. (2010): Studies on heritability, correlation and path analysis in maize (*Zea mays* L.) *Agric. Res.*, 48 (1):35 38.
- Ranum, P., Pena-Rosas, J.P., Garcia-Casal, M.N. (2014): Maize production, utilization, and consumption. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1312:105–112.
- Rather, A. G., Bhatt, M. A., Zargar, M. A. (2003): Genetic variation in maize (*Zea mays* L.) population in high altitude temperate conditions in Kashmir. *Indian Journal of Agricultural Sciences.* 79 (3): 179-180.
- Reddy, V.M., Daynard, T.B. (1983): Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn. *Maydica* 28: 339–355. doi: 10.1016/0957-4166(96)00097-3.
- Reddy, V.R., Jabeen, F., Sudarshan, M.R., Rao, A.S. (2012): Studies on genetic variability, heritability, correlation and path analysis in maize (*Zea mays* L.) Over locations. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 4:196–199.
- Reid, L.M., Zhu, X., Morrison, M.J., Woldemariam, T., Voloaca, C., Wu, J., Xiang, K. (2010): A nondestructive method for measuring maize kernel moisture in a breeding program. *Maydica* 55: 163- 171.
- Reid, L. M., Morrison, M. J., Zhu, X., Wu, J., Woldemariam, T., Voloaca, C., Xiang, K..(2014): Selecting maize for rapid kernel drydown: timing of moisture measurement, *Maydica* 59: 9-15.
- Rezaei, A.H., Roohi, V. (2004): Estimate of genetic parameters in corn (*Zea mays* L.) based on diallel crossing system. New directions for a diverse planet. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress, 26 September-1 October, Brisbane, Australia.
- Reizai. A. (2004): Estimate of heterosis and combining ability in maize (*Zea mays* L.) Using diallel crossing method. In Proceedings of the 17<sup>th</sup>, General congress; Genetic variation for plant breeding, 8-11 September, Vienna 2004. 395-398.
- Rench, W.E., Shaw, R.H. (1971): Black layer development in corn. *Agron. J.* 63:303–305.
- Republički Hidrometeorološki Zavod Srbije. Godišnji izveštaji 1990-2022.
- Risius, H., Prochnow, A., Ammon, C., Mellmann, J., Hoffmann, T. (2017): Appropriateness of on-combine moisture measurement for the management of harvesting and postharvest operations and capacity planning in grain harvest. *Biosyst. Eng.*, 156: 120–135.

- Robinson, H. F., Comstock R.E., Harvey, P.H. (1955). Estimates of heritability and the degree of dominance in maize. *Agron. J.* 41: 353-359.
- Rodríguez, F. S. et al. (2020): AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 5.0.
- Romay, M.C., Millard, M.J., Glaubitz, J.C., Peiffer, J.A., Swarts, K.L., Casstevens, T.M., Elshire, R.J., Acharya, C.B., Mitchell, S.E., Flint-Garcia, S.A., McMullen, M.D., Holland, J.B., Buckler, E.S., Gardner, C.A. (2013): Comprehensive genotyping of the USA national maize inbred seed bank. *Genome Biol.* 14:R55.
- Saeed, M.T., Saleem, M., Afzal, M. (2000): Genetic analysis of yield and its components in maize diallel crosses (*Zea mays* L.). *Int. J. Agri. Biol.*, 2(4): 376-378.
- Sala, R.G., Andrade, F.H., Westgate, M.E. (2007): Maize kernel moisture at physiological maturity as affected by the source–sink relationship during grain filling. *Crop Sci* 47:711–716. doi: 10.2135/cropsci2006.06.0381
- Salgotra, R.K., Gupta, B.B., Singh, P. (2009): Combining ability studies for yield and yield components in Basmati rice. *Oryza* 46: 12-16.
- Samonte, S.O.P., Wilson, L.T., Mc Clung, A.M. (1998): Path analyses of yield and yield-related traits of fifteen diverse rice genotypes. *Crop Sci.* 38:1130-1136.
- Sawada, O. Ito, J. Fujita, K. (1995): Characteristics of photosynthesis and translocation of <sup>13</sup>C-labelled photosynthate in husk leaves of sweet corn, *Crop Sci.* 35:480–485.
- Schmidt, J. L., Hallauer, A. R. (1966): Estimating Harvest Date of Corn in the Field. *Crop Sci.*, 6: 227-231.
- Selvaraj, C.I., Nagarajan, P. (2011). Interrelationship and Path-coefficient Studies for Qualitative Traits, Grain Yield and other Yield Attributes among Maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Plant Breeding and Genetics.* 5. 209-223. 10.3923/ijpbg.2011.209.223.
- Shaw, R. H., Thom, H. C.S. (1951): On the phenology of field corn, silking to maturity. *Agron. J.* 43:541-546.
- Shiri, M., Aliyev, R.T, Choukan, R. (2010): Water stress effects on combining ability and gene action of yield and genetic properties of drought tolerance indices in maize. *Res. J. Environ. Sci.* 4: 75-84
- Shull, G.H. (1908): The composition of a field of maize. *Journal of Heredity* 4:296–301.
- Shukla, S., Bhargava, A., Chatterjee, A., Sirivastava, J. Singh, N., Singh, S. P. (2006): Mineral profile and variability in vegetable amaranth (*Amaranthus tricolor*). *Plant Foods Hum. Nutr.* 61 (1), 23–28. PMID: 16736385.
- Statistički Godišnjaci Republike Srbije za 2014, 2016, 2018, 2021, 2022. godinu.
- Simon, J.E. (1993): Blue corn. In D.C. Johnson et al. (ed.) *New Crops*. John Wiley (ed.) New York. p. 228-230.
- Singh, B.D. (2001): *Plant Breeding: Principles and Methods*. Kalyani Publishers, New Delhi, India.
- Singh, P. K., Jha, P. B., Kumar, P. (2003): Path coefficient for green fodder yield and grain yield in maize (*Zea mays* L.). *J. Appl. Biol.*, 13 (1/2): 29-32.
- Singh, P. (2015): Genetic distance, heterosis and combining ability studies in maize for predicting F1 hybrid performance. *Sabrao J. Breed. Genet.*, 47, 21–28.
- Singh, R. K., Chaudhry, B. D. (1985): *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*, Kalyani Publishers, New Delhi, India.
- Sivasubramanian, S., Menon, M., (1973). Heterosis and inbreeding depression in rice. *Madras Agric. J.* 60, 1139.
- Schmidt, T. L., Hallauer, A. R. (1966): Estimating harvest date of maize in the field. *Crop Science.* 6: 227–231.
- Smith, B.D. (2001): Documenting plant domestication: the consilience of biological and archaeological approaches. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 98: 1324–1326.



- Sprague, G.F., Tatum, L.A.(1942): General versus specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of the American Society of Agronomy*.34:923–932.
- Spielbauer, G., Armstrong, P., W. Bayer, J., William, Allen, B., Richardson, K., Shen, B., Settles A. M. (2009): High-throughput near-infrared reflectance spectroscopy for predicting quantitative and qualitative composition phenotypes of individual maize kernels. *Cereal Chem.* 86(5):556–564. doi:10.1094/ CCHEM-86-5-0556
- Srdić, J., Pajić, Z., Mladenović Drinić, S. (2007): Inheritance of maize grain yield components. *Maydica*, 52(3): 261-264.
- Sserumaga, J.P., Ji, H., Njoroge, K., Muthomi, J., Chemining'wa, G., Si-myung, L., Kim, H., Asea, G., Makumbi, D. (2014): Molecular characterization of tropical maize inbred lines using microsatellite DNA markers. *Maydica*, 59, 267–274.
- Stevanović, M., Mladenović Drinić, S., Dragičević, V., Čamdžija, Z., Filipović, M., Veličković, N., Stanković, G. (2012): An assessment of nutritional quality of hybrid maize grain based on chemical composition. *Genetika*, Vol. 44 (3): 571-582.
- Stevanović, M. (2013): Uticaj tipa citoplazmatične muške sterilnosti i restorer gena na prinos zrna i agronomске osobine inbred linija kukuruza. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu. Poljoprivredni fakultet-Zemun:1-80.
- Stojaković, M., Jocković, Đ., Ivanović, M., Bekavac, G., Vasić, N., Purar, B., Nastasić, A., Starčević, Lj., Boćanski, J., Latković, D. (2006): Oplemenjivanje kukuruza na prinos i kvalitet. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad."Zbornik radova", Sveska 42, 41-54.
- Suwaid, A. H. Rashid, M. A., Taha, M. M. (2020): Genetic analysis for combining ability and estimation of some genetic parameters of yield and its components in maize using half diallel cross. *Journal of Life Science and Applied Research (JLSAR)*, Volume 1, Issue 1 , 60-64. On line: ISSN 0000-0000 June-2020 ISSN 0000-0000. <https://www.jlsar.com>.
- Sweeney, P.M., Martin, S.K. Clucas, C.P. (1994) Indirect inbred selection to reduce grain moisture in maize hybrids. *Crop Sci.* 34: 391–396.
- Tan, S.L., Morrison, W.R. (1979): The distribution of lipids in the germ endosperm pericarp and tip cap of amylo maize Lg-11 hybrid maize and waxy maize. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 56: 531-535.
- Tejaswini, N., Sukumar, K., Srikanth, T., Mallaiah, B. (2022): Correlation and path coefficient analysis in maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Environment and Climate Change* 12(10): 780-787, 2022; Article no.IJECC.87766 ISSN: 2581-8627.
- Teklewold, A. and H.C. Becker (2005): Heterosis and combining ability in a diallel cross of Ethiopian mustard inbred lines. *Crop Science* 45: 2629-2635
- Tollenaar, M., Daynard, T.B. (1978): Effect of defoliation on kernel development in maize. *Can. J. Plant Sci.* 58: 207-212.
- Tolera, K., Mosisa, W., Habtamu, Z. (2017): Combining ability and heterotic orientation of mid-altitude sub-humid tropical maize inbred lines for grain yield and related traits. *African Journal of Plant Science* 11(6):229-239.
- Tremblay, G.J., Filion, P., Tremblay, M., Berard, M., Durand, J., Goulet, J., Montpetit, J.M. (2008): Evolution of kernels moisture content and physiological maturity determination of corn (*Zea mays* L.). *Can. J. Plant Sci.* 88, 679–685.
- Trifunović, V. (1986): Četrdeset godina moderne selekcije kukuruza u Jugoslaviji. *Genetika i oplemenjivanje kukuruza. Zbornik radova naučnog skupa*, 11-12. decembar, Beograd Zemun, 5 46.
- Troyer, A.F., Ambrose, W.B. (1971): Plant Characteristics Affecting Field Drying Rate of Ear Corn. *Crop Science* 11(4):529-531.
- Uddin, M. Amiruzzaman, S. A. Bagum, M. A. Hakim and M. R. Ali. (2008). Combining Ability and Heterosis in Maize (*Zea mays* L.). *Bangladesh J. Genet. Pl.Breed.*, 21(1): 21-28.

- Vacaro, E., Fernandes, J., Neto, B., Pegoraro, D.G., Nuss, C.N., Conceicao, L.H. 2002. Combining ability of twelve maize populations. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasilia, 37: 67–72.
- Val, D.L., Schwartz, S.H., Kerns, M.R., Deikman, J. (2009): Development of a high oil trait for maize. In: "Molecular genetic approaches to maize improvement" (Kriz, A.L., Larkins, B.A. eds.), Springer Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 303-323.
- Vavilov, N. I. (1951): The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Translated from the Russian by K. Starr Chester. The Ronald Press Co. New York. 94 pp.
- Vavilov, N. I. (1992): Origin and Geography of Cultivated Plants. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Vidal-Martinez, V.A., Clegg, M., Johnson, B., Valdivia-Bernal, R. (2001): Phenotypic and genotypic relationships between pollen and grain yield components in maize. *Agrociencia*, 35: 503-511.
- Voesenek, L.A.C.J., Pierik, R. (2008). Plant stress profiles. *Science*.320:880–881.
- Wang, X., Wang, X., Xu, C., Tan, W., Wang, P., Meng, Q. (2019): Decreased Kernel Moisture in Medium-Maturing Maize Hybrids with High Yield for Mechanized Grain Harvest. *Crop Sci*.59:1–12. doi: 10.2135/cropsci2019.04.0218
- Warrington, I.J., Kanemasu, E.T. (1983): Maize growth response to temperature and photoperiod. II. Leaf initiation and leaf appearance rates. *Agronomy Journal* 75: 755–761.
- Watson, S.A. (1987): Structure and composition. In: "Corn chemistry and technology" (S.A. Watson, P.E., Ramstad, P.E eds.), Am. Ass. Cereal Chem. Inc., St. Paul, USA, pp. 53-82.
- Watson, S. (2003): Description, development, structure, and composition of the corn kernel. In: White, P.J., Johnson, L.A. (Eds.), *Corn: Chemistry and Technology*, second ed. AACC, Saint Paul, MN: 69–106.
- Wallace, J. G., Larsson, S. J., Buckler, E. S. (2014): Entering the second century of maize quantitative genetics. *Heredity*, 112: 30-38.
- Weber, E.J. (1987): Lipids and the kernel. In: "Corn: chemistry and technology" (Watson, S.A., Ramstad, P.E. eds.), Am. Ass. Cereal Chem. Inc., St. Paul, MN, USA, pp. 311-349
- Williams, W.A., Jones, M.B., Demment, M.W. (1990): A concise table for path analysis statistics. *Agron. J.* 82:1022-1024.
- Williams, S. E., Shoo, L. P., Isaac, J. L., Hoffmann, A.A., Langham, G. (2008): Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *PLoS Biology* 6, e325. doi:10.1371/ journal.pbio.0060325
- Willman, M.R., Below, F.E., Lambert, R.J., Howey, A.E., Mies, DW (1987): Plant traits related to productivity of maize. II. Development of multiple trait models. *Crop Sci.* 27:1122-1126.
- Wolie, A., Dessalegn, T., Belete, K. (2013): Heritability, variance components and genetic advance of some yield and yield related traits in Ethiopian collections of Finger Millet (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.) genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 12(36): 5529-5534.
- Wright, S. (1921): Correlation and causation. *Journal of agricultural research*, 20:557–585.
- Wright, S. (1923): The Theory of Path Coefficients a Reply to Niles's Criticism. *Genetics*, 8:239–255.
- Wright, S. (1929): Path coefficients and path regressions: Alternative complementary concepts. *Biometric*, 16: 189-202.
- Wright, S.I., Bi, I.V., Schroeder, S.G., Yamasaki, I. M., Doebley, J.F., McMullen, M.D., Gaut, B.S. (2005): The effects of artificial selection of the maize genome. *Science* 308:1310–1314.
- Wu, Y., San Vicente, F. Huang, K., Dhaliwayo, T., Costich, D. E., Semagn, K., Sudha. N., Olsen, M., Prasanna, B. M., Zhang, X., Babu, R. (2016): Molecular characterization of CIMMYT maize inbred lines with genotyping-by-sequencing SNPs. *Theor. Appl. Genet.* 129:753–765 DOI 10.1007/s00122-016-2664-8.
- Xu, Z.B. (1986): Influence of major characters of maize on the productivity of individual plants. *Ningxia Agric. Sci. Tech.* 5:26-29.

- Yağdı, K. (2009): Path coefficient analysis of some yield components in durum wheat (*Triticum durum* Desf). Pak. J. Bot., 41(2): 745-751.
- Yang, J., Carena M. J., Uphaus, J. (2010): Area Under the Dry Down Curve (AUDDC): A Method to Evaluate Rate of Dry Down in Maize. Published in Crop Sci. 50:2347–2354 (2010). doi: 10.2135/cropsci2010.02.0098. Published online 27 Sept. 2010.
- Yang, Z., Cao, Y., Shi, Y., Qin, F., Jiang, C., Yang, S. (2023): Genetic and molecular exploration of maize environmental stress resilience: Toward sustainable agriculture, Molecular Plant, <https://doi.org/10.1016/j.molp.2023.07.005>
- Yao, W. H., Zhang, Y. D., Kang, M. S., Chen, H. M., Liu, L., Yu, J., Fan, X. M. (2013): Diallel Analysis Models: A Comparison of Certain Genetic Statistics. Published in Crop Sci. 53:1481–1490. doi: 10.2135/cropsci2013.01.0027.
- Yasien, M. (2000): Genetic behavior and relative importance of some yield components in relation to grain yield in maize (*Zea mays* L.). Ann. Agric. Sci. Moshtohor, 38: 689-700.
- Ying, J., E.A. Lee, and Tollenaar, M. 2000. Response of maize leaf photosynthesis to low temperature during the grain filling period. F. Crop. Res. 68: 87–96.
- Yu, J. K., Moon, Y.S. Corn Starch (2022): Quality and Quantity Improvement for Industrial Uses. Plants, 11, 92. <https://doi.org/10.3390/plants11010092>
- You, L.J., Dong, J.P., Gu, Y.Z., Ma, L.L. (1998): Target characteristics for improved seed production in maize hybrids. J. Henan agric. Sci., 10: 3-4.
- Zare, M., Choukan, R., Heravan, E.M., Bihamta, M. R., Ordoorkhani, K. (2019): Gene action of some agronomic traits in corn (*Zea mays* L.) using diallel cross analysis. African Journal of Agriculture ISSN 2375-1134 Vol. 6 (12), pp. 001-011, December, 2019. Available online at [www.internationalscholarsjournals.org](http://www.internationalscholarsjournals.org) © International Scholars Journals
- Zelleke, H. (2001): Combining ability for grain yield and other agronomic characters in inbred lines of maize (*Zea mays* L.). Indian J. Genet., 60: 63-70.
- Zeng, R., Li, Z., Shi, Y., Fu, D., Yin, P., Cheng, J., Jiang, C., Yang, S. (2021): Natural variation in a type-A response regulator confers maize chilling tolerance. Nat. Commun. 12:4713.
- Zhang, X., Pérez-Rodríguez, P., Semagn, K., Beyene, Y., Babu, R., López-Cruz, M.A., San Vicente, F., Olsen, M., Buckler, E., Jannink, J.L., Prasanna, B.M., Crossa, J. (2015): Genomic prediction in biparental tropical maize populations in water-stressed and well-watered environments using low-density and GBS SNPs. Heredity (Edinb.).114(3):291-9. doi: 10.1038/hdy.2014.99. Epub 2014 Nov 19. PMID: 25407079; PMCID: PMC4815582.
- Zhang, Y., Kang, M. S. Magari, R. (1996): A Diallel Analysis of Ear Moisture Loss Rate in Maize. <https://www.researchgate.net/publication/256115436> Published in Crop Sci. 36:1140-1144.
- Zhang, J. Liu, Z. Pu, Y. Wang, J. Tang, B. Dai, L. Yu, S. Chen, R. (2023): Identification of Transgenic Agricultural Products and Foods Using NIR Spectroscopy and Hyperspectral Imaging: A Review. Processes, 11, 651. <https://doi.org/10.3390/pr11030651>.
- Zhao, R., Wang, Y., Yu, X., Liu, W., Ma, D., Li, H., Ming, B., Zhang, W., Cai, Q., Gao, J., Li, S. (2023): Dynamics of Maize Grain Weight and Quality during Field Dehydration and Delayed Harvesting. Agriculture, 13, 1357: 1-15. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071357>
- Zhu, Y.L., Song, Q.L., Hyten, D.L., Van Tassell, C.P., Matukumalli, L.K., Grimm, D.R., Hyatt, S.M., Fickus, E.W., Young, N.D., Cregan, P.B. (2003): Single-nucleotide polymorphisms in soybean. Genetics 163:1123–1134.
- Živanović, T., Sečanski, M., Šurlan-Momirović, G., Prodanović, S. (2005): Combining abilities of silage maize grain yield. Journal of Agricultural Sciences. Vol. 50, No 1: 9-18.
- Živanović, T., Branković, G., Radanović, S. (2010): Combining abilities of maize inbred lines for grain yield and yield components. Genetika, Vol 42, No. 3, 565-574.

## 10. ПРИЛОЗИ

### 1. БИОГРАФИЈА

Александар Д. Ковачевић рођен је 09. 01. 1993. г. у Београду. Основну школу и „Гимназију у Инђији” завршио је са одличним успехом. Школске 2012/2013. године уписао је Пољопривредни факултет, Универзитета у Београду, студијски програм Биљна производња, модул Ратарство и повртарство. Студије је завршио са просечном оценом 8,61. Дипломски рад под насловом „Климатске промене: Адаптација агротехничких мера у ратарској производњи” одбранио је 10. јула 2018. године са оценом 10. У току друге године редовних студија имао је краћи боравак у Чикагу, САД где је учествовао са једним научним радом са групом младих истраживача на 7. Симпозијуму "IURS 7" одржаном на Чикашком државном Универзитету (Chicago State University) у периоду од 19.05-24.05. маја 2014. године. На четвртој години редовних студија у периоду од 24. јуна до 1. октобра 2016.године обавио је вишемесечни радни боравак у САД у организацији "Work and Travel", у Алабами (место Orange Beach), са циљем усавршавања енглеског језика.

Мастер академске студије уписује школске 2018/19 године на Пољопривредном факултету, Универзитета у Београду. Студијски програм Пољопривреда, модул Ратарство и повртарство. завршио је 2019. године са просечном оценом 10. У Институту за кукуруз „Земун Поље” у Земун Пољу стиче практична и теоретска знања из области оплемењивања и селекције кукуруза, а истовремено сакупља неопходне податке за мастер рад са темом „Оцена стабилности приноса хибрида кукуруза на основу интеракције генотипа и спољне средине” који је одбранио 25.09.2019. са оценом 10.

У октобру месецу школске 2019/20. године уписао је докторске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, студијски програм Пољопривредне науке, модул Ратарство и повртарство као буџетски студент.

Као уписани докторанд и стипендиста МНТР Републике Србије у Институту за кукуруз „Земун Поље” у Земун Пољу је радио је на огледима за докторску дисертацију од 2019. године, где је и званично примљен у радни однос од 1. јануара 2024. године,

У истраживачки рад укључио се још као редовни студент. Учествовао је у раду на огледима, писању и објави више научних радова. Као коаутор учествовао је са једним радом на домаћем скупу националног значаја-категија (М64) и четири рада на међународним скуповима (из категорије М33), три рада из категорије (М45), један рад у националном часопису (М52). Аутор је једног и коаутор два рада са SCI листе (категија М23) и једног технолошког решења.

## **Изјава о ауторству**

Име и презиме аутора: **Александар Д. Ковачевић**

Број индекса **190009**

## **Изјављујем**

да је докторска дисертација под насловом

**"Селекција генотипова кукуруза са убрзаним отпуштањем влаге из зрна"**

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

**Потпис аутора**

У Београду, 23.01.2024. године

---

## **Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада**

Име и презиме аутора **Александар Д. Ковачевић**

Број индекса 190009

Студијски програм: \_\_Пољопривредне науке, модул Ратарство и повртарство

Наслов рада "**Селекција генотипова кукуруза са убрзаним отпуштањем влаге из зрна**"

---

**Ментори: Др Томислав Живановић**, ред. професор, Пољопривредног Факултета у Земуну и **Др Јован Павлов**, виши научни сарадник, Институт за кукуруз "Земун Поље"

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањења у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис аутора**

У Београду, 23.01.2024. године

---

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:  
која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
  2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
  3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
  4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
  5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
  6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)
- (Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

**Потпис аутора**

У Београду, 23.01. 2024. године

---

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.