



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**

Департман за ратарство и повртарство



Крстина Алексић

дипл. инж. пољопривреде

**АГРОНОМСКЕ, ФИЗИОЛОШКЕ И ТЕХНОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ
СОРТИ ПШЕНИЦЕ РАЗЛИЧИТЕ ДУЖИНЕ ВЕГЕТАЦИЈЕ**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2025.



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**

Департман за ратарство и повртарство



Кандидат:

Дипл. инж. Кристина Алексић

Ментор:

Проф. др Горан Јаћимовић

**АГРОНОМСКЕ, ФИЗИОЛОШКЕ И ТЕХНОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ
СОРТИ ПШЕНИЦЕ РАЗЛИЧИТЕ ДУЖИНЕ ВЕГЕТАЦИЈЕ**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2025.

КОМИСИЈА ЗА ОДБРАНУ МАСТЕР РАДА

др Горан Јаћимовић, редовни професор - ментор

Ужа научна област: Ратарство и повртарство
Пољопривредни факултет Нови Сад

др Срђан Шеремешкић, редовни професор - председник

Ужа научна област: Ратарство и повртарство
Пољопривредни факултет Нови Сад

др Милан Миросављевић, виши научни сарадник - члан

Ужа научна област: Биотехничке науке
Институт за ратарство и повртарство Нови Сад

Захвалница

Највећу захвалност дугујем свом ментору, проф. др Горану Јаћимовићу за помоћ, савете и стрпљење током трајања мастер студија и процеса израде мастер рада.

Са великим поштовањем захваљујем се проф. др Срђану Шеремешићу за значајне смернице у завршној фази израде мастер рада.

Неизмерну захвалност за несебичну подршку и уложено време дугујем др Милану Миросављевићу, вишем научном сараднику Института за ратарство и повртарство у Новом Саду, који је уз ментора био идејни творац овог истраживања.

Захваљујем се Институту за ратарство и повртарство и Одељењу за стрна жита који су омогућили ово истраживање.

Посебну захвалност дугујем својој породици, пријатељима и колегама на подршци и разумевању.

Крстина Алексић

Мастер рад је настао као део INTERREG пројекта New Emerging Technologies For Digitalized INnovative Agricultural Research NET4DINAR HR-RS00038 кофинансираном од стране Европске Уније у оквиру програма Interreg (VI-A) IPA Croatia-Serbia.

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1. ФОРМИРАЊЕ ПРИНОСА ПШЕНИЦЕ	2
1.2. ФЕНОЛОШКИ РАЗВОЈ ПШЕНИЦЕ И ДУЖИНА ВЕГЕТАЦИЈЕ	4
1.3. ФИЗИОЛОШКИ ПОКАЗАТЕЉИ СТАЊА И РАЗВОЈА ПШЕНИЦЕ	5
1.3.1. NDVI индекс	5
1.3.2. Индекс лисне површине.....	6
1.3.3. Покривеност усеvom.....	7
2. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА.....	8
3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА.....	9
3.1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О ОГЛЕДУ	9
3.1.1. План огледа	9
3.1.2. Дизајн огледа и примењена агротехника	9
3.2. МЕТЕОРОЛОШКИ УСЛОВИ ЛОКАЛИТЕТА.....	11
3.3. АНАЛИЗА БИЉНОГ МАТЕРИЈАЛА	12
3.4. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА ПОДАТАКА.....	14
4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА СА ДИСКУСИЈОМ.....	15
4.1. АНАЛИЗА ВАРИЈАНСЕ	15
4.2. АГРОНОМСКЕ ОСОБИНЕ	17
4.2.1. Принос зрна.....	17
4.2.2. Датум класања	18
4.2.3. Маса 1000 зрна.....	19
4.2.4. Број зрна по јединици површине	20
4.2.5. Број класова по m ²	22
4.2.6. Број зрна по класу.....	23
4.2.7. Висина стабла	24
4.2.8. Дужина класа	25
4.3. ФИЗИОЛОШКЕ ОСОБИНЕ.....	26
4.3.1. Индекс зелене покривности и покривност усеvom.....	26
4.3.2. Индекс лисне површине.....	28
4.3.3. NDVI индекс	29
4.4. ОСОБИНЕ ТЕХНОЛОШКОГ КВАЛИТЕТА	30
4.4.1. Хектолитарска маса.....	30
4.4.2. Садржај протеина	32
4.5. ВЕЗА ИЗМЕЂУ ПРОУЧАВАНИХ ОСОБИНА	33
4.5.1. Корелациона анализа.....	33
4.5.2. PCA анализа	35
5. ЗАКЉУЧАК.....	37
6. ЛИТЕРАТУРА	40

АГРОНОМСКЕ, ФИЗИОЛОШКЕ И ТЕХНОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ СОРТИ ПШЕНИЦЕ РАЗЛИЧИТЕ ДУЖИНЕ ВЕГЕТАЦИЈЕ

РЕЗИМЕ

Унапређење гајења пшенице у различитим агроеколошким условима представља кључни предуслов за стабилност и одрживост пољопривредне производње. Циљ овог истраживања био је да се утврди утицај сорте и групе зрења на принос, као и на основне агрономске и физиолошке особине, и особине технолошког квалитета пшенице. Оглед је обухватао шест сорти пшенице које припадају различитим групама зрења (ране, средње ране и касне), гајених у једној вегетационој сезони. Анализа варијансе показала је да дужина вегетације имала статистички значајан утицај на већину проучаваних особина, укључујући принос, висину стабла, датум класања, број класова, NDVI индекс и зелену покривност, док није утврђен значајан ефекат на садржај протеина, масу хиљаду зрна, индекс лисне површине и број зрна по класу. Са друге стране, сорте су показале високо значајан утицај на све анализиране параметре, што указује на изражену генетичку варијабилност унутар проучаваних сорти. Разлике између сорти према овом истраживању представљају комбинацију различитих агрономских особина и физиолошких механизма адаптације и продуктивности. Добијени резултати потврђују да комбинација сорте и оптималне дужине вегетације представља основ за постизање стабилних и високих приноса, као и за унапређење селекције и производње пшенице у условима климатских промена.

Кључне речи: пшеница, групе зрења, сорта, принос, варијабилност

AGRONOMIC, PHYSIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL QUALITY TRAITS OF WHEAT CULTIVARS DIFFERING IN GROWING SEASON LENGTH

SUMMARY

Improvement of wheat cultivation under different agroecological conditions represents a key prerequisite for the stability and sustainability of agricultural production. The aim of this research was to determine the influence of variety and maturity group on yield, as well as on basic agronomic, physiological, and technological quality traits of wheat. The experiment included six wheat varieties belonging to different maturity groups (early, medium-early, and late), grown during a single growing season. The analysis of variance showed that the length of the growing period had a statistically significant effect on most of the studied traits, including yield, plant height, heading date, number of spikes, NDVI, and green cover, while no significant effect was observed for protein content, thousand grain weight, leaf area index, and number of grains per spike. On the other hand, the varieties showed a highly significant influence on all analyzed parameters, indicating pronounced genetic variability among the studied varieties. The differences between varieties observed in this study represent a combination of distinct agronomic traits and physiological mechanisms of adaptation and productivity. The obtained results confirm that the combination of an appropriate variety and optimal growing period length forms the basis for achieving stable and high yields, as well as for improving wheat breeding and production under changing climatic conditions.

Keywords: wheat, maturity groups, cultivar, yield, variability

1. УВОД

Пшеница (*Triticum* sp.) представља један од најзначајнијих усева у свету и основну житарицу која је вековима обликовала људску цивилизацију. Према археоботаничким налазима, пшеница је доместификована пре око 8.000 до 10.000 година у региону познатом као „Плодни полумесец“, који обухвата подручја данашњег Либана, Сирије, Јордана, Израела и Ирака. Управо из тог дела света започело је њено ширење, што је резултовало развојем великог броја различитих врста и подврста у оквиру рода *Triticum* (De Oliveira *et al.*, 2020).

Данас су у пољопривредној производњи доминантне две врсте: хлебна или обична пшеница (*T. aestivum* L.) и тврда пшеница (*T. durum* L.). Обе су самооплодне биљке, али се разликују у генетском саставу и употреби. Тврда пшеница је тетраплоидна врста ($2n = 4x = 28$, AABB), док је хлебна хексаплоидна ($2n = 6x = 42$, AABBDD), што јој омогућава већу адаптабилност и ширу распрострањеност. Хлебна пшеница је данас најзаступљенија житарица на свету по површини гајења, а друга по укупној производњи зрна, одмах иза кукуруза (FAOSTAT, 2025).

Широка распрострањеност пшенице је резултат способности да се прилагођавања различитим климатским и едафским условима. Ово је омогућило њено гајење у изузетно разноврсним агроеколошким зонама, од влажних умерених региона до сушних подручја полу-пустињског карактера. Најчешће се гаји у појасу између 30° и 60° северне географске ширине и 27° и 40° јужне ширине, али уз примену савремених агротехничких мера и нових сорти се производи и изван ових граница (Foley *et al.*, 2020).

Према подацима FAOSTAT-а (2025), укупна светска производња пшенице у 2023. години износила је 799 милиона тона, са просечним приносом од 3,69 t ha⁻¹, на површини од око 220 милиона хектара. Историјски посматрано, у последњих седам деценија дошло је до значајног повећања приноса, који је порастао са просечно 1,0 на више од 3,6 t ha⁻¹. Овај пораст није био случајан, већ резултат систематског рада на стварању високоприносних сорти, као и примене савремених агротехничких мера,

попут механизације и минералне исхране биљака. Управо су ове промене, познате као „Зелена револуција“, поставиле темеље савремене производње житарица и омогућиле стабилнију прехранбену безбедност у многим земљама света. Према томе, развој нових, продуктивнијих сорти, отпорних на стрес и са стабилним приносом представља један од приоритета савремене науке и пољопривредне праксе (Halford, 2006).

Пшеница има разноврсну употребу у прехранбеној индустрији и свакодневном животу. Брашно пшенице представља основну сировину у производњи хлеба, тестенина, пецива, колача и других производа. Поред тога, пшеница се користи и у индустрији скроба, глутена, биоразградивих материјала и етанола. Због своје нутритивне вредности, пшеница се сматра једним од најважнијих извора енергије за у људској исхрани, доприносећи са око 19% укупног дневног уноса калорија (D’Odorico *et al.*, 2014). Истовремено, она представља и изузетан извор биљних протеина, пошто око 21% дневне потрошње протеина у људској исхрани потиче управо од пшенице (Braun *et al.*, 2010).

Као једна од најважнијих тржишних роба, пшеница заузима водеће место у међународној трговини житарицама. Приближно петина светске производње пшенице улази у токове глобалне трговине, што указује на њену кључну улогу у обезбеђивању прехранбене сигурности и стабилности тржишта хране. Главни извозници пшенице су Русија, Украјина, Европска унија, Канада, Аустралија и Сједињене Америчке Државе, док су највећи увозници Египат, Индонезија, Турска, Кина и Нигерија. Услед тога, чак и мање промене у производњи или ценама могу имати значајне последице на доступност хране у појединим регионима (Mitchell & Mielke, 2005).

1.1. ФОРМИРАЊЕ ПРИНОСА ПШЕНИЦЕ

Формирање приноса пшенице представља сложен процес који укључује интеракцију више особина биљке, услова средине и агротехничких мера (Miroslavljević *et al.*, 2025). Принос зрна пшенице може да се представи као резултат две основне компоненте: броја зрна по јединици површине и масе зрна. Пораст једне од ове две компоненте би требало истовремено да доведе до раста приноса, али резултати су показали да постоји изражен компензациони однос између броја зрна и њихове масе. Повећање броја зрна често има за последицу смањење масе зрна, што може умањити укупан принос ако смањење масе зрна надмаши корист од повећаног броја зрна (Sadras & Slafer, 2012). Овај компензациони ефекат се може објаснити ограниченом способношћу биљака да

обезбеде довољно асимилата током фазе наливања зрна или различитим положајем зрна у класу, при чему зрна на врху и на периферним деловима класића имају мањи потенцијал за масу зрна (Acreche & Slafer, 2009). Важност броја зрна по јединици површине и масе зрна у одређивању приноса се често разликује. Број зрна по јединици површине има много већу везу са приносом од просечне масе зрна, јер је број зрна пластична особина и подложна утицају генотипа и услова гајења, док је маса зрна релативно стабилна особина (Miroslavljević *et al.*, 2025). Истраживања историјског напретка у оплемењивању стрних жита показала су да је повећање броја зрна по јединици површине било кључно за раст приноса, док су промене у маси зрна биле мање изражене (Miroslavljević *et al.*, 2024). Према томе, за даљи раст приноса потребно је фокусирати се на повећању броја зрна по јединици површине. Број зрна по јединици површине је такође сложена особина која зависи од више нумеричких компоненти: броја класова по јединици површине и броја зрна по класу, које се налазе под утицајем бројних спољних фактора као што су ђубрење, водни режим и температура у кључним фазама развоја (Gaju *et al.*, 2011).

Поред тога, висина биљака представља једну од најзначајнијих агрономских особина пшенице. Оптимална висина сорти пшенице у многим европским земљама износи између 80 и 90 cm (Semenov *et al.*, 2014). Скраћивање стабљике има позитиван утицај на принос пшенице, јер је у блиској вези са повећањем броја зрна по класу и бољом отпорношћу на полегање (Mladenov *et al.*, 2011). Међутим, превише ниске биљке често имају ограничену способност формирања лисне површине и продукције асимилата, што може довести до мањег приноса зрна.

Изузетно важну фенолошку особину представља датум класања јер у великој мери утиче на формирање приноса стрних жита. У условима умерене климе, као што је Панонска низија, класање и цветање треба да наступе у уском временском периоду између касних пролећних мразева и појаве високих температура и суше током наливања зрна (Trnka *et al.*, 2015).

Садржај протеина и хектолитарска маса не само да представљају важне показатеље технолошког квалитета пшенице, већ имају и значајну улогу његовој процени. Садржај протеина директно је повезан са способношћу теста да задржи гасове током ферментације, што одређује хлебна својства сорти пшенице. Виши садржај протеина је често у негативној корелацији са приносом, јер биљке које формирају већи принос обично имају мању концентрацију азота у зрну. Са друге стране, хектолитарска маса

је мера испуњености и тежине зрна, и указује на добро развијено и пуно зрно (Yilmaz *et al.*, 2024). Ови параметри представљају важан елемент у одабиру сорти пшенице и прилагођавању технологије производње, јер истовремено повезују продуктивност и квалитет.

1.2. ФЕНОЛОШКИ РАЗВОЈ ПШЕНИЦЕ И ДУЖИНА ВЕГЕТАЦИЈЕ

Фенолошки развој пшенице представља низ физиолошких и морфолошких промена кроз које биљка пролази од ницања до зрелости. Он је резултат сложене интеракције између генетичких фактора, услова средине и агротехничких мера које се примењују током производње. Разумевање фенолошког развоја има кључан значај за утврђивање адаптабилности сорти, правилно планирање сетве и жетве, и за унапређење приноса у различитим производним условима (Slafer & Rawson, 1994). Као и друга стрна жита, пшеница током вегетације пролази кроз више међусобно повезаних фаза, које се најчешће дефинишу према ВВСН скали (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry). Главне фазе укључују: клијање и ницање, бокорење, влатање, класање, цветање и оплодњу, формирање и наливање зрна и сазревање. Свака од ових фаза има специфичне захтеве у погледу температуре, влаге и фотопериода, а дужина трајања појединих фаза одређује укупну дужину вегетације (Zadoks *et al.*, 1974).

На трајање вегетационог периода и фенолошких фаза пшенице утичу различити фактори. Пре свега неопходно је истаћи саму генетичку основу сорте, односно присуство гена који контролишу осетљивост на фотопериод и захтеве за јаровизацијом (Boerner *et al.*, 1996). Озиме сорте имају изражену потребу за периодом ниских температура да би успешно прошле фазу јаровизације, док су јаре сорте прилагођене краћем вегетационом периоду. Управо ова разлика објашњава зашто сорте озиме пшенице имају дужу вегетацију и виши потенцијал приноса, пошто дуже трајање фотосинтетичке активности омогућава већу акумулацију асимилата (Slafer *et al.*, 2014).

Други важан фактор је температура, која делује као покретач развојних процеса. Свака фаза развоја пшенице захтева одређени број ефективних температура (суму температурних степени изнад базне вредности - биолошког минимума), те стога повећање средњих дневних температура убрзава прелазак из једне фазе у другу. Са друге стране, ниске температуре могу продужити вегетацију и одложити појаву класања и сазревања (Asseng *et al.*, 2011).

Дужина дана (фотопериод) такође има велики утицај на фенолошки развој, посебно код сорти које показују фотопериодску осетљивост. Дужи дан у пролећним месецима стимулише класање и убрзава репродуктивни развој, док кратак дан одлаже прелазак у наредне (генеративне) фазе. Због тога, сорте које се разликују у фотопериодској реакцији показују различиту дужину вегетације у зависности од географске ширине и времена сетве (Evans, 1987).

Поред наведеног, на дужину вегетације могу утицати и влажност земљишта, исхрана биљака, као и агротехничке мере, попут датума сетве и густине усева. Ранија сетва обично омогућава дужу вегетацију и боље искоришћавање зимских и пролећних услова, док каснија сетва скраћује вегетациони период и често смањује принос (Hunt *et al.*, 2019).

Дужина вегетације утиче и на квалитет зрна, посебно на садржај протеина и глутена. Скраћена вегетација и високе температуре у фази наливања зрна често доводе до повећаног садржаја протеина, али смањене масе зрна, док умерене температуре омогућавају равномерно наливање зрна и већу хектолитарску масу. Ово указује на сложен однос између дужине вегетације, приноса и квалитета (Gooding *et al.*, 2003).

1.3. ФИЗИОЛОШКИ ПОКАЗАТЕЉИ СТАЊА И РАЗВОЈА ПШЕНИЦЕ

Праћење физиолошких показатеља раста и развоја пшенице има кључну улогу у процени њеног производног потенцијала и адаптивних способности у различитим агроеколошким условима. Међу најважнијим показатељима који описују ефикасност фотосинтетичког апарата и способност биљке да формира принос издвајају се NDVI (енгл. *Normalized Difference Vegetation Index*), индекс лисне површине (енгл. *Leaf Area Index* – LAI) и Покривеност усевам (Araus *et al.*, 2018; Aparicio *et al.*, 2000). Ови параметри су међусобно повезани и заједно дају целокупну слику о стању усева током вегетације, степену развијености лисне масе и њеном доприносу у акумулацији суве материје и формирању приноса.

1.3.1. NDVI индекс

NDVI је један од најчешће коришћених вегетационих индекса за процену стања усева. Он се израчунава на основу рефлектованог електромагнетног зрачења у црвеном (R) и блиском инфрацрвеном (NIR) делу спектра, према формули:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R).$$

Зелена фотосинтетски активна вегетација апсорбује црвено зрачење, док истовремено рефлектује велике количине инфрацрвеног зрачења. Високе вредности NDVI указују на бујан и здрав усеј, док ниске вредности сигнализирају стрес биљака, општећења или редак склоп (Moshou *et al.*, 2004).

Код пшенице, NDVI се показао као веома поуздан показатељ фотосинтетичке активности, садржаја хлорофила и укупне биомасе (Babar *et al.*, 2006). Он се користи за праћење динамике раста током вегетације, идентификацију разлика између сорти и процену потенцијалног приноса. Посебно је значајан у фазама формирања листа заставичара и класања, када је фотосинтетичка ефикасност биљке на највишем нивоу. NDVI се данас рутински мери помоћу сензора постављених на дроновима, сателитима или ручним уређајима, што омогућава прецизно праћење развоја усева без деструктивних метода (Bendig *et al.*, 2015).

1.3.2. Индекс лисне површине

Индекс лисне површине (LAI - *Leaf Area Index*) представља однос укупне површине листова и површине земљишта коју они прекривају (m^2 листа / m^2 земљишта) (Rojo *et al.*, 2003). Овај параметар је један од основних показатеља физиолошког потенцијала биљке, јер указује на количину лисне масе која учествује у фотосинтези и транспирацији (Reynolds *et al.*, 2012). Код пшенице, оптималне вредности LAI обично се крећу између 4 и 6 у фази пуне вегетације, што омогућава максимално искоришћење сунчеве енергије и ефикасну акумулацију органске материје.

Динамика LAI током вегетације одражава ток раста и развоја биљака. У раним фазама LAI је низак због мале лисне масе, док у фази бокорења и класања достиже максимум (Reynolds *et al.*, 2012). Након цветања, долази до постепеног опадања LAI услед старења и сушења листова (Araus *et al.*, 2018). Висок LAI је често повезан са високим приносом, али само до одређене границе, јер пребујан раст може довести до засенчења доњих листова и смањене ефикасности фотосинтезе (Aparicio *et al.*, 2000).

Мерење LAI може се обавити директним методама (морфометријским мерењима површине листова) или индиректним, помоћу оптичких сензора и модела који процењују лисну масу на основу рефлектованог зрачења (Hatfield *et al.*, 2008). LAI се користи и у моделима раста биљака, где служи као улазни параметар за процену фотосинтетичке продукције и биланса воде (Reynolds *et al.*, 2012).

1.3.3. Покривеност усевам

Покривеност (покривност) усевам (енгл. *Canopy Cover* или *Ground Cover*) означава проценат површине земљишта који је прекривен надземним деловима биљака, пре свега листовима (Хуе *et al.*, 2004). Овај показатељ се користи за процену способности биљке да брзо затвори редове, чиме се смањује испаравање воде из земљишта, ограничава раст корова и побољшава микроклима у усеву (Reynolds *et al.*, 2012). Покривност је директно повезана са LAI и NDVI, јер већа лисна површина и већи интензитет рефлексије у инфрацрвеном делу спектра резултују у већој покривности (Araus *et al.*, 2018).

Код пшенице, покривеност усевам је важна у раним фазама развоја, јер указује на брзину ницања и формирање стабилног склопа (Reynolds *et al.*, 2012). Сортне разлике у покривности често су резултат различите брзине пораста, хабитуса биљке и распореда листова. Већа покривност обично доприноси бољем коришћењу светлости и влаге, што се одражава и на већи потенцијал приноса (Moshou *et al.*, 2004). Покривност се данас мери помоћу дигиталне анализе слика, NDVI сензора или теренским проценама (Bendig *et al.*, 2015). Комбинација података о покривности и NDVI вредности омогућава брзу и прецизну процену стања - кондиције усева, посебно у стресним условима изазваним сушом или високим температурама (Babar *et al.*, 2006).

2. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА

С обзиром на комплексност и међусобну повезаност агрономских, физиолошких и технолошких особина пшенице, као и њихову изражену варијабилност под утицајем услова спољашње средине и примењених агротехничких мера, потреба за интегралним приступом у њиховом проучавању постаје све значајнија. Детаљно познавање односа између ових параметара има велики значај за унапређење пољопривредне производње, јер омогућава боље разумевање начина на који поједине особине доприносе формирању приноса и квалитета зрна. Такође, ове информације представљају основу за прецизније планирање и оптимизацију агротехничких поступака у циљу постизања високих и стабилних приноса, као и побољшања квалитета производње у различитим агроеколошким условима.

Посебан значај у овом контексту има проучавање реакције сорти различите дужине вегетације (раностасних, средње раних и касних) на променљиве климатске услове и агротехничке факторе. Ове групе се разликују по начину на који користе доступне ресурсе током вегетационог периода, што директно утиче на њихову продуктивност и адаптабилност.

Основни циљ овог истраживања је да се утврде разлике у приносу, агрономским, физиолошким и технолошким особинама између шест сорти пшенице које припадају различитим групама зрења, као и да се испитају међусобни односи ових параметара. Анализа ових односа омогућиће идентификовање кључних особина које утичу на формирање приноса и квалитет зрна.

Добијени резултати допринеће бољем дефинисању прецизнијих препорука за избор сорти и прилагођавање агротехничких мера специфичним условима производње. На тај начин, резултати истраживања могу послужити као научна и практична основа за унапређење производње пшенице у агроеколошким условима Војводине и шире.

3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

3.1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О ОГЛЕДУ

3.1.1. План огледа

Оглед са шест сорти пшенице различите дужине вегетације (пореклом из Института за ратарство и повртарство, Нови Сад) изведен је по случајном блок систему (рандомизирани блок дизајн) у три понављања, на локалитету Римски Шанчеви. Земљиште на којем је оглед изведен је типа карбонатни чернозем, са 2,8% хумуса у ораничном слоју. У огледу је заступљен тропољни плодоред (кукуруз – соја – пшеница). Основна обрада земљишта обављена је орањем, након чега је изведен по један проход мултитилером и сетвоспремачем.

У огледу су анализиране главне агрономске особине (висина биљке, дужина класа, датум класања, маса зрна, број зрна по јединици површине, број класова по јединици површине и број зрна по класу), као и параметри технолошког квалитета (садржај протеина и хектолитарска маса). Поред тога, праћене су и физиолошке особине – нормализовани вегетациони индекс (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*), индекс лисне површине (LAI – *Leaf Area Index*) и покривност, односно покривеност земљишта усевом.

3.1.2. Дизајн огледа и примењена агротехника

Као материјал за испитивање варијабилности приноса и морфолошких особина пшенице у различитим производним условима, коришћено је шест сорти пшенице Института за ратарство и повртарство у Новом Саду (Табела 1). Ове сорте су изабране на основу дужине трајања вегетације и добрих производних резултата у претходним годинама.

Табела 1: Назив сорти, дужина трајања вегетације и година признавања

Сорта	Трајање вегетације	Година признавања
Симонида	Рана	2003
НС Аријана	Рана	2022
НС Епоха	Средње рана	2016
НС Рајна	Средње рана	2018
НС 40С	Касна	2006
НС Озрена	Касна	2022

Оглед је био заснован током вегетационе сезоне 2023/24. године, на локалитету Нови Сад, Римски Шанчеви (Слика 1). Сорте су гајене у потпуно рандомизираним блоку систему, у три понављања.

**Слика 1:** Сетва огледа 25.10.2023. године (Фото: Ф. Франета; 2023.)

Сетва је обављена у оптималном року за озиму пшеницу, користећи специјалну сејалицу за огледе. Размак између редова износио је 10 cm, а сетвена норма 500

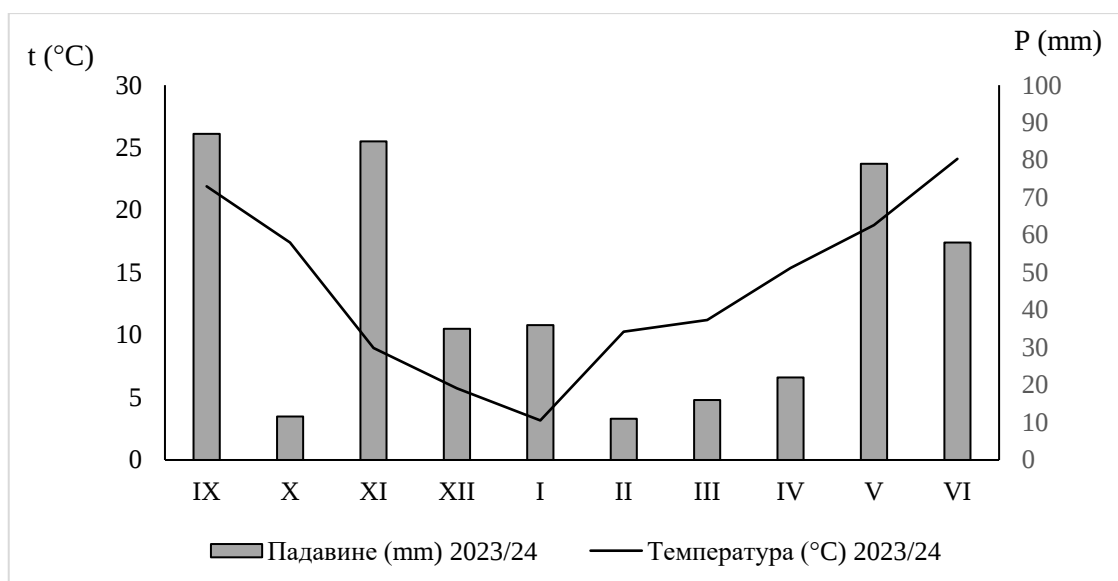
клијавих зрна по квадратном метру за сваку сорту. Величина основне парцелице износила је 5 m². Током вегетације су примењене све препоручене агротехничке мере: прихрана, заштита од корова, болести и штеточина, као и мере за спречавање полегања усева (Слика 2).



Слика 2: Изглед огледа током вегетације (Фото: М. Миросављевић; 2024.)

3.2. МЕТЕОРОЛОШКИ УСЛОВИ ЛОКАЛИТЕТА

Током вегетационог периода 2023/24. године, на локалитету Римски Шанчеви забележене су значајне варијације у количини падавина и температурним условима, који су утицали на раст и развој пшенице (Графикон 1). У септембру је забележено 87 mm падавина и просечна температура од 21,9 °C, што је обезбедило веома повољне услове за предсетвену припрему и рану сетву пшенице. Међутим, октобар је био изразито сушан, са свега 11,6 mm падавина, што је довело до успоравања ницања и појаве неуједначених склопова. Пораст падавина и умерени температурни услови у новембру резултовали су у уједначавању склопова и наставку вегетације.



Графикон 1: Метеоролошки услови локалитета у периоду од септембра 2023. године до краја вегетације озиме пшенице у 2024. години (локалитет Римски Шанчеви)

Зимски месеци (децембар – фебруар) били су умерено хладни и умерено суви, при чему су се температуре кретале од 3 до 10 °C, а падавине су биле релативно ниске (35 mm у децембру, 36 mm у јануару и само 11 mm у фебруару). Високе температуре у фебруару убрзале су раст и развој вегетације пшенице, и даљи наставак вегетације у пролеће. Са почетком пролећа, у марту и априлу, дошло је до постепеног повећања температура (11,2 °C и 15,4 °C), али уз низак ниво падавина (16 и 22 mm). Међутим, током маја и јуна услови су били повољнији за формирање и наливање зрна. У мају је забележено 79 mm падавина, што је обезбедило оптималну влагу, док је јун са 58 mm падавина и температуром од 24,1 °C утицао на даље наливање зрна и током овог месеца.

3.3. АНАЛИЗА БИЉНОГ МАТЕРИЈАЛА

Као материјал за испитивање агрономских, морфолошких, физиолошких и технолошко-квалитетних карактеристика коришћено је шест сорти пшенице различите дужине вегетације, пореклом из Института за ратарство и повртарство, Нови Сад, које су се у сортним огледима истакле високим и стабилним приносима. Одабране сорте за анализу биле су груписане према времену зрења — две ране, две средње ране и две касне. Међу њима су се налазиле и новопризнате сорте високог потенцијала приноса, које до тада нису биле детаљно испитиване у сличним огледима.

На локалитету Римски Шанчеви праћене су различите агрономске, физиолошке и особине технолошког квалитета зрна пшенице.

Приноси зрна по парцелицама су утврђени након жетве применом специјалних огледних комбајна (Слика 3) и сведени су на стандардни проценат влаге (13%) и прерачунати у килограме по хектару (kg ha^{-1}). Висина стабла и дужина класа измерене су на пет биљака по парцелици, док је датум класања сваке сорте одређен као број дана од 1. јануара до почетка класања (датум када се из лисног рукавца вршног листа појавила око 1/2 дужине класа).

Из комбајнираног узорка са сваке парцелице израчунати су принос и маса хиљаду зрна (g), док је број зрна по јединици површине одређен као количник приноса и масе хиљаду зрна. Узорци зрна сваке сорте затим су коришћени за анализу технолошког квалитета. Садржај протеина (%) и хектолитарска маса (kg hl^{-1}) измерени су помоћу апарата Foss Infratec 1241, што је омогућило поуздану оцену квалитета зрна. На једном дужном метру на парцелици у средњем реду, избројен је број класова и касније прерачунат у број класова по јединици површине. Број зрна по класу је представљен као количник броја зрна по квадратном метру и броја класова.

Физиолошки параметри, као што су индекс лисне површине (LAI), нормализовани вегетациони индекс (NDVI) и покровност, одређени су применом уређаја Literal (Huphen) током половине фазе наливања зрна; односно 25.05.2024. године.



Слика 3: Жетва огледне парцеле (Фото: Ф. Франета; 2024.)

3.4. СТАТИСТИЧКА ОБРАДА ПОДАТАКА

Статистичка обрада прикупљених података обављена је у програмским пакетима Genstat, Infostat и Xlstat. За анализу је примењена стандардна анализа варијансе (ANOVA) ради утврђивања значајности разлика између сорти и група зрења. За тестирање значајности разлика између средина и група сорти примењен је Тукијев (Tukey HSD) тест при нивоу вероватноће $p < 0,05$.

Поред тога, извршена је корелациона анализа и биplot анализа (*Genotype by Trait Biplot*) ради утврђивања односа између приноса и других проучаваних особина, као што су број зрна по јединици површине, маса хиљаду зрна, висина биљке, дужина класа, датум класања, хектолитарска маса и садржај протеина. Дата анализа је омогућила идентификацију особина које највише утичу на принос, као и везу између самих компоненти приноса.

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА СА ДИСКУСИЈОМ

4.1. АНАЛИЗА ВАРИЈАНСЕ

Анализа варијансе показала је да дужина вегетације сорти пшенице има статистички високо значајан или значајан утицај на већину испитиваних квантитативних особина (Табеле 2 и 3). При нивоу значајности $p < 0,01$ утврђен је високо значајан ефекат дужине вегетације на принос зрна, датум класања, број класова, NDVI индекс, и покривеност усевам.

Табела 2: Средине квадрата (MS) и значајност утицаја дужине вегетације на агрономске особине пшенице

Извори варијације	Средина квадрата							
	Принос зрна	Датум класања	Маса 1000 зрна	Бр. зрна m^{-2}	Бр. класова	Бр. зрна по класу	Висина стабла	Дужина класа
Модел	4407772	88,71	7,92	13914592	11742	58,46	108,6	1,42
Дужина вегетације	4407772	88,71	7,92	13914592	11742	58,46	108,6	1,42
Грешка	376940	1,87	7,54	3805738	1815	27,53	32,5	0,28
Ниво значајности	**	**	ns	*	**	ns	*	*

ns (није значајно) - означава да утицај није статистички значајан; * означава статистички значајан утицај на нивоу вероватноће $p < 0,05$; ** означава статистички високо значајан утицај на нивоу вероватноће $p < 0,01$.

На прагу значајности $p < 0,05$ забележен је значајан утицај на број зрна по јединици површине, висину стабла, дужину класа и зелену покривност. С друге стране, дужина вегетације није показала статистички значајне ефекте на масу хиљаду зрна, број зрна по класу, индекс лисне површине, хектолитарску масу и садржај протеина (Табеле 2 и 3).

Табела 3: Средине квадрата (MS) и значајност утицаја дужине вегетације на физиолошке особине и особине технолошког квалитета пшенице

Извори варијације	Средина квадрата					
	Зелена покривност	LAI	NDVI	Покривеност усевам	Хектолитарска маса	Садржај протеина
Модел	225,74	0,31	0,01	36,71	2,39	0,66
Дужина вегетације	225,74	0,31	0,01	36,71	2,39	0,66
Грешка	46,87	0,16	0,01	10,66	3,46	0,55
Ниво значајности	*	ns	**	**	ns	ns

ns (није значајно) - означава да утицај није статистички значајан; * означава статистички значајан утицај на нивоу вероватноће $p < 0,05$; ** означава статистички високо значајан утицај на нивоу вероватноће $p < 0,01$.

Анализа варијансе показала је да је сорта (генотип) имала статистички високо значајан утицај на све испитиване особине пшенице, изузев на хектолитарску масу, где је овај ефекат био значајан (Табеле 4 и 5).

Табела 4: Средине квадрата (MS) и значајност утицаја сорте на агрономске особине пшенице

Извори варијације	Средина квадрата							
	Принос зрна	Датум класања	Маса 1000 зрна	Бр. зрна m^{-2}	Бр. класова	Бр. зрна по класу	Висина стабла	Дужина класа
Модел	22329956	40,02	22,9	13581795	9989	94,38	136,9	1,35
Сорта	22329956	40,02	22,9	13581795	9989	94,38	136,9	1,35
Грешка	2753889	0,45	1,21	1417190	64	4,83	1,8	0,03
Ниво значајности	**	**	**	**	**	**	**	**

ns (није значајно) - означава да утицај није статистички значајан; * означава статистички значајан утицај на нивоу вероватноће $p < 0,05$; ** означава статистички високо значајан утицај на нивоу вероватноће $p < 0,01$.

На нивоу значајности $p < 0,01$ утврђен је високо значајан ефекат сорте на принос зрна, датум класања, масу хиљаду зрна, број зрна по јединици површине, број класова, број зрна по класу, висину стабла и дужину класа (Табела 4). Код физиолошких и

показатеља особина технолошког квалитета пшенице, сорта је имала високо значајне ефекте на зелену покривност, индекс лисне површине, NDVI индекс, покривеност усевам и садржај протеина. Само код хектолитарске масе ефекат сорте био је значајан на нивоу $p < 0,05$ (Табела 5).

Табела 5: Средине квадрата (MS) и значајност утицаја сорте на физиолошке особине и особине технолошког квалитета пшенице

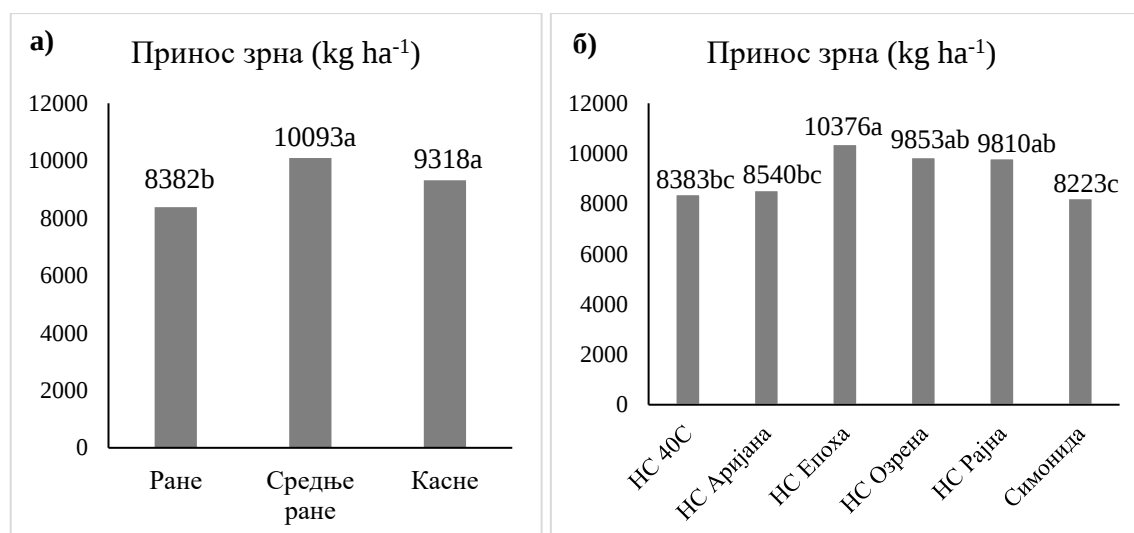
Извори варијације	Средина квадрата					
	Зелена покривност	LAI	NDVI	Покривеност усевам	Хектолитарска маса	Садржај протеина
Модел	230,80	0,60	0,01	45,73	6,47	1,77
Сорта	230,80	0,60	0,01	45,73	6,47	1,77
Грешка	0,04	0,00	0,00	0,39	2,03	0,06
Ниво значајности	**	**	**	**	*	**

ns (није значајно) - означава да утицај није статистички значајан; * означава статистички значајан утицај на нивоу вероватноће $p < 0,05$; ** означава статистички високо значајан утицај на нивоу вероватноће $p < 0,01$.

4.2. АГРОНОМСКЕ ОСОБИНЕ

4.2.1. Принос зрна

Резултати анализе варијансе показали су постојање статистички значајних разлика у приносу зрна између група сорти различите дужине вегетације, као и између самих сорти (Графикон 2). На основу просечних вредности, сорте средње ране групе оствариле су највиши принос зрна ($10.093 \text{ kg ha}^{-1}$), док су касне сорте имале нешто нижи принос (9.318 kg ha^{-1}), а ране сорте најнижи (8.382 kg ha^{-1}). Разлика између средње раних и касних сорти није била статистички значајна, док су обе групе оствариле значајно већи принос у односу на ране сорте. На нивоу појединачних сорти, највећи принос остварила је средње рана сорта НС Епоха ($10.376 \text{ kg ha}^{-1}$), што указује на њен висок потенцијал родности. Сличне вредности забележене су код касне сорте НС Озрена (9.853 kg ha^{-1}) и средње ране сорте НС Рајна (9.810 kg ha^{-1}). Са друге стране, најнижи принос је забележен код ране сорте Симонида (8.223 kg ha^{-1}).

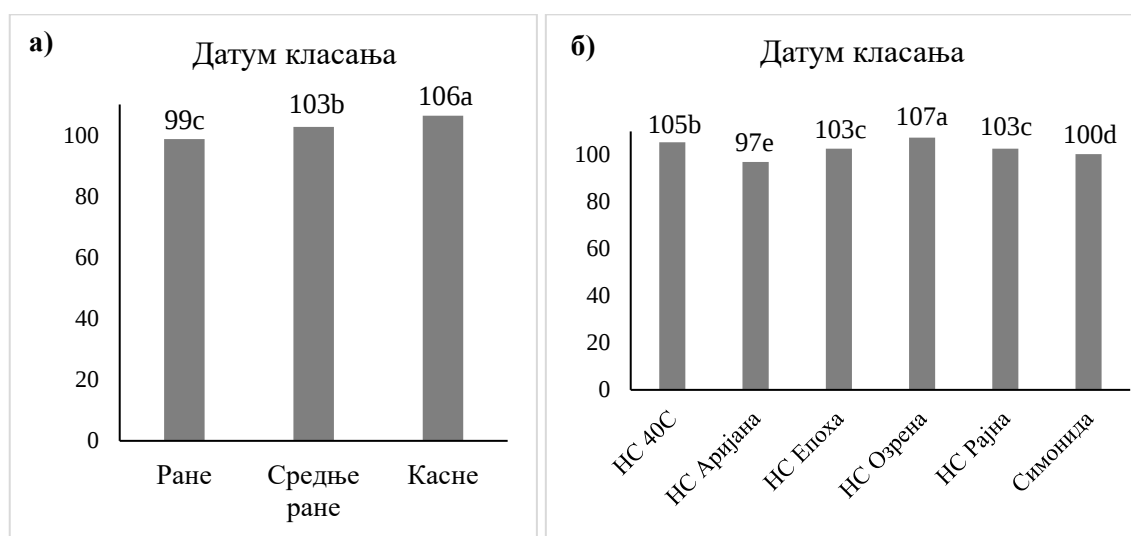


Графикон 2: Принос зрна пшенице (kg ha^{-1}) у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б) (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Овакви резултати су у складу са бројним истраживањима која указују да дужина вегетационог периода директно утиче на продуктивност пшенице, јер продужено трајање фотосинтетичке активности омогућава веће акумулирање асимилата и развој већег броја репродуктивних органа (Fischer, 2011). Средње ране и касне сорте имале су довољно дуг период за оптималан развој вегетативне масе и наливање зрна, али избегавају највише летње температуре које често негативно утичу на касне сорте (Reynolds *et al.*, 2009).

4.2.2. Датум класања

Датум класања представља један од кључних фенолошких показатеља који одражава динамику развоја пшенице и значајно утиче на формирање приноса. На основу резултата анализе варијансе, утврђене су јасне и статистички значајне разлике у датуму класања између група сорти различите дужине вегетације, као и између самих генотипова (Графикон 3). Просечно, ране сорте су класале најраније (око 99 дана након 1. јануара), средње ране сорте у просеку након 103 дана, док су касне сорте достигле фазу класања најкасније (106 дана). Када се посматрају појединачне сорте, најраније је класала НС Аријана (97 дана), док је најкасније класала НС Озрена (107 дана). СORTE НС Епоха и НС Рајна имале су сличне вредности (103), што их сврстава у средње рану групу. НС 40С је класала нешто касније (105 дана), док је Симонида показала средњу вредност од 100 дана.



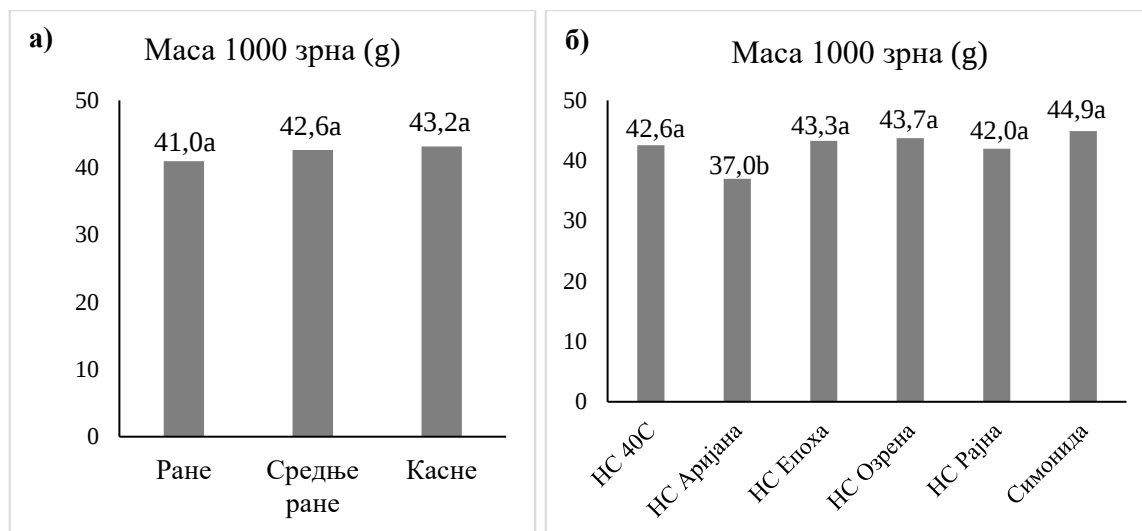
Графикон 3: Датум класања (број дана од 1. јануара) у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б) (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Разлике у датуму класања међу сортама најчешће су последица различите осетљивости на фотопериод и температуру, као и генетичке контроле преко VRN (vernalization) и PPD (photoperiod sensitivity) гена, који одређују брзину преласка из вегетативне у генеративну фазу. Ране сорте имају краћи период вернализације и слабију фотопериодску осетљивост, па брже улазе у фазу класања, док касне сорте захтевају дуже излагање хладноћи и дужи фотопериод. Раније класање у појединим условима може бити предност, јер омогућава избегавање високих температура током наливања зрна, што може смањити ризик од топлотног стреса и повећати стабилност приноса. Са друге стране, касније класање често омогућава већи фотосинтетски потенцијал у вегетативној фази и већи број зрна по класу, што у повољним условима може повећати принос (Fischer, 2011).

4.2.3. Маса 1000 зрна

Маса 1000 зрна представља важан морфолошко-физиолошки показатељ који одражава величину и развијеност зрна, а индиректно и потенцијал приноса и квалитет зрна. Резултати показују да дужина вегетације није имала значајан утицај на масу зрна у овом истраживању (Графикон 4а). Ране сорте имале су масу 41,0 g, средње ране 42,6

g, а касне сорте 43,2 g. Када се посматрају појединачне сорте (Графикон 4б), најнижу масу 1000 зрна имала је НС Аријана (37,0 g), што указује на генетски потенцијал за нешто ситније зрно. Остале сорте показале су сличне резултате и није било статистички значајне разлике између ових сорти.



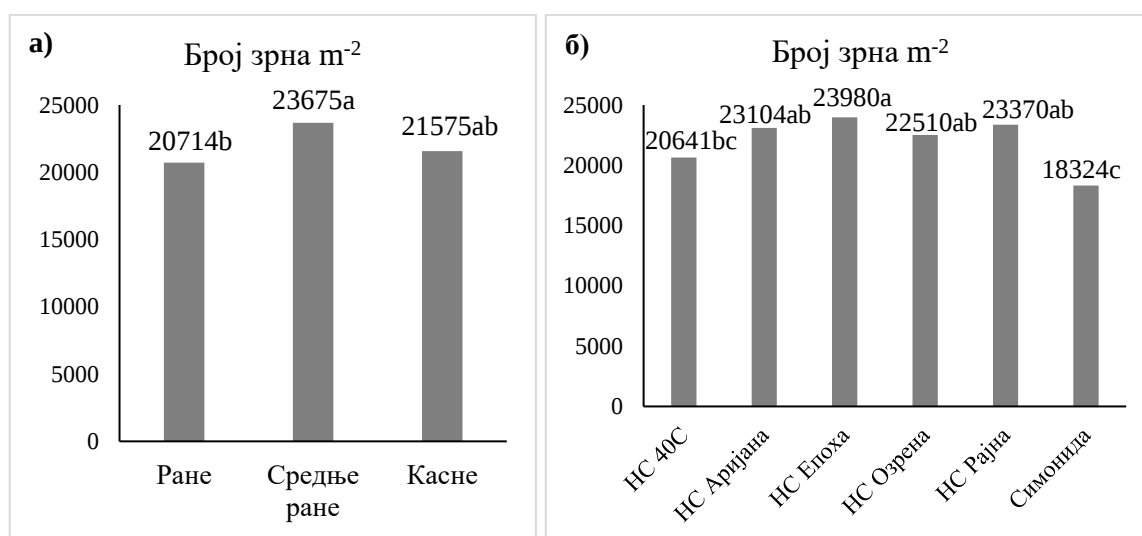
Графикон 4: Маса 1000 зрна (g) у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б) (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Према истраживању Zanke *et al.* (2015), европске озиме пшенице показују значајну варијабилност у маси 1000 зрна, у распону од 35,9 до 58,2 g, са просеком од 45,4 g и високом наследношћу ($H^2 = 0,89$). Сличне вредности наводе и Тимић *et al.* (2024), према којима се просечне вредности Панонских сорти пшенице крећу од 30,43 до 45,85 g, у зависности од генотипа и услова у којима се гаје. Како истичу Јосковић *et al.* (2014), под повољним агроколошким условима током наливања зрна, долази до појаве већих вредности масе 1000 зрна и вишег приноса по јединици површине.

4.2.4. Број зрна по јединици површине

Резултати овог истраживања показују присуство разлике у броју зрна по јединици површине (m^2) међу групама сорти различите дужине вегетације (Графикон 5а). Средње ране сорте имале су највећи број зрна по m^2 (23675), што је статистички значајно више у односу на ране сорте (20714), док су касне сорте заузеле средњу

позицију (21575). Ови резултати показују да дужина вегетације може утицати на формирање броја зрна, али није једини одређујући фактор. Када се посматрају појединачне сорте (Графикон 5б), највећи број зрна по m^2 забележен је код НС Епоха (23980) и НС Рајна (23370), а нешто мање код НС Аријана (23104) и НС Озрена (22510). Све наведене сорте, као и сорта НС 40С, оствариле су значајно већи број зрна по јединици површине у поређењу са сортом Симонида, која је имала најмањи број зрна по m^2 (18324).

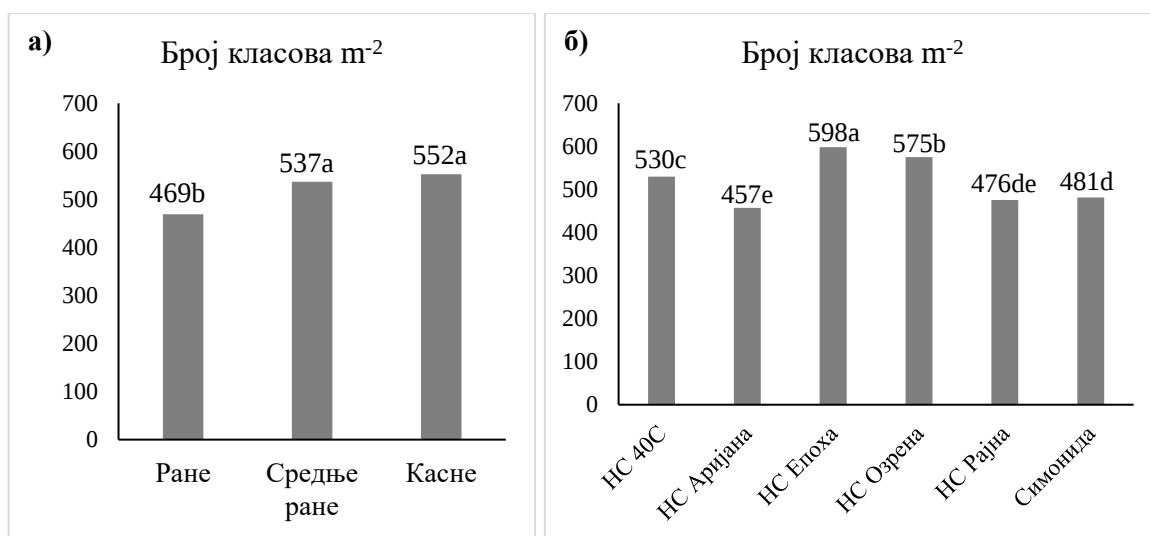


Графикон 5: Број зрна m^2 у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б)
(Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Велики број зрна по квадратном метру углавном је повезан са вишим приносом, али само уколико постоји довољна количина ресурса (вода, хранљиве материје, светлост) за њихово потпуно наливање. У супротном, повећање броја зрна може довести до смањења масе 1000 зрна и коначног квалитета зрна. Сорте са мањим бројем зрна, као што је Симонида, често имају веће (крупније) зрно и виши садржај протеина, што их чини погодним за производњу квалитетног брашна, али не и за постизање максималних приноса. Према Slafer *et al.* (2023), број зрна по јединици површине представља основни чинилац приноса пшенице. Истраживања de Lima *et al.* (2021) указују да сорте пшенице у Европи показују различите адаптационе стратегије у зависности од климатских услова, северноевропске сорте имају дужи вегетациони циклус и одложено класање, док јужне, прилагођене медитеранској клими, имају краћи циклус, али већи број класова по јединици површине.

4.2.5. Број класова по m^2

Број класова по јединици површине представља једну од најважнијих компоненти приноса пшенице, јер директно утиче на укупан број зрна по квадратном метру и на принос. На основу добијених резултата, уочене су јасне разлике између група сорти различите дужине вегетације. Група средње раних сорти (Графикон 6а) показала је осредњи просечан број класова по m^2 (537), док су касне сорте имале нешто већи, али статистички подједнак број (552), што указује на то да обе групе имају добру продуктивност. Ране сорте, са друге стране, имале су најмањи број класова (469). Разлика између раних и осталих група је била статистички значајна ($p < 0,05$), што потврђује утицај дужине вегетације на број класова по јединици површине. Посматрано по сортама (Графикон 6б), највећи број класова забележен је код НС Епоха (598), што указује на изражену способност за формирање већег броја продуктивних влати. Најмање вредности су забележене код НС Аријане (457) и НС Рајне (476).



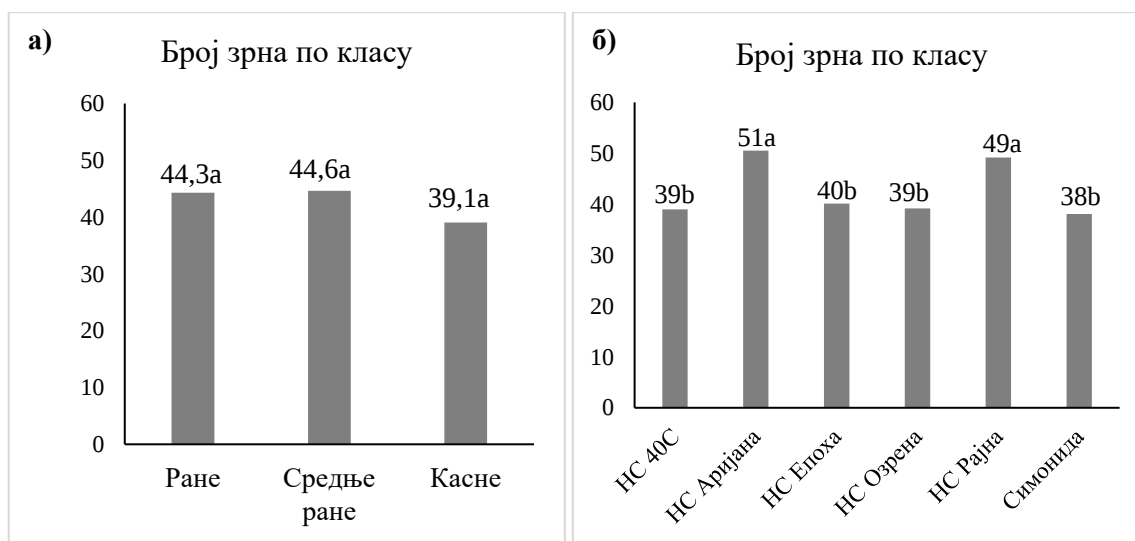
Графикон 6: Број класова m^{-2} у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б)
(Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Остварене разлике у броју класова по јединици површине могу се тумачити као резултат интеракције генетичких особина сорти и услова средине током раних фаза развоја пшенице, посебно у периоду бокорења. Према Whaley *et al.* (2000), број продуктивних изданака, а тиме и број класова по m^2 , у великој мери зависи од температурних услова и доступности азота током периода бокорења, јер ови фактори одређују број изданака који ће преживети и формирати клас. Већи број класова често

је повезан са сортама које имају дужи вегетациони период и способност продужења фазе вегетативног раста, што омогућава већи број формираних и продуктивних бокора (Ercoli *et al.*, 2010). С друге стране, Fischer (2011) наглашава да број класова представља најпроменљивију компоненту приноса, јер је под снажним утицајем услова спољне средине.

4.2.6. Број зрна по класу

Број зрна по класу представља једну од основних компонената приноса пшенице, јер у великој мери одражава продуктивност и ефикасност оплодње. На основу резултата истраживања, утврђено је да постоје разлике између група различите дужине вегетације, али оне нису статистички значајне (Графикон 7а). Ови резултати показују да дуже трајање вегетације није нужно повезано са већим бројем зрна по класу, јер овај параметар зависи пре свега од броја формираних цветова и степена њихове оплодње у току цветања. Посматрано по сортама (Графикон 7б), статистички највећи број зрна по класу имале су НС Аријана (51) и НС Рајна (49). С друге стране, сорте НС 40С (39), НС Епоха (40), НС Озрена (39) и Симонида (38) имале су статистички значајно мањи број зрна по класу. Foulkes *et al.* (2011) истичу да је број зрна резултат сложене интеракције између генетичког потенцијала сорте и спољашњих фактора, као што су температура и доступност воде у фази цветања. Уколико се током цветања јаве високе температуре или водни стрес, може доћи до делимичног стерилитета цветића и смањења броја зрна по класу.

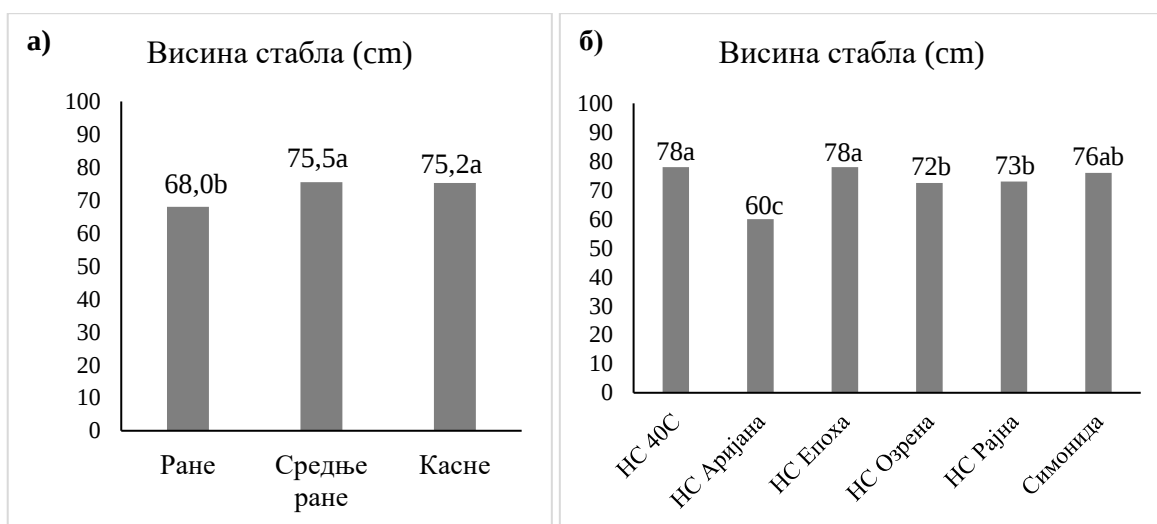


Графикон 7: Број зрна по класу у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б) (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

4.2.7. Висина стабла

Висина стабла је једна од основних морфолошких особина пшенице и важан индикатор како генетичких карактеристика сорте, тако и њене адаптације на услове средине. На основу резултата анализе варијансе, утврђено је да постоје статистички значајне разлике у висини стабла између група сорти различите дужине вегетације, као и између појединачних сорти. СORTE средње ране и касне групе у просеку су имале значајно веће вредности висине стабла у односу на ране (Графикон 8а).

Међу испитиваним сортама (Графикон 8б), сорте НС 40С и НС Епоха оствариле су значајно већу висину стабла (78 cm) у поређењу са свим преосталим сортама изузев Симониде. Значајно најнижу висину стабла имала је сорта НС Аријана (60 cm). Ове разлике могу бити последица различите генетичке основе, пре свега присуства или одсуства гена за полу-патуљавост (*Rht1*, *Rht2*), који регулишу осетљивост на гиберељине и утичу на издуживање стабла. Полу-патуљасте сорте имају краће стабло, али обично бољу отпорност на полегање и често виши принос услед боље алокације асимилата у клас (Miralles and Slafer, 1995). Добијени резултати су у складу са налазима других аутора који истичу да висина стабла варира у зависности од генотипа и услова средине.

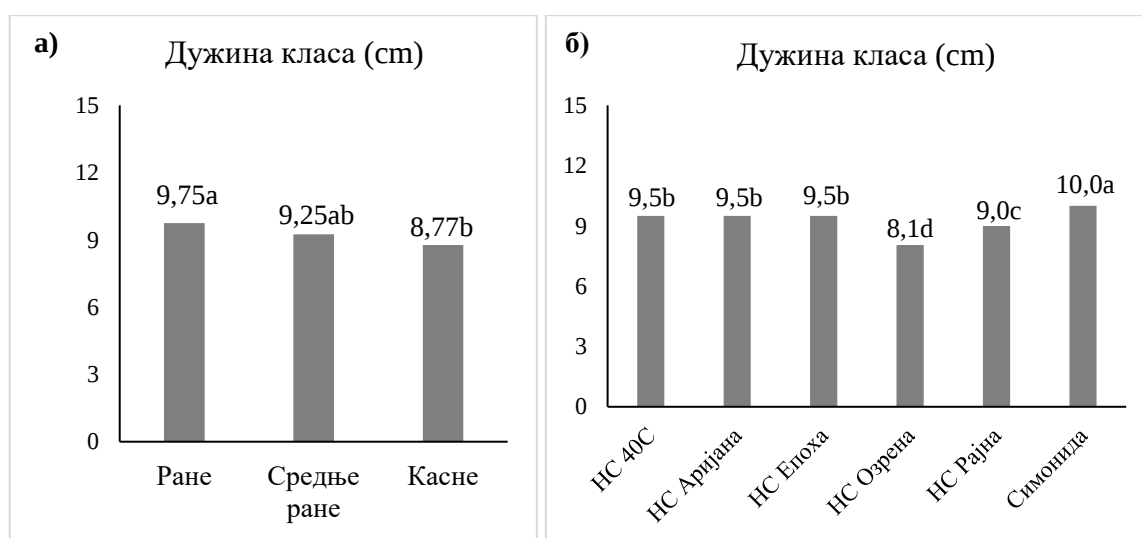


Графикон 8: Висина стабла пшенице (cm) у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б) (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Висина биљака пшенице у Европи показује изражену варијабилност у зависности од сорте и региона гајења. Европске озиме сорте пшенице најчешће достижу висину у распону од око 66,5 cm до 113 cm, док се просечне вредности крећу између 85 и 90 cm. На висину биљке највећи утицај имају генетички фактори, пре свега присуство полу-патуљастих гена Rht-D1 и Rht-B1, који су широко распрострањени у европским сортама озиме пшенице и имају снажан ефекат у смањењу висине биљке ради побољшања приноса и стабилности усева (Knežević *et al.*, 2019.). Према наводима Боројевић и Боројевић (2005), висина стабла код пшенице је високо наследна особина, али може бити модификована агроеколошким условима као што су температура, доступност влаге и густина сетве.

4.2.8. Дужина класа

Дужина класа је важан морфолошки показатељ који директно утиче на број класића и потенцијални број зрна по класу. Резултати истраживања показују да је дужина класа значајно варијала између група сорти различите дужине вегетације, као и између појединачних сорти (Графикон 9а и 9б)). Ране сорте имале су најдужи клас (9,75 cm), средње ране нешто краћи (9,25 cm), док су касне сорте имале најкраћи клас (8,77 cm). Ови резултати указују да дужа вегетација не мора увек да буде повезана са дужим класом. Појединачно (Графикон 9б), значајно најдужи клас имала је сорта Симонида (10,0 cm), док је најкраћи забележен код НС Озрене (8,1 cm). Ове разлике су статистички потврђене на нивоу значајности $p < 0,05$.



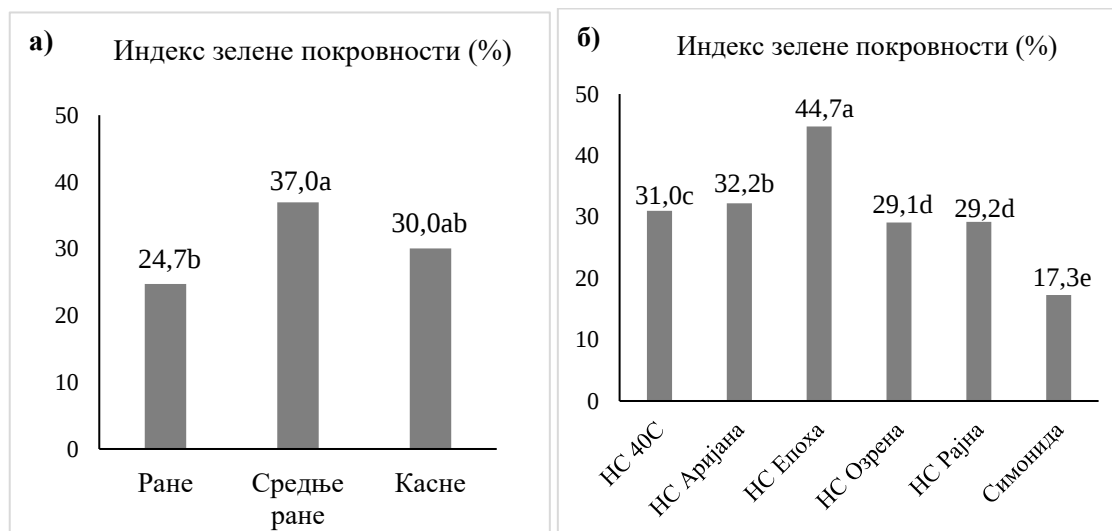
Графикон 9: Дужина класа пшенице (cm) у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б) (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Поређењем са подацима из литературе, европске сорте озиме пшенице обично показују дужину класа у распону од 7,3 cm до нешто преко 9,5 cm, у зависности од земље порекла (Dotlacil *et al.*, 2003). Према томе, сорте из програма селекције у Србији имају знатно дужи клас у односу на европски просек, што је потврђено и у студијама Knežević *et al.* (2019) док Mladenov *et al.* (2019) наводе да је просечна дужина класа око 8 cm. Међутим, дужи клас не гарантује већи принос ако није праћен адекватним бројем зрна и њиховом масом (Sharma *et al.*, 2012).

4.3. ФИЗИОЛОШКЕ ОСОБИНЕ

4.3.1. Индекс зелене покривности и покривност усевам

Индекс зелене покривности (енгл. *Green Cover Index*) и покривност усевам (енгл. *Plant Cover*) представљају важне физиолошке показатеље стања вегетације пшенице, јер одражавају развијеност биљака и ефикасност фотосинтезе током критичних фаза развоја биљке. Ови параметри су од кључног значаја за процену способности сорти да затворе склоп, чиме се оптимизује искоришћење светлости, воде и хранљивих материја, као и смањује губитак влаге из земљишта.

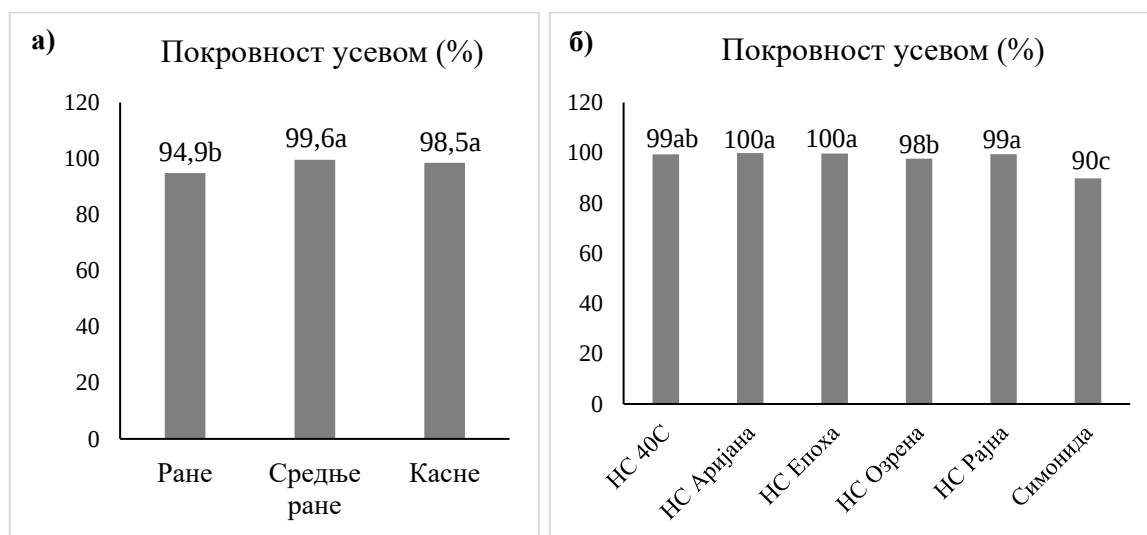


Графикон 10: Индекс зелене покривности у зависности од дужине вегетације (а) и сорте (б) (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

На основу резултата анализе, групе сорти различите дужине вегетације показале су статистички значајне разлике у вредностима индекса зелене покривности. Средње ране сорте (Графикон 10а) су имале највећи индекс зелене покривности (37,0%), што

указује на добро развијену биомасу и високу активност фотосинтетички активне површине. Касне сорте су такође имале релативно висок индекс (30,0%), док су ране сорте показале значајно најниже вредности (24,7%), што је и очекивано, јер раније завршавају вегетацију и мање времена проводе у фази интензивног раста. Разлика између група је статистички потврђена ($p < 0,05$), што показује јасан утицај дужине вегетације на развој зелене масе и затварање склопа усева. Посматрано по сортама (Графикон 10б), највећу вредност индекса зелене покривности остварила је сорта НС Епоха (44,7%), што указује на висок потенцијал за продукцију вегетационе масе. Са друге стране, најнижи индекс зелене покривности забележен је код сорте Симонида (17,3%), што може бити резултат мање густине склопа или слабијег бокорења.

Резултати покривности усевам (Графикон 11а) показују нешто мање изражене разлике међу групама вегетације, али је тенденција слична као код индекса зелене покривности. Средње ране сорте су оствариле највећу просечну вредност покривности (99,6%), што указује на скоро потпуно затварање склопа и високу ефикасност у искоришћењу светлосне енергије. Касне сорте су такође показале веома високу покривност (98,5%), док су ране сорте имале нешто мању вредност (94,9%), што потврђује да краћи вегетациони период може ограничити развој зелене масе. Међу сортама (Графикон 11б), највећу покривност имале су НС Аријана и НС Епоха (100%). Са друге стране, сорте НС Озрена и Симонида имале су статистички значајно ниже вредности покривности.



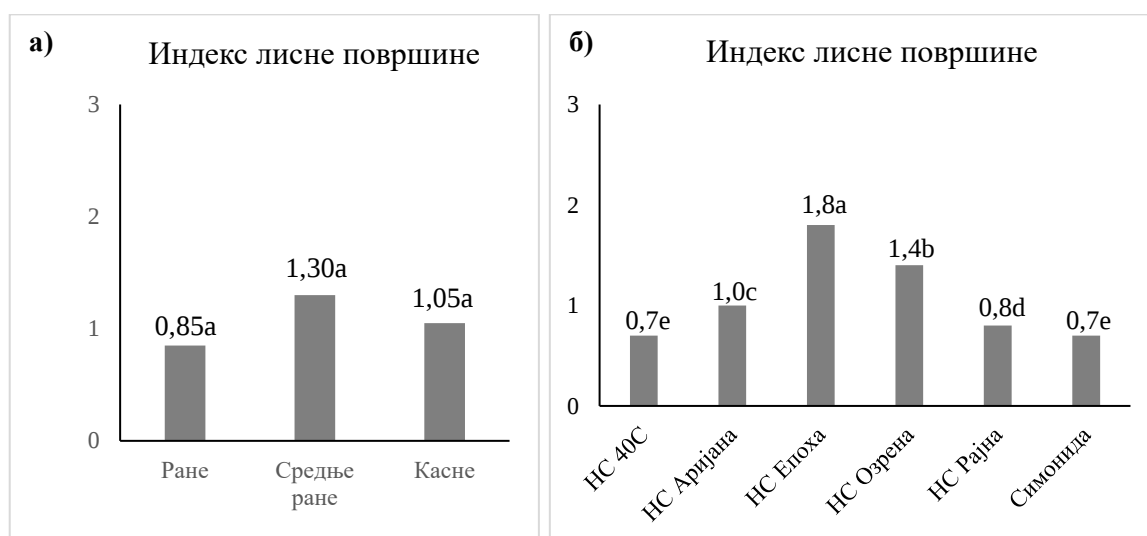
Графикон 11: Покривност усевам у зависности од дужине вегетације (а) и сорте (б)
(Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Према Filella *et al.* (1995) и Babar *et al.* (2006), индекс зелене покровности и покровност усевам директно су повезани са фотосинтетичким потенцијалом, а самим тим и са приносом зрна, јер одражавају капацитет биљке да користи сунчеву енергију за продукцију биомасе. Виши индекс зелене покровности указује и на боље физиолошко стање усева, односно већу ефикасност у преносу продукта фотосинтезе у клас. Према Naboudane *et al.* (2004), индекс зелене покровности представља један од најпоузданијих показатеља вегетативног развоја, јер интегрише више физиолошких процеса, као што су фотосинтеза, транспирација и акумулација азота. Са друге стране, покровност усевам служи као индикатор успешности затварања склопа, што има директне последице на контролу ерозије, температуру земљишта и ефикасност коришћења воде.

4.3.2. Индекс лисне површине

Вредности индекса лисне површине нису показале статистички значајне разлике између група сорти различите дужине вегетације (Графикон 12а). Средње ране сорте имале су највиши просечни LAI (1,30), док су касне (1,05) и ране (0,85) имале нешто ниже вредности, али без статистичке разлике између група. Ови резултати указују да дужина вегетације није једини фактор који утиче на развој лисне површине, јер LAI зависи и од способности сорте за бокорење, доступности воде и хранљивих материја, као и од агротехничких услова током вегетације (Pinter *et al.*, 2003).

Посматрано по сортама (Графикон 12б), највећи индекс лисне површине (1,8) имала је сорта НС Епоха. Одмах иза ње је сорта НС Озрена (1,4) која такође показује стабилан развој зелене масе. Средње вредности забележене су код сорти НС Аријана и НС Рајна, док су статистички најниже вредности индекса лисне површине имале сорте НС 40С и Симонида (0,7).

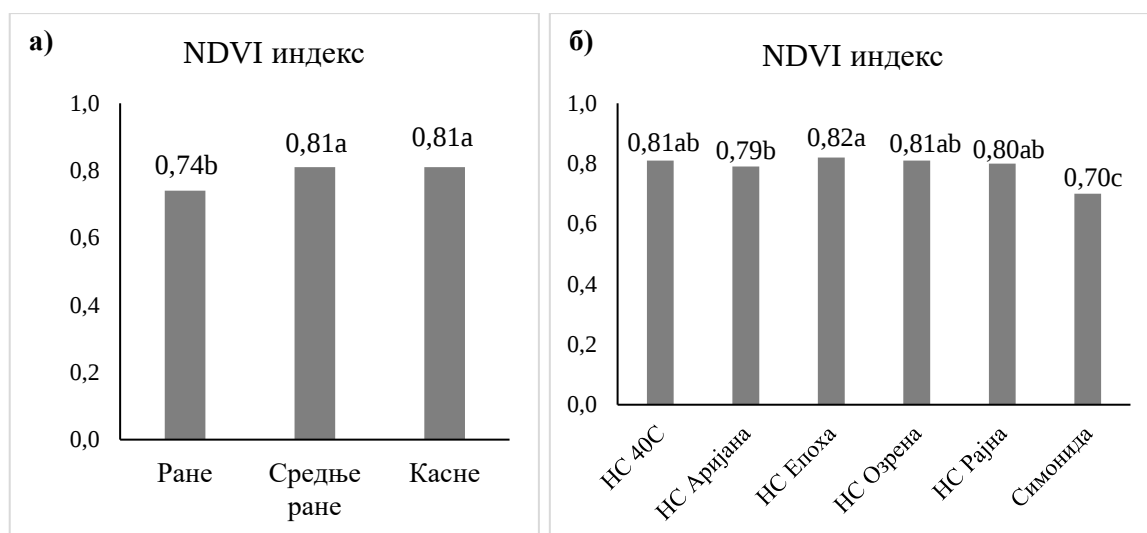


Графикон 12: Индекс лисне површине у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б); (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Веће вредности LAI индекса, као код сорти НС Епоха и НС Озрена, указују на ефикасније искоришћење светлости и потенцијално већи принос. Према Daughtry *et al.* (2000), LAI вредности између 1 и 3 сматрају се оптималним за пшеницу у фази интензивног раста, јер обезбеђују равнотежу између фотосинтетичке активности и транспирације. Међутим, превелики LAI може довести до засењивања лишћа у доњим слојевима и смањења ефикасности фотосинтезе, док сувише низак LAI може ограничити производњу асимилата.

4.3.3. NDVI индекс

NDVI представља спектрални индекс који се заснива на разлици између одбијене блиске инфрацрвене и црвене светлости, и користи се као индикатор зелене биомасе, садржаја хлорофила и општег физиолошког стања усева. Вредности NDVI се крећу између 0 и 1, где више вредности указују на већу густину усева и фотосинтетску активност (Camarano *et al.*, 2014).



Графикон 13: NDVI индекс у зависности од утицаја дужине вегетације (а) и сорте (б); (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

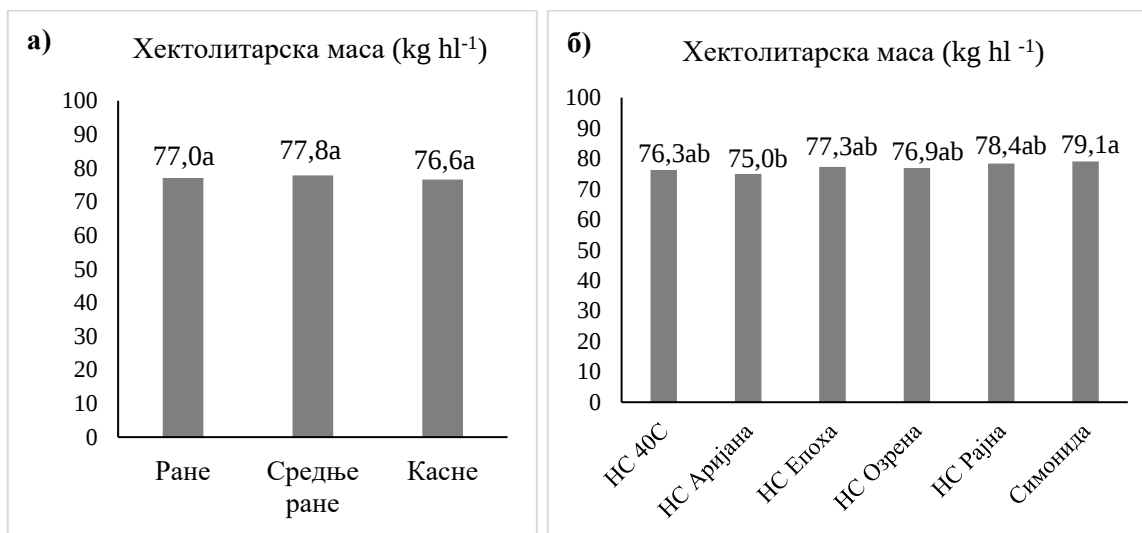
Резултати (Графикон 13а) показују да су групе средње раних и касних сорти имале највише и подједнаке вредности NDVI индекса (0,81), док су ране сорте показале значајно нижу вредност (0,74). Овај образац је у складу са претходним налазима за LAI, јер дуже вегетационе фазе омогућавају већи развој биомасе и дужи период фотосинтетичке активности. Међу сортама (Графикон 13б), највиши NDVI индекс забележен је код НС Епоха (0,82), која се поново издваја као физиолошки најактивнија сорта. Високе вредности NDVI имале су и сорте НС 40С и НС Озрена (0,81), а затим и НС Рајна (0,80), што указује на стабилан фотосинтетички потенцијал. Са друге стране, значајно најниже вредности су забележене код сорте Симонида (0,70), што је у складу са њеним нижим LAI индексом и мањом зеленом покривношћу.

4.4. ОСОБИНЕ ТЕХНОЛОШКОГ КВАЛИТЕТА

4.4.1. Хектолитарска маса

Хектолитарска маса представља важан показатељ технолошког квалитета пшенице, јер одражава степен испуњености и компактности зрна. Више вредности хектолитарске масе указују на добро развијено, испуњено и физиолошки зрело зрно, док ниже вредности могу бити последица неповољних услова током наливања зрна

или мање густине ендосперма. Према добијеним резултатима, просечне вредности хектолитарске масе по групама сорти (Графикон 14а) биле су статистички уједначене; односно ране ($77,0 \text{ kg hl}^{-1}$), средње ране ($77,8 \text{ kg hl}^{-1}$) и касне ($76,6 \text{ kg hl}^{-1}$) сорте нису се статистички значајно разликовале на прагу $p > 0,05$. Ово указује да дужина вегетационог периода није имала значајан утицај на хектолитарску масу. Посматрано по сортама (Графикон 14б), највећу вредност имала је Симонида ($79,1 \text{ kg hl}^{-1}$), док је сорта НС Аријана остварила најнижу вредност ове особине.



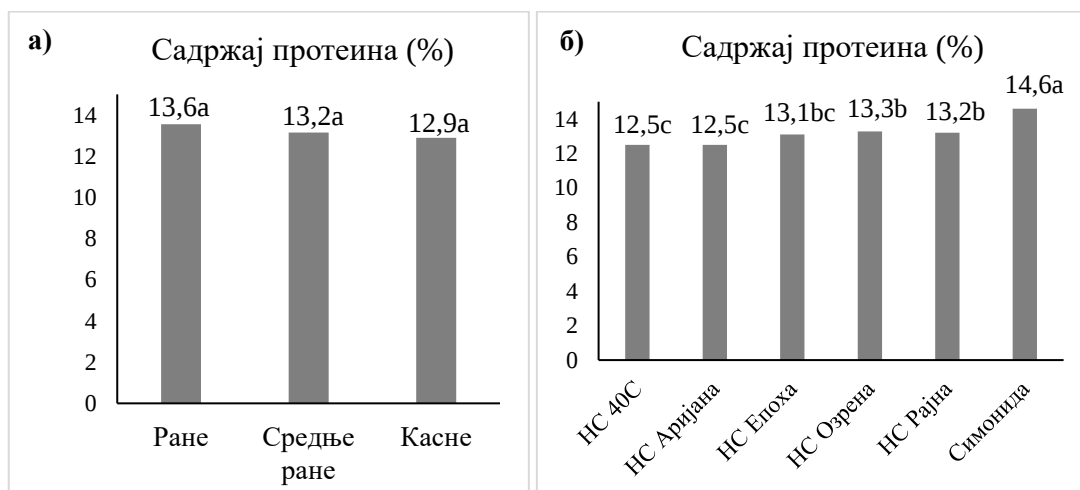
Графикон 14: Хектолитарска маса у зависности од дужине вегетације (а) и сорте (б);
(Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Наведене разлике указују на значајну генетичку варијабилност међу испитиваним сортама, али и на могуће утицаје спољашњих фактора током вегетације. Виша хектолитарска маса указује на добру испуњеност и здравствено стање зрна, као и на повољне услове током наливања, док ниже вредности могу бити последица стресних услова као што су суша, високе температуре или дефицит хранљивих материја. Хектолитарска маса је један од најчешће анализираних показатеља квалитета пшенице и представља меру густине зрна у јединици запремине. Она је директно повезана са приносом брашна, јер зрна са већом густином дају већи принос приликом млевења (Окуама *et al.*, 2020). Истовремено, ова особина служи као индиректан показатељ укупног здравственог стања и зрелости зрна, што је од великог значаја у технолошкој процени. Резултати студије Svečnjak *et al.* (2007) спроведене у Хрватској показали су да је година испитивања имала највећи утицај на варијабилност ове особине, што потврђује осетљивост хектолитарске масе на спољашње услове, посебно

током фаза наливања и сазревања зрна. Неповољни фактори као што су недостатак хранљивих материја, температурни стрес, полагање биљака и екстремни временски услови, негативно утичу на вредности хектолитарске масе (Isleib *et al.*, 2012). Истраживања спроведена у Турској показала су да вредности хектолитарске масе могу пасти и до 65,2 kg hl⁻¹ у условима израженог стреса (Mut *et al.*, 2010).

4.4.2. Садржај протеина

Садржај протеина у зрну пшенице један је од најважнијих показатеља квалитета, пошто одређује хранљиву вредност и пекарске особине. Резултати овог истраживања показују да се групе сорти различите дужине вегетације нису статистички значајно разликовале у погледу садржаја протеина. Тако су ране сорте имале просечно 13,6%, средње ране 13,2%, а касне 12,9% (Графикон 15а). Ове вредности су у границама типичним за квалитетне хлебне пшенице. На нивоу сорти (Графикон 15б), највиши садржај протеина имала је сорта Симонида (14,6%), и била је статистички значајно боља у поређењу са преосталим сортама. Најнижи садржај протеина забележен је код сорти НС 40С и НС Аријана (по 12,5%). Ови резултати показују да постоји генетичка разлика у акумулацији протеина, али без јасног утицаја дужине вегетације на ову особину квалитета зрна.



Графикон 15: Садржај протеина у зависности од дужине вегетације (а) и сорте (б); (Средње вредности обележене различитим словима статистички се значајно разликују на нивоу значајности $p < 0,05$)

Садржај протеина у пшеници представља један од главних критеријума у процени пекарског квалитета, јер директно утиче на еластичност и стабилност теста, као и на

запремину хлеба. Према Caporaso *et al.* (2018), садржај протеина у зрну пшенице може варирати од 6% до чак 19,8%, зависно од генотипа, климатских услова и агротехнике. Према Бањац и сар. (2022), на варијације садржаја протеина утичу генетички фактори, агроеколошки услови, као и примењене агротехничке мере, посебно ђубрење азотом. У условима Републике Србије, периоди цветања и наливања зрна су најзначајнији за формирање садржаја протеина (Ђурић и Кобиљски, 2006). Током тих фенолошких фаза, температура и влажност имају пресудан утицај на синтезу и акумулацију беланчевина, пошто виша температура и недостатак влаге могу смањити садржај протеина у корист повећања садржаја скроба. Истраживања спроведена у Централној Европи (Hlisnikovský *et al.*, 2020) и у условима Медитерана (Кауа & Аксуга, 2014) показала су значајне варијације садржаја протеина између различитих година, што потврђује високу осетљивост ове особине на климатске услове.

4.5. ВЕЗА ИЗМЕЂУ ПРОУЧАВАНИХ ОСОБИНА

4.5.1. Корелациона анализа

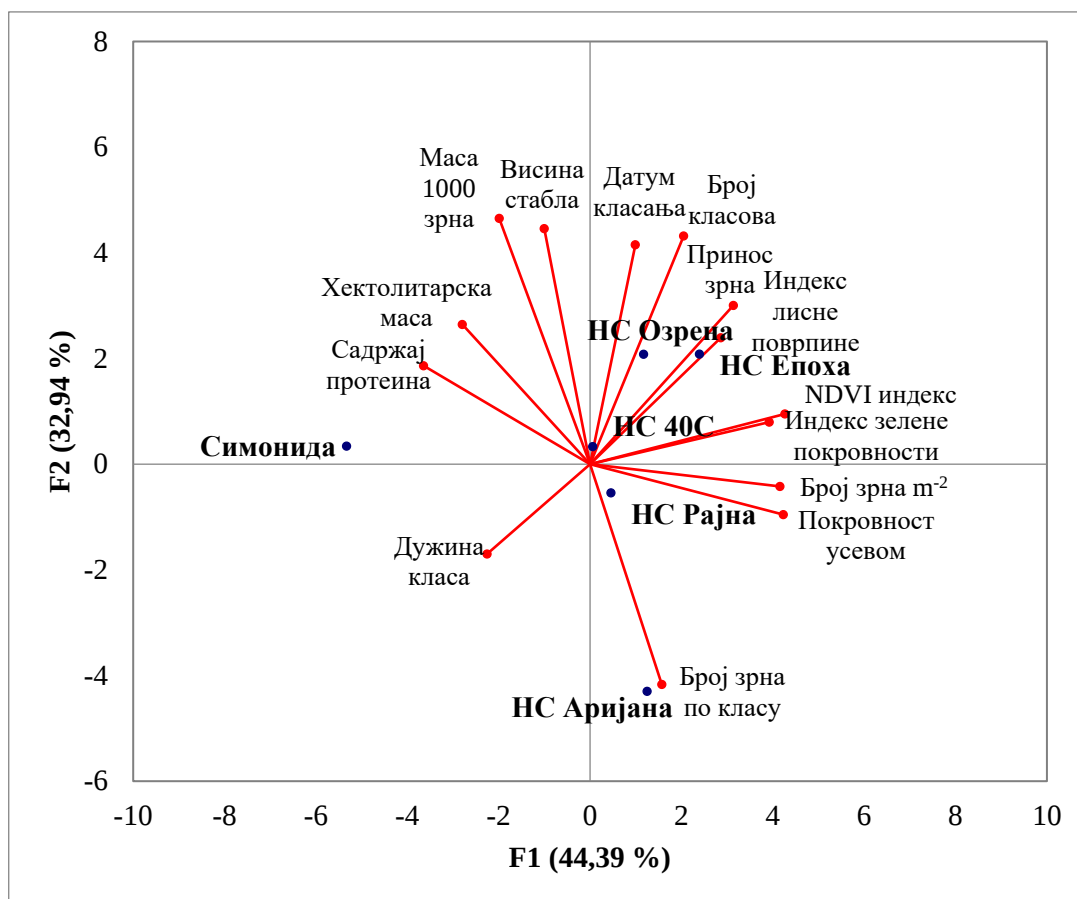
Корелациона анализа показала је јасне односе између приноса зрна и већег броја испитиваних параметара (Табела 6). Најјача позитивна повезаност утврђена је између приноса и броја зрна по m^2 ($r = 0,76$), што указује да је број формираних зрна један од главних фактора који дефинише принос. Такође, значајне позитивне корелације су утврђене са индексом лисне површине ($r = 0,77$), NDVI индексом ($r = 0,73$) и зеленом покровношћу ($r = 0,70$), што потврђује да физиолошка активност и фотосинтетички потенцијал биљака снажно утичу на акумулацију биомасе и коначни принос. Умерено висока корелација са бројем класова ($r = 0,71$) такође истиче значај утицаја склопа на формирање приноса. С друге стране, негативне или слабе корелације су забележене између приноса и садржаја протеина ($r = -0,20$), као и дужине класа ($r = -0,57$), што је у складу са познатом појавом да већи принос често прати нешто нижи садржај протеина у зрну. Позитивна повезаност приноса са датумом класања ($r = 0,51$) сугерише да касније класање може омогућити дужи период активне фотосинтезе и бољу акумулацију угљених хидрата у зрну. У целини, резултати указују да комбинација високих вредности физиолошких индекса и већег броја зрна по јединици површине представља најпоузданији показатељ потенцијала приноса код проучаваних сорти пшенице.

Табела 6: Корелациона анализа између проучаваних особина

Особина	Принос зрна	Висина стабла	Дужина класа	Хектолитарска тарска маса	Садржај протеина	Датум класања	Маса 1000 зрна	Број зрна по m ²	Зелена покривност	LAI	NDVI	Број класова	Покровност	Број зрна по класу
Принос зрна	1.00	0.31	-0.57	0.10	-0.20	0.51	0.23	0.76	0.70	0.77	0.73	0.71	0.53	-0.02
Висина стабла	0.31	1.00	0.09	0.61	0.36	0.63	0.88	-0.31	0.04	0.09	0.03	0.57	-0.25	-0.77
Дужина класа	-0.57	0.09	1.00	0.15	0.22	-0.66	-0.07	-0.46	-0.13	-0.36	-0.54	-0.40	-0.37	-0.02
Хектолитарска маса	0.10	0.61	0.15	1.00	0.85	0.16	0.77	-0.42	-0.45	-0.17	-0.50	-0.01	-0.66	-0.34
Садржај протеина	-0.20	0.36	0.22	0.85	1.00	-0.05	0.68	-0.63	-0.64	-0.15	-0.80	-0.09	-0.92	-0.43
Датум класања	0.51	0.63	-0.66	0.16	-0.05	1.00	0.62	0.03	0.10	0.22	0.46	0.69	0.14	-0.59
Маса 1000 зрна	0.23	0.88	-0.07	0.77	0.68	0.62	1.00	-0.46	-0.26	0.09	-0.24	0.51	-0.56	-0.83
Број зрна по m ²	0.76	-0.31	-0.46	-0.42	-0.63	0.03	-0.46	1.00	0.81	0.64	0.82	0.29	0.85	0.55
Зелена покривност	0.70	0.04	-0.13	-0.45	-0.64	0.10	-0.26	0.81	1.00	0.76	0.82	0.59	0.78	0.13
LAI	0.77	0.09	-0.36	-0.17	-0.15	0.22	0.09	0.64	0.76	1.00	0.53	0.79	0.35	-0.18
NDVI	0.73	0.03	-0.54	-0.50	-0.80	0.46	-0.24	0.82	0.82	0.53	1.00	0.54	0.93	0.19
Број класова	0.71	0.57	-0.40	-0.01	-0.09	0.69	0.51	0.29	0.59	0.79	0.54	1.00	0.23	-0.64
Покровност	0.53	-0.25	-0.37	-0.66	-0.92	0.14	-0.56	0.85	0.78	0.35	0.93	0.23	1.00	0.49
Број зрна по класу	-0.02	-0.77	-0.02	-0.34	-0.43	-0.59	-0.83	0.55	0.13	-0.18	0.19	-0.64	0.49	1.00

4.5.2. PCA анализа

Анализа главних компоненти (PCA) коришћена је ради утврђивања односа између агрономских, физиолошких и квалитетних особина шест сорти пшенице различитих група зрења (Графикон 16). Прве две компоненте објасниле су преко три четвртине (77,33%) укупне варијабилности, при чему је прва компонента (F1) обухватила 44,39%, а друга компонента (F2) 32,94% варијансе. Прва компонента је била у блиској вези са приносом зрна, бројем зрна по m^2 , индексом зелене покривности, NDVI вредностима и покровношћу усевам. Ове особине су међусобно позитивно повезане, што указује да сорте са већим индексом лисне површине и NDVI вредностима постижу и већи принос. Друга компонента обухватила је морфолошке и фенолошке особине, као што су висина стабла, маса 1000 зрна, хектолитарска маса, број класова и датум класања.



Графикон 16: PCA биplot анализа повезаности агрономских, физиолошких и особина технолошког квалитета код шест сорти озиме пшенице

Позиционирање сорти на PCA биplotу показује јасне разлике у њиховим проучаваним особинама. НС Рајна и НС 40С су се налазиле у центру биplotа, при чему је НС 40С била у ближој вези са висином стабла и датумом класања, а НС Рајна у вези са бројем зрна по класу и по јединици површине. НС Озрена и НС Епоха су груписане ближе векторима приноса и физиолошких индекса. С друге стране, Симонида је издвојена у левом делу дијаграма, ближе векторима који представљају садржај протеина и хектолитарску масу, што су показатељи вишег технолошког квалитета зрна, али уз мањи принос. НС Аријана се налази у доњем делу дијаграма, ближе дужини класа и броју зрна по класу.

5. ЗАКЉУЧАК

На основу добијених резултата испитивања проучаваних агрономских, физиолошких и технолошких особина и варијабилности приноса зрна код сорти пшенице различите дужине вегетације може се закључити:

- Анализа варијансе је показала статистички значајне разлике између група сорти различите дужине вегетације код већине испитиваних агрономских својстава (осим код масе 1000 зрна и дужине класа), затим физиолошких (осим код индекса лисне површине), као и особина технолошког квалитета, при чему није испољен статистички значајан ефекат на садржај протеина.
- При високом нивоу значајности ($p < 0,01$), значајан ефекат сорте утврђен је код свих испитиваних особина, осим хектолитарске масе, где је ефекат сорте био значајан на нивоу $p < 0,05$.
- Ране сорте су у погледу већине агрономских и физиолошких особина постизале ниже вредности, док су се у погледу особина технолошког квалитета посебно истакле високим садржајем протеина (преко 14,5%).
- Средње ране сорте су код већине агрономских и физиолошких особина оствариле највише вредности, док су у погледу технолошких особина (посебно хектолитарске масе) имале високе вредности.
- Касне сорте су у погледу агрономских особина показале изражену варијабилност. Остварене вредности физиолошких особина биле су у оквиру просека, док су вредности параметара технолошког квалитета биле најниже.
- Сорта Симонида није се истакла по агрономским и физиолошким особинама, али је по технолошком квалитету заузела водеће место међу испитиваним сортама.
- НС Аријана је најраније класала, док су друге агрономске особине показале изражену варијабилност. Од физиолошких особина имала је највећу

покривност - чак 99,87%, док је у погледу особина технолошког квалитета остварила најниже вредности.

- НС Епоха истакла се као најприносија, а испољила је и највећи број пожељних агрономских и физиолошких особина. У погледу особина технолошког квалитета постигла је вредности карактеристичне за квалитетне хлебне пшенице. Према висини остварених приноса пратиле су је сорте НС Озрена и НС Рајна.
- Сорте НС Рајна и НС Озрена су код већине агрономских, физиолошких и особина технолошког квалитета оствариле вредности на нивоу просечних. НС Рајна је постигла високе вредности у оквиру агрономских особина, посебно са већим бројем зрна по јединици површине и већим бројем зрна по класу, док се НС Озрена издвојила у погледу физиолошких особина, са посебно вишим вредностима индекса лисне површине.
- Сорта НС 40С је код већине испитиваних особина остварила вредности блиске просеку, те се није значајније издвојила. Међутим, у оквиру агрономских особина достигла је највећу висину биљке, док су код физиолошких параметара, нарочито индекса лисне површине, забележене ниже вредности.
- Корелационом анализом испитиваних особина утврђено је да је принос пшенице имао позитивну и високо значајну корелацију са већином испитиваних параметара. Најјача позитивна повезаност утврђена је између приноса и броја зрна по m^2 , док је умерено висока корелација утврђена између приноса и броја класова по m^2 . Такође, утврђена је и позитивна повезаност приноса са датумом класања.
- Значајне позитивне корелације приноса утврђене су и са физиолошким параметрима, посебно са индексом лисне површине, NDVI индексом и зеленом покривношћу.
- Негативне или слабе корелационе зависности забележене су између приноса и дужине класа, а изразито значајна негативна корелација утврђена је између приноса и садржаја протеина.
- На основу резултата PCA анализе, уочено је јасно раздвајање према осама, при чему је PCA1 оса била у блиској вези са приносом зрна, бројем зрна по m^2 , индексом зелене покривности, NDVI индексом и покривношћу усева, док је друга - PCA2 оса била у асоцијацији са морфолошким особинама, попут висине стабла, масе 1000 зрна, хектолитарске масе, бројем класова и датумом класања.

- РСА анализа је показала јасне асоцијације између испитиваних особина сорти пшенице, при чему су се јасно груписали параметри технолошког квалитета, док су са друге стране груписале физиолошке и већина агрономских особина.
- Резултати истраживања потврђују да правилан избор сорти оптималне дужине вегетације доприноси постизању стабилних и високих приноса, а истовремено има и значајан потенцијал за унапређење селекције и производње пшенице у условима климатских промена.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. Acreche, M.M., Slafer, G.A. (2009). Variation of grain nitrogen content in relation with grain yield in old and modern Spanish wheats grown under a wide range of agronomic conditions in a Mediterranean region. *The Journal of Agricultural Science*, 147(6): 657-667.
2. Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Araus, J.L., Royo, C. (2000) Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal*, 92(1): 83-91.
3. Araus, J.L., Kefauver, S.C., Zaman-Allah, M., Olsen, M.S., Cairns, J.E. (2018). Translating high-throughput phenotyping into genetic gain. *Trends in Plant Science*, 23(5): 451-466.
4. Asseng, S., Foster, I.A.N., Turner, N.C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17(2): 997-1012.
5. Бањац, Б., Младенов, В., Петровић, С., Војновић, Ђ., Бегић, Д., Шућур, Р., Јоцковић, Б. (2022). Варијабилност показатеља технолошког квалитета генотипова пшенице у различитим микроклиматским условима. *Селекција и семенарство*, 28(1), 43-54.
6. Babar, M.A., Reynolds, M.P., Van Ginkel, M., Klatt, A.R., Raun, W.R., Stone, M.L. (2006): Spectral reflectance to estimate genetic variation for in-season biomass, leaf chlorophyll, and canopy temperature in wheat. *Crop Science*, 46(3): 1046-1057.
7. Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M.L., Bareth, G. (2015). Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39: 79-87.
8. Boerner, A. I. O. P., Plaschke, J., Korzun, V., & Worland, A. J. (1996). The relationships between the dwarfing genes of wheat and rye. *Euphytica*, 89(1), 69-75.
9. Borojevic, K., Borojevic, K. (2005). The transfer and history of “reduced height genes” (Rht) in wheat from Japan to Europe. *Journal of Heredity*, 96(4): 455-459.

10. Braun, H.J., Atlin, G., Payne, T. (2010). Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: Reynolds M.P., editor. *Climate Change and Crop Production*. Wallingford (UK): CABI Publishers.
11. Whaley, J.M., Sparkes, D.L., Foulkes, M.J., Spink, J.H., Semere, T., Scott, R.K. (2000). The physiological response of winter wheat to reductions in plant density. *Annals of Applied Biology*, 137(2): 165-177.
12. Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J.W., Heumez, E., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Griffiths, S., Orford, S., Hubbart, S., Foulkes, M.J. (2011). Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. *Field Crops Research*, 123(2), 139–152.
13. Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R., Schofield, J.D. (2003). Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science*, 37(3): 295-309.
14. Daughtry, C.S., Walthall, C.L., Kim, M.S., De Colstoun, E.B., McMurtrey III, J.E. (2000). Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 74(2): 229-239.
15. de Lima, V.J., Gracia-Romero, A., Rezzouk, F.Z., Diez-Fraile, M.C., Araus-Gonzalez, I., Kamphorst, S.H., do Amaral Júnior, A.T., Kefauver, S.C., Aparicio, N., Araus, J.L. (2021). Comparative performance of high-yielding European wheat cultivars under contrasting Mediterranean conditions. *Frontiers in Plant Science*, 12: 687622.
16. De Oliveira, R., Rimbert, H., Balfourier, F., Kitt, J., Dynomant, E., Vrána, J., Doležel, J., Badaeva, E., Šafář, J., Toegelová, H., Balzergue, S., & Choulet, F. (2020). Structural variations affecting genes and transposable elements of chromosome 3B in wheats. *Frontiers in Genetics*, 11, 891.
17. D'Odorico, P., Carr, J.A., Laio, F., Ridolfi, L., Vandoni, S. (2014). Feeding humanity through global food trade. *Earth's Future*, 2(9): 458-469.
18. Dotlacil, L., Hermuth, J., Stehno, Z. (2003). Earliness, spike productivity and protein content in European winter wheat landraces and obsolete cultivars. *Plant Soil and Environment*, 49(2): 67-74.
19. Ђурић, В., Кобиљски, Б. (2006). Утицај године на квалитет озиме пшенице у Републици Србији. *Зборник радова Института за ратарство и повртарство*, 42(1): 371-382.

20. Ercoli, L., Arduini, I., Mariotti, M., & Masoni, A. (2010). Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen and temperature during grain filling. *Cereal Research Communications*, 38(2), 294-303.
21. Evans, L.T. (1987). Short day induction of inflorescence initiation in some winter wheat varieties. *Functional Plant Biology*, 14(3): 277-286.
22. Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6): 415-421.
23. Zanke, C.D., Ling, J., Plieske, J., Kollers, S., Ebmeyer, E., Korzun, V., Argillier, O., Stiewe, G., Hinze, M., Neumann, F., Eichhorn, A. (2015). Analysis of main effect QTL for thousand grain weight in European winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by genome-wide association mapping. *Frontiers in Plant Science*, 6: 644.
24. Isleib, J. (2012). Test weight in small grains. Michigan State University Extension.
25. Jocković, B., Mladenov, N., Hristov, N., Aćin, V., Đalović, I. (2014). Interrelationship of grain filling rate and other traits that affect the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Romanian Agricultural Research*, 31: 81-87.
26. Kaya, Y., Akcura, M. (2014). Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food Science and Technology*, 34(2): 386-393.
27. Knežević, D., Mićanović, D., Zečević, V., Branković, G., Kondić, D., Radosavac, A., Matković Stojšin, M., Srdić, S., Atanasijević, S., Urošević, D. (2019). Variability of length of spike and number of spikelets per spike in wheat (*Triticum aestivum* L.). In: Book of Proceedings: X International Scientific Agriculture Symposium "Agrosym 2019", Jahorina, October 03-06, pp. 295-299. Istočno Sarajevo, Poljoprivredni fakultet.
28. Knežević, D., Urošević, D., Paunović, A., Kondić, D., Đurović, V., Živić, J., Matković, M., Radosavac, A., Madić, M., Zečević, V. (2020). Variability of stem height in wheat (*Triticum aestivum* L.). In: Book of Proceedings: XI International Scientific Agriculture Symposium "AGROSYM 2020", Jahorina, October 8-9, 325-329. Istočno Sarajevo, Poljoprivredni fakultet.
29. Miralles, D.J., Slafer, G.A. (1997). Radiation interception and radiation use efficiency of near-isogenic wheat lines with different height. *Euphytica*, 97(2), 201-208.

30. Mirosavljević, M., Momčilović, V., Aćin, V., Jocković, B., Pržulj, N., Jaćimović, G. (2025). Yield Determination in Major Small Grain Crops in Response to Nitrogen Fertilization. *Plants*, 14(7): 1017.
31. Mirosavljević, M., Momčilović, V., Dražić, T., Aćin, V., Jocković, B., Mikić, S., Brbaklić, L., Živančev, D., Zorić, M., Pržulj, N. (2024). Genetic progress in grain yield and associated changes in spikelet and grain traits in historical set of Pannonian wheat cultivars. *Euphytica*, 220(1): 10.
32. Mitchell, D.O., Mielke, M. (2005). Wheat: The global market, policies, and priorities. *Global agricultural trade and developing countries*, 195.
33. Mladenov, N., Hristov, H., Kondic-Spika, A., Đuric, V., Jevtic, R., Mladenov, V. (2011). Breeding progress in grain yield of winter wheat cultivars grown at different nitrogen levels in semiarid conditions. *Breeding Science*, 61(3): 260-268.
34. Mladenov, V., Dimitrijević, M., Petrović, S., Boćanski, J., Banjac, B., Kondić-Špika, A., Trkulja, D. (2019). Genetic analysis of spike length in wheat. *Genetika-Belgrade*, 51(1): 167-178.
35. Moshou, D., Bravo, C., West, J., Wahlen, S., McCartney, A., Ramon, H. (2004). Automatic detection of 'yellow rust' in wheat using reflectance measurements and neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44(3): 173-188.
36. Mut, Z., Aydin, N., Bayramoglu, H.O., Ozcan, H. (2010). Stability of some quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum*) genotypes. *Journal of Environmental Biology*, 31(4): 489-495.
37. Okuyama, L.A., Caramori, P.H., Kohli, M.M. (2020). New microchondrometer to measure hectoliter weight in small samples of wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 15(4): 524-530.
38. Pinter Jr, P.J., Hatfield, J.L., Schepers, J.S., Barnes, E.M., Moran, M.S., Daughtry, C.S., Upchurch, D.R. (2003). Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(6): 647-664.
39. Reynolds, M., Foulkes, M.J., Slafer, G.A., Berry, P., Parry, M.A., Snape, J.W., Angus, W.J. (2009). Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(7): 1899-1918.
40. Reynolds, M.P., Singh, R.P., Ibrahim, A., Ageeb, O.A.A., Larqué-Saavedra, A., Quick, J.S. (2012). Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat. In: *Wheat: Prospects for Global Improvement: Proceedings of the 5th*

- International Wheat Conference, 10–14 June, 1996, Ankara, Turkey, Vol. 6, p. 143. Springer Science & Business Media.
41. Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., Villegas, D. (2004). Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 20(4): 419-430.
 42. Sadras, V.O., Slafer, G.A. (2012). Environmental modulation of yield components in cereals: Heritabilities reveal a hierarchy of phenotypic plasticities. *Field Crops Research*, 127: 215-224.
 43. Semenov, M.A., Stratonovitch, P., Alghabari, F., Gooding, M.J. (2014). Adapting wheat in Europe for climate change. *Journal of Cereal Science*, 59(3): 245-256.
 44. Sharma, R.C., Crossa, J., Velu, G., Huerta-Espino, J., Vargas, M., Payne, T.S., Singh, R.P. (2012). Genetic gains for grain yield in CIMMYT spring bread wheat across international environments. *Crop Science*, 52(4), 1522-1533.
 45. Slafer, G.A., García, G.A., Serrago, R.A., Miralles, D.J. (2022). Physiological drivers of responses of grains per m² to environmental and genetic factors in wheat. *Field Crops Research*, 285: 108593.
 46. Slafer, G.A., Rawson, H.M. (1994). Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modellers. *Functional Plant Biology*, 21(4): 393-426.
 47. Slafer, G.A., Savin, R., Sadras, V.O. (2014). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*, 157: 71-83.
 48. Slafer, G.A., Savin, R., Sadras, V.O. (2023). Wheat yield is not causally related to the duration of the growing season. *European Journal of Agronomy*, 148, 126885.
 49. Svečnjak, Z., Bujan, M., Dragojević, I.V., Vitali, D., Čebušnjik, A., Jenel, M. (2007). Nitrogen and Phosphorus Content, Hectoliter Weight and Yield Variations of Wheat Grain as Affected by Cropping Intensity. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72(3): 251-255.
 50. Timić, J., Dražić, T., Miroslavljević, M., Jocković, B., Aćin, V., Mikić, S., Brbaklić, L. (2024). Wheat cultivars grain yield and quality traits variability under conditions of southern Pannonian plain. *Ratarstvo i povrtarstvo/Field and Vegetable Crops Research*, 61(3): 85-94.

51. Trnka, M., Hlavinka, P., Semenov, M.A. (2015). Adaptation options for wheat in Europe will be limited by increased adverse weather events under climate change. *Journal of the Royal Society Interface*, 12(112), 20150721.
52. FAOSTAT (2025). Food and agricultural organisation of the United Nations FAOSTAT statistical database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
53. Filella, I., Serrano, L., Serra, J. and Penuelas, J., 1995. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop science*, 35(5), pp.1400-1405.
54. Fischer, R.A. (2011). Wheat physiology: a review of recent developments. *Crop and Pasture Science*, 62(2): 95-114.
55. Foley, D.J., Thenkabail, P.S., Aneece, I.P., Teluguntla, P.G., Oliphant, A.J. (2020). A meta-analysis of global crop water productivity of three leading world crops (wheat, corn, and rice) in the irrigated areas over three decades. *International Journal of Digital Earth*, 13(8): 939-975.
56. Foulkes, M.J., Slafer, G.A., Davies, W.J., Berry, P.M., Sylvester-Bradley, R., Martre, P., Calderini, D.F., Griffiths, S., Reynolds, M.P. (2011). Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *Journal of Experimental Botany*, 62(2): 469-486.
57. Haboudane, D., Miller, J.R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P.J., Strachan, I.B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90(3): 337-352.
58. Halford, N.G. (2006). From primitive selection to genetic modification, ten thousand years of plant breeding. In: *Plant Biotechnology: Current and Future Applications of Genetically Modified Crops*, pp. 3-27. Ed. N. Halford. London, UK: John Wiley & Sons Ltd.
59. Hatfield, J.L., Gitelson, A.A., Schepers, J.S., Walthall, C.L. (2008). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*, 100: S-117.
60. Hlisnikovský, L., Menšík, L., Kunzová, E. (2020): The development of winter wheat yield and quality under different fertilizer regimes and soil-climatic conditions in the Czech Republic. *Agronomy*, 10: 1160.
61. Hunt, J.R., Lilley, J.M., Trevaskis, B., Flohr, B.M., Peake, A., Fletcher, A., Zwart, A.B., Gobbett, D., Kirkegaard, J.A. (2019). Early sowing systems can boost

- Australian wheat yields despite recent climate change. *Nature Climate Change*, 9(3): 244-247.
62. Cammarano, D., Fitzgerald, G.J., Casa, R., Basso, B. (2014). Assessing the robustness of vegetation indices to estimate wheat N in Mediterranean environments. *Remote Sensing*, 6(4): 2827-2844.
63. Caporaso, N., Whitworth, M.B., Fisk, I.D. (2018). Protein content prediction in single wheat kernels using hyperspectral imaging. *Food Chemistry*, 240: 32-42.
64. Xue, L.H., Cao, W.X., Luo, W.H., Dai, T.B., Zhu, Y. (2004). Monitoring leaf nitrogen status in winter wheat with canopy spectral reflectance. *Agronomy Journal*, 96(1): 135-142.
65. Yilmaz, H., Karatas, R., Demirel, F., Soysal, S., Türkoğlu, A., Yilmaz, A., Ciftci, V. (2024). Variations in protein, gluten, Zeleny sedimentation and yield of certain wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under different climatic conditions. *Euphytica*, 220(12): 190.