

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Dragana D. Stevanović

PROIZVODNI POTENCIJAL HIBRIDA
KUKURUZA SA UBRZANIM OTPUŠTANJEM
VLAGE IZ ZRNA PRI RAZLIČITIM GUSTINAMA
SETVE

doktorska disertacija

Beograd, 2025

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

Dragana D. Stevanović

PRODUCTION POTENTIAL OF MAIZE
HYBRIDS WITH ACCELERATED GRAIN
MOISTURE RELEASE UNDER VARYING
PLANTING DENSITIES

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2025



UNIVERZITET U BEOGRADU

Poljoprivredni fakultet

Mentori

Dr Ljubiša Kolarić, vanredni profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Marijenka Tabaković, naučni savetnik, Institut za kukuruz „Zemun Polje“, Beograd

Članovi komisije

Dr Ljubiša Živanović, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Vesna Perić, viši naučni saradnik, Institut za kukuruz „Zemun Polje“, Beograd

Dr Svetlana Roljević Nikolić, naučni savetnik, Istraživačko razvojni institut „Tamiš“, Pančevo

Dr Irena Radinović, docent, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Datum odbrane doktorske disertacije: _____

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se mentoru dr Ljubiši Kolariću, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta u Zemunu koji mi je pomogao da odaberem temu disertacije, takođe zahvaljujem se na velikoj pomoći u istraživanjima i korisnim savetima i sugestijama u oblikovanju celokupne disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem mentorki dr Marijenki Tabaković, naučnom savetniku Instituta za kukuruz „Zemun Polje” u Beogradu za izradu detaljnog plana izvođenja eksperimentalnog dela, kako na oglednom polju, tako i u laboratoriji, pomoći u izvođenju oglada i laboratorijskim ispitivanjima koja se odnose na morfološke i produktivne parametre kukuruza, kao i interpretaciji statističkih rezultata.

Zahvaljujem se dr Vesni Perić, višem naučnom saradniku Instituta za kukuruz „Zemun Polje” za rukovođenje eksperimentalnim delom disertacije koji je realizovan u laboratoriji Instituta, a odnosi se na izbor metoda, hemijske analize zrna, statističku obradu podataka i interpretaciju dobijenih rezultata.

Iskrenu zahvalnost dugujem dr Svetlani Roljević Nikolić, naučnom savetniku Istraživačko-razvojnog instituta „Tamiš” u Pančevu na izuzetnoj pomoći, motivaciji i podršci tokom celokupnog procesa izrade doktorske disertacije. Vaše ohrabrenje i dragoceni saveti omogućili su mi da prevaziđem sve izazove i uspešno završim doktorat.

Zahvaljujem se dr Ljubiši Živanoviću, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu na podršci od samog upisa doktorskih studija, pa sve do završetka izrade ove doktorske disertacije.

Zahvaljujem dr Ireni Radinović, docentu Poljoprivrednog fakulteta, Univerziteta u Beogradu na pomoći tokom tehničkog uređenja disertacije.

Zahvalna sam i Institutu za kukuruz u Zemun Polju koji mi je omogućio da sprovedem eksperimentalni deo doktorske disertacije. Posebno zahvaljujem celokupnom timu sektora za Agroekologiju i agrotehniku, doktorandkinji Nataliji Pavlović, svim tehničarima i sezonskim radnicima koji su mi pomogli u radu na oglednom polju i laboratoriji.

Posebno sam zahvalna svojoj najboljoj drugarici Slavici Aleksić, kao i kolegama sa fakulteta Dijani Vojvodić i Ivanu Tupajiću na pomoći i podršci. Vaši saveti i motivacija učinili su ovaj put lakšim. Hvala vam što ste tu i što ste verovali u mene!

Najveću zahvalnost dugujem svojoj porodici na nesebičnoj podršci i motivaciji koju su mi pružili pri izradi ove doktorske disertacije. Vaša vera u mene, razumevanje i podrška bili su moj oslonac i inspiracija. Hvala vam što ste uvek uz mene!

PROIZVODNI POTENCIJAL HIBRIDA KUKURUZA SA UBRZANIM OTPUŠTANJEM VLAGE IZ ZRNA PRI RAZLIČITIM GUSTINAMA SETVE

Sažetak

Za istraživanje je korišćeno šest hibrida kukuruza (ZP 4708, ZP 4242, ZP 4790, ZP 4007, ZP 5550 i ZP 5601) selekcionisanih u Institutu za kukuruz „Zemun Polje“. Izabrani hibridi pripadaju različitim grupama zrenja. Poljski ogled postavljen je po slučajnom blok sistemu u tri ponavljanja, u toku dve vegetacione sezone, odnosno 2023. i 2024. godine. Setva je izvedena ručno u kućice u tri različite gustine: prva gustina 40.816 biljaka/ha (70 x 35 cm), druga gustina 69.686 biljaka/ha (70 x 20,5 cm) i treća gustina 98.522 biljke/ha (70 x 14,5 cm). Istraživanjima su obuhvaćena tri faktora: godina proizvodnje (G), gustina setve (S) i hibrid (H).

Rezultati istraživanja ukazuju da godina proizvodnje, gustina setve i hibrid značajno utiču na ispitivane parametre. Najveći uticaj na morfološke, produktivne i hemijske parametre kukuruza ispoljio je faktor G (godina proizvodnje). Gustina setve kao i izbor hibrida imali su značajan efekat na: visinu biljke, masu svežeg i suvog prvog lista ispod klipa, masu sveže i suve komušine, lisnu površinu prvog lista ispod klipa i komušine, dužinu klipa, broj redova zrna u klipu, broj zrna u redu, masu klipa, masu oklaska, masu 1.000 zrna.

Svi ispitivani hibridi ostvarili su prosečne prinose u rasponu od 7,79 do 9,59 t ha⁻¹. Hajveći prosečni prinos ostvario je hibrid ZP 5550 (H5) sa 9,59 t ha⁻¹, dok najmanji prinos (7,79 t ha⁻¹) imao je hibrid ZP 4708 (H1).

Analiza korelacije je pokazala da postoje značajne linearne pozitivne korelacije između parametra vlaga zrna i ulja, masa klipa i masa koćanke, vlaga zrna i proteina, dužina klipa i broj zrna u redu, visina biljke do metlice i visine do klipa. Značajne linearne negativne korelacije između parametra protein i skrob, vlaga zrna i skrob, prečnik koćanke i visina do klipa, broj zrna u klipu i test, prečnik koćanke i vlaga.

Modeli mašinskog učenja precizno su predvideli ključne osobine kvaliteta semena sadržaj vlage, ulja i proteina, sa metrikama performansi koje prelaze 80 % tačnosti. Konkretno, vrednosti R² su dostigle 0,82 za sadržaj vlage i 0,77 za koncentraciju ulja, što ukazuje na snažnu prediktivnu sposobnost. Ovi nalazi podržavaju pažljiv izbor hibrida i optimalne strategije gustine setve u budućim sistemima useva kako bi se povećao prinos i održao kvalitet semena u različitim sredinama.

Ključne reči: gustina setve, hibridi kukuruza, prinos, morfološki parametri, parametri prinosa

Naučna oblast: Biotehničke nauke

Uža naučna oblast: Ratarstvo i povrtarstvo

UDK: 633.15:631.527.5(043.3)

PRODUCTION POTENTIAL OF MAIZE HYBRIDS WITH ACCELERATED GRAIN MOISTURE RELEASE UNDER VARYING PLANTING DENSITIES

Abstract

Six maize hybrids (ZP 4708, ZP 4242, ZP 4790, ZP 4007, ZP 5550, and ZP 5601) selected at the Maize Institute "Zemun Polje" were used for the research. The selected hybrids belong to different maturity groups. The field trial was established using a randomized block design with three replications during two growing seasons, namely 2023 and 2024.

Sowing was done manually in hills at three different planting densities: the first density was 40,816 plants/ha (70×35 cm), the second density was 69,686 plants/ha ($70 \times 20,5$ cm), and the third density was 98,522 plants/ha ($70 \times 14,5$ cm). The study included three factors: production year (G), planting density (S), and hybrid (H).

The research results indicate that the production year, planting density, and hybrid significantly affect the investigated parameters. The production year (G) had the greatest impact on the morphological, productive, and chemical parameters of maize. Planting density and hybrid choice also had significant effects on plant height, fresh and dry mass of the first leaf below the ear, fresh and dry mass of the ear husk, leaf area of the first leaf below the ear and ear husk, ear length, number of grain rows per ear, number of grains per row, ear mass, cob mass, and 1,000-grain mass.

All tested hybrids achieved average yields ranging from 7,79 to 9,59 t ha⁻¹. The highest average yield was recorded for hybrid ZP 5550 (H5) with 9,59 t ha⁻¹, while the lowest yield (7,79 t ha⁻¹) was obtained by hybrid ZP 4708 (H1).

Correlation analysis showed significant positive linear correlations between grain moisture and oil content, ear mass and cob mass, grain moisture and protein, ear length and number of grains per row, plant height to tassel and plant height to ear. Significant negative linear correlations were found between protein and starch, grain moisture and starch, cob diameter and plant height to ear, number of grains per ear and test weight, and cob diameter and moisture.

Machine learning models accurately predicted key seed quality traits, moisture, oil, and protein, with performance metrics exceeding 80 % accuracy. Specifically, R² values reached 0.82 for moisture content and 0.77 for oil concentration, indicating strong predictive capability. These findings support careful selection of hybrids and optimal planting density strategies in future cropping systems to increase yield and maintain seed quality in different environments.

Key words: planting density, maize hybrids, yield, morphological parameters, yield parameters

Scientific field: Biotechnical sciences

Scientific subfield: Field and Vegetable Crops

UDK: 633.15:631.527.5(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. NAUČNI CILJ I ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA.....	4
3. PREGLED LITERATURE.....	5
3.1. Uticaj dužine vegetacije i klimatskih faktora.....	5
3.2. Gustina setve i njeni efekti.....	6
3.3. Dinamika otpuštanja vlage iz zrna	6
3.4. Interakcija gustine setve i otpuštanja vlage.....	7
3.5. Morfološke osobine i fotosintetska aktivnost	8
3.6. Nutritivni sastav zrna i uticaj gustine setve	8
3.7. Klimatske promene i prilagođavanje proizvodnje kukuruza	9
3.8. Genetski potencijal i selekcija hibrida	10
3.9. Interakcija gustine setve i agrotehničkih mera.....	10
3.10. Uticaj gustine na fiziološke procese i prinos.....	11
3.11. Ekonomski i ekološki aspekti gustine i otpuštanja vlage	12
3.12. Regionalne specifičnosti i prilagođavanje proizvodnje kukuruza.....	13
3.13. Morfološke i fiziološke adaptacije hibrida na gustinu i klimatske uslove	13
3.14. Dugoročni efekti i budućnost proizvodnje kukuruza	14
4. OSNOVNE HIPOTEZE OD KOJIH SE POLAZI.....	16
5. MATERIJAL I METODE RADA.....	17
5.1. Biljni material	17
5.2. Postavljanje ogleda	20
5.3. Morfološki parametri i komponente prinosa.....	21
5.4. Hemijske analize	23
5.5. Statistička analiza podataka	24
5.6. Meteorološki uslovi tokom izvođenja ogleda	25
5.7. Temperatura	25
5.8. Padavine	27
6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA.....	28
6.1. Morfološke karakteristike	28
6.1.1. Visina biljke	28
6.1.2. Masa svežeg, suvog i sadržaj hlorofila prvog lista ispod klipa.....	31
6.1.3. Masa svežih i suvih listova omotača klipa (komušina).....	34
6.1.4. Masa svežih i suvih zrna	36
6.1.5. Lisna površina prvog lista ispod klipa i lisna površina listova omotača klipa (komušina).....	38
6.2. Komponente prinosa	40

6.2.1. Dužina klipa, broj redova zrna u klipu i broj zrna u redu	41
6.2.2. Masa klipa, masa oklaska (kočanke) i masa 1.000 zrna	44
6.2.3. Prečnik klipa i prečnik oklaska (kočanka)	46
6.3. Hemijske analize zrna	47
6.4. Randman, vlaga i prinos zrna	50
6.5. Korelaciona analiza	52
6.6. Razvoj prediktivnih modela prinosa pomoću mašinskog učenja	53
6.6.1. Modeliranje prinosa analizom komponenti prinosa primenom mašinskog učenja	53
6.6.2. Analiza uticaja morfoloških i kvalitativnih osobina semena na prinos kroz primenu mašinskog učenja.....	58
7. ZAKLJUČAK.....	68
8. LITERATURA	70
9. PRILOZI.....	86

1. UVOD

Kukuruz (*Zea mays* L.) kao najvažnije prosoliko žito, pripada redu *Poales*, porodici trava, familiji *Poaceae* i rodu *Zea* (Simić et al. 2014; Grčak et al., 2020). Usled velikog privrednog značaja rasprostranjenost gajenja kukuruza je od 35° južne geografske širine do 50° severne geografske širine (Grčak et al., 2020; Amin et al., 2024).

Kukuruz predstavlja jednu od najvažnijih biljnih vrsta u celokupnoj svetskoj poljoprivrednoj proizvodnji. Zajedno sa pšenicom i pirinčem obezbeđuje 30 % hrane za više od 4,5 milijardi ljudi u 94 zemlje (Maqbool et al., 2021). Prema podacima FAOSTAT (2023) zasejane površine pod kukuruzom u 2022. godini za Ameriku iznose 75.883.789 ha, za Afriku 41.770.891 ha, Aziju 6.820.782 ha i Evropu 17.533.920 ha. U Srbiji kukuruz predstavlja jedan od najzastupljenijih ratarskih useva. Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku u 2023. godini posejano je 938.139 hektara, sa prosečnim prinosom od 7,2 tone po hektaru. Najmanje zasejane površine pod kukuruzom u 2023. godini su u regionu Južne i Istočne Srbije (174.428 ha), sa prosečnim prinosom od 6,1 t ha⁻¹, dok najveće u području Vojvodine (507.494 ha) sa prosečnim prinosom od 7,8 t ha⁻¹. Prema podacima iz 2024. godine najveće površine pod kukuruzom su takođe u regionu Vojvodine (536.582 ha), sa prinosom od 6,1 t ha⁻¹, dok je najmanje zasejanih površina pod kukuruzom bilo u području Južne i Istočne Srbije sa 186.293 ha i prosečnim prinosom od 2,4 t ha⁻¹.

Tabela 1. površina i prinos kukuruza u periodu od 2014-2024. godine

Godina	Površina (ha)	Prinos (t ha ⁻¹)
2014	1.057.877	7,5
2015	1.010.227	5,4
2016	1.010.097	7,3
2017	1.002.319	4,0
2018	901.753	7,7
2019	962.083	7,6
2020	996.527	7,9
2021	1.020.337	5,9
2022	952.216	4,5
2023	922.980	7,2
2024	987.492	5,2

Izvor: Statistički godišnjaci R, Srbije

Osnovni privredni značaj kukuruza proizilazi iz njegove raznovrsnosti, upotrebe u ishrani ljudi, domaćih životinja i industrijskoj preradi, kao i iz obima proizvodnje. Raznovrsnim tehnološkim postupcima danas se od biljke kukuruza proizvodi više od 1.500 raznih industrijskih prerađevina. Kukuruz ima visok biološki potencijal rodnosti i ubraja se u grupu biljaka sa najvećom proizvodnjom organske materije po jedinici površine. Ovaj usev ima i veliki agrotehnički značaj. Posle berbe kukuruza zemljište je dobrih fizičkih i hemijskih osobina, obogaćeno žetvenim ostacima, pa je dobar predusev većini njivskih biljaka. Zbog izuzetno velikog privrednog značaja površine pod kukuruzom se konstantno povećavaju (Glamočlija, 2012). Zrno kukuruza je bogato skrobom, pa se može koristiti i kao sirovina za proizvodnju bioetanolu (Zabed et al., 2017; Bertrand et al., 2016).

Zbog visokog sadržaja skoba u zrnu kukuruz se može koristiti za proizvodnju skroba i alkohola. Takođe, zrno kukuruza sadrži oko 1,3 % različitih minerala, od kojim najviše ima fosfor i kalijum, nešto manje natrijuma, hlora i gvožđa. Najveći sadržaj minerala nalazi se u klici, dok je ostatak u staklastom delu endosperma (Chaplygin et al., 2020). U stočarstvu nadzemna biomasa kukuruza može se koristiti kao sveža ili za spravljenje silaže, kukuruzna slama kao prostirka ili voluminozna hrana

za životinje, zrno kukuruza koristi se kao koncentrovana hrana. Sporedni proizvodi i ostaci nakon industrijske prerade takođe se koriste u ishrani domaćih životinja (Đurić et al., 2015).

Kukuruz se ubraja u C4 grupu biljaka, što znači da u toku vegetacije sintetiše veliku količinu organske materije (Khaeim et al., 2022; Xue et al., 2021; Glamočlija, 2012). C4 put fotosinteze je biohemijski mehanizam za koncentraciju CO₂. Reakcija fotosintetske asimilacije ugljenika odvija se bliže površini lista gde je koncentracija kiseonika visoka, a fotosintetska redukcija ugljenika u središnjem delu lista. C4 biljke su osetljive na nedostatak vode (Bellasio et al., 2023).

Klimatski uslovi u Republici Srbiji pogoduju proizvodnji kukuruza. Usled postojanja velikog broja hibrida može se gajiti u različitim klimatskim i zemljišnim uslovima. Temperatura, pored vlage i svetlosti, predstavlja ključan faktor za nicanje semena kukuruza. Potreba za toplotom je manja u početnim fazama rastenja. Za kasniji period rastenja kukuruza uslovno optimalne temperature vazduha u fazi metličenja su od 18⁰C do 20⁰C u fazi cvetanja i oplodnje od 20⁰C do 22⁰C i u fazi sazrevanja plodova 22⁰C do 23⁰C. Kukuruz ima velike potrebe za vodom. Ukupne potrebne količine vode tokom vegetacionog perioda su od 300 do 555 mm (Đurić et al., 2015; Glamočlija, 2012). Fenološke faze cvetanja i nalivanja zrna naročito su osetljive na visoke temperature i sušu, što za posledicu ima smanjenja broja i mase zrna (Butts-Wilmsmeyer et al., 2019; Cheabu et al., 2018). Visoke temperature skraćuju period nalivanja zrna, što negativno utiče na prinos (Shao et al., 2021; Yasin et al., 2022). Qi et al. (2022) zapažaju da u kritičnim fazama razvoja (7-10 dana pre cvetanja, 10-20 dana posle cvetanja i tokom mlečne zrelosti) loš raspored padavina, čak i uz dovoljnu ukupnu količinu, može smanjiti prinos.

Za visoke i stabilne prinose kukuruz zahteva plodna, dobro aerisana zemljišta sa dovoljno lakopristupačnih hranljivih materija, ovakve osobine poseduje černo zem, smonica, gajnjače i aluvijalna zemljišta (Živanović et al., 2024; Glamočlija, 2012). Kukuruz prema načinu setve ubraja se u širokoredne useve. U Srbiji setva se obavlja od prve polovine aprila, pa do kraja aprila.

Selekcijom dobijeni su hibridi koji se mogu prilagoditi različitim gustinama setve (Lobell and Azzari., 2017). Gustina sklopa, odnosno broj biljaka po jedinici površine predstavlja važan činilac u proizvodnji kukuruza. Gustina useva zavisi od većeg broja faktora: dužine vegetacionog perioda hibrida, morfoloških osobina i habitusa biljke, količine i rasporeda padavina u toku vegetacije, rezervi zimske vlage u zemljištu, nivoa plodnosti zemljišta, vremena setve, smera proizvodnje i drugo (Đalović i sar. 2021). Na gustinu useva utiču i klimatski uslovi, kvalitet zemljišta, kao i osobine genotipa kukuruza. Na manje plodnim zemljištima seje se manji broj biljaka, dok na plodnijim zemljištima preporučuje se veći broj biljaka po jedinici površine. Hibridi kraćeg vegetacionog perioda seju se na veće gustine u odnosu na kasne hibride. Gustinu useva treba prilagoditi i vodnom režimu, odnosno rasporedu padavina u području gajenja tokom vegetacionog perioda kukuruza (Jaramaz, 2015). Povećanjem gustine kod kukuruza povećava se visina biljke i prinos, dok dužina klipa i broj zrna u redu opada (Silva et al., 2014). Takođe, postoji statistički veoma značajna razlika kada je u pitanju uticaj međurednog razmaka na dužinu klipa i broj zrna u redu. Najveći prinos zrna dobijen je na međurednom razmaku od 25 cm, dok je najmanji prinos bio na međurednom razmaku od 40 cm (Wondimkun, 2023). Prema Testa et al. (2016) i Yan et al. (2017), veća gustina setve kukuruza dovodi do smanjenja dužine klipa, mase klipa, broja zrna u redu i površine korena.

Pri odabiru hibrida treba uzeti u obzir i intenzitet otpuštanja vlage iz zrna nakon postizanja fiziološke zrelosti.

Na brzinu otpuštanja vode iz zrna utiče: intenzitet svetlosti, temperatura vazduha, padavine, jačina vetra, pored toga utiče i pokrivenost klipa ovojnim listovima, debljina i broj listova omotača klipa (Nielsen, 2018b). Nakon postizanja fiziološke zrelosti hibridi kraće vegetacije ravnomernije gube vodu od kasnih hibrida (Melut and Rosca, 2016). Takođe, hibridi iz FAO 400 i 500 imaju brži gubitak vode iz zrna u odnosu na hibride FAO 600 (Stojiljković, 2022).

Usled globalnog zagrevanja prisutne su sve češće vremenske nepogode, od sve dužih i sušnijih perioda tokom leta, manje snežnih dana tokom zime do velikih količina padavina koje u međuperiodu izazivaju poplave. Negativan uticaj na gajenje kukuruza ima i period tokom jula i avgusta kada su sve izraženije visoke temperature i nedostatak padavina. Upravo zbog toga treba se opredeliti za hibride sa kraćim vegetacionim periodom, kako bi se izbegli kritični periodi za kukuruz. Za razliku od srednje ranih hibrida, kasni hibridi imaju veću potrebu za vodom i cvetanje se odvija u najtoplijem delu godine, što u uslovima ekstremnih temperatura može dovesti do smanjenja prinosa.

U poslednjim decenijama brojni istraživači su usmerili svoje napore na razvoj tehnika praćenja usmerenih na predviđanje prinosa useva (J. Liu et al., 2019). Rano i tačno predviđanje prinosa useva koristi celom lancu proizvodnje poljoprivredno-prehrambenih proizvoda, uključujući pojedinačne proizvođače, prerađivačku industriju i regionalne vlade (Basso & Liu, 2018). Blagovremene prognoze prinosa mogu pomoći proizvođačima da optimizuju prakse agronomskog upravljanja (Wolfert et al., 2017) i podržati poljoprivredno-prehrambenu industriju da usavrši strategije prerade, skladištenja, transporta i marketinga hrane (Esteso et al., 2018; Mondino & Gonzalez-Andujar, 2019). Tehnika statističkog predviđanja koristi linearnu regresiju za obradu podataka o morfološkim osobinama, prinosima i meteorološkim faktorima. Odnos između ovih skupova podataka pruža bolje razumevanje kako različiti elementi i njihove interakcije utiču na pojedinačne parametre i prinos (Becker-Reshef et al., 2010; Franch et al., 2015; Doraiswamy et al., 2004; Fang et al., 2011).

2. NAUČNI CILJ I ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA

U istraživanjima ove doktorske disertacije su sledeći naučno-istraživački ciljevi:

- Utvrđivanje i ocenjivanje obima varijabilnosti morfoloških osobina hibrida kukuruza u odnosu na genotipsku kombinaciju;
- Utvrđivanje povezanosti u ispoljavanju morfoloških osobina hibrida kukuruza u odnosu na izvore varijabilnosti (gustina, godina);
- Utvrđivanje međusobne povezanosti izvora varijacija i hibrida kukuruza u ispoljavanju morfoloških osobina semena;
- Ocenjivanje stabilnosti i homogenosti u ispoljavanju morfoloških osobina hibrida kukuruza u odnosu na izvore varijabilnosti;
- Korišćenje algoritama mašinskog učenja za ocenu prediktivnih modela prinosa kukuruza u promenljivim klimatskim uslovima.

Rezultati ovog ispitivanja mogu imati naučni i praktičan značaj. Dobijeni podaci mogu biti osnova budućih istraživanja iz oblasti savremene tehnologije proizvodnje kukuruza za postizanje visokih i stabilnih prinosa u različitim agroekološkim uslovima.

3. PREGLED LITERATURE

Kukuruz (*Zea mays* L.) je jedna od najznačajnijih prosolikih žita u poljoprivrednoj proizvodnji, pored pšenice i pirinča, zahvaljujući svojoj širokoj primeni u ishrani ljudi, stočnoj hrani i industriji (Ranum et al., 2014). Uzgaja se u različitim agroklimatskim zonama, obuhvatajući umereno, tropsko i suptropsko okruženje, što ga čini neophodnom kulturom za proizvodnju hrane i podsticanje ekonomskog napretka (Popović, 2010). Zrno kukuruza odlikuje visoka nutritivna vrednost. Sadrži 6-13 % proteina, 2-5 % ulja, 70-85 % skroba, 1-3 % šećera, kao i vitamine (A, E, B3, B6, B12) i minerale poput gvožđa, kalcijuma, kalijuma, fosfora i sumpora (Popović, 2010). Važnost kukuruza na tržištu raste usled povećane potražnje u stočarstvu i industrijskoj preradi (Rajičić et al., 2025; Pareja-Sanchez et al., 2019).

Prinos kukuruza zavisi od genetičkog potencijala hibrida, agroekoloških uslova i agrotehničkih mera. Komponente prinosa uključuju dužinu klipa, prečnik klipa, broj redova zrna, broj zrna po redu i masu 1.000 zrna (Božović et al., 2018). Meteoroloških faktora, poput količine i rasporeda padavina i temperature tokom vegetacije direktno utiču na pomenute parametre (Yang et al., 2022; Brozović et al., 2023). Prema Partali et al. (2021), uslovi godine, vreme setve, gustina setve, izbor genotipa i njihova interakcija značajno utiču na prinos i kvalitet zrna, što potvrđuju i istraživanja Rajičić et al. (2025). Velika varijabilnost prinosa često je posledica proizvodnje u uslovima suvog ratarenja, gde nepovoljni vremenski uslovi tokom vegetacije smanjuju produktivnost (Branković-Radojčić et al., 2017; Urechean & Bunea, 2017). Hibridi sa kraćim vegetacionim periodom imaju prednost jer ranije cvetaju i završavaju oplodnju, izbegavajući letnje suše u julu i avgustu, što je posebno važno za region Balkana (Stojiljković, 2022).

Klimatske promene dodatno otežavaju proizvodnju kukuruza. Porast temperatura i čestih ekstremnih vremenskih nepogoda predstavljaju izazov za biljnu proizvodnju (Hong et al., 2019; Yang et al., 2022). Prema projekcijama, porast temperatura za 1,5°C ili više u narednih 20 godina, uz smanjenje padavina tokom leta, negativno će uticati na prinose, posebno kod kasnih hibrida (Levin et al., 2021). Trajanje vegetativnog porasta i nalivanja zrna važno je za formiranje prinosa (Wu et al., 2023; Wang et al., 2024), dok prilagodljivosti hibrida, brzine otpuštanja vlage iz zrna i otpornosti na štetočine i bolesti utiču na stabilnost prinosa (Božović et al., 2018; Bocianovski et al., 2019). Isti autori navode važnost pravilnog odabira hibrida za održavanje stabilnosti proizvodnje u promenljivim vremenskim uslovima.

3.1. Uticaj dužine vegetacije i klimatskih faktora

Dužina vegetacionog perioda kukuruza varira među hibridima, a spoljni faktori, poput temperature i padavina, imaju presudan uticaj (Stojiljković, 2022). Rajičić et al. (2025) konstatuju da su rani hibridi prilagodljiviji na nepovoljne uslove proizvodnje, dok kasni hibridi ostvaruju veće prinose u povoljnim klimatskim uslovima.

Jagla et al. (2019) i Maitah et al. (2021) ukazuju na negativnu korelaciju između prinosa i visokih temperatura u julu i avgustu, dok Zhao et al. (2023) primećuju da rani hibridi imaju niži prinos u odnosu na kasne hibride, što zahteva dalja istraživanja za unapređenje njihovog potencijala prinosa. Kao posledica klimatskih promena, izbor hibrida sa kraćom vegetacijom i tolerancijom na sušu i visoke temperature značajan je za postizanje stabilnih prinosa (Carter et al., 2016; Mastrodomenico et al., 2018). Barutcular et al. (2016) pokazuju da stres od nedostatka vode u fazi nalivanja zrna značajno smanjuje prinos, dok genotipovi srednje ranih grupa zrenja pokazuju bolju prilagodljivost na nepovoljne uslove tokom perioda vegetacije (Branković-Radojčić et al., 2017; Mitrović et al.,

2016; Biberdžić et al., 2018b). Ove karakteristike čine ih poželjnim za proizvodnju u uslovima promenljivih klimatskih prilika.

Porast temperatura i smanjenje padavina tokom leta dodatno otežavaju proizvodnju kukuruza. Hibridi kraće vegetacije imaju prednost jer izbegavaju najtoplije periode, čime se smanjuje rizik od gubitaka prinosa (Wu et al., 2024). Simon et al. (2023) ukazuju na složenu interakciju između klimatskih faktora i morfoloških osobina, dok Petrović et al. (2023) naglašavaju potrebu za prilagođavanjem agrotehničkih mera, poput vremena setve i gustine, kako bi se ublažili negativni efekti. Mazibuko et al. (2024) ističu značaj selekcije hibrida prilagođenih lokalnim uslovima, dok Wei et al. (2021) naglašavaju da su dugoročni efekti klimatskih promena na biljnu proizvodnju još uvek nedovoljno istraženi, posebno u kontekstu smanjenja obradivih površina (Meng et al., 2022).

3.2. Gustina setve i njeni efekti

Gustina setve je ključni agrotehnički faktor u cilju ostvarivanja stabilnih prinosa kukuruza. Povećanje gustine setve utiče na povećanje prinosa po jedinici površine, ali smanjuje pojedinačne komponente prinosa, poput dužine klipa, broja zrna po redu i mase 1.000 zrna (Shafi et al., 2012; Zamir et al., 2011). Testa et al. (2016) su primetili da gušće setve kukuruza dovode do nekih očiglednih promena: klipovi su bili 10,8 % kraći, težili su 18 % manje, masa 1.000 zrna je pala za 6 %, a površina listova se smanjila za 20 %. Abuzarova ekipa (2011) je došla do sličnih zaključaka. Kažu da je pri gustini od 40.000 biljaka po hektaru masa zrna po klipu bila prilično velika, 333,3 grama. Ali kada su povećali gustinu na 140.000 biljaka po hektaru, ta masa je pala na samo 166,7 grama. Ilić (1999) je takođe imao šta da kaže o ovome, kod 35.273 biljke po hektaru, masa zrna po klipu bila je 188,8 grama, ali kod 55.370 biljaka po hektaru smanjila se na 140 grama. Takođe, masa 1.000 zrna je opala sa 322 grama na 286 grama kako je gustina rasla.

Optimalna gustina u kojoj ce se potencijalno ostvariti najbolji agronomski performans zavisi od izabranog hibrida kukuruza, plodnosti zemljišta i količine vode na raspolaganju (Đalović et al., 2024; Jaramaz, 2015). Na manje plodnim zemljištima bolji efekat se postiže setvom na manju gustinu. Ali, ako je plodno zemljište i primenjuje se navodnjavanje, moguće je gajenje u većem sklopu biljaka (Dugalić et al., 2024). Rane hibridne sorte, koje su obično kompaktnije, bolje podnose gušću setvu (Pandurović et al., 2009, 2010). Meteorološki uslovi takođe igraju ulogu – u sušnim godinama gušća setva može da smanji prinos, ali u kišnim godinama možete da posadite više biljaka na plodnom zemljištu (Pandurović et al., 2009). Tokatlidis (2013) naglašava da različiti hibridi kukuruza različito reaguju na gustinu, a Yerlikaya et al., (2020) i Antonio et. al., (2024) potvrđuju da povećanje gustine može da poveća prinos kod određenih hibrida.

3.3. Dinamika otpuštanja vlage iz zrna

Ključni faktor u proceni tehničke zrelosti je nivo vlage u zrnu kukuruza tokom berbe. Na brzinu otpuštanja vode tokom fiziološke zrelosti utiču temperatura, relativna vlažnost vazduha i vetar, kao i genotip (Liu et al., 2020). Hibridi koji brže otpuštaju vlagu omogućavaju raniju berbu, niže troškove sušenja i manje šanse za gubitke uzrokovane vremenskim prilikama (Melut & Rosca, 2016). S obzirom da izbor genotipova sa bržim otpuštanjem vlage iz zrna može poboljšati prilagođavanje proizvodnje u kontekstu klimatskih promena, ova karakteristika postaje sve značajnija (Mitrović et al., 2016; Popović et al., 2024). Fiziološka zrelost nastaje kada zrno dostigne sadržaj vlage od 30-35 %, što je obeleženo pojavom crnog sloja u osnovi zrna (Nielsen, 2018a; Kovačević, 2024; Geier & Thomison, 2006; Hoeft et al., 2000). Nakon ove faze, gubitak vlage zavisi od vremenskih uslova i morfoloških karakteristika hibrida (Nielsen, 2018b).

Hellevang (2004) navodi da dnevni gubitak vlage varira od 0,3 % u vlažnim i hladnim uslovima do 1 % u toplim i suvim uslovima, dok Stojiljković (2022) navodi da je prosečno oslobađanje vode 0,82 % dnevno za setvu pre 15. aprila, odnosno 0,53 % za kasniju setvu. Hibridi sa kraćom vegetacijom pokazuju brži gubitak vlage u odnosu na kasne hibride (Melut & Rosca, 2016; Radenović et al., 2008a, 2008b, 2009). Debljina perikarpa, pokrivenost klipova i broj listova klipa su morfološke karakteristike koje imaju veliki uticaj na dinamiku otpuštanja vlage (Crane et al., 1959; Purdi & Crane, 1967a, 1967b; Troier & Ambrose, 1971). Hibridi sa uspravnim listovima, tanjim perikarpom i manjim brojem listova klipa brže gube vlagu, što ih čini pogodnim za proizvodnju u vlažnim klimatskim uslovima (Radenović et al., 2008a). Reid et al. (2010) ukazuju da visoka relativna vlažnost vazduha, gušća setva i vlažnost zemljišta usporavaju ovaj proces, dok Jukić (2004) ističe genetsku kontrolu otpuštanja vlage kao dominantan faktor.

Biberdžić et al. (2018a) su utvrdili da hibridi iz ranih FAO grupa (npr. FAO 400) gube vlagu brže od kasnih (FAO 600), sa sadržajem vlage od 20,7 % u ranim do 28,8 % kod kasnih hibrida u fiziološkoj zrelosti (Biberdžić et al., 2018). Pejić et al. (1997) navode da je najintenzivnije oslobađanje vlage između 30. septembra i 9. oktobra, dok Jager et al. (2004) primećuju da je 0,4-0,8 % dnevnog otpuštanja vode pod povoljnim uslovima. Brzina otpuštanja vlage iz zrna se smanjuje u kišnim i hladnim periodima. Parvei et al. (2020) navode da uslovi i karakteristike biljke, uključujući propustljivost perikarpa, broj listova klipa i ugao klipa prema stabljici, utiču na gubitak vlage tokom fiziološke zrelosti (Cavaliere & Smith, 1985; Kang et al., 1975, 1983). Dok Mišević et al. (1988) ukazuju na razlike u dinamici oslobađanja vlage između hibrida sa visokim i konvencionalnim sadržajem ulja, Chazarreta et al. (2021, 2023) ističu složenost ovog procesa ističući interakciju naslednih i klimatskih faktora.

Nalivanje zrna prestaje fiziološkom zrelošću i počinje sušenje. Otpuštanje vlage pre zrelosti zavisi od transporta asimilata, a zatim od fizičkog isparavanja (Borras et al., 2003a, 2004; Gambin et al., 2007). Bruking (1990) opisuje ovaj proces kao razvojni gubitak vode pre zrelosti i fizički posle, dok Kros (1995) naglašava da stres nakon fiziološke zrelosti ima mali uticaj na prinos, osim u slučaju oštećenja stabljike ili klipa. Hibridi sa bržim otpuštanjem vlage posebno su važni u vlažnim klimama ili godinama sa produženom vegetacijom, jer smanjuju rizik od plesni i gubitka kvaliteta (Schmidt i Hallauer, 1966).

3.4. Interakcija gustine setve i otpuštanja vlage

Gustina setve ima značajan uticaj na dinamiku otpuštanja vlage iz zrna, što direktno utiče na vreme žetve i ekonomske aspekte proizvodnje. Gušća setva usporava gubitak vlage usled povećane relativne vlažnosti u usevu i smanjene aeracije, posebno kod kasnih hibrida sa većom lisnom masom (Reid et al., 2010; Liu et al. 2020). Nasuprot tome, rani hibridi sa bržim otpuštanjem vlage pokazuju manju zavisnost od gustine, zahvaljujući morfološkim karakteristikama kao što su tanji perikarp i manja gustina ćelijskog soka u zrnu (Radenović et al., 2008a, 2008b, 2009). Hibridi sa ubrzanim otpuštanjem vlage dostižu sadržaj vlage ispod 20 % čak i u gušćim sklopovima biljaka, što ih čini idealnim za regione sa visokom vlažnošću vazduha (Melut & Rosca, 2016).

Rana setva sa manjom gustinom izaziva brži gubitak vlage (0,82 % dnevno), ali kasna setva sa većom gustinom snižava ovu stopu na 0,53 % dnevno (Stojiljković, 2022). Ovi rezultati sugerisu da gustina utiče na otpuštanje vlage promenom mikrookruženja useva (Hellevang, 2004). Parvei et al. (2020) ističu da hibridi sa uspravnim klipovom i manjim brojem listova klipa brže gube vlagu, bez obzira na gustinu, dok Jukić (2004) ističe da genetički faktori imaju veći uticaj od agrotehničkih. Chazarreta et al. (2023) potvrđuju da gušća setva povećava sadržaj vlage u zrnu u vreme žetve za 2-5 %, što produžava period sušenja i povećava troškove. Međutim, Biberdžić et al. (2018) pokazuju da rani hibridi imaju veću stopu otpuštanja vlage.

Ekonomске implikacije ovog odnosa su značajne. Hibridi koji brže otpuštaju vlagu smanjuju troškove sušenja, smanjuju mogućnost gubitaka usled mraza ili kiše i omogućavaju raniju žetvu (Mitrović et al., 2016). Popović et al. (2024) ukazuju na potrebu selekcije genotipova koji kombinuju visoku produktivnost sa ubrzanim oslobađanjem vlage, posebno u gušćim setvama. Ovi hibridi su važni za optimizaciju proizvodnje u uslovima klimatskih promena, gde se očekuju kraće optimalno vreme žetve (Hong et al., 2019). Levin et al. (2021) naglašavaju da porast temperature i smanjenje padavina dodatno ističu značaj hibrida sa ovim osobinama.

3.5. Morfološke osobine i fotosintetska aktivnost

Na morfološke osobine kukuruza, kao što je broj redova zrna po klip, utiče gustina setve (Tuong et al., 2019). Ove osobine su genetski uslovljene (Randelović et al., 2010), ali variraju i u zavisnosti od poljoprivredne prakse (Abuzar et al., 2011; Živanović, 2012; Pandurović, 2014). Najveći broj zrna po klip se postiže pri manjim gustinama, dok se smanjuje sa povećanjem gustine (Ilić, 2002; Shafi et al., 2012). Gušća setva prouzrokuje zasenu (Borras et al., 2003a), što smanjuje fotosintetičku efikasnost i indeks površine lista (Raza et al., 2019; Ciampitti & Vin, 2012). Međutim, listovi su neophodni za transpiraciju i fotosintezu (Iang et al., 2021). Timlin et al. (2014) otkrili su da nedostatak svetlosti negativno utiče na sintezu ugljenih hidrata, Gou et al. (2017) pokazuju da se povećanjem gustine smanjuje dužina i širina lista.

Vreme fotosinteze i prinos se smanjuju sa povećanjem gustine, što dovodi do bržeg sušenja donjih listova (Shao et al., 2020; Li et al., 2015; Ren et al., 2020). Oko 15 % prinosa potiče od fotosinteze u listovima klipa, ali njihov doprinos opada u gušćim sklopovim biljaka zbog manjeg prodiranja svetlosti (Fujita et al., 2001). Za razliku od prekomerne gustine, koja smanjuje broj zrna po klip i dužinu klipa (Bavec & Bavec, 2002), genotipovi sa uspravnim listovima i manjim habitusom bolje podnose veće gustine (Đalović et al., 2021). Savremeni hibridi sa uspravnim listovima efikasnije koriste svetlost, prema Liu et al. (2017) i Ci et al. (2011), međutim, Murphi et al. (1996) potvrđuju da gustina smanjuje površinu listova (Zhu et al., 2012).

3.6. Nutritivni sastav zrna i uticaj gustine setve

Na hemijski sastav zrna kukuruza utiču agroekološki uslovi, agrotehničke mere i genetički faktori (Partali et al., 2020; Đalović et al., 2024b). Neophodan izvor ishrane i energije, zrna kukuruza obezbeđuju 61–78 % skroba, 6–12 % proteina i 3–6 % ulja (Sinha, 2011; Ai & Jane, 2016; Zhang et al., 2021). Prema Barrera-Arellano et al. (2019), prosečan sadržaj proteina je 7,3 %, a sadržaj ulja 4 %, dok zein, dominantni protein, čini oko 50 % ukupnih proteina (Glamočlija, 2016). Zein je siromašan esencijalnim aminokiselinama kao što su lizin i triptofan, što ograničava nutritivnu vrednost kukuruza u ljudskoj ishrani (Glamočlija, 2016). Ostatak proteina se sastoji od glutelina, albumina i globulina.

Za razliku od drugih jestivih biljnih ulja dobijenih direktno iz semena presovanjem ili ekstrakcijom rastvaračem, komercijalno kukuruzno ulje se ne dobija na ovaj način zbog niskog sadržaja ulja (Veljković et al. 2022). Klica, koja čini oko 9 % težine zrna, čini 83 % od 3,0 do 6,05 % ulja koje se nalazi u celom zrnu kukuruza. Preostalo ulje je prisutno u mekinjama (1,3 % do 2 %) i endospermu (15 %) (Barrera-Arellano et al., 2019). Većina kukuruznog ulja potiče od klica kukuruza koje se proizvode tokom procesa mokrog mlevenja (Moreau, 2005). Većina kukuruznog ulja se dobija iz kukuruznih klica mokrim procesom mlevenja (Moreau, 2005). Kukuruzne klice iz procesa mokrog mlevenja daju većinu kukuruznog ulja (Moreau, 2005). Kukuruzno ulje je značajno u prehrambenom sektoru jer je koncentrisano u klici (do 60 %) i sadrži dosta linolne i oleinske kiseline

(Veljković et al. 2022) i vitamina E (Đurić et al., 2015). Iako 85 % ulja dolazi iz klica, prema Serna-Saldivar et al. (2016), Orhun (2013) i Čen (2010) su otkrili da koncentracija ulja varira u zavisnosti od genotipa, u rasponu od 3 do 18 %.

Ugljeni hidrati su glavne rezervne supstance i igraju važnu ulogu u životu biljaka. Glavni predstavnik ugljenih hidrata je skrob, koji biljke kukuruza akumuliraju i skladište u granulama skroba. Skrob, kao glavna komponenta, ima široku primenu u industriji (Lim, 2015). Uglavnom se sastoji od homoglukan amiloze i amilopektina, koji se razlikuju po vezi između jedinica glukoze (Veljković et al. 2022). Sadržaj skroba je u direktnoj pozitivnoj korelaciji sa prinosom kukuruza (Vhite i Johnson 2003).

Gustina setve utiče na nutritivni sastav zrna, međutim rezultata istraživanja su često kontradiktorna. Prema Tian et al. (2021), gušća setva smanjuje sadržaj proteina u zrnu, iako se trend sadržaja masti i skroba razlikuje među hibridima. Dok Kuzikanki et al. (1999) potvrdili su smanjenje sadržaja proteina i masti sa povećanjem gustine setve, Amanullah et al. (2010) su konstatovali da je sadržaj proteina porastao sa manjom gustinom i većom dozom azota. S druge strane, Ahmadi et al. (1993) su otkrili da koncentracija proteina raste linearno sa gustinom, što sugerise da hibridni odgovori variraju. Ove razlike se mogu pripisati genetičkim osobinama, uslovima sredine i interakciji sa drugim agrotehničkim merama, kao što su đubrenje i navodnjavanje (Đalović et al., 2021).

Sadržaj skroba ostaje stabilan bez obzira na gustinu, ali se njegova količina po hektaru povećava sa povećanjem prinosa (Sinha, 2011). Kada se primene različite gustine, normalni hibridi pokazuju izraženije promene u nutritivnom sastavu, dok hibridi sa većim sadržajem ulja pokazuju manje varijacije (Zhang et al., 2021). Orhun (2013) tvrdi da velika gustina može povećati sadržaj ulja kod nekih genotipova, ali samo kada je prisutna optimalna ishrana biljaka. Rezultati istraživanja ukazuju na složenu interakciju između gustine setve i kvaliteta ishrane, što zahteva dalja istraživanja kako bi se razumeli mehanizmi koji upravljaju ovim procesima (Chen, 2010; Barrera-Arellano et al., 2019). Đurić et al. (2015) navode da nutritivni sastav zavisi i od faze zrelosti zrna u vreme žetve, što je usko povezano sa brzinom otpuštanja vlage.

3.7. Klimatske promene i prilagođavanje proizvodnje kukuruza

Dva značajna načina na koja klimatske promene utiču na produktivnost kukuruza su izmenjen raspored padavina i povećane temperature (Hong et al., 2019). U mnogim regionima, uključujući Srbiju, gde su letnje suše sve češće, prinosi će biti smanjeni ako se globalno zagrevanje poveća za 1,5° C ili više tokom sledećeg veka (Levin et al., 2021). Promene su posebno štetne za kasne hibride koji su podložniji nepovoljnim vremenskim uslovima i imaju duži vegetativni period (Vu et al., 2023). Prema Vang et al. (2024) i Stojiljković (2022), hibridi su ključni za adaptaciju zbog kraće vegetacije i bržeg oslobađanja vlage, što omogućava ranu berbu i sprečava visoke temperature u julu i avgustu.

Odabir hibrida koji mogu da izdrže sušu i visoke temperature je ključan (Carter et al., 2016; Mastrodomenico et al., 2018). Barutcular et al. (2016) su utvrdili da, u zavisnosti od genotipa, prinos se smanjuje za 20–50 % kada nema dovoljno vode tokom faze naliivanja zrna. Nepredvidiv raspored padavina dodatno smanjuju produktivnost, čak i u godinama sa odgovarajućom ukupnom količinom padavina (Ki et al., 2022). Iako su rani hibridi povoljni u nekim okolnostima, oni obično daju manji prinos od kasnih hibrida (Zhao et al., 2023; Rajčić et al., 2024). Jagla et al. (2019) i Maitah et al. (2021) potvrđuju negativnu korelaciju između prinosa i visokih letnjih temperatura, dok Iang et al. (2022) ističu potrebu za razvojem hibrida sa poboljšanom otpornošću na stres izazvan visokim temperaturama i nedovoljnim količinama i lošom distribucijom padavina.

Kada je reč o prilagođavanju klimatskim promenama, gustina setve je važna. Gušća setva može uticati na postizanje visokih prinosa na plodnijim zemljištima u vlažnim godinama, dok manja gustina smanjuje konkurenciju za vodu i poboljšava opstanak biljaka u sušnim godinama (Pandurović et al., 2009, Rajičić et al., 2025). Tokatlidis (2013) ističe da odgovor genotipova na gustinu zavisi od njihove sposobnosti da se prilagode stresnim uslovima, Ierlikaia et al. (2020) pokazuju da povećanje gustine može biti od prednosti kod hibrida sa kraćom razvojnom sezonom. S obzirom na klimatske promene, Antonio et al. (2024) tvrde da kombinovanje hibrida sa odgovarajućom gustinom i brzim otpuštanjem vlage može značajno povećati produktivnost. Agrotehnički parametri kao što su gustina i vreme sadnje moraju se promeniti da bi se smanjili negativni efekti klimatskih promena, prema Simon et al. (2023).

Petrović et al. (2023) ukazuju na potrebu za integrisanim pristupom koji uključuje selekciju hibrida, optimizaciju gustine i praćenje klimatskih parametara. Mazibuko et al. (2024) naglašavaju da lokalni agroekološki uslovi moraju biti osnova za selekciju hibrida, dok Vei et al. (2021) ističu da dugoročni efekti klimatskih promena na proizvodnju useva zahtevaju nastavak istraživanja. Meng et al. (2022) upozoravaju da smanjenje obradivih površina i porast stanovništva dodatno povećavaju pritisak na poljoprivredu, zbog čega hibridi sa kraćom vegetacijom i bržim sušenjem zrna postaju strateški važni.

3.8. Genetski potencijal i selekcija hibrida

Genetički potencijal hibrida određuje njihov kapacitet za proizvodnju u velikim gustinama i prilagođavanje promenljivim uslovima (Božović et al., 2018). Na stabilnost prinosa utiču genetički faktori kao što su tolerancija na stres izazvan sušom, brzina otpuštanja vlage i otpornost na bolesti (Bocianovskom et al., 2019). Za područja sa kratkom vegetacijom ili čestim letnjim sušama posebno su pogodni hibridi sa brzim otpuštanjem vlage i kraćim vegetacionim periodom (Mitrović et al., 2016). Radenović et al. (2008a, 2008b, 2009) identifikovali su morfološke karakteristike, kao što su tanak perikarp i visoki položaj klipova na biljci, kao ključ za brzo otpuštanje vlage.

Liu et al. (2017) potvrđuju efikasnost savremenih hibrida u korišćenju svetlosti, Ci et al. (2011) i Zhu et al. (2012) pokazuju da morfologija biljaka, uključujući uspavno lišće i manje habituse rezultiraju većim prinosima po hektaru u većim gustinama setve. Prema Duvick-u (2005), razvoj hibrida prilagođenih visokoj gustini kao rezultat napretka u oplemenjivanju je važan za povećanje produktivnosti u intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji. Sangoi (2001) dodaje da se genetički potencijal mora uskladiti sa agrotehničkim merama, kao što su gustina setve i đubrenje, kako bi se postigao maksimalni prinos.

Popović et al. (2024) ukazuju na potrebu razvoja hibrida koji kombinuju visoku produktivnost, brzo otpuštanje vlage i otpornost na stres, dok Rajičić et al. (2025) ističu ekonomski značaj ovakvih genotipova u uslovima rastuće tražnje. Testa et al. (2016) potvrđuju da genetske razlike među hibridima određuju njihov odgovor na gustinu, dok Shafi et al. (2012) ističu da se pri selekciji moraju uzeti u obzir i komponente prinosa, posebno masa 1000 zrna.

3.9. Interakcija gustine setve i agrotehničkih mera

Gustina setve deluje u interakciji sa drugim agrotehničkim merama, kao što su đubrenje, navodnjavanje i vreme setve, koje značajno utiču na prinos i otpuštanje vlage iz zrna kukuruza. Mandić et al. (2016) pokazuju da povećanje gustine smanjuje masu 1.000 zrna i broj zrna po klipu, ali kombinacija sa optimalnim đubrenjem može ublažiti ove efekte i povećati ukupan prinos po

hektaru. Petrović et al. (2000) potvrđuju da, iako gušća setva smanjuje pojedinačne komponente prinosa, ukupan broj zrna po hektaru se povećava, posebno kada se primenjuju adekvatne doze azota. Ova istraživanja ukazuju da je usklađivanje gustine setve sa nivoom ishrane biljaka veoma važno za postizanje optimalnih prinosa i komponenti prinosa (Đalović et al., 2024).

Pored toga, navodnjavanje menja način na koji funkcioniše gustina setve. Sistemi za navodnjavanje dozvoljavaju više biljaka po jedinici površine jer postoji manja kompeticija između biljaka zbog povećane dostupnosti vode (Dugaliću et al., 2024). Gušća setva u takvim okolnostima može značajno da podstakne proizvodnju (Vang et al., 2022), posebno kod hibrida sa kraćom vegetacijom (Pandurović et al., 2010). Nasuprot tome, u uslovima bez navodnjavanja, niža gustina je optimalna za održavanje vlažnosti zemljišta i obezbeđivanje stabilnosti prinosa (Pandurović et al., 2009). Prema Jaramazu (2015), plodnost zemljišta je važna u ovoj situaciji jer siromašnija zemljišta ne mogu da izdrže velike gustine bez daljih troškova vode i đubriva.

Vreme setve takođe utiče na gustinu. Rana setva (pre 15. aprila) omogućava brže oslobađanje vlage iz zrna i veću prilagodljivost na gušće sklopove, dok kasna setva smanjuje ovu stopu i čini biljke osetljivijim na stres (Stojiljković, 2022). Optimalni rokovi setve i gustina mogu povećati prinos za 10–15 %, posebno kod hibrida sa bržim otpuštanjem vlage (Partali et al., 2021). U proizvodnji kukuruza ovaj odnos naglašava potrebu za integrisanim pristupom koji usklađuje agrotehničke metode sa genetičkim potencijalom hibrida (Rajičić et al., 2025).

Đubrenje azotom u kombinaciji sa gušćom setvom povećava prinos, ali može usporiti otpuštanje vlage zbog veće mase lista i duže vegetacije (Paraschivu et al., 2019). Cvijanović et al. (2018) dodaju da težina 1.000 zrna varira između hibrida u zavisnosti od nivoa ishrane i gustine, dok Ierlikaia et al. (2020) potvrđuju da hibridi sa kraćom vegetacijom bolje reaguju na ove mere u gušćim sklopovima. Ovi rezultati istraživanja ukazuju na složen odnos između gustine setve i agrotehnike, što zahteva prilagođavanje specifičnim uslovima proizvodnje (Antonio et al., 2024).

3.10. Uticaj gustine na fiziološke procese i prinos

Gustina setve utiče na fiziološke procese kukuruza, uključujući fotosintezu, transpiraciju i transport asimilata, što se odražava na prinos i otpuštanje vlage iz zrna. Povećanjem gustine setve, prinos zrna kukuruza se prvo povećavao, a zatim smanjivao pri čemu je najveći prinos zrna dobijen za gustinu od 10,5 biljaka m⁻² (G. Liu et al., 2020). Zhou et al. (2019) naglašavaju da listovi biljaka imaju značajnu ulogu u snabdevanju biljke ugljenim hidratima, ali gušća setva smanjuje dostupnost svetlosti, što dovodi do pada fotosintetske efikasnosti (Raza et al., 2019). Ciampitti and Vin (2012) pokazuju da, do određene tačke, indeks površine lista (LAI) raste sa povećanom gustinom, osim toga, zasena rezultira smanjenjem fotosintetske aktivnosti. Dok Timlin et al. (2014) sugerišu da je pad asimilacije uzrokovan nedostatkom svetlosti, Gou et al. (2017) potvrđuju da se dužina i širina lista smanjuju u gušćim skupovima.

Veća gustina skraćuje period fotosinteze i smanjuje prinos ubrzavanjem starenja donjih listova (Shao et al., 2020; Li et al., 2015; Ren et al., 2020). Listovi klipa učestvuju 15 % u ukupnoj fotosintetskoj aktivnosti (Fujita et al., 2001). Međutim, pošto manje svetlosti dopire do klipa u gušćem sklopu biljaka, njihova efikasnost opada. Đalović et al. (2021) utvrdili su da genotipovi sa uspravnim listovima bolje podnose veće gustine, jer omogućavaju efikasnije korišćenje svetlosti. Murphi et al. (1996) potvrđuju da gušće setve smanjuje površinu listova, dok Liu et al. (2017) i Ci et al. (2011) su naglasili da savremeni uspravno-lisni hibridi u takvim uslovima povećavaju prinos po hektaru (Zhu et al., 2012).

Na transport asimilata do zrna utiče i gustina setve. Kao rezultat ograničenih resursa dostupnih po biljci, Bavec i Bavec (2002) pokazuju da prekomerna gustina smanjuje dužinu klipa i broj zrna po klipu. Šafi et al. (2012) potvrđuju da se maksimalni broj zrna po klipu i dužina klipa postiže pri manjim gustinama, uprkos tome što Ilić (2002) pokazuje smanjenje mase klipa sa povećanjem gustine. Zbog manje lisne mase i kraćeg vegetativnog perioda, rani hibridi imaju veću toleranciju na gušće sklopove, dok kasni hibridi pokazuju uočljivije modifikacije (Pandurović et al., 2014). Živanović (2012) ističe da broj zrna po klipu ostaje relativno stabilan, ali broj zrna po redu značajno varira u zavisnosti od gustine i uslova sredine.

Otpuštanje vlage iz zrna je takođe povezano sa fiziološkim procesima na koje utiče gustina. Reid et al. (2010) tvrde da je sušenje zrna usporavano zbog veće vlažnosti u sklopu izazvane gušćom sevom. Tanji perikarp (Radenović et al., 2008a) je jedna od morfoloških karakteristika koja omogućava hibridima sa bržim otpuštanjem vlage da zadrže ovaj kapacitet i u gušćim setvama, što potvrđuju Liu et al. (2020). Melut i Rosca (2016) su pokazali da rani hibridi mogu postići smanjeni sadržaj vlage čak i pod većim gustinama setve, što ih čini pogodnim za intenzivne metode proizvodnje.

3.11. Ekonomski i ekološki aspekti gustine i otpuštanja vlage

Gustina setve i brzina oslobađanja vlage iz zrna imaju značajne ekonomske i ekološke efekte. Mitrović et al. (2016) naglašavaju da hibridi sa ubrzanim otpuštanjem vlage iz zrna smanjuju troškove sušenja, što je posebno važno u vlažnim godinama kada su velike potrošnje energije. Pored toga, rana be povećava efikasnost korišćenja obradivog zemljišta omogućavajući bržu pripremu zemljišta za naredne useve (Popović et al., 2024). Stojiljković (2022) potvrđuje da hibridi sa bržim gubitkom vlage mogu smanjiti ove troškove sušenja i omogućiti da se parcela oslobodi za sledeću setvu. Troškovi sušenja se povećavaju za 5-10 % za svaki procenat vlage iznad optimalnog opsega od 15-18 %, prema Hellevangu (2004).

Uprkos povećanju proizvodnje po hektaru, gušća setva može povećati troškove semena i đubriva (Testa et al., 2016). Postizanje idealne ravnoteže između prinosa i ulaganja je od suštinskog značaja jer prevelika gustina može rezultirati gubicima zbog lošijeg kvaliteta zrna i povećanog sadržaja vlage u zrnu tokom žetve (Shafi et al., 2012; Chazarreta et al., 2023). Rani hibridi sa nižim sadržajem vlage u žetvi smanjuju potrebu za veštačkim sušenjem, čime se smanjuje potrošnja energije i emisije gasova staklene bašte (Biberdžić et al., 2018).

Ekološki gledano, gušća setva može dovesti do veće potražnje za vodom, posebno u aridnim regionima (Pandurović et al., 2009). Dok Hong et al. (2019) upozoravaju da klimatske promene otežavaju održavanje intenzivne proizvodnje, Dugalić et al. (2024) ističu da sistemi za navodnjavanje dozvoljavaju veće gustine sa manjim uticajem na životnu sredinu. Hibridi sa odgovarajućom gustinom i bržim otpuštanjem vlage iz zrnu mogu se kombinovati u savremenoj poljoprivredi kako bi se uravnotežili ekonomski i ekološki ciljevi (Rajičić et al., 2025).

Potrebno je dalje istraživanje da bi se u potpunosti razumeli dugoročni efekti ovih faktora na održivost i produktivnost (Kim et al., 2023; Long et al., 2015). Stvaranje hibrida prilagođenih posebnim klimatskim i agrotehničkim okolnostima od suštinskog značaja za budućnost oplemenjivanja kukuruza (Kovačević, 2024).

3.12. Regionalne specifičnosti i prilagođavanje proizvodnje kukuruza

Na izbor hibrida za veliku gustinu setve i brzim otpuštanjem vlage iz zrna utiču i agroekološki faktori, kao što su tip zemljišta, klima i raspoloživost resursa. Gušća setva se često opravdava navodnjavanjem jer su černoze i druga plodna zemljišta češća u Vojvodini (Dugalić et al., 2024). Međutim, u brdskim predelima južne Srbije, gde su padavine oskudne, a plodnost niska, poželjna je manja gustina. Đalović et al. (2024) ističu da regionalne adaptacije zahtevaju usklađivanje gustine setve sa genetičkim potencijalom hibrida i raspoloživim agrotehničkim merama.

U umerenim klimatskim zonama, poput srednje Evrope, prednost pokazuju hibridi sa kraćom vegetacijom i bržim otpuštanjem vlage jer omogućavaju raniju berbu pre početka kišne sezone u jesen (Stojiljković, 2022). Popović et al. (2024) potvrđuju da ovi hibridi smanjuju troškove sušenja i rizik od pojave fuzarijuma u vlažnim uslovima, što je posebno važno u godinama sa produženom vegetacijom. U tropskim i suptropskim regionima, gde su visoke temperature i obilne padavine uobičajene, gušća setva može povećati prinos, ali zahteva hibride sa dobrim svojstvima klipa i otpornošću na bolesti (Ranum et al., 2014; Pareja-Sanchez et al., 2019). Pri izboru hibrida se moraju uzeti u obzir lokalni klimatski uslovi, posebno u pogledu klimatskih promena (Mitrović et al., 2016).

Pandurović et al. (2009) pokazuju da u sušnim godinama manja gustina setve smanjuje stres biljaka i povećava stabilnost prinosa, dok u vlažnim godinama veće gustine utiču na postizanje maksimalne produktivnosti na plodnim zemljištima (Pandurović et al., 2010). Na primer, u Srbiji su kasni hibridi (FAO 600) popularniji u navodnjavanim područjima, dok se rani hibridi (FAO 300-400) najčešće koriste u aridnim područjima sveta (Rajičić et al., 2025). Dok Jerlikaja et al. (2020) pokazuju da hibridi prilagođeni gušćem sklapanju postižu veće prinose u intenzivnim proizvodnim okruženjima, Tokatlidis (2013) naglašava regionalnu raznolikost odgovora genotipova na gustinu. Rani hibridi brže gube vlagu (20,7 % u fiziološkoj zrelosti) od kasnih hibrida (28,8 %), što ih čini pogodnim za kraće sezone rasta (Biberdžić et al., 2018).

Klimatske promene dodatno naglašavaju regionalne specifičnosti. Hong et al. (2019) ukazuju da rastuće temperature i smanjenje padavina u letnjim mesecima otežavaju proizvodnju u južnoj Evropi, dok (Levin et al., 2021; Vang et al., 2023) predviđaju pad prinosa od 10-20 % u narednih 20 godina bez prilagođavanja novoj situaciji. Lee et al. (2021) naglašavaju da hibridi sa kraćom vegetacijom mogu ublažiti ove efekte, dok Vu et al. (2023) i Vang et al. (2024) potvrđuju da brzina oslobađanja vlage postaje značajan faktor u vlažnoj klimi. Mazibuko et al. (2024) dodaju da lokalni uslovi, kao što su tip zemljišta i prosečna količina padavina, moraju biti osnova za selekciju hibrida i gustinu setve.

3.13. Morfološke i fiziološke adaptacije hibrida na gustinu i klimatske uslove

Morfološke karakteristike hibrida kukuruza imaju važnu ulogu u njihovoj prilagodljivosti različitim gustinama setve i klimatskim uslovima. Radenović et al. (2008a, 2008b, 2009) identifikovali su tanji perikarp, uspravne klipove i manje listova klipa kao osobine koje ubrzavaju otpuštanje vlage iz zrna. Dok Troier i Ambrose (1971) potvrđuju da hibridi sa oborenim klipom brže gube vlagu, Purdi i Crane (1967a, 1967b) pokazuju da debljina klipa i njegova pokrivenost listom usporavaju sušenje. U većim gustinama ove karakteristike su posebno važne (Reid et al., 2010).

Građa lista takođe utiče na prilagođavanje. Hibridi sa uspravnim listovima bolje podnose gušće sklopove jer omogućavaju efikasnije korišćenje svetlosti (Ci et al., 2011; Zhu et al., 2012). Liu et al. (2017) pokazuju da noviji hibridi sa ovim svojstvom imaju veće prinose po hektaru u gušćim sklopovima biljaka, uprkos Marfi et al. (1996) koji dokazuju da gušća setva smanjuje površinu listova,

ali uspravno lišće kompenzuje ovaj uticaj. Prema Gou et al. (2017), kada raste gustina useva, širina i dužina listova se smanjuju, smanjujući transpiraciju i povećavajući toleranciju na sušu (Timlin et al., 2014).

Fiziološke adaptacije uključuju promene u fotosintetičkoj aktivnosti i transportu asimilata. Zhou et al. (2019) ističu da gušća setva smanjuje fotosintetičku efikasnost usled zasene, dok Raza et al. (2019) pokazuju da indeks lisne površine (LAI) dostiže optimum pri umerenim gustinama. Veće gustine, prema Shao et al. (2020), ubrzava starenje donjeg lista, što skraćuje trajanje fotosinteze (Li et al., 2015; Ren et al., 2020). Prema Fujiti et al. (2001), lišće klipa poboljšava fotosintezu da doprinese oko 15 % prinosa. Dok Živanović (2012) ističe stabilnost broja redova zrna pod uticajem genetike, Bavec i Bavec (2002) potvrđuju da prekomerna gustina smanjuje broj zrna po klipu i dužinu klipa (Randelović et al., 2010).

Hibridi sa bržim otpuštanjem vlage pokazuju fiziološke prednosti. Dok Liu et al. (2020) potvrđuju da uspravni klipovi i tanji perikarp smanjuju zadržavanje vlage, Melut i Rosca (2016) su otkrili da ovi hibridi održavaju sposobnost brzog sušenja čak i u gušćim setvama. Nagib klipa u odnosu na stablo i permeabilnost perikarpa (Cavaliere & Smith, 1985; Kang et al., 1975, 1983) dodatno olakšavaju ovaj proces (Parvei et al., 2020). Dok Mišević et al. (1988) pokazuju razlike između hibrida sa visokim i standardnim sadržajem ulja, Chazarreta et al. (2021, 2023) otkrivaju genetsku raznolikost u ovim osobinama.

3.14. Dugoročni efekti i budućnost proizvodnje kukuruza

Klimatske promene i rast globalne tražnje za hranom nameću potrebu za dugoročnim planovima u proizvodnji kukuruza. Hong et al. (2019) predviđaju da će porast temperature i ekstremi smanjiti prinose u mnogim regionima, dok Levin et al. (2021) upozoravaju na pad produktivnosti. Lee et al. (2021) ističu da hibridi sa kraćim periodom vegetacije mogu nadoknaditi ove nedostatke, dok Vu et al. (2023) i Vang et al. (2024) naglašavaju važnost brzog otpuštanja vlage za smanjenje troškova. Dok Barutcular et al. (2016) ukazuju da nedostatak vode tokom faze naliivanja zrna može umanjiti prinos za 20-50 %, Carter et al. (2016) i Mastrodomenico et al. (2018) predlažu da se biraju hibridi tolerantni na stres suše i visoke temperature.

Jedan od najvažnijih prediktora buduće proizvodnje je gustina setve. Testa et al. (2016) su utvrdili da gušće sejanje povećava prinos po hektaru, ali smanjuje pojedinačne komponente prinosa, dok Shafi et al. (2012) su naglasili neophodnost balansiranja gustine i resursa. Pandurović et al. (2009) ističu da manja gustina može biti održivija u suvim sredinama. Tokatlidis (2013) i Ierlikaia et al. (2020) potvrđuju da odgovor genotipova na gustinu zavisi od njihove prilagodljivosti, dok Antonio et al. (2024) su zaključili da kombinacija optimalne gustine i hibrida sa ubrzanim otpuštanjem vlage iz zrna može poboljšati produktivnost.

Promene će uticati i na nutritivni sastav zrna. Tian et al. (2021) tvrde da gušća setva smanjuje sadržaj proteina, dok Amanullah et al. (2010) i Cusicankui et al. (1999) potvrđuju da agrotehničke mere mogu modifikovati ove efekte. Zhang et al. (2021) navode stabilnost skroba, dok Orhun (2013) i Chen (2010) ukazuju na varijabilnost sadržaja ulja. Barera-Arellano et al. (2019) i Serna-Saldivar et al. (2016) ističu značaj nutritivnog kvaliteta za industriju, dok Đurić et al. (2015) povezuju kvalitet sa fazom zrelosti i brzinom otpuštanja vlage.

Sa ekonomskog aspekta, hibridi sa bržim otpuštanjem vlage smanjuju troškove i povećavaju efikasnost (Mitrović et al., 2016; Popović et al., 2024). Prema Hellevangu (2004) i Stojiljkoviću (2022), smanjeni sadržaj vlage u žetvi smanjuje energetske potrebe, a Rajčić et al. (2025) ističu tržišnu prednost hibrida. Ovi hibridi smanjuju emisiju štetnih gasova, što doprinosi životnoj sredini

(Biberdžić et al., 2018). Međutim, gušća setva može povećati potražnju za raspoloživim resursima vode, hraniva i svetlosti (Hong et al., 2019).

4. OSNOVNE HIPOTEZE OD KOJIH SE POLAZI

U ovom istraživanju polazi se od sledećih pretpostavki:

- Morfološke osobine hibrida kukuruza, koje su predmet ovog istraživanja, zavise od genotipske kombinacije, primenjene agrotehnike i meteoroloških uslova tokom vegetacionog perioda;
- Agroekološki uslovi tokom fenofaze cvetanja pokazuju različiti efekat na ispoljavanje morfoloških osobina hibrida kukuruza;
- Gustina useva ispoljava statistički značajne razlike na biološke, morfološke i produktivne osobine kukuruza. Ispoljava i značajne razlike u prinosu i kvalitetu zrna;
- Značajan uticaj u ogledu ispoljava i izbor hibrida;
- Faktori obuhvaćeni ovim istraživanjem (gustina useva, hibridi kukuruza i godina proizvodnje) različito utiču na produktivne osobine kukuruza (dužina klipa, broj redova u klipu, broj zrna u redu, masa klipa, masa zrna po klipu, udeo oklaska u ukupnoj masi klipa i masa 1.000 zrna) pojedinačno, kao i u interakciji.

Za sve iznete hipoteze hibridi kukuruza u uslovima primenjenih različitih agrotehničkih mera i meteoroloških uslova imaju odgovor u vidu varijacija u ispoljavanju morfoloških osobina. Usled toga dolazi do pojave različitog trajanja fenofaze cvetanja koja dovodi do varijacija u osobinama hibrida kukuruza. Istraživanja ovih promena u toku vegetacije posmatrana su u odnosu na hibrid, gustinu i godinu proizvodnje.

5. MATERIJAL I METODE RADA

5.1. Biljni materijal

Materijal istraživanja predstavlja šest hibrida kukuruza selekcionisanih u Institutu za kukuruz „Zemun Polje“. Hibridi su iz različite grupe zrenja. Odabrani hibridi u ovim istraživanjima su: ZP 4708, ZP 4242, ZP 4790, ZP 4007, ZP 5550 i ZP 5601.



ZP 4708, poznatiji pod nazivom ZP 4744. Srednje rani hibrid, pripada FAO grupi 450. Dužina vegetacije oko 119 dana. Tolerantan na sušu i dejstvo jakih vetrova. U toku sazrevanja brzo otpušta vlagu iz zrna. Izuzetne rodnosti, sa visinom prinosa do 15 t ha⁻¹. Pogodan za intenzivne uslove gajenja.

Slika 1. Izgled klipa hibrida ZP 4708

Izvor: <https://mrizp.rs/> (Preuzeto: 06. 06. 2025.)



ZP 4242 srednje rani hibrid, pripada FAO 400 grupi sazrevanja sa dužinom vegetacionog perioda od 110 do 120 dana. Tolerantan na nepovoljne uslove suše, pa se može gajiti u intenzivnim uslovima gajenja do 500 m nadmorske visine.

Slika 2. Izgled klipa hibrida ZP 4242

Izvor: <https://mrizp.rs/> (Preuzeto: 26. 03. 2025.)



ZP 4790 srednje rani hibrid, pripada FAO 450 grupi sazrevanja. Dužina vegetacionog perioda oko 122 dana. Posедуje visoki genetski potencijal za rodnošć (do 15 t ha⁻¹). Tolerantan na nepovoljne uslove suše. Može se gajiti u intenzivnim uslovima , do 500 m nadmorske visine.

Slika 3. Izgled klipa hibrida ZP 4790

Izvor: <https://mrizp.rs/> (Preuzeto: 26. 03. 2025.)



ZP 4007 hibrid pripada FAO 400 grupi sazrevanja. Namenjen intenzivnim uslovima gajenja, Biljka je visine od oko 210 cm sa klipom na visini od oko 90 cm. Klipovi su dužine od oko 25 cm sa 14 do 16 redova zrna.

Slika 4. Izgled klipa hibrida ZP 4007

Izvor: <https://mrizp.rs/> (Preuzeto: 26. 03. 2025.)



ZP 5550 srednje kasni hibrid, pripada FAO grupi 500, sa dužinom vegetacionog perioda od 125 dana. Može se gajiti u intenzivnim uslovima, do 500 m nadmorske visine. Posедуje visoki genetski potencijal za rodnošć (do 15 t ha⁻¹).

Slika 5. Izgled klipa hibrida ZP 5550

Izvor: <https://mrizp.rs/> (Preuzeto: 26. 03. 2025.)



Slika 6. Izgled klipa hibrida ZP 5601

Izvor: <https://mrizp.rs/> (Preuzeto: 26. 03. 2025.)

ZP 5601 srednje kasni hibrid, pripada FAO grupi 500, sa dužinom vegetacionog perioda od 125 dana. Može se gajiti u intenzivnim uslovima, do 500 m nadmorske visine. Posедуje visoki genetski potencijal za rodnošć (do 15,5 t ha⁻¹).

5.2. Postavljanje ogleda

Eksperimentalni deo rađen je na oglednom polju Instituta za kukuruz „Zemun Polje“ (44°52'00" N, 20°19'00" E), dve vegetacione sezone, odnosno dve godine (2023. i 2024.). Kukuruz je posejan na standardan način u tri različite gustine. Ovaj poljski ogled postavljen je po slučajnom blok sistemu u tri ponavljanja. Formirana je parcela sa tri podparcele. Podparcele su se sastojale od kombinacije šest hibrida u tri gustine, svaka kombinacija je posejana u tri reda i tri ponavljanja. Svaka podparcela je bila jedno ponavljanje. Razmak između svakog ponavljanja 1 m.

Istraživanjima obuhvaćena su tri faktora:

1. Gustina useva (S):
 - S1 - 40.816 biljaka/ha (70 x 35 cm);
 - S4 - 69.686 biljaka/ha (70 x 20,5 cm);
 - S7 - 98.522 biljke/ha (70 x 14,5 cm).
2. Hibridi kukuruza (H):
 - H1- ZP 4708;
 - H2 - ZP 4242;
 - H3 - ZP 4790;
 - H4 - ZP 4007;
 - H5 - ZP 5550;
 - H6 - ZP 5601.
3. Godina proizvodnje (G):
 - G1 - 2023.godina;
 - G2 - 2024.godina.

U ogledu je primenjena standardna agrotehnika, kao za redovnu proizvodnju kukuruza. U obe vegetacione sezone ozima pšenica je predusev. Setva je izvedena ručno u kućice na međurednom rastojanju 70 cm u tri razmaka između biljaka u redu, da bi se postigle minimalne, optimalne i maksimalne gustine useva. U toku vegetacionog perioda primenjene su standardne mere nege i zaštite useva od korova.

Početak analiza realizovan je fenološkoj fazi cvetanja klipa (svilanje) kada su se merile visine biljaka.



Slika 7. Merenje visine biljaka

5.3. Morfološki parametri i komponente prinosa

15 dana nakon oplodnje i svakih narednih 10 dana analizirani su sledeći morfološki parametri: masa svežeg prvog lista ispod klipa, masa svežih listova omotača klipa, masa svežih zrna, lisna površina prvog lista ispod klipa, lisna površina listova omotača klipa, sadržaj hlorofila u prvom listu ispod klipa, masa suvog prvog lista ispod klipa na 60⁰C do konstantne mase, masa suvih listova omotača klipa na 60⁰C, masa suvog zrna na 60⁰C, 105⁰C i 130⁰C.

Uzorci su prikupljeni u četiri ciklusa (V1=15 dana, V2=15-25 dana, V3=25-35 dana i V4=35-45 dana nakon oplodnje) slučajnim odabirom pet biljaka.

Pre svakog uzimanja uzoraka meren je sadržaj vlage u zrnu. Lisna površina prvog lista ispod klipa i listova omotača klipa merena je aparatom „LI- 3100 Area Metar“ (Lincoln, Nebraska SAD) (Slika 8). Na svakih 10 dana nakon oplodnje meren je i sadržaj hlorofila u prvom listu ispod klipa. Merenje sadržaja hlorofila vršeno je prenosivim uređajem hlorofilmetrom „SPAD-502 Plus“ (Konica Minolta, Europe GmbH) (Slika 10). Merenje vršeno na donjem, srednjem i gornjem delu lista, a nakon toga uzeta je srednja vrednost.



Slika 8. Merenje lisne površine

U svakom terminu uzorci semena osušeni su najpre na 60°C do konstantne težine i preko razlike u težini utvrđen je sadržaj slobodne vode. Potom je seme bilo osušeno na 105°C da bi se utvrdio sadržaj vezane (higroskopne) vode i nakon sušenja na 130°C bio je utvrđen sadržaj hemijski vezane (konstitucione) vode (Slika 9).



Slika 9. Sušenje uzoraka semena



Slika 10. Hlorofilmetar

Iz uzoraka merena je i masa listova omotača klipa, kao i masa prvog lista ispod klipa u svežem stanju na preciznoj vagi, nakon toga uzorci su sušeni u sušari (Memmert UN 110, Nemačka).

Nakon berbe merene su komponente prinosa. Berba kukuruza je rađena ručno. Za analizu komponenti prinosa uzeti su reprezentativni uzorci klipova iz srednjih redova od svakog hibrida za sva tri ponavljanja. Urađena je: dužina klipa, broj redova zrna u klipu, broj zrna u redu, masa klipa, prečnik klipa, prečnik oklaska, masa oklaska i masa 1000 zrna.

Prečnik klipa i prečnik oklaska meren je šublerom (preciznost 1/10 mm, opseg 0-150 mm; Kern, Ballingen, Nemačka). Broj redova zrna izbrojan je na svakom klipu iz uzorka, a broj zrna u redu određen je brojanjem tri reda zrna na svakom klipu iz uzorka. Masa klipa i masa oklaska određena je merenjem uzoraka na preciznoj vagi (ET 1111, Technica, tačnost 0,01/01 g). Masa 1.000 zrna određena je standardnom metodom Međunarodnog udruženja za ispitivanje semena (ISTA, 2020).

5.4. Hemijske analize

Nakon berbe kukuruza urađene su hemijske analize zrna NIR (near infrared) tehnologijom:

- sadržaj vode (%);
- sadržaj ukupnih proteina (%);
- sadržaj skroba (%);

- sadržaj ulja (%).

NIR spektroskopija je tehnika koja meri detekciju bliske infracrvene apsorpcije uzorka. Bliski infracrveni deo spektra u opsegu od 780 nm do 2500 nm i ima dovoljno energije da pobudi prizvuke (organske veze), kombinacije molekularnih vibracija na sopstvenim energetskim nivoima. NIR spektrofotometri se generalno koriste za kvantitativna merenja organskih funkcionalnih grupa, posebno O-H (masne kiseline), N-H (proteini) i C=O (estri) (Andriazzi et al., 2023; Qiu et al., 2018). NIR spektroskopija celog zrna ima brojnih prednosti: nije potrebna prethodna priprema uzorka, brzina analize i istovremeno se mogu analizirati više parametara (Osborne, 2006).

5.5. Statistička analiza podataka

Statističkom obradom podataka rezultati istraživanja su prikazani kroz:

- pokazatelje varijabilnih sposobnosti hibrida kukuruza za sve osobine po eksperimentalnim varijantama, primenom deskriptivne statistike;
- pokazatelje uticaja faktora obuhvaćenih ovim istraživanjima, primenom obrade rezultata statističkom metodom analize varijanse (ANOVA), a razlike sredina su testirani pomoću LSD-testa.
- koeficijente korelacije i regresionom jednačinom između ispitivanih osobina hibrida kukuruza merama istraživačkim varijantama.

Za procenu uticaja tri faktora na morfološke i produktivne osobine kukuruza, primenjena je trofaktorska analiza varijanse (Three-way ANOVA), gde su faktori koji su analizirani uključivali godinu proizvodnje, gustinu setve i vrstu hibrida. Pre nego što je sprovedena ANOVA, izvršena je provera homogenosti varijanse pomoću Leveneovog testa. Takođe, kako bi se osigurala validnost rezultata, izvršena je provera normalnosti podataka pomoću Shapiro-Wilk testa, kojim je provereno da li podaci slede Gaussovu raspodelu. Za post-hoc analize, korišćen je Tukey's HSD test. Ovaj test je primenjen kako bi se izvršilo upoređivanje srednjih vrednosti između svih parova grupa, nakon što je identifikovana statistički značajna razlika u ANOVA analizi. U slučajevima kada su podaci prekršili pretpostavke normalnosti ili homogenosti varijansi, primenjen je Kruskal-Wallis test. Za sve statističke analize korišćen je nivo značajnosti $p = 0,05$.

Za analizu međusobnih odnosa između morfoloških parametara komponenata prinosa, izvršena je korelacija koristeći Pearsonov koeficijent. Rezultati korelacije prikazani su u formi korelacijskih matrica, koje pokazuju pozitivne i negativne korelacije između parametara.

U okviru predikcione analize, primenjeni su sledeći modeli: Linearna regresija, Kvadratna linearna regresija, Random Forest i XGBoost Regressor. Za svaki od modela, izračunati su koeficijent determinacije (R^2) i srednja vrednost koeficijenta determinacije za unakrsnu validaciju (CV Mean R^2). Ovi parametri su omogućili evaluaciju tačnosti i stabilnosti modela i njihove sposobnosti predviđanja na temelju postojećih podataka.

Linearni regresioni model pretpostavlja pravolinijski odnos između ulaznih parametara i ciljne promenljive, pa ne prepoznaje nelinearne obrasce. Random Forest je moćan model mašinskog učenja koji koristi više stabala odlučivanja za modelovanje i efikasno prepoznaje nelinearne odnose među promenljivima. Random Forest koristi skup stabala odluke da bi napravio predikcije, s tim da svako stablo donosi svoju predikciju i na kraju se koristi prosečna vrednost svih predikcija kao konačna procena (Ivić, 2024).

XGBoost Regressor efikasan algoritam za mašinsko učenje koji se koristi za rešavanje regresionih i klasifikacionih problema. Zasnovan je na principu boosting tehnike, gde se više

jednostavnih modela (najčešće stabala odlučivanja) kombinuje da bi se dobio snažan prediktivni model. Svako sledeće stablo se trenira tako da ispravi greške koje je napravilo prethodno stablo, čime se postepeno poboljšava ukupna tačnost modela (Mishra et al., 2020).

Kvadratna regresija je model višestruke regresije sa kvadratnim članom. Efikasna metoda za proučavanje uticaja nezavisnih promenljivih na zavisne promenljive u nelinearnom odnosu (Wen et al., 2021).

Statističko i mašinsko modeliranje izvršeni su pomoću alata i uz podršku platforme Atomistica.online (<https://atomistica.online>, pristupljeno 5. maja 2025.) (Perić et al., 2024; Armaković & Armaković, 2025; Armaković & Armaković, 2024; Armaković & Armaković, 2022; Armaković & Armaković, 2025a).

5.6. Meteorološki uslovi tokom izvođenja oglada

Za postizanje visokih i stabilnih prinosa kukuruza bitan faktor predstavljaju i klimatski faktori.

5.7. Temperatura

Pored svetlosti i vode, temperatura je bitan abiotički faktor koji utiče na fenološke faze razvoja kukuruza (Šimon et al., 2023).

Kukuruz pripada grupi toploljubivih biljaka, sa toplotnom sumom od 2.500 do 2.900⁰C. Minimalne temperature za klijanje i nicanje biljaka od 8 do 10⁰C, a za porast vegetativnih organa 12⁰ C, dok za obrazovanje generativnih organa 15⁰C. Optimalne temperature za kukuruz u fenološkoj fazi nicanja do fenološke faze metličanja od 18 do 20⁰C, u fenološkoj fazi svilanja 20 do 22⁰C, fenološkoj fazi sazrevanja 22 do 23⁰C (Đurić et al. 2015).

U Srbiji 2023. godina je obeležena kao najtoplija od 1951. godine, sa odstupanjem srednje temperature vazduha od 1,5⁰C u odnosu na prosek 1990 do 2020. godine. Za razliku od 2023. godine, 2024. godina je bila još toplija. Leto za period meteoroloških merenja od 1951. do 2024. godine, sa srednjom sezonskom temperaturom vazduha 24,2⁰C za period 1951 do 2024. godine i odstupanjem u odnosu na prosek 1991 do 2020. godine od + 3,3⁰C. Najtopliji meseci su bili: jun, jul i avgust (Godišnji izveštaj RHZS, 2023/24.).

Tabela 2. Srednje mesečne temperature ($^{\circ}\text{C}$) i količine padavina (mm) na području Zemun Polja u godinama istraživanja

Mesec	Zemun Polje			
	2023.		2024.	
	Srednje mesečne temperature vazduha ($^{\circ}\text{C}$)	Količina padavina (mm/m^2)	Srednje mesečne temperature vazduha ($^{\circ}\text{C}$)	Količina padavina (mm/m^2)
I	6,5	70,4	4,7	28,4
II	5,9	53,9	11,3	4,7
III	10,5	24,4	12,4	31,2
IV	11,7	64,9	16,5	23,6
V	17,8	94,6	19,2	80,1
VI	21,7	63,0	25,0	78,5
VII	26,4	66,7	27,5	74,4
VIII	24,9	58,2	27,9	4,0
IX	23,1	54,3	20,9	83,8
X	18,5	23,6	15,9	36,0
XI	10,3	86,9	7,3	56,3
XII	7,3	29,5	4,5	61,0
Vegetacioni period	20,9	401,7	22,8	344,4
		$\Sigma_{\text{VI,VII,VIII}} 187,9$	$\Sigma_{\text{VI,VII,VIII}} 156,9$	

U Tabeli 2. prikazane su srednje mesečne temperature i ukupne količine padavina u godinama izvođenja oglada. Na teritoriji Zemun Polja 2023. godine srednja mesečna temperatura u aprilu je iznosila $11,7^{\circ}\text{C}$, što je za $4,8^{\circ}\text{C}$ manje nego u 2024. godini. U obe proizvodne godine temperature su bile pogodne za klijanje i nicanje kukuruza.

U maju 2024. godine srednja mesečna temperatura bila je viša za $1,4^{\circ}\text{C}$ od srednje mesečne temperature u 2023. godini, koja je iznosila $17,8^{\circ}\text{C}$.

Srednja mesečna temperatura u junu 2024. je takođe bila viša za $3,3^{\circ}\text{C}$ nego u 2023. godini i iznosila je 25°C .

Vrednost srednje mesečne temperature za jul 2024. je za $1,1^{\circ}\text{C}$ bio viši nego za isti period u 2023. godini. Takođe i avgust 2024. godine bio je topliji za 3°C , nego srednja mesečna temperatura za avgust mesec 2023. godine.

U septembru 2024. godine srednja mesečna temperatura je bila niža za $2,2^{\circ}\text{C}$, nego u 2023. godini koja je iznosila $23,1^{\circ}\text{C}$.

5.8. Padavine

Tokom vegetacionog perioda kukuruz ima velike potrebe za vodom. Nedovoljna vlažnost zemljišta smanjuje metaboličku aktivnost, akumulaciju biomase i intenzitet fotosinteze što utiče na smanjenje prinosa. Kritični period za kukuruz predstavlja 7 do 10 dana pre faze cvetanja, 10 do 20 dana nakon faze cvetanja i tokom stadijuma svilanja i zametanja plodova. Zahvaljujući kseromorfnoj građi kukuruz dobro reaguje na nepovoljne uslove suše (Šimon et al., 2023).

Ukupne potrebe kukuruza za vodom tokom vegetacionog perioda su od 350 do 555 mm padavina. U prvim fazama ontogeneze kukuruzu pogoduju češće padavine sa manjom količinom vode (Đurić et al. 2015).

U aprilu mesecu 2023. godine suma padavina iznosila je 64,9 mm što je bilo u okviru uslovno optimalnih vrednosti za klijanje i nicanja kukuruza. U poređenju sa 2023. godinom, ukupne količine padavina u aprilu 2024. godine su bile manje za 41,3 mm, što je bilo ispod uslovno optimalnih vrednosti za početne faze ontogeneze.

U maju mesecu 2023. godine je bilo za 14,5 mm više padavina nego u aprilu 2024. godine kada je zabeleženo 80,1 mm padavina, što je malo iznad uslovno optimalnih vrednosti za gajenje kukuruza.

Ukupna mesečna količina padavina u junu 2023. godine iznosila je 63 mm, što je za 15,5 mm manje nego u aprilu 2024. godine.

Količine padavina u julu 2023. godine je za 7,7 mm manja nego u julu 2024. godine kada je zabeleženo 74,4 mm. U obe proizvodne godine količina padavina bila je ispod uslovno optimalne.

Tokom avgusta meseca u 2023. godinu zabeleženo je 58,2 mm padavina, dok je u istom mesecu 2024. godine bio znatni deficit u padavinama, kada je zabeleženo samo 4 mm padavina, što je dosta ispod uslovno optimalnih vrednosti.

U septembru 2023. godine količina padavina bila je manja za 29,5 mm, nego u septembru 2024. godine kada je izmereno 83,8 mm padavina.

Tokom kritičnog perioda kukuruza za vodom, a to je period intenzivnog porasta stabla, metličenje, svilanje i zametanje plodova ukupna količina padavina u 2023. godini je 187,9 mm, dok je u 2024. godini 156,9 mm. Tokom ovog perioda, nepovoljniji raspored padavina bio je u 2024. godini.

Zahvaljujući dubokom korenovom sistemu u uslovima deficita vlage, kukuruz usvaja vodu iz dubljih slojeva zemljišta, što dovodi do veće tolerancije na uslove suše u kritičnom periodu za vodom (Hazman & Kabil, 2021).

6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

6.1. Morfološke karakteristike

U okviru morfoloških karakteristika proučavan je uticaj faktora G, S i H (godina proizvodnje, gustina setve i hibrid) na visinu biljaka, masu svežeg i suvog prvog lista ispod klipa (SVM1L, SUM1L), masu svežih i suvih listova omotača klipa-komušine (SVMKS, SUMKS), masa svežih zrna (SMZ), lisnu površinu prvog lista ispod klipa (LP1L), lisnu površinu listova omotača klipa-komušine (LPKS), sadržaj hlorofila u prvom listu ispod klipa (SH1L), vazdušno suva masa zrna (VSMZ), masa zrna sušena na 105⁰C i 130⁰C (105mz, 130mz).

6.1.1. Visina biljke

Morfološke osobine poput visina biljke, broja klipova na biljci, kao i dužina klipa mogu uticati na poleganje biljaka kukuruza. Razlike u visini biljke i dužini klipa uzrokovane su razlikama u broju i dužini internodija (Liu et al., 2021).

Prosečna visina biljke određena je merenjem tri biljke u fenološkoj fazi cvetanja klipa (svilanje). Visine su merene do prvog klipa i do vrha metlice. U Tabeli 3. i 4. prikazane su srednje vrednosti visina biljke do klipa i visina do metlice.

Tabela 3. Prosečna visina biljke u 2023. godini (cm)

Gustina	Hibrid	Visina biljke do klipa	Visina biljke do metlice	Prosek
S1	H1	106,47	239,77	173,12
	H2	107,23	251,90	179,57
	H3	108,33	267,77	188,05
	H4	105,00	257,13	181,07
	H5	114,43	255,77	185,10
	H6	120,57	268,00	194,29
Prosek		110,34	256,72	183,53
S4	H1	119,47	250,10	184,79
	H2	113,00	268,90	190,95
	H3	107,77	259,03	183,40
	H4	107,80	269,53	188,67
	H5	125,13	262,77	193,95
	H6	122,77	273,67	198,22
Prosek		115,99	264,00	190,00

Gustina	Hibrid	Visina biljke do	Visina biljke do	Prosek
		klipa	metlice	
S7	H1	115,23	250,57	182,90
	H2	105,00	246,43	175,72
	H3	116,00	271,67	193,84
	H4	106,33	259,43	182,88
	H5	126,70	263,90	195,30
	H6	124,10	269,00	196,55
Prosek		115,56	260,17	187,87
Ukupni prosek		113,96	260,30	187,13

S1 – 40,816 biljaka/ha (70 × 35 cm); S4 – 69,686 biljaka/ha (70 × 20,5 cm); S7 – 98,522 biljke/ha (70 × 14,5 cm)

U 2023. godini najmanja prosečna visina do metlice zabeležena je kod gusine S1 (70 x 35 cm) 256,72 cm, takođe identičan slučaj je i sa prosečnom visinom do klipa koja je bila najmanja kod prve gustine (S1) i iznosila 110,34 cm. Sa povećanjem gustine, povećavala se i prosečna visina biljaka do klipa do ispitivane srednje gustine (S4) za 5,7 cm, odnosno 4,9 %, kao i prosečna visina do metlice, takođe do srednje ispitivane gustine i to za 7,3 cm, odnosno za 2,8 %. U svim varijantama gustine setve, biljke sa najvećom visinom su bile kod H6 hibrida (ZP 5601).

Tabela 4. Prosečna visina biljke u 2024. godini (cm)

Gustina	Hibrid	Visina biljke do	Visina biljke do	Prosek
		klipa	metlice	
S1	H1	93,33	240,56	166,95
	H2	97,11	256,44	176,78
	H3	75,15	245,11	160,13
	H4	93,11	245,67	169,39
	H5	92,11	244,22	168,17
	H6	100,55	257,44	179,00
Prosek		91,89	248,24	170,07
S4	H1	93,67	232,33	163,00
	H2	94,78	243,67	169,23
	H3	103,11	254,11	178,61
	H4	100,11	216,78	158,45
	H5	97,33	256,55	176,94
	H6	101,11	253,67	177,39
Prosek		98,35	242,85	170,60

Gustina	Hibrid	Visina biljke do	Visina biljke do	Prosek
		klipa	metlice	
S7	H1	95,00	228,44	161,72
	H2	97,44	240,78	169,11
	H3	95,89	238,45	167,17
	H4	99,56	251,22	175,39
	H5	100,22	246,44	173,33
	H6	104,33	254,00	179,17
Prosek		98,74	243,22	170,98
Ukupni prosek		96,33	244,77	170,55

S1 – 40,816 biljaka/ha (70 × 35 cm); S4 – 69,686 biljaka/ha (70 × 20,5 cm); S7 – 98,522 biljke/ha (70 × 14,5 cm)

Visina biljaka u 2024. godini se razlikovala od visine u 2023. godini. Najmanja visina zabeležena je u drugoj varijanti gustine S4 (70 x 20,5 cm) 242,85 cm, dok je najmanja visina do prvog klipa bila u prvoj varijanti gustine S1 (70 x 35 cm) i iznosila je 91,89 cm. Sa povećanjem gustine povećavala se visina do klipa, dok je visina do metlice varirala, tako da je najveća visina biljke bila u prvoj ispitivanoj gustini (S1), a za 5,39 cm, odnosno 2,17 % manja od najmanje visine koja je bila u drugoj ispitivanoj gustini (S4). Visine hibrida H6 (ZP 5601) bile su najveće u dve varijante gustine (S1 i S7), dok je H3 hibrid imao najveću visinu u S4 varijanti gustine (70 x 14,5 cm). Stubbs et al. (2023) u svojim istraživanjima došli su do zaključka da smanjenjem visine povećava se otpornost kukuruza na poleganje. Takođe, uočili su da je pozitivna korelacija između brzine vetra, napona savijanja i visine biljke, pri čemu je odnos između visine biljke i napona savijanja približno 1:1.

Homogenost varijansi podataka proveren je *Levene*-ovim testom. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 5.

Tabela 5. Homogenost varijansi u zavisnosti od G, S i H faktora

Visine biljaka	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
PVM	0.9989	Zadovoljena
PVK	0.9935	Zadovoljena

PVM - prosečna visina do metlice; PVK - prosečna visina do klipa *p > 0.5 Homogenost zadovoljena; p ≤ 0.05 Homogenost nije zadovoljena

Pošto je p-vrednost > 0.5 zadovoljena je homogenost varijansi podataka.

Normalnost distribucije podataka procenjena je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 6. *Shapiro-Wilk* normalnost po G × S × H grupama

Visine biljaka	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
PVM	4	31	36	88,9
PVK	5	32	36	86,1

PVM - prosečna visina do metlice; PVK - prosečna visina do klipa

Vrednost parametra $> 80 \%$, grupa podataka je normalno distribuirana, ANOVA se smatra statistički opravdanom.

Analizom varijanse (ANOVA) ispitana je značajnost uticaja faktora, godina proizvodnje, gustina setve i hibrida (G, S i H), kao i njihova interakcija, na variranje visine do prvog klipa i visine do metlice (Tabela 7).

Tabela 7. Značajnost uticaja faktora na prosečnu visinu do metlice i klipa

Visina biljaka	p-vrednost						
	G	S	H	G × S	G × H	S × H	G×S×H
PVM	< 0.0001	0.0020	0.0010	0.1970	0.0040	0.4890	0.2330
PVK	< 0.0001	0.0280	0.0010	0.6840	0.0220	0.6320	0.9630

PVM - prosečna visina do metlice; PVK - prosečna visina do klipa

Vrednosti $p < 0.05$ označene su statistički značajne, dok su $p < 0,0001$ istaknute kao visoko značajne. Najizraženiji uticaj na prosečnu visinu do prvog klipa (PVK) i metlice (PVM) imao je faktor G (godina proizvodnje), gde je p-vrednosti ispod 0.0001. U istraživanjima Tabaković et al. (2022) godina proizvodnje je takođe uticala na razlike u visini do klipa i visini do metlice.

Gustina setve (S) imala je značajan uticaj na prosečnu visinu biljaka do klipa i prosečnu visinu do metlice. Isti zaključak su imali Mandić et al. (2016) gde je gustina setve imala značajan uticaj na ove parametre.

Izbor hibrida (H) je pokazao statistički značajan efekat na ispitivane parametre. Interakcija faktora $G \times H$, bila je statistički značajna za prosečnu visinu do metlice (PVM), dok ostale interakcije $G \times S$, $S \times H$, $G \times S \times H$ nisu značajno uticale na visine biljaka.

Stojiljković (2022) je u trogodišnjem istraživanju pri različitim gustinama setve imala najveću visinu biljke od 243,51 cm, dok je najmanja visina iznosila 227,32 cm. Abuzar et al. (2011) pri gustini setve od 140.000 biljaka ha^{-1} imali najveću visinu biljke od 150,8 cm, dok najmanja visina biljke zabeležena u gustini od 100.000 biljaka ha^{-1} koja je iznosila 97,2 cm. Takođe, u istraživanjima Jaramaz (2015) gustina setve uticala je na visinu biljke, pa je većom gustinom postignuta veća visina biljke Ijaz et al., (2015). Na teritoriji Zemun Polja najveću vrednost za visinu biljke (222,75 cm) dobijena su u istraživanjima Perić (2022).

6.1.2. Masa svežeg, suvog i sadržaj hlorofila prvog lista ispod klipa

Sadržaj fotosinteze menja se povećanjem gustine. Veća gustina setve utiče na smanjenje sadržaja hlorofila a i b (Ren et al., 2017).

Homogenost varijansi podataka proverena je korišćenjem *Levene*-ovog testa. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 8. Rezultati testa pokazuju da je homogenost varijansi zadovoljena.

Tabela 8. Homogenost varijansi za analizirane parametre u zavisnosti od godine, gustine i hibrida na osnovu *Levene*-ovog testa

Parametar	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
SVM1L	0.8582	Zadovoljena
SUM1L	0.2877	Zadovoljena
SH1L	< 0.0001	Nije zadovoljena

SVM1L – masa svežeg prvog lista ispod klipa; SUM1L – masa suvog prvog lista ispod klipa; SH1L – sadržaj hlorofila u prvom listu. * $p > 0,5$ Homogenost zadovoljena; $p \leq 0,05$ Homogenost nije zadovoljena

Za parametre SVM1L i SUM1L p-vrednost je > 0.5 homogenost varijansi podataka je zadovoljena, dok za parametar SH1L p-vrednost je < 0.0001 homogenost varijansi nije zadovoljena. Normalnost distribucije podataka procenjena je je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 9. *Shapiro-Wilk* normalnost po $G \times S \times H$ grupama

Parametar	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
SVM1L	5	31	36	86,1
SUM1L	3	33	36	91,7
SH1L	16	20	36	55,6

SVM1L – masa svežeg prvog lista ispod klipa; SUM1L – masa suvog prvog lista ispod klipa; SH1L – sadržaj hlorofila u prvom listu.

Pošto je vrednost parametra (SVM1L i SUM1L) > 80 %, grupa je normalno distribuirana, ANOVA se smatra statistički opravdanom, dok je kod parametra SH1L vrednost < 80 %, koristiće se neparametarski test (*Kruskal–Wallis*).

Tabela 10. Rezultati *Kruskal–Wallis* testa za neparametrijske parametre otpuštanja vlage po faktorima G, S i H

Parametar	Faktor	p-vrednost
SH1L	G	0.2738
SH1L	H	0.0002
SH1L	S	0.0015

SH1L – sadržaj hlorofila u prvom listu ispod klipa

Kruskal–Wallis test ukazao je da faktor G nije imao značajan uticaj na ispitivani parametar, nasuprot tome, faktori S i H pokazali su statistički značajne razlike.

Analizom varijanse (ANOVA) ispitana je značajnost uticaja faktora (godina proizvodnje, gustina setve i hibrida), kao i njihova interakcija, na variranje mase suvog i svežeg prvog lista ispod klipa (Tabela 11).

Tabela 11. Značajnost uticaja faktora na masu svežeg i suvog prvog lista ispod klipa

Parametar	p-vrednost						
	G	S	H	$G \times S$	$G \times H$	$S \times H$	$G \times S \times H$
SVM1L	< 0.0001	< 0.0001	0.0049	0.9599	0.4055	0.9883	0.3020
SUM1L	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.5925	0.2482	0.9891	0.4772

SVM1L – masa svežeg prvog lista ispod klipa; SUM1L – masa suvog prvog lista ispod klipa

Vrlo značajan uticaj na masu svežeg i suvog prvog lista imali su faktor G (godina proizvodnje) i S (gustina setve). Hibrid (H) je značajno uticao na masu svežeg prvog lista, dok na masu suvog lista imao je vrlo značajan uticaj. Interakcije između faktora nisu imale statistički značajan uticaj na masu svežeg i masu suvog prvog lista ispod klipa.

Nakon urađene analize varijanse (ANOVA), za parna poređenja sredine tretmana korišćen je *Tukey*-ev test. U Tabeli 12. prikazane su samo one razlike između nivoa faktora koje su bile statistički značajne prema *Tukey* HSD testu ($\alpha = 0,05$).

Tabela 12. Statistički značajne razlike između grupa prema *Tukey* HSD testu

Parametar	Faktor	Grupa 1	Grupa 2	p-vrednost
SVM1L	G	1	2	< 0.0001
SVM1L	S	1	7	< 0.0001
SVM1L	S	4	7	0.0010
SVM1L	H	1	6	0.0434
SUM1L	G	1	2	< 0.0001
SUM1L	S	1	4	0.0319
SUM1L	S	1	7	< 0.0001
SUM1L	S	4	7	0.0007
SUM1L	H	1	6	0.0008
SUM1L	H	2	6	0.0078
SUM1L	H	3	6	0.0122
SUM1L	H	4	6	0.0055

SVM1L – masa svežeg prvog lista ispod klipa; SUM1L – masa suvog prvog lista ispod klipa

Godina proizvodnje (G) je pokazala vrlo značajan uticaj na oba parametra (SVM1L i SUM1L). Gustina setve (S) značajno je uticala na masu svežeg i suvog prvog lista ispod klipa, posebne razlike koje se ističu su u prvog i poslednjoj varijanti gustine (S1 i S4). Hibrid (H) je takođe pokazao statistički značajnu razliku među nivoima. Uočene su značajne razlike između H1 i drugih hibrida, što ukazuje na značajne genotipske razlike u sposobnosti otpuštanja vlage.

Za masu svežeg prvog lista ispod klipa (SVM1L) izražene razlike zabeležene su između godina proizvodnje ($G1 \times G2$) i hibrida ($H1 \times H6$), dok masa suvog prvog lista ispod klipa (SUM1L) pokazala je značajne razlike između različitih gustina setve ($S1 \times S4$ i $S1 \times S7$) i hibrida ($H1 \times H4$) ukazujući na uticaj ovih faktora na proces otpuštanja vlage. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da godina proizvodnje, gustina setve i hibrida značajno utiču na masu svežeg i suvog prvog lista ispod klipa, dok sadržaj hlorofila zavisi prvenstveno od gustine setve i hibrida, što je potvrđeno Kruskal-Wallis testom. Značajne razlike između godina proizvodnje ($G1 \times G2$) za SVM1L i SUM1L ukazuju na ključnu ulogu klimatskih uslova tokom vegetacije. Prema Stojiljković (2022), varijacije u padavinama i temperaturama direktno utiču na razvoj lisne mase i akumulaciju suve materije, što može objasniti razlike između G1 i G2. Hong et al. (2019) dodatno naglašavaju da visoke letnje temperature smanjuju akumulaciju biomase, uključujući masu lista, što je verovatno uticalo na rezultate ovog istraživanja.

Gustina setve pokazala je snažan uticaj na SVM1L i SUM1L, sa izraženim razlikama između najniže (S1) i najviše gustine (S7), kao i između S4 i S7. Ovi nalazi su u skladu sa Shafi et al. (2012), koji potvrđuju da gušća setva smanjuje masu lista zbog konkurencije za svetlost i hranjive materije. Testa et al. (2016) navode da gušći sklopovi dovode do smanjenja površine lista za oko 20 %, što objašnjava smanjenje mase lista kod S4 i S7. Gou et al. (2017) dodatno ukazuju da povećanje gustine smanjuje dužinu i širinu lista, što utiče na smanjenje biomase lista ispod klipa. Za sadržaj hlorofila

(SH1L), gustina setve ($p=0.0015$) uticala je na fotosintetsku aktivnost, što je u skladu sa Zhou et al. (2019), koji navode da gušći sklopovi smanjuju sadržaj hlorofila zbog zasenjenja. Fujita et al. (2001) potvrđuju da listovi klipa doprinose 15 % fotosintezi, ali njihova efikasnost opada u gušćim sklopovima zbog smanjenog prodiranja svetlosti.

Faktor hibrid pokazao je značajan uticaj na SVM1L i vrlo značajan na SUM1L, sa razlikama između H1 i H6, kao i između H2, H3, H4 i H6 za SUM1L. Ove genetske varijacije potvrđuju Radenović et al. (2008a, 2008b, 2009), koji ističu da struktura lista i perikarpa utiču na akumulaciju biomase. Liu et al. (2017) naglašavaju da hibridi sa uspravnim listovima, poput onih u ovom istraživanju, bolje podnose gušće sklopove i održavaju fotosintetsku efikasnost, što objašnjava razlike između hibrida. Sadržaj hlorofila ($p=0.0002$) takođe varira među hibridima, što Đalović et al. (2021) povezuju sa prilagodljivošću genotipova na različite gustine setve.

Odsustvo značajnih interakcija između faktora ($G \times S$, $G \times H$, $S \times H$, $G \times S \times H$) za SVM1L i SUM1L sugerise da su individualni efekti dominantni. Mandić et al. (2016) potvrđuju da gustina i genotip često imaju veći uticaj od interakcija na biomasu. Međutim, za SH1L, uticaj gustine i hibrida ukazuje na složenu interakciju genetskih i agrotehničkih faktora, što Reid et al. (2010) povezuju sa smanjenjem sinteze hlorofila u gušćim sklopovima. Za optimizaciju proizvodnje, Rajičić et al. (2025) i Popović et al. (2024) preporučuju usklađivanje gustine setve sa hibridima koji imaju uspravne listove i brzo otpuštanje vlage, posebno u uslovima klimatskih promena (Hong et al., 2019).

6.1.3. Masa svežih i suvih listova omotača klipa (komušina)

Homogenost varijansi podataka proverena je korišćenjem *Levene*-ovog testa. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 13. Rezultati testa pokazuju da je homogenost varijansi zadovoljena.

Tabela 13. Homogenost varijansi za analizirane parametre u zavisnosti od godine, gustine i hibrida na osnovu *Levene*-ovog testa

Parametar	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
SVMKS	0.0934	Zadovoljena
SUMKS	0.6291	Zadovoljena

SVMKS - masa svežih listova omotača klipa; SUMKS - masa suvih listova omotača klipa (komušina); * $p > 0,5$ Homogenost zadovoljena; $p \leq 0,05$ Homogenost nije zadovoljena

Homogenost varijansi podataka je zadovoljena (p -vrednost > 0.5). Normalnost distribucije podataka procenjena je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 14. *Shapiro-Wilk* normalnost po $G \times S \times H$ grupama

Parametar	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
SVMKS	2	34	36	94,4
SUMKS	5	31	36	86,1

SVMKS - masa svežih listova omotača klipa; SUMKS - masa suvih listova omotača klipa (komušina)

Pošto je vrednost parametra > 80 %, podaci su normalno distribuirani, ANOVA se smatra statistički opravdanom. Analizom varijanse (ANOVA) ispitana je značajnost uticaja faktora (godina

proizvodnje, gustina setve i hibrida), kao i njihova interakcija, na variranje mase suvih i svežih listova omotača klipa (komušina), (Tabela 15).

Tabela 15. Značajnost uticaja faktora na masu svežih i suvih listova omotača klipa (komušina)

Parametar	p-vrednost						
	G	S	H	G × S	G × H	S × H	G×S×H
SVMKS	< 0.0001	< 0.0001	0.0275	0.7517	0.6390	0.7957	0.6449
SUMKS	0.0014	< 0.0001	0.0013	0.5950	0.5326	0.2751	0.3853

SVMKS - masa svežih listova omotača klipa; SUMKS - masa suvih listova omotača klipa (komušina)

Godina proizvodnje (G) je pokazala vrlo značajan uticaj na oba parametra (SVMKS i SUMKS). Gustina setve (S) imala je statistički značajan uticaj na masu suve komušine (SUMKS). Takođe, faktor H (hibrid) pokazao je statistički značajan efekat na masu sveže komušine (SVMKS). Interakcija između godine proizvodnje i hibrida (G × H) značajno je uticala na parameter SVMKS, s tim da reakcija hibrida varira zavisno od godine proizvodnje. Ostale interakcije (G × S, S × H, G × S × H) nisu pokazale statistički značajan uticaj na masu suvih i svežih listova omotača klipa (komušina).

Nakon urađene analize varijanse (ANOVA), za parna poređenja sredine tretmana korišćen je *Tukey*-ev test. U Tabeli 16. prikazane su samo one razlike između nivoa faktora koje su bile statistički značajne prema *Tukey* HSD testu ($\alpha = 0,05$).

Tabela 16. Statistički značajne razlike između grupa prema *Tukey* HSD testu

Parametar	Faktor	Grupa 1	Grupa 2	p-vrednost
SVMKS	G	1	2	< 0.0001
SVMKS	S	1	7	0.0001
SVMKS	S	4	7	0.0080
SVMKS	H	1	6	0.0410
SUMKS	G	1	2	0.0026
SUMKS	S	1	7	< 0.0001
SUMKS	S	4	7	0.0002
SUMKS	H	1	6	0.0006

SVMKS - masa svežih listova omotača klipa; SUMKS - masa suvih listova omotača klipa (komušina)

Godina proizvodnje (G) je pokazala vrlo značajan uticaj na oba parametra (SVMKS i SUMKS). Takođe, gustina setve (S) imala je statistički značajan uticaj na ispitivane parametre (SVMKS i SUMKS). Posebne razlike pojavile su se između gustina S1 i S7 (70 x 35 cm i 70 x 14,5 cm). Faktor H (hibrid) pokazao je statistički značajan efekat među nivoima. Parametar SVMKS (masa svežih listova omotača klipa-komušina) pokazao je značajne razlike između različitih gustina setve (S1 × S4, S1 × S7) i hibrida (H1 × H6), ukazujući na uticaj ovih faktora na proces otpuštanja vlage. Rezultati analize varijanse (ANOVA) i *Tukey*-evog testa ukazuju na značajan uticaj godine proizvodnje, gustine setve i hibrida na masu svežih i suvih listova omotača klipa (komušina), što je u skladu sa literaturom koja naglašava važnost ovih faktora u dinamici otpuštanja vlage iz zrna. Prema Radenović et al. (2008a, 2008b, 2009), broj i masa listova omotača klipa direktno utiču na brzinu otpuštanja vlage iz zrna, jer manji broj listova i tanji perikarp olakšavaju isparavanje vlage. Ovo objašnjava značajne razlike između hibrida (H1 × H6) za oba parametra (SVMKS i SUMKS), jer

genetske karakteristike hibrida, poput pokrivenosti klipa, igraju ključnu ulogu u ovom procesu. Takođe, značajan uticaj godine proizvodnje ($G1 \times G2$) može se pripisati različitim klimatskim uslovima, posebno temperaturi i vlažnosti vazduha, koji utiču na masu komušine, što potvrđuju Liu et al. (2020) koji navode da temperatura i relativna vlažnost vazduha značajno utiču na fiziološku zrelost i gubitak vlage.

Gustina setve pokazala je značajan uticaj, posebno između najmanje (S1, 70 x 35 cm) i najveće gustine (S7, 70 x 14,5 cm), što je u skladu sa nalazima Reid et al. (2010) koji ukazuju da gušća setva povećava vlažnost u usevu, usporavajući otpuštanje vlage iz zrna i povećavajući masu listova omotača klipa zbog smanjene aeracije. Ovo može objasniti veću masu svežih i suvih listova komušine kod gušćih setvi, jer povećana lisna masa i veća vlažnost u sklopu biljaka usporavaju sušenje. Parvei et al. (2020) dodatno potvrđuju da morfološke karakteristike, poput broja listova klipa, variraju u zavisnosti od gustine, što utiče na proces sušenja zrna.

Interakcija između godine proizvodnje i hibrida ($G \times H$) pokazala je značajan uticaj na masu svežih listova omotača klipa (SVMKS), što sugerise da određeni hibridi bolje reaguju na specifične klimatske uslove određene godine.

Sa ekonomske tačke gledišta, veća masa listova omotača klipa kod gušćih setvi može povećati troškove sušenja, jer veća vlažnost u usevu usporava gubitak vlage iz zrna, što potvrđuju Mitrović et al. (2016). Ovo ukazuje na potrebu za selekcijom hibrida sa manjom masom komušine i bržim otpuštanjem vlage, posebno u gušćim setvama, kako bi se smanjili troškovi proizvodnje. Hong et al. (2019) dodatno naglašavaju da klimatske promene, poput povećanih temperatura i smanjenih padavina, dodatno ističu važnost ovih karakteristika hibrida u kontekstu održive poljoprivredne proizvodnje.

6.1.4. Masa svežih i suvih zrna

Homogenost varijansi podataka proverena je korišćenjem *Levene*-ovog testa. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 17. Rezultati testa pokazuju da je homogenost varijansi zadovoljena.

Tabela 17. Homogenost varijansi za analizirane parametre u zavisnosti od godine, gustine i hibrida na osnovu *Levene*-ovog testa

Parametar	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
SMZ	0.0001	Nije zadovoljena
VSMZ	0.0015	Nije zadovoljena
105 mz	0.0005	Nije zadovoljena
130mz	0.0007	Nije zadovoljena

SMZ – masa svežeg zrna; VSMZ – masa vazdušno suvog zrna; 105mz – masa zrna sušenih na 105⁰ C; 103mz – masa zrna sušenih na 130⁰ C *p > 0,5 Homogenost zadovoljena; p ≤ 0,05 Homogenost nije zadovoljena

Na osnovu rezultata *Levene*-ovog testa pretpostavka o homogenosti varijansi nije zadovoljena. Normalnost distribucije podataka procenjena je je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 18. *Shapiro-Wilk* normalnost po $G \times S \times H$ grupama

Parametar	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
SMZ	17	19	36	52,8
VSMZ	9	27	36	75,0
105 mz	9	27	36	75,0
130mz	9	27	36	75,0

SMZ – masa svežeg zrna; VSMZ – masa vazdušno suvog zrna; 105mz – masa zrna sušenih na 105⁰ C; 103mz – masa zrna sušenih na 130⁰ C

Pošto su parametri nepodobni za klasičnu analizu varijanse (ANOVA), korišće se neparametarski test (*Kruskal–Wallis*).

Tabela 19. Rezultati *Kruskal–Wallis* testa za neparametrijske parametre otpuštanja vlage po faktorima G, S i H

Parametar	Faktor	p-vrednost
SMZ	G	< 0.0001
SMZ	H	0.8313
SMZ	S	0.7370
VSMZ	G	< 0.0001
VSMZ	H	0.9757
VSMZ	S	0.9679
105 mz	G	< 0.0001
105 mz	H	0.9739
105 mz	S	0.9889
130mz	G	< 0.0001
130mz	H	0.9743
130mz	S	0.9881

SMZ – masa svežeg zrna; VSMZ – masa vazdušno suvog zrna; 105mz – masa zrna sušenih na 105⁰ C; 103mz – masa zrna sušenih na 130⁰ C

Kruskal–Wallis test ukazao je na značajan uticaj faktora G (godina proizvodnje) na analizirane parametre ($p < 0.0001$). Nasuprot tome, faktori S (gustina setve) i H (hibrid) nisu pokazali statistički značajne razlike ($p > 0.05$).

Rezultati *Kruskal–Wallis* testa ukazuju na to da godina proizvodnje ima značajan uticaj na masu svežeg zrna, vazdušno suvog zrna, kao i zrna sušenih na 105°C i 130°C, dok gustina setve i hibrid nisu pokazali statistički značajne efekte. Iste rezultate o uticaju gustine setve dobila je Tabaković et al. (2024). Ovi nalazi su u skladu sa literaturom koja naglašava dominantnu ulogu klimatskih uslova u određivanju mase zrna i dinamike otpuštanja vlage. Posebno, variranje klimatskih uslova između godina, poput količine padavina i temperature tokom faze nalivanja zrna, može značajno uticati na masu zrna, što potvrđuju i Yang et al. (2022). Odsustvo statistički značajnog

uticaja gustine setve na masu zrna iznenađujuće je s obzirom na nalaze iz literature. Na primer, Testa et al. (2016) su utvrdili da gušća setva smanjuje masu zrna po klipu za 18% i masu 1.000 zrna za 6%, što je posledica povećane konkurencije za resurse poput svetlosti i vode. Slično tome, Abuzar et al. (2011) i Ilić (1999) navode da povećanje gustine setve dovodi do smanjenja mase zrna po klip, sa vrednostima koje padaju sa 333,3 g na 166,7 g, odnosno sa 188,8 g na 140 g, kada se gustina povećava. Međutim, ovi rezultati mogu biti posledica specifičnih uslova eksperimenta, poput plodnosti zemljišta ili primene navodnjavanja, koji mogu ublažiti efekte gustine, kako sugerišu Dugalić et al. (2024). U ovom slučaju, odsustvo značajnog uticaja gustine može ukazivati na to da su ispitivani hibridi ili uslovi proizvodnje (npr. dovoljna količina vode ili hraniva) neutralisali negativne efekte gušće setve. Slično, nedostatak značajnog uticaja faktora hibrida na masu zrna može se pripisati sličnim genetskim karakteristikama ispitivanih hibrida u pogledu mase zrna. Ipak, literatura ukazuje da genetski faktori igraju ključnu ulogu u određivanju mase zrna. Biberdžić et al. (2018a) potvrđuju da rani hibridi (npr. FAO 400) imaju niži sadržaj vlage u fiziološkoj zrelosti (20,7%) u poređenju sa kasnim hibridima (28,8%), što može uticati na masu suvih zrna. Odsustvo značajnih razlika među hibridima u ovom istraživanju može ukazivati na to da su ispitivani hibridi imali slične morfološke karakteristike ili da su klimatski uslovi godine proizvodnje imali dominantan efekat. Sa ekonomske perspektive, značajan uticaj godine proizvodnje na masu zrna ukazuje na potrebu za prilagođavanjem agrotehničkih mera specifičnim klimatskim uslovima svake godine. Hellevang (2004) navodi da troškovi sušenja rastu za 5-10 % za svaki procenat vlage iznad optimalnog nivoa od 15-18 %, što dodatno potvrđuje važnost upravljanja klimatskim uticajima.

6.1.5. Lisna površina prvog lista ispod klipa i lisna površina listova omotača klipa (komušina)

Homogenost varijansi podataka proverena je korišćenjem *Levene*-ovog testa. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 20. Rezultati testa pokazuju da je homogenost varijansi zadovoljena.

Tabela 20. Homogenost varijansi za analizirane parametre u zavisnosti od godine, gustine i hibrida na osnovu *Levene*-ovog testa

Parametar	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
LP1L	0.8329	Zadovoljena
LPKS	0.6459	Zadovoljena

LP1L – lisna površina prvog lista ispod klipa; LPKS – lisna površina listova omotača klipa (komušina); * $p > 0,5$ Homogenost zadovoljena; $p \leq 0,05$ Homogenost nije zadovoljena

Na osnovu rezultata *Levene*-ovog testa pretpostavka o homogenosti varijansi je zadovoljena. Normalnost distribucije podataka procenjena je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 21. *Shapiro-Wilk* normalnost po $G \times S \times H$ grupama

Parametar	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
LP1L	5	31	36	86,1
LPKS	1	35	36	97,2

LP1L – lisna površina prvog lista ispod klipa; LPKS – lisna površina listova omotača klipa (komušina)

Pošto je vrednost parametra $> 80 \%$, podaci su normalno distribuirani, ANOVA se smatra statistički opravdanom.

Analizom varijanse (ANOVA) ispitana je značajnost uticaja faktora (godina proizvodnje, gustina setve i hibrida), kao i njihova interakcija, na variranje lisne površine prvog lista ispod klipa i lisne površine listova omotača klipa (komušina), (Tabela 22).

Tabela 22. Značajnost uticaja faktora na lisnu površinu prvog lista ispod klipa i lisnu površinu listova omotača klipa (komušine)

Parametar	p-vrednost						
	G	S	H	G $\times$ S	G $\times$ H	S $\times$ H	G $\times$ S $\times$ H
LP1L	< 0.0001	0.0002	< 0.0001	0.8432	0.0138	0.8684	0.4710
LPKS	< 0.0001	0.0059	< 0.0001	0.9725	0.3579	0.0281	0.0391

LP1L – lisna površina prvog lista ispod klipa; LPKS – lisna površina listova omotača klipa (komušina)

Faktor G (godina proizvodnje) pokazao je vrlo značajan uticaj na oba ispitivana parametra (LP1L i LPKS), gde su p-vrednosti bile ispod 0.0001. Gustina setve (S) nije imala značajan uticaj na parametar LP1L (lisna površina prvog lista ispod klipa), dok je na LPKS (lisna površina listova omotača klipa-komušina) imala statistički značajan uticaj. Takođe, hibrid (H) imao je statistički značajan efekat na oba parametra (LP1L i LPKS). Nasuprot ovim rezultatima Sibonginkosi et al. (2020), dobili su suprotne rezultate, gde izbor hibrida nije imao statistički značajne rezultate na lisnu površinu.

Interakcija godina proizvodnje i hibrid (G $\times$ H) imala je značajan uticaj na lisnu površinu prvog lista ispod klipa (LP1L), dok na drugi ispitivani parametar (LPKS) nije pokazala statističku značajnost. Ostale interakcije (G $\times$ S, S $\times$ H, G $\times$ S $\times$ H) nisu pokazale značajan uticaj na ispitivane parametre.

Nakon urađene analize varijanse (ANOVA), za parna poređenja sredine tretmana korišćen je *Tukey-ev* test. U Tabeli 23. prikazane su samo one razlike između nivoa faktora koje su bile statistički značajne prema *Tukey HSD* testu ($\alpha = 0,05$).

Tabela 23. Statistički značajne razlike između grupa prema *Tukey HSD* testu

Parametar	Faktor	Grupa 1	Grupa 2	p-vrednost
LP1L	G	1	2	< 0.0001
LP1L	S	1	7	0.0036
LP1L	S	4	7	0.0071
LP1L	H	1	2	0.0027
LP1L	H	1	5	< 0.0001
LP1L	H	1	6	< 0.0001
LP1L	H	2	4	0.0456
LP1L	H	3	5	0.0078
LP1L	H	3	6	0.0160
LP1L	H	4	5	0.0002
LP1L	H	4	6	0.0005

LPKS	G	1	2	< 0.0001
LPKS	S	1	7	0.0270
LPKS	H	1	2	< 0.0001
LPKS	H	1	3	0.0013
LPKS	H	1	4	< 0.0001
LPKS	H	1	6	< 0.0001
LPKS	H	2	5	0.0094
LPKS	H	4	5	0.0140
LPKS	H	5	6	0.0001

LP1L – lisna površina prvog lista ispod klipa; LPKS – lisna površina listova omotača klipa (komušina)

Godina proizvodnje (G), kao i gustina setve (S) pokazali su statistički značajan uticaj na oba parametra. Posebno se ističu razlike između S1 i S7. Faktor H (hibrid) pokazao je najviše statistički značajnih razlika među nivoima. Uočene su razlike između H1 i drugih hibrida kod oba parametra, što ukazuje na značajne genotipske razlike u sposobnosti otpuštanja vlage. Parametar LPKS pokazao je značajne razlike između različitih gustina setve ($S1 \times S4$, $S1 \times S7$) i hibrida ($H1 \times H4$), ukazujući na uticaj ovih faktora na proces otpuštanja vlage.

Rezultati analize varijanse (ANOVA) i *Tukey*-evog testa ukazuju na značajan uticaj godine proizvodnje, gustine setve i hibrida na lisnu površinu prvog lista ispod klipa i lisnu površinu listova omotača klipa, što je u skladu sa literaturom koja naglašava važnost ovih faktora u morfološkim i fiziološkim procesima kukuruza. Godina proizvodnje pokazala je vrlo značajan uticaj na oba parametra, što kao i kod ostalih morfoloških parametara može biti posledica različitih klimatskih uslova, poput temperature i količine padavina, koji utiču na razvoj listova i fotosintetsku aktivnost. Prema Liu et al. (2020), temperatura i relativna vlažnost vazduha značajno utiču na morfološke karakteristike biljaka, uključujući lisnu površinu, što potvrđuju i Yang et al. (2022) koji navode da klimatski faktori direktno utiču na vegetativni razvoj kukuruza. Gustina setve pokazala je značajan uticaj na LPKS, posebno između najmanje (S1) i najveće gustine (S7), dok je na LP1L uticaj bio manje izražen. Ovo je u skladu sa Testa et al. (2016), koji su utvrdili da gušća setva smanjuje površinu listova za 20 % zbog povećane konkurencije za svetlost i resurse. Gou et al. (2017) dodatno potvrđuju da povećanje gustine dovodi do smanjenja dužine i širine listova, što može objasniti smanjenje lisne površine listova omotača klipa kod gušćih setvi. Značajne genotipske razlike između hibrida (H1 u odnosu na H2, H3, H4, H5 i H6) za oba parametra ukazuju na genetsku varijabilnost u morfološkim karakteristikama listova. Kako navodi Radenović et al. (2008a, 2008b, 2009), hibridi sa manjim brojem listova omotača klipa i tanjim perikarpom pokazuju brže otpuštanje vlage, što može objasniti razlike u LPKS između H1 i drugih hibrida.

6.2. Komponente prinosa

Komponente prinosa i njihov odnos su ključni faktori prinosa kukuruza. Glavne komponente prinosa semena kukuruza su dužina klipa, debljina klipa i broj redova zrna (Tabaković et al., 2022).

Prosečan prinos zrna i koeficijent varijacije (CV) sa standardnim devijacijama za sve ispitivane hibride kukuruza prikazan je u Tabeli 24. Prinosi su analizirani na osnovu pojedinačnih merenja za svaku kombinaciju godine proizvodnje, gustine setve i ponavljanja. CV (%) izračunat je kao odnos SD i srednje vrednosti za svaki hibrid.

Tabela 24. Prosečan prinos i koeficijent varijacije (CV) sa standardnim devijacijama za ispitivane hibride

Hibrid	Prosečan prinos	Prosečan CV (%)
H1	7,79 ± 1,59	20,43
H2	8,03 ± 1,53	19,12
H3	8,51 ± 1,45	17,01
H4	8,58 ± 1,40	16,35
H5	9,59 ± 1,49	15,51
H6	8,82 ± 1,32	14,91

H1- ZP 4708; H2 - ZP 4242; H3 - ZP 4790; H4 - ZP 4007; H5 - ZP 5550; H6 - ZP 5601

Svi ispitivani hibridi ostvarili su prosečne prinose u rasponu od 7,79 do 9,59 t ha⁻¹, uz CV manji od 25 %, što ukazuje na stabilnost prinosa. Najveći prosečni prinos ostvario je hibrid ZP 5550 (H5) sa 9,59 t ha⁻¹, dok najmanji prinos (7,79 t ha⁻¹) imao je hibrid ZP 4708 (H1).

Razvoj hibrida sa povećanom tolerantnošću na veći broj biljaka po jedinici površine uz primenu adekvatnih agrotehničkih mera, može doprineti ublažavanju negativnih efekata koji nastaju usled povećane gustine setve. Rezultati dvogodišnjih istraživanja pokazali su da godina proizvodnje, gustina setve i izbor hibrida imaju značajan uticaj na prinos i komponente prinosa, pri čemu je odnos između prinosa i gustine setve kompleksan i uslovljen međusobnim delovanjem više varijabli (Nyakudya & Stroosnijder, 2014; Jia et al., 2017).

U okviru komponenti prinosa kukuruza proučavan je uticaj faktora G, S i H (godina proizvodnje, gustina setve i hibrid) na: dužina klipa, broj redova zrna u klip, broj zrna u redu, masa klipa, prečnik klipa, prečnik oklaska, masa oklaska i masa 1.000 zrna.

6.2.1. Dužina klipa, broj redova zrna u klip i broj zrna u redu

Homogenost varijansi podataka proverena je korišćenjem *Levene*-ovog testa. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 25. Rezultati testa pokazuju da je homogenost varijansi zadovoljena.

Tabela 25. Homogenost varijansi za analizirane parametre u zavisnosti od godine, gustine i hibrida na osnovu *Levene*-ovog testa

Parametar	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
DK	0.9906	Zadovoljena
BR	0.8361	Zadovoljena
BZR	0.9064	Zadovoljena

DK – dužina klipa; BR – broj redova zrna u klip; BZR – broj zrna u redu. *p > 0,5 Homogenost zadovoljena; p ≤ 0,05 Homogenost nije zadovoljena

Na osnovu rezultata *Levene*-ovog testa pretpostavka o homogenosti varijansi je zadovoljena. Normalnost distribucije podataka procenjena je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 26. *Shapiro-Wilk* normalnost po $G \times S \times H$ grupama

Parametar	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
DK	3	33	36	91,7
BR	16	20	36	55,6
BZR	12	24	36	66,7

DK – dužina klipa; BR – broj redova zrna u klipu; BZR – broj zrna u redu

Podaci parametra DK su normalno distribuirani (> 80 %), dok za parametre BR i BZR vrednosti testa ukazuju da podaci odstupaju od normalne distribucije, pa je primenjen neparametarski test (*Kruskal–Wallis*).

Analizom varijanse (ANOVA) ispitana je značajnost uticaja faktora (godina proizvodnje, gustina setve i hibrida), kao i njihova interakcija, na variranje parametra DK (dužina klipa).

Tabela 27. Značajnost uticaja faktora na dužinu klipa

Parametar	p-vrednost						
	G	S	H	$G \times S$	$G \times H$	$S \times H$	$G \times S \times H$
DK	0.5310	< 0.0001	< 0.0001	0.0080	0.1950	0.8650	0.7440

DK – dužina klipa

Godina proizvodnje (G) nije imala statistički značajan uticaj na dužinu klipa, nasuprot tome gustina setve (S) i hibrid (H) pokazao statistički značajan efekat na ispitivani parametar (DK). Slične rezultate o uticaju gustine setve na dužinu klipa imali su Shi et al. (2022), gde je gustina setve imala značajan uticaj na dužinu klipa.

Interakcija faktora godina proizvodnje i gustina setve ($G \times S$) imala značajan efekat na dužinu klipa, dok ostale interakcije nisu pokazale statistički značajan efekat.

Nakon urađene analize varijanse (ANOVA), za parna poređenja sredine tretmana korišćen je Tukey-ev test. U Tabeli 28. prikazane su samo one razlike između nivoa faktora koje su bile statistički značajne prema Tukey HSD testu ($\alpha = 0,05$).

Tabela 28. Statistički značajne razlike između grupa prema *Tukey* HSD testu

Parametar	Faktor	Grupa 1	Grupa 2	p-vrednost
DK	S	1	4	0.0214
DK	S	1	7	0.0006
DK	H	2	3	0.0123
DK	H	2	5	0.0005
DK	H	3	4	0.0016
DK	H	3	6	0.0129
DK	H	4	5	< 0.0001
DK	H	5	6	0.0005

DK – dužina klipa

Utvrđene su statistički značajne razlike između gustine setve ($S1 \times S4$ i $S1 \times S7$), kao i između određenih hibrida ($H2 \times H3$, $H2 \times H5$, $H3 \times H4$, $H3 \times H6$, $H5 \times H6$), vrlo značajne razlike između hibrida $H4$ i $H5$.

Tabela 29. Rezultati *Kruskal-Wallis* testa za neparametrijske parametre otpuštanja vlage po faktorima G, S i H

Parametar	Faktor	p-vrednost
BR	G	0.1240
BR	H	< 0.0001
BR	S	0.8333
BZR	G	0.9877
BZR	H	0.0008
BZR	S	0.0002

BR – broj redova zrna; BZR – broj zrna u redu

Analiza *Kruskal-Wallis*-ovim testom ukazala je na vrlo značajan uticaj faktora H na parametar BR, dok na BZR imao statistički značajan uticaj. Gustina setve (S) pokazala je statistički značajan efekat na BZR, dok na parametar BR nije imala značajan uticaj. Takođe, faktor G nije pokazao statistički značajan uticaj na oba ispitivana parametra (BR i BZR).

Rezultati analize varijanse (ANOVA) za dužinu klipa i *Kruskal-Wallis*-ovog testa za broj redova zrna i broj zrna u redu ukazuju na značajan uticaj gustine setve i hibrida na ove parametre, dok godina proizvodnje nije pokazala statistički značajan efekat. Ovi nalazi su u skladu sa literaturom koja naglašava važnost genetskih karakteristika i gustine setve u formiranju klipa. Prema Chazarreta et al. (2021), hibridi različitih genotipova pokazuju varijacije u dužini klipa i broju redova zrna, što može objasniti značajne razlike između hibrida (npr. $H2 \times H3$, $H4 \times H5$) u ovom istraživanju. Ove genetske razlike utiču na strukturu klipa i potencijal prinosa, što je ključno za proces otpuštanja vlage. Značajan uticaj gustine setve na dužinu klipa (DK) i broj zrna u redu (BZR), posebno između najmanje ($S1$) i gušćih setvi ($S4$, $S7$), u skladu je sa nalazima Misevic et al. (1988), koji su utvrdili da povećanje gustine setve smanjuje dužinu klipa zbog povećane konkurencije za svetlost i hraniva tokom faze razvoja klipa. Slično tome, Borrás et al. (2003a) navode da gušće setve dovode do smanjenja broja zrna u redu zbog ograničene dostupnosti resursa, što može objasniti statistički značajne razlike između $S1$ i $S7$ za BZR. Ovi efekti su posebno izraženi u gušćim setvama, gde smanjena aeracija i konkurencija za resurse utiču na morfologiju klipa, kako potvrđuju Gambín et al. (2007). Odsustvo značajnog uticaja godine proizvodnje na DK, BR i BZR može ukazivati na relativnu stabilnost klimatskih uslova tokom ispitivanih godina ili na genetsku otpornost ispitivanih hibrida. Prema Brooking (1990), klimatski faktori poput temperature tokom faze cvetanja mogu uticati na razvoj klipa, ali stabilni uslovi ili genetska prilagodljivost hibrida mogu minimizirati ove efekte. Interakcija godine proizvodnje i gustine setve ($G \times S$) pokazala je značajan efekat na dužinu klipa, što sugerise da gustina setve različito utiče na razvoj klipa u zavisnosti od klimatskih uslova, kako navodi Cross (1995). Značajne razlike između hibrida za BR i BZR ukazuju na genetsku varijabilnost u strukturi klipa. Prema Schmidt & Hallauer (1966), hibridi sa većim brojem redova zrna imaju veći potencijal prinosa, ali mogu zadržavati više vlage zbog gušće structure klipa, što usporava proces sušenja. Ovo je posebno važno za hibride $H4$ i $H5$, koji su pokazali vrlo značajne razlike u dužini klipa, što može uticati na prinos i efikasnost sušenja. Borrás et al. (2004) ističu da hibridi sa kraćim klipovima i manjim brojem zrna u redu često imaju brže otpuštanje vlage, što smanjuje troškove sušenja.

6.2.2. Masa klipa, masa oklaska (koćanke) i masa 1.000 zrna

Homogenost varijansi podataka proverena je korišćenjem *Levene*-ovog testa. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 30. Rezultati testa pokazuju da je homogenost varijansi zadovoljena.

Tabela 30. Homogenost varijansi za analizirane parametre u zavisnosti od godine, gustine i hibrida na osnovu *Levene*-ovog testa

Parametar	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
MK	0.9663	Zadovoljena
MKO	0.9974	Zadovoljena
M1000	0.7771	Zadovoljena

MK – masa klipa; MKO – masa oklaska (koćanke); M1000 – masa 1000 zrna * $p > 0.05$ Homogenost zadovoljena $p \leq 0.05$ Homogenost nije zadovoljena

Na osnovu rezultata *Levene*-ovog testa pretpostavka o homogenosti varijansi je zadovoljena. Normalnost distribucije podataka procenjena je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 31. *Shapiro-Wilk* normalnost po $G \times S \times H$ grupama

Parametar	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
MK	4	32	36	88,9
MKO	2	34	36	94,4
M1000	0	36	36	100

MK – masa klipa; MKO – masa oklaska (koćanke); M1000 – masa 1000 zrna

Pošto je vrednost parametra $> 80 \%$, podaci su normalno distribuirani, ANOVA se smatra statistički opravdanom.

Tabela 32. Značajnost uticaja faktora na masu klipa i masu koćanke

Parametar	p-vrednost						
	G	S	H	$G \times S$	$G \times H$	$S \times H$	$G \times S \times H$
MK	< 0.0001	0.0020	0.8480	0.0520	0.3520	0.7370	0.2880
MKO	< 0.0001	0.0010	< 0.0001	0.1460	0.2540	0.3100	0.2360
M1000	< 0.0001	0.0120	< 0.0001	0.1230	0.0190	0.0610	0.4000

MK – masa klipa; MKO – masa oklaska (koćanke); M1000 – masa 1000 zrna

Vrednosti $p < 0.05$ označene su statistički značajne, dok su $p < 0.0001$ istaknute kao visoko značajne.

Godina proizvodnje (G) je vrlo značajno uticala na sva tri parametra. Gustina setve (S) imao je statistički značajan uticaj na ispitivane parametre. Hibrid (H) je statistički vrlo značajno uticao na parametre MKO i M1000, dok na MK nije pokazao statističku značajnost. Interakcija $G \times H$ je značajno uticala na parametar M1000, dok ostale interakcije nisu imale statistički značajan efekat na parametre MK i MKO.

Nakon urađene analize varijanse (ANOVA), za parna poređenja sredine tretmana korišćen je Tukey-ev test. U Tabeli 33. prikazane su samo one razlike između nivoa faktora koje su bile statistički značajne prema Tukey HSD testu ($\alpha = 0,05$).

Tabela 33. Statistički značajne razlike između grupa prema *Tukey* HSD testu

Parametar	Faktor	Grupa 1	Grupa 2	p-vrednost
MK	G	1	2	0.0002
MK	S	1	7	0.0022
MKO	G	1	2	0.0010
MKO	S	1	7	0.0034
MKO	H	1	4	0.0053
MKO	H	1	5	0.0187
MKO	H	3	4	0.0134
MKO	H	3	5	0.0425
M1000	G	1	2	< 0.0001
M1000	H	1	2	0.0107
M1000	H	1	5	0.0033
M1000	H	1	6	0.0001
M1000	H	3	6	0.0095
M1000	H	4	5	0.0372
M1000	H	4	6	0.0011

MK – masa klipa; MKO – masa oklaska (koćanke); M1000 – masa 1000 zrna

Tukey HSD test pokazao je značajne razlike između pojedinih grupa faktora G, S i H na posmatrane parametre. Za parametre MK i MKO statistički značajne razlike zabeležene su između godina proizvodnje ($G1 \times G2$), dok su za parametar M1000 bile vrlo značajne. Takođe, kod parametra MK i MKO značajne razlike bile su i između gustina setve ($S1 \times S7$). Kod parametra MKO uočene su značajne razlike između određenih hibrida ($H1 \times H4$, $H1 \times H5$, $H3 \times H4$, $H3 \times H5$). Značajne razlike između hibrida postojale su i kod parametra M1000 ($H1 \times H5$, $H1 \times H6$, $H3 \times H6$, $H4 \times H6$).

Rezultati analize varijanse (ANOVA) i *Tukey*-evog testa ukazuju na značajan uticaj godine proizvodnje i gustine setve na masu klipa, masu oklaska i masu 1.000 zrna, dok je hibrid imao značajan uticaj na MKO i M1000, ali ne i na MK. Snažan uticaj godine proizvodnje na sva tri parametra u skladu je sa nalazima Kang et al. (1986), koji navode da klimatski uslovi, poput količine padavina i temperature tokom faze nalivanja zrna, značajno utiču na akumulaciju suve materije u klipu i zrnju. Ovo objašnjava značajne razlike između godina ($G1 \times G2$), jer različiti klimatski uslovi direktno utiču na masu klipa i zrna. Gustina setve pokazala je značajan uticaj na MK, MKO i M1000, posebno između najmanje ($S1$) i najgušće setve ($S7$). Ovi rezultati su u skladu sa nalazima Testa et al. (2016), koji su utvrdili da gušće setve smanjuju masu klipa i zrna za 10-15 % zbog povećane konkurencije za svetlost i hraniva. Slično tome, Abuzar et al. (2011) navode da povećanje gustine setve dovodi do smanjenja mase 1.000 zrna, jer biljke imaju ograničen pristup resursima tokom faze razvoja zrna, što može objasniti razlike između $S1$ i $S7$. Ovi efekti su posebno izraženi za masu

oklaska, jer gušće setve smanjuju aeraciju i utiču na razvoj koćanke, kako potvrđuje Borrás et al. (2003b).

6.2.3. Prečnik klipa i prečnik oklaska (koćanka)

Homogenost varijansi podataka proverena je korišćenjem *Levene*-ovog testa. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 34.

Tabela 34. Homogenost varijansi za analizirane parametre u zavisnosti od godine, gustine i hibrida na osnovu *Levene*-ovog testa

Parametar	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
PK	0.9222	Zadovoljena
PKO	0.8395	Zadovoljena

PK – prečnik klipa; PKO – prečnik koćanke; * $p > 0.05$ Homogenost zadovoljena $p \leq 0.05$ Homogenost nije zadovoljena

Na osnovu rezultata *Levene*-ovog testa pretpostavka o homogenosti varijansi je zadovoljena. Normalnost distribucije podataka procenjena je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 35. *Shapiro-Wilk* normalnost po $G \times S \times H$ grupama

Parametar	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
PK	2	34	36	94,4
PKO	7	29	36	80,6

PK – prečnik klipa; PKO – prečnik koćanke

Pošto je vrednost parametra $> 80 \%$, podaci su normalno distribuirani, ANOVA se smatra statistički opravdanom.

Tabela 36. Značajnost uticaja faktora na prečnik klipa i prečnik koćanke

Parametar	p-vrednost						
	G	S	H	$G \times S$	$G \times H$	$S \times H$	$G \times S \times H$
PK	< 0.0001	0.0650	0.0550	0.3770	0.2780	0.8400	0.5480
PKO	< 0.0001	0.0950	0.0160	0.2900	0.7770	0.8030	0.8750

PK – prečnik klipa; PKO – prečnik koćanke

Vrednosti $p < 0.05$ označene su statistički značajne, dok su $p < 0.0001$ istaknute kao vrlo značajne. Godina proizvodnje (G) pokazala je vrlo značajan uticaj na oba parametra. Gustina setve (S) nije imala značajan efekat na ispitivane parametre. Takođe, Greveniotis et al. (2019) je u svojim istraživanjima došao do istog zaključka za parameter PK. Hibrid (H) je značajno uticao na prečnik koćanke (PKO), dok na prečnik klipa (PK) nije pokazao statističku značajnost. Interakcija faktora ($G \times S$, $G \times H$, $S \times H$, $G \times S \times H$) nije imala statistički značajan efekat na ispitivane parametre.

Nakon urađene analize varijanse (ANOVA), za parna poređenja sredine tretmana korišćen je Tukey-ev test. U Tabeli 37. prikazane su samo one razlike između nivoa faktora koje su bile statistički značajne prema Tukey HSD testu ($\alpha = 0,05$).

Tabela 37. Statistički značajne razlike između grupa prema *Tukey HSD* testu

Parametar	Faktor	Grupa 1	Grupa 2	p-vrednost
PK	G	1	2	0.0005
PKO	G	1	2	0.0004
PKO	H	2	6	0.0397

PK – prečnik klipa; PKO – prečnik koćanke

Na oba parametra statistički značajne razlike utvrđene su između faktora G ($G1 \times G2$). Takođe, na parametar PKO statistički značajne razlike pokazale su se između hibrida ($H2 \times H6$).

Rezultati analize varijanse (ANOVA) i *Tukey*-evog testa ukazuju na značajan uticaj godine proizvodnje na prečnik klipa i prečnik oklaska, dok je hibrid imao značajan uticaj samo na PKO. Odsustvo značajnog uticaja gustine setve na PK i PKO sugerise da ovi parametri nisu primarno pod uticajem konkurencije za resurse u gušćim setvama. Ovo je u skladu sa nalazima Brooking (1990), koji ukazuje da prečnik klipa i koćanke više zavise od genetskih i klimatskih faktora nego od gustine setve, posebno u uslovima gde su resursi relativno dostupni. Međutim, Hadi (2004) navodi da gušće setve mogu indirektno uticati na prečnik klipa smanjenjem dostupnosti svetlosti, ali ovaj efekat može biti manje izražen kod hibrida prilagođenih gušćim setvama. Značajne razlike između hibrida za PKO ($H2 \times H6$) ukazuju na genetsku varijabilnost u strukturi koćanke. Prema Liu et al. (2020), genetske karakteristike hibrida značajno utiču na morfologiju koćanke, uključujući njen prečnik, što može uticati na brzinu otpuštanja vlage iz zrna. Hibridi sa manjim prečnikom koćanke, poput H6, često omogućavaju bolju aeraciju i brže sušenje zrna, što je ključno za smanjenje troškova sušenja. Odsustvo značajnog uticaja hibrida na PK može ukazivati na to da je prečnik klipa više pod uticajem okoline, kako sugerise Reid et al. (2010), koji ističu da klimatski faktori imaju dominantan uticaj na ovaj parametar. Odsustvo značajnih interakcija između faktora ($G \times S$, $G \times H$, $S \times H$, $G \times S \times H$) sugerise da godina proizvodnje i hibrid deluju nezavisno na PK i PKO. Ovo je u skladu sa nalazima Yang et al. (2022), koji navode da morfološke karakteristike klipa, poput prečnika, pokazuju stabilnost u različitim kombinacijama faktora, osim u ekstremnim klimatskim uslovima. Međutim, genetske razlike u prečniku koćanke, kao što su uočene između H2 i H6, mogu biti značajne za specifične uslove, kako potvrđuje Gou et al. (2017).

6.3. Hemijske analize zrna

U okviru hemijskih analiza zrna kukuruza proučavan je uticaj faktora G, S i H (godina proizvodnje, gustina setve i hibrid) na: sadržaj vode (%), sadržaj ukupnih proteina (%), sadržaj skroba (%), sadržaj ulja (%).

Homogenost varijansi podataka proverena je korišćenjem *Levene*-ovog testa. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 38. Rezultati testa pokazuju da je homogenost varijansi zadovoljena.

Tabela 38. Homogenost varijansi za analizirane parametre u zavisnosti od godine, gustine i hibrida na osnovu *Levene*-ovog testa

Parametar	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
vlaga	0.9197	Zadovoljena
protein	0.9526	Zadovoljena
skrob	0.8498	Zadovoljena
ulja	0.9946	Zadovoljena

* $p > 0.05$ Homogenost zadovoljena $p \leq 0.05$ Homogenost nije zadovoljena

Na osnovu rezultata *Levene*-ovog testa pretpostavka o homogenosti varijansi je zadovoljena. Normalnost distribucije podataka procenjena je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 39. *Shapiro-Wilk* normalnost po $G \times S \times H$ grupama

Parametar	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
vlaga	3	33	36	91,7
protein	6	30	36	83,3
skrob	4	32	36	88,9
ulja	12	24	36	66,7

Vrednost parametra (vlaga, protein i skrob) $> 80\%$, što znači da su podaci su normalno distribuirani, ANOVA se smatra statistički opravdanom, dok za parametar ulje vrednost testa ukazuje da podaci odstupaju od normalne distribucije, pa ćemo primeniti neparametarski test (*Kruskal-Wallis*).

Tabela 40. Značajnost uticaja faktora na hemijski sastav zrna

Parametar	p-vrednost						
	G	S	H	$G \times S$	$G \times H$	$S \times H$	$G \times S \times H$
vlaga	< 0.0001	0.5910	< 0.0001	0.1700	0.1000	0.9220	0.6930
protein	< 0.0001	0.0340	< 0.0001	0.0280	0.0590	0.9790	0.2230
skrob	< 0.0001	0.0010	< 0.0001	0.0220	0.0440	0.7260	0.3920

Vrednosti $p < 0.05$ označene su statistički značajne, dok su $p < 0.0001$ istaknute kao vrlo značajne.

Godina proizvodnje (G) uticala je vrlo značajno na sva tri ispitivana parametra. Gustina setve (S) nije uticala na sadržaj vlage, dok na sadržaj proteina i skroba imala statistički značajan uticaj. Hibrid (H) pokazao je vrlo značaj efekat na sve ispitivane parametre. Interakcija faktora $G \times S$ pokazala je značajan uticaj na saržaj proteina i skroba, dok na sadržaj vlage nije imala statistički značajan efekat. $G \times H$ interakcija statistički značajan efekat pokazala je samo na sadržaj skroba, dok na ostale faktore nije imala značajan uticaj. Ostale interakcije ($S \times H$, $G \times S \times H$) nisu pokazale statistički značajan efekat na parametare.

Nakon urađene analize varijanse (ANOVA), za parna poređenja sredine tretmana korišćen je *Tukey*-ev test. U Tabeli 41. prikazane su samo one razlike između nivoa faktora koje su bile statistički značajne prema *Tukey* HSD testu ($\alpha = 0,05$).

Tabela 41. Statistički značajne razlike između grupa prema *Tukey* HSD testu

Parametar	Faktor	Grupa 1	Grupa 2	p-vrednost
Vlaga	G	1	2	< 0.0001
Protein	G	1	2	< 0.0001
Protein	H	1	2	0.0470
Protein	H	1	3	0.0498
Protein	H	2	5	0.0030
Protein	H	3	5	0.0032
Skrob	G	1	2	< 0.0001
Skrob	S	1	7	0.0153
Skrob	H	1	2	0.0002
Skrob	H	1	3	0.0015
Skrob	H	2	4	0.0148
Skrob	H	2	5	< 0.0001
Skrob	H	3	5	0.0002

Tukey HSD test pokazao je značajne razlike između pojedinih grupa faktora G, S i H na posmatrane parametre.

Kod svih posmatranih parametara utvrđene su vrlo značajne razlike između godina proizvodnje ($G1 \times G2$). Kod sadržaja skroba značajne razlike postojale su između gustina setve $S1 \times S7$. Za sadržaj proteina značajne razlike utvrđene su između različitih hibrida ($H1 \times H2$, $H1 \times H3$, $H2 \times H5$, $H3 \times H5$). Kod sadržaja skroba vrlo značajne razlike bile su između $H2$ i $H5$, dok između ostalih hibrida utvrđene su statistički značajne razlike ($H1 \times H2$, $H1 \times H3$, $H2 \times H4$, $H3 \times H5$).

Tabela 42. Rezultati *Kruskal-Wallis* testa za sadržaj ulja u zrnju po faktorima G, S i H

Parametar	Faktor	p-vrednost
Ulja	G	< 0.0001
Ulja	H	0.0057
Ulja	S	0.7591

Analiza *Kruskal-Wallis*-ovim testom ukazala je na vrlo značajan uticaj faktora G (godina proizvodnje). Hibrid (H) je značajno uticao, dok gustina setve (S) nije pokazala statističku značajnost na sadržaj ulja u zrnju kukuruza.

Rezultati analize varijanse (ANOVA) i *Kruskal-Wallis*-ovog testa ukazuju na značajan uticaj godine proizvodnje i hibrida na hemijski sastav zrna (vlaga, proteini, skrob, ulje), dok je gustina

setve imala značajan uticaj samo na sadržaj proteina i skroba. Vrlo značajan uticaj godine proizvodnje na sve parametre u skladu je sa nalazima Hong et al. (2019), koji navode da meteorološki uslovi tokom faze naliivanja zrna, značajno utiču na akumulaciju vlage, proteina i skroba u zrnu. Razlike između godina ($G1 \times G2$) verovatno su posledica varijacija u klimatskim uslovima koji utiču na sintezu i akumulaciju ovih komponenata. Značajne razlike između hibrida za vlagu, proteine i skrob (npr. $H1 \times H2$, $H2 \times H5$) ukazuju na genetsku varijabilnost u hemijskom sastavu zrna. Prema Radenović et al. (2008b), genetske karakteristike hibrida značajno utiču na sadržaj proteina i skroba, što može objasniti razlike između hibrida u ovom istraživanju. Slično tome, Chazarreta et al. (2021) navode da hibridi sa različitim genetskim profilima pokazuju varijacije u sadržaju vlage i skroba, što utiče na kvalitet zrna i njegovu sposobnost otpuštanja vlage. Značajne razlike za ulje u skladu su sa istraživanjima Mitrović et al. (2016), koji ističu da genetski faktori utiču na sadržaj ulja, što je važno za nutritivnu vrednost i proces sušenja. Uticaj gustine setve na sadržaj proteina i skroba, posebno između S1 i S7, u skladu je sa nalazima Testa et al. (2016), koji navode da gušće setve smanjuju sadržaj skroba zbog povećane konkurencije za resurse, dok sadržaj proteina može varirati u zavisnosti od dostupnosti azota.

6.4. Randman, vlaga i prinos zrna

Homogenost varijansi podataka proverena je korišćenjem *Levene*-ovog testa. Vrednosti testa prikazane su u Tabeli 43. Rezultati testa pokazuju da je homogenost varijansi zadovoljena.

Tabela 43. Homogenost varijansi za analizirane parametre u zavisnosti od godine, gustine i hibrida na osnovu *Levene*-ovog testa

Parametar	p-vrednost	Pretpostavka o homogenosti*
RZ	0.9976	Zadovoljena
VZ	0.9785	Zadovoljena
PRI	1.0000	Zadovoljena

RZ – randman zrna, VZ – vlaga zrna, PRI – prinos * $p > 0.05$ Homogenost zadovoljena $p \leq 0.05$ Homogenost nije zadovoljena

Na osnovu rezultata *Levene*-ovog testa pretpostavka o homogenosti varijansi je zadovoljena. Normalnost distribucije podataka procenjena je korišćenjem *Shapiro-Wilk*-ovog testa.

Tabela 44. *Shapiro-Wilk* normalnost po $G \times S \times H$ grupama

Parametar	Nije zadovoljena	Zadovoljena	Ukupno testiranih grupa	% zadovoljenih
RZ	4	32	36	88,9
VZ	10	26	36	72,2
PRI	1	35	36	97,2

RZ – randman zrna, VZ – vlaga zrna, PRI – prinos

Vrednost parametra RZ i PRI > 80 %, što znači da su podaci su normalno distribuirani, ANOVA se smatra statistički opravdanom, dok za parametar VZ vrednost testa ukazuje da podaci odstupaju od normalne distribucije, pa ćemo primeniti neparametarski test (*Kruskal-Wallis*).

Tabela 45. Značajnost uticaja faktora na hemijski sastav zrna

Parametar	p-vrednost						
	G	S	H	G × S	G × H	S × H	G×S×H
RZ	< 0.0001	0.2700	0.3050	0.8302	0.8316	0.9997	0.9990
PRI	0.6388	< 0.0001	0.0021	0.7911	0.0071	0.4562	0.7871

RZ – randman zrna, VZ – vlaga zrna, PRI – prinos

Godina proizvodnje (G) vrlo značajno uticala je na randman zrna (RZ), dok na prinos (PRI) nije imala statistički značajan uticaj. Gustina setve (S) nije pokazala značajan uticaj na randman zrna, dok na prinos imala je statistički vrlo značajan uticaj.

Hibrid (H) na randman zrna nije pokazao statističku značajnost, za razliku od prinosa gde je hibrid značajno uticao. Interakcija faktora G × H pokazala je značajan na prinos, dok na randman zrna nije imala statistički značajan uticaj. Ostale interakcije (G × S, S × H, G × S × H) nisu imale statistički značaj uticaj na ispitivane parameter.

Tabela 46. Rezultati *Kruskal-Wallis* testa za sadržaj ulja u zrnu po faktorima G, S i H

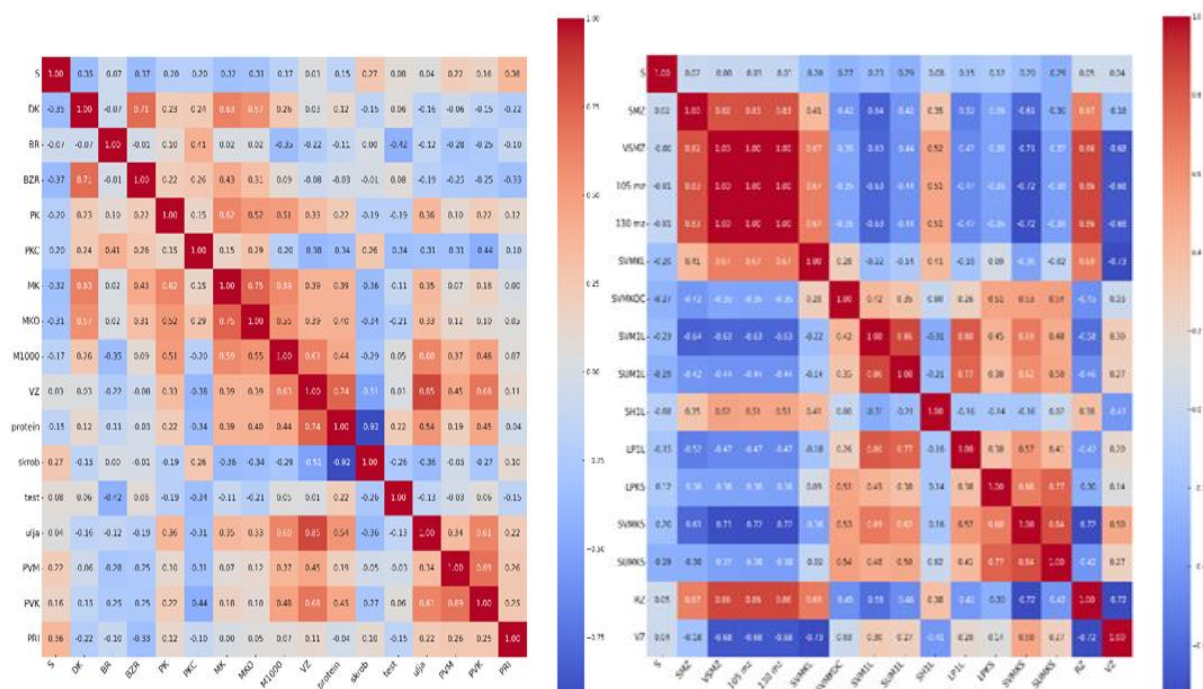
Parametar	Faktor	p-vrednost
VZ	G	< 0.0001
VZ	H	0.5732
VZ	S	0.8038

VZ – voda u zrnu

Kruskal-Wallis test ukazao je na vrlo značajan uticaj faktora G (godina proizvodnje) na sadržaj vode u zrnu. Nasuprot tome, faktori H (hibrid) i S (gustina setve) nisu pokazali statistički značajne razlike na parametar VZ.

Rezultati analize varijanse (ANOVA) i *Kruskal-Wallis*-ovog testa ukazuju na značajan uticaj godine proizvodnje na randman zrna i vlagu zrna, dok je gustina setve i izbor hibrida značajno uticali na prinos. Vrlo značajan uticaj godine proizvodnje na RZ i VZ u skladu je sa nalazima Hellevang (2004), koji navodi da klimatski uslovi, poput količine padavina i temperature tokom faze sazrevanja zrna, direktno utiču na sadržaj vlage i randman zrna. Ovo objašnjava značajne razlike između godina, jer vlažniji uslovi mogu povećati sadržaj vlage i smanjiti randman usled većeg zadržavanja vode u zrnu. Odsustvo značajnog uticaja gustine setve na RZ i VZ sugerise da ovi parametri nisu primarno pod uticajem konkurencije za resurse u gušćim setvama. Međutim, značajan uticaj gustine setve na prinos u skladu je sa istraživanjima Testa et al. (2016), koji ukazuju da gušće setve (npr. S7) mogu povećati prinos po jedinici površine, ali samo do određene granice, nakon čega konkurencija za svetlost i hraniva može smanjiti efikasnost. Slično tome, Abuzar et al. (2011) navode da optimalna gustina setve može značajno povećati prinos, ali ne utiče značajno na sadržaj vlage u zrnu.

6.5. Korelaciona analiza



Slika 11. Matrica međusobnih korelacija ispitivanih parametara prinosa (levo) i morfoloških parametara (desno)

Koeficijent korelacije pruža uvid u jednostavan odnos između parametara, bilo u istom (pozitivna korelacija) ili suprotnom smeru (negativna korelacija), (Fadhli et al., 2023).

Analiza korelacije je pokazala da postoje značajne linearne pozitivne korelacije između parametra vlaga zrna i ulja (0,85), masa klipa i masa koćanke (0,75), vlaga zrna i proteina (0,74), dužina klipa i broj zrna u redu (0,71), visina biljke do metlice i visine do klipa (0,69).

Shengqun et al. (2023) dobili su značajne linearne pozitivne korelacije između mase suvog klipa i mase oklaska. U istraživanjima Balbaa et al. (2022) značajne pozitivne korelacije bile su između parametra dužina klipa i broj zrna u redu (0,76), prečnik klipa i broj redova zrna u klipu (0,42).

Tabela 47. Top 5 najjačih pozitivnih korelacija

Varijable	Koeficijent korelacije (r)
vlaga – ulja	0,85
MK – MKO	0,75
vlaga – protein	0,74
DK – BZR	0,71
VM – VK	0,69

MK – masa klipa; MKO – masa koćanke; dužina klipa; DK – dužina klipa; BZR – broj zrna u redu; VM – visina do metlice; VK – visina do klipa

Analiza korelacije je pokazala da postoje značajne linearne negativne korelacije između parametra protein i skrob (-0,92), vlaga zrna i skrob (-0,51), prečnik koćanke i visina do klipa (-0,44), broj zrna u klipu i test (-0,42), prečnik koćanke i vlaga (-0,38). Jaku negativnu korelaciju (-0,948)

između proteina i skroba potvrđena je i u istraživanjima (Popović et al., 2025). Takođe, identične rezultate za parametre protein i skrob dobili su Greveniotis et al. (2023), dok je za parametre vlaga i skrob bio pozitivan koeficijent korelacije.

Tabela 48. Top 5 najjačih negativnih korelacija

Varijable	Koeficijent korelacije (r)
protein – skrob	-0,92
vlaga – skrob	-0,51
PKO – VK	-0,44
BR – test	-0,42
PKO – vlaga	-0,38

PKO – prečnik koćanke; VK – visina do klipa; BR – broj redova zrna u klipu;

6.6. Razvoj prediktivnih modela prinosa pomoću mašinskog učenja

Modeli mašinskog učenja uspešno se primenjuju u predviđanju prinosa različitih useva, uključujući i kukuruz (Kumar et al., 2025; Mupangwa et al., 2020; Pipatsitee et al., 2022; Abbasi et al., 2025). Učinkovitost modela mašinskog učenja proizilazi iz njegove sposobnosti da nauče kompleksne i nelinearne odnose, upravljaju različitim tipovima varijabli i obrađuju velike skupove podataka (Mjolsness & DeCoste, 2001). Povezivanje heterogenih izvora podataka, uključujući klimatske, zemljišne, agronomске i satelitske, značajno je unapredila pouzdanost prediktivnih modela (Chawla & Singh, 2025).

6.6.1. Modeliranje prinosa analizom komponenti prinosa primenom mašinskog učenja

Modeli za predviđanje prinosa često se odlikuju ograničenom pouzdanošću, budući da na prinos značajno utiču promene meteoroloških uslova, fizičko-hemijskih osobina zemljišta, reakcija hibrida na različite agroekološke uslove, kao i interakcija ovih faktora. U poređenju sa tim osobine kvaliteta semena bile su lakše predvidljive jer su pokazale stabilnije odnose sa dostupnim promenljivim.

Interakcija mašinskog učenja sa velikim poljoprivrednim skupovima podataka ima veliki potencijal da otkrije obrasce, iako tačnost predviđanja često pati usled pojave velike varijabilnosti podataka (Li et al., 2019; Nielsen et al., 2010; Stratonovitch & Semenov, 2015). Međutim, kada se uključe podaci iz više fenofaza, dobija se potpunija slika razvoja kukuruza (Jiang et al., 2019; Feng et al., 2020).

Na osnovu predikcione analize, povećanje gustine setve nije imala značajan samostalan efekat na analizirane parametre (R^2 vrednosti su negativne ili blizu nule). ANOVA analizom je potvrđeno da S (gustina setve) ima statistički značajan uticaj na prinos. Međutim, regresiona analiza pokazuje da sama gustina setve ne može u potpunosti objasniti varijaciju prinosa među pojedinačnim uzorcima (nizak R^2), što ukazuje na značajan uticaj dodatnih faktora poput meteoroloških uslova i specifičnih svojstava hibrida.

Tabela 49. Rezultati regresione analize uticaja svih faktora (G, S i H) na parametre prinosa

Parametar	Model	R ²	CV Mean R ²
Vlaga	Linear Regression	0.8242	0.8773
Vlaga	Quadratic Linear Regression	0.7820	0.8570
Vlaga	Random Forest	0.7673	0.8391
Vlaga	XGBoost Regressor	0.7682	0.8405
Ulja	Linear Regression	0.7044	0.6637
Ulja	Quadratic Linear Regression	0.6839	0.6089
Ulja	Random Forest	0.6107	0.6111
Ulja	XGBoost Regressor	0.6786	0.6188
Protein	Linear Regression	0.4417	0.5048
Protein	Quadratic Linear Regression	0.2541	0.3910
Protein	Random Forest	0.3162	0.3904
Protein	XGBoost Regressor	0.2774	0.3757

Za prinos (PRI) ne postoji stabilan, prediktivno upotrebljiv model za prinos sa ovim ulaznim prediktorima (G, H, S).

Tabela 50. Rezultati regresione analize uticaja svih faktora (G, S i H) na prinos

Parametar	Model	R ²	CV Mean R ²
PRI	Linear Regression	0.0403	0.0355
PRI	Quadratic Linear Regression	0.1172	-0.0309
PRI	Random Forest	-0.0797	-0.1667
PRI	XGBoost Regressor	0.0689	-0.1135

PRI – prinos

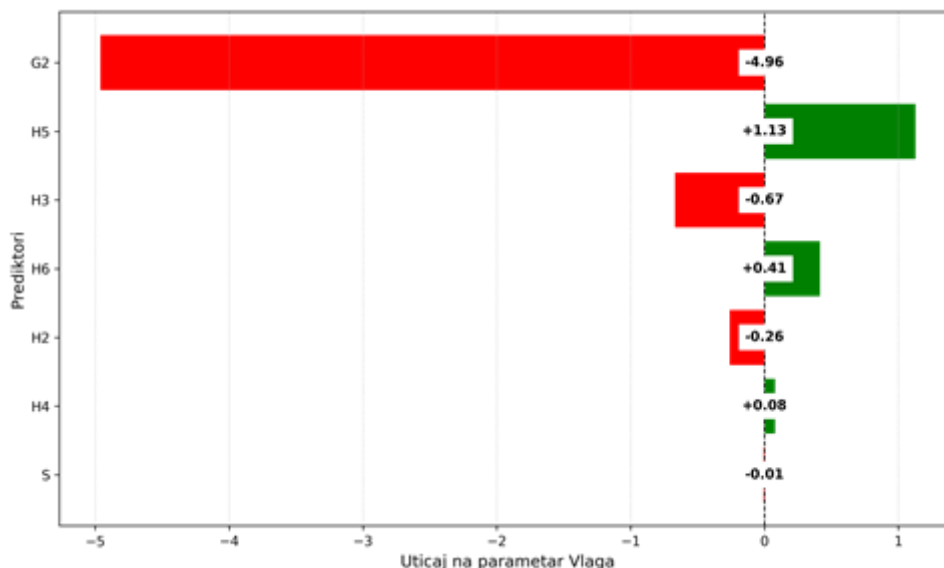
Predikciona analiza za skup podataka „Prinos“ vršena je u odnosu na tri prediktora (G, H, S), dok su kao ciljane veličine ispitane sve preostale numeričke veličine. Za dva parametra prinosa dobijeni su modeli visoke tačnosti i pouzdanosti, dok je jedan na granici tačnosti od 50 %. Među različitim testiranim modelima linearna regresija pružila je najtačnija predviđanja.

Model linearne regresije za vlagu u zavisnosti od odabranih prediktora postigao je R² od 0.82 na test skupu podataka, što ukazuje da oko 82 % varijabilnosti ciljne promenljive objašnjavaju

prediktori na neviđenim podacima. Unakrsna validacija je dala prosečan R^2 od 0.88, što ukazuje na izuzetne performanse generalizacije.

Regresiona jednačina:

$$\text{Vlaga} = 15.6219 - 4.9630 \cdot G2 - 0.2605 \cdot H2 - 0.6676 \cdot H3 + 0.0794 \cdot H4 + 1.1284 \cdot H5 + 0.4142 \cdot H6 - 0.0068 \cdot S$$



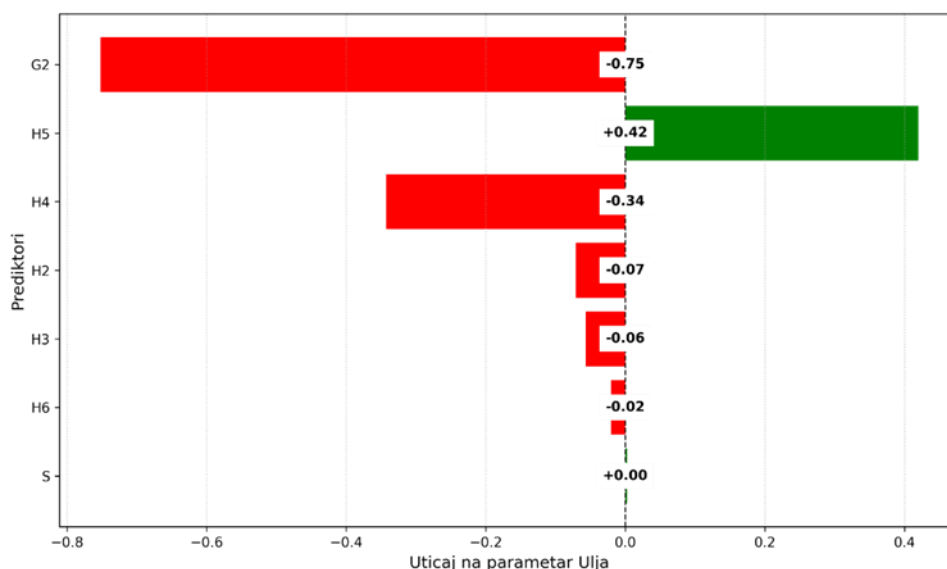
Grafikon 1. Vizuelni prikaz koeficijenata koji figurišu u regresionoj jednačini modela za parametar Vlaga

Posmatrajući najizraženije koeficijente u modelu, prelazak iz G1 u G2 povezan je sa prosečnim smanjenjem vrednosti vlage za približno 4.96 jedinica. Hibrid H5 pokazuje prosečno povećanje vlage za oko 1.13 jedinica, dok je hibrid H3 povezan sa prosečnim smanjenjem vrednosti vlage za oko 0.67 jedinica. Ovi rezultati ukazuju na to da godina proizvodnje i izbor hibrida mogu imati izraženiji statistički uticaj na predviđenu vrednost vlage u odnosu na ostale uključene prediktore.

Model linearne regresije za parametar ulje u zavisnosti od odabranih prediktora postigao je R^2 od 0.70 na test skupu podataka, što ukazuje da oko 70 % varijabilnosti ciljne promenljive objašnjavaju prediktori na neviđenim podacima. Unakrsna validacija je dala prosečan R^2 od 0.66, što ukazuje na dobre performanse generalizacije. Ovi rezultati zajedno pokazuju da model poseduje solidnu prediktivnu sposobnost i pouzdanost.

Regresiona jednačina:

$$\text{Ulje} = 4.5836 - 0.7521 \cdot G2 - 0.0712 \cdot H2 - 0.0569 \cdot H3 - 0.3430 \cdot H4 + 0.4199 \cdot H5 - 0.0207 \cdot H6 + 0.0025 \cdot S$$



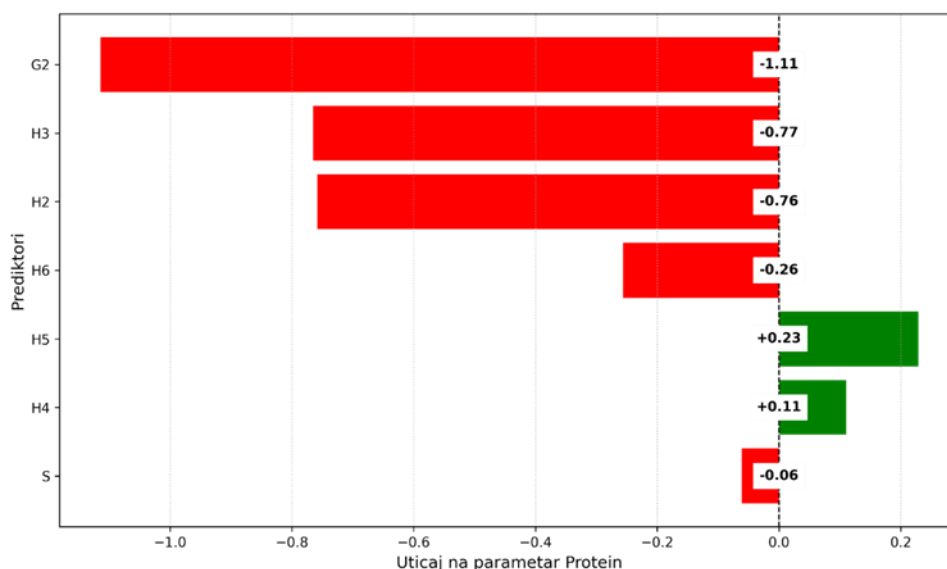
Grafikon 2. Vizuelni prikaz koeficijenata koji figurišu u regresionoj jednačini modela za parametar Ulja

Posmatrajući najizraženije koeficijente u modelu, prelazak iz G1 u G2 povezan je sa prosečnim smanjenjem vrednosti ulja za približno 0.75 jedinica. Hibrid H5 pokazuje prosečno povećanje vrednosti ulja za oko 0.42 jedinice, dok je hibrid H4 povezan sa prosečnim smanjenjem vrednosti ulja za oko 0.34 jedinice. Ovi rezultati ukazuju na to da godina izvođenja eksperimenta i izbor hibrida imaju izraženiji statistički uticaj na predviđenu vrednost ulja u odnosu na gustinu setve, što je u skladu sa faktorskom regresijom, potvrđujući da varijabilnost životne sredine i interakcija genotipa i životne sredine imaju značajno veći uticaj na sadržaj ulja i proteina u zrnu nego gustina setve (Katsenios et al., 2021; Moghaddam & Pourdad, 2011). Model linearne regresije za predviđanje ulja uporediv je sa rezultatima prijavljenim u modelima za predviđanje sadržaja sojinog ulja koji često pokazuju prediktivnu tačnost u rasponu od 0,6 do 0,8 pod sličnim pristupima modeliranju (Moghaddam & Pourdad, 2011; W. Li et al., 2022).

Model linearne regresije za parametar protein u zavisnosti od odabranih prediktora postigao je R^2 od 0.44 na test skupu podataka, što ukazuje da oko 44 % varijabilnosti ciljne promenljive objašnjavaju prediktori na neviđenim podacima. Unakrsna validacija je dala prosečan R^2 od 0.50, što ukazuje na umerene performanse generalizacije. Iako ovo nisu reprezentativne vrednosti kao u prethodna dva modela, vrednost unakrsne validacije i mala razlika u R^2 vrednostima između test skupa i skupova unakrsne validacije, ukazuju da bi i ovaj model potencijalno mogao da ima upotrebljivu, doduše limitiranu, vrednost.

Regresiona jednačina:

$$\text{Protein} = 10.9944 - 1.1142 \cdot G2 - 0.7580 \cdot H2 - 0.7651 \cdot H3 + 0.1104 \cdot H4 + 0.2289 \cdot H5 - 0.2561 \cdot H6 - 0.0611 \cdot S$$



Grafikon 3. Vizuelni prikaz koeficijenata koji figurišu u regresionoj jednačini modela za parametar Protein

Posmatrajući najizraženije koeficijente u modelu, prelazak iz G1 u G2 povezan je sa prosečnim smanjenjem vrednosti proteina za približno 1.11 jedinica. Hibrid H3 pokazuje prosečno smanjenje proteina za oko 0.77 jedinica, dok je hibrid H2 povezan sa smanjenjem vrednosti proteina za oko 0.77 jedinica. U slučaju hibrida H4 i H5 dolazi do povećanja proteina, i to značajno većoj meri kod H5 hibrida. Ovi rezultati ukazuju na to da godina izvođenja eksperimenta i izbor hibrida ponovo imaju izraženiji statistički uticaj na predviđenu vrednost proteina u odnosu na gustinu setve, što je u skladu sa nalazima koji pokazuju veoma značajne glavne i interakcione efekte godine i genotipa na sadržaj proteina u zrnju ($p < 0,01$) (Wang et al., 2023; Bocianowski et al., 2024). Prema ovom modelu, gustina setve ima marginalnu ulogu.

Prediktivna moć trećeg modela uporediva je sa prihvaćenim referentnim vrednostima na terenu (Voss-Fels et al., 2019). Iako nije dovoljno visok za precizno pojedinačno predviđanje sadržaja proteina zrna kukuruza, koristan je za pregled ili analizu trendova, posebno kada se koristi u oplemenjivanju ili agronomskoj optimizaciji. Analiza koeficijenata regresije u istraživanju King et al. (2024) u modelima koji su uključivali genotip i faktore životne sredine, otkriva da su vrednosti R^2 koeficijenata regresije u opsegu od 0,49, što je gotovo identično učinku rezultata predstavljenih u ovom radu.

Tri osobine zrna kukuruza (vlaga, sadržaj ulja i proteini) pouzdano su predviđene, dok modeli za druge osobine i ukupni prinos bili manje pouzdani. U ovom istraživanju najznačajniji prediktori vlažnosti zrna kukuruza su godina proizvodnje i gustina setve.

Iako mašinsko učenje nudi moćne alate za predviđanje prinosa semena, pouzdanost i dalje u velikoj meri zavisi od kvaliteta podataka, izbora modela i razumevanja osnovnih bioloških i ekoloških procesa. Da bi se poboljšala pouzdanost i tačnost modela za predviđanje prinosa, budući rad treba da se zasniva na kombinovanjumašinskog učenja sa stručnošću u oblasti i visokokvalitetnim, sveobuhvatnim podacima.

6.6.2. Analiza uticaja morfoloških i kvalitativnih osobina semena na prinos kroz primenu mašinskog učenja

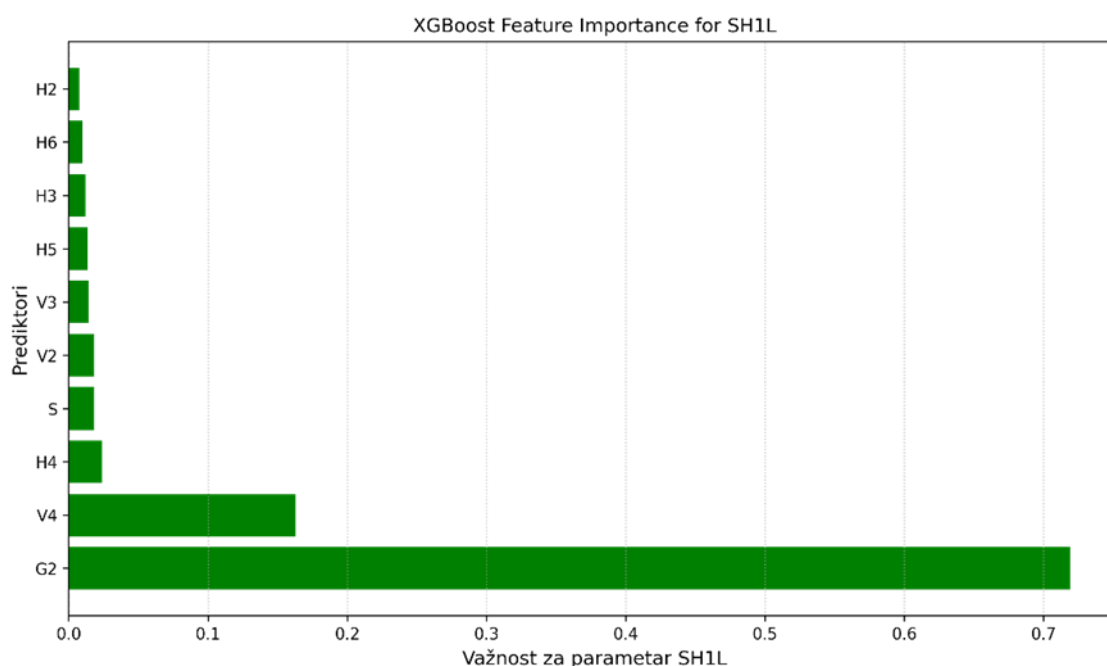
Uslovi spoljašnje sredine poput vlažnosti i temperature vazduha tokom vegetacionog perioda u velikoj meri utiču na početni sadržaj vlage u zrnu, zbog higroskopne prirode zrna kukuruza i njegove tendencije da apsorbuje ili gubi vlagu dok ne dostigne ravnotežu sa okolnim vazduhom (Sadak, 2022). Jiang et al. (2019) navode da vreme setve, izbor hibrida i gustina useva značajno utiču na dinamiku otpuštanja vlage iz zrna kukuruza. U Tabeli 51. prikazane su vrednosti za modele čiji je CV Mean R^2 bio ≥ 0.80 .

Tabela 51. Rezultati predikcione analize uticaja svih ispitivanih prediktora na morfološke parametre

Parametar	Model	R^2	CV Mean R^2
SMZ	Linear Regression	0.5745	0.6787
SMZ	Quadratic Linear Regression	0.8812	0.9278
SMZ	Random Forest	0.8759	0.9109
SMZ	XGBoost Regressor	0.8975	0.9303
VSMZ	Linear Regression	0.7973	0.8454
VSMZ	Quadratic Linear Regression	0.8448	0.8863
VSMZ	Random Forest	0.8239	0.8614
VSMZ	XGBoost Regressor	0.8625	0.8897
105 mz	Linear Regression	0.7908	0.8421
105 mz	Quadratic Linear Regression	0.8422	0.8843
105 mz	Random Forest	0.8191	0.8586
105 mz	XGBoost Regressor	0.8522	0.8882
130 mz	Linear Regression	0.7894	0.8397
130 mz	Quadratic Linear Regression	0.8400	0.8817
130 mz	Random Forest	0.8157	0.8550
130 mz	XGBoost Regressor	0.8516	0.8853
SH1L	Linear Regression	0.8606	0.8118
SH1L	Quadratic Linear Regression	0.9160	0.8757
SH1L	Random Forest	0.9093	0.8460
SH1L	XGBoost Regressor	0.9232	0.8764
RZ	Linear Regression	0.7751	0.7916
RZ	Quadratic Linear Regression	0.7868	0.7969
RZ	Random Forest	0.7084	0.7472
RZ	XGBoost Regressor	0.7976	0.8016

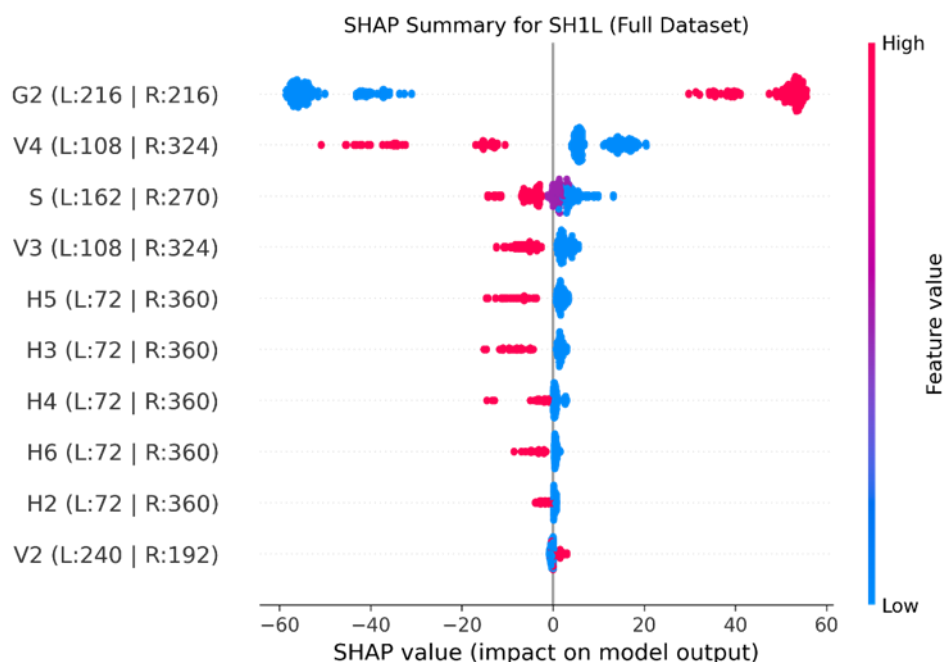
SMZ – masa svežeg zrna; VSMZ – masa vazdušno suvog zrna; 105mz - masa zrna sušena na 105⁰C; 130mz - masa zrna sušena na 130⁰C; SH1L – sadržaj hlorofila u prvom listu ispod klipa; RZ – randman zrna

Predikciona analiza za morfološke parametre vršena je u odnosu na četiri prediktora (G, H, S i V), dok su kao ciljane veličine ispitane sve preostale numeričke veličine. Za više ciljanih veličina dobijeni su modeli izuzetno visoke tačnosti i pouzdanosti. Kao najtačniji pristup, ispostavio se XGBoost model mašinskog učenja. Posebno se ističe model za parametar SH1L, čije vrednosti R^2 (0.92) i CV Mean R^2 (0.88) ukazuju na izuzetno preciznost i stabilnost. Pored parametra SH1L, postoji još pet parametara za koje su dobijeni modeli tačnosti viših od 80 % : SMZ, VSMZ, 105 mz, 130 mz, RZ. Pomenuti modeli su nadalje analizirani kako bi se shvatio uticaj prediktora na merene veličine.



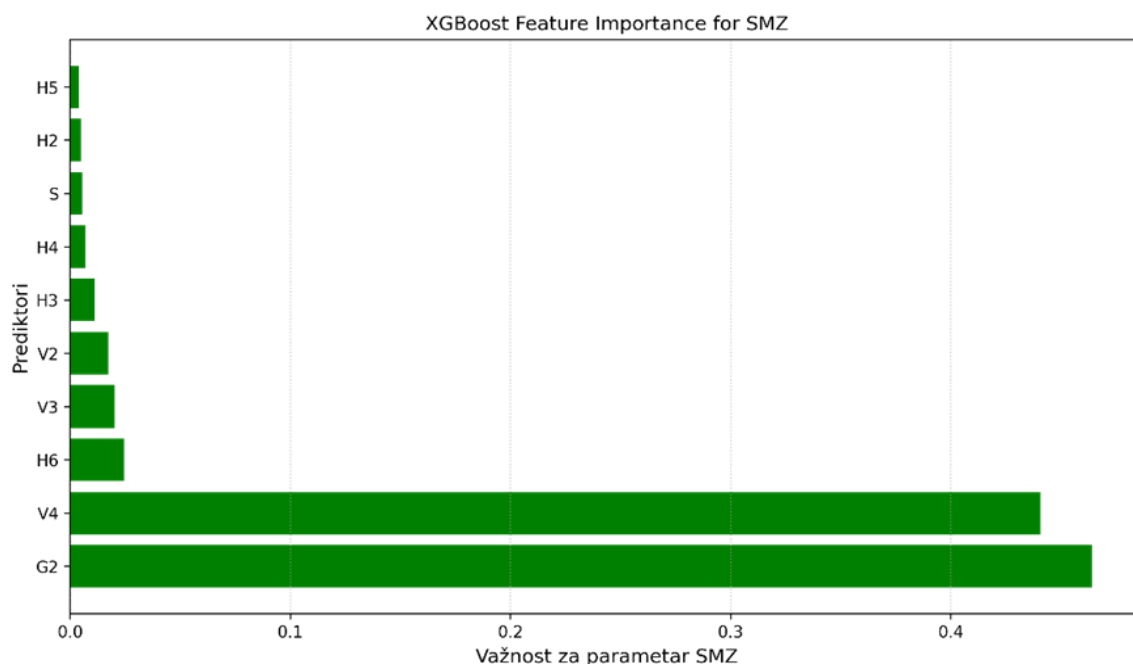
Grafikon 4. Značaj ispitivanih prediktora za SH1L (sadržaj hlorofila u prvom listu ispod klipa)

Najznačajniji prediktor za SH1L je ponovo G2 (druga proizvodna godina), koji ima dominantan doprinos modelu sa značajem većim od 0.7, što ukazuje da druga godina ogleda presudno utiče na tačnost predikcije ovog parametra. V4 (četvrti termin uzorkovanja) je drugi po važnosti prediktor, ali sa znatno manjim doprinosom u odnosu na G2. Ipak, njegov uticaj je značajan u kontekstu termina merenja. Svi ostali prediktori, uključujući hibride kukuruza (H) i gustine setve (S), imaju zanemarljiv uticaj na model i u ovom slučaju ne doprinose značajno predikciji SH1L.



Slika 12. SHAP analiza značaja ispitivanih prediktora za parametar SH1L (sadržaj hlorofila u prvom listu ispod klipa)

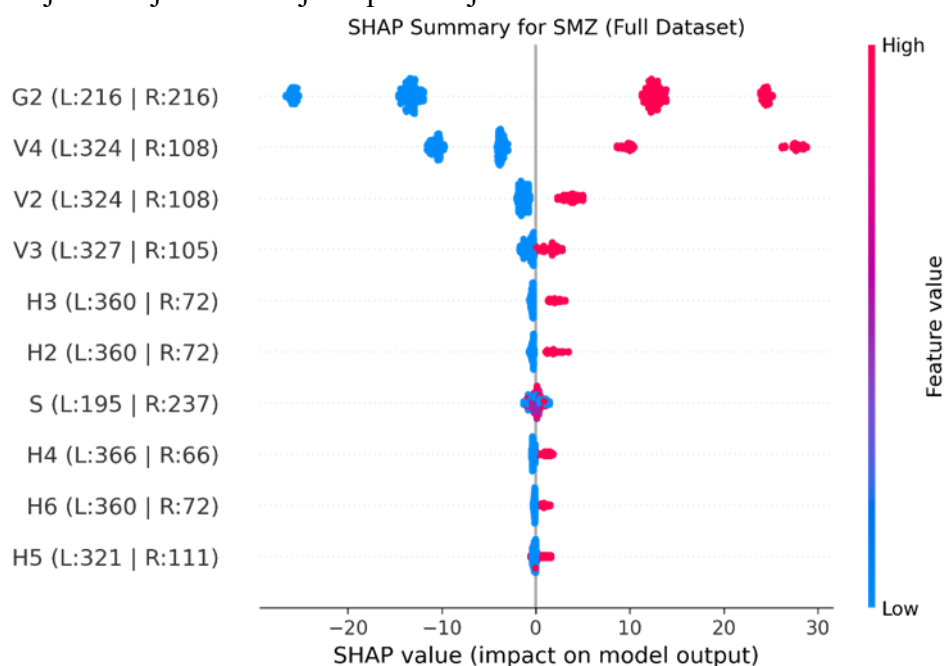
G2 (druga godina proizvodnje) ima najveći pozitivan uticaj na vrednost SH1L (sadržaj hlorofila u prvom listu ispod klipa), sa SHAP vrednostima koje dostižu i preko +50, što ukazuje da je prisustvo G2 ključni faktor u povećanju vrednosti ovog parametra. V4 (četvrti termin uzorkovanja) takođe ima značajan, ali negativan uticaj, po intenzitetu nešto manji od G2. Njegove SHAP vrednosti su jasno pomerene ka levoj strani, što potvrđuje doprinos smanjenju SH1L. Ovo je jedini slučaj gde gustina setve (S) pokazuje relativno značajan uticaj, koji je dvosmeran i umeren, sa nešto većim doprinosom smanjenju parametra SH1L. V3 (treći termin uzorkovanja) ima negativan uticaj uporediv sa faktorom S. Prediktori H3-H5 (hibrid ZP 4790 i ZP5550) imaju sličan negativan uticaj, dok su V2 (drugi termin uzorkovanja) i H2 (hibrid ZP 4242) praktično zanemarljivi u odnosu na ostale.



Grafikon 5. Značaj ispitivanih prediktora za SMZ (masa svežih zrna)

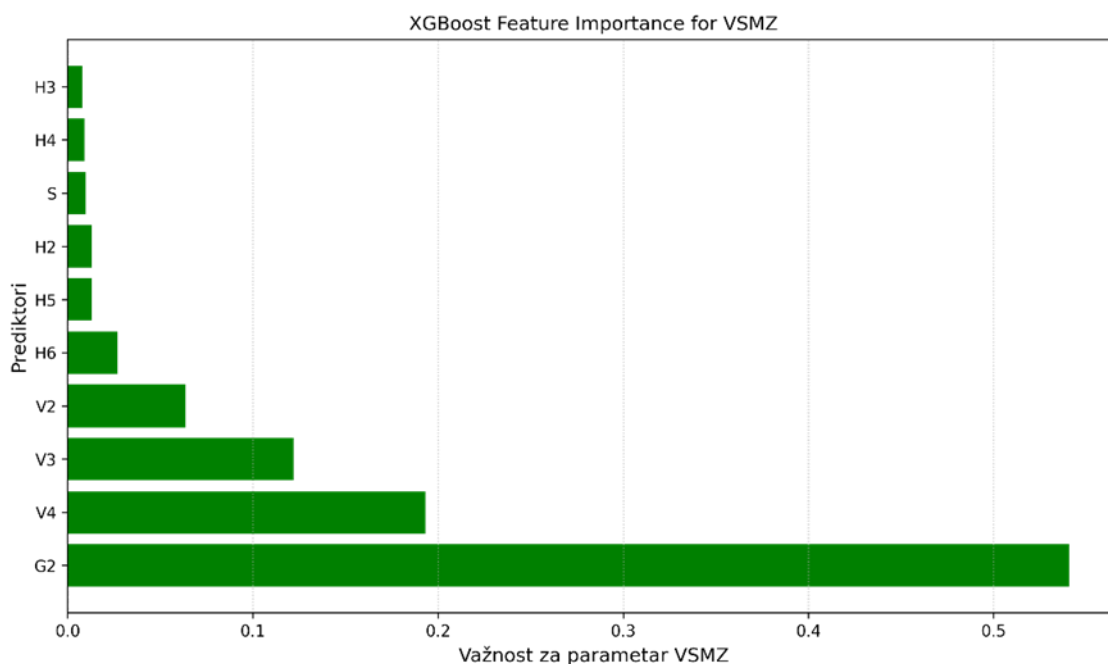
Najznačajniji prediktori su G2 (druga godina proizvodnje) i V4 (četvrti termin uzorkovanja), sa gotovo jednakim doprinosom tačnosti modela (iznad 0.45), što ukazuje da faktor G2 i vreme uzorkovanja (V4) igraju presudnu ulogu u predikciji vrednosti SMZ (važnost od preko 90 %). Godina proizvodnje pokazala se kao ključni faktor koji utiče na dinamiku otpuštanja vlage iz zrna u svim prediktivnim modelima. Kako u poljoprivrednom inženjerstvu, tako i u prehrambenoj nauci, razumevanje kinetike otpuštanja vlage iz zrna neophodno je za poboljšanje kvaliteta proizvoda. Kao takvo, mašinsko učenje se sve više koristi za procenu sadržaja vlage u zrnju kukuruza (Jjagwe et al., 2023; Yang et al., 2025) i određivanja optimalnog vremena berbe, kao ključnog koraka za poboljšanje kvaliteta semena.

H6 (hibrid ZP 5601) i V3 (treći termin uzorkovanja) imaju manji, ali vidljiv doprinos, što ih čini sekundarnim faktorima u modelu. Svi ostali prediktori imaju zanemarljivu važnost i njihov uticaj na predikciju SMZ je zanemarljiv u poređenju sa G2 i V4.



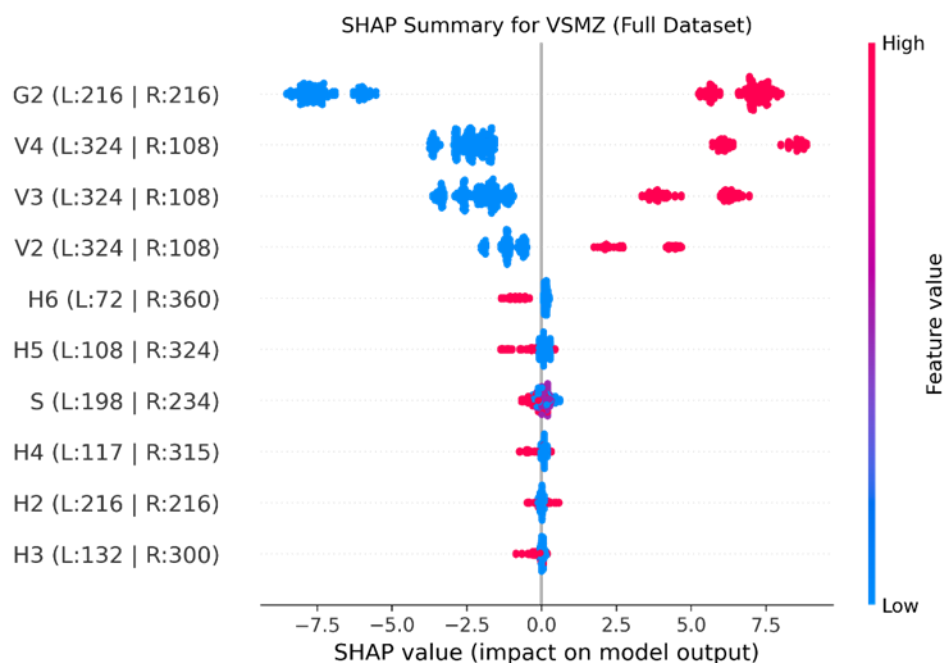
Slika 13. SHAP analiza značaja prediktora za parametar SMZ (masa svežih zrna)

G2 (druga godina proizvodnje) ima najizraženiji pozitivan uticaj na vrednost SMZ (masa svežih zrna). Kod većine uzoraka doprinosi značajnom povećanju vrednosti, sa SHAP vrednostima koje dosežu oko + 50, što ukazuje na izuzetno snažan efekat. V4 (četvrti termin uzorkovanja) takođe doprinosi povećanju parametra, ali u manjoj meri u poređenju sa G2. Njegov doprinos se kreće do oko + 20, što ga čini drugim po značaju faktorom. V2 (drugi termin uzorkovanja) i V3 (treći termin uzorkovanja) imaju slabe pozitivan doprinose SMZ. Faktor S (gustina setve) pokazuje dvosmeran uticaj, sa SHAP vrednostima distribuiranim i levo i desno, što ukazuje da različite vrednosti gustine mogu i povećavati i smanjivati SH1L. Srednje vrednosti S uglavnom se nalaze na nuli. Ostali prediktori imaju zanemarljiv uticaj.



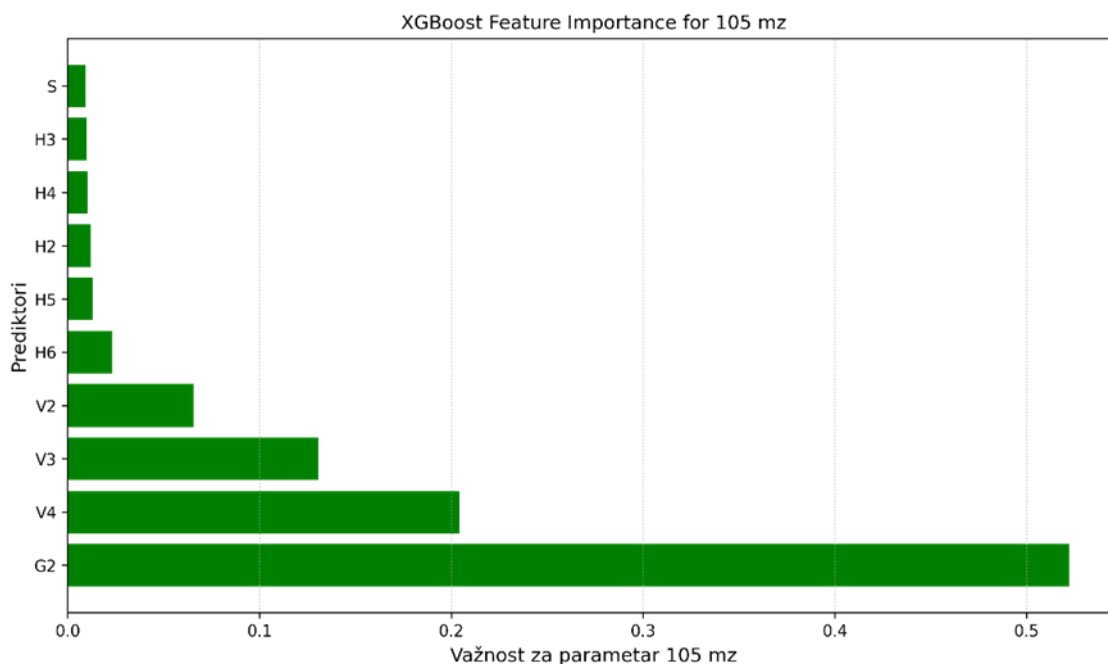
Grafikon 6. Značaj ispitivanih prediktora za VSMZ (masa vazdušno suvog zrna)

Najznačajniji prediktor za parametar VSMZ (masa vazdušno suvog zrna) je faktor G2 (druga godina proizvodnje), koji ima najveći doprinos tačnosti modela sa važnošću većom od 0.5, što ukazuje na dominantan uticaj druge godine proizvodnje. V4 (četvrti termin uzorkovanja) je drugi po značaju vremenski prediktor, sa umerenim doprinosom, dok V3 (treći termin uzorkovanja) i V2 (drugi termin uzorkovanja) takođe doprinose modelu, ali u manjoj meri. Svi ostali prediktori, uključujući S (gustina setve) i H (hibrid) imaju minimalan značaj u ovom modelu i ne doprinose značajno vrednosti parametra VSMZ.



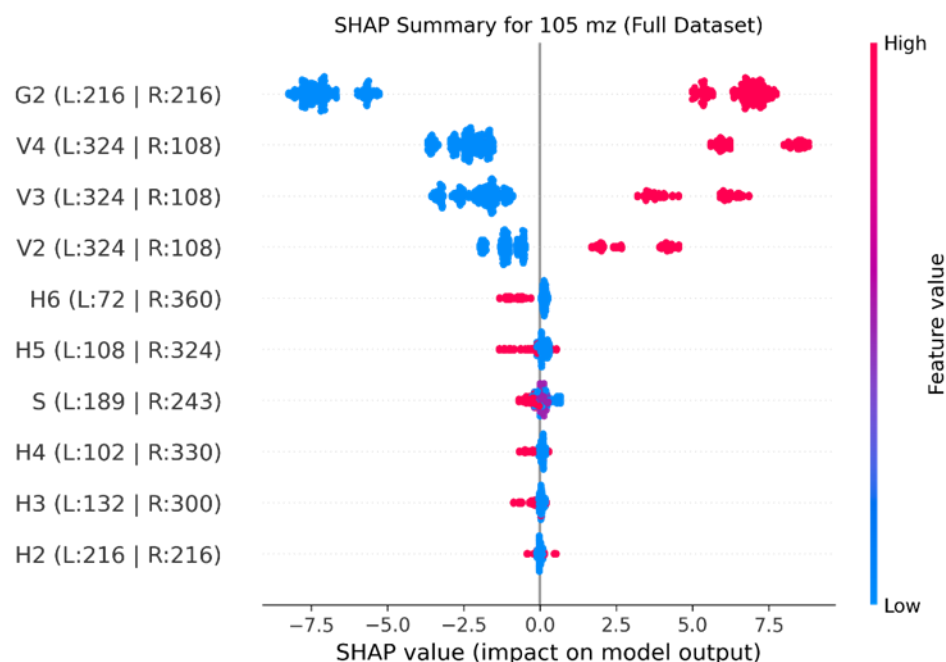
Slika 14. SHAP analiza značaja ispitivanih prediktora za parametar VSMZ (masa vazdušno suvog zrna)

Faktor G2 (druga godina proizvodnje) ima izrazito pozitivan uticaj na vrednost parametra VSMZ (masa vazdušno suvog zrna). Od vremenskih prediktora, V4 (četvrti termin uzorkovanja) ima najjači pozitivan uticaj na parametar VSMZ, dok i V3 (treći termin uzorkovanja) i V2 (drugi termin uzorkovanja) pokazuju umeren doprinos povećanju. Ovaj trend je u skladu sa prethodnim opažanjima i ukazuje na vremensku komponentu kao važan faktor. Hibrid H6 (ZP 5601) ima relativno izražen negativan uticaj, smanjujući vrednost VSMZ. Kod hibrida H5 (ZP 5550) se u pojedinim slučajevima beleži pozitivan doprinos, što ukazuje na potencijalan pozitivan efekat. Faktor S (gustina setve) ima neutralan uticaj u većini slučajeva, sa blagim varijacijama u oba smera, što može ukazivati na kompleksne nelinearne odnose. Ostali prediktori su zanemarljivi.



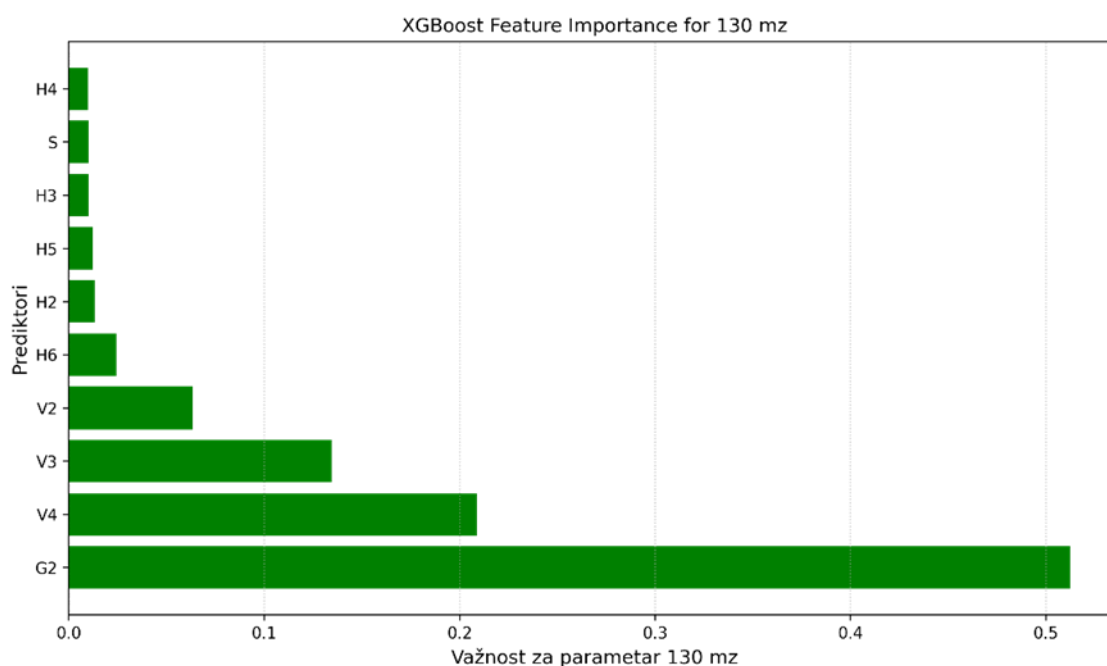
Grafikon 7. Značaj ispitivanih prediktora za 105 mz (masa zrna sušenih na 105 °C)

Najznačajniji prediktori su vezani za godinu proizvodnje i vreme uzorkovanja. Faktor G2 (druga godina proizvodnje) je ponovo najznačajniji prediktor koji doprinosi tačnosti modela, dok je drugi najbitniji prediktor V4 (četvrti termin uzorkovanja). U izvesnoj meri doprinose i prediktori V3 (treći termin uzorkovanja) i V2 (drugi termin uzorkovanja), dok prediktori hibrida i gustine setve imaju zanemarljiv značaj u odnosu na prethodno pomenute.



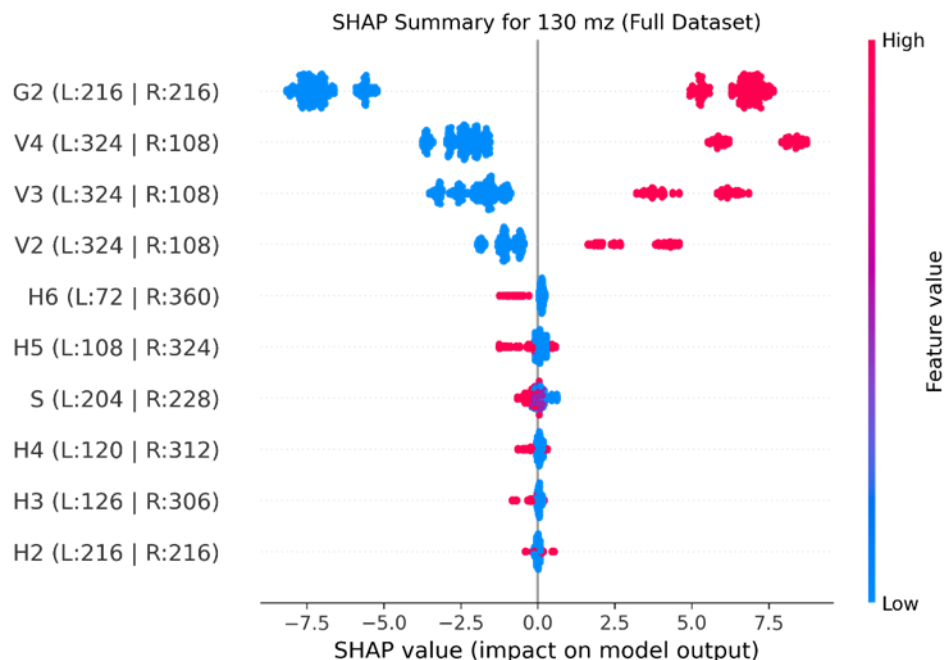
Slika 15. SHAP analiza značaja ispitivanih prediktora za parametar 105 mz (masa zrna sušenih na 105⁰C)

Prisustvo prediktora G2 (druga godina proizvodnje) jasno je dovelo do povećanja vrednosti 105 mz (masa zrna sušenih na 105⁰C). SHAP vrednosti za G2 su pozitivne i kreću se u intervalu približno od + 5 do + 7.5, što ukazuje na konzistentan pozitivan uticaj druge godine na ispitivani parametar. Prediktori V4 (četvrti termin uzorkovanja), V3 (treći termin uzorkovanja) i delimično V2 (drugi termin uzorkovanja) pokazuju tendenciju ka povećanju vrednosti mase zrna sušenih na 105⁰C. Najveći doprinos se primećuje kod V4, koji ima najizraženije pozitivne SHAP vrednosti. V4 dominantno pozitivan uticaj. V3 umeren pozitivan doprinos. V2 blag uticaj, bliži neutralnom. H6 (ZP 5601) ima jasan negativan uticaj na vrednost ispitivanog parametra. H5 (ZP 5550) pokazuje varijabilan efekat, sa pojedinim uzorcima kod kojih doprinosi povećanju, dok kod drugih smanjuje vrednost mase zrna sušenih na 105⁰C. Faktor S (gustina setve) doprinosi i povećanju i smanjenju parametra masa zrna sušenih na 105⁰C.



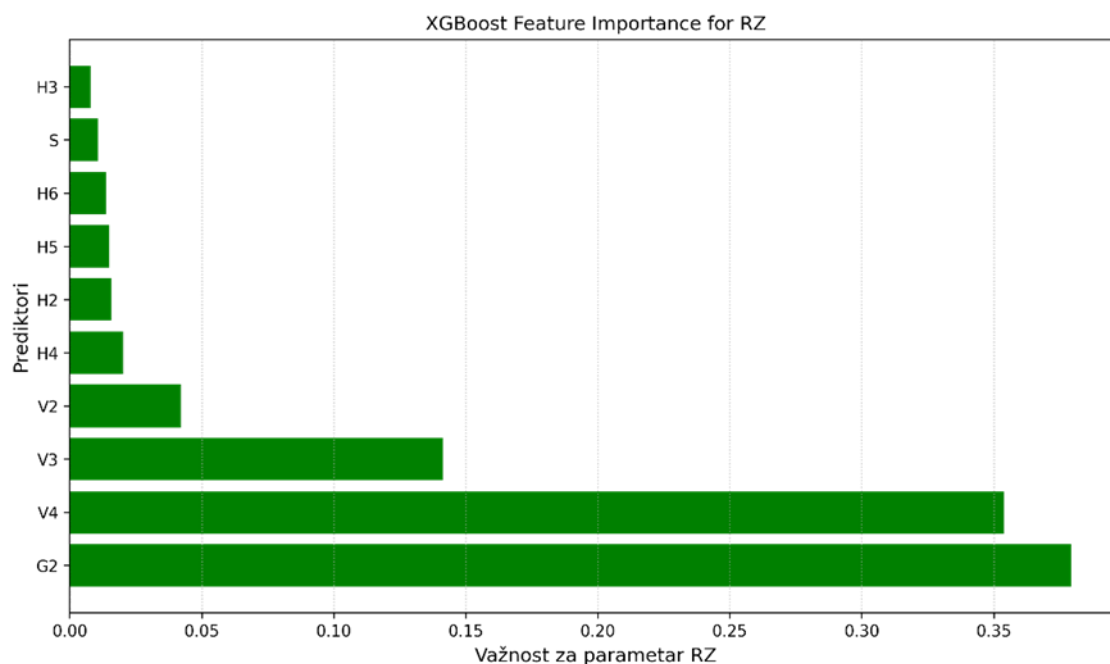
Slika 8. Značaj ispitivanih prediktora za 130 mz (masa zrna sušenih na 130⁰C)

Najznačajniji prediktori za parametar 130 mz (masa zrna sušenih na 130⁰C) su povezani sa godinom proizvodnje i vremenom uzorkovanja. Prediktor G2 (druga godina proizvodnje) pokazuje najveći doprinos tačnosti modela, dok je V4 (četvrti termin uzorkovanja) drugi po značaju. Umeren doprinos imaju i V3 (treći termin uzorkovanja) i V2 (drugi termin uzorkovanja), dok hibridi kukuruza (H) i gustina setve (S) imaju zanemarljiv uticaj u poređenju sa pomenutim faktorima.



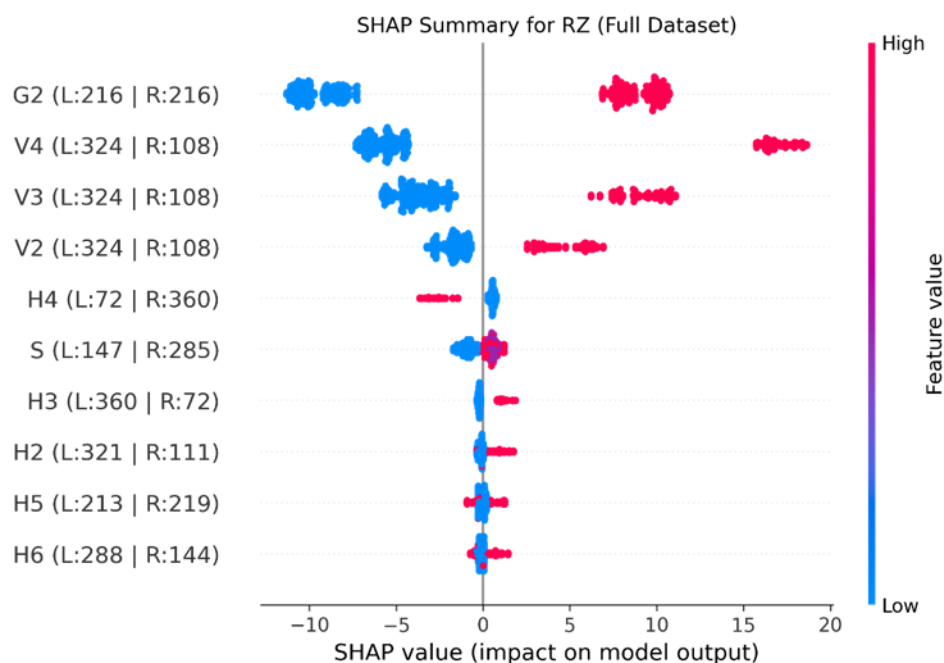
Slika 16. SHAP analiza značaja ispitivanih prediktora za parametar 130 mz (masa zrna sušenih na 130⁰C)

Faktor G2 (druga godina proizvodnje) ima najizraženiji pozitivan uticaj na vrednost parametra 130 mz (kod većine uzoraka doprinosi povećanju u rasponu od + 5 do + 7.5 jedinica). Od vremenskih prediktora, V4 (četvrti termin uzorkovanja) ima najveći uticaj i u većini slučajeva doprinosi povećanju parametra. V3 (treći termin uzorkovanja) i V2 (drugi termin uzorkovanja) imaju umeren pozitivan uticaj, ali znatno manji od V4. H6 hibrid (ZP 5601) ima negativan uticaj na parametar 130 mz, dok kod H5 (ZP 5550) postoji dvosmeran efekat, sa nešto većim negativnim doprinosom vrednosti parametra 130 mz. Faktor S (gustina setve) pokazuje nelinearan i slab uticaj, čije više vrednosti doprinose smanjenju parametra 130 mz.



Grafikon 9. Značaj ispitivanih prediktora za RZ (randman zrna)

Najznačajniji prediktori za parametar RZ (randman zrna) su G2 (druga godina proizvodnje) i V4 (četvrti termin uzorkovanja), koji imaju gotovo identične vrednosti važnosti i zajedno čine više od 70% ukupne važnosti modela. To ukazuje da je druga godina proizvodnje (G2) i vreme uzorkovanja (V4) ključni faktori u predikciji ovog parametra. V3 (treći termin uzorkovanja) ima umeren doprinos modelu, dok je uticaj prediktora V2 (drugi termin uzorkovanja) znatno manji, ali i dalje prisutan. Faktor hibrid (H) i gustina setve (S) imaju minimalan doprinos, što znači da oni igraju zanemarljivu ulogu u formiranju modela za ovaj parametar u poređenju sa vremenskim faktorima.



Slika 17. SHAP analiza značaja ispitivanih prediktora za parametar RZ (randman zrna)

Druga godina proizvodnje (G2) ima najizraženiji pozitivan uticaj na vrednost parametra RZ (randman zrna) doprinosi povećanju parametra i SHAP vrednosti dostižu i do + 20, što ukazuje na

veoma jak uticaj ovog prediktora. Vremenski prediktori V4 (četvrti termin uzorkovanja), V3 (treći termin uzorkovanja) i V2 (drugi termin uzorkovanja) takođe doprinose povećanju parametra RZ, pri čemu je uticaj redom opadajući V4 ima snažan pozitivan uticaj, V3 umeren, V2 nešto slabiji, ali i dalje značajan. H4 hibrid (ZP 4007) pokazuje negativan uticaj, odnosno njegovo prisustvo smanjuje vrednost parametra RZ. Više vrednosti faktora S (gustina setve) povećavaju vrednost parametra RZ, ali je doprinos ovog i preostalih prediktora nizak.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dvogodišnjih ispitivanja uticaja gustine setve, godine proizvodnje na produktivnu sposobnost 6 hibrida kukuruza može se zaključiti sledeće:

Tokom perioda ontogeneze kukuruza meteorološki uslovi u godinama ispitivanja mogu se opisati kao nepovoljnim. Količina i raspored padavina se razlikovao u obe ispitivane godine. Ukupna količina padavina za vegetacioni period u 2023. godini bila je 401,7 mm, dok za 2024. zabeleženo je nešto manje padavina i to 344,4 mm. Tokom kritičnog perioda za kukuruz povoljniji raspored padavina bio je u 2023. godini.

Na visinu biljke do prvog klipa i visinu do metlice najizraženiji uticaj imala je godina proizvodnje. Gustina setve i izbor hibrida pokazali su značajan uticaj. U 2023. godini najmanja prosečna visina do metlice zabeležena je kod gusine S1 (70 x 35 cm) 256,72 cm, takođe identičan slučaj je i sa prosečnom visinom do klipa koja je bila najmanja kod gustine 70 x 35 cm (S1) i iznosila 110,34 cm. Najmanja visina u 2024. godini zabeležena je u drugoj varijanti gustine S4 (70 x 20,5 cm) 242,85 cm, dok je najmanja visina do prvog klipa bila u prvoj varijanti gustine S1 (70 x 35 cm) i iznosila je 91,89 cm.

Godina proizvodnje ispoljila je značajan uticaj na masu svežeg i suvog prvog lista ispod klipa, takođe gustina setve i hibridi pokazali su značajan uticaj kako na masu svežeg i suvog prvog lista ispod klipa, tako i na sadržaj hlorofila prvog lista ispod klipa. Posebne razlike za parametre masa svežeg i suvog prvog lista ispod klipa istakle su se između gustina 70 x 35 cm (40,816 biljaka ha⁻¹) i 70 x 14,5 cm (98,522 biljke ha⁻¹).

Na masu svežih i suvih listova omotača klipa (komušina) najviše je uticao faktor godina proizvodnje, dok manji uticaj imali su gustina setve i hibridi. Posebne razlike pojavile su se između gustina S1 i S7 (70 x 35 cm i 70 x 14,5 cm) i hibrida H1 (ZP 4708) i H6 (ZP 5601).

Kao i na prethodne morfološke parametre tako i na masu svežih i masu suvih zrna godina proizvodnje imala je najizraženiji uticaj ($p < 0.0001$). Nasuprot tome, faktori S (gustina setve) i H (hibrid) nisu pokazali statistički značajne razlike ($p > 0.05$).

Na lisnu površinu prvog lista ispod klipa i lisnu površinu listova omotača klipa (komušina) faktor G (godina proizvodnje) pokazao je vrlo značajan uticaj na oba ispitivana parametra, gde su p-vrednosti bile ispod 0.0001. Gustina setve (S) nije imala značajan uticaj na parametar LP1L (lisna površina prvog lista ispod klipa), dok je na LPKS (lisna površina listova omotača klipa-komušina) imala statistički značajan uticaj. Takođe, hibrid (H) imao je statistički značajan efekat na oba parametra (LP1L i LPKS). Za parametar lisna površina prvog lista posebne razlike su se ispoljile između hibrida H1 (ZP 4708) i H5 (ZP 5550), H1 (ZP 4708) i H6 (ZP 5601), dok za lisnu površinu komušine značajne razlike zabeležene su između hibrida H1 (ZP 4708) i H2 (ZP 4242), H1 (ZP 4708) i H6 (ZP 5601).

Gustina setve i izbor hibrida pokazali statistički značajan efekat na dužina klipa. Najizraženiji efekat na ovaj ispitivani parametar zabeležen je između hibrida H4 (ZP 4007) i H5 (ZP 5550).

Morfološki parametar poput broj redova zrna u klipu je stabilna genetska osobine koja se manje menja pod uticajem faktora okoline, s toga nema značajnih razlika između godina proizvodnje. Analiza *Kruskal-Wallis*-ovim testom ukazala je na vrlo značajan uticaj faktora H (hibrida) na parametar broj redova zrna u klipu, dok na broj zrna u redu imao statistički značajan uticaj. Gustina

setve (S) pokazala je statistički značajan efekat na BZR, dok na parametar BR nije imala značajan uticaj.

Na masu klipa, masu oklaska (koćanke) i masu 1.000 zrna godina proizvodnje (G) je vrlo značajno uticala. Gustina setve (S) imao je statistički značajan uticaj na ispitivane parametre. Hibrid (H) je statistički vrlo značajno uticao na parametre masa koćanke i masa 1.000 zrna, dok na masu klipa nije pokazao statističku značajnost.

Godina proizvodnje pokazala je vrlo značajan uticaj na prečnik klipa i prečnik oklaska (koćanka). Gustina setve nije pokazala značajan efekat na ove parametre, dok hibrid je značajno uticao na prečnik koćanke. Značajne razlike za prečnik koćanke istakle su se između hibrida ZP 4242 i ZP 5601 (H2 $\times$ H6).

Vrlo značajan uticaj na sadržaj vode, proteina i skroba u zrnu imali su faktori godina proizvodnje i hibrid. Gustina setve nije uticala na sadržaj vlage, dok na sadržaj proteina i skroba imala statistički značajan uticaj. Analiza *Kruskal-Wallis*-ovim testom ukazala je na vrlo značajan uticaj faktora godina proizvodnje. Hibrid je značajno uticao, dok gustina setve nije pokazala statističku značajnost na sadržaj ulja u zrnu kukuruza.

Godina proizvodnje vrlo značajno uticala je na randman zrna i sadržaj vode u zrnu, dok na prinos nije imala statistički značajan uticaj. Gustina setve nije pokazala značajan uticaj na randman zrna, dok na prinos imala je statistički vrlo značajan uticaj. Faktor hibrid na randman zrna nije pokazao statističku značajnost, za razliku od prinosa gde je hibrid značajno uticao.

Koeficijenti korelacije ukazali su na značajnu pozitivnu međuzavisnost između sadržaja vlage u zrnu i sadržaj ulja ($r=0,85$), mase klipa i mase koćanke ($r=0,75$), sadržaja vlage u zrnu i proteina ($r=0,74$), dužine klipa i broj zrna u redu ($r=0,71$), visine do metlice i visine do klipa ($r=0,69$).

Svi ispitivani hibridi ostvarili su prosečne prinose u rasponu od 7,79 do 9,59 t ha⁻¹, uz CV manji od 25 %, što ukazuje na stabilnost prinosa. Hajveći prosečni prinos ostvario je hibrid ZP 5550 (H5) sa 9,59 t ha⁻¹, pri gustini setve S1 (70 $\times$ 35 cm, odnosno 40.816 biljaka/ha), dok najmanji prinos (7,79 t ha⁻¹) imao je hibrid ZP 4708 (H1). Hibrid H5 (ZP 5550) pokazao je visok proizvodni potencijal tokom obe ispitivane godine i u svim varijantama gustine setve, što ga svrstava među pogodne hibride za proizvodnju u različitim agroekološkim uslovima.

Ovim istraživanjem utvrđeno je da sadržaj vlage u semenu predstavlja ključni parametar u predviđanju obrazaca prinosa kukuruza, pri čemu godina proizvodnje ima dominantan, a gustina setve manji uticaj. Ovaj zaključak potkrepljen je metodama regresije i mašinskog učenja, koje su istakle njegovu ulogu u razlikovanju između uzoraka.

Različiti modeli mašinskog učenja pokazali su značajnu varijabilnost u zavisnosti od odabranih prediktora. Dobijeni su pouzdani modeli predviđanja za odnos između sadržaja vlage, ulja i proteina u odnosu na faktore G, H i S. Rezultati su pokazali visok nivo prediktivne tačnosti za sadržaj vlage i ulja, ističući važnost godine proizvodnje i izbor hibrida.

Mašinsko učenje primenjeno u okviru ovog istraživanja usmereno je na analizu sadržaja vlage u zrnu kukuruza kao parametar selekcije, sa ciljem unapređenja i ubrzanja postupaka selekcije i identifikacije genotipova sa većom otpornošću na nepovoljne klimatske uslove i stabilnijim prinosom. S druge strane, praktični značaj za poljoprivredne proizvođače uključujući mogućnost predviđanja ishoda proizvodnje, pravilnog izbora hibrida za određene gustine setve, prilagođavanja promenljivim meteorološkim uslovima i poboljšanja ukupne efikasnosti i kvaliteta proizvodnje kukuruza.

8. LITERATURA

- Abbasi, M., Váz, P., Silva, J., & Martins, P. (2025). Machine learning approaches for predicting maize biomass yield: leveraging feature engineering and comprehensive data integration. *Sustainability*, 17(1), 256. <https://doi.org/10.3390/su17010256>
- Abuzar, M.R., Sandozai, G.U., Baloch, A.A., Shah, I.H., Javaid, T., Hussain, T. (2011): Effect of plant population densities on yield of maize. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(4), 692-695.
- Ahmadi, M., Wiebold, W. J., & Beuerlein, J. E. (1993). Grain yield and mineral composition of corn as influenced by endosperm type and nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24(17–18), 2409–2426. <https://doi.org/10.1080/00103629309368964>
- Ai, Y., & Jane, J. (2016). Macronutrients in corn and human nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 581–598. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12192>
- Amanullah, N., & Shah, P. (2009). Timing and rate of nitrogen application influence grain quality and yield in maize planted at high and low densities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(1), 21–29. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3769>
- Amin, F., Shah, F., Ullah, S., Shah, W., Ahmed, I., Ali, B., Khan, A. A., Malik, T., & Mustafa, A. E. M. A. (2024). The germination response of *Zea mays* L. to osmotic potentials across optimal temperatures via halo-thermal time model. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53129-6>
- Andriazzi, C. V. G., Rocha, D. K., & Custódio, C. C. (2023). Determination of the physiological quality of corn seeds by infrared equipment. *Journal of Seed Science*, 45. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v45265346>
- Armaković, S., & Armaković, S. (2025a). Recent developments in atomistic modeling: machine learning models and datasets, methods, software releases, and scientific events. *AIDASCO Reviews*, 3(1), 21–35. <https://doi.org/10.59783/aire.2025.79>
- Armaković, S., & Armaković, S. J. (2022). Atomistica.online – web application for generating input files for ORCA molecular modelling package made with the Anvil platform. *Molecular Simulation*, 49(1), 117–123. <https://doi.org/10.1080/08927022.2022.2126865>
- Armaković, S., & Armaković, S. J. (2024). Online and desktop graphical user interfaces for xtb programme from atomistica.online platform. *Molecular Simulation*, 50(7–9), 560–570. <https://doi.org/10.1080/08927022.2024.2329736>
- Armaković, S., & Armaković, S. J. (2025). Predicting properties of Imidazolium-Based ionic liquids via atomistica online: machine learning models and web tools. *Computation*, 13(9), 216. <https://doi.org/10.3390/computation13090216>
- Balbua, M. G., Osman, H. T., Kandil, E. E., Javed, T., Lamloom, S. F., Ali, H. M., Kalaji, H. M., Wróbel, J., Telesiński, A., Brysiewicz, A., Ghareeb, R. Y., Abdelsalam, N. R., & Abdelghany, A. M. (2022). Determination of morpho-physiological and yield traits of maize inbred lines (*Zea mays* L.) under optimal and drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.959203>
- Barrera-Arellano, D., Badan-Ribeiro, A. P., & Serna-Saldivar, S. O. (2018). Corn oil: composition, processing, and utilization. In *Elsevier eBooks* (pp. 593–613). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811971-6.00021-8>

- Barutcular, C., Dizlek, H., El-Sabagh, A., Sahin, T., Elsabagh, M., & Islam, S. (2016). Nutritional quality of maize in response to drought stress during grain-filling stages in mediterranean climate condition. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(6), 644–652. [https://doi.org/10.18006/2016.4\(issue6\).644.652](https://doi.org/10.18006/2016.4(issue6).644.652)
- Basso, B., & Liu, L. (2018). Seasonal crop yield forecast: Methods, applications, and accuracies. In *Advances in agronomy* (pp. 201–255). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.11.002>
- Bavec, F., & Bavec, M. (2002). Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yield of early maturing maize cultivars (FAO 100–400). *European Journal of Agronomy*, 16(2), 151–159. [https://doi.org/10.1016/s1161-0301\(01\)00126-5](https://doi.org/10.1016/s1161-0301(01)00126-5)
- Becker-Reshef, I., Vermote, E., Lindeman, M., & Justice, C. (2010): A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 114(6), 1312–1323. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.010>
- Bellasio, C., Stuart-Williams, H., Farquhar, G. D., & Flexas, J. (2023). C4 maize and sorghum are more sensitive to rapid dehydration than C3 wheat and sunflower. *New Phytologist*, 240(6), 2239–2252. <https://doi.org/10.1111/nph.19299>
- Biberdzic, M., Barac, S., Lalevic, D., Stojiljkovic, J., Knezevic, B., & Bekovic, D. (2018). Influence of soil type and compaction on maize yield. *Journal of Agricultural Sciences Belgrade*, 63(4), 323–334. <https://doi.org/10.2298/jas1804323b>
- Biberdžić, M., Marković, B., Lazović, D., Barać, S., Stojković, S. (2003). Rezultati istraživanja nekih NS i ZP hibrida kukuruza. *Selekcija i semenarstvo*, 1-4, 57-60.
- Biberdzic, M., Stojiljkovic, J., Barac, S., Djikic, A., Prodanovic, D., & Lalevic, D. (2018). The influence of hybrids and sowing term on yield and dry down of corn grain. *Genetika*, 50(3), 959–970. <https://doi.org/10.2298/gensr1803959b>
- Biberdzic, M., Stojiljkovic, J., Barac, S., Djikic, A., Prodanovic, D., & Lalevic, D. (2018). The influence of hybrids and sowing term on yield and dry down of corn grain. *Genetika*, 50(3), 959–970. <https://doi.org/10.2298/gensr1803959b>
- Bocianowski, J., Nowosad, K., & Rejek, D. (2024). Genotype-environment interaction for grain yield in maize (*Zea mays* L.) using the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. *Journal of Applied Genetics*, 65(4), 653–664. <https://doi.org/10.1007/s13353-024-00899-4>
- Bocianowski, J., Nowosad, K., & Szulc, P. (2019). Soil tillage methods by years interaction for harvest index of maize (*Zea mays* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil & Plant Science*, 69(1), 75–81. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1502343>
- Borras, L. (2003). Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Annals of Botany*, 91(7), 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>
- Borras, L.; Maddonni, G.A.; Otegui, M.E. (2003a). Leaf senescence in maize hybrids: Plant population: Row spacing and kernel set effects. *Field Crop. Res.* 2003, 82, 13–26.
- Bozovic, D., Zivanovic, T., Popovic, V., Tatic, M., Gospavic, Z., Miloradovic, Z., Stankovic, G., & Djokic, M. (2018). Assessment stability of maize lines yield by GGE-biplot analysis. *Genetika*, 50(3), 755–770. <https://doi.org/10.2298/gensr1803755b>

- Brankovic-Radojcic, D., Srdic, J., Milivojevic, M., Surlan-Momirovic, G., Radojcic, A., Zivanovic, T., & Todorovic, G. (2017). Variability of agronomic traits of maize hybrids influenced by the environmental factors. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 21(3), 149–153. <https://doi.org/10.5937/jpea1703149b>
- Brooking, I. R. (1990). Maize ear moisture during grain-filling, and its relation to physiological maturity and grain-drying. *Field Crops Research*, 23(1), 55–68. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(90\)90097-u](https://doi.org/10.1016/0378-4290(90)90097-u)
- Brozović, B., Jug, I., Đurđević, B., Ravlić, M., Vukadinović, V., Rojnica, I., & Jug, D. (2023). Initial weed and maize response to conservation tillage and liming in different agroecological conditions. *Agronomy*, 13(4), 1116. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041116>
- Butts-Wilmsmeyer, C. J., Seebauer, J. R., Singleton, L., & Below, F. E. (2019). Weather during key growth stages explains grain quality and yield of maize. *Agronomy*, 9(1), 16. <https://doi.org/10.3390/agronomy9010016>
- Carter, E. K., Melkonian, J., Riha, S. J., & Shaw, S. B. (2016). Separating heat stress from moisture stress: analyzing yield response to high temperature in irrigated maize. *Environmental Research Letters*, 11(9), 094012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/094012>
- Cavalieri, A. J., & Smith, O. S. (1985). Grain filling and field drying of a set of maize hybrids released from 1930 to 1982. *Crop Science*, 25(5), 856–860. <https://doi.org/10.2135/cropsci1985.0011183x002500050031x>
- Chaplygin, M., Podzorov, A., Podzorova, M., & Alchimbayeva, A. (2020). Modern approaches to technology of cultivation of corn. *E3S Web of Conferences*, 193, 01032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301032>
- Chawla, N. H. S., & Singh, N. D. D. (2025). DEVELOPMENT OF a MACHINE LEARNING MODEL FOR CROP YIELD PREDICTION IN AGRICULTURE. *The Bioscan.*, 20(Supplement 2), 827–832. <https://doi.org/10.63001/tbs.2025.v20.i02.s2.pp827-832>
- 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 20230168- 1923/© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.
- Cheabu, S., Moungh-Ngam, P., Arikit, S., Vanavichit, A., & Malumpong, C. (2018). Effects of heat stress at vegetative and reproductive stages on spikelet fertility. *Rice Science*, 25(4), 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.06.005>
- Chen, A. 2010. “Maize oil consumption increase with the annual growth rate of over 30% in China.” <http://www.articlesbase.com/business-articles/maize-oilconsumption-increase-with-the-annual-growth-rate-of-over-30-in-china-1763997.html>
- Ci, X., Li, M., Liang, X., Xie, Z., Zhang, D., Li, X., Lu, Z., Ru, G., Bai, L., Xie, C., Hao, Z., & Zhang, S. (2011). Genetic Contribution to Advanced Yield for Maize Hybrids Released from 1970 to 2000 in China. *Crop Science*, 51(1), 13–20. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.04.0207>
- Ciampitti, I., Vyn, T., (2012). Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. (2012): *Field Crops Research*. Volume 133, 11 July 2012, Pages 48-67.
- Crane, P. L., Miles, S. R., & Newman, J. E. (1959). Factors Associated with Varietal Differences in Rate of Field Drying in Corn1. *Agronomy Journal*, 51(6), 318–320. <https://doi.org/10.2134/agronj1959.00021962005100060003x>

- Cross, H. Z. (1995). Ear moisture during kernel development as influenced by field and laboratory selection. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(3), 557–563. <https://doi.org/10.4141/cjps95-097>
- Cusicanqui, J. A., & Lauer, J. G. (1999). Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality. *Agronomy Journal*, 91(6), 911–915. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.916911x>
- Cvijanović, G.; Udvardi, I., Stepić, V.; Đurić, N.; Cvijanović, V.; Đukić, V.; Dozet, G. (2018). Masa 1000 zrna i visina prinosa kukuruza gajenog u konvencionalnoj i organskoj proizvodnji. Zbornik naučnih radova Instituta PKB Agroekonomik / Weight of 1000 grains and yield height of corn grown in conventional and organic production. *Collection of scientific papers of the Institute of PKB Agroecconomics*, 24(1-2), 123-129.
- Dalović, I.; Prasad P.V.V, Dunderski, D.; Katanski, S.; Latković, D.; Kolarić, Lj. (2024). Optimal Plant Density Is Key for Maximizing Maize Yield in Calcareous Soil of the South Pannonian Basin. *Plants*, 13(13), 1799. <https://doi.org/10.3390/plants13131799>
- Djalovic, I., Grahovac, N., Stojanović, Z., Đurović, A., Živančev, D., Jakšić, S., Jaćimović, S., Tian, C., & Prasad, P. V. V. (2024). Nutritional and Chemical Quality of Maize Hybrids from Different FAO Maturity Groups Developed and Grown in Serbia. *Plants*, 13(1), 143. <https://doi.org/10.3390/plants13010143>
- Djalovic, I., Prasad, P. V. V., Akhtar, K., Paunović, A., Riaz, M., Dugalic, M., Katanski, S., & Zaheer, S. (2024). Nitrogen fertilization and cultivar Interactions determine maize yield and grain mineral composition in calcareous soil under semiarid conditions. *Plants*, 13(6), 844. <https://doi.org/10.3390/plants13060844>
- Djalovic, I., Radojevic, V., Mihailovic, V., Vasiljevic, S., i Mitrovic, B. (2021). GENOTIPSKI ODGOVOR NS HIBRIDA KUKURUZA NA POVEĆANU GUSTINU USEVA. *Zbornik Radova - Geografski Fakultet Univerziteta U Beogradu*, 11–17. <https://doi.org/10.46793/sbt26.011dj>
- Doraiswamy, P., Hatfield, J., Jackson, T., Akhmedov, B., Prueger, J., & Stern, A. (2004). Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 92(4), 548–559. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.05.017>
- Dugalić, M., Životić, L., Gajić, B., & Latković, D. (2023). Small Doses of Lime with Common Fertilizer Practices Improve Soil Characteristics and Foster the Sustainability of Maize Production. *Agronomy*, 14(1), 46. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010046>
- Đurić, N., Kresović Branka, Glamočlija, Đ. (2015): Sistemi konvencionalne i organske proizvodnje ratarskih useva. *Monografija*. Beograd.
- Duvick, D. N. (2005). The Contribution of Breeding to Yield Advances in maize (*Zea mays* L.). In *Advances in agronomy* (pp. 83–145). [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(05\)86002-x](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(05)86002-x)
- Esteso, A., Alemany, M., & Ortiz, A. (2018). Conceptual framework for designing agri-food supply chains under uncertainty by mathematical programming models. *International Journal of Production Research*, 56(13), 4418–4446. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1447706>
- Fadhli, N., Farid, M., Azrai, M., Nur, A., Efendi, R., Priyanto, S. B., Nasruddin, A. D., & Novianti, F. (2023). Morphological parameters, heritability, yield component correlation, and multivariate analysis to determine secondary characters in selecting hybrid maize. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(7). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240712>

- Fang, H., Liang, S., & Hoogenboom, G. (2011). Integration of MODIS LAI and vegetation index products with the CSM–CERES–Maize model for corn yield estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 32(4), 1039–1065. <https://doi.org/10.1080/01431160903505310>
- Feng, P., Wang, B., Liu, D. L., Waters, C., Xiao, D., Shi, L., & Yu, Q. (2020). Dynamic wheat yield forecasts are improved by a hybrid approach using a biophysical model and machine learning technique. *Agricultural and Forest Meteorology*, 285–286, 107922. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107922>
- Franch, B., Vermote, E., Becker-Reshef, I., Claverie, M., Huang, J., Zhang, J., Justice, C., & Sobrino, J. (2015). Improving the timeliness of winter wheat production forecast in the United States of America, Ukraine and China using MODIS data and NCAR Growing Degree Day information. *Remote Sensing of Environment*, 161, 131–148. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.02.014>
- Fujita, K., El-Shemy, H., Sakurai, N., Sendo, S. (2001). Sugar metabolism in expanding husk leaf of flint corn (*Zea mays* L.) genotypes differing in husk leaf size. In: W.J. Horst et al. *Plant Nutrition*. (Developments in Plant and Soil Sciences, vol 92). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47624-X_134
- Gambín, B. L., Borrás, L., & Otegui, M. E. (2006). Kernel water relations and duration of grain filling in maize temperate hybrids. *Field Crops Research*, 101(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.09.001>
- Geier, A., & Thomison, P. (2006). *Corn drydown*. C.O.R.N. Newsletter 2006-28. The Ohio State University Extension.
- Glamočlija, Đ., Popović, V., Živanović, Lj., Filipović, V., Glamočlija, N., & Ugrenović, V. (2016). Morfološke i produktivne osobine kukuruza crvenog zrna u promenljivim vremenskim uslovima. *Selekcija i semenarstvo*, 22(1), 1–9.
- Godišnjaci statističkog zavoda R. Srbije (2023, 2024). <https://publikacije.stat.gov.rs/G2023/Pdf/G20232056.pdf>; https://www.rzs.rs.ba/static/uploads/bilteni/godisnjak/2024/StatistickiGodisnjak_2024_WEB.pdf
- Gou, L., Xue, J., Qi, B., Ma, B., & Zhang, W. (2017). Morphological variation of maize cultivars in response to elevated plant densities. *Agronomy Journal*, 109(4), 1443–1453. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.11.0675>
- Grčak, D., Penjišević, A., Simjanović, D., Orbović, B., Đukić, N., & Rajčić, V. (2020). The trends in maize and wheat production in the Republic of Serbia. *Acta Agriculturae Serbica*, 25(50), 121–127. <https://doi.org/10.5937/aaser2050121g>
- Greveniotis, V., Bouloumpasi, E., Zotis, S., Korkovelos, A., Kantas, D., & Ipsilandis, C. G. (2023). Stability Dynamics of Main Qualitative Traits in Maize Cultivations across Diverse Environments regarding Soil Characteristics and Climate. *Agriculture*, 13(5), 1033. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051033>
- Greveniotis, V., Zotis, S., Sioki, E., & Ipsilandis, C. (2019). Field population density effects on field yield and morphological characteristics of maize. *Agriculture*, 9(7), 160. <https://doi.org/10.3390/agriculture9070160>
- Gwartz, J. A., & Garcia-Casal, M. N. (2013). Processing maize flour and corn meal food products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 66–75. <https://doi.org/10.1111/nyas.12299>
- Hallauer, A. R., & Russell, W. A. (1961). Effects of selected weather factors on grain moisture reduction from silking to physiologic maturity in corn. *Agronomy Journal*, 53, 225–229.

- Hazman, M. Y., & Kabil, F. F. (2021). Maize root responses to drought stress depend on root class and axial position. *Journal of Plant Research*, 135(1), 105–120. <https://doi.org/10.1007/s10265-021-01348-7>
- Hellevang, K. J. (2004). Post-harvest tips for late maturing corn (AE-1282). NDSU Extension Service, North Dakota State University.
- Hoef, R. G., Nafziger, E. D., Johnson, R. R., & Aldrich, S. R. (2000). Modern corn and soybean production. *MCSP Publications*.
- Hong, H., Li, F. W., & Xu, J. (2018). Climate risks and market efficiency. *Journal of Econometrics*, 208(1), 265–281. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2018.09.015>
- Ijaz, M., Raza, M. A. S., Ali, S., Ghazi, K., Yasir, T. A., Saqib, M., & Naeem, M. (2015). Differential planting density influences growth and yield of hybrid maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 2(3), 1-5.
- Ilić, T. (1999): Rokovi i gustine setve kao faktori povećanja prinosa zrna kukuruza u agroekološkim uslovima Toplice. *Magistarski rad*, Poljoprivredni fakultet, Priština.
- Ilić, T., Lazović, D., Biberdžić, M., & Barać, S. (2002). Uticaj roka i gustine setve na prinos zrna različitih genotipova kukuruza (*Zea mays* L.). *Agrozanje*, 2(3), 50–57.
- Ivić, O. (2024). Application of SCADA system historical data for developing machine learning models in detection and reduction of water loss. *CEON/CEES*, 77–90. <https://doi.org/10.5937/gv25077i>
- Jager, B., Roux, C. Z., & Kühn, H. C. (2004). An evaluation of two collections of South African maize (*Zea mays* L.) germ plasm: 2. The genetic basis of dry-down rate. *South African Journal of Plant and Soil*, 21(2).
- Jagła, M., Szulc, P., Ambroży-Deręgowska, K., Mejza, I., & Kobus-Cisowska, J. (2019). Yielding of two types of maize cultivars in relation to selected agrotechnical factors. *Plant Soil and Environment*, 65(8), 416–423. <https://doi.org/10.17221/264/2019-pse>
- Jaramaz Miroslava (2015): Uticaj gustine useva na prinos i kvalitet zrna kukuruza u uslovima njavodnjavanja i prirodnog vodnog režima. *Doktorska disertacija*, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Jia, Q., Sun, L., Mou, H., Ali, S., Liu, D., Zhang, Y., Zhang, P., Ren, X., & Jia, Z. (2017). Effects of planting patterns and sowing densities on grain-filling, radiation use efficiency and yield of maize (*Zea mays* L.) in semi-arid regions. *Agricultural Water Management*, 201, 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.025>
- Jiang, H., Hu, H., Zhong, R., Xu, J., Xu, J., Huang, J., Wang, S., Ying, Y., & Lin, T. (2019). A deep learning approach to conflating heterogeneous geospatial data for corn yield estimation: A case study of the US Corn Belt at the county level. *Global Change Biology*, 26(3), 1754–1766. <https://doi.org/10.1111/gcb.14885>
- Jjagwe, P., Chandel, A. K., & Langston, D. (2023). Pre-Harvest corn grain moisture estimation using aerial multispectral imagery and machine learning techniques. *Land*, 12(12), 2188. <https://doi.org/10.3390/land12122188>
- Jukić, Ž., (2004): Otpuštanje vode iz zrna kukuruza u polju i u sušionici u procesu konvekcijskog sušenja. *Doktorska disertacija*, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Kang, M. S., Colbert, T. R., Zuber, M. S., & Horrocks, R. D. (1975). Grain moisture loss as related to dry-down rates in corn. In *Agronomy Abstracts* (p. 57). ASA.

- Kang, M. S., Miller, J. D., & Tai, P. Y. P. (1983). Genetic and phenotypic path analyses and heritability in sugarcane. *Crop Science*, 23(4), 643–647. <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183x002300040010x>
- Katsenios, N., Sparangis, P., Chanioti, S., Giannoglou, M., Leonidakis, D., Christopoulos, M. V., Katsaros, G., & Efthimiadou, A. (2021). Genotype × environment Interaction of yield and grain quality traits of maize hybrids in Greece. *Agronomy*, 11(2), 357. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020357>
- Khaeim, H., Kende, Z., Jolánkai, M., Kovács, G. P., Gyuricza, C., & Tarnawa, Á. (2022). Impact of temperature and water on seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 12(2), 397. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020397>
- Kim, K., & Lee, B. (2023). Effects of climate change and drought tolerance on maize growth. *Plants*, 12(20), 3548. <https://doi.org/10.3390/plants12203548>.
- King, J., Dreisigacker, S., Reynolds, M., Bandyopadhyay, A., Braun, H., Crespo-Herrera, L., Crossa, J., Govindan, V., Huerta, J., Ibba, M. I., Robles-Zazueta, C. A., Pierre, C. S., Singh, P. K., Singh, R. P., Achary, V. M. M., Bhavani, S., Blasch, G., Cheng, S., Dempewolf, H., . . . Uauy, C. (2024). Wheat genetic resources have avoided disease pandemics, improved food security, and reduced environmental footprints: A review of historical impacts and future opportunities. *Global Change Biology*, 30(8). <https://doi.org/10.1111/gcb.17440>
- Kovačević A. (2024): Selekcija genotipova kukuruza sa ubrzanim otpuštanjem vlage, *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Beogradu, Zemun.
- Kumar, C., Dhillon, J., Huang, Y., & Reddy, K. (2025). Explainable machine learning models for corn yield prediction using UAV multispectral data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 231, 109990. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.109990>
- Levin, K., Waskow, D., & Gerholdt, R. (2021, August 9). *5 big findings from the IPCC's 2021 climate report*. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/ipcc-climate-report>
- Li, J., Xie, R. Z., Wang, K. R., Ming, B., Guo, Y. Q., Zhang, G. Q., & Li, S. K. (2015). Variations in maize dry matter, harvest index, and grain yield with plant density. *Agronomy Journal*, 107(3), 829–834. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0522>
- Li, W., Yoo, E., Lee, S., Sung, J., Noh, H. J., Hwang, S. J., Desta, K. T., & Lee, G. (2022). Seed weight and genotype influence the total oil content and fatty acid composition of peanut seeds. *Foods*, 11(21), 3463. <https://doi.org/10.3390/foods11213463>
- Li, Y., Guan, K., Yu, A., Peng, B., Zhao, L., Li, B., & Peng, J. (2019). Toward building a transparent statistical model for improving crop yield prediction: Modeling rainfed corn in the U.S. *Field Crops Research*, 234, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.005>
- Lim, T. K. (2015). *Zea mays*, in: *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* 5, Springer Inc., Dordrecht (2015), pp. 416–447.
- Liu, D., Jia, Q., Li, J., Zhang, P., Ren, X., & Jia, Z. (2020). Increased photosynthesis and grain yields in maize grown with less irrigation water combined with density adjustment in semiarid regions. *PeerJ*, 8, e9959. <https://doi.org/10.7717/peerj.9959>
- Liu, G., Hou, P., Xie, R., Ming, B., Wang, K., Xu, W., Liu, W., Yang, Y., & Li, S. (2017). Canopy characteristics of high-yield maize with yield potential of 22.5 Mg ha⁻¹. *Field Crops Research*, 213, 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.011>

- Liu, G., Liu, W., Yang, Y., Guo, X., Zhang, G., Li, J., Xie, R., Ming, B., Wang, K., Hou, P., & Li, S. (2020). Marginal superiority of maize: an indicator for density tolerance under high plant density. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72435-3>
- Liu, J., Shang, J., Qian, B., Huffman, T., Zhang, Y., Dong, T., Jing, Q., & Martin, T. (2019). Crop yield estimation using Time-Series MODIS data and the effects of cropland masks in Ontario, Canada. *Remote Sensing*, 11(20), 2419. <https://doi.org/10.3390/rs11202419>
- Liu, J., Yu, H., Liu, Y., Deng, S., Liu, Q., Liu, B., & Xu, M. (2020). Genetic dissection of grain water content and dehydration rate related to mechanical harvest in maize. *BMC Plant Biology*, 20(1), 118. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2302-0>
- Liu, W., Liu, G., Yang, Y., Guo, X., Ming, B., Xie, R., Liu, Y., Wang, K., Hou, P., & Li, S. (2021). Spatial variation of maize height morphological traits for the same cultivars at a large agroecological scale. *European Journal of Agronomy*, 130, 126349. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126349>
- Lobell, D. B., & Azzari, G. (2017). Satellite detection of rising maize yield heterogeneity in the U.S. Midwest. *Environmental Research Letters*, 12(1), 014014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa537>
- Long, S. P., Marshall-Colon, A., & Zhu, X. (2015). Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. *Cell*, 161(1), 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.03.019>
- Maitah, M., Malec, K., & Maitah, K. (2021). Influence of precipitation and temperature on maize production in the Czech Republic from 2002 to 2019. *Scientific Reports*, 11(1), 10467. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89962-2>
- Mandic, V., Bijelic, Z., Krnjaja, V., Tomic, Z., Stanojkovic-Sebic, A., Stanojkovic, A., & Caro-Petrovic, V. (2016). The effect of crop density on maize grain yield. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 32(1), 83–90. <https://doi.org/10.2298/bah1601083m>
- Maqbool, M. A., Issa, A. B., & Khokhar, E. S. (2021). Quality protein maize (QPM): Importance, genetics, timeline of different events, breeding strategies and varietal adoption. *Plant Breeding*, 140(3), 375–399. <https://doi.org/10.1111/pbr.12923>
- Mastrodomenico, A., Hendrix, C., & Below, F. (2018). Nitrogen use efficiency and the genetic variation of maize expired plant variety protection germplasm. *Agriculture*, 8(1), 3. <https://doi.org/10.3390/agriculture8010003>
- Mazibuko, P., Mutengwa, C., Magorokosho, C., Kutuwayo, D., & Kamutando, C. N. (2024). Genetic gains of grain yield among the maize cultivars released over a century from the national breeding program of Zimbabwe. *Agronomy*, 14(2), 246. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020246>
- Melut LC, Rosca AE (2016). Drydown Coefficient Analysis in Some Commercial Corn Hybrids. *Lucrări Științifice seria Agronomie* 59(2), 213-218. <https://www.researchgate.net/publication/311708397>
- Meng, C.; Wang, Z.; Cai, Y.; Du, F.; Chen, J.; Xiao, C. (2022). Effects of planting density and nitrogen (N) application rate on light energy utilization and yield of maize. *Sustainability*, 14(24), 16707; <https://doi.org/10.3390/su142416707>
- Mišević, D., Alexander, D. E., Dumanović, J., Kerečki, B., & Ratković, S. (1988). Grain moisture loss rate of High-Oil and Standard-Oil maize hybrids. *Agronomy Journal*, 80(5), 841–845. <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000050032x>

- Mishra, P., Khan, R., & Baranidharan, B. (2020). Crop Yield Prediction using Gradient Boosting Regression. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(3), 2293–2297. <https://doi.org/10.35940/ijitee.c8879.019320>
- Mitrović, B., Stojaković, M., Zorić, M., Stanisavljević, D., Bekavac, G., Nastasić, A., & Mladenov, V. (2016). Genetic gains in grain yield, morphological traits and yield stability of middle-late maize hybrids released in Serbia between 1978 and 2011. *Euphytica*, 211(3), 321–330. <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1739-6>
- Mjolsness, E., & DeCoste, D. (2001). Machine Learning for Science: State of the art and future prospects. *Science*, 293(5537), 2051–2055. <https://doi.org/10.1126/science.293.5537.2051>
- Moghaddam, M. J., & Pourdad, S. S. (2011). Genotype × environment interactions and simultaneous selection for high oil yield and stability in rainfed warm areas rapeseed (*Brassica napus* L.) from Iran. *Euphytica*, 180(3), 321–335. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0371-8>
- Mondino, P., & Gonzalez-Andujar, J. (2019). Evaluation of a decision support system for crop protection in apple orchards. *Computers in Industry*, 107, 99–103. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.02.005>
- Moreau, R. A., Johnston, D. B., Hicks, K. B. (2005). The influence of moisture content and cooking on the screw pressing and prepressing of corn oil from corn germ. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 82, 851-854. <https://doi.org/10.1007/s11746-005-1154-6>
- Mupangwa, W., Chipindu, L., Nyagumbo, I., Mkuhlani, S., & Sisito, G. (2020). Evaluating machine learning algorithms for predicting maize yield under conservation agriculture in Eastern and Southern Africa. *SN Applied Sciences*, 2(5). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2711-6>
- Murphy, S. D., Yakubu, Y., Weise, S. F., & Swanton, C. J. (1996). Effects of planting pattern and inter-row cultivation on competition between corn (*Zea mays*) and late emerging weeds. *Weed Science*, 44(4), 856–870.
- Nielsen, D. C., Halvorson, A. D., & Vigil, M. F. (2010). Critical precipitation period for dryland maize production. *Field Crops Research*, 118(3), 259–263. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.004>
- 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].
- Nyakudya, I. W., & Stroosnijder, L. (2014). Effect of rooting depth, plant density and planting date on maize (*Zea mays* L.) yield and water use efficiency in semi-arid Zimbabwe: Modelling with AquaCrop. *Agricultural Water Management*, 146, 280–296. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.024>
- Orhun, G. E. (2013). Maize for life. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 3(2), 13–16.
- Osborne, B. (2006, April 1). Applications of near Infrared Spectroscopy in Quality Screening of Early-Generation Material in Cereal Breeding Programmes. <https://opg.optica.org/jnirs/abstract.cfm?uri=jnirs-14-2-93>
- Pandurović, Ž. (2014): Morfološke i proizvodne osobine srednjeranih hibrida kukuruza u uslovima pojačane ishrane biljaka. *Doktorska disertacija*. Poljoprivredni fakultet, Beograd.

- Pandurović, Ž., Glamočlija, Đ., Dragičević, V., & Gavrilović, M. (2009). Uticaj gustine useva i ishrane azotom na dužinu klipa, broj redova zrna i apsolutnu masu zrna kukuruza. *Journal of Scientific Agricultural Research*, 70(4), 27–33.
- Pandurović, Ž., Glamočlija, Đ., Dragičević, V., & Gavrilović, M. (2010). Uticaj gustine useva i đubrenja azotom na prinos zrna kukuruza. *Journal of Scientific Agricultural Research*, 71(2), 13–17.
- Paraginski, J. A., Toebe, M., De Carvalho Mello, A., De Souza, R. R., Moraes, M. P., & Marchioro, V. S. (2024). Corn hybrids grain yield submitted to different sowing densities in the medium-high Uruguay region of Rio Grande do Sul. *Revista CERES*, 71. <https://doi.org/10.1590/0034-737x2024710025>
- Paraschivu, M., Cotuna, O., Paraschivu, M., & Olaru, L. (2019). Effects of interaction between abiotic stress and pathogens in cereals in the context of climate change: an overview. *Annals of the University of Craiova - Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, 49(2), 413–424.
- Pareja-Sánchez, E., Plaza-Bonilla, D., Álvaro-Fuentes, J., & Cantero-Martínez, C. (2019). Is it feasible to reduce tillage and N use while improving maize yield in irrigated Mediterranean agroecosystems? *European Journal of Agronomy*, 109, 125919. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125919>
- Partali, E., & Paraschivu, M. (2020). Results regarding the effect of crop rotation and fertilization on the yield and qualities at wheat and maize in South of Romania. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 63(2), 184–189. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_2/Art29.pdf
- Partali, E., Oltenacu, C. V., & Petcu, V. (2021). The influence of sowing date and plant density on maize yield and quality in the context of climate change in southern Romania. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 64(1), 508–514. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2021/issue_1/Art67.pdf
- 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(2), 998–1011. <https://doi.org/10.1002/agj2.20042>
- Pejić, I., Čoga, L., Puntar, I., Bolarić, S., & Pecina, M. (1997). Sadržaj i intenzitet otpuštanja vlage iz zrna hibrida kukuruza kod različite gnojidbe dušikom. *Agriculturae conspectus scientificus*, 62(3–4), 285–29.
- Perić S. (2022). Uticaj fenotipske i genetičke udaljenosti inbred linija na ispoljavanje heterozisa kod dialelnih hibrida kukuruza. *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Zemun.
- Perić, M., Savanović, M. M., Bilić, A., Armaković, S. J., & Armaković, S. (2024). Comparative analysis and validation of analytical techniques for quantification active component in pharmaceuticals: Green approach. *Journal of the Indian Chemical Society*, 101(7), 101173. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2024.101173>
- Petrović, G., Ivanović, T., Knežević, D., Radosavac, A., Obhodaš, I., Brzaković, T., Golić, Z., & Radičević, T. D. (2023). Assessment of climate change impact on maize production in Serbia. *Atmosphere*, 14(1), 110. <https://doi.org/10.3390/atmos14010110>
- Petrović, J., Videnović, Ž., & Hojka, Z. (2000). Uticaj gustine setve na prinos, masu i broj zrna nekih ZP hibrida kukuruza. U Zbornik izvoda „Treći Jugoslovenski naučno-stručni simpozijum iz selekcije i semenarstva“ (zbornik izvoda).
- Pipatsitee, P., Tisarum, R., Taota, K., Samphumphuang, T., Eiumnoh, A., Singh, H. P., & Cha-Um, S. (2022). Effectiveness of vegetation indices and UAV-multispectral imageries in assessing the

- response of hybrid maize (*Zea mays* L.) to water deficit stress under field environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10766-6>
- Popovic V. (2010). Agrotechnical and agroecological influences on the production of wheat, maize and soybean seeds (Agrotehnički i agroekološki uticaji na proizvodnju semena pšenice, kukuruza i soje). *Doctoral disertation*. University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Zemun 1-145.
- Popović, A., Babić, V., Čamdžija, Z., Živanov, S., Branković-Radojčić, D., Pantović, J. G., & Perić, V. (2025). Combining ability of maize landraces for yield and basic chemical composition of grain. *Agronomy*, 15(5), 1012. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051012>
- Popović, V., Vasileva, V., Ljubičić, N., Rakašćan, N., & Ikanović, J. (2024). Environment, soil, and digestate interaction of maize silage and biogas production. *Agronomy*, 14(11), 2612. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112612>
- Purdy, J. L., & Crane, P. L. (1967a). Inheritance of drying rate in "mature" corn (*Zea mays* L.). *Crop Science*, 7(4), 294–297.
- Purdy, J. L., & Crane, P. L. (1967b). Influence of pericarp on differential drying rate in "mature" corn (*Zea mays* L.). *Crop Science*, 7(4), 379–381.
- Qi, Y., Zhang, Q., Hu, S., Wang, R., Wang, H., Zhang, K., Zhao, H., Ren, S., Yang, Y., Zhao, F., Chen, F., & Yang, Y. (2022). Effects of High Temperature and Drought Stresses on Growth and Yield of Summer Maize during Grain Filling in North China. *Agriculture*, 12(11), 1948. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111948>
- Qiu, G., Lü, E., Lu, H., Xu, S., Zeng, F., & Shui, Q. (2018). Single-Kernel FT-NIR Spectroscopy for Detecting Supersweet Corn (*Zea mays* L. Saccharata Sturt) Seed Viability with Multivariate Data Analysis. *Sensors*, 18(4), 1010. <https://doi.org/10.3390/s18041010>.
- Radenovic, C., Filipovic, M., Babic, M., Stankovic, G., Radojcic, A., Secanski, M., Pavlov, J., Radojcic, B., & Selakovic, D. (2008). Actual prestigious properties of maize inbred lines: A good initial basis for the efficient development of new and yielding maize hybrids. *Genetika*, 40(2), 121–133. <https://doi.org/10.2298/gensr0802121r>
- Radenović, Č., Filipović, M., Jovanović, Ž., Videnović, Ž., Selaković, D., Sečanski, M., Milačinović Marija, Radosavljević Milica, & Čamdžija, Z. (2009). Dominantna svojstva efikasnog fotosintetično-fluorescentnog modela u oplemenjivanju i savremenoj proizvodnji kvalitetnog merkantilnog kukuruza. *Journal of Scientific Agricultural Research*, 70(249), 31–53.
- Radenović, Č., Selaković, D., Filipović, M., Radojčić, A., Sečanski, M., & Radosavljević, N. (2008b). Svojstva prestižnih samooplodnih linija kukuruza relevantna za savremenu proizvodnju kvalitetnog hibridnog semena. *Arhiv poljoprivredne nauke*, 69(2), 79–95.
- Rajičić, V., Stojiljković, J., Đurić, N., Tupajić, I., Šević, B., Perišić, V., & Terzić, D. (2024). Influence of year and soil type on the yield of different maize hybrids. *Acta Agriculturae Serbica*, 29(58), 75–83. <https://doi.org/10.5937/aaser2458075r>
- Rajičić, V., Stojiljković, J., Popović, V., Biberdžić, M., Terzić, D., Luković, K., Stojšin, M. M., & Đurić, N. (2025). Influence of genotype, climatic factors and sowing time on maize yield and water release rate. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 53(1), 13770. <https://doi.org/10.15835/nbha53113770>
- Randelović, V., Prodanović, S., Despotović, S., & Glamočlija, Đ. (2010). Prinos kukuruza različitih FAO grupa zrenja u funkciji padavina tokom ASI perioda. *Zbornik naučnih radova, Institut PKB Agroekonomik*, 16(1-2), 103–109.

- Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105–112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>
- Raza, M. A., Khalid, M. H. B., Zhang, X., Feng, L. Y., Khan, I., Hassan, M. J., Ahmed, M., Ansar, M., Chen, Y. K., Fan, Y. F., Yang, F., & Yang, W. (2019). Effect of planting patterns on yield, nutrient accumulation and distribution in maize and soybean under relay intercropping systems. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41364-1>
- 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.
- Ren, B. Z., Hu, J., Zhang, J. W., Dong, S. T., Liu, P., & Zhao, B. (2020). Effect of urea mixed with nitrapyrin on leaf photosynthetic and senescence characteristics of summer maize (*Zea mays* L.) waterlogged in the field. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(7), 1586–1595.
- Ren, B., Liu, W., Zhang, J., Dong, S., Liu, P., & Zhao, B. (2017). Effects of plant density on the photosynthetic and chloroplast characteristics of maize under high-yielding conditions. *The Science of Nature*, 104(3–4). <https://doi.org/10.1007/s00114-017-1445-9>
- Sadak, M. (2022). Nitric Oxide and Hydrogen Peroxide as Signaling Molecules for Better growth and Yield of Wheat Plant exposed to Water Deficiency. *Egyptian Journal of Chemistry*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.117465.5297>
- Sangoi, L. (2001). Understanding plant density effects on maize growth and development: An important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural*, 31(1), 159–168.
- Schmidt, T. L., & Hallauer, A. R. (1966). Estimating harvest date of maize in the field. *Crop Science*, 6(3), 227–231.
- Serna-Saldivar, S.O. Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2016; Available online: <https://books.google.rs/books?hl=en&lr=&id=zK3EAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT19&dq=6.%09Serna-Saldivar>
- Shafi, M., Bakht, J., Ali, S., Khan, H., Khan, M. A., & Sharif, M. (2012). Effect of planting density on phenology, growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 44(2), 691–696.
- Shao, H., Shi, D. F., Shi, W. J., Ban, X. B., Chen, Y. C., Ren, W., Chen, F. J., & Mi, G. H. (2020). Nutrient accumulation and remobilization in relation to yield formation at high planting density in maize hybrids with different senescent characters. *Archives of Agronomy and Soil Science*. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1741634>
- Shao, R., Jia, S., Tang, Y., Zhang, J., Li, H., Li, L., Chen, J., Guo, J., Wang, H., Yang, Q., Wang, Y., Liu, T., & Zhao, X. (2021). Soil water deficit suppresses development of maize ear by altering metabolism and photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany*, 192, 104651. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104651>
- Shengqun, L., Shengqin, L., Yue, M., Yuze, L., Zheng, L., & Shulian, J. (2023). Dehydration characteristics of spring maize husk leaves in eastern Jilin Province. *Soils and Crops*, 12(3), 283–292.
- Shi, W., Shao, H., Sha, Y., Shi, R., Shi, D., Chen, Y., Ban, X., & Mi, G. (2022). Grain dehydration rate is related to post-silking thermal time and ear characters in different maize hybrids. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(4), 964–976. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(21\)63641-9](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(21)63641-9)

- Sibonginkosi, N., Mzwandile, M., & Tamado, T. (2020). Effect of Plant Density on Growth and Yield of Maize [*Zea mays* (L.)] Hybrids at Luyengo, Middleveld of Eswatini. *Asian Plant Research Journal*, 1–9. <https://doi.org/10.9734/aprj/2019/v3i3-430066>
- Silva P. S. L., Silva P. I. B., Soares, E. B., Silva, E. M., & Santos, L. E. B. (2014). Green ear and grain yield of maize grown at sowing densities. *Revista Caatinga*, 27(1), 116–121.
- Simić, D., Erić, N., Popović, V., & Glamočlija, Đ.. (2014). Maize hybrids of Institute PKB Agroekonomik tested in 2013. on different locations. in *Zbornik naučnih radova Instituta PKB Agroekonomik Institut PKB Agroekonomik*, Padinska skela., 20(1-4), 1-11. https://hdl.handle.net/21.15107/rcub_fiver_1345
- Şimon, A., Moraru, P. I., Ceclan, A., Russu, F., Cheţan, F., Bărdaş, M., Popa, A., Rusu, T., Pop, A. I., & Bogdan, I. (2023). The impact of climatic factors on the development stages of maize crop in the Transylvanian Plain. *Agronomy*, 13(6), 1612. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061612>
- Şimon, A., Moraru, P. I., Ceclan, A., Russu, F., Cheţan, F., Bărdaş, M., Popa, A., Rusu, T., Pop, A. I., & Bogdan, I. (2023). The impact of climatic factors on the development stages of maize crop in the Transylvanian Plain. *Agronomy*, 13(6), 1612. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061612>
- Sinha, A. K., Kumar, V., Makkar, H. P., De Boeck, G., & Becker, K. (2011). Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition – A review. *Food Chemistry*, 127(4), 1409–1426. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.042>
- Stojiljković J. (2022): Uticaj gustine i roka setve na neke morfološko-produktivne osobine i brzinu otpuštanja vode iz zrna kod različitih hibrida kukuruza (*Zea mays* L.), *Doktorska disertacija*, Univerzitet Megatrend, Beograd.
- Stratonovitch, P., & Semenov, M. A. (2015). Heat tolerance around flowering in wheat identified as a key trait for increased yield potential in Europe under climate change. *Journal of Experimental Botany*, 66(12), 3599–3609. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv070>
- Stubbs, C. J., Kunduru, B., Bokros, N., Verges, V., Porter, J., Cook, D. D., DeBolt, S., McMahan, C., Sekhon, R. S., & Robertson, D. J. (2023). Moving toward short stature maize: The effect of plant height on maize stalk lodging resistance. *Field Crops Research*, 300, 109008. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109008>
- Tabaković, M., Dragičević, V., Simić, M., Stanisavljević, R., Pošić, D., Brankov, M., & Oro, V. (2022). Joint and direct effects of genotypes and environment conditions on yield and yield components variability of maize inbred lines. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 26(2), 71–74. <https://doi.org/10.5937/jpea26-36609>
- Tabaković, M., Peric, V., Dragicevic, V., Simic, M., Stanisavljević, R., Poštić, D., & Oro, V. (2022). Conjunctive effect of environment and genotype in maize seed production. In 13. *International scientific agriculture symposium “AGROSYM 2022-Book of proceedings*. Banja Luka: Narodna i univerzitetska biblioteka Republike Srpske.
- Tabaković, M., Poštić, D., Živković, I., Štrbanović, R., Kolarić, L., Sečanski, M., Stanisavljević, R., & Oro, V. (2024). Dynamics of moisture release from maize husks as a function of crop density. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 28(1), 12–16. <https://doi.org/10.5937/jpea28-49481>
- Testa, G., Reyneri, A., & Blandino, M. (2015). Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. *European Journal of Agronomy*, 72, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.006>

- Tian, L., Wang, C., Li, H., & Sun, H. (2021). RETRACTED ARTICLE: Comparative analysis of nutritional components of maize with different planting densities from the perspective of ecological environment. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(13). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07600-7>
- Timlin, D. J., Fleisher, D. H., Kemanian, A. R., & Reddy, V. R. (2014). Plant density and leaf area index effects on the distribution of light transmittance to the soil surface in maize. *Agronomy Journal*, 106(5), 1828–1837. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0160>
- Tokatlidis, I. S. (2013). Adapting maize crop to climate change. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(1), 63–79. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0108-7>
- Troyer, A. F., & Ambrose, W. B. (1971). Plant characteristics affecting field drying rate of ear corn. *Crop Science*, 11(4), 529–531.
- Tuong, L. Q., Khoi, N. T., Quan, D. V., Thinh, B. B., Chung, B. D., & Thanh, N. C. (2019). Effect of different planting densities and fertilizer rates on corn yield and yield components under Northern Vietnam growing conditions. *Ecology, Environment and Conservation*, 25(3), 1342–1350.
- Urechean, V., & Bonea, D. (2017). Coexistence in cultivation of genetically modified maize (MON810) with conventional maize. *Romanian Agricultural Research*, 34, 51–58.
- Voss-Fels, K. P., Stahl, A., Wittkop, B., Lichthardt, C., Nagler, S., Rose, T., Chen, T., Zetzsche, H., Seddig, S., Baig, M. M., Ballvora, A., Frisch, M., Ross, E., Hayes, B. J., Hayden, M. J., Ordon, F., Leon, J., Kage, H., Friedt, W., . . . Snowdon, R. J. (2019). Breeding improves wheat productivity under contrasting agrochemical input levels. *Nature Plants*, 5(7), 706–714. <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0445-5>
- Wang, L. Q., Yu, X. F., Gao, J. L., Ma, D. L., Hu, S. P., Guo, H. H., & Liu, A. Y. (2022). Response of grain yield formation to planting density of maize varieties in different eras. *Acta Agronomica Sinica*, 48, 2617–2629.
- Wang, L., Yu, X., Gao, J., Ma, D., Guo, H., & Hu, S. (2023). Patterns of influence of meteorological elements on maize grain weight and nutritional quality. *Agronomy*, 13(2), 424. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020424>
- Wang, M., Zhang, L., Lin, Y., Zhao, J., Qin, Y., Li, Q., Liu, H., Sun, B., & Wang, L. (2023). Analysis and closing of the High-Production-Maize yield gap in the Semi-Arid area of Northeast China. *Agronomy*, 14(1), 30. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010030>
- Wang, Z., Huang, W., Li, J., Liu, S., & Fan, S. (2023). Assessment of protein content and insect infestation of maize seeds based on on-line near-infrared spectroscopy and machine learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 211, 107969. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107969>
- Wei, S., Peng, A., Huang, X., Deng, A., Chen, C., & Zhang, W. (2021). Contributions of climate and soil properties to wheat and maize yield based on Long-Term Fertilization Experiments. *Plants*, 10(10), 2002. <https://doi.org/10.3390/plants10102002>
- Wen, B., Li, R., Zhao, X., Ren, S., Chang, Y., Zhang, K., Wang, S., Guo, G., & Zhu, X. (2021). A quadratic regression model to quantify plantation soil factors that affect tea quality. *Agriculture*, 11(12), 1225. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121225>
- White, P. Johnson, L. (2003). Corn, chemistry and technology. second ed. *Amer. Assoc. Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN*.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

- Wondimkun D. (2023). Determination of Optimum Intra-Row Spacing for Maize Varieties (*Zea mays* L.) on its Yield and Yield Components in West Hararghe, Ethiopia. *Open Access Journal of Agricultural Research*, 8(1), 1-20.
- Wu, W., Yue, W., Bi, J., Zhang, L., Xu, D., Peng, C., Chen, X., & Wang, S. (2024). Influence of climatic variables on maize grain yield and its components by adjusting the sowing date. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1411009>
- Wu, Y., Zhou, G., Song, Y., Ren, S., Geng, J., Zhao, H., & Song, X. (2023). A Simulation Study on Optimization of Sowing Time of Maize (*Zea mays* L.) for Maximization of Growth and Yield in the Present Context of Climate Change under the North China Plain. *Agronomy*, 13(2), 385. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020385>
- Xue, X., Du, S., Jiao, F., Xi, M., Wang, A., Xu, H., Jiao, Q., Zhang, X., Jiang, H., Chen, J., & Wang, M. (2021). The regulatory network behind maize seed germination: Effects of temperature, water, phytohormones, and nutrients. *The Crop Journal*, 9(4), 718–724. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.11.005>
- Yan, P., Pan, J., Zhang, W., Shi, J., Chen, X., & Cui, Z. (2017). A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. *PLoS ONE*, 12(2), e0172717. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172717>
- Yang, B., Wu, S., & Yan, Z. (2022). Effects of Climate Change on Corn Yields: Spatiotemporal Evidence from Geographically and Temporally Weighted Regression Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(8), 433. <https://doi.org/10.3390/ijgi11080433>
- Yang, B., Wu, S., & Yan, Z. (2022b). Effects of Climate Change on Corn Yields: Spatiotemporal Evidence from Geographically and Temporally Weighted Regression Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(8), 433. <https://doi.org/10.3390/ijgi11080433>
- Yang, H., Chai, Q., Yin, W., Hu, F., Qin, A., Fan, Z., Yu, A., Zhao, C., & Fan, H. (2021). Yield photosynthesis and leaf anatomy of maize in inter- and mono-cropping systems at varying plant densities. *The Crop Journal*, 10(3), 893–903. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.09.010>
- Yang, M., Hsu, Y., Liu, T., & Huang, H. (2025). Enhancing grain moisture prediction in multiple crop seasons using domain adaptation AI. *Computers and Electronics in Agriculture*, 231, 110058. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110058>
- Yasin, M., Ahmad, A., Khaliq, T., Habib-Ur-Rahman, M., Niaz, S., Gaiser, T., Ghafoor, I., Hassan, H. S. U., Qasim, M., & Hoogenboom, G. (2021). Climate change impact uncertainty assessment and adaptations for sustainable maize production using multi-crop and climate models. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(13), 18967–18988. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17050-z>
- Yerlikaya, B. A., Ömezli, S., & Aydoğan, N. (2020). Climate change Forecasting and Modeling for the year of 2050. In *Springer eBooks* (pp. 109–122). https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_5
- Zamir, M. S. I., Ahmad, A. H., Javed, H. M. R., & Latif, T. (2011). Growth and yield behaviour of two maize hybrids (*Zea mays* L.) towards different plant spacing. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 44(2), 33–40.
- Zhang, R., Ma, S., Li, L., Zhang, M., Tian, S., Wang, D., Liu, K., Liu, H., Zhu, W., & Wang, X. (2021). Comprehensive utilization of corn starch processing by-products: A review. *Grain & Oil Science and Technology*, 4(3), 89–107. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2021.08.003>

- Zhao, J., Liu, Z., Lv, S., Lin, X., Li, T., & Yang, X. (2023). Changing maize hybrids helps adapt to climate change in Northeast China: revealed by field experiment and crop modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 342, 109693. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109693>
- Zhou, T., Wang, L., Li, S., Gao, Y., Du, Y., Zhao, L., Liu, W., & Yang, W. (2019). Interactions between light intensity and phosphorus nutrition affect the P uptake capacity of maize and soybean seedling in a low light intensity area. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00183>
- Zhu, X., Song, Q., & Ort, D. R. (2012). Elements of a dynamic systems model of canopy photosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 15(3), 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2012.01.010>
- Živanović, L., Golijan-Pantović, J., Stojković, D., Kolarić, L., Ikanović, J., & Kolasinac, S. (2024). The effect of weather conditions, soil type and sowing density on the productivity of maize. *Journal of Agricultural Sciences Belgrade*, 69(3), 225–238. <https://doi.org/10.2298/jas2403225z>
- Živanović, Lj. (2012). Uticaj tipa zemljišta i količine azota na produktivnost hibrida kukuruza različitih FAO grupa zrenja. *Doktorska disertacija*. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet.

9. PRILOZI

1. BIOGRAFIJA

Master inženjer poljoprivrede Dragana D. Stevanović, rođena 05.03.1993. godine u Vranju. Srednju poljoprivredno-veterinarsku školu završila 2012. godine u Vranju. Osnovne akademske studije upisala školske 2012/13. godine na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na odseku Biljna proizvodnja, modul Ratarstvo i povrtarstvo, diplomirala 2017. godine. Diplomski rad pod nazivom „Proizvodnja rasada origana (*Origanum vulgare* L.)“ odbranila je sa ocenom 10.

Master akademske studije upisuje školske 2017/18 na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu na studijskom programu Poljoprivreda, modul Ratarstvo i povrtarstvo. Master rad pod nazivom „Primena mikrobiološkog đubriva „Bakterije“ u makroogledima sa pšenicom i kukuruzom“ odbranila 2018. godine sa ocenom 10. Tokom 2018. godine uspešno završila tromesečnu stručnu praksu iz oblasti organske proizvodnje u okviru projekta „Podsticanje zapošljavanja mladih“ GIZ YEP, koja se obavljala u firmi „Superior DOO“ iz Velike Plane.

Doktorske akademske studije upisuje školske 2018/19. godine na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Poljoprivredne nauke, modul Ratarstvo i povrtarstvo. Prijavila je i odbranila naučnu zasnovanost teme doktorske disertacije pod nazivom „Proizvodni potencijal hibrida kukuruza sa ubrzanim otpuštanjem vlage iz zrna pri različitim gustinama setve“. U zvanje istraživač pripravnik izabrana 2022. godine na Institutu za kukuruz „Zemun Polje“. Tema doktorske disertacije je odobrena na veću Naučnih oblasti biotehničkih nauka Univeziteta u Beogradu 08.10.2024. godine.

Od 20.02.2024. godine počinje da radi u Istraživačko-razvojnom institutu „Tamiš“ u Pančevu, gde obavlja poslove Istraživača pripravnika u Sektoru za naučno-istraživački razvoj. Zvanje istraživač saradnik dobija 2025. godine na Istraživačko-razvojnom institutu „Tamiš“ u Pančevu.

Kao autor i koautor objavila je 6 naučnih radova, od kojih je jedan iz istraživanja u oviru doktorske disertacije, na kojem je prvi autor. Učestvovala je na međunarodnim i nacionalnim skupovima sa 7 saopštenja.

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora: **Dragana D. Stevanović**

Broj indeksa: **180038**

Izjavljujem

Da je doktorska disertacija pod naslovom:

„Proizvodni potencijal hibrida kukuruza sa ubrzanim otpuštanjem vlage iz zrna pri različitim gustinama setve”

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava i koristio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____ godine

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: **Dragana D. Stevanović**

Broj indeksa: 180038

Studijski program: Poljoprivredne nauke, modul Ratarstvo i povrtarstvo

Naslov rada **„Proizvodni potencijal hibrida kukuruza sa ubrzanim otpuštanjem vlage iz zrna pri različitim gustinama setve”**

Mentori: **Dr Ljubiša Kolarić**, vanredni profesor, Poljoprivrednog fakulteta u Zemunu i **Dr Marijenka Tabaković**, naučni savetnik, Institut za kukuruz „Zemun Polje”

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la radi pohranjenja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

„Proizvodni potencijal hibrida kukuruza sa ubrzanim otpuštanjem vlage iz zrna pri različitim gustinama setve” koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
- ☒ 3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci. Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

Potpis autora

U Beogradu, _____

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.