УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Департман за ратарство и повртарство

Маја Танасковић
мастер инж. пољопривреде

Примена модела за предвиђање динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну кукуруза

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2025. године

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Департман за ратарство и повртарство

Ментор:

Проф. др Велимир Младенов

Кандидат:

мастер инжењер пољопривреде
Маја Танасковић

Примена модела за предвиђање динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну кукуруза

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2025. године

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ **ОБРАЗАЦ – 5а**
НАВЕСТИ НАЗИВ ФАКУЛТЕТА ИЛИ ЦЕНТРА

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА[1]

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Маја Танасковић
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција):	др Велимир Младенов, ванредни професор, Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду
Наслов рада:	Примена модела за предвиђање динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну кукуруза
Језик и писмо рада:	Српски (ћирилица)
Физички опис рада:	Унети број: Страница: 101 Поглавља: 9 Референци: 153 Табела: 30 Слика: 5 Графикона: 17 Прилога: 0
Научна област:	Биотехничке науке
Ужа научна област (научна дисциплина):	Генетика, оплемењивање биљака и семенарство
Кључне речи / предметна одредница:	кукуруз, *Zea mays*, накупљање суве материје, садржај влаге у зрну, нелинеарни модели
Апстракт на језику рада:	Кукуруз (*Zea mays* L.) представља најзначајнију ратарску биљну врсту у свету, поред пшенице и пиринча, са годишњом производњом од око милијарду тона зрна на површини од 194 милиона хектара и просечним приносом од 5,62 t/ha. Успешна производња кукуруза у Србији се остварује правилним избором хибрида и правилном применом технологије гајења. Разумевање процеса наливања зрна, динамике накупљања суве материје и губитка влаге из зрна је од практичног значаја за доношење адекватних одлука у прозводњи кукуруза, посебно у условима глобалних климатских промена. Циљ истраживања је да се у датим агроеколошким условима испита погодност и прецизност нелинеарних модела за опис динамике накупљања суве материје у зрну кукуруза и садржаја влаге из зрна након физиолошке зрелости у функцији суме температура, током две различите вегетационе сезоне, да се изврши испитивање приноса и компоненти приноса, као и да се утврде међусобни односи између проучаваних особина. У истраживању је анализирано десет хибрида кукуруза различитих група зрења током двогодишњег пољског огледа. Хибриди кукуруза коришћени у истраживању створени су у Институту за ратарство и повртарство. Динамика

[1] Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:
5б – Изјава о ауторству;
5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и дозвола за објављивање личних података;
5г – Изјава о коришћењу.
Ове Изјаве се чувају у институцији у штампаном и електронском облику и не кориче се са радом.

	накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну утврђена је применом нелинеарних модела чија је погодност су оцењивана уз помоћ селекционих критеријума. Утврђена је значајна варијабилност у динамици процеса накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну код испитиваних хибрида кукуруза. Хибриди NS3023 и NS6030 су се истакли по високим вредностима максималне масе зрна, док је хибрид NS5051 показао брзо накупљање суве материје, а хибрид NS6061 стабилност кроз две вегетационе сезоне. У погледу садржаја влаге у зрну хибриди који су показали најбоље резултате су били NS3022, NS4000 и NS6061. Анализом агрономских особина утврђене су значајне разлике између хибрида по питању приноса и компоненти приноса. Хибрид NS4006 се издвојио са највећим просечним приносом и дужином клипа. Корелације између агрономских особина у обе године истраживања указале су на снажну међусобну повезаност компоненти приноса. Истраживање пружа значајан допринос у разумевању динамике накупљања суве материје и губитка влаге код хибрида кукуруза и пружају основу за даља научна истраживања у области оплемењивања и развоја нових технологија, као и за анализу утицаја све више присутних климатских промена на производњу кукуруза.
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	23.05.2024.
Датум одбране: (Попуњава накнадно институција)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	Ментор: др Велимир Младенов, ванредни професор, Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет _____ Председник: др Борислав Бањац, ванредни професор, Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет _____ Члан: др Горан Бекавац, научни саветник, Институт за ратарство и повртарство, Институт од националног значаја за Републику Србију _____
Напомена:	УДК:

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OR CENTER

KEY WORD DOCUMENTATION[2]

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Maja Tanasković
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	dr Velimir Mladenov, PhD, Associate professor, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad
Thesis title in English:	Application of models for predicting the dynamics of dry matter accumulation and moisture content in maize kernels
Language and script:	Serbian language (cyrillic)
Physical description:	Number of: Pages: 101 Chapters: 9 References: 153 Tables: 30 Illustrations: 5 Graphs: 17 Appendices: 0
Scientific field:	Biotechnical Sciences
Scientific subfield (scientific discipline):	Genetics, Plant Breeding and Seed Production
Subject, Key words:	maize, *Zea mays*, dry matter accumulation, grain moisture content, nonlinear models
Abstract in English:	Maize (*Zea mays L.*) is, alongside wheat and rice, the most important cereal crop in the world, with an annual production of approximately one billion tons of grain cultivated on 194 million hectares and an average yield of 5,62 t/ha. Successful maize production in Serbia is achieved through proper hybrid selection and the application of appropriate cultivation technologies. Understanding the processes of grain filling, the dynamics of dry matter accumulation, and moisture loss from the kernel is of practical importance for making informed decisions in maize production, particularly under the conditions of global climate change. The aim of this research was to evaluate the suitability and accuracy of nonlinear models for describing the dynamics of dry matter accumulation in maize kernels and moisture content after physiological maturity as a function of growing degree days, during two different growing seasons. Additionally, the research aimed to examine yield and yield components and determine the interrelationships among the studied traits. The study analyzed ten maize hybrids from different maturity groups during a two-year field trial. The maize hybrids used in the research were developed by the Institute of Field and Vegetable Crops. The dynamics of dry matter accumulation and moisture content in the kernel were determined using

[2] The author of the doctoral dissertation has signed the following Statements:
5б – Statement on the authorship,
5в – Statement that the printed and e-version of the doctoral dissertation are identical and authorization to use personal data,
5г – Copyright statement.
The paper and e-versions of Statements are held at the institution and are not included into the printed thesis.

	nonlinear models, whose suitability was assessed using selection criteria. Significant variability was observed in the dynamics of dry matter accumulation and moisture loss among the tested maize hybrids. Hybrids NS3023 and NS6030 stood out for their high maximum grain mass values, while hybrid NS5051 exhibited rapid dry matter accumulation, and hybrid NS6061 demonstrated stability under two growing seasons. Regarding moisture content in kernels, the best-performing hybrids were NS3022, NS4000, and NS6061. Analysis of agronomic traits revealed significant differences among hybrids in terms of yield and yield components. Hybrid NS4006 stood out with the highest average yield and ear length. Correlations among agronomic traits during both years of the study indicated a strong interrelationship among yield components. This research makes a significant contribution to understanding the dynamics of dry matter accumulation and moisture loss in maize hybrids and provides a foundation for further scientific studies in breeding and the development of new technologies, as well as for analyzing the impact of increasingly prevalent climate changes on maize production.
Date of endorsement by the scientific board:	23.05.2024.
Date of defence: (Filled in by the institution)	
Thesis defence board: (title, first name, last name, position, institution)	Supervisor: Velimir Mladenov, PhD, Associate professor, University of Novi Sad, Faculty of Agriculture _____ Chair: Borislav Banjac, PhD, Associate professor, University of Novi Sad, Faculty of Agriculture _____ Member: Goran Bekavac, PhD, Advisor for Science, Institute of Field and Vegetable Crops, National Institute of Republic of Serbia _____
Note:	UDC:

Захвалница

Своју искрену захвалност упућујем др Велимиру Младенову, који је својим менторством и подршком пратио мој академски пут од самог почетка. Током свих ових година професор Велимир је био пун разумевања, увек спреман да помогне и пружи драгоцен савет у тренуцима недоумица.

Захвалност дугујем и председнику Комисије др Борославу Бањцу на конструктивним критикама које су значајно допринеле заокруживању ове дисертације.

Посебно признање упућујем др Горану Бекавцу, мом ментору у Институту за ратарство и повртарство и члану Комисије, на искреним и стручним саветима, чије мишљење високо ценим, као и на несебичној подршци током експерименталног дела и самог писања дисертације.

Искрену захвалност дугујем и мојим драгим колегиницма др Александри Станков Петреш и Ањи Ђурић на помоћи приликом прикупљања података током експерименталног дела дисертације, колеги др Душану Дунђерском на саветима у области статистичке обраде и тумачења резултата, и предивним колегиницама Јовани Јанић и Тијани Ковачевић на подршци у завршном обликовању рада.

Велику захвалност дугујем мојим колегама са Одељења за стрна жита, др Милану Миросављевићу, др Љиљани Брбаклић, др Сањи Микић на добронамерној и несебичној помоћи приликом извођења огледа и прикупљања података.

Захваљујем се и техничким сарадницима из Оплемењивачке групе 1, Владимиру Пајчину, Оливери Којић и Душану Љубичићу који су од мог првог радног дана били ту да ми помогну и пруже подршку у свим фазама рада и истраживања.

Најдубљу и најискренију захвалност чувам за своју породицу и суприга, који су ми помогли више него што речи могу да опишу.

Родитељима Зорану и Софији, сестри Ивани и брату Николи, дугујем снагу и мотивацију да истрајем на свом путу. Супругу Небојши сам посебно захвална на изузетном стрпљењу, разумевању и љубави. Својој куми Милици упућујем захвалност на неизмерној подршци и бодрењу током читавог процеса израде докторске дисертације.

Маја Танасковић

САДРЖАЈ

1 УВОД 1

2 ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА 3

3 ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ 4

3.1 Ботаничка класификација кукуруза 4

3.2 Порекло и ширење кукуруза из центра порекла у Европу и на Балкан 5

3.3 Развој зрна кукуруза 8

3.4 Накупљање суве материје у зрну 11

3.5 Садржај влаге у зрну 13

3.6 Сума ефективних температура (GDD) 14

3.7 Моделовање фаза раста и развоја биљака 16

4 РАДНА ХИПОТЕЗА 21

5 МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА 22

5.1 Биљни материјал 22

5.2 Огледи у пољским условима 24

5.2.1 Експериментални дизајн и поставка огледа 24

5.2.2 Агрометеоролошки услови током 2022. и 2023. године 25

5.3 Анализа морфолошких особина 27

5.4 Статистичке анализе 29

6 РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА 33

6.1. Динамика накупљања суве материје у зрну хибрида кукуруза 33

6.1.1 Анализа нелинеарних модела за 2022. годину 33

6.1.2 Анализа нелинеарних модела за 2023. годину 35

6.1.3 Анализа максималне вредности суве материје у зрну 37

6.1.4 Биолошки параметри логитичког модела за 2022. и 2023. годину 39

6.1.5 Веза биолошких параметара испитивних хибрида 44

6.2 Динамика садржаја влаге у зрну хибрида кукуруза 48

6.2.1 Анализа нелинеарних модела за 2022. годину 48

6.2.1 Анализа нелинеарних модела за 2023. годину 50

6.2.2 Биолошки параметри логистичког модела за 2022. и 2023. годину 52

6.2.3 Веза биолошких параметара испитиваних хибрида 56

6.3 Агрономске особине кукуруза 60

7 ДИСКУСИЈА 69

7.1 Поређење нелинеарних модела 69

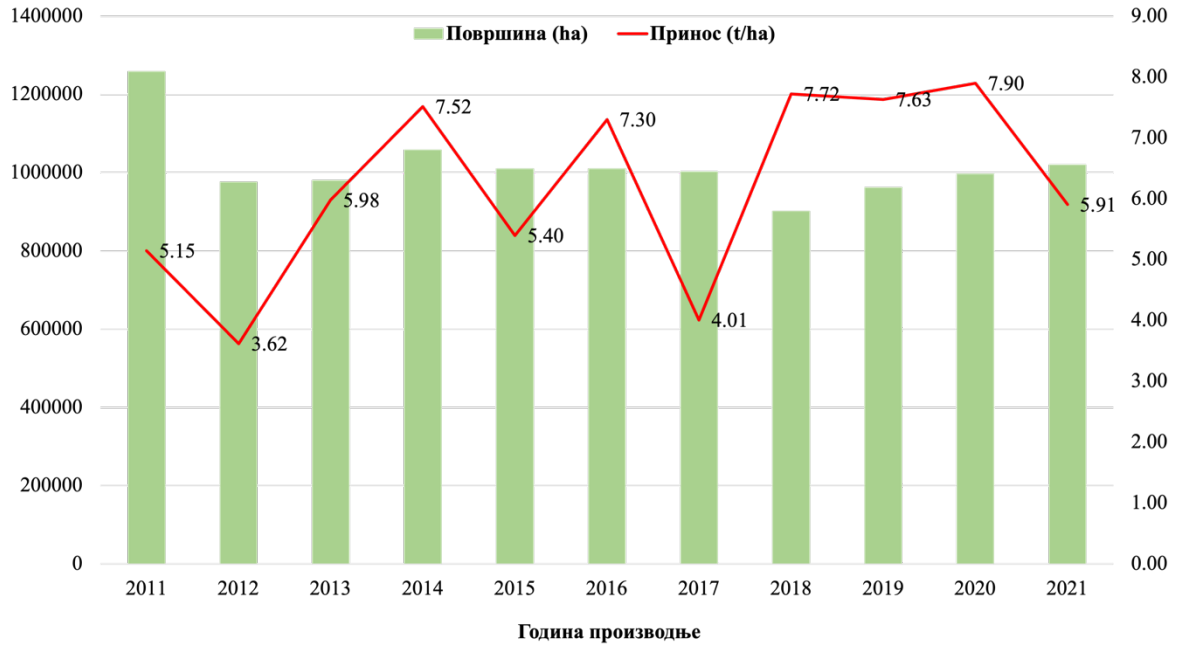
7.2 Накупљање суве материје у зрну 71

7.3 Садржај влаге у зрну након физиолошке зрелости 77

7.4 Агрономске особине 82
8 ЗАКЉУЧЦИ 86
9 ЛИТЕРАТУРА 88

1 УВОД

Кукуруз (*Zea mays* L.) је, поред пшенице и пиринча, најзначајнија ратарска биљна врста на свету. Његов значај се огледа у високој генетичкој варијабилности, широком ареалу распрострањења и високом приносу зрна по јединици површине (Reddy et al., 2023). Може се гајити у подручјима до 50° северне и јужне географске ширине, као и у пределима преко 3000 m надморске висине, са дужином вегетационог периода од 3 до 13 месеци. У прошлости је имао значајну улогу у животима старих цивилизација као храна, крма и трговачка роба (Поповић, 2020; Бабић *и сар*., 2012). Данас, око 78% производње кукуруза се користи за исхрану животиња, али се такође користи и у људској исхрани, првенствено у земљама у развоју, као што су земље Африке и Јужне Америке. Након Друге индустријске револуције, употреба кукуруза се проширила на прераду и производњу многобројних индустријских производа, укључујући скроб, гриз, глутен, уље, сируп и алкохол. Додатна вредност ове биљне врсте огледа се и у благотворним здравственим особинама биоактивних једињења која се добијају из кукуруза. Кукуруз је такође важан у одрживом развоју као обновљив извор енергије за производњу биоетанола. Значајан напредак у области пољопривреде је постигнут откривањем феномена хетерозиса код кукуруза, као и његовим увођењем у производњу, гајењем унапређених сорти и стварањем хибрида. Недуго након идентификовања хетерозиса, приноси кукуруза су се повећали вишеструко, што оправдава улагање напора и ресурса у побољшање ове биљне врсте. Просечна површина под кукурузом у Републици Србији у протеклих десет година (2012 – 2022) износи 988.162,73 ha, док просечна производња кукуруза у истом периоду износи 6,14 t/ha (граф. 1). Светска производња кукуруза у протеклих десет година (2012 – 2022) износи око 1 милијарду тона зрна годишње, одвија се на површини од 194.138.734,45 ha, са просечним приносом од 5,62 t/ha (Faostat, 2024). Да би се задовољила потражња за храном стално растуће популације, за коју се очекује да ће до 2050. године премашити 9 милијарди, све више је присутна потреба за повећањем производње житарица за приближно 70% (Neupane et al., 2022). Производња кукуруза се очекује да ће до 2025. године бити највећа на глобалном нивоу (Rosegrant et al., 2009), али утицај метеоролошких услова на принос зрна кукуруза постаје све израженији, нарочито током вегетационог периода који је све чешће обележен појавом „екстремних метеоролошких догађаја“ (Бекавац *и сар*., 2010).



Графикон 1. Просечне површине под кукурузом и приноси у Републици Србији од 2011. до 2021. године (Извор: Faostat, 2024)

Осим што је значајна биљна врста у људској и животињској исхрани и има широку примену у индустрији, кукуруз је предмет научних истраживања и развоја технологија које могу побољшати његову производњу. Успешна производња кукуруза у Србији се остварује правилним избором хибрида и правилном применом технологије гајења. На овај начин се смањују и ублажавају ефекти ограничавајућих фактора (суша, поплава, град и др.) и остварује се профитабилна производња (Šarčević-Todosijević et al., 2016). Праћење биолошког раста и развоја кукуруза је од суштинског значаја за оптимизацију производње, јер омогућава прецизно планирање и прилагођавање агротехничких мера (Hocaoglu and Coskun, 2018). Разумевање процеса наливања зрна, односно динамике накупљања суве материје и губитка влаге из зрна је од практичног значаја за доношење адекватних одлука у прозводњи кукуруза, посебно у условима глобалних климатских промена. Нелинеарни модели представљају ефикасан алат за квантитативно описивање ових процеса, јер укључују параметре са практичном биолошком интерпретацијом (Puiatti et al., 2018). Интеграцијом ових модела у системе прецизне пољопривреде може се омогућити бољи мониторинг и предвиђање раста и развоја биљака, што доприноси повећању ефикасности производње (Challinor et al., 2018).

2 ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Циљ истраживања је:

- да се у датим агроеколошким условима испита погодност и прецизност модела који описује процесе динамике суве материје и садржаја влаге у зрну кукуруза у функцији суме температура, током две различите вегетационе сезоне, код хибрида кукуруза различитих група зрења;
- да се изврши испитивање приноса и компоненти приноса, као и међусобних односа између проучаваних особина;
- да се на основу испитивања, изврши квантификовање фазе наливања зрна, односно да се прикаже модел који са највећом прецизношћу описује динамику суве материје и садржаја влаге у зрну;
- да се идентификују хибриди који одговарају локалним агроеколошким условима и утврди принос хибрида, што је основни предуслов сигурне производње кукуруза.

3 ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

3.1 Ботаничка класификација кукуруза

Кукуруз је једногодишња, моноецијска, страноoплодна биљка са одвојеним мушким и женским цвастима. Национални центар за биотехнолошке информације (*National Center for Biotechnology Information*, NCBI) и Информациона мрежа генетичких ресурса (*Germplasm Resources Information Network*, USDA, ARS, GRIN) класификују кукуруз на следећи начин:

Надцарство: *Eukaryota*
Царство: *Plantae* – биљке
Подцарство: *Tracheobionta* – васкуларне биљке
Надраздео: *Spermatophyta* – семенице
Раздео: *Magnoliophyta* – цветнице
Класа: *Liliopsida* – монокотиле
Поткласа: *Commelinidae*
Ред: *Poales/Cyperales*
Фамилија: *Poaceae* - траве
Потфамилија: *Panicoideae*
Племе: *Andropogoneae*
Род: *Zea*
Врста: *Zea mays* L. – кукуруз

У оквиру подфамилије *Panicoideae* има више група (grex), као што је *Maydeae*, која укључује седам родова, од којих два потичу са западне хемисфере, а пет из Азије. *Zea* и *Tripsacum* (гама трава) су са западне хемисфере и ови родови су доста проучавани, за разлику од врста које природно расту у Азији. Теозинте, које су првобитно биле класификоване у роду *Euchlaena*, преусмерене су у род Zea, ком су придружене и врсте: *Z. diploperennis* H. H. Iltis et al. (вишегодишња диплоидна теозинта), *Z. perennis* (Hitchc.) Reeves & Mangelsd (вишегодишња тетраплоидна теозинта), *Z. nicaraguensis* H. H. Iltis & B. F. Benz (једногодишња теозинта), *Z. luxurians* (Durieu & Asch.) R. M. Bird (једногодишња теозинта) и *Z. mays* L. (диплоидна врста која укључује кукуруз). За врсту *Z. mays* описано је неколико подврста које обухватају домаћи кукуруз и различите облике теозинти, указујући на изузетну разноликост ове биљне врсте: *Z. mays* L. *subsp. mays* (кукуруз), *Z. mays* L. *subsp*. *huehuetenangensis* (H. H.

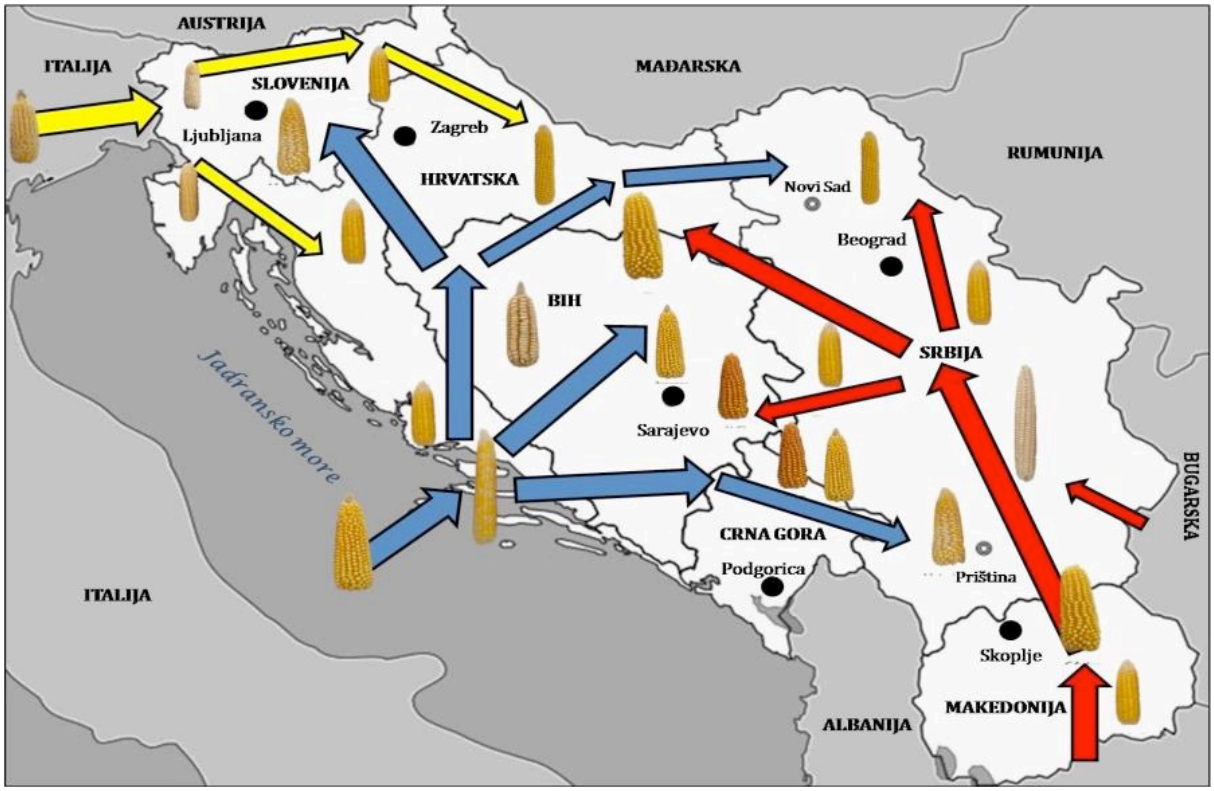
Iltis & Doebley) Doebley, *Z. mays* L. *subsp*. *mexicana* (Schrad.) H. H. Iltis и *Z. mays* L. *subsp. parviglumis* H. H. Iltis & Doebley. Претходне класификације кукуруза у многобројне подврсте и варијетете, који су добили називе на основу боје, хемијског састава семена, облика зрна или других карактеристика, данас се углавном сматрају синонимима за подврсте *Z. mays subsp. mays*. Ова промена у класификацији као и обиље назива и подврста сведоче о богатој историји студија и интереса за разноликост коју кукуруз нуди као једна од главних биљних врста у пољопривредним наукама.

3.2 Порекло и ширење кукуруза из центра порекла у Европу и на Балкан

Порекло и доместикација кукуруза представљају скуп сложених процеса који обухватају генетске промене, интеракцију са сродним врстама и дубоку културну повезаност са древним народима. Генетичка разноврсност која је настала током хиљада година гајења омогућила је кукурузу да постане једна од најважнијих биљних врста на свету, играјући незаменљиву улогу у историји пољопривреде и цивилизације. Истраживања показују да кукуруз (*Zea mays*) потиче од дивљег сродника теозинте (*Zea mays ssp. parviglumis*), и да је процес његовог припитомљавања започео пре око 9000 година у долини реке Балсас у централном Мексику (Ramos-Madrigal et al., 2016; Kane et al., 2005; Piperno et al., 2009; Kistler et al., 2018). Народи тог времена почели су да гаје ову биљку, прилагођавајући је својим потребама. Процес доместикације подразумевао је значајне промене у морфологији и генетици кукуруза. Мутације у специфичним генима, као што су *tb1* и *tga1*, довеле су до трансформације кукуруза у биљку са већим, нешто мекшим зрнима која остају чврсто везана за клип. За разлику од теозинте, чија зрна природно отпадају, ова промена омогућила је лакшу бербу и прераду (Doebley, 2004). Ове промене су такође допринеле повећању величине клипа и броја зрна, чинећи кукуруз једном од најпродуктивнијих биљних врста. Поред главног претка *Zea mays ssp. parviglumis*, значајну улогу у развоју кукуруза, одиграла је интрогресија гена из *Zea mays ssp. mexicana*. Ова генетска размена омогућила је кукурузу да развије особине попут отпорности на хладноћу (Hufford et al., 2012; Wang et al., 2023). Повећана густина макродлачица и тамнија пигментација листова су адаптације које су се показале корисним у суровим условима великих надморских висина. Још један важан дивљи сродник, *Zea luxurians*, допринео је генетичком богатству припитомљеног кукуруза. Гени из *Zea luxurians* су побољшали отпорност на сушу и болести (Doebley, 2004). Археолошки проналасци додатно потврђују генетичка истраживања. Најстарији

фосилни остаци кукуруза пронађени су у пећинама Guilá Naquitz у Мексику и датирају из периода од пре око 6000 година (Piperno et al., 2009). Пронађени рани облици кукуруза имали су клипове величине 2–3 cm, што је значајно мање у поређењу са савременим клипом кукурузом. Фитолити, микроскопске структуре биљака, такође потврђују да је кукуруз био основна намирница у исхрани древних заједница (Benz, 2001). Осим што је био кључна храна, кукуруз је имао симболички значај у културама Централне Америке. У митологији Маја и Астека, кукуруз је представљан као божанска биљка. Према мајанском тексту *Попол Вух*, први људи су створени од теста направљеног од кукурузног брашна. Овај мит одражава централну улогу кукуруза у исхрани, али и у култури и ритуалима ових древних цивилизација (Bonavia, 2013).

Диверзитет кукуруза на тлу Европе настао је захваљујући интродукцији генотипова умереног појаса североисточне Америке и каснијом интродукцијом тропских генотипова из западне Индије. Ово је установљено на основу RFLP и SSR анализе групних узорака 200 америчких и европских популација (Rebourg et al., 2003; Dubreuil et al., 2006). Прве интродукције у Европу датирају из 1493. године, за време Колумбовог путовања. Први записи о гајењу кукуруза на просторима бивше Југославије датирају из средине 16. века, при чему су различити називи за кукуруз указивали на његово ширење из различитих праваца. Прве две интродукције кукуруза су се десиле током 16. века и укључивале су тврдунце са Карипских острва. У Југославији су првобитно гајени тврдунци са Карипских острва "Early Carribean" и "Coastal Tropical Flint" и то као повртарске биљке. Трећа интродукција се одиграла у 18. веку и обухватала је тврдунце пореклом из Канаде и Нове Енглеске, који су стигли у централну Европу и даље се ширили на југоисток, формирајући основу за данашње сорте које боље успевају у хладнијим климатским условима (сл. 1).



Слика 1. Путеви интродукције кукуруза на просторе Западног Балкана (Извор: Поповић, 2020)

Последња интродукција, у 19. веку, обухватала је зубане из америчког кукурузног појаса (Trifunovic, 1978). У том периоду је кукуруз постао водећа ратарска култура у бившој Југославији, нарочито у Панонској низији, која је постала кључно европско подручје за гајење кукуруза. На почетку 20. века је извршена значајна интродукција сорти кукуруза зубана из америчког кукурузног појаса ("Golden Mine" и "Queen of Praire") у Југославију. Ово је представљало последњи велики унос генетичког материјала кукуруза који је имао кључан утицај на стварање јединственог кукуруза типа зубана. Као резултат селекције, створене су прве домаће сорте популације кукуруза: Румски златни зубан, Вуковарски зубан, Флајшманов зубан. Касније су из истог извора створени и Бељски златни зубан, Новосадски златни зубан и други зубани (Стојаковић *и сар*., 2001). Велика интересовања истраживача за ову биљну врсту допринела су развоју хибридних варијетета у пољопривредној прозводњи кукуруза, стварању самооплодних линија добрих комбинационих способности и особина *per se* и потискивању слободно опрашујућих популација. Прелазак на гајење хибрида кукуруза одредило је откриће хетерозиса почетком 20. века, ког је Shull, 1952 дефинисао као ”максимално стање хетерозиготности”, које се добија укрштањем генетички различитих самооплодних хомозиготних линија. Данас, хетерозис игра кључну улогу у

пољопривреди, осигуравајући испољавање супериорних особина као што су повећана надземна биомаса, већи принос зрна и отпорност на различите абиотичке и биотичке факторе стреса (Fujimoto et al., 2018).

3.3 Развој зрна кукуруза

Развој кукуруза је континуални процес који започиње клијањем семена, а завршава се кад је семе зрело и кукуруз спреман за жетву. Раст и развој биљке кукуруза се одвија кроз вегетативни (V) и репродуктивни (R) стадијум (Nleya et al., 2016). Репродуктивни стадијум, пролази кроз шест дефинисаних фаза. У оквиру ових фаза зрно пролази кроз фазе формирања, наливања и сазревања (таб. 1).

R1: Појава свиле и формирање зрна. Женски цвет кукуруза обично има један тучак састављен из плодника са једном јајном ћелијом и дугачким стубићем који се завршава са двоперим жигом. Перца жига прекривена су многобројним длачицама које могу лако да задрже полен. Дугачки стубић обично има дужину од 10 до 30 cm и прекида свој раст око једног дана након оплодње. Фаза цветања женске цвасти се одређује изласком стубића са жиговима у виду свилених нити из покровних листова омотача клипа и то у акропеталном правцу – од основе ка врху. Прво се појављују стубићи горњег дела доње трећине клипа, затим се цветање распростире на горе и на доле од ове зоне и последњи се појављују стубићи вршних цветова. Сваки стубић представља потенцијално зрно на клипу. Захваљујући обраслости и лучењу лепљивих материја, жиг тучка добро хвата поленова зрна (Tardieu et al., 2015). Када поленово зрно падне на жиг тучка, оно почиње да клија и кроз поленову цев у року од 20-25 часова стиже до јајне ћелије и врши оплодњу, стварајући диплоидни ембрион - клицу. У току наредних 8-10 дана долази до формирања „претклице“, при чему је најактивније дељење ћелија у њеном апикалном делу. Као резултат тога, клица има крушкаст облик. Потребно је око 30-35 дана да се клица у потпуности формира. У првим етапама оплодње долази и до спајања другог сперматозоида са једним поларним једром и настаје триплодино примарно једро ендосперма које почиње да се дели. Три дана након оплодње, наступа прелазак ендосперма из слободноједарне у ћелијску фазу, а кроз 5 дана ћелијски ендоспрем испуњава цео клицин мешак. Зрно се повећава у својим размерама и 20-25 дана након оплодње достиже своју максималну величину (Јевтић, 1977).

R2 до R4: Наливање зрна. Наливање зрна представља сложени процес који обухвата два уско повезана процеса који се одвијају паралелно: повећање количине суве материје у зрну и пораст садржаја воде у зрну (Copeland et al., 2001). Почетак наливања зрна обично почиње *blister* фазом (R2), у којој зрна имају облик мехурића. Ендосперм и његова сада обилна унутрашња течност је бистра и мала клица се може видети при пажљивој дисекцији. Новоформирана зрна, посебно она при врху клипа која су оплођена последња, су најосетљивија и имају мањи вигор у односу на остала зрна (Анђелковић *и сар.*, 2012). Свила добија смеђу боју и брзо се суши, а скроб почиње полако да се накупља у зрну. R1 и R2 фазе су најкритичније репродуктивне фазе. Неповољни услови спољашње средине могу озбиљно нарушити потенцијал приноса узрокујући абортивност зрна (Yang et al., 2020). Високе температуре и ниска релативна влажност ваздуха у овом периоду доводе до слабог опрашивања, стерилности полена, смањења броја свилених нити, слабе оплодње и броја формираних зрна по клипу. Након *blister* фазе, наступа **млечна фаза (R3)**. У млечној фази садржај зрна има течну козистенцију беле боје, као резултат јачег накупљања скроба у ендосперму. Уколико се зрно згњечи из њега излази „бело млеко“. Зрна су углавном жута споља и долази до пораста у величини зрна. Како се R3 фаза завршава, услед губитка воде из зрна и накупљања скроба, садржај зрна постаје густ. Зрна ступају у **тестасту фазу (R4)** и мењају своју конзистенцију са млечне, на меку и лепљиву. Наливање зрна траје око 15-20 дана. На крају наливања зрна, зрно садржи 60-65% воде у којој је накупљено 35-40% од максималног садржаја суве материје.

R5 и R6: Сазревање зрна. Почетак сазревања зрна карактерише фаза воштане зрелости или ***dent*** **фаза (R5)** која траје 15-20 дана. Зрно добија воштану конзистенцију и његова влажност се смањује на 38-40%. Зрно постаје све тврђе, а процес отврдњавања почиње тако што хоризонтална линија (млечна линија) између жуте (скробна-чврста) и беле (млечна-течна) области на зрну, полако напредује према врху зрна. Након R5 фазе, биљка кукуруза достиже **физиолошку зрелост (R6)**. Физиолошка зрелост праћена је формирањем слоја мртвих ћелија на зони одвајања (црни слој). У овој фази, маса зрна достиже свој максимум, а садржај влаге се креће од 30% до 35% (Brooking, 1990).

Табела 1. Развојне фазе кукуруза (Nleya et al., 2016)

Вегетативни стадијум		**Репродуктивни стадијум**	
VE	клијање и ницање	R1	свилање – свила је видљиве изван листова клипа
V1	фаза првог листа	R2	*blister* фаза – зрна на клипу су беличаста, садрже бистру течност
V2	фаза другог листа	R3	млечна фаза – активно накупљање шећера у зрну, производња млечне течности
V3	фаза трећег листа	R4	тестаста фаза – садржај шећера у зрну почиње да се претвара у скроб
V(n)	фаза n-тог листа	R5	*dent* фаза – зрно почиње да стврдњава
VT	метличење - последња грана метлице је потпуно видљива	R6	физиолошка зрелост

У току целог периода наливања и сазревања зрна, његова маса се неравномерно мења. У почетку млечне фазе, дневни пораст масе зрна достиже 6-8,3 g по клипу, а на крају ове фазе се смањује на 5 g по клипу, док се у воштаној фази маса сувог зрна практично не мења (Јевтић, 1977). Правилно разумевање и праћење фенолошких фаза кукуруза попут наливања зрна и отпуштања влаге из зрна, игра кључну улогу у научним истраживањима и у управљању пољопривредним праксама (Irmak et al., 2000). Развој фенолошких фаза условљен је како климатским условима, тако и физиолошким карактеристикама самих биљака (McMaster et al., 2005). Праћење тока наливања и сазревања зрна има велики значај за одређивање најбољег рока жетве кукуруза. У данашње време, када су трошкови енергије у порасту, а тржишни захтеви све стриктнији, предности гајења ранијих односно каснијих хибрида, лежи углавном у смањењу трошкова сушења и лакшем чувању, чиме се доприноси бољем здравственом стању кукуруза. Значајнија је ранија жетва која омогућава брже ослобађање пољопривредних површина, стварајући услове за правовремену сетву озимих житарица, нарочито пшенице.

3.4 Накупљање суве материје у зрну

Сува материја у зрну обухвата све компоненте сем воде. Од суве материје, цело зрно кукуруза садржи различите биохемијске супстанце као што су угљени хидрати, од којих је најзаступљенији скроб (68-74%), затим протеини (8-11,5%), масти (4,0-5,5%), витамини и минерали. Сам ендосперм садржи око 85% скроба и 8,5% протеина (Singh et al., 2014). Скроб има кључну улогу јер представља главни извор енергије како за људску, тако и за животињску исхрану (Saeed et al., 2020). Накупљање суве материје је коначни резултат фотосинтетске активности биљака. Садржај суве материје је кључан показатељ квалитета зрна, јер већи садржај суве материје често значи већу масу зрна и боље опште карактеристике, укључујући укус и текстуру. У контексту индустријске прераде, висок садржај суве материје олакшава процесе као што су млевење и екстракција, побољшавајући ефикасност и смањујући трошкове. У исхрани, зрна са високим садржајем суве материје су пожељнија јер пружају више енергије и хранљивих материја по јединици масе, што их чини економичнијим и нутритивно вреднијим. Накупљање суве материје у зрну жита прати сигмоидни образац раста (у облику латиничног слова C (S)). Образац сигмоидног раста зрна сличан је код кукуруза, сирка (Gambín et al., 2008) и пшенице (Pepler et al., 2006). Разликују се три фазе накупљања суве материје у зрну: лаг фаза, линеарна фаза и фаза сазревања (Gasura et al., 2014). Лаг фаза је релативно кратак период са малом генотипском варијабилношћу (Lee et al., 2007), који подразумева период од оплодње до почетка накупљања суве материје и укључује развој ћелија ендосперма и накупљање шећера пре синтезе скроба (Josue et al., 2018). Линеарна фаза је период ефективног наливања зрна, када се преко 90% укупне суве материје накупља у зрну (Lee et al., 2007). Према Borras et al., 2009 почетак линеарне фазе карактерише садржај суве материје у зрну кукуруза од 13%, а крај линеарне фазе, садржај суве материје од 64%. Gambin et al., 2008 наводе да је линеарна фаза од кључног значаја за одређивање и потенцијалне величине зрна и брзине његовог раста, јер се у том периоду успостављају места за акумулацију и складиштење резервних материја које су потребне за даљи развој зрна. Фаза сазревања је период у ком зрно достиже физиолошку зрелост. Припрема за физиолошку зрелост праћена је успоравањем накупљања суве материје и формирањем слоја мртвих ћелија на зони одвајања (црни слој). Након достизања физиолошке зрелости, зрно улази у стање мировања све до клијања. Наливање зрна се често анализира у смислу брзине и укупног трајања накупљања суве материје (Johnson et al., 1972). Eichenberger et al., 2015 истичу

да је коначни принос зрна кукуруза одређен укупним бројем зрна и масом зрна по јединици површине, те да су брзина и трајање накупљања суве материје важни фактори у одређивању коначне масе зрна и самим тим приноса зрна кукуруза. Johnson et al., 1972 су дефинисали брзину накупљања суве материје као нагиб линеарне регресије, који представља пораст масе зрна током времена, све до достизања његове физиолошке зрелости. Побољшање равнотеже између брзине и трајања накупљања суве материје у зрну може допринети ефикаснијој расподели фотосинтата и асимилата у зрну, ублажити негативне ефекте неповољних услова спољашње средине и обезбедити висок и стабилан принос (Yin et al., 2020). Gasura et al., 2013 истичу да се брзина и трајање накупљања суве материје могу користити као индиректне особине у селекцији на принос зрна код раностастних и касностасних линија кукуруза. Поједина истраживања су забележила генотипове кукуруза који се разликују у брзини и трајању накупљања суве материје што указује на могућност коришћења ових особина у селекцији за висок принос код раностасних линија кукуруза (Borras et al., 2009; Gambin et al., 2008; Lee et al., 2007). Поређењем периода наливања зрна код два хибрида у различитим густинама сетве и третманима опрашивања (Borras et al., 2003) и различитих инбред линија (Borras et al., 2009), утврђено је да су разлике у коначној маси зрна биле резултат варијабилности у стопи раста зрна и ефективног трајања накупљања суве материје. Период накупљања суве материје утиче на испољавање важних компоненти приноса и самим тим коначног приноса зрна. Luque et al., 2006 истичу да принос зрна кукуруза зависи од броја зрна по клипу, њихове величине и масе. Број зрна је одређен брзином раста биљке током цветања и особинама клипа као што су број редова зрна по клипу и број зрна по реду. Маса зрна је наследна особина која зависи од периода накупљања суве материје, а постоји позитивна корелација између брзине развоја зрна и трајања наливања зрна (Borras et al., 2009). Брдар *и сар*., 2006 наводе да коначна маса зрна у великој мери зависи од брзине и трајања накупљања суве материје у зрну, као и да ова особина заједно са бројем зрна по клипу и бројем клипова по јединици површине, чини главне компоненте приноса. Gasura et al., 2014 истичу како су оплемењивачи кукуруза у прошлости бирали линије које су имале већи број зрна по реду, број редова по клипу, жетвени индекс и масу 1000 зрна као главне компоненте приноса.

3.5 Садржај влаге у зрну

Вода је основни саставни део зрна кукуруза и значајно утиче на његове физиолошке процесе и квалитет. Промена садржаја влаге у зрну кукуруза се разликује у зависности од фазе развоја (Mousavi et al., 2018). Током лаг и линеарне фазе развоја зрна, влага у зрну почиње да се накупља линеарно све док накупљање суве материје не почне да успорава (Meade, 2012). Највећи садржај влаге у зрну се остварује у првој половини линеарне фазе (Borras et al., 2003). Према Borras et al. 2009, на почетку линеарне фазе садржај влаге у зрну кукуруза износи 87%, а на крају 36%. Након што зрно достигне физиолошку зрелост, започиње пасивни процес сушења и садржај влаге у зрну почиње да опада на линеаран начин (Gambín et al., 2008). Физиолошка зрелост према Brooking-у (1990), наступа у тренутку када влага зрна дође на 34,3-44,5%. До тог момента, у зрну кукуруза преовладавају активни физиолошки процеси. Брзина губитка воде зависи и од типа зрна, дебљине слоја перикарпа и дебљине листова клипа (Mousavi et al., 2018). Истраживања на кукурузу (Saini et al., 2000), пшеници (Calderini et al., 2000) и соји (Swank et al., 1987) су показала да се коначна маса зрна достиже када је садржај влаге у зрну минималан или врло близу минималног. Ови резултати подржавају теорију да трајање наливања зрна зависи од интеракције између накупљања суве материје и смањења садржаја воде у зрну. Накупљање суве материје наставља да замењује воду све док се не достигне критично низак садржај влаге. Стога, процес накупљања суве материје у зрнима и истовремени губитак воде су уско повезани феномени. Ова претпоставка је потврђена резултатима неколико истраживања, која су показала да се уз помоћ садржаја влаге у зрну може предвидети проценат максималне достигнуте масе зрна у било ком тренутку током наливања зрна (Schnyder et al., 1992; Calderini et al., 2000; Borras et al., 2003). Користећи садржај влаге као полазни основ за развој зрна како би проценили остварену масу зрна на сваком узорковању, Schnyder et al., 1992 су покушали да предвиде коначну масу зрна пшенице на основу вредности суве масе на почетку развоја зрна. Успешно су предвидели коначну масу зрна тек када су зрна имала 70% или мање влаге, што је одговарало приближно 40% њихове коначне масе зрна.

Идеалан садржај влаге у зрну за жетву комбајном је између 23% и 24%, док је за чување у складишту препоручљив значајно нижи садржај воде. Садржај влаге у зрну варира у зависности од групе зрења: код генотипова из каснијих група, влага се задржава у већој количини и током дужег временског периода све до бербе (Ранђеловић

и сар., 2010). Независно од услова производње, тржиште фаворизује хибриде који релативно брзо отпуштају влагу након што достигну физиолошку зрелост, чиме се омогућава ранија жетва (Драгичевић *и сар*., 2010). Низак садржај влаге у зрну при жетви је посебно важан у регионима са краћим вегетационим периодом, где је неопходно избећи ризик од оштећења усева због раних јесењих мразева или појаве трулежи клипа због веће количине падавина, посебно после механичке жетве кукуруза (Chai et al., 2017; Wang et al., 2017a). У условима где је потребно додатно сушење зрна пре складиштења, брже отпуштање влаге може значајно смањити трошкове сушења. То директно утиче на профитабилност производње, смањујући оперативне трошкове. Такође, садржај влаге у зрну у време жетве је један од основних фактора који утичу на квалитет жетве, сигурно складиштење и цену продаје (Li, 2017; Martinez-Feria et al., 2019).

3.6 Сума ефективних температура (GDD)

За праћење фаза раста и развоја усева у прошлости коришћене су различити методи, попут броја дана, суме активних температура или фототермалних јединица (McMaster, 2005). До развоја концепта активних температура, најчешће се користило календарско време за описивање раста и развоја биљака. Међутим, коришћење календарске скале није довољно прецизно јер развој биљака значајно варира током топлијих или хладнијих сезона у односу на просечне године. Свака биљка има потребе за извесном количином топлоте за прелазак из претходне у следећу фазу развоја, од почетка до краја вегетације. За израчунавање и мерење потребне топлоте, користе се суме активних и суме ефективних температура за време вегетационог периода (Комљеновић *и сар*., 2011). Сума активних температура је збир средњих дневних температура од почетка до краја вегетације, односно, од ницања до жетве.

Дефинисање термина активних температура се приписује француском научнику *Rene Reaumur*-у, који је развио концепт фенолошке термалне константе, која представља неопходну количину топлоте да биљка достигне одређену фазу развоја (Wang, 1960).

За потребе биљне производње прикладније су ефективне температуре, које представљају средње дневне температуре ваздуха умањене за температурни праг, који за кукуруз износи 10°C. Сабирањем средњих дневних температура ваздуха умањених за 10°C у току одређеног месеца (фенолошке фазе) или у току вегетације, добија се сума

ефективних температура. Суме ефективних температура се још зову топлотне или термичке јединице (GDD - *growing degree days*). Обрачун GDD топлотних јединица се врши на бази суме дневних максималних (*t max*) и минималних температура ваздуха (*t min*), подељено са 2, а затим умањено за 10°C:

$$GDDs \text{ (изражено у } °C) = \left(\frac{t\ max\ \ +\ t\ min}{2}\right) -\ 10$$

Важно је напоменути да се при рачунању топлотних јединица, температуре ваздуха испод 10°C узимају као 10°C, док се температуре изнад 30°C, ограничавају на 30°C. За сваки дан вегетације кукуруза израчунавају се топлотне јединице, што омогућава добијање укупне суме за цео вегетациони период или за одређену фазу развоја биљке (Комљеновић *и сар*., 2011).

Постоје два критеријума за израчунавање топлотних јединица:

Први критеријум је до момента када се влага зрна спусти на 30-32%. Други критеријум је до појаве такозваног "црног слоја" на 50% зрна кукуруза. Сума ефективних температура потребних од почетка до краја вегетације за кукуруз је од 2400°C до 3000°C (Комљеновић *и сар*., 2011).

Због значајних варијација у климатским условима, време цветања и сазревања, изражено у броју календарских дана, значајно варира из године у годину. Будући да је температура ваздуха један од најважнијих фактора спољашње средине који је чврсто повезан са растом и развојем и чини велики део укупних утицаја спољашње средине на генотип, сума ефективних температура је величина којом се најбоље описује дужина вегетације (Јанчић, 2016, Liu et al., 2021). Динамика наливања и сазревања зрна је процењена прилагођавањем сигмоидног модела измереним вредностима масе зрна, при чему је просечна маса зрна представљена преко GDD, 7-10 дана након појаве свиле до физиолошке зрелости, односно, до коначне зрелости за процену динамике садржаја влаге у зрну.

3.7 Моделовање фаза раста и развоја биљака

Разумевање раста биљака је један од основних аспеката пољопривредних и биолошких истраживања. Моделовање раста биљака пружа анализу и предвиђање динамике развоја усева, што је од великог значаја за оптимизацију пољопривредних пракси. Избор одговарајућег модела не само да омогућава праћење физиолошких процеса већ и олакшава доношење одлука о оптималном времену за сетву, наводњавање, ђубрење и примену заштитних средстава (dos Santos et al., 2022). Ово директно утиче на ефикасност коришћења ресурса, смањење трошкова производње и повећање приноса и квалитета зрна.

Због климатских промена, способност предвиђања утицаја температуре и падавина на промене у расту и развоју кукуруза постаје све важнији. Сваки пораст температуре ваздуха од 1°C током репродуктивне фазе кукуруза доводи до смањења приноса за 2–5%. Очекује се да ће се до 2080. године продуктивност кукуруза смањити за приближно 50% као резултат топлотног стреса (Deryng et al., 2014). Оплемењивачима кукуруза, модели раста могу да послуже као ефикасан алат за разумевање интеракције генотипа и спољашње средине, с обзиром да абиотички фактори стреса као што су суша и високе температуре значајно угрожавају активност ћелија, нормалан раст биљака и принос (Mladenov et al., 2023).

Постоји неколико начина за моделовање накупљања суве материје у зрну и губитка влаге из зрна код жита. Најједноставнији метод био би узимање узорака и мерење суве масе зрна на крају фазе наливања. Међутим, мерење суве материје на овај начин неће пружити информације о самом процесу наливања зрна. Модел који приказује процес наливања зрна би требало истовремено да буде применљив у различитим срединама и код различитих генотипова, али и да омогућује интегрисање у неке комплексније моделе. Meade, 2012 истиче да је неопходно упоредити неколико различитих модела и на основу вредности одговарајућих критеријума одабрати најбољи модел за представљање посматраног процеса.

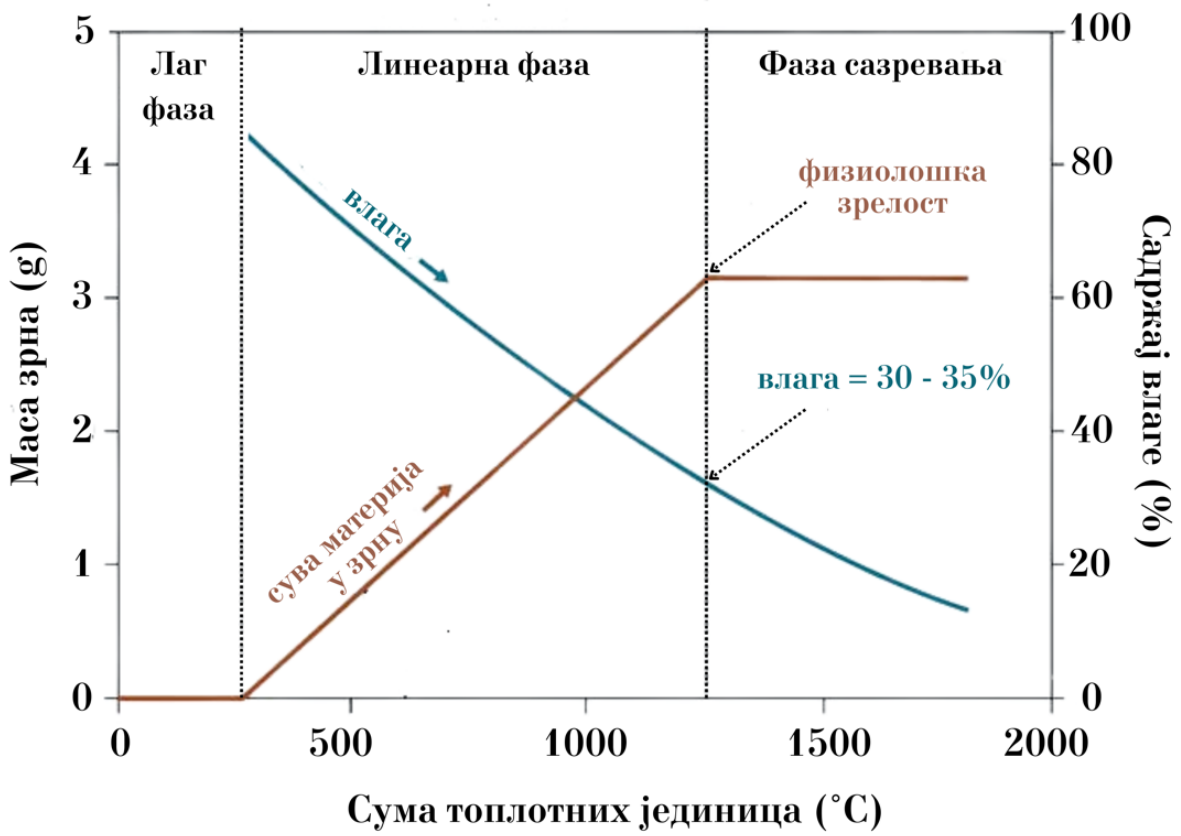
Линеарни модел је један од најједноставнијих начина за опис динамике накупљања суве материје у зрну. Он подразумева да се пораст садржаја суве материје утврђује на основу нагиба линеарне криве у односу на суму температура.

Сегментовани линеарни модел, комбинује више линеарних модела за описивање одређеног нелинеарног процеса. На пример, билинеарни модел је коришћен код кукуруза за описивање периода линеарног раста и периода након што зрно достигне

своју коначну масу (Shi et al., 2021). Трилинеарни модел са платоом коришћен је за квантификацију односа између максималне суве масе зрна и садржаја влаге у зрну код хибрида кукуруза (Li et al., 2021). Код пшенице (Calderini et al., 2000) и сирка (Gambín et al., 2007) коришћена је лаг фаза као додатни сегмент за формирање трилинеарног модела. Употреба сегментованих модела претпоставља да је свака фаза раста различита од следеће, међутим уколико се раст и развој не посматрају на континуирани начин, информације о природи ових биолошких процеса се губе (Scanlon at al., 2009).

За описивање накупљања суве материје, користе се и линеарни модели који се заснивају на полиномима (Kutner et al., 2005). Међутим, вредности параметара у полиномијалним моделима често немају директно биолошко значење и могу бити тешки за тумачење са биолошког становишта. Pržulj et al. 2011 истичу да је наливање зрна сложен биолошки процес и да је тешко понудити једноставну и одговарајућу полиномску једначину која одговара обрасцу промена у накупљању суве материје током периода наливања зрна.

Поред линеарних, континунирани нелинеарни модели са биолошким значењем се могу користити за описивање раста биљака. Нелинеарни модели могу бити погоднији за описивање фаза раста, услед практичне интерпретације параметара, што олакшава разумевање феномена који се проучава (Fernandes et al., 2017; Ribeiro et al., 2018). Они користе математичке функције које прате биолошке процесе раста и развоја, пружајући увиде у то како се раст мења током времена под утицајем различитих унутрашњих и спољашњих фактора. На основу истраживања Villegas et al. 2001, утврђено је да сигмоидна функција најбоље описује накупљање суве материје у функцији суме ефективних температура (GDD). Сигмоидна функција формира криву у облику слова S и тако приказује три кључне фазе развоја зрна: почетну – лаг фазу, средњу – линеарну фазу и крајњу – фазу сазревања, која се често зове и сатурацијска фаза (граф. 2).



Графикон 2. Графички приказ наливања зрна кукуруза који показује промене у сувој материји зрна и влажности зрна у зависности од суме топлотних јединица (Извор: *https://www.pioneer.com/us/agronomy/Late-Nitrogen-Application-Effects-Grain-Filling-Corn.html*, измењено)

Модели који формирају симетричну S криву и који се најчешће користе за описивање раста су: Логистички, Gompretz-ов, Chanter-ов, Weibull-ов модел (Meade, 2012). Најчешће коришћена нелинеарна једначина је логистичка.

$$W = \frac{W_f}{1 + e^{-(g - M)/s}}$$

Логистичка једначина приказује криву која укључује параметре који описују горњу (W_f) асимптоту (права којој се функција приближава у бесконачно далекој тачки), скаларни параметер са ограниченим биолошким значењем (s) и параметер који процењује GDD (g) када је достигнута тачка инфлекције криве (M – вредност независне променљиве при којој функција достиже свој максимум, односно преломна тачка у оквиру посматраног развоја када се достиже максимална брзина раста). Логистичка крива описује процес раста, тако да је брзина раста у почетку пропорционална

количини доступних ресурса (нпр. хранљивих материја или воде). Како ресурси постају ограничени, раст успорава и готово се зауставља достижући фазу засићења. Другим речима, брзина раста је у почетку велика, али временом опада како ресурси постају ограничени (Meade, 2012). Yin et al., 2020 су користили логистички модел за описивање процеса наливања зрна, мерењем масе зрна у различитим временским периодима од цветања до зрелости, код две инбред линије кукуруза.

Gompertz-ова једначина има три параметра: горњу асимптоту (W_f), брзину релативног раста (k) и суму температура (g) при којој се достиже максимална брзина раста (M) (Yin et al., 2003).

$$W = W_f \cdot e^{-e^{-k(g-M)}}$$

Gompertz-ова једначина, попут логистичке, описује раст кроз формирање S-криве, али се разликује у начину на који представља брзину раста током времена. Она претпоставља да ресурси нису ограничени, и да брзина биохемијских реакција постепено опада како се накупља сума топлотних јединица (Thornley et al., 1990). Овај приступ омогућава формирање асиметричне криве и пружа већу флексибилност у поређењу са логистичком једначином. То значи да фаза експоненцијалног раста и фаза успоравања не морају бити једнаке дужине или интензитета. На пример, раст може бити веома брз у почетку и затим постепено успоравати, чинећи криву асиметричном. Celestina et al., 2021 су користили Gompretz-ов модел за приказивање накупљања суве материје и садржаја влаге у класовима пшенице и јечма, а Bôas et al., 2023 за приказивање накупљања суве материје у стабљици, листовима, клиповима и зрну различитих хибрида кукуруза.

Weibull-ова једначина дели многе сличности са Gompretz-овом једначином, али кључна разлика је што Weibull модел дозвољава да вредност суве материје буде нула на самом почетку (када је g (GDD) = 0). Ова једначина укључује четири параметра: максималну масу (W_f), минималну масу (W_0), облик (a) и обим односно ширина криве (b).

$$W = W_f - \left(W_f - W_0\right) \cdot e^{-ag^b}$$

Aboutalebian et al. 2017 су утврдили да је Weibull модел надмашио Логистички модел у предвиђању клијања семена код врсте *Descurainia sophia*, док су Sala et al.,

2007 користили Weibull-ову једначину за приказивање масе зрна кукуруза у функцији суме температура, што потврђује поузданост овог модела у обухватању сложености различитих процеса раста биљака.

4 РАДНА ХИПОТЕЗА

Радне хипотезе постављене на основу наведених задатака и циљева овог истраживања су следеће:

- утврдиће се значајне разлике у динамици накупљања суве материје у зрну и губитку влаге из зрна, приносу и значајним агрономским особинама код испитиваних генотипова кукуруза;
- дефинисаће се модели накупљања суве материје у зрну и губитка влаге из зрна;
- утврдиће се међузависност између приноса и компоненти приноса;
- издвојиће се хибриди са најбољим одговорима на услове средине, са становишта накупљања суве материје у периоду наливања зрна и отпуштања влаге из зрна;
- добијени резултати би могли унапредити истраживања у оплемењивању, развоју нових технологија и метода прецизне пољопривреде, процени и мониторингу стања усева, чиме би се повећала ефикасност производње кукуруза.

5 МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

5.1 Биљни материјал

У огледу је коришћено десет хибрида кукуруза различитих група зрења. Сви генотипови коришћени у истраживању створени су и произведени у Институту за ратарство и повртарство, Институту од националног значаја за Републику Србију.

NS 3022 је средње рани хибрид који припада групи зрења FAO 360. Потенцијал родности овог хибрида је 15 t ha^{-1} сувог зрна, а може се гајити као основни (за зрно и силажу) и као пострни усев (за силажу). Карактерише га дугачак клип са 14 – 16 редова зрна, зрно типа зубана, жуто – наранџасте боје и масе 1000 зрна 350-380 g.

NS 3023 је средње рани хибрид групе зрења FAO 390. Потенцијал за принос зрна овог хибрида је преко 16 t ha^{-1}, а карактерише га брзо отпуштање влаге из зрна након физиолошке зрелости, дугачак клип са 16 редова зрна и зрно типа зубана, жуте боје.

NS 4006 је средње рани хибрид групе зрења FAO 430. Намењен је интензивним условима производње, иако добре резултате постиже и у мање повољним условима гајења. Поседује добру адаптабилност и стабилност приноса, потенцијал за родност од 16 t ha^{-1} , добро развијен клип, цилиндричног облика, са 14 – 16 редова зрна у типу тврђег зубана, жуте боје.

NS 4000 је средње рани хибрид групе зрења FAO 450. Потенцијал за принос зрна овог хибрида је преко 16 t ha^{-1}, клип је цилиндричног облика са 18 редова зрна, а зрно је типа зубана, жуте боје. Карактерише га и чврсто стабло, толерантно према полегању.

NS 5760 је средње касни хибрид групе зрења FAO 550. NS 5760 се може гајити као основни усев за зрно и за силажу, намењен је за рану бербу у клипу, иако се у повољним годинама може комбајнирати у зрну. Потенцијал родности му је преко 16 t ha^{-1}, има чврсто стабло, дугачак, цилиндричан клип, са 16 – 18 редова зрна у типу зубана.

NS 5051 је средње касни хибрид групе зрења FAO 580. Може се гајити као основно усев за зрно и силажу и потенцијал за принос му је преко 16 t ha^{-1} сувог зрна и 60 t ha^{-1} силаже. Карактерише га дугачак клип, цилиндричног облика, са 16- 18 редова зрна. Зрно је у типу зубана и жуте боје, а маса 1000 зрна око 380 g.

NS 6030 је средње касни хибрид групе зрења FAO 660 који се може гајити као основни усев за зрно и за силажу. Погодује му ранија сетва, а потенцијал за принос је до 17 t ha^{-1} сувог зрна и 65 t ha^{-1} силаже. Карактерише га *stay green* особина, односно

задржавање зелене боје у листовима до пуне зрелости зрна. Клип овог хибрида је цилиндричан са 16 редова зрна, а зрно у типу зубана, жуто – наранџасте боје. Маса 1000 зрна износи преко 400 g.

NS 640 је средње касни хирбид групе зрења FAO 660. Потенцијал родности овог хибрида је преко 15 t ha^{-1}. Има дугачак клип, цилиндричног облика са 14 – 16 редова зрна. Зрно је у типу зубана, жуто – наранџасте боје, а маса 1000 зрна је изнад 400 g.

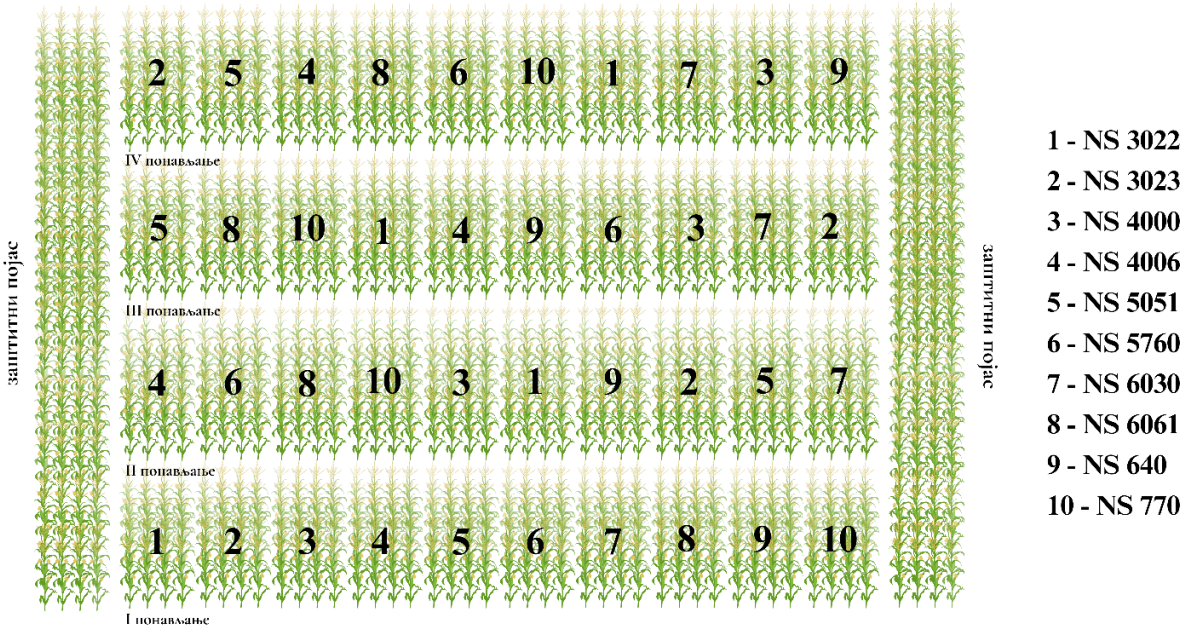
NS 6061 је касни хибрид групе зрења FAO 680. Има цилиндричан клип са 16 редова зрна у типу зубана. Биљка овог хибрида дуго задржава зелену боју (*stay green*), а карактерише га и висока толерантност стабљике на полегање. Маса 1000 зрна је око 410 g.

NS 770 касни хибрид групе зрења FAO 700, намењен производњи зрна и силаже. Потенцијал за принос зрна му је изнад 15 t ha^{-1} сувог зрна и преко 70 t ha^{-1} силаже. NS 770 поседује високу отпорност према полегању и наглашену толерантност према суши. Клип је дугачак, цилиндричног облика, са 16-18 редова зрна. Зрно је типа зубана, жуто-наранџасте боје, а маса 1000 зрна је изнад 400 g.

5.2 Огледи у пољским условима

5.2.1 Експериментални дизајн и поставка огледа

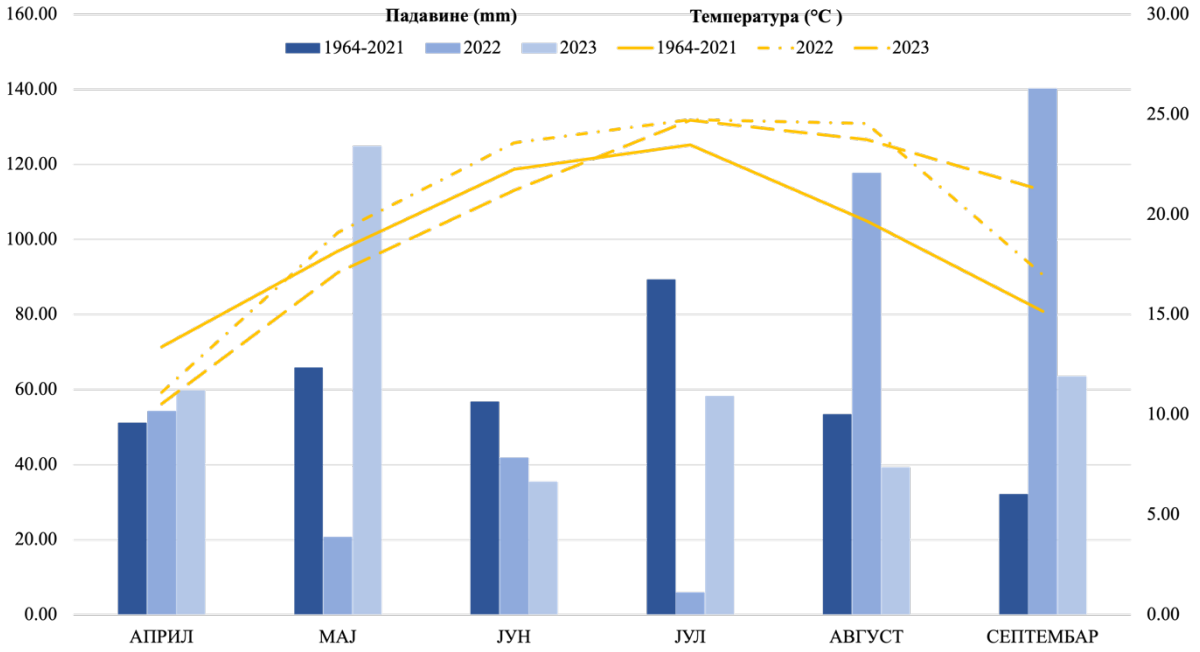
Оглед је постављен у току две вегетационе сезоне (2022 и 2023) на локалитету Римски шанчеви, Србија (45°20'N, 19°51'E), на земљишту типа чернозем, са годишњим просеком падавина од 647,3 mm и просечном температуром од 11,4 °C (Републички хидрометеоролошки завод Србије). Оглед је постављен по потпуно рандомизираном блок дизајну (*RCB - Randomized Complete Block design*). Сваки генотип је посејан у четири понављања 10 метара дужине, са по 40 биљака у реду (сл. 2). Растојање између редова износило је 75 cm, између биљака 22 cm, а дубина сетве је била 6 cm. Огледи су посејани 21.04.2022. године и 06.05.2023. године. Око огледа је посејан заштитни појас хибрида NS 3023 како би први и последњи рубни редови и редови унутар огледа, били у истим условима компетиције. Након сетве су, у току обе године примењене све агротехничке мере уобичајене у технологији производње кукуруза.



Слика 2. Шема експерименталног огледа за 2022. и 2023. годину (Извор: Танасковић, 2024)

5.2.2 Агрометеоролошки услови током 2022. и 2023. године

Метеоролошки параметри су мерени на главној метеоролошкој станици Римски шанчеви (Агрометеоролошке информације Републичког хидрометеоролошког завода), која се налази у непосредној близини огледне парцеле, а вишегодишње просечне вредности основних метеоролошких параметара за локалитет Римски шанчеви су преузете из Републичког Хидрометеоролошког Завода Србије (РХМЗ, Годишњи билтен за Србију 2022. и 2023. годину). Просечне вредности количине падавина и температура током вегетационих периода 2022. и 2023. године су приказане на графикону 3.



Графикон 3. Количине падавина и температуре ваздуха током 2022. и 2023. године и вишегодишњи просек

Просечна температура током вегетационог периода у 2022. години је била 20,01ºC, а укупне количине падавина износиле су 380,4 mm. У априлу су забележене температуре од 11,1 °C, што је ниже од вишегодишњег просека (13,4 °C), док је количина падавина била нешто виша од вишегодишњег просека (54,5 mm : 51,1 mm). У мају и јуну су измерене готово отпималне температуре ваздуха, али је количина падавина од 62,5 mm била знатно нижа од вишегодишњег просека (122,5 mm). Најтоплији део лета је био крај јула (период цветања кукуруза) и прва половина августа (период ефективног наливања зрна). Максималне дневне температуре током јула месеца су достизале чак 39,7 °C. Истовремено, количина падавина је износила свега 5,9

mm, што је знатно ниже у односу на вишегодишњи просек (89,3 mm). Озбиљне количине падавина забележене су током августа (117,7 mm) и септембра (140,1 mm), што је било знатно више у односу на вишегодишњи просек (53,35 mm и 32,1 mm).

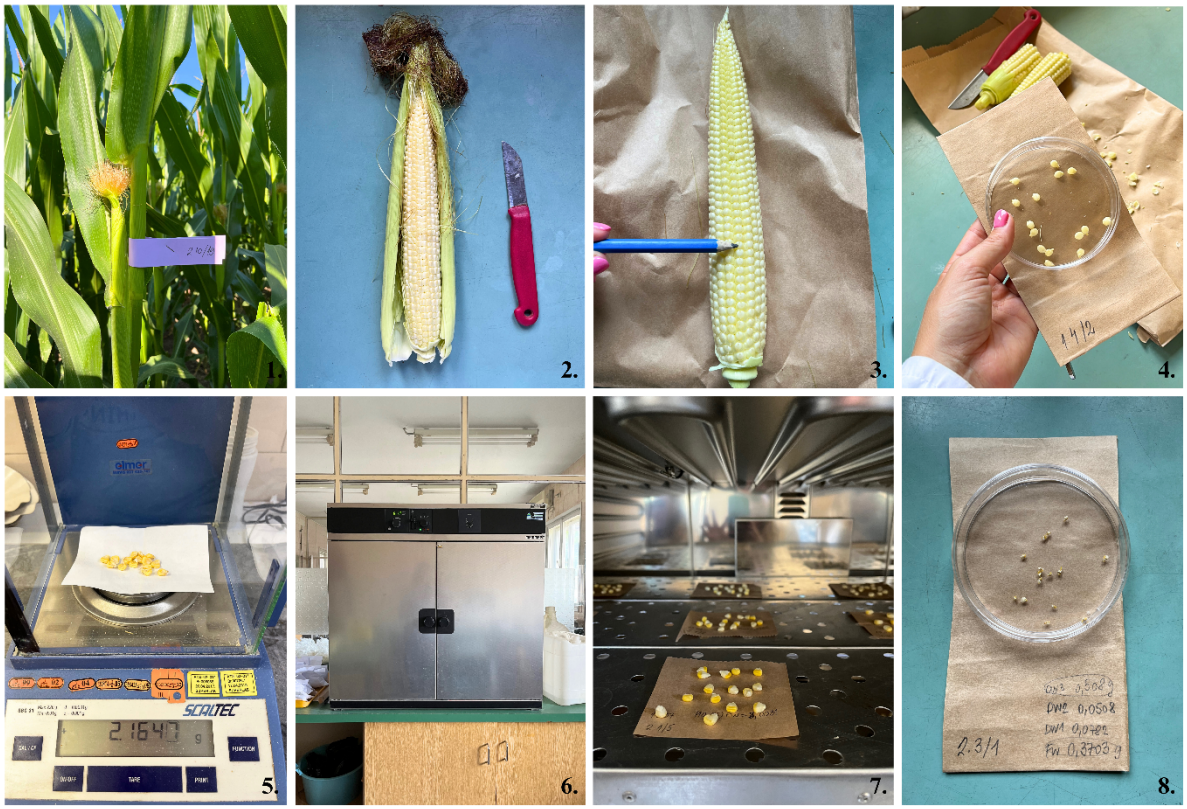
Вегетациони период 2023. године почео је повољним временским приликама за гајење кукуруза. У погледу температуре, у првом делу вегетације (април, мај и јун), забележене су температуре нешто ниже (16,2 °C) од вишегодишњег просека (17,9 °C), док су у другом делу вегетације (јул, август и септембар) температуре биле више (23,2 °C) од вишегодињег просека (19,4 °C). Укупне количине падавина током вегетационог периода у 2023. години су износиле 380,8 mm. Месец април је прошао са количином падавина вишом (59,2 mm) од вишегодишњег просека (51,1 mm), док је екстремно висока количина падавина од 124,8 mm забележена у мају. Крајем јула и почетком августа су се створили повољни услови за формирање тзв. „суперћелијске олује“ која је на Римске шанчеве донела екстремне временске појаве, обилну кишу, снажне ударе ветра и град, и проузроковала штету на огледу у виду делимичног полегања испитиваних генотипова (сл. 3). Нагнутост биљака испитиваних хибрида је била изнад 30 степени, што је омогућило готово несметано наливање зрна и узорковање материјала за потребе лабораторијсих анализа.



Слика 3. Огледна парцела након олује у јулу, 2023. године (Извор: Франета, 2023)

5.3 Анализа морфолошких особина

У току вегетације, биљке су појединачно обележаване у складу са датумом свилања. Утврђивање накупљања суве материје у зрну и губитка влаге из зрна након физиолошке зрелости, одређено је узимањем узорака са репрезентативних биљака сваког хибрида, из два унутрашња реда, након што је 50% биљака на екперименталној парцелици избацило свилу изван овојних листова клипа у дужини од 2 до 3 cm. Узимање узорака подразумевало је бербу по једног клипа са биљке, у размаку од 3 дана. Са сваког клипа узето је 15 зрна као узорак за анализу. Зрна су узоркована са половине клипа ближе основи, а околне плевице и петељка су уклоњени. Прво је измерена почетна маса узорка, а затим су узорци сушени у сушници до константне масе. Накупљена сува материја је одређена као разлика почетне и суве масе зрна подељена са бројем узоркованих зрна (сл. 4).



Слика 4. Поступак узорковања: обележавање појединачних биљака (1), скидање омотача клипа (2), обележавање места узорковања на клипу (3), одвајање 15 зрна (4), мерење свеже масе узорка (5), сушење (6) узорака у сушници (7) до константне масе (8) (Извор: Танасковић, 2023)

Садржај влаге у зрну у периоду од почетка наливања зрна до физиолошке зрелости вршено је на истом процедуром као и за накупљање суве материје. Физиолошка зрелост је детерминисана појавом црног слоја (слој мртвих ћелија на зони одвајања, сл. 5). Као временска скала приликом израчунавања накупљене суве материје и садржаја влаге у зрну, коришћена је сума ефективних температура (GDD).



Слика 5. Физиолошка зрелост кукуруза и формирање црног слоја на зони одвајања (Извор: Танасковић, 2023)

Узимање узорака подразумевало је бербу по једног клипа са биљке, у размаку од 3 дана. Са сваког клипа узето је 15 зрна као узорак за анализу. Зрна су узоркована са половине клипа ближе основи, а околне плевице и петељка су уклоњени. Мерила се почетна маса узорка, а затим су узорци сушени у сушници до константне масе. Садржај влаге у зрну се утврђивао по формули за одређивање количине воде у кукурузу по *Правилнику о методама физичких и хемијских анализа за контролу квалитета жита, млинских и пекарских производа, тестенина и брзо смрзнутих теста 74/1988-1854 („Службени лист СФРЈ" број 74 од 16. децембра 1988.), према формули*:

$$\text{количина воде (у \%)} = \frac{(m_0 - m_1)}{m_0} \cdot 100$$

где је:

m_0 – почетна маса узорка, у грамима

m_1 – маса узорка након сушења, у грамима

Радни узорак на основу ког су испитиване агрономске особине клипа правио се пре жетве, насумичним одабиром по десет клипова, за сваки хибрид. Мерене су следеће особине:

- Дужина клипа (cm)
- Пречник клипа (cm)
- Пречник кочанке (cm)
- Број редова зрна
- Број зрна у реду
- Број зрна по клипу
- Маса 1000 зрна (g)

Маса 1000 зрна је добијена мерењем просечне масе 8×100 зрна узетих из чистог семена са датом влагом, прерачунато на 1000 зрна. Жетва огледа обављена је машински. Мерен принос зрна прерачунат је на 14% влаге.

5.4 Статистичке анализе

На основу истраживања Maede et al., 2012, за одабир одговарајућег модела за најбољи опис динамике накупљања суве материје и динамике садржаја влаге у зрну, одабране су три нелинеарне једначине:

Логистичка једначина (Verhulst, 1838): $y = \frac{c}{1 + exp\,[a \cdot (x - b)]}$

Weibull-ова једначина (1951): $y = c \cdot (1 - exp[-(x / b)^a])$,

Gompertz-ова једначина (1825): $y = c \cdot exp(-exp[\mathrm{a} \cdot (b - x)])$,

где *y* представља вредност зависне променљиве (сува материја, односно садржај влаге у зрну), *x* је независна променљива (GDD - *growing degree days*), *a* је брзина раста садржаја суве материје у зрну, односно губитка влаге из зрна (*Growth Rate*), *b* је тачка инфлексије, односно сума GDD када је достигнута максимална стопа пораста садржаја суве материје у зрну, односно губитка влаге из зрна (*Inflection Point*), *c* је асимптота – максимална количина суве материје коју зрно може да оствари, односно садржај влаге у зрну пре значајног губитка влаге (*Asymptote*).

За правилан опис одређене динамике раста, у овом случају накупљање суве материје и садржај влаге у зрну, одабране једначине су морале да испуне три основна

захтева. Прво, једначина је требало да прикаже сигмоидну криву. Друго, параметри у једначини су требали да имају биолошко значење када се објашњава накупљање суве материје и садржај влаге у зрну током вегетационог развића. Треће, одабрани модел је требало да буде рачунски изводљив, односно рачунска обрада података би требало да се конвергира на процене параметара (Meade, 2013).

Након што су модели прилагођени подацима о маси зрна, проверене су основне статистичке претпоставке које се односе на расподелу и понашање резидуала (Archontoulis et al., 2015). Конкретно, испитани су:

- Нормалност резидуала (помоћу Shapiro–Wilk теста),
- Једнакост варијанси (хомоскедастичност) (помоћу Breusch-Pagan теста), и
- Независност резидуала (помоћу Durbin-Watson теста).

Archontoulis et al., 2015 истичу да провера основних статистичких претпоставки приликом прилагођавања модела подацима, није специфична само за нелинеарне моделе, већ је заједничка и за линеарне моделе. Значајна одступања од основних статистичких претпоставки могу довести до пристрасних и непоузданих процена параметара, као и до погрешно процењених стандардних грешака, или оба истовремено (Ritz et al., 2008). Потенцијална кршења ових претпоставки могу се открити анализом резидуала, како графички, тако и применом формалних статистичких тестова.

Након провере основних статистичких претпоставки, испитивани модели су оцењивани на основу неколико селекционих критеријума (таб. 2).

Табела 2. Селекциони критеријуми за поређење и евалуацију нелинеарних модела коришћених за приказ динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну кукуруза

Селекциони критеријум	**Формула**
Кориговани *Akaike* информациони критеријум (AICc)	$AIC_c = 2k - 2\ln(L) + \frac{2k(k+1)}{n-k-1}$
Сума квадрата грешака (SSE)	$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$
Корен средње квадратне грешке (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$
Коефицијент детерминације (R^2)	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2}$

k – број параметара у моделу; L – максимална вероватноћа модела (логаритамска вероватноћа); n – број података (узорака) у скупу података; y_i – посматране вредности; $\hat{y}_i$ – предвиђене вредности из модела; $\bar{y}$ – средња посматрана вредност.

Akaike информациони критеријум (*Akaike information criterion* – AIC) је критеријум који се користи за процену квалитета модела. AIC пружа вредност која балансира између сложености модела и његове способности да добро уклопи податке. AIC узима у обзир и број параметара у моделу и степен усклађености модела са подацима (Томанић, 2023). Када се пореде различити модели, осим проналаска оног модела који најбоље одговара подацима, важно је узети у обзир његову сложеност. Portet (2020) истиче да се у таквим случајевима често користи (AIC) или његова коригована верзија за мање узорке (AICc). Ови критеријуми помажу да се успостави равнотежа између прецизности уклапања модела са подацима и његове сложености. AICc је посебно погодан за мање скупове података, јер уводи додатно прилагођавање ("казну") које узима у обзир сложеност модела, чиме се побољшава тачност одабира. У пракси, модел са најнижом вредношћу AIC или AICc сматра се најприкладнијим за дати скуп података.

Исто важи и за квадратни корен средње квадратне грешке (RMSE) и суму квадрата грешака (SSE). Ови селекциони критеријуми су посебно значајни у истраживањима у којима се пореде различити нелинеарни модели како би се утврдило који најпрецизније описује трендове у подацима (Deb et al., 2023).

R^2 је статистичка мера која показује колико се добро подаци уклапају у модел регресије (Cornell et al., 1987). Он мери пропорцију варијансе зависне променљиве која се објашњава независном променљивом у моделу. Вредности R^2 се крећу између 0 и 1, при чему веће вредности указују на боље уклапање модела. Модел који има висок R^2 и ниске вредности RMSE и SSE се сматра пожељнијим, јер указује на то да модел успешно објашњава велику количину варијабилности у подацима, а притом задржава ниске нивое грешке. Иако се R^2, RMSE и SSE често користе, они имају своја ограничења из разлога што не узимају у обзир број параметара у моделу. Dos Santos et al., 2024 препоручују коришћење других селекционих критеријума за одабир модела, због обично малих разлика у вредностима R^2.

Стога, да би се донела одлука о најприкладнијем моделу за анализу акумулације суве материје у зрну, неопходно је упоредити перформансе модела на основу више критеријума за одабир.

Након оцене и одабира најбољег модела, израчунати су и параметри са биолошким значењем: максимално накупљање суве материје – ASYM (g), односно максимални садржај влаге у зрну – ASYM-PM (%); време потребно за достизање максималне стопе накупљања суве материје – IP (GDD), односно тачка максималног смањења садржаја влаге – IP-PM (GDD); релативна стопа накупљања суве материје – GR (g GDD^{-1}), односно релативна стопа смањења садржаја влаге у зрну – GR (% GDD^{-1}). Испитивање нормалности података биолошких параметара вршено је на основу Shapiro-Wilk теста. У случају нормалности података, разлике између хибрида на основу биолошких параметара у посматраним годинама, су тестиране Tukey HSD тестом. Уколико није постојала нормалност података, коришћен је непараметријски Kruskal-Wallis тест. За испитивање повезаности између биолошких параметара примењена је мултиваријациона анализа и израчунат је Пирсонов коефицијент корелације, док су резултати графички представљени уз помоћ биплота и графикона. За агрономске особине принос и компоненте приноса је урађена анализа варијансе ради поређења статистичких значајности између хибрида за сваку особину. Повезаност између анализираних агрономских особина испитана је методама корелационе анализе. За израчунавање нелинеарних једначина, вредности селекционих критеријума и биолошких параметара, као и за израду графикона и биплота коришћен је програм JMP Pro (*Trial version* 18.1.0).

6 РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

6.1. Динамика накупљања суве материје у зрну хибрида кукуруза

6.1.1 Анализа нелинеарних модела за 2022. годину

Нелинеарни модели и њихова прилагођеност подацима о маси суве материје у зрну, поређени су на основу вредности селекционих критеријума AICc, SSE, RMSE и R^2 (таб. 3).

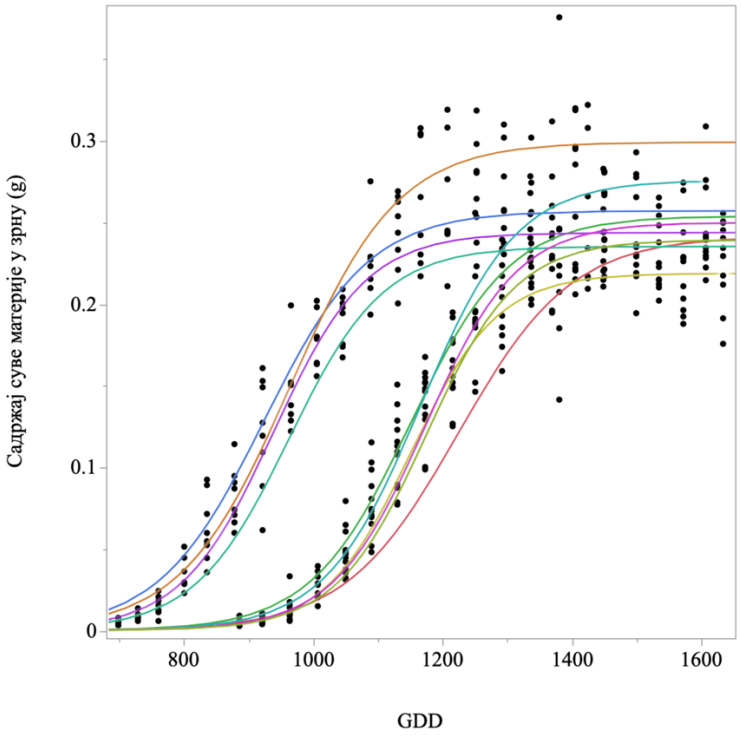
Табела 3. Сигмоидне једначине накупљања суве материје у зрну хибрида кукуруза у 2022. Години

Модел (једначина)	**Селекциони критеријум**			
	AICc	SSE	RMSE	R^2
Weibull	-1898,018	0,172	0,022	0,954
Logistic	-1888,100	0,176	0,022	0,953
Gompertz	-1861,773	0,188	0,023	0,950

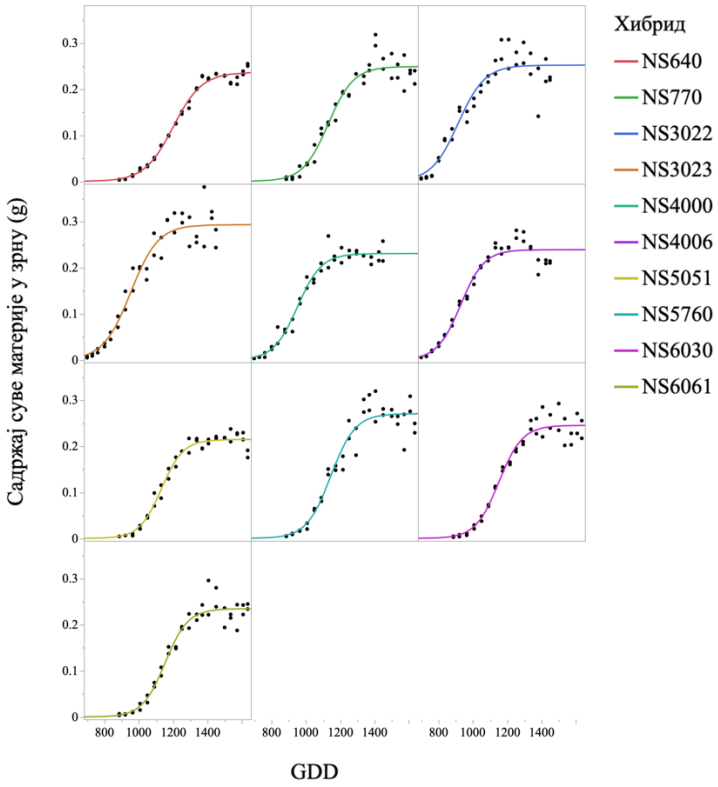
AICc – Кориговани *Akaike* информациони критеријум; SSE – Сума квадрата грешака; RMSE – Корен средње квадратне грешке; R^2 – Коефицијент детерминације

На основу ових вредности, Weibull-ов модел се показао као најпогоднији за опис накупљања суве материје у зрну кукуруза у 2022. години. Weibull-ов модел је имао најнижу AICc (-1898,018), SSE (0,172) и RMSE (0,022) вредност. Логистички модел је био други по реду по погодности, са нешто већом AICc вредношћу (-1888,100), али са готово идентичним SSE (0,176) и RMSE (0,022) вредностима. Gompertz модел је био најмање погодан, имајући највишу AICc вредност (-1861,773), као и нешто више SSE (0,188) и RMSE (0,023) вредности у поређењу са друга два модела. Сви модели су имали високе R^2 вредности. Weibull је имао највишу R^2 вредност (0,954), док су Логистички и Gompertz следили са нижим R^2 вредностима (0,953 и 0,950).

На графикону 4 су приказане криве Webull модела за процес накупљања суве материје у зрну у зависности од суме акумулираних топлотних јединица (GDD) за све испитиване хибриде у 2022. години. На графикону 5 приказане су појединачне криве Weibull модела за сваки хибрид кукуруза, омогућавајући детаљнији увид у разлике у динамици накупљања суве материје у зрну између хибрида.



Графикон 4. Динамика накупљања суве материје у зрну (2022)



Графикон 5. Динамика накупљања суве материје у зрну по хибриду (2022)

6.1.2 Анализа нелинеарних модела за 2023. годину

У 2023. години су нелинеарни модели и њихова прилагођеност подацима о маси зрна такође поређени су на основу вредности селекционих критеријума (AICc, RMSE, SSE и R^2). Вредности селекционих критеријума су приказане у табели 4.

Табела 4. Сигмоидне једначине накупљања суве материје у зрну хибрида кукуруза у 2023. години

Модел (једначина)	**Селекциони критеријум**			
	AICc	SSE	RMSE	R^2
Logistic	-1903,056	0,170	0,021	0,963
Weibull	-1900,404	0,171	0,022	0,963
Gompertz	-1882,571	0,179	0,022	0,962

AICc – Кориговани *Akaike* информациони критеријум; SSE – Сума квадрата грешака; RMSE – Корен средње квадратне грешке; R^2 – Коефицијент детерминације

На основу вредности селекционих критеријума логистички (Logistic) модел се показао као најпогоднији за опис накупљања суве материје у зрну кукуруза у 2023. години. Овај модел је имао најнижу AICc (-1903,056), SSE (0,170) и RMSE (0,021) вредност. Weibull модел је био други по погодности, са нешто већом вредношћу AICc (-1900,404), SSE (0,171) и RMSE (0,022) критеријума. Gompertz-ов модел се као и за 2022. годину, показао као најмање погодан, са највишом AICc (-1882,571), SSE (0,179) и RMSE (0,022) вредношћу. Сви модели су показали високе вредности R^2. Logistic и Weibull модели су имали највећу вредност R^2 од 0,963, док је Gompertz модел имао вредност R^2 од 0,962.

На графикону 6 су приказане криве логистичког модела за процес накупљања суве материје у зрну у зависности од суме акумулираних топлотних јединица (GDD) за све испитиване хибриде у 2023. години. На графикону 7 приказане су појединачне криве логистичког модела за сваки хибрид кукуруза, омогућавајући детаљнији увид у разлике у динамици накупљања суве материје у зрну између хибрида.

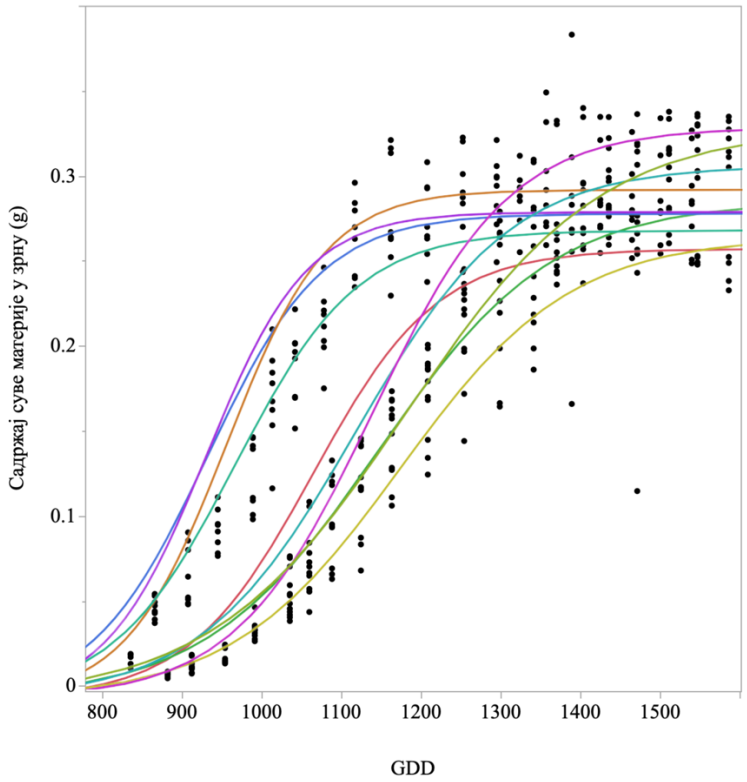


График 6. Динамика накупљања суве материје у зрну (2023)

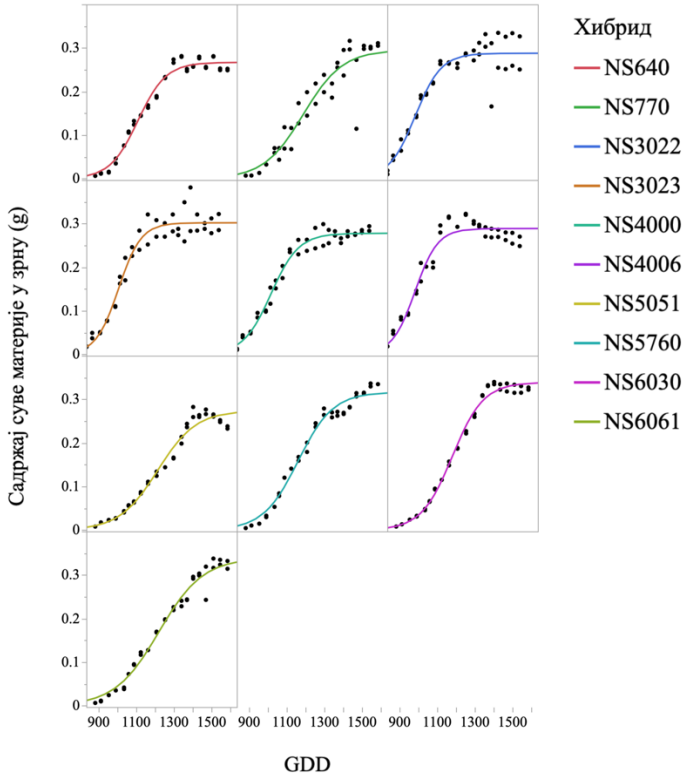


График 7. Динамика накупљања суве материје у зрну по хибриду (2023)

6.1.3 Анализа максималне вредности суве материје у зрну

Током 2022. И 2023. године вршена су мерења како би се квантификовала накупљена сува материја у зрну. У табели 5 је приказана дескриптивна статистика за измерену максималну масу зрна код испитиваних хибрида током две године истраживања. Минимална вредност KDWmax износила је 0,201 g, док је максимална забележена вредност KDWmax износила 0,337 g. Просечна KDWmax је била 0,277 g, са стандардном девијацијом од 0,041 g. Коефицијент варијације (CV) износио је 14,96%.

Табела 5. Дескриптивна статистика за маскималну масу зрна испитиваних хибрида кроз две године истраживања

Статистички параметар за маскималну масу зрна	**Вредност параметра**
Минимум (g)	0,201
Максимум (g)	0,337
Просек (g)	0,277
Стандардна девијација (g)	0,041
Коефицијент варијације (CV [%])	14,96

Резултати Shapiro-Wilk теста утврдили су нормалну расподелу података за KDWmax измерену код сваког испитиваног хибрида (таб. 6).

Табела 6. Shapiro-Wilk тест нормалности расподеле

Параметар	**W вредност**	**p вредност**	**Нормалност расподеле података**
KDWmax	0,947	0,326	Нормална

Анализа варијансе је показала да су и година и хибрид значајно утицали на KDWmax, при чему је утицај године био високо значајнији што је потврђено високом F вредношћу (таб. 7).

Табела 7. Анализа варијансе за маскималну масу зрна испитиваних хибрида

Извор варијације	**Степени слободе**	**Сума квадрата**	**Средина квадрата**	**F вредност**
Година	1	0,017	0,017	52,211**
Хибрид	9	0,013	0,001	4,384*
Грешка	9	0,003	0,000	
Укупно	19			

**значајно на нивоу p<0,01; *значајно на нивоу p<0,05

Резултати Tukey HSD теста показали су да постоје статистички значајне разлике између хибрида у погледу њихове максималне масе зрна у обе године истраживања (таб. 8). Највеће вредности KDWmax у обе године истраживања забележене су код хибрида NS3023 (0,304 g у 2022. И 0,333 g у 2023. Години) и NS6030 (0,337 g у 2023. години). Најмање вредности KDWmax имали су хибриди NS640 (0,201 g у 2022. години) и NS5051 (0,271 g у 2023. години).

Табела 8. Вредности максималне масе зрна испитиваних хибрида у 2022. И 2023. години

Хибрид	**KDWmax (g)**	
	2022	**2023**
NS3022	0,287^{ab}	0,317^{ab}
NS3023	0,304^{a}	0,333^{a}
NS4000	0,235^{ab}	0,278^{ab}
NS4006	0,249^{ab}	0,321^{ab}
NS5051	0,215^{b}	0,271^{b}
NS5760	0,288^{ab}	0,310^{ab}
NS6030	0,247^{ab}	0,337^{ab}
NS6061	0,217^{ab}	0,301^{ab}
NS640	0,201^{b}	0,281^{b}
NS770	0,234^{ab}	0,308^{ab}

$^{a, b}$ Слова указују на статистички значајну разлику између испитиваних генотипова за ниво значајности p<0,05; исто слово поред два или више генотипова указује да не постоји статистички значајна разлика између њих за анализирну особину.

6.1.4 Биолошки параметри логитичког модела за 2022. и 2023. годину

Увид у динамику накупљања суве материје у зрну хибрида током посматраних година омогућила је анализа биолошких параметара логистичке криве: процењена максимална накупљена сува материја – ASYM (g) и време потребно за достизање максималне стопе накупљања суве материје – IP (GDD). Ради бољег разумевања овог физиолошког процеса и добијања биолошки интерпретабилног показатеља интензитета раста, израчунати су и параметри: просечна апсолутна стопа накупљања суве материје – AGR (g GDD^{-1}) и максимална стопа накупљања суве материје – AGRmax (g GDD^{-1}). AGRmax представља највишу вредност стопе раста, која се јавља у тачки инфлексије криве (IP), док AGR пружа информације о укупном интензитету накупљања суве материје током читавог периода наливања зрна. Обе вредности добијене су из првог извода логистичког модела**,** који описује криву раста суве материје у функцији ефективних температура (GDD) за вегетационе сезоне 2022. и 2023. (Hunt, 1982).

Да би се омогућила упоредна анализа између година, за даљу статистичку обраду коришћени су параметри логистичког модела. Иако је за 2022. годину Weibull модел остварио нешто боље прилагођавање подацима, логистички модел је изабран због веома малих разлика у вредностима селекционих критеријума (AICc, RMSE, SSE и R^2), док је за 2023. годину, логистички модел био најбољи.

У табели 9 је приказана дескриптивна статистика за израчунате биолошке параметаре код свих испитиваних хибрида кроз две године истраживања. Установљени су различити нивои варијације међу параметрима ASYM, IP, AGRmax и AGR.

ASYM се кретао у распону од 0,215 g до 0,339 g, са просечном вредношћу од 0,273 g. Стандардна девијација износила је 0,035 g, док је коефицијент варијације био 12,90%. IP је варирала од 914,32 до 1220,98 GDD, са средњом вредношћу од 1086,05 GDD. Стандардна девијација износила је 105,70 GDD, а коефицијент варијације био је 9,73%. Просечан AGR износио је $3{,}33 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}, при чему су вредности варирале у интервалу од $2{,}59 \times 10^{-4}$ до $4{,}15 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}, а коефицијент варијације је био 13,96%. Вредност AGRmax се кретала у распону од $6{,}74 \times 10^{-4}$ до $1{,}26 \times 10^{-3}$ g GDD^{-1}, са просечном вредношћу од $8{,}97 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}. Такође, AGRmax је имао највећу варијабилност међу испитиваним параметрима (CV = 16,84%).

Табела 9. Дескриптивна статистика за биолошке параметре испитиваних хибрида кроз две године истраживања

Статистички параметар	**Биолошки параметри**			
	ASYM (g)	IP (GDD)	AGR (g GDD^{-1})	AGRmax (g GDD^{-1})
Минимум	0,215	914,319	$2{,}59 \times 10^{-4}$	$6{,}74 \times 10^{-4}$
Максимум	0,339	1220,978	$4{,}15 \times 10^{-4}$	$1{,}26 \times 10^{-3}$
Просек	0,273	1086,049	$3{,}33 \times 10^{-4}$	$8{,}97 \times 10^{-4}$
Стандардна девијација	0,035	105,702	$4{,}65 \times 10^{-5}$	$1{,}51 \times 10^{-4}$
Коефицијент варијације (CV [%])	12,90	9,73	13,96	16,84

Резултати Shapiro-Wilk теста су показали нормалност дистрибуције података за параметре ASYM, AGR и AGRmax, али и одступање од нормалности за параметар IP (таб. 10).

Табела 10. Shapiro-Wilk тест нормалности расподеле података

Параметар	**W вредност**	**p вредност**	**Нормалност радсподеле**
ASYM	0,961	0,572	Нормална
IP	0,884	0,020*	Одступање од нормалности
AGR	0,951	0,387	Нормална
AGRmax	0,930	0,156	Нормална

*значајно на нивоу $p<0{,}05$

Параметри ASYM и AGR показали су статистички значајне разлике између година, док утицај хибрида није био значајан (таб. 11). Код параметра AGRmax није утврђен значајан утицај ни године ни хибрида.

Табела 11. Анализа варијансе за параметре ASYM, AGR и AGRmax и Kruskal-Wallis теста за параметар IP

АНОВА					
Параметар	**Извор варијације**	**Степени слободе**	**Сума квадрата**	**Средина квадрата**	**F вредност**
ASYM	Година	1	0,013	0,013	32,924*
	Хибрид	9	0,007	0,001	1,813
	Грешка	9	0,004	0,000	
	Укупно	19	0,024		
AGR	Година	1	$2{,}72 \times 10^{-8}$	$2{,}72 \times 10^{-8}$	36,166*
	Хибрид	9	$7{,}10 \times 10^{-9}$	$7{,}89 \times 10^{-10}$	1,048
	Грешка	9	$6{,}78 \times 10^{-9}$	$7{,}53 \times 10^{-10}$	
	Укупно	19	$4{,}11 \times 10^{-8}$		
AGRmax	Година	1	$2{,}51 \times 10^{-8}$	$2{,}51 \times 10^{-8}$	1,234
	Хибрид	9	$2{,}25 \times 10^{-7}$	$2{,}50 \times 10^{-8}$	1,232
	Грешка	9	$1{,}83 \times 10^{-7}$	$2{,}03 \times 10^{-7}$	
	Укупно	19	$4{,}33 \times 10^{-7}$		

Kruskal-Wallis тест			
IP	**Степени слободе**	**Chi-Square вредност**	**p-вредност**
	9	14,486	0,106

*значајно на нивоу $p<0{,}05$

У случају параметра IP, услед одступања од нормалне дистрибуције података, примењен је Kruskal-Wallis тест, који такође није показао статистички значајне разлике између хибрида. Ради додатне провере, спроведен је и Steel-Dwass All Pairs тест као непараметарски *post-hoc* тест, који је потврдио изостанак статистички значајних разлика. Резултати Tukey HSD теста такође потврдили да не постоје статистички значајне разлике између хибрида по питању испитиваних параметара (таб. 12).

Табела 12. Вредности биолошких параметара хибрида кукуруза у 2022. и 2023. години: ASYM – процењена максимална накупљена сува материја (g); IP – време потребно за достизање максималне стопе накупљања суве материје (GDD); AGR – просечна апсолутна стопа накупљања суве материје (g GDD^{-1}); AGRmax – максимална стопа накупљања суве материје (g GDD^{-1})

Хибрид	**Година**	**Биолошки параметри**			
		ASYM (g)	IP (GDD)	AGR (g GDD^{-1})	AGRmax (g GDD^{-1})
NS3022	2022	0,253[a]	914,319[a]	$2,99 \times 10^{-4}$ [a]	$8,17 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,288[a]	983,418[a]	$3,59 \times 10^{-4}$ [a]	$10,44 \times 10^{-4}$ [a]
NS3023	2022	0,294[a]	952,621[a]	$3,50 \times 10^{-4}$ [a]	$9,20 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,302[a]	1006,284[a]	$3,98 \times 10^{-4}$ [a]	$12,56 \times 10^{-4}$ [a]
NS4006	2022	0,240[a]	928,588[a]	$2,87 \times 10^{-4}$ [a]	$8,79 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,289[a]	982,229[a]	$3,47 \times 10^{-4}$ [a]	$11,98 \times 10^{-4}$ [a]
NS4000	2022	0,231[a]	951,175[a]	$2,77 \times 10^{-4}$ [a]	$8,32 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,278[a]	1016,749[a]	$3,73 \times 10^{-4}$ [a]	$9,45 \times 10^{-4}$ [a]
NS5760	2022	0,271[a]	1145,058[a]	$3,26 \times 10^{-4}$ [a]	$9,62 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,316[a]	1160,702[a]	$3,32 \times 10^{-4}$ [a]	$8,51 \times 10^{-4}$ [a]
NS5051	2022	0,215[a]	1130,867[a]	$2,59 \times 10^{-4}$ [a]	$8,46 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,274[a]	1214,567[a]	$3,82 \times 10^{-4}$ [a]	$6,74 \times 10^{-4}$ [a]
NS6030	2022	0,246[a]	1151,444[a]	$2,97 \times 10^{-4}$ [a]	$9,08 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,339[a]	1180,925[a]	$4,15 \times 10^{-4}$ [a]	$10,25 \times 10^{-4}$ [a]
NS640	2022	0,237[a]	1200,082[a]	$2,87 \times 10^{-4}$ [a]	$7,10 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,267[a]	1109,665[a]	$4,07 \times 10^{-4}$ [a]	$8,95 \times 10^{-4}$ [a]
NS6061	2022	0,235[a]	1152,867[a]	$2,85 \times 10^{-4}$ [a]	$8,89 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,339[a]	1220,978[a]	$3,32 \times 10^{-4}$ [a]	$7,26 \times 10^{-4}$ [a]
NS770	2022	0,250[a]	1129,795[a]	$2,97 \times 10^{-4}$ [a]	$8,49 \times 10^{-4}$ [a]
	2023	0,295[a]	1188,638[a]	$3,57 \times 10^{-4}$ [a]	$7,06 \times 10^{-4}$ [a]

[a] Слова указују на статистички значајну разлику између испитиваних генотипова за ниво значајности $p<0,05$; исто слово поред два или више генотипова указује да не постоји статистички значајна разлика између њих за анализирну особину

Највиша вредност ASYM параметра забележена је код хибрида NS3023 (0,294 g), док је најнижа забележена код NS5051 (0,215 g). Вредности IP параметра кретале су се од 914,319 GDD код хибрида NS3022 до 1200,082 GDD код хибрида NS640. Највећа вредност параметра AGR уочена је код хибрида NS3023 ($3{,}50 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}), док је најмања вредност била код хибрида NS5051 ($2{,}59 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}). Највећа вредност AGRmax параметра уочена је код NS3023 ($9{,}20 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}), док је најнижа вредност забележена код хибрида NS640 ($7{,}10 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}).

У 2023. години, све вредности ASYM параметра биле су више у односу на 2022. годину. Највиша вредност овог параметра забележена је код хибрида NS6030 (0,330 g), док је најнижа вредност поново уочена код хибрида NS5051 (0,262 g). Када је реч о IP параметру, најкаснији тренутак достизања максималне брзине накупљања суве материје забележен је код хибрида NS6061 (1277,075 GDD), док је најранији био код NS3022 (1023,370 GDD). Највиша вредност AGR параметра уочена је код NS3023 ($3{,}92 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}), а најнижа код NS5051 ($2{,}81 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}). Параметар AGRmax, који одражава максималну брзину накупљања суве материје, имао је највишу вредност код NS3023 ($1{,}19 \times 10^{-3}$ g GDD^{-1}), док је најнижа вредност овог параметра забележена код хибрида NS6061 ($7{,}56 \times 10^{-4}$ g GDD^{-1}).

6.1.5 Веза биолошких параметара испитивних хибрида

Ради утврђивања повезаности биолошких параметара и измерених вредности максималне масе зрна у 2022. и 2023. години, извршена је корелациона анализа. Корелациона анализа (таб. 13) је показала различите степене сагласности између процењене максималне накупљене суве материје (ASYM), времена потребног за достизање максималне стопе накупљања суве материје (IP), просечне апсолутне стопе накупљања суве материје (AGR) и максималне стопе накупљања суве материје (AGRmax).

Табела 13. Корелациона анализа између биолошких параметара и измерене максималне масе зрна испитиваних хибрида у 2022. и 2023. години

Параметри		**Година**	
		2022	**2023**
ASYM	IP	-0,2568	0,4191
ASYM	AGRmax	0,4951	-0,0120
ASYM	AGR	0,9967*	-0,2070
IP	AGRmax	-0,0954	-0,8229*
IP	AGR	-0,2004	-0,0592
AGR	AGRmax	0,5124	0,2836

**значајно на нивоу p<0,01; *значајно на нивоу p<0,05

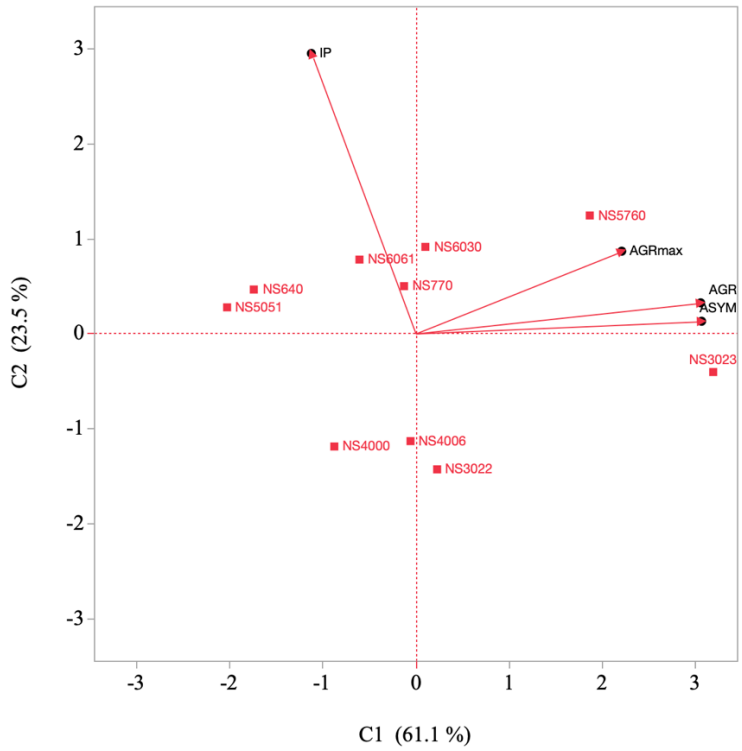
Корелације између испитиваних параметара су биле слабе и статистички несигнификантне у обе године истраживања. Међутим, у 2022. години издвојила се јака и статистички значајна позитивна корелација између ASYM и AGR, као и корелација између IP и AGRmax, која је била негативна и такође статистички значајна у 2023. години.

Анализа главних компоненти (*Principal Component Analysis* - PCA) је изведена како би се приказала дистрибуција хибрида кукуруза на основу њихових биолошких параметара за накупљање суве материје у зрну, омогућавајући бољи приказ међусобних разлика и сличности између хибрида. У табели 14 су приказане сопствене вредности (енгл. *eigenvalues*) и сопствени вектори (енгл. *eigenvectors*) главних компоненти PCA анализе за 2022. и 2023. годину.

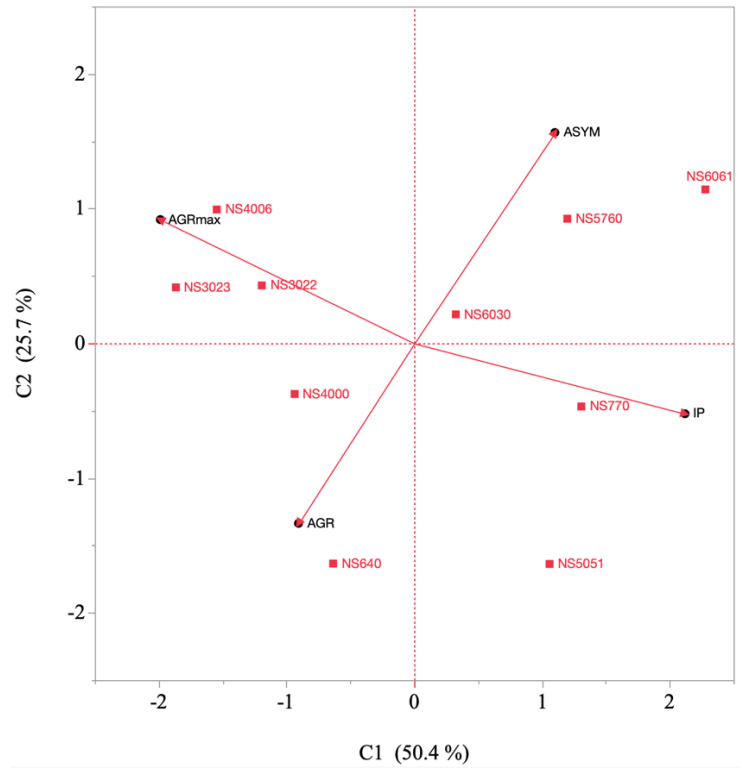
У 2022. години прва главна компонента (C1) је имала највећу сопствену вредност од 2,444 и тако објаснила 61,09% укупне варијације података. Друга главна компонента (C2) је имала сопствену вредност од 0,939, и објаснила 23,47% варијабилности, док је трећа главна компонента (C3) имала сопствену вредност од 0,616, и објаснила додатних 15,40% варијабилности података. Четврта главна компонента (C4) је објаснила занемарљиво мали проценат укупне варијансе (0,04%), није имала значајан утицај на структуру података, те је занемарена у даљој интерпретацији. На основу вредности сопствених вектора, параметар ASYM је имао највећи допринос (0,615) дефинисању прве главне компоненте**,** а заједно са њим и параметар AGR (0,613). IP параметар је имао највећи допринос у дефинисању друге главне компоненте (0,953) и тако објаснио варијабилност у времену потребном за достизање физиолошке зрелости. AGRmax је имао највећи допринос дефинисању треће главне компоненте са вредношћу сопственог вектора од –0,851.

У 2023. години прва главна компонента је имала највећу сопствену вредност од 2,016 и тако објаснила 51,40% укупне варијабилности у подацима, док је друга главна компонента је имала сопствену вредност од 1,029 и објаснила 25,74% варијабилности у подацима. Трећа главна компонента је објаснила додатних 22,95% укупне варијабилности, а четврта главна компонента преосталих занемарљивих 0,91% варијабилности у подацима. Сопствени вектори параметара IP **(**0,655) и AGRmax (–0,614) показали су да су ови парамтери највише су допринели дефинисању прве главне компоненте. ASYM параметар је имао вредност сопственог вектора 0,676 и тако највише допринео дефинисању друге главне компоненте. Највећи допринос у дефинисању треће главне компоненте је имао AGR параметар (0,736).

На графикону 8 су приказане прве две главне компоненте, C1 и C2, које заједно објашњавају 84,57% укупне варијабилности у подацима за 2022. годину, и 76,14% укупне варијабилности у подацима за 2023. годину (граф. 9).



Графикон 8. Биплот PCA анализе биолошких параметара накупљања суве материје у зрну хибрида кукуруза у 2022. години



Графикон 9. Биплот PCA анализе биолошких параметара накупљања суве материје у зрну хибрида кукуруза у 2023. години

Табела 14. Сопствене вредности, процентуални удео главних компоненти у укупној варијанси, кумулативни проценат укупне варијансе и сопствени вектори параметара

Главна компонента	**Сопствена вредност компоненте**	**Проценат објашњене варијансе (%)**	**Кумулативни проценат (%)**	**Сопствени вектори параметара**			
				ASYM	**IP**	**GR**	**KDWmax**
2022							
C1	2,444	61,09	61,09	0,615	-0,224	0,613	0,443
C2	0,939	23,47	84,57	0,041	0,953	0,104	0,280
C3	0,616	15,40	99,96	0,346	0,198	0,340	-0,851
C4	0,002	0,04	100,00	0,707	0,042	-0,705	0,015
2023							
C1	2,016	50,40	50,40	0,340	0,655	-0,280	-0,614
C2	1,029	25,74	76,14	0,676	-0,226	-0,578	0,397
C3	0,918	22,95	99,09	0,564	0,268	0,736	0,263
C4	0,036	0,91	100,00	-0,330	0,669	-0,216	0,629

6.2 Динамика садржаја влаге у зрну хибрида кукуруза

6.2.1 Анализа нелинеарних модела за 2022. годину

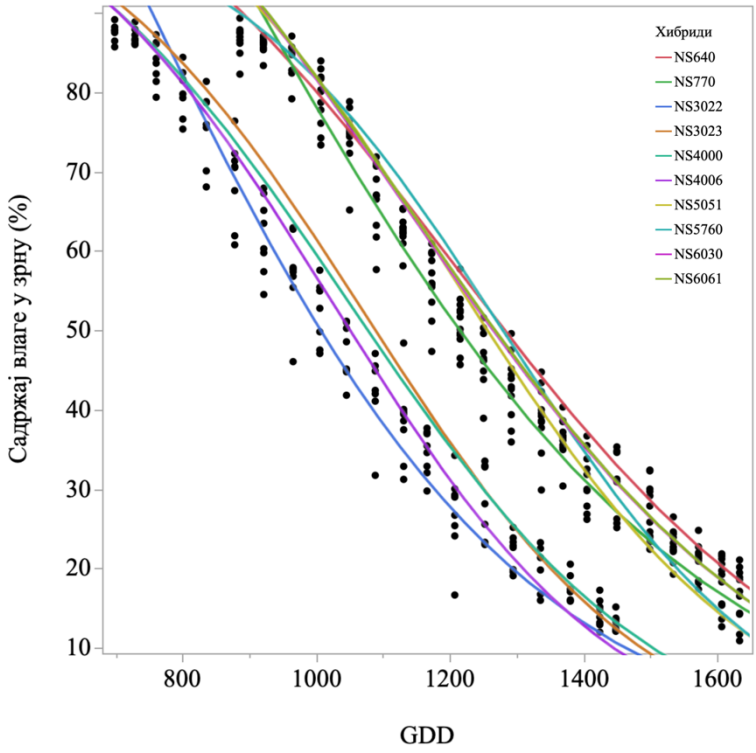
Током 2022. године, вршена су мерења за масу зрна како би се квантификовао садржај влаге у зрну. Вредности селекционих критеријума (AICc, RMSE, SSE и R^2) за нелинеарне сигмоидне моделе у 2022. години су приказане у табели 15.

Табела 15. Поређење сигмоидних једначина садржаја влаге у зрну хибрида кукуруза у 2022. години

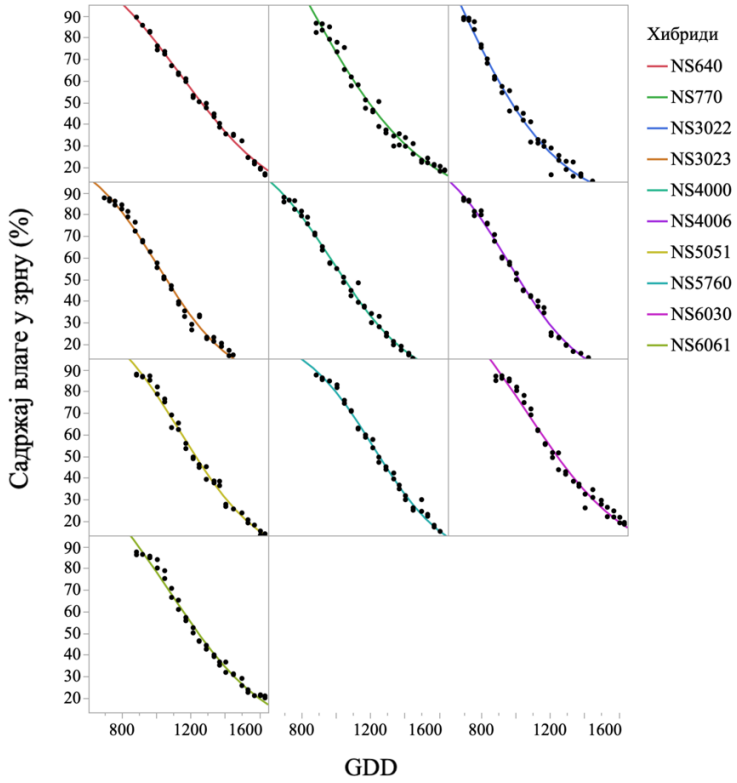
Модел (једначина)	**Селекциони критеријум**			
	AICc	SSE	RMSE	R^2
Logistic	1934,659	2494,281	2,596	0,990
Gompertz	1981,188	2801,973	2,752	0,988
Weibull	3282,639	72526,410	14,001	0,698

AICc - кориговани *Akaike* информациони критеријум; SSE - сума квадрата грешака; RMSE - корен средње квадратне грешке; R^2 - коефицијент детерминације

На основу ових вредности, логистички модел се показао као најбољи за опис динамике садржаја влаге у зрну кукуруза у 2022. години. Логистички модел је имао најнижу AICc (1934,659), SSE (2494,281) и RMSE (2,596) вредност. Gompertz-ов модел је био други по реду по погодности, са нешто већим AICc (1981,188), SSE (2801,973) и RMSE (2,752) вредностима. Weibull-ов модел је био најмање погодан, имајући највишу AICc вредност (3282,639), као и знатно више SSE (72526,410) и RMSE (14,001) вредности у поређењу са друга два модела. Логистички и Gompertz-ов модел су имали високе R^2 вредности. Логистички је имао највишу вредност R^2 (0,990), док је Gompertz-ов модел следио са нешто нижом R^2 вредношћу (0,988). Weibull-ов модел је имао најнижу вредност коефицијента детерминације од 0,698. На графикону 10 су приказане криве логистичког модела за садржај влаге у зрну у зависности од суме акумулираних топлотних јединица (GDD) за све испитиване хибриде у 2022 години. На графикону 11 приказане су појединачне криве логистичког модела за сваки хибрид кукуруза, омогућавајући детаљнији увид у разлике у динамици губитка влаге између хибрида.



Графикон 10. Динамика садржаја влаге у зрну свих хибрида (2022)



Графикон 11. Динамика садржаја влаге у зрну по хибриду (2022)

6.2.1 Анализа нелинеарних модела за 2023. годину

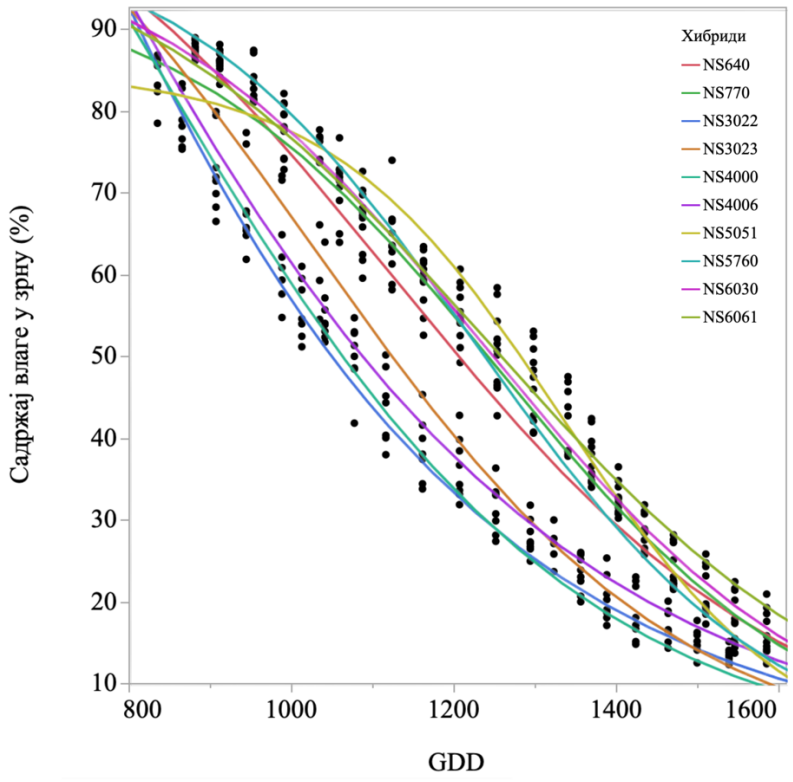
Подаци о садржају влаге у зрну прилагођени су нелинеарним једначинама и у 2023. Години. Вредности селекционих критеријума (AICc, RMSE, SSE и R^2) су приказане у табели 16.

Табела 16. Поређење сигмоидних једначина садржаја влаге у зрну хибрида кукуруза у 2022. Години

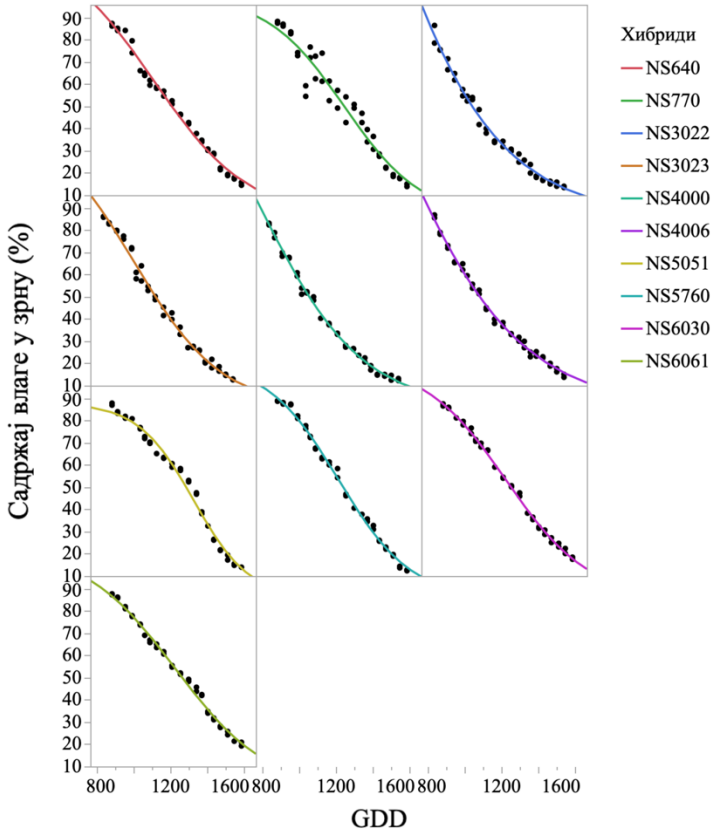
Модел (једначина)	**Селекциони критеријум**			
	AICc	SSE	RMSE	R^2
Gompertz	1925,316	2436,696	2,566	0,989
Logistic	1954,970	2624,210	2,663	0,988
Weibull	3270,632	70381,736	13,792	0,682

AICc – кориговани *Akaike* информациони критеријум; SSE – сума квадрата грешака; RMSE – корен средње квадратне грешке; R^2 – коефицијент детерминације

На основу вредности селекционих критеријума Gompertz-ов модел се показао као најбољи у дескрипцији динамике садржаја влаге у зрну у 2023. Години. Овај модел је имао најнижу AICc (1925,316), SSE (2436,696) и RMSE (2,566) вредност. Логистички модел је био други по погодности, са нешто већом вредношћу AICc (1954,970), SSE (2624,210) и RMSE (2,663) критеријума. Weibull-ов модел се као и за 2022. Годину, показао као најмање погодан, са највишом AICc (3270,632), SSE (70381,736) и RMSE (13,792) вредношћу. Gompertz-ов и логистички модел су имали скоро идентичну вредност R^2 критеријума, док је Weibull-ов модел имао вредност R^2 од 0,682. На графикону 12 су приказане криве Gompertz-овог модела за садржај влаге у зрну у зависности од суме акумулираних топлотних јединица (GDD) за све испитиване хибриде у 2023 години. На графикону 13 приказане су појединачне криве Gompertz-овог модела за сваки хибрид кукуруза. Може се приметити да сви испитивани хибриди показују сличну динамику садржаја влаге у зрну.



Графикон 12. Динамика садржаја влаге у зрну свих хибрида (2023)



Графикон 13. Динамика садржаја влаге у зрну по хибриду (2023)

6.2.2 Биолошки параметри логистичког модела за 2022. и 2023. годину

Увид у динамику садржаја влаге у зрну, односно губитка влаге након физиолошке зрелости током обе посматране године, постигнут је анализом биолошких параметара логистичке криве: садржај влаге у тренутку физиолошке зрелости (ASYM-PM, %), сума акумулираних топлотних јединица у тренутку физиолошке зрелости (IP-PM, GDD) и релативна стопа губитка влаге (GR-PM, % GDD^{-1}).

Да би се омогућила упоредна анализа између година, коришћени су параметри логистичког модела, који је био најпогоднији за 2022. годину, док је у 2023. години заузео друго место по прилагођавању подацима. Логистички модел је изабран јер је разлика у AICc, RMSE, SSE и R^2 вредностима између њега и најпогоднијег Gompertzovog модела била веома мала. У табели 17 је приказана дескриптивна статистика за израчунате биолошке параметаре код свих испитиваних хибрида кроз две године истраживања. Резултати дескриптивне статистике су показали различите нивое варијације међу параметрима. Најнижи коефицијент варијације (CV) је имао параметар ASYM-PM (6,84%). Параметар IP-PM имао је нешто већи CV од 7,53%, док је највећа варијација забележена је код параметра GR-PM, чији је коефицијент варијације износио 22,31%.

Табела 17. Дескриптивна статистика биолошких параметара за садржај влаге у зрну испитиваних хибрида кроз две године истраживања

Статистички параметар	**Биолошки параметри**		
	ASYM-PM (%)	IP-PM (GDD)	GR-PM (% GDD^{-1})
Минимум	27,71	1140,503	$-6{,}61 \times 10^{-3}$
Максимум	35,97	1456,815	$-2{,}83 \times 10^{-3}$
Просек	32,794	1325,973	$-4{,}05 \times 10^{-3}$
Стандардна девијација	2,243	99,847	$9{,}04 \times 10^{-4}$
Коефицијент варијације (CV [%])	6,84	7,53	22,31

Због предности предикционих модела, на основу момента формирања црног слоја (показатељ физиолошке зрелости), примењена је опција „специјалне обрнуте предикције“ (енгл. *custom inverse prediction*). Овим је израчунато колико је акумулираних топлотних јединица (GDD) било потребно сваком хибриду да достигне физиолошку зрелост, на основу дефинисаних вредности влаге у тренутку физиолошке зрелости. Одабрана је влага у тренутку физиолошке зрелости јер је овај параметар кључни показатељ процеса сазревања зрна кукуруза. Физиолошка зрелост означава тренутак када је зрно достигло максималну количину суве материје и када почиње значајан губитак влаге у зрну. Вредности биолошких параметара логистичког модела испитиваних хибрида кукуруза у 2022. и 2023. приказани су у табели 18.

У 2022. години, највиша вредност влаге у тренутку физиолошке зрелости забележена код хибрида NS6061 (ASYM-PM = 35,97%), док је најнижа влага забележена код хибрида NS4006 (ASYM-PM = 30,00%). Највиша вредност суме температура потребних за постизање физиолошке зрелости је забележена код хибрида NS6030 (IP-PM = 1454,906 GDD), а најнижа код хибрида NS 3022 (IP-PM = 1140,503 GDD). Највиша апсолутна вредност релативне стопе губитка влаге, забележена је код хибрида NS5760 (GR-PM = -4,688 × 10^{-3}% GDD^{-1}), а најнижа код хибрида NS770 (GR-PM = -2,884 × 10^{-3}% GDD^{-1}).

У 2023. години, хибриди су имали углавном нешто ниже вредности влаге у тренутку физиолошке зрелости у поређењу са 2022. годином. Највиша вредност ASYM-PM параметра је забележена код хибрида NS5051 (35,10%), а најнижа код хибрида NS4000 (27,71%). Највиша вредност IP-PM параметра је забележена код хибрида NS6061 (1456,815 GDD), а најнижа код хибрида NS3022 (1232,805 GDD). Најбржи губитак влаге из зрна након физиолошке зрелости (GR-PM) је забележен код хибрида NS5051 (--6,614 × 10^{-3}% GDD^{-1}), а најспорији код хибрида NS4006 (-2,833 × 10^{-3}% GDD^{-1}).

Табела 18. Биолошки параметри логистичког модела за испитиване хибриде кукуруза у 2022. и 2023. години (садржај влаге у тренутку физиолошке зрелости (ASYM-PM), сума акумулираних топлотних јединица у тренутку физиолошке зрелости (IP-PM) и релативна стопа губитка влаге (GR-PM))

Хибрид	**Година**	**Биолошки параметри**		
		ASYM-PM (%)	IP-PM (GDD)	GR-PM (% GDD^{-1})
NS3022	2022	32,02[a]	1140,503[a]	-3,378 × 10^{-3} [a]
	2023	30,26[a]	1232,805[a]	-2,882 × 10^{-3} [a]
NS3023	2022	34,14[a]	1192,606[a]	-4,563 × 10^{-3} [a]
	2023	34,68[a]	1247,035[a]	-4,171 × 10^{-3} [a]
NS4006	2022	30,00[a]	1190,716[a]	-4,569 × 10^{-3} [a]
	2023	33,18[a]	1252,403[a]	-2,833 × 10^{-3} [a]
NS4000	2022	33,58[a]	1196,236[a]	-4,218 × 10^{-3} [a]
	2023	27,71[a]	1264,544[a]	-3,517 × 10^{-3} [a]
NS5760	2022	35,81[a]	1370,188[a]	-4,688 × 10^{-3} [a]
	2023	32,66[a]	1374,008[a]	-5,118 × 10^{-3} [a]
NS5051	2022	30,12[a]	1423,537[a]	-4,205 × 10^{-3} [a]
	2023	35,10[a]	1389,267[a]	-6,614 × 10^{-3} [a]
NS6030	2022	32,79[a]	1454,906[a]	-3,389 × 10^{-3} [a]
	2023	31,80[a]	1415,653[a]	-4,458 × 10^{-3} [a]
NS640	2022	35,49[a]	1412,434[a]	-3,452 × 10^{-3} [a]
	2023	34,37[a]	1353,037[a]	-3,873 × 10^{-3} [a]
NS6061	2022	35,97[a]	1382,659[a]	-3,427 × 10^{-3} [a]
	2023	30,46[a]	1456,815[a]	-4,052 × 10^{-3} [a]
NS770	2022	32,19[a]	1380,956[a]	-2,884 × 10^{-3} [a]
	2023	33,55[a]	1389,152[a]	-4,745 × 10^{-3} [a]

[a] Слова указују на статистички значајну разлику између испитиваних генотипова за ниво значајности $p<0,05$; исто слово поред два или више генотипова указује да не постоји статистички значајна разлика између њих за анализирну особину

Резултати Shapiro-Wilk теста су потврдили нормалност дистрибуције података за параметре ASYM-PM и GR-PM, односно одступање од нормалности за параметар IP-PM (таб. 19).

Табела 19. Shapiro-Wilk тест нормалности расподеле података

Параметар	**W вредност**	**p вредност**	**Нормалност расподеле**
ASYM-PM	0,959	0,5149	Нормална
IP-PM	0,897	0,0369*	Одступање од нормалности
GR-PM	0,919	0,0931	Нормална

*значајно на нивоу p<0,05

Анализа варијансе је показала да за параметре ASYM-PM и GR-PM ни хибрид ни година нису имали значајан утицај на садржај влаге у тренутку физиолошке зрелости (таб. 20). Иако постоје одређене разлике у просечним вредностима између хибрида по питању испитиваних параметара, резултати Tukey HSD теста су указали да те разлике нису статистички значајне (означено словом ”a” у табели 18).

Табела 20. Анализа варијансе за параметре ASYM и GR и Kruskal-Wallis теста за параметар IP

АНОВА					
Параметар	**Извор варијације**	**Степени слободе**	**Сума квадрата**	**Средина квадрата**	**F вредност**
ASYM-PM	Година	1	3,478	3,478	0,4702
	Хибрид	9	37,040	4,116	0,7181
	Грешка	9	55,085	6,121	
	Укупно	19	95,602		
GR-PM	Година	1	$6{,}09 \times 10^{-7}$	$6{,}09 \times 10^{-7}$	0,7915
	Хибрид	9	$7{,}99 \times 10^{-6}$	$8{,}88 \times 10^{-7}$	1,1541
	Грешка	9	$6{,}92 \times 10^{-6}$	$7{,}69 \times 10^{-7}$	
	Укупно	19	$1{,}55 \times 10^{-5}$		

Kruskal-Wallis тест			
IP-PM	**Степени слободе**	**Chi-Square вредност**	**p-вредност**
	9	9	0,437

**значајно на нивоу p<0,01; *значајно на нивоу p<0,05

Због одступања од нормалности дистрибуције података за параметар IP, урађен је Kruskal-Wallis тест. Резултати су показали да не постоје значајне разлике између

хибрида или година у погледу акумулираних топлотних јединица потребних за достизање физиолошке зрелости.

6.2.3 Веза биолошких параметара испитиваних хибрида

Ради утврђивања постојања повезаности између биолошких параметара у 2022. и 2023. години, извршена је корелациона анализа. Корелациона анализа је показала да између садржаја влаге у тренутку физиолошке зрелости (ASYM-PM), суме акумулираних топлотних јединица у тренутку физиолошке зрелости (IP-PM) и релативне стопе губитка влаге (GR-PM) не постоје статистички значајне везе (таб. 21). У 2022. години, корелација између ASYM-PM и IP-PM је била слаба. Слаба позитивна корелација забележена је и између GR-PM и IP-PM, док је веза између GR-PM и ASYM-PM је била веома слаба. У 2023. години, слаба позитивна корелација забележена је између ASYM-PM и IP-PM. Средње јака, негативна корелација је забележена између IP и GR, као и између GR-PM и ASYM-PM.

Табела 21. Корелације између биолошких параметара садржаја ваге у зрну испитиваних хибрида у 2022. и 2023. години

Параметри		**Година**	
		2022	**2023**
ASYM-PM	IP-PM	0,2301	0,1496
IP-PM	GR-PM	0,3622	-0,6032
GR-PM	ASYM-PM	0,0604	-0,5014

**значајно на нивоу p<0,01; *значајно на нивоу p<0,05

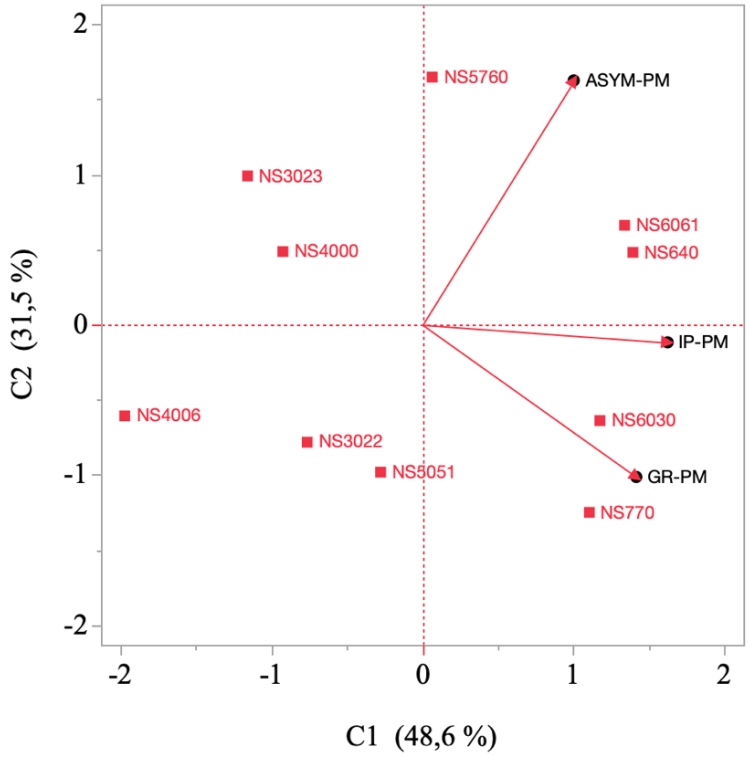
Анализа главних компоненти је приказала дистрибуцију хибрида кукуруза на основу њихових биолошких параметара за динамику садржаја влаге зрну, омогућавајући бољи приказ међусобних разлика и сличности између хибрида.

У табели 22 су приказане сопствене вредности (енгл. *eigenvalues*) и сопствени вектори (енгл. *eigenvectors*) главних компоненти PCA анализе за 2022. и 2023. годину.

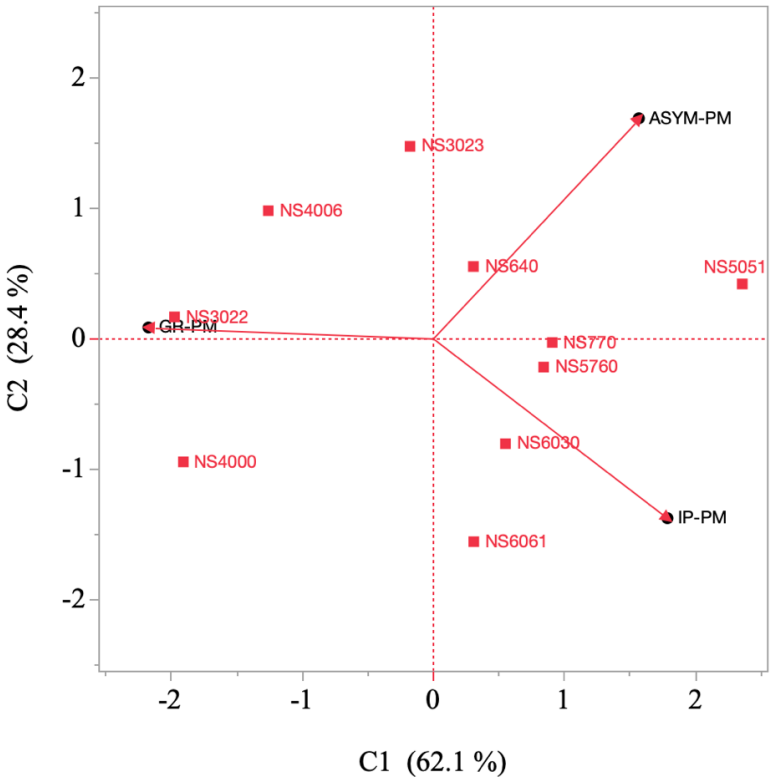
У 2022. години прва главна компонента (C1) је имала највећу сопствену вредност од 1,458 и тако објаснила 48,6% укупне варијације у подацима. Друга главна компонента (C2) је имала сопствену вредност од 0,946, и објаснила додатних 31,52% варијабилности у подацима, док је трећа главна компонента (C3) имала сопствену

вредност од 0,596, и објаснила преосталих 19,88% варијабилности у подацима. На основу вредности сопствених вектора, параметар IP-PM је имао највећи допринос (0,683) дефинисању прве главне компоненте. ASYM-PM параметар је имао највећи допринос у дефинисању друге главне компоненте са вредношћу сопственог вектора од 0,847. IP-PM је имао највећи допринос у дефинисању треће главне компоненте, али је тај допринос био негативан (-0,728). У 2023. години прва главна компонента је имала највећу сопствену вредност од 1,862 и тако објаснила 62,06% укупне варијабилности у подацима, док је друга главна компонента је имала сопствену вредност од 0,853 и објаснила додатних 28,44% варијабилности у подацима. Трећа главна компонента је објаснила преосталих 9,51% укупне варијабилности у подацима. Вредност сопственог вектора параметара IP-PM (0,556) показалаје да је овај параметар највише су допринео дефинисању прве главне компоненте. GR-PM параметар је такође имао велики, али негативан утицај на дефинисање прве главе компоненте, са вредношћу сопственог вектора од -0,673. Сопствени вектори ASYM-PM (0,773) и IP-PM (-0,633) имају супротан допринос на дефинисање друге главне компоненте, при чему ASYM-PM доминира са позитивним, док IP-PM има негативан допринос. На дефинисање треће главне компоненте највећи утицај је имао параметар GR-PM чији је сопствени вектор износио 0,739.

На графикону 14 су приказане прве две главне компоненте, C1 и C2, које заједно објашњавају 80,12% укупне варијабилности у подацима за 2022. годину и 90,50% укупне варијабилности у подацима за 2023. годину (граф. 15).



Графикон 14. Биплот PCA анализе биолошких параметара садржаја влаге у зрну хибрида кукуруза у 2022. години



Графикон 15. Биплот PCA анализе биолошких параметара садржаја влаге у зрну хибрида кукуруза у 2023. години

Табела 22. Сопствене вредности, процентуални удео главних компоненти у укупној варијанси, кумулативни проценат укупне варијансе и сопствени вектори параметара

Главна компонента	**Сопствена вредност компоненте**	**Проценат објашњене варијансе (%)**	**Кумулативни проценат (%)**	**Сопствени вектори параметара**		
				ASYM-PM	**IP-PM**	**GR-PM**
2022						
C1	1,458	48,60	48,60	0,422	0,683	0,596
C2	0,946	31,52	80,12	0,847	-0,062	-0,529
C3	0,596	19,88	100,00	0,324	-0,728	0,605
2023						
C1	1,862	62,06	62,06	0,488	0,556	-0,673
C2	0,853	28,44	90,50	0,773	-0,633	0,037
C3	0,285	9,51	100,00	0,405	0,538	0,739

6.3 Агрономске особине кукуруза

Поред динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну, током две вегетационе сезоне, проучаване су следеће особине: принос, дужина клипа, пречник клипа, пречник кочанке, број редова зрна, број зрна у реду, број зрна по клипу, маса 1000 зрна. Дескриптивна статистика за агрономске особине кукуруза у 2022. години показала је да је принос варирао у опсегу од 2,89 t/ha до 7,28 t/ha, са просечном вредношћу од 4,96 t/ha и коефицијентом варијације од 26,09% (таб. 23). Дужина клипа је имала минималну вредност од 16,00 cm и максималну од 22,50 cm, уз просек од 18,28 cm и ниску варијабилност са CV од 6,98%. Пречник клипа је износио у просеку 4,23 cm, са опсегом од 3,00 cm до 5,00 cm и коефицијентом варијације од 7,34. Пречник кочанке је варирао од 2,06 cm до 2,95 cm, са просеком од 2,54 cm и коефицијентом варијације од 10,24%. Број редова зрна се кретао између 12 и 20, уз просечну вредност од 15,23 и CV од 10,89%, док је број зрна по реду показивао већу варијабилност, са минималном вредношћу од 22 и максималном од 52, просеком од 38,66 и CV од 15,20%. Број зрна по клипу, као значајна компонента приноса, је имао највећу варијабилност међу компонентама, са опсегом од 288 до 832 зрна, просечном вредношћу од 582,95 и CV од 16,91%. Маса 1000 зрна је показала релативну конзистентност међу хибридима, са минималном вредношћу од 220,00 g и максималном од 345,00 g, просеком од 304,93 g и CV од 8,44%. Анализом варијансе су утврђене значајне разлике између хибрида за принос зрна и агрономске особине клипа (таб. 24).

Табела 23. Дескриптивна статистика за агрономске особине испитиваних хибрида у 2022. години (П – принос зрна (t/ha); ДК – дужина клипа (cm); ПК – пречник клипа (cm); ПКЧ – пречник кочанке (cm); БРЗ – број редова зрна; БЗР – број зрна по реду; БЗК – број зрна по клипу; МХЗ – маса хиљаду зрна (g))

Статистички параметар	**Агрономска особина**							
	ПЗ	**ДК**	**ПК**	**ПКЧ**	**БРЗ**	**БЗР**	**БЗК**	**МХЗ**
Минимум	2,89	16,00	3,00	2,06	12,00	22,00	288,00	220,00
Максимум	7,28	22,50	5,00	2,95	20,00	52,00	832,00	345,00
Просек	4,96	18,28	4,23	2,54	15,23	38,66	582,95	304,93
Стандардна девијација	1,29	1,28	031	0,26	1,66	5,88	98,58	25,75
Коефицијент варијације (CV [%])	26,09	6,98	7,34	10,24	10,89	15,20	16,91	8,44

Табела 24. Анализа варијансе за агрономске особине испитиваних хибрида у 2022. години (ПЗ – принос (t/ha); ДК – дужина клипа (cm); ПК – пречник клипа (cm); ПКЧ – пречник кочанке (cm); БРЗ – број редова зрна; БЗР – број зрна по реду; БЗК – број зрна по клипу; МХЗ – маса хиљаду зрна (g))

Извор варијације	**Степен слободе**	**Агрономска особина**							
		ПЗ	**ДК**	**ПК**	**ПКЧ**	**БРЗ**	**БЗР**	**БЗК**	**МХЗ**
		F вредност							
Хибрид	9	3,351*	2,877*	3,652*	46,929*	5,724*	84,893*	2,095*	124,546*
		p вредност							
		0,0366	0,0049	0,0006	<0,0001	<0,0001	0,0050	0,0380	<0,0001

**значајно на нивоу p<0,01; *значајно на нивоу p<0,05

На основу поређења средњих вредности агрономских особина хибрида кукуруза утврђено је да између хибрида постоји статистички значајна разлика (таб. 25).

Табела 25. Просечне вредности агрономских особина испитиваних хибрида у 2022. години (ПЗ – принос зрна (t/ha); ДК – дужина клипа (cm), ПК – пречник клипа (cm), ПКЧ – пречник кочанке (cm), БРЗ – број редова зрна, БЗР – број зрна по реду, БЗК – број зрна по клипу, МХЗ – маса хиљаду зрна (g))

Хибрид	**Агрономска особина**							
	ПЗ	**ДК**	**ПК**	**ПКЧ**	**БРЗ**	**БЗР**	**БЗК**	**МХЗ**
NS3022	5,89^{ab}	17,92^{b}	4,03^{b}	2,38^{b}	15,33^{abc}	37,20^{ab}	564,40^{ab}	295,34^{ef}
NS3023	6,40^{a}	17,69^{ab}	4,03^{b}	2,67^{a}	14,20^{bc}	35,60^{b}	508,00^{b}	329,26^{ab}
NS4006	6,57^{a}	18,72^{a}	4,60^{a}	2,70^{a}	13,40^{c}	44,00^{a}	589,60^{ab}	335,30^{a}
NS4000	5,39^{abc}	18,60^{ab}	4,19^{b}	2,26^{b}	17,00^{a}	37,20^{ab}	620,50^{ab}	314,02^{cd}
NS5760	5,63^{ab}	18,53^{ab}	4,28^{ab}	2,79^{a}	14,40^{bc}	40,60^{ab}	583,60^{ab}	322,60^{bc}
NS5051	4,35^{bc}	19,22^{ab}	4,17^{b}	2,25^{b}	15,60^{ab}	41,20^{ab}	640,80^{ab}	290,30^{f}
NS6030	3,95^{bc}	18,29^{ab}	4,21^{ab}	2,38^{b}	14,80^{bc}	38,20^{ab}	558,40^{ab}	313,00^{cd}
NS6061	4,34^{bc}	18,05^{b}	4,39^{ab}	2,83^{a}	16,00^{ab}	36,80^{ab}	560,80^{ab}	244,00^{g}
NS640	3,46^{c}	17,05^{ab}	4,19^{b}	2,29^{b}	16,00^{ab}	34,80^{b}	556,40^{ab}	299,00^{ef}
NS770	3,63^{c}	18,84^{ab}	4,18^{b}	2,82^{a}	15,60^{ab}	41,00^{ab}	647,00^{a}	305,52^{de}

$^{a, b, c, d, e, f, g}$ слова указују на статистички значајну разлику између испитиваних хибрида за ниво значајности $p<0,05$; исто слово поред два или више хибрида указује да не постоји статистички значајна разлика између њих за анализирну особину

Просечне вредности приноса зрна испитиваних хибрида у 2022. години су показале да је највећи принос у 2022. години забележен код хибрида NS4006 (6,57 tha^{-1}), док је други по реду био хибрид NS3023 са нешто нижим приносом од 6,40 tha^{-1}. Следећи по приносу су били хибриди NS3022 (5,89 tha^{-1}), NS5760 (5,63 tha^{-1}) и NS4000 (5,39 tha^{-1}). Хибриди NS5051 (4,35 tha^{-1}) и NS6061 (4,34 tha^{-1}) показали су средње вредности приноса, док су хибриди NS6030 (3,95 tha^{-1}), NS770 (3,63 tha^{-1}) и NS640 (3,46 tha^{-1}) остварили најниже приносе. Поред високог приноса, хибрид NS4006 је имао и највећу масу 1000 зрна (335,30 g) и дужину клипа од 18,72 cm. Хибрид NS3023 је био други са масом 1000 зрна од 329,26 g, међутим његов пречник клипа (4,03 cm) и број зрна по клипу (508,00) су били нижи у односу на друге хибриде. Хибрид NS5051 је

имао најдужи клип (19,22 cm), као и највећи број зрна по клипу (640,80). Хибрид NS770 је имао највећи број зрна по клипу (647,00) и један од највећих бројева зрна по реду (41,00). Овај хибрид се истакао и са дужином клипа од 18,84 cm и пречником кочанке од 2,82 cm. Хибрид NS4000 је имао највећи број редова зрна (17,00) и висок број зрна по клипу (620,50). Хибрид NS6061 је имао највећи пречник клипа (4,39 cm) и пречник кочанке (2,83 cm), али је постигао најмању масу 1000 зрна (244,00 g). Осим што је имао најнижи принос, хибрид NS640 је такође имао и најкраћи клип (17,05 cm) и најмањи број зрна по реду (34,80).

Како би се установио степен међузависности између анализираних агрономских особина израчунати су корелациони коефицијенти који су приказани у табели 26.

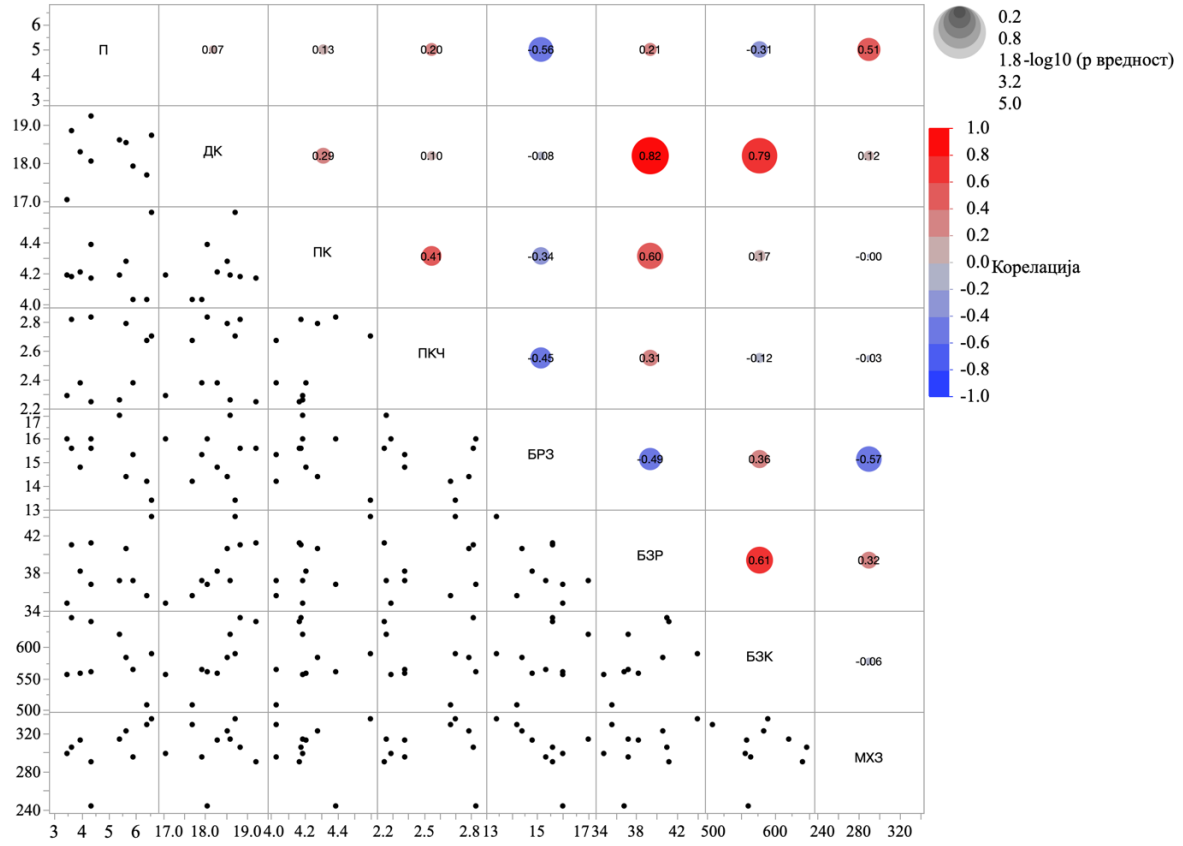
Табела 26. Корелациона анализа агрономских особина испитиваних хибрида кукуруза (ПЗ – принос зрна, ДК – дужина клипа, ПК – пречник клипа, ПКЧ – пречник кочанке, БРЗ – број редова зрна, БЗР – број зрна по реду, БЗК – број зрна по клипу, МХЗ – маса хиљаду зрна)

	ПЗ	**ДК**	**ПК**	**ПКЧ**	**БРЗ**	**БЗР**	**БЗК**	**МХЗ**
ПЗ	1	0,074	0,129	0,201	-0,555	0,207	-0,314	0,511
ДК		1	0,293	0,102	-0,075	0,818*	0,791	0,121
ПК			1	0,411	-0,343	0,597	0,169	-0,001
ПКЧ				1	-0,453	0,308	-0,117	-0,030
БРЗ					1	-0,486	0,363	-0,575
БЗР						1	0,612*	0,323*
БЗК							1	-0,059
МХЗ								1

**значајно на нивоу p<0,01; *значајно на нивоу p<0,05

Позитивне корелације су забележене између приноса и масе 1000 зрна, као и између дужине клипа и броја зрна по клипу и пречника клипа и броја зрна по реду. Најјача статистички значајна позитивна корелација забележена је између дужине клипа и броја зрна по реду ($r = 0,818$, $p < 0,05$). Јака значајна позитивна корелација је утврђена између броја зрна по реду и броја зрна по клипу ($r = 0,612$, $p < 0,05$), док је слаба али статистички значајна корелација забележена између броја зрна по реду и масе 1000 зрна ($r = 0,323$, $p < 0,05$). С друге стране, умерене негативне корелације су

забележене између броја редова зрна и приноса (r = -0,555) и масе 1000 зрна (r = -0,575). На основу приказаног графикона корелационе матрице, ови односи су и визуелно потврђени (граф. 16).



Графикон 16. Корелације између агрономских особина хибрида кукуруза у 2022. години

Услед екстремних временских услова који су се догодили у **2023**. години, већина хибрида је претрпела полегање, што је онемогућило приступ комбајна огледној парцели и саму жетву, стога принос по хектару није утврђен. У табели 27 приказана је дескриптивна статистика осталих агрономских својстава. Дужина клипа је варирала у распону од 16,60 cm до 21,00 cm, са просечном вредношћу од 18,29 cm и коефицијентом варијације (CV) од 5,47. Пречник клипа се кретао од 3,80 cm до 4,90 cm, са просеком од 4,38 cm и нешто већим CV од 7,14%. Пречник кочанке је имао минималну вредност од 2,00 cm, максималну од 3,20 cm и просечну вредност од 2,46 cm, док је CV износио 9,38. Број редова зрна је варирао од 12 до 20, са просеком од 16,56 и коефицијентом варијације од 11,53%. Број зрна по реду је имао распон вредности од 30 до 52, са просеком од 39,46 и CV од 11,84%. Укупни број зрна по

клипу је варирао од 179 до 695, са просечном вредношћу од 489,80 и највишим CV од 19,55% у поређењу са осталим особинама. Просечна маса 1000 зрна је била 342,97 g, са минималном вредношћу од 290 g и максималном од 384,94 g као и ниским CV од 6,05%.

Анализа варијансе за испитиване агрономске особине указала је на статистички значајне разлике између хибрида за већину анализираних параметара (таб. 28). Дужина клипа, пречник клипа, пречник кочанке, број редова зрна, број зрна по реду и маса 1000 зрна показали су високо значајне разлике, док број зрна по клипу није показао статистички значајне разлике између хибрида.

На основу поређења средњих вредности агрономских особина хибрида кукуруза утврђено је да између већине хибрида постоји статистички значајна разлика (таб. 29).

Табела 29. Просечне вредности агрономских особина испитиваних хибрида у 2023. години (ДК – дужина клипа (cm), ПК – пречник клипа (cm), ПКЧ – пречник кочанке (cm), БРЗ – број редова зрна, БЗР – број зрна по реду, БЗК – број зрна по клипу, МХЗ – маса хиљаду зрна (g))

Хибрид	**Агрономска особина**						
	ДК	**ПК**	**ПКЧ**	**БРЗ**	**БЗР**	**БЗК**	**МХЗ**
NS3022	17,69^{bc}	4,25^{bc}	2,60^{a}	17,40^{ab}	39,50^{bc}	477,78^{a}	319,05^{e}
NS3023	17,92^{bc}	4,25^{b}	2,52^{abc}	14,80^{c}	35,30^{cd}	426,50^{a}	334,28^{cde}
NS4006	18,72^{ab}	4,11^{c}	2,28^{bc}	14,60^{c}	33,40^{d}	491,20^{a}	324,71^{de}
NS4000	18,60^{ab}	4,55^{ab}	2,53^{ab}	17,80^{ab}	42,70^{ab}	514,20^{a}	351,83^{abc}
NS5760	18,53^{ab}	4,10^{c}	2,23^{c}	15,80^{bc}	35,70^{cd}	476,80^{a}	343,06^{bcd}
NS5051	19,22^{a}	4,68^{a}	2,39^{abc}	16,80^{abc}	41,60^{ab}	538,40^{a}	365,66^{a}
NS6030	18,29^{ab}	4,65^{a}	2,46^{abc}	16,40^{abc}	38,60^{bc}	512,30^{a}	329,83^{de}
NS6061	18,05^{abc}	4,31^{bc}	2,49^{abc}	18,40^{a}	45,90^{a}	500,50^{a}	369,52^{a}
NS640	17,05^{c}	4,15^{c}	2,44^{abc}	17,20^{ab}	42,40^{ab}	453,00^{a}	356,17^{ab}
NS770	18,84^{ab}	4,73^{a}	2,64^{a}	16,40^{abc}	39,50^{bc}	506,10^{a}	335,55^{cde}

$^{a, b, c, d, e}$ слова указују на статистички значајну разлику између испитиваних хибрида за ниво значајности $p<0,05$; исто слово поред два или више хибрида указује да не постоји статистички значајна разлика између њих за анализирну особину

Табела 27. Дескриптивна статистика за агрономске особине испитиваних хибрида у 2023. години (ДК – дужина клипа (cm); ПК – пречник клипа (cm); ПКЧ – пречник кочанке (cm); БРЗ – број редова зрна; БЗР – број зрна по реду; БЗК – број зрна по клипу; МХЗ – маса хиљаду зрна (g))

Статистички параметар	**Агрономска особина**						
	ДК	**ПК**	**ПКЧ**	**БРЗ**	**БЗР**	**БЗК**	**МХЗ**
Минимум	16,60	3,80	2,00	12,00	30,00	179,00	290,00
Максимум	21,00	4,90	3,20	20,00	52,00	695,00	384,94
Просек	18,29	4,38	2,46	16,56	39,46	489,80	342,97
Стандардна девијација	1,00	0,31	0,23	1,91	4,67	95,74	20,74
Коефицијент варијације (CV [%])	5,47	7,14	9,38	11,53	11,84	19,55	6,05

Табела 28. Анализа варијансе за агрономске особине испитиваних хибрида у 2022. години (ДК – дужина клипа (cm); ПК – пречник клипа (cm); ПКЧ – пречник кочанке (cm); БРЗ – број редова зрна; БЗР – број зрна по реду; БЗК – број зрна по клипу; МХЗ – маса хиљаду зрна (g))

Извор варијације	**Степен слободе**	**Агрономска особина**						
		ДК	**ПК**	**ПКЧ**	**БРЗ**	**БЗР**	**БЗК**	**МХЗ**
Хибрид	9	**F вредност**						
		5,704*	13,589	4,059*	6,100*	16,358*	1,170	16,982*
		p вредност						
		<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	0,3237	<0,0001

**значајно на нивоу p<0,01; *значајно на нивоу p<0,05

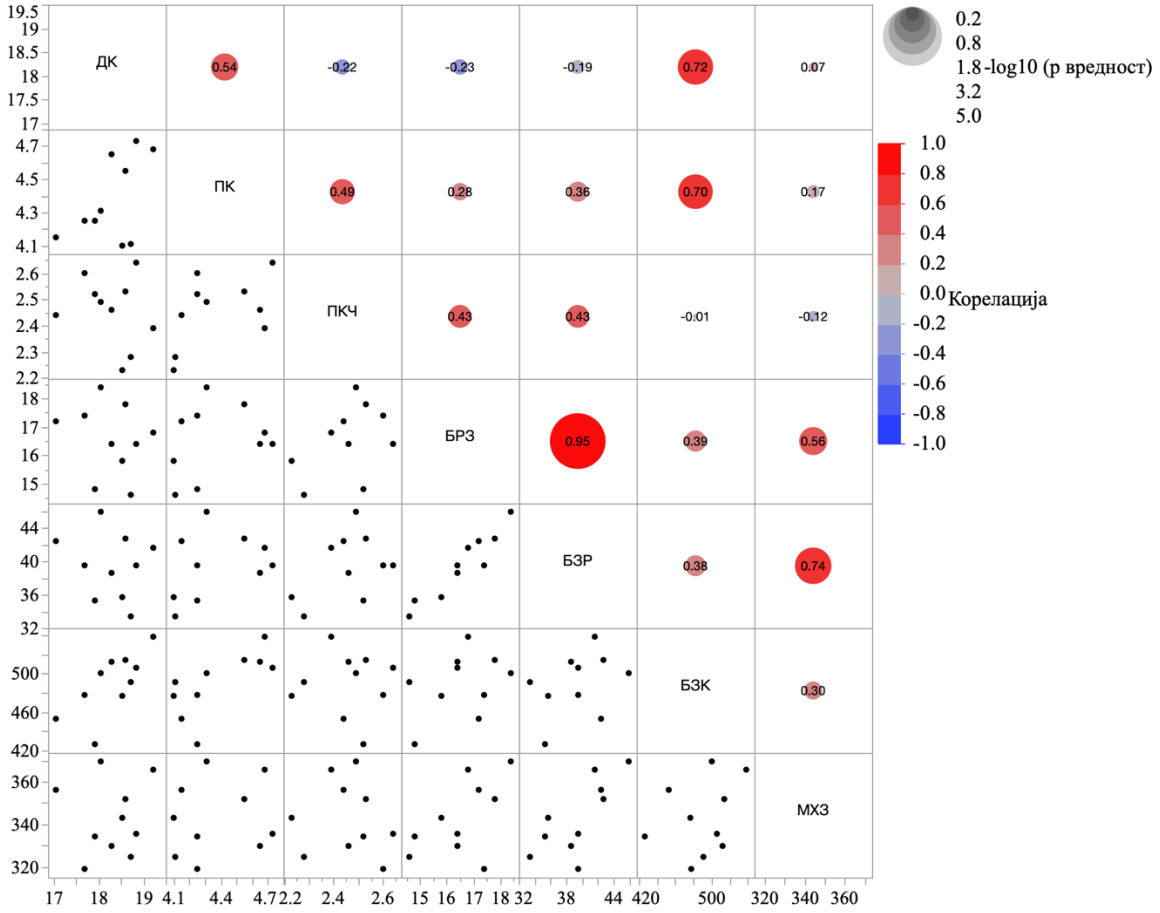
Најдужи клип је забележен код хибрида NS5051 (19,22 cm), док је највећи пречник клипа утврђен код хибрида NS770 (4,73 cm) и NS5051 (4,68 cm). Пречник кочанке је био највећи код хибрида NS770 (2,64 cm), а највећи број редова зрна као (18,40) и највећи број зрна по реду (45,90) је забележен код хибрида NS6061. Укупан број зрна по клипу је био највећи код хибрида NS5051 (538,40), док је највећа маса 1000 зрна утврђена код хибрида NS6061 (369,52 g) и NS5051 (365,66 g). Након што су утврђене разлике у средњим вредностима агрономских особина између испитиваних хибрида, корелационом анализом је испитивана повезаност између ових особина (таб. 30).

Табела 30. Корелациона анализа агрономских особина испитиваних хибрида кукуруза (ДК – дужина клипа, ПК – пречник клипа, ПКЧ – пречник кочанке, БРЗ – број редова зрна, БЗР – број зрна по реду, БЗК – број зрна по клипу, МХЗ – маса хиљаду зрна)

	ДК	**ПК**	**ПКЧ**	**БРЗ**	**БЗР**	**БЗК**	**МХЗ**
ДК	1	0,543	-0,224	-0,227	-0,190	0,718*	0,069
ПК		1	0,493	0,279	0,355	0,704*	0,166
ПКЧ			1	0,433	0,428	-0,012	-0,118
БРЗ				1	0,946*	0,389	0,564
БЗР					1	0,379	0,740*
БЗК						1	0,299
МХЗ							1

**значајно на нивоу p<0,01; *значајно на нивоу p<0,05

Корелациона анализа агрономских особина испитиваних хибрида кукуруза показала је да су најјаче позитивне корелације забележене између броја редова зрна и броја зрна по реду ($r = 0,946$, $p < 0,05$), као и између броја зрна по реду и масе 1000 зрна ($r = 0,740$, $p < 0,05$). Поред тога, значајна позитивна корелација је забележена између дужине клипа и броја зрна по клипу ($r = 0,718$, $p < 0,05$) и пречника клипа и броја зрна по клипу ($r = 0,704$, $p < 0,05$). С друге стране, негативне корелације су углавном биле слабе и нису показале статистичку значајност. Резултати корелационе анализе су приказани на графикону 17.



Графикон 17. Корелације између агрономских особина хибрида кукуруза у 2023. години

7 ДИСКУСИЈА

7.1 Поређење нелинеарних модела

У раду је анализирана могућност прилагођавања прикупљених података о маси зрна, нелинеарним регресионим моделима. Примена различитих нелинеарних једначина као модела за предвиђање динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну током испитиваних година успешно је објаснила ове процесе код анализираних хибрида кукуруза. У теорији, сваки разматрани модел би могао да опише динамику накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну. Сви анализирани модели су испунили три главна захтева: приказали су сигмоидну криву, имали су биолошко значење за објашњење накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну, и били су рачунски изводљиви, са конвергентним проценама биолошких параметара.

Иако нелинеарни модели не захтевају све исте претпоставке као линеарни модели, провера резидуала и даље остаје важна за валидну интерпретацију резултата. Посебно је важно проверити да ли су резидуали нормално распоређени, да ли имају константну варијансу (хомоскедастичност), и да ли су међусобно независни (Baty et al., 2015). Анализа резидуала служи као важан алат за откривање потенцијалних неправилности у моделу, као што је постојање издвојених вредности (енгл. *outliers*), или кршење основних статистичких претпоставки. Уколико се те појаве не уоче на време, могу довести до пристрасних резултата и смањене тачности модела у предвиђању (Archontoulis et al., 2015). Током валидације модела, показало се да резидуали не испуњавају у потпуности основне статистичке претпоставке. Упркос примени више различитих трансформација (логаритамска, Box-Cox и квадратни корен), утврђено је да резидуали одступају од нормалне расподеле и не показују уједначену варијансу. Сходно томе, тумачења и закључци изведени из модела представљени су са одговарајућим степеном опреза, имајући у виду статистичка ограничења која су уочена током валидације модела. Иако су претпоставке о нормалности и хомоскедастичности показале извесна одступања, интерпретација параметара модела остала је исправна у контексту агрономске примене. Слична запажања су забележена и у другим истраживањима која су користила нелинеарне моделе, где је биолошко значење параметара успешно представљено чак и без анализе резидуала ради провере испуњености статистичких претпоставки (Dodig et al., 2018; Jiang et al., 2020; Karadavut et al., 2009; Khamis and Ismail, 2004).

За избор најприкладнијег модела за опис динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну, коришћени су различити селекциони критеријуми – кориговани *Akaike* информациони критеријум (AICc), сума квадрата грешака (SSE), корен средње квадратне грешке (RMSE) и коефицијент детерминације (R^2). Ови селекциони критеријуми су омогућили строжију процену модела кроз обе анализиране године. Кориговани *Akaike* информациони критеријум (AICc) представља модификацију оригиналног AIC-а, која узима у обзир мале узорке приликом евалуације модела (Cortese et al., 2017; Hertzberg, 2024). AICc је посебно користан у контексту нелинеарних модела, где број параметара може бити велики у односу на број посматрања. Једна од главних предности AICc је његова способност да исправи тенденцију AIC-а да "фаворизује" сложеније моделе када је величина узорка мала. Када је величина узорка мала, AIC може преферирати сложеније моделе са више параметара јер се ови модели боље прилагођавају доступним подацима, али то не значи да ће бити поуздани за предвиђање нових података. Овај феномен је познат као „оверфитинг" (енгл. *overfitting*), где модел добро предвиђа постојеће податке, али не успева добро да ради са новим подацима, што значи да модел обухвата и случајне, неповезане вредности у подацима. Стога AICc додаје корекцију на AIC како би се избегло преферирање превише сложених модела, посебно када је величина узорка ограничена, чиме се побољшава поузданост одабира модела (Burnham et al., 2002). Picache et al., 2019, истичу да је AICc посебно ефикасан у евалуацији нелинеарних модела јер узима у обзир и број параметара и квалитет подударања, чиме омогућава правично поређење различитих приступа моделирању. Jane et al., 2020 су користили AICc заједно са другим критеријумима како би идентификовали модел који најбоље приказује раст шећерне трске. SSE представља збир квадрата одступања између стварних (посматраних) вредности и предвиђених вредности модела што га чини лако разумљивим и применљивим у различитим областима истраживања (Hull et al., 2008). Једна од главних предности SSE критеријума је лакоћа израчунавања и једноставност тумачења. Вредност SSE показује колико добро модел одговара подацима, при чему ниже вредности указују на боље уклапање. Већа вредност указује на то да постоји више одступања између предвиђених и стварних вредности. Deb et al., 2023 истичу да SSE, заједно са другим статистичким мерама грешке, представља поуздан критеријум за процену и упоређивање нелинеарних регресионих метода. Корен средње квадратне грешке (RMSE) квантификује просечно одступање између предвиђених и стварних вредности, што га чини посебно корисним за поређење предиктивних перформанси

различитих модела (Ferguson et al., 2019). Мањи RMSE указује на бољу прецизност модела, јер значи да је просечно одступање мање. RMSE се често користи у комбинацији са коригованим AICc критеријумом како би се осигурало да одабрани модел не само да добро пристаје уз податке, већ и задржава парсимонију — односно, на ефикасан начин објашњава податке уз минималан број параметара (Osman, 2019). Коефицијент детерминације (R^2), представља широко коришћену статистичку меру у евалуацији како линеарних, тако и нелинеарних модела. Једна од основних предности R^2 јесте његово једноставно тумачење. R^2 јасно показује колико добро независне променљиве објашњавају варијабилност зависне променљиве, што омогућава лакше поређење различитих модела. При евалуацији више модела, већа вредност R^2 обично указује на бољу прилагођеност модела подацима. Међутим, значајан недостатак R^2 је та што овај критеријум може дати лажно позитивне или лажно негативне вредности, што може довести до нетачних закључака о томе колико је модел заиста добар (Spiess et al., 2010). Овај недостатак произлази из тога што R^2 не узима у обзир сложеност нелинеарних односа, што може довести до вештачки увећаних вредности које не представљају стварну ефикасност модела. Додатни изазов у коришћењу R^2 јесте његова осетљивост на величину узорка. Већи скупови података често резултују већим вредностима R^2 што не значи да је модел нужно бољи. Други проблем је у томе што R^2 ”не кажњава” модел ако је превише сложен. Koulelis et al., 2021 сматрају кориговани Акаикеов информациони критеријум (AICc) поузданијим критеријумом од R^2 приликом поређења нелинеарних модела, с обзиром на склоност R^2 критеријума да расте са додавањем параметара, без обзира на статистичку значајност параметара. За разлику од AICc, који уводи „казну” за комплексност модела, R^2 нема такву корекцију. Стога, већина аутора (Fukuda et al., 2011; Meade, 2012; Archontoulis et al., 2015; Dos Santos et al., 2024) наглашава значај употребе неколико селекционих критеријума за процену подобности модела.

7.2 Накупљање суве материје у зрну

Када је реч о накупљању суве материје у зрну током периода наливања зрна, Weibull-ов модел показао је најбоље прилагођавање подацима за 2022. годину, на основу најнижих вредности AICc, SSE и RMSE, као и највише вредности R^2 критеријума, док је логистички модел најефикасније објаснио накупљање суве материје у 2023. години. У 2023. години, Weibull-ов модел имао је нешто ниже

вредности AICc, SSE и RMSE критеријума у поређењу са логистичким моделом, али је његова висока вредност R^2 критеријума показала да је осим логистичког, и овај модел раста успешно описао динамику накупљања суве материје у зрну кукуруза. Gompertz-ов модел је показао најлошију прилагођеност подацима у обе анализиране године. Ови резултати су у складу са претходним истраживањима која су потврдила применљивост различитих модела раста за описивање различитих образаца раста и развоја биљака. Khamis et al., 2004 су установили да је Weibull модел значајно бољи од других нелинеарних модела у анализи података о расту листова дувана. Слично томе, Behtari et al., 2012 су истакли да је Gompertz модел показао боље резултате у предвиђању клијања високог вијука и пшенице под различитим климатским условима. Bôas et al., 2023 су упоређивали Gompertz-ов, логистички и Weibull модел, уз још осам других модела, и проценили их као одговарајуће за моделовање накупљања суве материје код хибрида кукуруза. Логистички модел, који је у овом истраживању препознат као један од најбољих за описивање накупљања суве материје у зрну, такође је у литератури идентификован као веома погодан за различите биљне врсте. Fernandes et al, 2017 су применили логистички модел на кафи, док су Jane et al., 2020 проучавали његову примену у моделовању раста шећерне трске. Macedo et al., 2017 су користили логистички модел за описивање раста белог лука. Mirosavljević et al., 2018 су применили логистички модел за одређивање укупне надземне биомасе пшенице и јечма у различитим вегетационим сезонама и густинама сетве. Karadavut et al., 2010 су истакли да су логистички, Gompertz-ов и Richard-ов модел били најприкладнији за описивање раста листова кукуруза.

Максимална маса зрна (KDWmax), измерена непосредно пре физиолошке зрелости код свих испитиваних хибрида у обе године истраживања, значајно је варирала између година и хибрида, што је потврдила и анализа варијансе.

KDWmax представља вредну допуну анализи јер одражава физиолошки капацитет хибрида да акумулира суву материју у зрну. Иако сам по себи не представља директну меру приноса, KDWmax се може сматрати индиректним показатељем потенцијала за принос, нарочито у условима где су број зрна и број клипова релативно константни. Као такав, он је користан за поређење хибрида у смислу ефикасности наливања зрна и коначног резултата акумулације.

Утицај године био је израженији, што указује на доминантну улогу климатских услова током вегетационог периода у 2022. и 2023. години на испољавање ове особине. Tukey HSD тест је потврдио статистички значајне разлике у KDWmax између хибрида,

при чему су NS3023 и NS6030 имали највеће, а NS5051 и NS640 најмање вредности у обе године истраживања. Значај KDWmax произлази из његове директне везе са физиолошким процесима током наливања зрна. Више вредности KDWmax указују на ефикасније накупљање суве материје, која је често повезана са дужим трајањем фазе наливања зрна и оптималним вршењем фотосинтезе (Dias et al., 2009). Међутим, овај процес је изузетно осетљив на климатске стресове као што су високе температуре и суша, који могу убрзати старење листова, смањити доступност угљених хидрата за зрно и, у крајњем случају, смањити његову масу (Dias et al., 2009; Zhou et al., 2017). Висока вредност KDWmax код хибрида NS3023 је у складу и са високим приносом зрна забележеним код овог хибрида током жетве у 2022. години. Климатски услови током 2022. и 2023. године значајно су утицали на наливање зрна. У 2022. години, екстремно високе летње температуре (до 39,7 °C) вероватно су ограничиле накупљање суве материје, што је смањило KDWmax код одређених хибрида. Насупрот томе, услови током 2023. године, укључујући суперћелијску олују са јаким падавинама, ветровима и градом, узроковали су делимично полегање већине хибрида, али су неки хибриди, као што је NS6061, због добре толерантности према полегању, остварили високе вредности KDWmax. Ово се може посматрати као механизам преживљавања биљака које, под интензивним абиотским стресом попут олује, суше или високих температура, преусмеравају своју енергију ка репродуктивној фази (Mladenov et al., 2023).

Вредности KDWmax су биле у складу са процењеним вредностима параметра ASYM добијеним из логистичког модела у анализираним годинама. Хибрид NS3023 показао је највишу вредност за параметар ASYM у 2022. години, а хибрид NS6061 у 2023., што указује на њихов већи потенцијал за накупљање суве материје у поређењу са другим хибридима. Ови резултати сугеришу да отпорност хибрида на климатске стресове игра кључну улогу у одржавању накупљања суве материје, што потврђују и претходна истраживања (Villegas et al., 2001; Kandic et al., 2018; Bôas et al., 2023). Утицај фактора као што су доступност воде и стрес услед суше на накупљање суве материје такође је значајан. Претходна истраживања (Pržulj et al., 2011; Ugarte et al., 2007) истичу да температурни стрес пре цветања има трајан утицај на развој и масу зрна, што се може рефлектовати кроз вредности KDWmax.

У случају параметра IP, сви хибриди су имали ниже вредности у 2022. години у поређењу са 2023. годином, што указује на брже достизање тачке инфлексије у периоду са отежим климатским условима. Међутим, рани до средње рани хибриди, као

што су NS3022, NS3023, NS4000 и NS4006, показали су релативно стабилне вредности IP-а у обе године. Ова стабилност може указивати на њихову већу адаптабилност и толерантност на различите услове гајења. Brdar et al., 2008 су истакли да ранији генотипови често завршавају фазу наливања зрна пре појаве екстремних климатских стресова, попут високих температура и суше, што им омогућава да избегну значајне губитке приноса. Dodig et al., 2020 су додатно указали на то да параметар IP варира између генотипова у различитим климатским условима, при чему ранији генотипови обично раније достижу тачку инфлексије, што их чини отпорнијим на стресне факторе спољашње средине. С друге стране, високе вредности IP-а и ASYM-а код хибрида NS6061 у 2023. години истичу његов потенцијал за дужи период наливања зрна и већи потенцијал за накупљање суве материје, у поређењу са другим анализираним хибридима.

Апсолутна и максимална стопа накупљања суве материје (AGR и AGRmax) представљају прве изводе логистичке функције, односно промену масе зрна по јединици термичког времена (GDD) и користе се за квантификацију брзине накупљања суве материје у зрну током периода наливања. Hunt, 1982 истиче значај прве изводне функције у односу на температурне суме (dKDW/dGDD), као и то да она омогућава процену апсолутне стопе пораста суве материје (AGR) током читавог периода развоја зрна на основу прилагођених модела раста. AGR и AGRmax пружају вредне увиде у физиолошке разлике између хибрида, с обзиром на то да AGR одражава реалну (апсолутну) количину нагомилане суве материје по јединици температурне суме (нпр. g GDD^{-1}), док AGRmax представља максимум те стопе и достиже се у тачки инфлексије криве раста. У 2023. години, вредности AGR параметра су генерално биле више у односу на 2022. годину, што указује на интензивније накупљање суве материје, вероватно услед повољнијих климатских услова у раној фази вегетационог периода. Може се приметити да су одређени хибриди, попут NS3023 и NS4006, у 2023. години достигли високе вредности AGRmax при нижим GDD вредностима, што указује на брз почетак интензивног раста. Ове разлике у динамици раста међу хибридима су значајне за њихову селекцију у зависности од дужине вегетационог периода и агроеколошких услова, што потврђују и резултати претходних истраживања (Tollenaar and Daynard, 1978; Bôas et al., 2023; Martins et al., 2016). Осим тога, примећена је веза између виших вредности AGR и повећаног садржаја суве материје у зрну (ASYM), што указује да брзина раста може имати пресуднији утицај на масу зрна него сама дужина периода наливања, што су истакли и Dias et al., 2009, као и Yin et al., 2018. Брзина наливања

зрна представља кључни фактор у условима високих температура, где је трајање овог процеса ограничено (Bruckner et al., 1987; Dias et al., 2009). Повећање стопе раста може значајно унапредити принос, као што је примећено код дурум пшенице (Brdar et al., 2008) и зимског јечма (Mirosavljević et al., 2018). Истраживања Dodig et al., 2020 такође истичу да стресни климатски фактори, попут суше и високих температура, значајно утичу на стопе раста и адаптацију генотипова.

Резултати мултиваријационе и корелационе анализе указали су на различите односе између биолошких параметара испитиваних хибрида кукуруза.

Корелациона анализа открила је неке занимљиве односе између параметара модела и стопа раста. У 2022. години уочена је јака и статистички високо значајна позитивна корелација између ASYM и AGR, што указује да су хибриди са вишим вредностима AGR имали тенденцију да остваре већу коначну масу зрна. Ово је у складу са резултатима истраживања Yin et al., 2018 који су показали да веће апсолутне и максималне стопе накупљања суве материје доприносе повећању масе зрна, као и потенцијално краћем периоду наливања зрна. Снажна повезаност забележена у 2022. години подржава претпоставку да је стопа накупљања суве материје критичан фактор који одређује масу зрна у условима стабилне животне средине. Супротно томе, у 2023. години, корелација између AGR и ASYM била је слаба и негативна, што указује да је у тој вегетационој сезони утицај AGR на коначну масу зрна био мање изражен. У истој години, уочена је снажна и статистички значајна негативна корелација између IP и AGRmax, што сугерише да су хибриди који су раније достизали максималну стопу раста током периода наливања зрна, показивали брже накупљање суве материје. Ови резултати се такође поклапају са истраживањем Yin et al., 2018 које је забележило сличну негативну повезаност између релативне стопе наливања зрна и тачке инфлексије код инбред линија кукуруза. Ови резултати додатно наглашавају интеракцију између динамике наливања зрна и агроеколошких услова, сугеришући да хибриди са ранијом тачком инфлексије и већим стопама раста могу бити погоднији за средине са високим температурама и лошијим распоредом падавина, условима који су данас значајно изражени. Са аспекта оплемењивања, хибриди са већим AGRmax при нижим вредностима GDD могу представљати посебну предност у регионима са краћом вегетацијом или у условима где су пожељни генотипови ранијих група зрења. Насупрот томе, хибриди са вишим вредностима AGR могу бити погоднији за локалитете који омогућавају постепен и продужен раст, чиме се обезбеђује већа финална маса зрна и потенцијално већи принос.

PCA анализа је додатно потврдила корелационе односе између параметара.

У 2022. години, смер и положај вектора на биплоту указали су на позитивну корелацију између ASYM и AGR и ASYM и AGRmax, као и између AGR и AGRmax. Такође, ASYM и AGR вектори су имали највеће пројекције у правцу прве главне компоненте, што значи да су највише допринели распореду хибрида дуж ове осе. Угао између вектора је потврдио корелационе односе – углови мањи од 90° указују на позитивну, а већи од 90° на негативну корелацију. Посебно се истакао оштар угао између ASYM и AGR вектора што додатно потврђује висок степен позитивне корелације између ова два параметра. Највећи угао је уочен између IP и осталих вектора, што указује на слабу или чак негативну повезаност. На основу позиције одређених хибрида у односу на сопствене векторе у биплоту може се закључити следеће: хибрид NS3023 је позициониран близу ASYM**,** AGR и AGRmax. Његов положај дуж прве главне компоненте потврђује да је овај хибрид остварио највише вредности ASYM параметра, као и вредности брзине и интензитета накупљања суве материје (AGR и AGRmax). NS640 и NS5051 су позиционирани супротно од вектора ASYM и AGR, што указује да су ови хибриди имали најниже вредности ових параметара; NS6030, NS6061 и NS770 су позиционирани ближе вектору IP и ближе тачки пресека координатних оса што указује на умерене или ниже вредности свих параметара ових хибрида у односу на остале хибриде.

Смер и положај сопствених вектора у биплоту за 2023. годину, показује да је вектор IP оријентисан дуж прве главне компоненте, што указује да је управо овај параметар највише допринео разликама међу хибридима у 2023. години. Са друге стране, ASYM и AGRmax су оријентисани у правцу друге компоненте, док је вектор AGR, усмерен ка доњем левом квадранту. Углови између вектора дају додатни увид у међусобне односе биолошких параметара. Вектори су постављени под претежно већим, односно тупим угловима, што указује на умерено слабију повезаност између параметара. Затим, положај појединачних хибрида у односу на смер вектора упућује на следеће: хибрид NS770 је позициониран ближе вектору IP, што указује да је овај хибрид остварио високу вредност тачке инфлексије; NS6061 и NS5760 су јасно позиционирани у правцу ASYM вектора, што значи да су ови хибриди остварили високе вредности ASYM параметра; NS4006, NS3022 и NS3023 се налазе ближе вектору AGRmax, док се хибриди NS5051, NS640 и NS4000 издвајају у супротном смеру од IP и ASYM, што указује на ниже вредности ових параметара.

7.3 Садржај влаге у зрну након физиолошке зрелости

Садржај влаге у зрну при жетви представља један од најважнијих фактора који утичу на квалитет жетве, сигурно складиштење и тржишну вредност (Martinez-Feria et al., 2019). Правилно одређивање тренутка жетве захтева разматрање неколико фактора, укључујући садржај влаге у зрну, особине хибрида, временске прилике током сазревања, ефикасност механизације и доступност опреме за сушење (Gao et al., 2021). У случају динамике садржаја влаге у зрну, односно губитка влаге из зрна након физиолошке зрелости, анализа нелинеарних модела током 2022. и 2023. године показала је разлике у њиховој погодности и усклађености са подацима. У 2022. години, логистички модел се издвојио као најбољи са најнижом вредношћу AICc, SSE и RMSE критеријума, као и највишим коефицијентом детерминације (R^2). С друге стране, у 2023. години, Gompertz-ов модел је био најпогоднији са најнижом AICc, SSE и RMSE вредношћу, док је вредност R^2 критеријума била скоро идентична логистичком моделу. Weibull-ов модел, који је у обе године имао значајно веће вредности AICc, SSE и RMSE и најнижу вредност R^2 (0,698 у 2022. и 0,682 у 2023. години) критеријума, показао се као најмање погодан за описивање динамике садржаја и губитка влаге из зрна. Ови резултати су у складу са претходним истраживањима Celestina et al., 2021 који су истакли како је динамика садржаја влаге у класу пшенице и јечма, у односу на акумулиране топлотне јединице најпрецизније описана Gompertz-овим моделом, као и Meade, 2012 која је анализирала садржај влаге у зрну различитих хибрида кукуруза, док су Yin et al., 2018 истакли предност логистичког модела у описивању промена у садржају влаге зрна кукуруза различитих инбред линија кукуруза. Анализа биолошких параметара логистичког модела пружила је увид у динамику влаге након физиолошке зрелости кукуруза. Параметар ASYM-PM представља садржај влаге у зрну забележен у тренутку када је примећен црни слој, односно слој мртвих ћелија на зони одвајања, који се сматра главним показатељем физиолошке зрелости кукуруза (Chen et al., 2020). Црни слој је важан показатељ у истраживањима која прате динамику садржаја влаге, накупљања суве материје и друге особине које су повезане са зрелошћу (Ni et al., 2022; Liu et al., 2022). У тренутку физиолошке зрелости, садржај влаге у зрну комерцијалних хибрида кукуруза обично се креће у распону од 32% до 40%, док код инбред линија може варирати између 28% и 60% (Martinez-Feria et al., 2019). Ове вредности зависе од самих особина хибрида као и од услова средине. На основу вредности ASYM-PM параметра, може се закључити да је већина хибрида задржала сличан или нешто нижи

садржај влаге у тренутку физиолошке зрелости у 2023. години у односу на 2022. годину. Хибрид NS6061 је у 2022. години имао највиши садржај влаге у тренутку физиолошке зрелости, док је NS4000 показао најниже вредности. Следеће године, хибрид NS5051 се издвојио са највишим садржајем влаге, док је NS3022 имао најнижи садржај влаге. Mokrienko et al., 2024 истичу да FAO група, која је показатељ дужине вегетационог периода и брзине сазревања хибрида, може имати значајан утицај на садржај влаге у тренутку физиолошке зрелости. Хибриди са дужим вегетационим периодом (FAO група 400 и више) се обично одликују повећаним садржајем влаге у зрну у тренутку физиолошке зрелости, као и пред жетву (Shynkaruk et al., 2021b). Ова карактеристика подразумева да зрно задржава више влаге када достигне физиолошку зрелост, што може довести до продуженог процеса сушења. Жетва при нижем садржају влаге доноси значајне предности, као што су смањење оштећења зрна током жетве, смањење трошкова сушења и смањење ризика од развоја патогена, што је од посебног значаја у савременим условима механичке жетве (Martinez-Feria et al., 2019). Одређена истраживања (Gesch et al., 2021; Nielsen, 2020) наводе како хибриди средње дужине вегетације (FAO групе 300 – 500) захтевају и примену десиканата, нарочито ако се гаје у неповољним условима за раст и развој. Ова хемијска средства се користе како би се достигли оптимални нивои влаге пред жетву, што је од великог значаја за ефикасну механичку жетву и безбедно складиштење зрна. Mokrienko et al., 2024 су поређењем различитих FAO група, установили да су хибриди из FAO групе 301 – 400 у просеку имали нижи садржај влаге пред жетву (28,7%) у односу на хибриде из групе 401 – 500 (32,7%). Ова разлика додатно потврђује да хибриди са нижим садржајем влаге пред жетву имају економску предност због смањених трошкова сушења. С друге стране, хибриди са већим садржајем влаге, карактеристични за FAO групу 401 – 500 и више, могу задржати већи квалитет зрна у стресним условима, али захтевају веће ресурсе за сушење и припрему зрна за складиштење (Mokrienko et al., 2024). Узимајући у обзир да ASYM представља садржај влаге у тренутку физиолошке зрелости, хибриди са нижим вредностима овог параметра (NS3022 и NS4006) имају предност у односу на хибриде са вишим вредностима ASYM-а (NS5051 и NS6061). Параметар IP-PM представља тачку инфлексије у процесу губитка влаге из зрна након физиолошке зрелости, када процес сушења достиже максималну брзину. Вредности овог параметра омогућавају утврђивање разлике у динамици сушења између различитих хибрида и климатских услова у различитим годинама. За утврђивање параметра IP-PM, коришћена је метода *custom inverse prediction* која је омогућила прецизно израчунавање вредности овог

параметра користећи емпиријски измерене вредности влаге у зрну у тренутку физиолошке зрелости. Вредности IP-PM параметра су биле ниже код већине анализираних хибрида у 2022. години у поређењу са 2023. годином. У 2022. години највише вредности овог параметра су забележене код хибрида NS6030, а у 2023. години код хибрида NS6061. Високе вредности IP-PM параметра указују да је овим хибридима било потребно више топлотних јединица да достигну физиолошку зрелост и отпочну процес губитка влаге из зрна. Овакав резултат се поново може приписати каснијим FAO групама, с обзиром да је код генотипова из каснијих група зрења садржај влаге у зрну већи, односно задржава се током дужег временског периода (Ранђеловић *и сар.*, 2010). Са друге стране, најниже вредности IP-PM параметра су забележене код хибрида NS3022 у обе испитиване године (1140,503 GDD у 2022. години, 1232,805 GDD у 2023. години). Ниске вредности IP-PM параметра код хибрида NS3022 указују на његову способност да раније заврши фазу наливања зрна и започне процес сушења. Према Dodig et al., 2018, раније сазревајући генотипови имају довољно времена за постепени развој зрна и тиме избегавају стрес изазван високим температурама и сушом који се јављају у каснијим фазама вегетације. Резултати релативне стопе губитка влаге (GR-PM) су показали да је у 2022. години, највиша апсолутна вредност GR-PM параметра забележена је код хибрида NS5760, што указује на брз губитак влаге. Насупрот томе, хибрид NS770 је имао најнижу вредност GR-PM параметра. У 2023. години, хибрид NS5051 се издвојио највећом брзином губитка влаге, док је хибрид NS4006 остварио најнижу вредност овог параметра. Приликом избора хибрида, поред потенцијала за принос, важно је размотрити и особине губитка влаге из зрна, које зависе од групе зрења, али и морфолошких карактеристика клипа и зрна (Mokrienko, 2014). Nielsen, 2018 истиче како се губитак влаге из зрна на пољу након физиолошке зрелости одвија се релативно линеарно у распону садржаја влаге од 40% до 15 – 20%, након чега овај процес значајно успорава. Стопа сушења зависи од временских услова, посебно температуре, влажности ваздуха и падавина, као и од морфолошких и физиолошких карактеристика клипа и зрна. Топлије, суво, сунчано и ветровито време убрзава сушење зрна, док хладно, влажно и кишовито време може потпуно зауставити процес сушења. Разлике у брзини губитка влаге између хибрида играју кључну улогу у процени њихове релативне зрелости и прилагођености специфичним условима. Nielsen, 2018 такође наводи како произвођачи често постављају питање да ли ће се губитак влаге из зрна на пољу одвијати „нормално“ након што су усеви били изложени екстремним временским условима који проузрокују

оштећења пре физиолошке зрелости или доводе до прераног угинућа биљака. Такви стресни услови укључују екстремну сушу и високе температуре, али и олује са градом, као што је то био случај у 2023. години на огледном пољу на локалитету Римски Шанчеви. Упркос овим стресовима, губитак влаге из зрна након физиолошке зрелости се генерално одвија „нормално“, али је варијабилан и зависи од генетичких особина хибрида. Ово је у складу са резултатима дексриптивне статистике биолошких параметара, којом је установљено да је за параметар GR-PM забележен највиши коефицијент варијације за све испитиване хибриде кроз две године истраживања. Варијабилност између хибрида у стопи губитка влаге након физиолошке зрелости и коначни садржај влаге у зрну у време жетве представљају важне факторе како за произвођаче, тако и за семенске компаније. У овом истраживању, хибриди са већим вредностима параметра GR-PM, попут NS5051 и NS5760, показали су способност бржег губитка влаге након физиолошке зрелости, што их чини погодним за производњу у условима који захтевају правовремену жетву.

Корелациона и анализа главних компоненти биолошких параметара показале су различите степене повезаности у 2022. и 2023. години.

У обе године је утврђена слаба позитивна корелација између ASYM-PM и IP-PM параметара, што сугерише да хибриди са већим садржајем влаге у тренутку физиолошке зрелости нису нужно акумулирали већи број топлотних јединица. Насупрот томе, Shi et al., 2022 су забележили снажну негативну корелацију између садржаја влаге у зрну и акумулираних топлотних јединица како у периоду од свилања до физиолошке зрелости, тако и након ње, те наглашавају да губитак влаге из зрна углавном контролишу физиолошке активности повезане са развојем и наливањем зрна. У 2022. години, између IP-PM и GR-PM утврђена је слаба позитивна корелација, што значи да су хибриди са више топлотних јединица у тренутку физиолошке зрелости имали нешто већу стопу губитка влаге. Овај резултат може указивати на специфичне временске услове током 2022. године који су омогућили бржи губитак влаге чак и код каснијих хибрида. Супротно томе, у 2023. години, корелација је била умерено јака, негативна, указујући на то да су хибриди са већом акумулацијом топлотних јединица губили влагу спорије. Овај резултат је очекиван јер каснији хибриди често задржавају већу влагу услед својих морфолошких карактеристика и климатских услова у каснијим фазама развоја (Nielsen, 2018; Mokrienko, 2014). Веза између GR-PM и ASYM-PM била је врло слаба у 2022. години, што сугерише да садржај влаге у тренутку физиолошке зрелости није био значајно повезан са релативном стопом губитка влаге. Међутим, у

2023. години ова корелација је била умерено јака, негативна, што указује да су хибриди са већим садржајем влаге губили влагу спорије. Ови резултати су у складу са Shi et al., 2022, који истичу да на губитак влаге након физиолошке зрелости значајно утичу морфолошке карактеристике хибрида, попут структуре перикарпа, дебљине и броја овојних листова клипа, као и положаја клипа (Liu et al., 2020; Yin et al., 2020). Како би се одабрали хибриди са бржим губитком влаге из зрна након физиолошке зрелости, препоручљиво је истражити и неке морфолошке карактеристике клипа и зрна које утичу на динамику овог процеса.

PCA анализа је додатно потврдила односе између биолошких параметара. На основу смера и положаја сопствених вектора на графикону 14 за 2022 годину, примећује се да вектор ASYM-PM има праволинијски правац ка горе десно. Дужина овог вектора указује на његов допринос у варијабилности друге главне компоненте, односно указује на то да овај вектор има снажан утицај у објашњењу разлика између хибрида у овој компоненти. Вектор IP-PM је краћи и усмерен такође ка десно. Овај положај упућује на умерен допринос у формирању прве главне компоненте, али и мањи допринос у формирању друге главне компоненте. Вектор GR-PM је усмерен на доле и десно, што указује негативан утицај на прву главну компоненту. Угао који вектори заклапају објашњава корелацију која је забележена између параметара. ASYM-PM и IP-PM вектори заклапају релативно оштар угао, што указује на позитивну корелацију између ових параметара. ASYM-PM и GR-PM вектори су позиционирани под углом који је скоро 90°. Овај угао указује на врло слабу корелацију између ових параметара, што потврђује и претходно извршена корелациона анализа. IP-PM и GR-PM су постављени под нешто оштријим углом, што потврђује позитивну корелацију између ових параметара. Од значаја је и положај хибрида на биплоту. Хибриди NS5760 и NS6061 су позиционирани ближе вектору ASYM-PM, што потврђују њихове високе вредности садржаја влаге у тренутку физиолошке зрелости. Хибриди NS770 и NS6030 су ближи вектору GR-PM, што сугерише да су ови хибриди имали бржи губитак влаге након физиолошке зрелости. Међутим, иако је хибрид NS770 имао најнижу вредност GR-PM параметра у 2022. години, а хибрид NS6030 просечну вредност GR-PM параметра, њихова позиција на биплоту у овом случају показује како се та вредност пореди са вредностима других хибрида у смислу главних компоненти. Хибриди NS3023 и NS4000 се налазе у првом квадранту, али су удаљени од вектора, што значи да немају значајну везу са неким од приказаних параметара и да су релативно неутрални у односу на све три промењиве. Хибриди NS4006, NS3022, и NS5051 су

позиционирани у трећем квадранту и удаљени од вектора. Њихов положај указује на то да имају мање вредности за све параметре.

Са друге стране, на графикону 15 за 2023. годину, може се приметити да је вектор параметра ASYM-PM дугачак и оријентисан ка горњем десном квадранту, док је вектор параметра IP-PM такође дугачак и усмерен ка доњем десном квадранту биплота. Смер и положај ASYM-PM вектора указују на његов допринос у дефинисању варијабилности дуж друге главне компоненте, а смер и положај IP-PM вектора указује на допринос IP-PM параметра у формирању и објашњењу прве главне компоненте. Вектор параметра GR-PM је краћи у односу на претходна два и усмерен је ка левој страни биплота. ASYM-PM и IP-PM вектори су постављени под оштрим углом, што указује на позитивну корелацију између ових параметара. ASYM-PM и GR-PM, као и IP-PM и GR-PM вектори су постављени су под тупим углом, што указује на негативну корелацију, коју потврђују негативне вредности Пирсонових коефицијената. Хибриди као што су NS640 и NS5051 налазе се близу вектора ASYM-PM, што указује на њихове високе вредности за параметар ASYM-PM. Хибриди NS6030, NS6061 су позиционирани дуж правца вектора IP-PM, што упућује на закључак да ови хибриди захтевају више акумулираних топлотних јединица за достизање физиолошке зрелости. На крају, хибриди NS3022 и NS4006 су позиционирани ближе вектору GR-PM, што указује на њихову бржу стопу губитка влаге након физиолошке зрелости.

7.4 Агрономске особине

Поред динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну, током две вегетационе сезоне, проучавани су принос и компоненте приноса (дужина клипа, пречник клипа, пречник кочанке, број редова зрна, број зрна у реду, број зрна по клипу и маса 1000 зрна) десет хибрида кукуруза. Принос зрна је значајнија агрономска особина којој се придаје посебна пажња, управо због његове комплексности и зависности од бројних чинилаца (Бошански *и сар*., 2005). У овом истраживању, принос испитиваних хибрида кукуруза утврђен је само у 2022. години. Услед неповољних временских услова у 2023. години, праћених полегањем хибрида, сам приступ парцели и жетва нису били изводљиви, те је онемогућено прикупљање података о приносу за посматрану годину. Анализом варијансе је утврђено да постоји статистички значајна разлика у проучаваним својствима између испитиваних генотипова. Највиши принос у 2022. години забележен је код хибрида NS4006, који се истакао и највећом масом 1000

зрна и дужином клипа која је била изнад просека, чиме је потврдио свој висок производни потенцијал. Слично њему, хибрид NS3023 је показао високе вредности приноса и масе 1000 зрна, иако је имао релативно мањи број зрна по клипу. Иако су хибриди из ранијих FAO група зрења остварили веће приносе, анализом осталих агрономских особина примећено је да су се хибриди каснијих група зрења истакли у одређеним компонентама приноса. Хибрид NS5051 се истакао најдужим клипом и највећим бројем зрна по клипу, док је NS6061 имао највећи пречник клипа и кочанке. Хибриди NS6030, NS770 и NS640 остварили су значајно ниже приносе, при чему је хирбид NS640 имао најнижи принос, најкраћи клип и најмањи број зрна по реду, што указује на његов нижи производни потенцијал.

Иако подаци о приносу нису били доступни, анализом осталих агрономских особина су утврђене статистички значајне разлике између хибрида и у 2023. години. Хибрид NS5051 је поново имао највећу дужину клипа и број зрна по клипу, што показује његову стабилност и добру адаптабилност у променљивим условима. Поповић, 2020 наводи како је стабилност генотипа од великог значаја у оплемењивању кукуруза, да различити агроклиматски услови варирају између локалитета и по годинама, те да је неопходно извршити испитивање хибрида како у различитим спољашњим срединама, тако и у различитим годинама. Хибриди из каснијих FAO група зрења, попут NS770 и NS6030, показали су релативно стабилне резултате у погледу дужине клипа и пречника кочанке, али са мањим вредностима масе 1000 зрна. Резултати анализе варијансе за принос зрна у 2022. години и остале агрономске особине у 2023. години, су у складу са истраживањима Ali et al., 2015, Meseka et al., 2018 и Крстић *и сар*., 2021, који су такође утврдили статистички значајне разлике између хибрида за ове особине. Крстић *и сар*., 2021 истичу како су значајне разлике између хибрида у великој мери резултат различитих дужина вегетационог периода испитиваних хибрида, те да су хибриди ранијих група зрења остварили високе приносе услед веће толерантности на сушу, односно избегавањем сушног периода током критичних фаза вегетације, пре свега генеративне фазе. Каснији хибриди су имали ниже приносе у 2022. години, што се може објаснити њиховим каснијим цветањем које се одвијало у условима високих температура и озбиљног недостатка падавина у другој половини јула месеца. Ови резултати су у складу са истраживањима која указују да стрес изазван сушом током свилања и оплодње има значајан утицај на број зрна код кукуруза, а самим тим и на принос (Ao et al., 2020). Ahmad et al., 2020 су утврдили да појава суше током периода свилања може узроковати смањење броја зрна и до 31,13%.

С друге стране, неки аутори наводе да каснији хибриди често постижу веће приносе у оптималним условима гајења. Badu-Apraku et al., 2015 истичу да рани хибриди могу показати добре резултате и у стресним условима. Buhiniček et al., 2021 нису утврдили значајну разлику у приносу између раних и касних хибрида, истичући да сама дужина вегетације није гаранција за већи принос. Baum et al., 2019 наводе да датум сетве игра кључну улогу у приносу, те да хибриди каснијих гурпа зрења имају предност када се сеју рано, док се хибриди ранијих група зрења боље прилагођавају каснијим роковима сетве. Коефицијенти варијације добијени у овом истраживању имали су вредности у распону од 6 до 17% у 2022. години за све анализиране агрономске особине, са изузетком приноса зрна, чији је коефицијент варијације износио 26,09%. Истраживање Leibman et al., 2014 истиче да коефицијент варијације за принос зрна код хибрида кукуруза може износити око 25%, што указује на умерен ниво варијабилности у приносу у зависности од различитих услова гајења. У 2023. години, коефицијент варијације се кретао од 5 до 19% за компоненте приноса. Према Altoveros, 2011, коефицијенти варијације за кукуруз не би требало да прелазе 15%. Arnhold et al., 2011 су анализирали коефицијенте варијације из 30 научних радова о кукурузу и закључили да се вредности испод 5,95% сматрају ниским, од 5,95% до 15,21% средњим, од 15,21% до 20,34% високим, а преко 20,34% веома високим. Мићић *и сар.*, 2012 сматрају да прихватљива граница треба да буде виша, до 30%, али не и преко 40%.

Разумевање односа између различитих особина, може пружити увид у то колико те особине доприносе економској исплативости гајења одређеног генотипа (Костадиновић, 2014). Резултати корелационе анализе указали су на значајне односе између агрономских особина у обе године истраживања. Позитивна јака корелација између дужине клипа и броја зрна по реду у 2022. години, је јасан показатељ да дужи клипови омогућавају формирање већег броја зрна. Слични резултати добијени су и у 2023. години, где је утврђена значајна позитивна корелација између дужине клипа и броја зрна по клипу, чиме се додатно истиче значај дужине клипа као једне од кључних компоненти приноса. Ови резултати су у складу са истраживањима Olivoto et al., 2017 који истичу да дужи клипови често подразумевају и већи број зрна по клипу, док су Khameneh et al., 2012 потврдили да дужина клипа има позитиван утицај на принос. Ово указује да је дужина клипа не само важан показатељ продуктивности већ и значајна особина у процесу селекције хибрида. Значајна позитивна корелација забележена између пречника клипа и броја зрна по клипу у 2023. години указала је на то да већи пречник клипа статистички значајно доприноси формирању већег броја зрна по клипу.

Milander et al., 2017 истичу како хибриди ранијих група зрења углавном имају ужи пречник клипа у односу на хибриде средње и касне групе зрења, што је у складу са резултатима овог истраживања. У обе године истраживања су код хибрида каснијих група зрења забележене веће вредности пречника клипа и броја зрна по клипу. Yang et al., 2019 су закључили да варијације у компонентама приноса, као што је пречник клипа, могу бити уско повезане са зрелошћу хибрида и климатским условима током вегетационог периода. Са друге стране, иако нису биле значајне, позитивне корелације забележене између пречника кочанке и броја зрна по реду у обе године истраживања су у складу са истраживањем Mathur et al., 2023 који су установили да је пречник кочанке у позитивној корелацији са бројем зрна по реду и укупним бројем зрна по клипу, те да је ова веза је од суштинског значаја, јер већи пречник кочанке омогућава формирање већег броја зрна, чиме се повећава и потенцијал приноса. У овом истраживању, број зрна по реду је у 2022. години показао позитивну и значајну корелацију са бројем зрна по клипу, док је у 2023. години био у позитивној корелацији са бројем редова зрна. Овај однос потврђује блиску међусобну повезаност ових компоненти приноса и указује на њихов значај у програмима оплемењивања кукуруза (Dolatabad et al., 2010). Маса 1000 зрна је један од основних показатеља квалитета и продуктивности хибрида кукуруза. Директно утиче на принос јер је повезана са величином и пуноћом зрна. Она зависи агрометеоролошких услова и генетског потенцијала хибрида (Nowosad et al., 2023), услова гајења попут густине сетве (Hasan et al., 2018), количине примењених ђубрива али и од групе зрења хибрида (Цвијановић *и сар*., 2018). Позитивна корелација између броја зрна по реду и масе 1000 зрна, која је утврђена у обе године истраживања, указује на то да већи број зрна по реду обично доводи до веће масе 1000 зрна, што указује на боље испуњена и тежа зрна. Овај резултат је у складу са резулатима истраживања Kumar et al., 2024 и Костадиновић, 2014 који истичу да су број зрна по реду и маса 1000 зрна међу најзначајнијим компонентама приноса и да се њиховим побољшањем може остварити значајно повећање приноса.

8 ЗАКЉУЧЦИ

Применом нелинеарних модела, у раду је проучавана динамика накупљања суве материје у зрну и губитак влаге из зрна хибрида кукуруза различитих група зрења. На основу добијених резултата, могу се издвојити следећи закључци:

- Извршено је прецизно описивање процеса накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну након физиолошке зрелости.
- Постоји значајна варијабилност у динамици ових процеса код хибрида кукуруза различитих група зрења.
- Хибриди NS3023 и NS6030 су се истакли високим вредностима максималне масе зрна (KDWmax) и параметара ASYM и AGR, а хибрид NS6061 одличном стабилношћу у условима стреса.
- Најнижи садржај влаге у зрну у тренутку физиолошке зрелости (ASYM-PM) установљен је код NS3022, NS4000 и NS4006.
- Највиша вредност GR-PM параметра установљена је код хибрида NS5051, што указује на брз губитка влаге из зрна након физиолошке зрелости.
- Постоји значајна међузависност између кључних биолошких параметара што омогућава боље разумевање динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну.
- Утврђене су значајне разлике између хибрида по питању приноса и компоненти приноса.
- Највиши просечан принос и дужина клипа утврђени су код хибрида NS4006.
- Хибрид NS3023 је остварио висок принос уз стабилне вредности компоненти приноса (број редова зрна и број зрна по реду).
- Хибрид NS6061 поседује одличан продуктивни потенцијал.
- Постоји снажна међусобна повезаност компоненти приноса (број зрна по реду, број редова зрна и маса 1000 зрна).
- Ово истраживање пружа значајан допринос разумевању динамике накупљања суве материје и губитка влаге из зрна код хибрида кукуруза различитих дужина вегетације.
- Испитивани нелинеарни модели могу се интегрисати у системе прецизне пољопривреде који користе напредне алгоритме за анализу података. Њихова примена

би олакшала разумевање и прецизније праћење физиолошких и биолошких процеса у усеву, прогнозирање приноса и оптимизацију производних пракси.

- Резултати истраживања пружају основу за даља научна истраживања у области оплемењивања и развоја нових технологија, као и анализу утицаја климатских промена на производњу кукуруза.

9 ЛИТЕРАТУРА

1. Aboutalebian, M., A., Nazari, S., González-Andújar, J., L. (2017): Short communication: evaluation of a model for predicting avena fatua and descurainia sophia seed emergence in winter rapeseed. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(2), e03SC01.

2. Ali, F., Kanwal, N., Ahsan, M., Ali, Q., Bibi, I., Niazi, N., K. (2015): Multivariate analysis of grain yield and its attributing traits in different maize hybrids grown under heat and drought stress. *Scientifica*, 2015(1), p.563869.

3. Altoveros, C., E. (2011): Applied experimental designs for agricultular research. Uni-versity of Sulamani, Kurdish, Irqi.

4. Анђелковић, Виолета, Игњатовић-Мићић, Драгана, Ванчетовић, Јелена, Бабић, М. (2012): Интегрисани приступ у побољшању толерантности кукуруза на сушу. *Селекција и семенарство*, 18(2), 1-18.

5. Ao, S., Russelle, M., P., Varga, T., Feyereisen, G., W., Coulter, J., A. (2020): Drought tolerance in maize is influenced by timing of drought stress initiation. Crop Science, 60(3), 1591-1606. Arnhold, E., Milani K.F. (2011): Rank-ordering coefficients of variation for popping expansion. Acta Scientiarum. *Agronomy*, 33(3):527-531.

6. Archontoulis, S., V., Miguez, F., E. (2015): Nonlinear regression models and applications in agricultural research. *Agronomy Journal*, 107(2), pp.786-798.

7. Ahmad, M., I., Shah, A., N., Sun, J., Song, Y. (2020): Comparative study on leaf gas exchange, growth, grain yield, and water use efficiency under irrigation regimes for two maize hybrids. *Agriculture*, 10(9), 369.

8. Бабић, Војка, Ивановић, М., Бабић, М. (2012): Настанак и еволуција кукуруза и путеви увођења у наше крајеве. *Ратарство и повртарство* 49 (1): 92-104.

9. Badu-Apraku, B., Fakorede, M., Oyekunle, M., Yallou, G., Ofori, K., Haruna, A., Akinwale, R. (2015): Gains in grain yield of early maize cultivars developed during three breeding eras under multiple environments. *Crop Science*, 55(2), 527-539.

10. Baum, M., Archontoulis, S., Licht, M., A. (2019): Planting date, hybrid maturity, and weather effects on maize yield and crop stage. *Agronomy Journal*, 111(1), 303-313.

11. Baty, F., Ritz, C., Charles, S., Brutsche, M., Flandrois, J., Delignette-Muller, M. (2015): A Toolbox for Nonlinear Regression in R: The Package nlstools. *Journal of Statistical Software*, 066, 1-21.

12. Бекавац, Г., Пурар, Божана, Јоцковић, Ђ., Стојаковић, М., Ивановић, М., Малиџа, Г., Ђаловић, И. (2010): Производња кукуруза у условима глобалних климатских промена. *Ратарство и повртарство*, 47 (2), 443-450.

13. Benz, B., F. (2001): Archaeological evidence of teosinte domestication from guilá naquitz, oaxaca. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(4), 2104-2106.

14. Behtari, B., De Luis, M. (2012): Seedling emergence of tall fescue and wheatgrass under different climate conditions in Iran. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(1), pp.183-190.

15. Bôas, I., A., V., Fernandes, F., A., Fernandes, T., J., Muniz, J., A. (2023): Study of dry matter accumulation in maize hybrids using nonlinear models. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 58, e03077.

16. Bonavia, D. (2013): Maize: Origin, Domestication, and Its Role in the Development of Culture. *Cambridge University Press*

17. Borras, L., Westgate, M., E., Otegui, M., E. (2003): Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Ann. Bot.* 91, 857–867.

18. Borras, L., Zinselmeier, C., Senior, M., L., M., Westgate, E., Muszynski M., G. (2009): Characterization of grain filling patterns in diverse maize germplasm. *Crop Sci.* 49: 999–1009.

19. Боћански, Ј., Срећков, З., Настасић, Александра (2005): Генетичка анализа масе окласка и приноса зрна кукуруза (*Zea mays* L.). *Летопис научних радова*, година 29, број 1, страна 113–121.

20. Brdar, M., Kobiljski, B., Kraljević-Balalić, M. (2006): Relations between grain filling parameters and yield components in wheat. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 42(2), 213-218.

21. Brdar, M., Kraljević-Balalić, M., Kobiljski, B. (2008): The parameters of grain filling and yield components in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L. *var. durum*). *Central European Journal of Biology*, 3(1), 75-82.

22. 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.

23. Burnham, K., P., Anderson, D., R. (2002): Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edn. *Springer*, New York.

24. Bruckner, P., L., Frohberg, R., C. (1987): Rate and duration of grain fill in spring wheat 1. *Crop Science*, 27, no. 3, 451-455.

25. Buhiniček, I., Kaučić, D., Kozić, Z., Jukić, M., Gunjača, J., Šarčević, H., Šimić, D. (2021): Trends in maize grain yields across five maturity groups in a long-term experiment with changing genotypes. *Agriculture*, 11(9), 887.

26. Villegas, D., Aparicio, N., Blanco, R., Royo, C. (2001): Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under Mediterranean conditions. *Annals of Botany*, 88, 617–627.

27. Gambin, B., L., Borras, L., Otegui, M., E. (2008): Kernel weight dependence upon plant growth at different grain-filling stages in maize and sorghum. *Australian Journal of Agricultural Research* 59: 280-290.

28. Gao, S., Ming, B., Li, L., Yin, X., Xue, J., Wang, K., Li, S. (2021): Relationship and Distribution of In-Field Dry-Down and Equilibrium in Maize Grain Moisture Content. *Agricultural and Forest Meteorology*, 304-305, 108409.

29. Gasura, E., Setimela, P., Edema, R., Gibson, P., T., Okori, P., Tarekegne, A. (2013): Exploiting grain-filling rate and effective grain-filling duration to improve grain yield of early-maturing maize. *Crop Science*, 53(6), 2295-2303.

30. Gasura, E., Setimela, P., S., Tarekegne, A., Icishahayo, D., Edema, R., Gibson, P., T., Okori, P. (2014): Variability of grain filling traits in early maturing CIMMYT tropical maize inbred lines. *Crop Sci* 54:530–536

31. Gesch, R.W., Wells, M.S., & Hard A. (2021): Desiccation of corn allows earlier direct seeding of winter camelina in the northern corn belt. *Crop Science*, 61, 2787-2797.

32. Deb, H., Hasan, K., Islam, Z., Lv, K., Zhang, Y., Yao, J. (2023): The statistical error optimization of dye sorption equilibria for the precise prediction of adsorption isotherms on activated graphene. *Applied Sciences*, 13(14), 8106.

33. Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J., Warren, R. (2014): Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*, 9(3), p.034011.

34. Dias, A., S., Lidon, F., C. (2009): Evaluation of grain filling rate and duration in bread and durum wheat, under heat stress after anthesis. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(2), pp. 137-147.

35. Dodig, D., Kandić, V., Zorić, M., Nikolić-Đorić, E., Nikolić, A., Mutavdžić, B., Perović, D., Šurlan-Momirović, G. (2018): Comparative kernel growth and yield components of two-and six-row barley (*Hordeum vulgare*) under terminal drought simulated by defoliation. *Crop and Pasture science*, 69(12), pp.1215-1224.

36. Dodig, D., Kandić, V., Zorić, M., Nikolić-Đorić, E., Živanov, S., T., Perović, D. (2020): Response of kernel growth of barley genotypes with different row type to climatic factors before and after inflection point of grain filling. *Field crops research*, 255, p.107864.

37. Doebley, J., F. (2004): The genetics of maize evolution. *Annual review of genetics*, 38: 37-59.

38. Dolatabad, S., S., Choukan, R., Hervan, E., M., Dehghani, H (2010): Multienvironment analysis of traits relation and hybrids comparison of maize based on the genotype by trait biplot. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(1), 107-113.

39. dos Santos, C., L., Abendroth, L., J., Coulter, J., A., Nafziger, E., D., Suyker, A., Yu, J., Schnable, P., S., Archontoulis, S., V. (2022): Maize leaf appearance rates: A synthesis from the United States corn belt. *Frontiers in Plant Science*, 13, 872738.

40. dos Santos, A., L., P., Ferreira, T., A., E., de Brito, C., C., R., Gomes-Silva, F., Moreira, G., R. (2024): Proposal for a new non-linear model to describe growth curves. *Bioscience Journal*, 40(e40011), pp. 1981-3163.

41. Драгичевић, Весна, Ристић, Данијела, Младеновић-Дринић, Снежана, (2010): Динамика накупљања фитата и отпуштања воде током наливања зрна кукуруза. II. Динамика отпуштања воде. J. *Sci. Agric. Research/ Арх. пољопр. Науке* 71, 256 (2010/4), 45-55.

42. Dubreuil, P., Warburton, M., L., Chastanet, M., Hoisington, D., Charcosset, A. (2006): More on the introduction of temperate maize into Europe: large-scale bulk SSR genotyping and new historical elements. *Maydica*, 51 (2): 281–291.

43. Eichenberger, S., Miguez, F., Edwards, J., Knapp, A. (2015): Changes in kernel filling with selection for grain yield in a maize population. *Crop Science*, 55(2), pp.521-526.

44. Irmak, S., Haman, D., Z., Bastug, R. (2000): Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal*, 92, 1221–1227.

45. Jane, S., Fernandes, F., Silva, E., Muniz, J., Fernandes, T., Pimentel, G. (2020): Adjusting the growth curve of sugarcane varieties using nonlinear models. *Ciência Rural*, 50(3).

46. Јанчић, Милена (2016): Утицај климатских промена на биљну производњу. Докторска дисертација. Пољопривредни факултет. Универзитет у Новом Саду.

47. Јевтић, С. (1977): Кукуруз. Издавач: Нолит, Београд

48. Jiang, T., Liu, J., Gao, Y., Sun, Z., Chen, S., Yao, N., Ma, H., Feng, H., Yu, Q., He, J. (2020): Simulation of plant height of winter wheat under soil Water stress using modified growth functions. *Agricultural Water Management*, 232, p.106066.

49. Johnson, D., R., Tanner, J., W. (1972): Calculation of the rate and duration of grain filling in corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci* 12: 485–486.

50. Josue, A., D., L., Brewbaker, J., L. (2018): Diallel analysis of grain filling rate and grain filling period in tropical maize (*Zea mays* L.). *Euphytica*, 214, 1-14.

51. Kandic, V., Dodig, D., Zoric, M., Nikolic, A., Surlan, Momirovic, G., Kaitovic, Z., Aleksic, G., Duric, N. (2018): Grain filling parameters of two-and six-rowed barley genotypes in terminal drought conditions. *Italian Journal of Agrometeorology*, 23(2), pp.5-14.

52. Kane, N., C., Rieseberg, L., H. (2005): Maize genetics: the treasure of the sierra madre. *Current Biology*, 15(4), R137-R139.

53. Karadavut, U. (2009): Non-linear models for growth curves of triticale plants under irrigation conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 14(2), 105-110.

54. Karadavut, U., Palta, Ç., Kökten, K., Bakoğlu, A. (2010): Comparative study on some non-linear growth models for describing leaf growth of maize. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(2), pp.227-230.

55. Kistler, L., Maezumi, S., Y., Souza, J., G., d., Przelomska, N., A., S., Costa, F., M., Smith, O., Allaby, R., G. (2018): Multiproxy evidence highlights a complex evolutionary legacy of maize in south america. *Science*, 362(6420), 1309-1313.

56. Комљеновић, И., Кондић, Данијела (2011): Практикум из Општег ратарства. Пољопривредни факултет. Бања Лука.

57. Костадиновић, Марија, С. (2015): Селекција линија кукуруза са побољшаним квалитетом протеина и адаптираних на умерено климатско подручје употребом молекуларних маркера. Доктроска дисертација, Универзитет у Београду.

58. Koulelis, P., Ioannidis, K. (2021): Constructing single-entry stem volume models for four economically important tree species of greece. *Folia Oecologica*, 48(2), 136-146.

59. Крстић, М., Велимир, М., Овука, Јелена, Станисављевић, Д., Митровић, Б., Крстић, Јована, Гвозденац, Соња (2021): Варијабилност и међузависност особина хибрида кукуруза различите дужине вегетације. *Селекција и семенарство* 27, no. 1 7-16.

60. Kumar, G., P., Sunil, N., Sekhar, J., C., Chary, D., S. (2024): Character Association and Path Coefficient Analysis to Determine Interrelationships among Grain Yield and its Components in Maize Genotypes (*Zea mays* L.). *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(3), 275-283.

61. Khameneh, M., Bahraminejad, S., Sadeghi, F., Honarm, S., Maniee, M. (2012): Path analysis and multivariate factorial analyses for determining interrelationships between grain yield and related characters in maize hybrids. *African Journal of Agricultural Research*, 7(48), 6437-6446.

62. Khamis, A., Ismail, Z. (2004): Comparative study on nonlinear growth model to tobacco leaf growth data. *Journal of Agronomy* (Pakistan), 3(2).

63. Kutner, M., Nachtsheim, C., Neter, J., Li, W. (2005): Applied Linear Statistical Models. McGraw Hill. New York.

64. Lee, E., A., Tollenaar, M. (2007): Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Sci*. 47:202–215.

65. Leibman, M., Shryock, J., J., Clements, M., J., Hall, M., A., Loida, P., J., McClerren, A. L., Stark, S., B. (2014): Comparative analysis of maize (*Zea mays* L.) crop performance: natural variation, incremental improvements and economic impacts. *Plant Biotechnology Journal*, 12(7), 941-950.

66. Li, L., Ming, B., Xie, R., Wang, K., Hou, P., Gao, S., Chu, Z., Zhang, W., Huang, Z., Li, H. Zhou, X., (2021): The stability and variability of maize kernel moisture content at physiological maturity. *Crop Science*, 61(1), pp.704-714.

67. 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, pp.1-16.

68. Liu, Y., E., Hou, P., Huang, G., R., Zhong, X., L., Li, H., R., Zhao, J., R., Li, S., K., Mei, X., R. (2021): Maize grain yield and water use efficiency in relation to climatic factors and plant population in northern China. *J. Integr. Agric.* 20, 156–3169.

69. Liu, J., Yu, H., Xue, M., Liu, B., Xu, M., Chen, S. (2022): Genetic dissection of stage-dependent dry matter accumulation in maize (*Zea mays* L.) kernel. *Euphytica*, 218(10).

70. Luque, D., F., Cirilo, A., G., Otegui M., E. (2006): Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crops Res.* 95:383–397.

71. Mathur, A., S., Sood, S., Kumar, R., Rathore, S. (2023): Effect of organic and inorganic nitrogen management and planting technique on yield of maize. International Journal of Plant &Amp; *Soil Science*, 35(15), 200-204.

72. Martinez-Feria, R., A., Licht, M., A., Ordóñez, R., A., Hatfield, J., L., Coulter, J., A., Archontoulis, S., V. (2019): Evaluating maize and soybean grain dry-down in the field with predictive algorithms and genotype-by-environment analysis. *Scientific reports*, 9(1), p.7167.

73. Martins K., V., Dourado-Neto, D., Reichardt, K., Favarin, J., L., Sartori, F., F., Felisberto, G., Mello, S., C. (2016): Maize dry matter production and macronutrient extraction model as a new approach for fertilizer rate estimation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 89, no. 1 suppl: 705-716.

74. Macedo, L., R., D., Cecon, P., R., Silva, F., F., E., Nascimento, M., Puiatti, G., A., Oliveira, A., C., R., Puiatti, M. (2017): Bayesian inference for the fitting of dry matter accumulation curves in garlic plants. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(8), pp.572-581.

75. Meseka, S., Menkir, A., Bossey, B. and Mengesha, W. (2018): Performance assessment of drought tolerant maize hybrids under combined drought and heat stress. *Agronomy*, 8(12), p.274.

76. Mirosavljević, M., Momčilović, V., Pržulj, N., Maksimović, I., Putnik-Delić, M. (2018): Dry matter accumulation of winter wheat and barley at different sowing dates. *Ratarstvo i povrtarstvo/Field and Vegetable Crops Research*, 55(2), pp.87-94.

77. Мићић, Н., Босанчић, Б. (2012): Варијабилитет и коефицијенти варијације у биолошким и пољопривредним истраживањима. *Agro-knowledge Journal*. Пољопривредни факултет - Унивезитета у Бања Луци.

78. Mladenov, V., Banjac, B., Petrović, S., Šućur, R., Jocković, B. (2023): Mitigating abiotic stresses: a study on Pannonian basin wheat cultivars facing drought, cold and heat. *Genetika-Belgrade*, 55(3), pp.951-961.

79. Mokrienko, V. (2014): We compare the productivity of corn in the forest-steppe zone under different cultivation technologies - alternative, intensive and resource-saving. *Grain and Bread*, 2, 64-70.

80. Mokrienko, V., Kornienko, T. (2024): Formation of productivity of maize hybrids of different ripening groups in the Forest-Steppe region. *Plant & Soil Science*,15(1).

81. Mousavi, S., N., Bodnár, K., Nagy, J. (2018): Evaluation of decreasing moisture content of different maize genotypes. *Acta Agraria Debreceniensis*, (74), pp.147-151.

82. McMaster, G., S. (2005): Phytomers, phyllochrons, phenology and temperate cereal development. *Journal of Agricultural Science*, 143, 137–150.

83. Neupane, D., Adhikari, P., Bhattarai, D., Rana, B., Ahmed, Z., Sharma, U. Adhikari, D., (2022): Does climate change affect the yield of the top three cereals and food security in the world? *Earth*, 3(1), 45-71.

84. Ni, P., Anche, M., T., Ruan, Y., Dang, D., Morales, N., Li, L., Robbins, K., R. (2022): Genomic prediction strategies for dry-down-related traits in maize. *Frontiers in Plant Science*, 13.

85. Nielsen, R., L. (2018): Field Drydown of Mature Corn Grain; преузето са: https://extension.entm.purdue.edu/newsletters/pestandcrop/article/field-drydown-of-mature-corn-grain/, приступљено: 07.12.2024.

86. Nielsen, R., L. (2020): Heat unit concepts related to corn development. Corny News Network; преузето са: https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/heatunits.html, приступљено: 07.12.2024.

87. Nleya, T., C. Chungu, J., Kleinjan (2016): Chapter 5: Corn Growth and Development. In Clay, D., E., C., G., Carlson, S., A., Clay, E., Byamukama (eds). iGrow Corn: Best Management Practices. South Dakota State University.

88. Noor-ul-Ane, M., Mirhosseini, M., A., Crickmore, N., Saeed, S., Noor, I., Zalucki, M., P. (2018): Temperature-dependent development of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: *Noctuidae*) and its larval parasitoid, Habrobracon hebetor (Say) (Hymenoptera: *Braconidae*): implications for species interactions. *Bulletin of entomological research*, 108(3), 295-304.

89. Nowosad, K., Bocianowski, J., Kianersi, F., Pour-Aboughadareh, A. (2023): Analysis of linkage on interaction of main aspects (genotype by environment interaction, stability and genetic parameters) of 1000 kernels in maize (*Zea mays* L.). *Agriculture*, 13(10), 2005.

90. Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I., Follmann, D., Ferrari, M., Szareski, V., Souza, V. (2017): Reml/blup and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield-related traits. *Genetics and Molecular Research*, 16(1).

91. Osman, H. (2019): Model prediction and optimization of waste lube oil treated with natural clay. *Processes*, 7(10), 729.

92. Pepler, S., Gooding, M., Ellis, R. (2006): Modelling simultaneously water content and dry matter dynamics of wheat grains. *Field Crops Res*. 95, 49–63.

93. Picache, J., A., Rose, B., S., Baliński, A., Leaptrot, K., L., Sherrod, S., D., May, J., C., McLean, J., A. (2019): Collision cross section compendium to annotate and predict multi-omic compound identities. *Chemical Science*, 10(4), 983-993.

94. Piperno, D., R., Ranere, A., J., Holst, I., Iriarte, J., Dickau, R. (2009): Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium b.p. maize from the central balsas river valley, mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(13), 5019-5024.

95. Puiatti, G., A., Cecon, P., R., Nascimento, M., Nascimento, A., C., C., Carneiro, A., P., S., Silva, F., F., Puiatti, M., Oliveira, A., C., R. (2018): Quantile regression of non-linear models to describe.

96. Portet, S. (2020): A primer on model selection using the Akaike Information Criterion. *Infectious Disease Modelling*, 5, 111–128.

97. Поповић, А., С. (2020): Процена оплемењивачке вредности и молекуларна карактеризација локалних популација кукуруза Западног Балкана. Докторска дисертација. Универзитет у Београду.

98. Pržulj, N., Momčilović, V. (2011): Characterization of vegetative and grain filling periods of winter wheat by stepwise regression procedure, I: Vegetative period. *Genetika-Belgrade*, 43(2), pp.349-359.

99. Ramos-Madrigal, J., Smith, B., D., Moreno-Mayar, J., V., Gopalakrishnan, S., Ross-Ibarra, J., Gilbert, M., T., P., Wales, N. (2016): Genome sequence of a 5,310-year-old maize cob provides insights into the early stages of maize domestication. *Current Biology*, 26(23), 3195-3201.

100. Ранђеловић, В., Продановић, С., Деспотовић, С., Гламочлија, Ђ. (2010): Принос кукуруза различитих FAO група зрења у функцији падавина током ASI периода. *Зборник научних радова*, Институт ПКБ агроекономик. Београд 16 (1-2): 103-109.

101. Rebourg, C., Chastanet, M., Gouesnard, B., Welcker, C., P. Dubreuil, A. Charcosset (2003): Maize introduction into Europe: the history reviewed in the light of molecular data. *Theoretical and Applied Genetics*, 106 (5): 895–903.

102. Reddy, P., B., Lal, G., M., Reddy, Y. (2023): Assessment of genetic variability, cause and effect inter-relationship among yield component characters in Maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(18), 1611-1620.

103. Ribeiro, T., D., Savian, T. V., Fernandes, T., J., Muniz, J., A. (2018): The use of the nonlinear models in the growth of pears of 'Shinseiki' cultivar. *Ciência Rural*, v.48, e20161097.

104. Ritz, C., Streibig, J. C. (Eds.). (2008): Nonlinear regression with R. New York, NY: Springer New York.

105. Rosegrant, M., R., Ringler, C., Sulser, T., B., Ewing, M., Palazzo, A., Zhu, T. (2009): Agriculture and food security under global change: Prospects for 2025/2050 (Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute).

106. Saeed, M., S., Saeed, A. (2020): Health benefits of maize crop-an overview. *Curr Res Agric Farming*, 1, 5-8.

107. Saini, H., S., Westgate, M., E. (2000): Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in agronomy*, 68, pp.59-96.

108. Sala, R., G., Westgate, M., E., Andrade, F., H. (2007): Source/sink ratio and the relationship between maximum water content, maximum volume, and final dry weight of maize kernels. *Field Crops Research*, 101(1), pp.19-25.

109. Singh, N., Kaur, A., Shevkani, K. (2014): Maize: grain structure, composition, milling, and starch characteristics. *Maize: nutrition dynamics and novel uses*, 65-76.

110. Spiess, A., Neumeyer, N. (2010): An evaluation of r2 as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a monte carlo approach. *BMC Pharmacology*, 10(1).

111. Scanlon, M., J., Takacs, E., M. (2009): Kernel biology. In: Bennetzen, J., Hake, S. (Eds.), Handbook of Maize Its Biology. *Springer, New York*, pp. 121–144.

112. Schnyder, H., Baum, U. (1992): Growth of the grain of wheat (*Triticum aestivum* L.). The relationship between water content and dry matter accumulation. *European Journal of Agronomy*, 1(2), pp.51-57.

113. Стојаковић, М., Јоцковић, Ђ., Бекавац, Г., Настасић, Александра (2001): Хетеротична припадност инбред линија кукуруза пореклом из локалних популација. *Зборник радова Института за ратарство и повртарство*, (35), 105-112.

114. Shi, X., K., Yu, Z., W., Zhao, J., Y., Shi, Y., Wang, X., Z. (2021): Effect of nitrogen application rateon photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and distribution and yield of high-yielding winter wheat. *Journal of Triticeae Crops*, Vol. 41, No. 6, 713-721.

115. Shi, W., J., Hui, S., H., A., O., Ye, S., H., A., Rong, S., H., I., Shi, D., F., Chen, Y., C., Mi, G., H. (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.

116. Shull, G., H. (1952): Begginings of the heterosis concept, In: J.W. Gowen (ed), Heterosis. *Iowa State College Press/Ames*, IA, pp. 14-48.

117. Shynkaruk, L., Lykhochvor, V. (2021b): Effect of desiccant application on pre- harvest humidity of medium-early hybrid LG 3258 corn in Western Forest-Steppe conditions. *Scientific Horizons*, 24(12), 32-38.

118. Swank, J., C., Egli, D., B., Pfeiffer, T., W. (1987): Seed growth characteristics of soybean genotypes differing in duration of seed fill 1. *Crop Science*, 27(1), pp.85-89.

119. Tardieu, F., Oury, V. (2015): Grain abortion and yield stability under drought: A key role for growth processes in reproductive organs. In: *Recent Progress in Drought Tolerance from Genetics to Modelling*. Montpellier, France.

120. Tollenaar, M., Daynard, T., B. (1978): Kernel growth and development at two positions on the ear of maize (Zea mays). Canadian Journal of Plant Science, 58(1), 189-197.

121. Томанић, Лидија (2023): Коксов модел преживљавања. Мастер рад, Математички факултет, Универзитет у Београду.

122. Trifunovic, V. (1978): Maize production and maize breeding in Europe. Walden D.B. (ur.) Maize Breeding and Genetics, New York: *Wiley*: 41-57.

123. Ugarte, C., Calderini, D., F., Slafer, G., A. (2007): Grain weight and grain number responsiveness to pre- anthesis temperature in wheat, barley and triticale. *Field Crop Research* 100: 240-240. FAOSTAT 2014.

124. FAO Statistical Databases (FAOSTAT). In: FAO Statistical Databases FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, http://faostat.fao.org, приступљено: 30.10.2024.

125. Ferguson, J., Taper, M., Zenil-Ferguson, R., Jasieniuk, M., Maxwell, B. (2019): Incorporating parameter estimability into model selection. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7.

126. Fernandes, T., J., Pereira, A., A., Muniz, J., A. (2017): Double sigmoidal models describing the growth of coffee berries. *Ciência Rural*, v.47, e20160646.

127. Fujimoto, R., Uezono, K., Ishikura, S., Osabe, K., Peacock, W., J., Dennis, E., S. (2018): Recent research on the mechanism of heterosis is important for crop and vegetable breeding systems. *Breeding science*, 68(2), 145-158.

128. Fukuda, Y., Webb, G., J., W., Manolis, C., Delaney, R., Letnic, M., Lindner, G., Whitehead, P. (2011): Recovery of saltwater crocodiles following unregulated hunting in

tidal rivers of the northern territory, australia. *The Journal of Wildlife Management*, 75(6), 1253-1266.

129. Hasan, M., Rahman, R., Hasan, A. K., Paul, S., & Alam, A. (2018). Effect of variety and spacing on the yield performance of maize (*Zea mays* L.) in old brahmaputra floodplain area of bangladesh. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 3(3), 270-274.

130. Hertzberg, R., C., Teuschler, L., K., McDonald, A., Sey, Y., M., Simmons, J., E., (2024): Evaluation of the interaction-based hazard index formula using data on four trihalomethanes from u.s. epa's multiple-purpose design study. *Toxics*, 12(5), 305.

131. Hocaoglu, O., Coskun, Y. (2018): Evaluation of dry matter accumulation in triticale by different sigmoidal growth models in west Anatolia of Turkey. *Genetika*, 50(2), 561–574.

132. Hull, D. O., Bajrami, B., Jansson, I., Schenkman, J. B., Rusling, J. F. (2008): Characterizing metabolic inhibition using electrochemical enzyme/dna biosensors. *Analytical Chemistry*, 81(2), 716-724.

133. Hunt, R. (1982): Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold.

134. Hufford, M., B., Xu, X., Heerwaarden, J., Pyhäjärvi, T., Chia, J. M., Cartwright, R., A., Ross-Ibarra, J. (2012): Comparative population genomics of maize domestication and improvement. *Nature Genetics*, 44(7), 808-811.

135. Calderini, D., F., Abeledo, L., G., Slafer, G., A. (2000): Physiological maturity in wheat based on kernel water and dry matter. *Agronomy Journal*, 92(5), pp.895-901.

136. Цвијановић, Г., Удварди, И., Степић, В., Ђурић, Н., Цвијановић, В., Ђукић, В., Дозет, Г. (2018): Маса 1000 зрна и висина приноса кукуруза гајеног у конвенционалној и органској производњи. *Зборник научних радова Института ПКБ Агроекономик*, 24(1-2), пп.123-129.

137. Celestina, C., Bloomfield, M., T., Stefanova, K., Hunt, J., R. (2021): Use of spike moisture content to define physiological maturity and quantify progress through grain development in wheat and barley. *Crop and Pasture Science*, 72(2), pp. 95-104.

138. Copeland, L., O. M., B., McDonald (2001): Seed Formation and Development. In: Principles of Seed Science and Technology, ed. *Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA*, 17-38.

139. Cornell, J., A., Berger, R., D. (1987): Factors that influence the value of the coefficient of determination in simple linear and nonlinear regression models. *Phytopathology*, 77(1), pp.63-70.

140. Cortese, A., Amano, K., Koizumi, A., Lau, H., Kawato, M. (2017): Decoded fmri neurofeedback can induce bidirectional confidence changes within single participants. *NeuroImage*, 149, 323-337.

141. Chai, Z.W., Wang, K.R., Guo, Y.Q., Xie, R.Z., Li, L.L., Ming, B., Hou, P., Liu, C.W., Chu, Z., D., Zhang, W., X., Zhang, G., Q., Liu, G., Z., Li, S., K. (2017): Current status of maize mechanical grain harvesting and its relationship with grain moisture content. *Sci. Agric. Sin*. 50 (11), 2036–2043.

142. Challinor, A., J., Muller, C., Asseng, S., Deva, C., Nicklin, K., J., Wallach, D., Vanuytrecht, E., Whitfield, S., Villegas, J. R., Koehler, A. (2018): Improving the use of crop models for risk assessment and climate change adaptation. *Agricultural Systems*, 159, 296–306.

143. Chen, Q., Huang, R., Xu, Z., Zhang, Y., Li, L., Fu, J., Gu, R. (2020): Label-free comparative proteomic analysis combined with laser-capture microdissection suggests important roles of stress responses in the black layer of maize kernels. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1369.

144. Šarčević-Todosijević, Ljubica, Živanović, Lj., Janjić, S., Popović, Vera, Ikanović, Jela, Popović, S., Dražić, Gordana (2016): The influence of nitrogen fertilizer on the total number of microorganisms and aminoautotroph dynamics under ''Ugar'' and sown maize. *Agriculture and Forestry*, Podgorica. 62 (3): 185-196.

145. Wang, J., Y. (1960): A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* 41, 785-790.

146. Wang, K., R., Li, S., K. (2017a): Progresses in research on grain broken rate by mechanical grain harvesting. *Sci. Agric. Sin.* 50 (11), 2027–2035.

147. Wang, Y., Jin, M., Vallebueno-Estrada, M., Calfee, E., Chen, L., Dilkes, B., P., Ross-Ibarra, J. (2023): Two teosintes made modern maize. *Science*, 382(6674), p. eadg 8940.

148. Yang, J., Li, Y., Cao, H., Yao, H., Han, W., Sun, S. (2019): Yield-maturity relationships of summer maize from 2003 to 2017 in the huanghuaihai plain of china. *Scientific Reports*, 9(1).

149. Yang, H., Gu, X., T., Ding, M., Q., Lu, W., P., Lu, D., L. (2020): Weakened carbon and nitrogen metabolisms under post-silking heat stress reduce the yield and dry matter accumulation in waxy maize. *Journal of Integrative Agriculture*, 19, 78–88.

150. Yin, X., Goudriaan, J., Lantinga, E.A., Vos, J., Spiertz, H.J., 2003. A flexible sigmoid function of determinate growth. *Ann. Bot.* 91, 361–371.

151. Yin, S., Li, P., Xu, Y., Xue, L., Hao, D., Liu, J., Yang, T., Yang, Z., Xu, C. (2018): Logistic model-based genetic analysis for kernel filling in a maize RIL population. *Euphytica*, 214, pp.1-16.

152. Yin, S., Li, P., Xu, Y., Liu, J., Yang, T., Wei, J., Xu, S., Yu, J., Fang, H., Xue, L., Hao, D. (2020): Genetic and genomic analysis of the seed-filling process in maize based on a logistic model. *Heredity*, 124(1), pp.122-134.

153. Zhou, B., Yue, Y., Sun, X., Ding, Z., Ma, W., Zhao, M. (2017): Maize kernel weight responses to sowing date-associated variation in weather conditions. *The Crop Journal*, 5(1), 43–51.

Биографија

Маја Танасковић (девојачко Шумаруна) рођена је 10. августа 1995. године у Новом Саду. Основну школу „Коста Трифковић“ и Гимназију „Исидора Секулић“ завршила је у Новом Саду. Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду, смер ратарство и повртарство, уписала је 2014. године. Током основних студија летњи семестар академске 2016/17. године провела је у Аустрији, на BOKU Универзитету у Бечу, у оквиру CEEPUS програма студентске мобилности. Након завршених основних студија уписала је мастер академске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Новом Саду, смер Генетика, оплемењивање биљака и семенарство. Мастер рад под насловом „Агроморфолошка карактеризација и варијабилност генотипова пшенице“ одбранила је 2021. године.

Од 2020. године запослена је у Институту за ратарство и повртарство у Новом Саду – најпре као сарадник, а од 2021. године као истраживач-приправник на пословима оплемењивања у Одељењу за кукуруз. Школске 2021/22. године уписала је докторске академске студије, смер Агрономија, на Пољопривредном факултету Универзитета у Новом Саду. У међувремену је изабрана у звање истраживач-сарадник и активно је укључена у истраживачки рад Института. Аутор је и коаутор 16 научних радова и сажетака у домаћим и међународним часописима и зборницима. Члан је „Центра изузетних вредности за иновације у оплемењивању биљака толерантних на промене климе – Climate Crops“ при Институту за ратарство и повртарство, институту од националног значаја за Републику Србију.

Поред научног рада, Маја је завршила курсеве информационих технологија из области Јава програмирања и интересује је рад у дигиталном маркетингу. Заједно са мајком води породични бизнис природне козметике „*ShSpecialties*“. Течно говори енглески језик и служи се немачким језиком.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Примена модела за предвиђање динамике накупљања суве материје и садржаја влаге у зрну кукуруза
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Пољопривредни факултет, Нови Сад **б) Институт за ратарство и повртарство, Институт од националногзначаја за Републику Србију Нови Сад**
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Докторске студије, смер Агрономија
1. Опис података

1.1 Врста студије

Експериментална студија; докторска дисертација.

1.2 Врсте података
а) квантитативни
б) квалитативни

1.3. Начин прикупљања података
а) анкете, упитници, тестови
б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи
в) генотипови: навести врсту: кукуруз
г) административни подаци: навести врсту _____
д) узорци ткива: навести врсту_____
ђ) снимци, фотографије: навести врсту_____
е) текст, навести врсту _____
ж) мапа, навести врсту _____
з) остало: **Метод истраживања је обухватио извођење експерименталних јединица према плану огледа; прикупљање и анализу података; обликовање докторске тезе око добијених резултата**

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

a) Excel фајл, датотека .xlsx

b) PDF фајл, датотека .pdf

c) Текст фајл, датотека .docx

d) JPG фајл, датотека .jpg

e) JMP Pro фајл датотека .csv

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

а) број варијабли:велики број варијабли у зависности од експеримента који се врши
б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.): велики број мерења
1.3.3. Поновљена мерења
а) **да**
б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

а)временски размак између поновљених мера је: годину дана

б)варијабле које се више пута мере односе се на пољска и лабораторијска мерења

в)нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _нису именоване нове верзије фајлова

Напомене:
У раду су при анализама коришћене средње вредности поновљених мерења. Из тог разлога нису посебно именована поновљена мерења.

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?
а) ***Да***
б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент на отвореном пољу (in vivo), вишефакторијални експеримент

б) корелационо истраживање, навести тип: Пирсонова корелациона анализа између испитиваних варијабли по хибридима и по годинама истраживања

ц) анализа текста, навести тип: преглед стручне литературе у циљу дефинисања циља и методологије истраживања, поређења добијених података са литературним подацима и извођења закључака

д) остало, навести шта ____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

_____

_____

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? _____

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да**Не**

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Квалитет података је контролисан применом јединственог протокола узорковања, поновљеним мерењима, као и применом одговарајућих статистичких метода и софтвера (JMP PRO 17) за обраду и проверу података.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Контрола уноса података је спроведена вишеструким личним проверавањем, независном проверавама од стране чланова комисије. Подаци су бележени ручно током теренских и лабораторијских мерења, а затим уношени у Excel табеле (Excel 2016). Унос је праћен редовним упоређивањем са оригиналним записима и применом Excel алата за откривање одступајућих вредности и потенцијалних грешака. Посебна пажња посвећена је уочавању екстремних вредности које одступају од очекиваног биолошког опсега, као и усклађености са логиком експеримента. Поновљивост мерења и доследност у протоколима узорковања допринели су поузданости унетих података.

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. ***Подаци ће бити депоновани*** **у НаРДУС-у, заједничком порталу свих докторских дисертација и извештаја комисија о њиховој оцени, на универзитетима у Србији и у репозиторијуму докторских дисертација у Новом Саду (КРИС)** ***репозиторијум.***

3.1.2. URL адреса https://open.uns.ac.rs/

3.1.3. DOI

_____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) ***Да***
б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____

в) Не
Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.
Образложење
Подаци ће бити депоновани у НаРДУС-у, заједничком порталу свих докторских дисертација и извештаја комисија о њиховој оцени, на универзитетима у Србији и у репозиторијуму докторских дисертација у Новом Саду (КРИС).

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да **Не**
Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**
Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

а) Подаци нису у отвореном приступу
б) Подаци су анонимизирани
ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити
а) ***јавно доступни***
б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области
ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.2. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

Ауторство-некомерцијално-без прераде

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Маја Танасковић, majasumaruna@gmail.com

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Маја Танасковић, majasumaruna@gmail.com

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другимистраживачима

Маја Танасковић, majasumaruna@gmail.com