

Procjena vrijednosti heterozisa za visinu biljke u dvije hibridne kombinacije kukuruza

Gašparović, Krunoslav

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:813073>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Krunoslav Gašparović

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Bilinogojstvo

**Procjena vrijednosti heterozisa za visinu biljke u dvije hibridne
kombinacije kukuruza**

Završni rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Krunoslav Gašparović

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Bilinogojstvo

**Procjena vrijednosti heterozisa za visinu biljke u dvije hibridne
kombinacije kukuruza**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. izv.prof.dr.sc. Sonja Petrović, mentor
2. prof.dr.sc. Sonja Vila
3. izv.prof.dr.sc. Andrijana Rebekić

Osijek, 2019.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Bilinogojstvo
Krunoslav Gašparović

Završni rad

Procjena vrijednosti heterozisa za visinu biljke u dvije hibridne kombinacije kukuruza

Sažetak: Visina biljke je kvantitativno svojstvo uvjetovana većim brojem gena (minor genima), koji su velikom većinom pod utjecajem okoline. Utjecaj okoline na minor genima doprinosi visokoj varijabilnosti kvantitativnih svojstava, što omogućava njihovo grupiranje te na koncu izračun statističkih parametara. Heterozis je povećana bujnost F_1 generacije hibrida u odnosu na njegove roditelje te ovaj rad opisuje visinu stupnja heterozisa na temelju srednjih vrijednosti visine roditeljskih komponenti. Upravo hibrid 23-48 x 5126 pokazuje izrazito visoku stabljiku u svim ponavljanjima nakon cvatnje, s aritmetičkom sredinom od 248,8cm, a isto tako pokazuje najvišu stabljiku i u početnom porastu.

Ključne riječi: kukuruz, hibrid, heterozis, statistički parametri, minor geni

21 stranica, 4 tablice, 7 grafikona i slika, 15 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Josip Juraj Strossmayer Osijek
Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Plant production
Krunoslav Gašparović

BSc Thesis

Estimation of heterosis for plant height in two maize hybrid combinations

Abstract: Plant height is a quantitative trait influenced by more than one gene (minor genes), which are often influenced by environmental factors. Environmental factors influence on minor genes provides great data variability of quantitative traits, which allows their groupment and finally a calculation of some statistical parameters. Heterosis is an increased biological quality of F_1 hybrids in comparision to their parental groups, and this thesis describes heterosis for plant height in two maize hybrid combinations. Hybrid 23-48 x 5126 exhibits a very tall stem in all repetitions after flowering, with arithmetic mean of 248,8cm, and also shows the tallest stem in initial growth.

Key words: maize, hybrid, heterosis, statistical parameters, minor genes

21 pages, 4 tables, 7 figures and charts, 15 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty agrobiotechnical sciences Osijek and in digital repository of Faculty of agrobiotechnical sciences

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. MATERIJAL I METODE.....	3
2.1. Poljski pokus i mjerenje visine biljke.....	5
2.2. Statistički parametri i izračun heterozisa.....	8
3. REZULTATI I RASPRAVA.....	10
4. ZAKLJUČAK.....	18
5. POPIS LITERATURE.....	19

1. UVOD

Kukuruz (*Zea mays*) je jednogodišnja stranooplodna biljka iz porodice *Poaceae* porijeklom iz Centralne Amerike. Područje uzgoja mu je vrlo široko, uzgaja se u cijelome svijetu te je po zasijanim površinama treća kultura u svijetu nakon pšenice i riže (www.bilje.hr). Ovaj rad opisuje visinu vrijednosti heterozisa u različitim hibridnim kombinacijama kukuruza.

Križanjem različitih linija sorti, rasa ili različitih inbred linija se često dovodi do bujnosti i bolje razvijenosti organizma F_1 generacija, ta pojava se naziva hibridna snaga ili heterozis (<https://www.britannica.com/science/heterosis>), a prinos F_1 generacije može biti i do nekoliko puta veći u odnosu na roditelja. U F_2 i daljnim generacijam dolazi do opadanja bujnosti i potomci se u općoj razvijenosti ne razlikuju od roditelja.

Oplemenjivanje kukuruza se temelji na kombinacijama križanja unutar tri heterotične skupine kukuruza: Stiff Stalks, Iodents i Lancaster, a neke linije su svrstane pod “miscellaneous” ili “razno” (Lee i sur., 2009.) Oplemenjivači kukuruza su svrstali većinu inbred linija kukuruza unutar te tri heterotične skupine, a razlog tomu je jednostavnije predviđanje mogućih rezultata pri križanju različitih linija. Vrijednost heterozisa novonastale jednike ovisi o srodnosti roditeljskih linija tj. sličnosti ili diferencijaciji u genotipu roditeljskih komponenti. Veće razlike u genotipu roditeljskih komponenti znači i viši stupanj heterozisa, tako da provođenjem križanja između Stiff Stalks i Iodents tipova kukuruza očekujemo viši stupanj heterozisa nego križanjem linija samo unutar Lancaster tipa kukuruza.

Kukuruz je kultura kod koje je pojava heterozisa (Slika 1) zapravo revolucionizirala čitavu proizvodnju kukuruza, a prinos zrna kukuruza nakon pojave heterozisa se povećava do 30% (<https://quickstats.nass.usda.gov>). Proizvodnja hibridnog kukuruza na bazi križanja inbred linija započela je u SAD-u tridesetih godina zahvaljujući istraživanjima Easta (1908.), Shulla (1909.) i Jonesa (1917.), nakon drugog svjetskog rata većina površina namjenjenih za kukuruz su bile prekrivene hibridnim kukuruzom. Lamkey i Edwards (1999.) govore kako se u samo 15 godina proizvodnja kukuruza u Iowi promjenila u velikom omjeru. Na taj način je proizvodnja u svrhu vlakana ili hrane za ljude i životinje postala isplativija za proizvođače i potrošače, a također je potaknula industriju proizvodnje sjemena što je postao značajan stimulator za istraživanja u području oplemenjivanja bilja. Izrazita važnost heterozisa privukla je mnoge znanstvenike na proučavanje, istraživanje i razumijevanje ove jedinstvene pojave (Melchinger, 2009.)

Za poticanje heterozisa u kukuruзу potreban je razvoj inbred linija. Inbred linije se stvaraju samooplodnjom kroz nekoliko generacija, ali već od S₄ generacije se mogu upotrijebiti za križanja i ostvarivanje heterozisa (Borojević, 1981.). Pošto križanje raznih linija ne daje heterozis, potrebno je linije ispitati na kombinacijske sposobnosti, a pod kombinacijskim sposobnostima se podrazumjeva sposobnost jednog roditelja da u kombinaciji sa drugim roditeljem da superiorno potomstvo. Inbred linije su roditeljske komponente hibrida, i većina gena su im u homozigotnom stanju. (Birchler, 2015.)

Razlikujemo opću kombinacijsku sposobnost (OKS) i specifičnu kombinacijsku sposobnost (SKS) gdje nam OKS predstavlja prosječnu vrijednost jednog roditelja (linije) na osnovu njegovog ponašanja u križanju sa drugim roditeljima (linija), a SKS je ponašanje jednog roditelja u specifičnoj kombinaciji s drugim roditeljem (Borojević, 1981.).

Cilj ovog rada je procijeniti stupanj heterozisa na temelju srednjih vrijednosti visine biljaka roditeljskih komponenti dva hibrida kukuruza.



Slika 1. Prikaz dvije inbred linije klipa majke i oca i F₁ hibrida

(Izvor: <http://passel.unl.edu>)

2. MATERIJAL I METODE

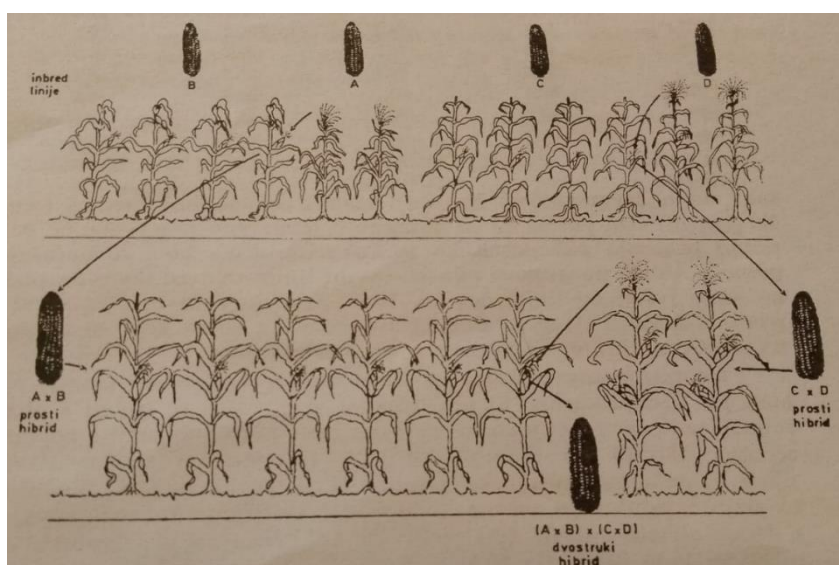
Linije korištene u provedenom pokusu pripadaju spomenutim heterotičnim skupinama, tako linije 23-48 i G29 pripadaju Iodent heterotičnoj skupini, a 5126 i W52 pripadaju Stiff Stalk heterotičnoj skupini.

Kako bi uspješno proizvodili hibridno sjeme, potrebno je održavanje određenih inbred linija za koje smo već ustanovili da će međusobnim križanjem davati dobre rezultate. Svaka inbred linija se održava u prostornoj izolaciji i ručnoj oplodnji.

Kod kukuruza, hibridno F_1 sjeme se proizvodi tako da se majčinska linija zasije u četiri reda, a do nje linija oca u dva reda. Pri samom početku razvoja, na majčinskoj biljci je obavezno odstranjivanje metlice. Kukuruz je biljka koja se oprašuje pomoću vjetera, te na klipove majčinske linije može pasti samo polen linije oca koji se nalazi u blizini. Razvijeno zrno na klipovima linije majke je naše željeno F_1 hibridno sjeme.

Hibridno sjeme sa klipova linije majke u sljedećoj godini daje heterotične biljke F_1 generacije, koje nazivamo jednostruki hibrid (single-cross) – $(A \times B)$ (Borojević, 1981.).

Majčinskoj komponenti se otkidaju metlice prije prašenja te se na taj način nakon oplodnje dobije sjeme dvostrukog hibrida, isto sjeme koristimo za proizvodnju dvostrukog hibrida (Borojević, 1981.).



Slika 2. Proizvodnja hibrida kukuruza u cilju iskorištenja heterozisa

(Izvor: Borojević, 1981.)

2.1. Poljski pokus i mjerenje visine biljke

Provedeni pokus se odvijao na pokusnim parcelama Poljoprivrednog instituta u Osijeku, posijan je 21 red kukuruza, unutar kojih se nalaze četiri linije kukuruza (23-48, G29, W52 i 5126) u tri ponavljanja te kombinacije križanja tih istih linija, također unutar tri ponavljanja. Križanja navedenih linija su provedena između: 23-48 x 5126, G29 x 23-48 i W52 x 5126. U svakom redu, ručnom sjetvom je posijano 20 zrna kukuruza.



Slika 3. Kukuruz u fazi nicanja

(Foto original: K. Gašparović)

Slika 3 pokazuje pojavu prva dva lista otprilike tjedan dana nakon nicanja kukuruza. Primarni korijen biljke sadrži veći broj korijenovih izdanaka i dlačica, a u ovoj fazi rasta biljka se hrani pomoću fotosinteze u listovima. Pošto je korijen još uvijek relativno sitan i slabo razvijen, veće koncentracije gnojiva stimuliraju rani rast i razvoj biljke, bez obzira što je potrebna količina hraniva za ovu mladu biljku niska. (Hanway, 1966.)

Ranije navedene linije pripadaju spomenutim heterotičnim skupinama, tako linije 23-48 i G29 pripadaju Iodent heterotičnoj skupini, a 5126 i W52 pripadaju Stiff Stalk heterotičnoj skupini. Iz toga možemo pretpostaviti da ćemo viši stupanj heterozisa primjetiti pri križanju 23-48 x 5126, nego kod npr. G29 x 23-48. Dakle, stupanj heterozisa unutar ovih križanja bi trebao ovisiti o srodnosti roditeljskih komponenta.

Mjerenje visine biljke kukuruza u početnom porastu provedeno je 14. lipnja 2019., u svakom od navedenih redova mjerena je visina 10 biljaka kukuruza i trenutni broj pravih otvorenih listova, a uz to je bilježen i broj ukupno razvijenih biljaka od 20 posijanih sjemena u redu. Visine je mjerena pomoću metra za mjerenje, od tla do vrha posljednjeg otvorenog pravog lista jer biljka kukuruza u početnom porastu nema u potpunosti razvijenu stabljuku. Vidljiv rukavac je osnovna karakteristika otvorenog lista.



Slika 4. Pojedinačno mjerenje biljaka kukuruza u početnom porastu

(Foto original: K. Gašparović)

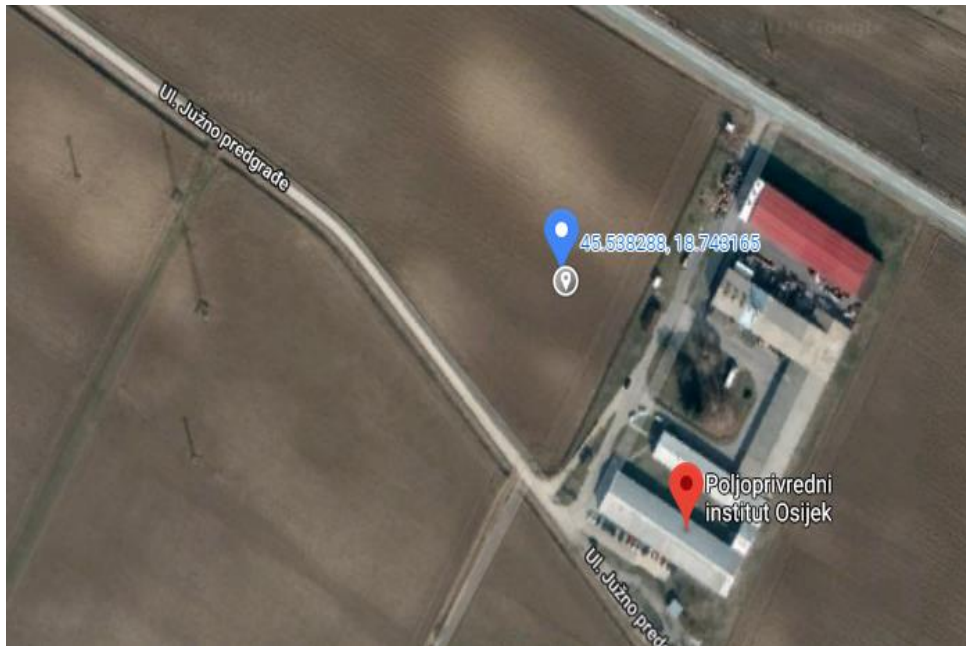
Faza 6 listova (slika 4) nastupa otprilike 3 tjedna nakon nicanja, glavnina korijenove mase je dobro raspoređena u tlu, a vrlo precizno postavljanje gnojiva više nije potrebno. Trenutno biljka usvaja puno veće količine hraniva, tako da je prijevremeno provođenje analize tla i zadovoljavanje potreba tla za određenim hranivima vrlo bitna stavka. Kukuruzna zlatica (*Diabrotica virgifera*) može pričinjavati štete tokom razvoja korijena i na taj način ograničiti sam razvoj biljke, ali dodatni razvoj korijena može dovesti do oporavka biljke (Hanway, 1966.)

Nakon cvatnje kukuruza provedeno je još jedno mjerenje visine stabljike, u svrhu dobivanja realnijih rezultata (biljka završava s porastom) i uspoređivanja istih s početnim porastom. Tada biljka kukuruza ima u potpunosti razvijene sve vegetativne organe te je mjerenje visine točniji i precizniji pokazatelj visine stupnja heterozisa.

Mjerenje visina biljaka kukuruza nakon cvatnje provedeno je 16. srpnja 2019. godine, za mjerenje je korišten štap za mjerenje s oznakama u centimetrima do visine 3 metra. Visina je mjerena od tla uz biljku, sve do vršnog djela metlice.

Mjerenje je po 5 biljaka u redu za svaku liniju i hibrid, za razliku od prethodno mjerenih 10 biljaka u redu pri početnom porastu. Razlog tomu je dobivanje točnijih rezultata radi nedovoljno velikog broja razvijenih biljaka u redu. Pokusna parcela POLJINOS-a se nalazi u blizini stambene zgrade instituta (slika 5.)

Tijekom mjerenja visine biljaka nakon cvatnje nije bilježen broj razvijenih listova, taj podatak ima veću značajnost tokom početnog porasta gdje biljke nisu u potpunosti definirane. U završnom porastu ili krajem vegetacije, sama visina biljke je dovoljno dobar pokazatelj visine stupnja heterozisa.



Slika 5. Koordinate poksune parcele POLJINOS-a

(Izvor: Google maps)

2.2. Statistički parametri i izračun heterozisa

Najveći broj morfoloških i bioloških svojstava su kvantitativna svojstva, to su sva mjerna svojstva i ona koja se na bilo koji način daju kvantificirati. Minor geni (poligeni) određuju kvantitativna svojstva, oni imaju mali učinak, ima ih puno i osjetljivi su na utjecaj činitelja vanjske sredine. Visina, težina, duljina klasa kod pšenice ili klipa kukuruza su neka od kvantitativnih svojstava, a statističke metode su neophodne za ispitivanje kvantitativnog načina nasljeđivanja.

U početnom porastu mjereno je 10 biljaka u redu, a u završnom porastu mjereno je po 5 biljaka u redu, u početnom porastu provedeno je mjerenje nad 210 biljaka, u završnom porastu nad 105 biljaka. Kroz cijelu vegetaciju kukuruza ukupni broj mjerenja iznosi 315.

Statistička obrada podataka je provedena sa sljedećim parametrima: (1) aritmetička sredina, (2) standardna devijacija, (3) standardna greška aritmetičke sredine, (4) koeficijent varijacije i (5) varijanca. Uz to, izračunat je i stupanj heterozisa u odnosu na srednju vrijednost roditelja i u odnosu na boljeg roditelja.

Rebekić (2017.) opisuje sljedeće statističke paprametre i navodi da (1) aritmetička sredina (\bar{x}) predstavlja srednju vrijednost obrađenih podataka, računa se tako da zbroj svakog pojedinačnog mjerenja podijelimo s brojem mjerenja.

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

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

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

(3) Standardna greška aritmetičke sredine ($s\bar{x}$) prikazuje razinu odstupanja od aritmetičke sredine, no povećanjem uzorka ona se smanjuje, što nam govori da veći broj uzoraka donosi i točnije rezultate.

Formula standardne greške je: $s\bar{x} = \frac{s}{\sqrt{n}}$, s predstavlja standardnu devijaciju, a \sqrt{n} drugi korijen od broja mjerenja.

(4) Koeficijent varijacije je zapravo standardna devijacija, ali izražena u postotcima od aritmetičke sredine.

Formula koeficijenta varijacije je: $KV = \frac{s \cdot 100}{\bar{x}}$, s predstavlja standardnu devijaciju, a \bar{x} aritmetičku sredinu.

(5) Varijanca (s^2) je kvadrat standardne devijacije te se može samo matematički izraziti.

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

Pri izračunu heterozisa uspoređuju se srednje vrijednost F_1 generacije s roditeljskim vrijednostima.

Heterozis u odnosu na srednju vrijednost roditelja: $H_1 = \overline{F_1} - \overline{MP}$, $\overline{F_1}$ predstavlja srednju vrijednost F_1 generacije, a \overline{MP} srednju roditeljsku vrijednost. Srednju roditeljsku vrijednost računamo kao: $\overline{MP} = \frac{\overline{P_1} + \overline{P_2}}{2}$, gdje $\overline{P_1}$ i $\overline{P_2}$ predstavljaju srednju vrijednost jednoga i drugoga roditelja. (Borojević, 1981.)

Heterozis u odnosu na boljeg roditelja: $H_2 = \overline{F_1} - \overline{BP}$, gdje $\overline{F_1}$ predstavlja srednju vrijednost F_1 generacije, a \overline{BP} srednju vrijednost boljeg roditelja. (Borojević, 1981.)

3. REZULTATI I RASPRAVA

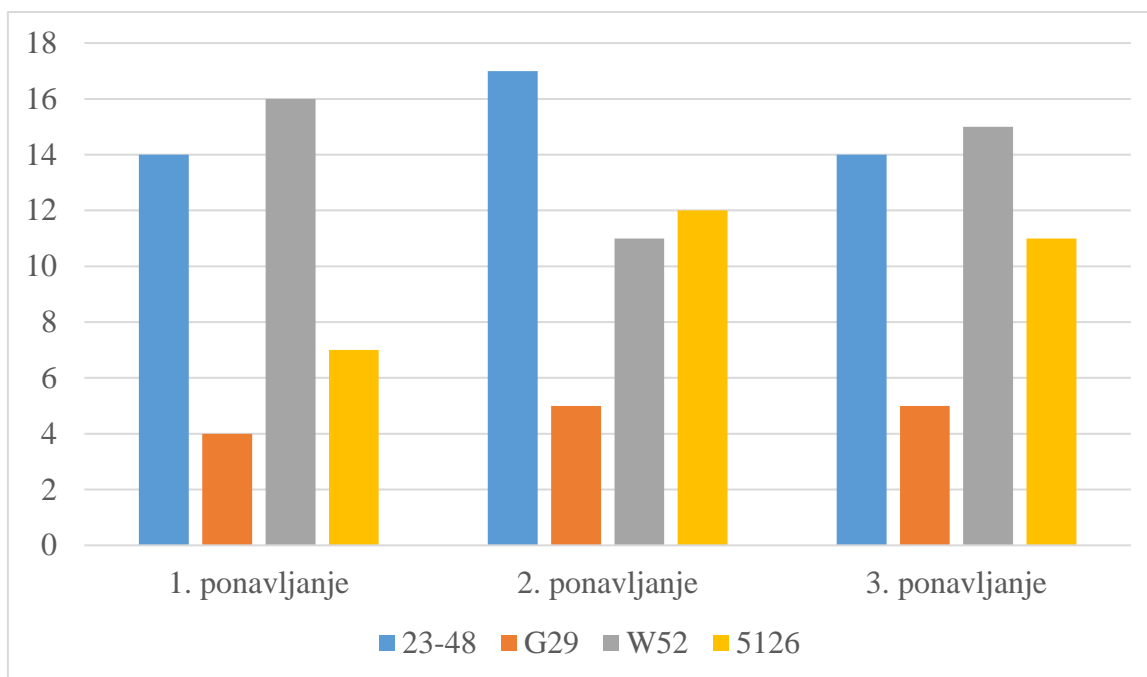
Mjerenje visine u početnom porastu provedeno je na 10 biljaka u svakom redu, ali ručna sjetva, međuredna kultivacija uz prihranu predstavljaju određenu problematiku, pa se u većini redova nije razvilo planiranih 20 biljaka u redu, a u pojedinim redovima se nije razvilo ni 10 biljaka potrebnih za provođenje preciznijeg statističkog izračuna.

Tablica 1. Prikaz ukupnog broja biljaka razvijenih u 3 ponavljanja u početnom i završnom porastu

Linije i hibridi	Broj razvijenih biljaka
23-48	45
G29	14
W52	42
5126	28
23-48 x 5126	49
G29 x 23-48	38
W52 x 5126	41
Ukupan broj biljaka	257

Iz tablice 1. vidimo da je linija 23-48 pokazala najveći broj razvijenih biljaka u početnom porastu, 45 biljaka je razvijeno od 60 posijanog sjemena u tri ponavljanja, što je točno 75% razvijenih biljaka. Slabiji razvoj pokazala je linija G29, sa 14 od 60 razvijenih biljaka što iznosi 23% razvijenih biljaka u tri ponavljanja.

Hibridi su pokazali približno jednake rezultate, a ističe se 23-48 x 5126 sa ukupno 48 od 60 razvijenih biljaka ili 80% sveukupno razvijenih biljaka. W52 x 5126 pokazuje sličan razvoj prethodno navedenom hibridu, a G29 x 23-48 u početnom porastu ima 38 razvijenih biljaka u redu ili 63%, što je za 17% niža razvijenost od hibrida s najvećim brojem razvijenih biljaka.



Grafikon 1. Prikaz broja razvijenih biljaka linija u tri ponavljanja

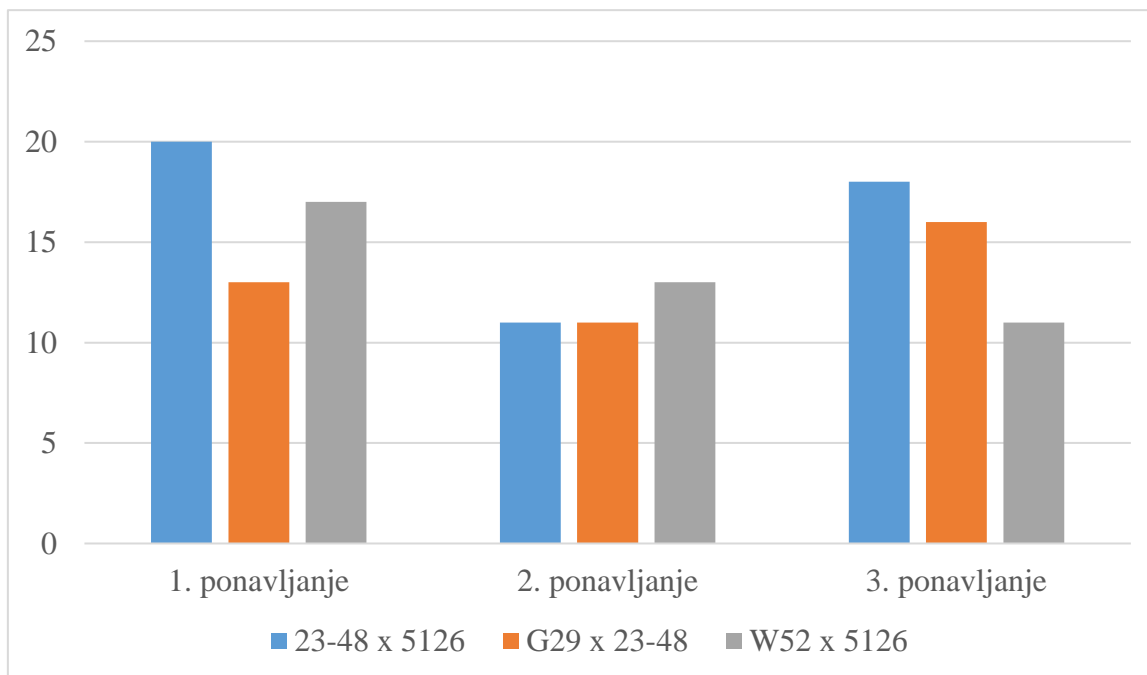
Spomenuta je sjetva 20 sjemena u svakom redu u tri ponavljanja, a ukupno je posijan 21 red kukuruza na odabranoj pokusnoj parcel. Linija 23-48 pokazala je najbolje rezultate i adaptaciju uvjetima okoline uz najveći broj razvijenih biljaka u redu (Grafikon 1.), kao i uz postizanje najviše stabljike u početnom i završnom porastu.

U 2. ponavljanju navedena linija ima ukupno 17 razvijenih biljaka, što je više od sveukupnog broja razvijenih biljaka G29 linije u sva tri ponavljanja.

Linija 5126 u 1. ponavljanju pokazuje loše rezultate uz samo 7 razvijenih biljaka, ali u sljedeća dva ponavljanja ima veći broj razvijenih biljaka.

Lošija razvijenost u 1. ponavljanju može biti radi utjecaja čovjeka, ručne sjetve ili provedenih mjera njege. Iz tog razloga veći broj ponavljanja pokazuje puno točnije i preciznije rezultate.

Križanci jednim dijelom pokazuju stabilnije rezultate u broju razvijenih biljaka u usporedbi s njihovim roditeljskim komponentama. Linija 23-48 x 5126 u svakom pogledu pokazuje vrlo dobre i stabilne rezultate, 1. i 3. ponavljanje pokazuju odlične rezultate s velikom većinom razvijenih biljaka u redu, dok je u 2. ponavljanju taj broj duplo manji (Grafikon 2.).



Grafikon 2. Prikaz broja razvijenih biljaka hibrida u tri ponavljanja

Dobiveni podatci o visini i broju listova u početnom porastu kukuruza su dodatno pojašnjeni nakon izračunavanja statističkih parametara, uz daljnju usporedbu s podacima visine biljke i broja listova pri završetku razvoja vegetativnih organa biljke.

Radi dobivanja točnijih podataka za daljnji izračun, tri ponavljanja svakog pedigrea su računati kao jedna aritmetička sredina, a dobiveni rezultati visine svakog pedigrea su grupirani u razrede.

Svi rezultati jednog razreda predstavljeni su jednim rezultatom što nazivamo sredinom razreda. U tablici 2 su prikazani rezultati statističkih parametara nakon početnog porasta, uz postotak broja biljaka s razvijenim otvorenim listovima.

Tablica 2. Sumarni prikaz visine biljaka i broja listova u početnom porastu

Linije i hibridi	\bar{x}	S	S ²	S \bar{x}	KV	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇
23-48	43,14 cm	7,34	53,87	1,34	17,02%	3%	77%	17%	3%
G29	32,92 cm	11,8	139,24	3,15	35,84%	64%	28%	8%	0
W52	42,56 cm	9,81	96,23	1,79	23,05%	10%	50%	37%	3%
5126	34,04 cm	9,59	91,97	1,918	28,17%	20%	56%	24%	0
23-48 x 5126	59,4 cm	13,7	187,69	2,5	23,06%	13%	53%	33%	0
G29 x 23-48	53,62 cm	17,39	302,41	2,37	32,43%	31%	48%	21%	0
W52 x 5126	51,8 cm	10,49	110,04	1,91	20,25%	53%	40%	7%	0

Iz gore navedene tablice zaključujemo da je u početnom porastu najrazvijenija linija 23-48, a slabiji početni porast primjećujemo kod linije G29. Kod linije 23-48 standardna devijacija pokazuje variranje uzorka od 35,8 do 50,48 cm, uz varijancu od 53,87 te većina biljaka (77%) ima 5 otvorenih pravih listova. Aritmetička sredina je 43,14 cm.

Linija W52 pokazuje slične rezultate kao 23-48, uz aritmetičku sredinu od 42,56 cm i nešto višu standardnu devijaciju od 9,81 cm i varijancu od 96,23. Možemo primjetiti kako linija W52 ima 50% biljaka u V₅ fazi razvoja i 37% biljaka u V₆ fazi razvoja, dok 23-48 ima veći broj biljaka u V₅ i manji broj biljaka u V₆ u usporedbi s W52. Taj podatak je direktan razlog višoj standardnoj devijaciji linije W52.

Aritmetička sredina linije G29 u početnom porastu iznosi 32,92 cm, pokazala je sporiji početni porast i slabiji broj razvijenih biljaka. Viša standardna devijacija pokazuje i veće variranje za samu visinu biljaka od 21,12 do 44,72 cm.

Također sporiji početni porast možemo direktno povezati s ukupno 64% biljaka koje imaju četiri prava otvorena lista. Razlog slabijoj razvijenosti ove linije ne mora biti loša adaptacija na uvjete okoline, već u sam razvoj biljke ulazi i utjecaj čovjeka kroz provođenje mjera njege kao međuredna kultivacija uz prihranu. Uvijek postoji mogućnost pogreške u navedenim pothvatima koja se može odražavati na ovaj način.

Najlošiji rezultat pokazao je križanac W52 x 5126 sa aritmetičkom sredinom od 51,8 cm, a standardna devijacija pokazuje variranje visine od 41,31 do 62,29 cm. Također, broj razvijenih listova dodatno dokazuje slabiju razvijenost ovog križanca.

Dobiveni podatci (tablica 3.) nakon cvatnje se velikim dijelom slažu s prethodno dobivenim podacima nakon početnog porasta. Linija 23-48 pokazuje najbolje rezultate kao unikatna linija s aritmetičkom sredinom od 189,33 cm, iako standardna devijacija pokazuje variranje rezultata visine od 14,89 cm, svakako je pokazala da može biti dobar izbor za daljnja križanja.

Tablica 3. Sumarni prikaz dobivenog izračuna nakon cvatnje

Linije i hibridi	\bar{x}	S	S ²	S \bar{x}	KV
23-48	189,33 cm	14,89	221,71	3,84	7,86%
G29	122,2 cm	21,57	465,26	5,57	17,65%
W52	162 cm	4,93	24,3	1,27	3,04%
5126	153,4 cm	9,36	87,61	2,42	6,1%
23-48 x 5126	248,8 cm	9,481	89,89	2,45	3,81%
G29 x 23-48	197,73 cm	25,99	675,48	6,71	13,14%
W52 x 5126	202,94 cm	57,01	3250,14	14,72	28,09%

Križanci također pokazuju zanimljive rezultate, te su približno jednaki onima u prethodnoj tablici. 23-48 x 5126 pokazuje najvišu aritmetičku sredinu od 248,8 cm uz vrlo nisku standardnu devijaciju i koeficijent varijabilnosti uz stabilnu varijancu, što odgovara dobivenim rezultatima u početnom porastu.

Također, linija G29 pokazuje jednako loše rezultate kao i nakon mjerenja i izračuna parametara u početnom porastu. Visoka standardna devijacija i koeficijent varijabilnosti nam pokazuju visoko variranje u visini biljaka, što je definitivno nepoželjno u odabiru linije za daljnja križanja.

U početnom porastu linija W52 je bila relativno jednaka rezultatima 23-48 linije, no daljnjim rastom i razvojem jasno vidimo da W52 nije ni približno visoka linija kao 23-48. Zanimljivo za istaknuti je da u završnom porastu linija W52 ima niži rezultat standardne devijacije od 23-48, a rezultat u početnom porastu je bio suprotan. W52 pokazuje standardnu devijaciju od 4,96 i varijancu od 24,3 što pokazuje poprilično stabilne rezultate i ujednačenost linije u dobivenoj visini.

Dakle, visina biljaka nakon cvatnje ovog križanca varira od 239,32 do 258,28 cm. Razlika u visini nije velika te ovaj križanac pokazuje vrlo stabilnu i konstantnu visinu stabljike u uzorku od 15 biljaka.

Ostala dva križanca pokazuju slične rezultate u smislu same aritmetičke sredine, no standardna devijacija pokazuje vrlo različite razlike u visinama pojedinačnih biljaka. Križanac W52 x 5126 ima standardnu devijaciju od 57,01 što je skoro pa duplo više od standardne devijacije G29 x 23-48 križanca (Tablica 3).

Važnost heterozisa u visini prinosa kukuruza je ogromna, a između 1930. i 1960. godine izrazito je veliko povećanje prinosa u SAD-u (<https://quickstats.nass.usda.gov>), pa s vremenom i u cijelom svijetu. U to vrijeme, razvoj hibrida i heterozis su postali vrlo značajni za unapređenje poljoprivrede i prinosa u cijelom svijetu.

U tablici 4 vidljive su razlike u vrijednosti heterozisa visine biljke za sve ispitivane hibride u pokusu u početnom porastu te nakon cvatnje.

Tablica 4. Heterozis visine biljaka križanaca u početnom porastu i nakon cvatnje

Početni porast	H ₁	H ₂
23-48 x 5126	53,92%	37,69%
G29 x 23-48	40,99%	24,29%
W52 x 5126	35,25%	21,71%
Nakon cvatnje		
23-48 x 5126	77,43%	59,47%
G29 x 23-48	41,96%	8,4%
W52 x 5126	45,24%	40,94%

Križanac 23-48 x 5126 pokazao najviši stupanj heterozisa i broja listova u početnom porastu, što i potvrđuje činjenicu da će heterozis biti izraženiji radi veće raznolikosti u genotipu roditeljskih komponenti (Tablica 4).

Ostala dva križanca su srodnija, te i iz navedenih podataka možemo zaključiti da je broj razvijenih listova manji kao i visina heterozisa. Križanac 23-48 x 5126 je pokazao najvišu aritmetičku sredinu od 59,4 cm (Tablica 3.) i najviši stupanj heterozisa (Tablica 4.) u odnosu na srednju vrijednost roditelja od 53,92% i u odnosu na boljeg roditelja od 37,69%.

U početnom porastu, a i nakon cvatnje najviši heterozis u odnosu na oba roditelja i u odnosu na boljeg roditelja pokazuje križanac 23-48 x 5126 (Tablica 4.). Jasno vidimo da je nakon cvatnje heterozis u odnosu na oba roditelja vrlo visok, od čak 77,43%.

Zanimljiv rezultat vidimo kod križanca linija W52 x 5126 gdje u početnom porastu na oba parametra pokazuje lošije rezultate od ostala 2 konkurentna hibrida, ali nakon cvatnje pokazuje dobar heterozis u odnosu na boljeg roditelja, a izrazito dobar u odnosu na boljeg roditelja u usporedbi s križancem G29 x 23-48.

Komercijalna prodaja hibrida dopustila je svakom agronomu da unaprijedi svoju proizvodnju, a prihvaćanje hibrida od strane tržišta samo je dopustila dodatna istraživanja i pokušaje stvaranja još boljih i stabilnijih hibrida koji mogu biti dostupni svima.

Kaeppler, (2012.) iznosi kako je očito da ostaje puno toga što se može naučiti i istražiti iz kompozicije genoma, transkripcije, translacije, itd., siguran je kako će se u budućnosti lakše objasniti pojava heterozisa, ali navodi kako neki neotkriveni molekularni mehanizam nije potreban kako bi se u konačnici objasnio heterozis. Govori kako ne postoji skriveni i ovisan o genima mehanizam koji objašnjava heterozis, već je heterozis rezultat raznolikosti u genima, položajima tih gena i procesima koji će tek biti razotkriveni.

Wang (2016.) opisuje heterozis kao bitan biološki fenomen, koji je korišten za povećanje prinosa zrna, kvalitete i otpornosti prema abiotskom i biotskom stresu, no također navodi kako genetički mehanizam heterozisa još uvijek nije otkriven. Slično navedenome Zhou, (2018.) govori da su svojstva visine biljke usko vezana uz gustoću sklopa, što definitivno može biti ovisno i o samoj liniji ili hibridu. Također spominje kako su se prethodna istraživanja fokusirala na razumijevanje genteske osnove nekih od svojstava, ali bez dobivanja obećavajućih rezultata.

Iz provedenog istraživanja, visine biljke nisu ovisile o gustoći sklopa, veća povezanost je u samoj genetskoj osnovi i trenutno izraženim genima. Redovi sa manjim brojem razvijenih biljaka, gdje bi one razvijene biljke imale više prostora za razvoj, nisu pokazale bolje rezultate od biljaka sa manje prostora za svoj rast.

Farhan (2012.) provodi istraživanje na heterozisu kukuruza, opisuje kako su razvijene stotine S₂ linija u 2009. godini, a samo je nekolicina odabrana za križanje sa tri različite test linije u izolaciji u svrhu razvoja novih test linija. Podatke je prikupljao u cvatnji na morfološke karakteristike i ukupan prinos kako bi izračunao potpunu varijabilnost i heterozis u odnosu na oba roditelja i boljeg roditelja. Također dolazi do zaključka da se veća razina heterozisa odrazila pri križanju linija s različitom genetskom osnovom, a križanje srodnijih linija nije dovelo do obećavajućih rezultata i značajnog heterozisa.

Postavljeno je mnogo hipoteza kako bi se objasnilo zbog čega točno kod nekih križanja dolazi do bujnosti i povećanog prinosa u F₁ generaciji, a u F₂ i sljedećim generacijama se ta bujnost ne može održati te se gubi. Shull (1911.) opisuje hipotezu fiziološke stimulacije te navodi da bujnost ili hibridna snaga koju pokazuju organizmi F₁ generacije proizlazi iz heterozigotnosti koja nastaje prilikom križanja genetski različitih roditelja.

East i Hays (1912.) ističu da “stimulans za razvoj koji posjeduju hibridi proizlazi iz njihove heterozigotnosti, taj stimulans postaje sve veći kada su sva ili gotovo sva svojstva u heterozigotnom stanju, za razliku od homozigotnosti.”

Shull, govoreći o heterozisu 1948. (prema Borojević, 1981.) smatra da se “fiziološka snaga organizma koja se manifestira u brzini rasta, visini i općoj robusnosti, nalazi u pozitivnoj korelaciji sa stupnjem raznolikosti u gametama čijim se sjednjivanjem formira novi organizam, što su brojnije razlike između spajajućih gameta (unutar određenih granica), to je u cjelini stimulacija veća.” te navodi da “ove razlike ne moraju biti mendelovske po svojoj prirodi.”

Borojević (1981.) prenosi hipotezu o dominantnim vezanim genima koju objašnjava Jones (1917.) govoreći o pojavi heterozisa te navodi da svaki organizam posjeduje pogodne i nepogodne gene i svojstva. Geni za pogodna svojstva kao što su rast, u većini su slučajeva dominantni. Svaki organizam ima veliki broj gena za rast te stoga se oni nalaze na raznim kromosomima, a na jednom kromosomu može biti prisutan i veći broj gena.

Razne linije posjeduju i razne gene za rast, pa prema tome samo u F₁ generaciji moguća je akumulacija svih dominantnih gena za rast od oba roditelja. Stoga, u daljnim generacijama zbog razdvajanja kromosoma i niskog postotka crossing overa, organizmi imaju manji broj dominantnih gena za rast te stoga dolazi do opadanja bujnosti F₂ generacije.

Sukladno prethodnim hipotezama, East (1936.) objašnjava da je heterozis rezultat komplementarne interalelne interakcije gdje heterozigot ima veću genotipsku vrijednost od homozigota. Pravim heterozisom se zapravo smatraju slučajevi gdje se superiornost heterozigota odražava u većoj adaptivnoj vrijednosti od bilo kojeg homozigota. Tu je heterozigot čak dominantan nad dominantim homozigotom ($Aa > AA$) te se na temelju toga razvija hipoteza o superdominantnosti.

Haymann i Jinks (1954., 1960.), na temelju teorije dialelnih križanja (prema Borojević, 1981.) nastojali su objasniti genetsku bazu heterozisa, ističu kako je heterozis rezultat superdominantnosti, ali je uvijek povezan s nealelnom ili interalelnom interakcijom, odnosno epistazom kojoj se posebno dodjeljuje bujnost F₁ generacije.

Poticanje izraživanja heterozisa u kulturnoga bilja je vrlo bitno u svijetu poljoprivrede i oplemenjivanja bilja (<http://www.fao.org>), a na temelju sličnih i već provedenih istraživanja u prošlosti znanstvenici su utemeljili pravilan način križanja između postojećih heterotičnih skupina kako bi ta razina heterozisa bila što viša i značajnija za prinos zrna i u konačnici za kvalitetniji i viši standard života ljudi.

4. ZAKLJUČAK

Proučavanjem dobivenih podataka utvrđeno je da pojava i visina heterozisa itekako ovisi o samoj srodnosti roditeljskih komponenti. Takva raznolikost u genotipu roditelja nam donosi puno veći broj gena s poželjnim svojstvima u novoj nastaloj jedinki. Te jedinke pokazuju puno bolje rezultate u visini biljke ili veličini klipa već od samog početnog porasta, i 2-3 tjedna nakon nicanja, visina heterozisa se može jasno raspoznati i pravilno bilježiti. To su pokazali razvijeni hibridi nakon provedenog pokusa i izračuna statističkih parametara. Njihova značajno bolja morfološka razvijenost od roditeljskih komponenti je dovoljno dobar dokaz heterozisa i utjecaja velikog broja minor gena. Upravo hibrid 23-48 x 5126 pokazuje izrazito visoku stabljiku u svim ponavljanjima nakon cvatnje, s aritmetičkom sredinom od 248,8 cm, a isto tako pokazuje najvišu stabljiku i u početnom porastu. U usporedbi s roditeljima koji imaju aritmetičku sredinu od 189,33 cm i 153,4 cm, ovaj hibrid ima stupanj od 77,43% heterozisa u odnosu na oba roditelja i 59,47% u odnosu na boljeg roditelja. Dobiven rezultat je potvrda na prethodna istraživanja gdje se veći stupanj heterozisa očekiva pri križanju linija različitih heterotičnih skupina. Ostala dva hibrida imaju približno istu aritmetičku sredinu na samom kraju vegetacije, od 197,73 cm i 202,94 cm. Takva križanja neće dovesti do prekomjerno povećane bujnosti organizma F₁ generacije, ali kao što je već spomenuto, jedinka nema izrazitu raznolikost u samom genotipu u usporedbi s njenim roditeljskim komponentama te na temelju toga ne može imati visok potencijal.

5. POPIS LITERATURE

1. Birchler L. A (2015.): The genetic basis of hybrid vigour. *Nature Plants*, 1, no.15020, 1-2.
2. Borojević, S., Borojević K. (1971.): *Genetika*, Poljoprivredni fakultet Novi Sad. 378-389.
3. Borojević, S. (1981.): Princip i metodi oplemenjivanja bilja, Poljoprivredni fakultet Novi Sad. 49-63, 251-272.
4. East, E.M. (1936.): Heterosis. *Genetics*, 21(4), 380-387.
5. Ali, F., Shah, I.A., Rahman, H., Noor, M., Khan, M.,Y., Ullah, I., Yan, J. (2012.): Heterosis for yield and agronomic attributes in diverse maize germplasm. *Australian Journal of Crop Science*, Vol. 6, No. 3, Mar 2012: 455-462
6. Hanway, John J. (1966.): How a corn plant develops, Iowa State University. 2-17.
7. Hayman B. I. (1954.): The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, Vol 39, No. 6, Nov 1954: 808-809.
8. Kaeppler Shawn (2012.): Heterosis: Many genes, many mechanisms – end the search for an undiscovered unifying theory. *IRSN Botany*, Vol 2012, ID 682824. 1-12.
9. Lamkey, K.R., Edwards, J.W. (1999.): *Quantitative Genetics of Heterosis*. U: *The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. Coors, J.G., Pandey, S. (ur.), CIMMYT, Mexico City, Mexico, 17-22.
10. Lee A. Elizabeth, Tracy F. William (2009.): *Modern Maize Breeding*. U: *Handbook of Maize: Genetics and Genomics*. Bennetzen, J.L., Hake, S. (ur.), Springer, New York, USA, 141-153.
11. Melchinger, E.A. (2009.): *Heterosis in Plants*. U: *Theor Appl Genet*, The International Conference on “Heterosis in Plants”, Melchinger E.A. (ur.), Springer-Verlag, Hoffenheim, Germany. 201.
12. Rebekić, A. (2017.): *Opisna statistika*, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek. 77.
13. Shull, G.H. (1911.): The Genotypes of Maize. *The American Naturalist*, Vol. 45, No. 532, Apr 1911: 243-252.

14. Wang, H., Zhang, X., Yang, H., Chen, Y., Yuan, L., Li, W., Liu, Z., Tang, J., Kang, D. (2016.): Heterotic loci identified for plant height and ear height using two CSSLs test populations in maize. *Science Direct*, 15(12), 2726-2735.
15. Zhou, Z., Zhang, C., Lu, X., Wang, L., Hao, Z., Li, M., Zhang, D., Yong, H., Zhu, H., Weng, J., Li, X. (2018.): Dissecting the Genetic Basis Underlying Combining Ability of Plant Height Related Traits in Maize. *Plant Science*, Vol 9, No. 1117, Aug 2018, 1-13.
16. Poljoprivredni fakultet Osijek: Kukuruz. 2015.
http://www.bilje.hr/POLJOPRIVREDA/AgBase_1/HTM/kukuruz.htm (20.6.2019.)
17. United States Department of Agriculture: Agricultural Statistics Service.
<https://quickstats.nass.usda.gov> (15.8.2019.)
18. Encyclopaedia Britannica: Heterosis. Genetics.
<https://www.britannica.com/science/heterosis> (20.8.2019.)
19. Food and Agriculture Organization of United Nations: Save and Grow in practice. Maize, Rice, Wheat, a guide to sustainable cereal production. Rome, 2016.
<http://www.fao.org/3/a-i4009e.pdf> (20.8.2019.)