

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Алекса Д. Липовац, маг. инж. пољ.

Утицај режима наводњавања и рока сетве
на ефикасност коришћења воде, принос и
квалитет зрна пасуља
-Докторска дисертација-

Београд, 2023.

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF AGRICULTURE

Aleksa D. Lipovac, Msc of Agriculture

The Effect of Irrigation Treatments and
Sowing Periods on Water Use Efficiency,
Yield and Quality of Common Bean

-Doctoral dissertation-

Belgrade, 2023.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:

Ментор: Др Ружица Стричевић, редовни професор
Пољопривредни факултет Универзитета у Београду

Чланови комисије: Др Невенка Ђуровић, редовни професор
Пољопривредни факултет Универзитета у Београду

Др Марија Ћосић, ванредни професор
Пољопривредни факултет Универзитета у Београду

Др Ђорђе Моравчевић, редовни професор
Пољопривредни факултет Универзитета у Београду

Др Атила Бездан, ванредни професор
Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду

Др Гордана Матовић, ванредни професор
Пољопривредни факултет Универзитета у Београду

Датум одбране докторске дисертације: _____

Захвалница

Овим путем желим да се најискреније захвалим свима који су дали допринос у изради ове докторске дисертације. Првенствено бих се захвалио својој менторки др Ружици Стричевић за велики допринос у осмишљавању, иновативном приступу и инспирацији за писање овог рада, као и члановима комисије др Невенки Ђуровић и Марији Носић на песебичној помоћи и мотивацији током свих претходних година истраживања. Такође, захваљујем се и члану комисије др Атили Ђездану на песебичној помоћи у реализацији истраживања и едукацији у погледу примене нових технологија у овом раду, као и др Ђорђу Моравчевићу који је својим саветима и искуством допринео у бројним аспектима овог рада. Захвалио бих се др Фердани Матовић на саветима и сугестијама при прегледању докторске дисертације.

Поседну захвалност дугујем Ђорђу Шљељу, директору компаније „Напредак“ а. д. из Старе Пазове, као и драгим колегама Ђури Загору и Драгану Јоксимовићу који су одобрили и учествовали у експерименталном делу истраживања. Такође, захвалио бих се агроному Марки Хрицу и колегама на терену и Јовици и Радомиру Русићу који су својим искуством, радом и бригом допринели да оглед буде успешан.

Искрено се захваљујем свим пријатељима и колегама, а било их је заиста пуно, који су од срца помагали у току формирања и праћења огледа, где бих посебно истакао колегу агронома Славишу Ђорђевића и пријатеља Странимира Луку.

Захваљујем се др Тошку Гајићу на песебичној помоћи и пренесеном знању приликом лабораторијских анализа земљишта, као и др Ангелини Шапанаровој на саветима током анализа земљишта, и свим члановима Катедре за мелiorације земљишта Пољопривредног факултета, који су дали свој допринос и подршку у изради овог рада. Поседно се захваљујем колегици мастер биологу Јелени Тогосављевић и осталим члановима Катедре за педологију и геологију на помоћи приликом лабораторијских анализа земљишта. Такође захваљујем се др Зорници Јовановић као и осталим члановима Катедре за агрохемију и физиологију биљака на омогућавању коришћења лабораторије. Такође, захвалност дугујем колегици Зорници Носић и осталим члановима Катедре за ратарство и повртарство на уступању опреме и помоћи приликом анализирања квалитета пасуља. Захваљујем се и др Павелу Ђепки на помоћним при снимању огледа мултиспектралном камером и обради добијених снимака.

Захвалио бих се мојим пријатељима, а уједно и колегама, Стефану Степићу, Драгану Станојевићу, Ђорђу Тошкову, Лазару Калуђеровићу, Немањи Трипићу, Александру Симићу, Дуњи Сотоници и Немањи Мешинћу на мотивационој подршци и помоћи.

На крају, захвалност дугујем родитељима Марији и Драгану на брижној подршци и разумевању током читваог периода израде доктората, као и сестрама Мирјани и Христини и брату Милошу који су са својим породицама увек били подстрек и непресушна мотивација.

Аутор

Ова докторска дисертација представља део резултата пројекта ТР 37005 под називом „Оцена утицаја климатских промена на водне ресурсе Србије“ а који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (евиденциони број уговора: 451-03-47/2023-01/200116)

Утицај режима наводњавања и рока сетве на ефикасност коришћења воде,
принос и квалитет зрна пасуља

Резиме

Савремено друштво се сусреће са врло озбиљним изазовима у пољопривредној производњи, а везано за све веће захтеве за храном као и недостатком воде у овом сектору. Полазећи од ових чињеница, истраживање које је описано у овој дисертацији је првенствено посвећено рационалном коришћењу водних ресурса и проналажењу начина како повећати производњу хране.

Циљ ове докторске дисертације био је да се испита утицај режима наводњавања и рока сетве на ефикасност коришћења воде, принос и квалитет зрна пасуља. Истраживање је вршено на пасуљу сорте *сремац*. Постављен је двофакторијални оглед по *split plot* плану (плану подељених парцела) у три понављања. Први фактор (парцела) био је рок сетве: сетва у редовном року, половином априла (I) и две касне сетве (крај маја/почетак јуна (II) и крај јуна/почетак јула (III)). Други фактор (подпарцела) био је режим наводњавања (третман пуног наводњавања (Ф) и два третмана редукованог наводњавања (D_1 и D_2)). Трогодишње истраживање у периоду од половине априла до почетка октобра (2018, 2019. и 2020. године) извршено је на огледном пољу компаније „Напредак“ а. д. Стара Пазова. Све три године биле су веома топле, али истовремено и веома кишне. Сума падавина током истраживаног периода варирала је од 590 mm (2019) до 434 mm (2020) године, што је далеко изнад просечне вредности за овај период која износи 359 mm.

У оквиру испитиваних фактора (рок сетве и режим наводњавања) праћена је фенологија пасуља, влажност земљишта, покровност земљишта, акумулација суве биомасе, индекс лисне површине, потрошња воде пасуља, стање вегетације и снабдевеност водом, принос пасуља, принос суве биомасе, број махуна по биљци, маса 1000 зрна, жетвени индекс, хемијске особине зрна пасуља (садржај протеина и уља), као и продуктивност воде и ефикасност коришћења воде. У раду су, поред осталих, примењене савремене методе даљинске детекције (мултиспектрални и термални снимци).

Највеће вредности садржаја воде у земљишту регистроване су у оквиру Ф третмана у свим испитиваним роковима сетве, и овај садржај воде није се спуштао испод границе лако приступачне воде биљкама, изузев током сазревања. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је значајно већу ($p < 0,05$) акумулацију биомасе и проценат покровности земљишта у поређењу са D_2 третманом, док се третман D_1 није значајно разликовао.

Режим наводњавања и рокови сетве испољили су статистичку значајност на промену вредности стварне евапотранспирације. Утврђена је разлика у просечним вредностима стварне евапотранспирације између третмана наводњавања и између појединих рокова сетви. У трогодишњем периоду у првом року сетве у просеку је трошено 383,4 mm, у другом 407,9 mm а у трећем 360,0 mm. На варијанти са пуним наводњавањем у просеку је потрошено 401,7 mm, док је потрошња воде на третманима редукованог заливања мања у односу на Ф третмане (383,1 mm и 366,9 mm на третманима D_1 и D_2 , редом).

Израчунати вегетациони индекси (*NDVI* - вегетациони индекс нормализоване разлике; *GNDVI* - зелени вегетациони индекс нормализоване разлике; *MCARII* - модификовани индекс апсорпције хлорофила у рефлексiji) добијени су на основу мултиспектралних снимака беспилотном летелицом (дроном). Вредности *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* су статистички значајно више у Ф третману него на третманима редукованог наводњавања. Вегетациони индекси *NDVI*, *MCARII*, и *GNDVI* били су у доброј до јакој корелацији са величинама на које утиче режим наводњавања: покривеношћу, индексом лисне површине и транспирацијом, али и у задовољавајућој корелацији са вредностима влажности земљишта.

Високе корелације индекса *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* уз детектовање разлике у режимима наводњавања квалификује их као поуздан алат за процену приноса пасуља. Процењени подаци о приносу на основу *NDVI* индекса су у доброј корелацији са измереним вредностима приноса, док су процењене вредности на основу *MCARII* и *GNDVI* индекса показале умерену корелацију са измереним вредностима.

Најниже температуре биљног покривача као једног од најважнијих показатеља водног стреса су запажене на Ф третманима, односно, што су биљке биле боље снабдевене водом, температура им је била нижа. У оквиру рокова сетве, најниже температуре измерене су у првом року сетве, док су у другом и трећем року сетве температуре више, јер су биљке изложене високим температурама ваздуха. Најниже вредности индекса биљног водног стреса (*CWSI*) запажене су у првом року сетве и повећавале су се у каснијим роковима сетве. На Ф третману уочене су најмање вредности индекса биљног водног стреса (0,06), што указује да биљке при пуном наводњавању нису биле изложене водном стресу. Вредности *CWSI* индекса биле су у сагласности са тренутним садржајем влаге, што указује на висок потенцијал примене индекса биљног водног стреса у одређивању тренутка почетка заливања.

Највећи принос зрна пасуља запажен је у првом року сетве ($4,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), односно за 12,07% више него у другом року сетве и за 41,3% више него у трећем року сетве. На третману пуног наводњавања остварени су највиши приноси ($4,24 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), што је за 5,74% више него на Д₁ третману, односно статистички значајно више (18,11%) у поређењу са Д₂ третманом.

Највеће вредности укупне суве биомасе постигнуте су у првом року сетве ($9,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), што се статистички веома значајно разликовало ($p < 0,01$) у односу на други и трећи рок сетве, у којима су остварене ниже вредности укупне суве биомасе за 9,68% и 14,74 %, у односу на први рок. У оквиру режима наводњавања Ф и Д₁ третмана остварене су вредности од $8,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ и $8,40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, редом, што се статистички значајно разликовало у поређењу са Д₂ третманом на коме је запажена вредност $7,89 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Један од главних показатеља приноса пасуља јесте број махуна. Највише махуна по биљци регистровано је у првом року сетве (7,4). У оквиру режима наводњавања очекивано највише махуна по биљци осмотрено је на Ф третману (6,92), што је за 2,82 % више у односу на Д₁ третман, али и статистички значајно више (9,67 %) у односу на Д₂ третман. Резултати жетвеног индекса указују да су се први и други рок сетве и третман пуног наводњавања показали као најадекватнији. Маса 1000 зрна показује да се на Ф ($407,61 \text{ g}$) и Д₁ ($404,04 \text{ g}$) третманима остварују значајно више вредности него на Д₂ третману ($396,50 \text{ g}$), док се у првом и другом року сетве остварују статистички значајно више вредности масе 1000 зрна у поређењу са трећим роком сетве. Максималне вредности продуктивности воде запажене су у првом року сетве ($12,32 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), што је за 4,23% више у односу на II рок сетве, односно 14,60% у односу на III рок. Режим наводњавања није значајно утицао на вредности продуктивности воде, али се примећује да је на Д₁ и Д₂ третманима продуктивност воде највећа ($11,79 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $11,78 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), што је за 4,15% и 4,06% више него на Ф третману. Слично као и код продуктивности воде, ефикасност коришћења воде била је највећа у првом року сетве ($1,19 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Ако се посматра режим наводњавања, најмања ефикасност коришћења воде уочена је код Д₂ третмана ($1,01 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), док је код режима пуног наводњавања и Д₁ третмана редукованог наводњавања ефикасност коришћења воде приближно иста ($1,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ и $1,09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Просечан садржај протеина у првом и другом року сетве износио је 26,74% и 26,05%, редом, што је значајно више у поређењу са трећим роком сетве на коме су остварене вредности од 19,45%. Садржај протеина се благо повећавао у третманима редукованог наводњавања у односу на третман пуног наводњавања (23,94%, 24,02% и 24,28% на Ф, Д₁ и Д₂ третманима, редом). Вредност просечног садржаја уља у оквиру првог рока сетве је

8,83%, што је за 11,77% више у односу на други рок сетве, односно 53,03% више у односу на трећи рок сетве. Ако се посматра режим наводњавања, између третмана није остварена статистички значајна разлика у садржају уља. Највећи садржај измерен је на Ф третману (7,53%).

Редукованим наводњавањем (Д₁) остварени су незнатно нижи приноси у поређењу са третманом пуног наводњавања уз истовремену значајну уштеду воде и повећање квалитета зрна пасуља.

Кључне речи: пасуљ, рок сетве, режим наводњавања, квалитет и принос, даљинска детекција, продуктивност воде.

Научна област: Биотехничке науке

Ужа научна област: Мелиорације земљишта

УДК број: 631.67:631.53.04]:635.652(043.3)

The Effect of Irrigation Treatments and Sowing Periods on Water Use Efficiency, Yield and Quality of Common Bean

Summary

Modern society is facing serious challenges in agricultural production related to increasing food demand and water scarcity. Based on these facts, the research described in this dissertation is primarily dedicated to the rational use of water resources and finding ways to ramp up food production.

The aim of this doctoral dissertation was to examine the impact of irrigation regimes and sowing periods on water use efficiency, yield, and grain quality of beans, specifically the *sremac* bean variety. The research was conducted in a two-factorial trial using a split-plot design divided into three repetitions. The first factor (plot) was the sowing period, including sowing in the regular term, mid-April (I) and two late sowings (end of May/beginning of June (II) and end of June/beginning of July (III)). The second factor (subplot) was the irrigation regime, which included full irrigation treatment (F) and two deficit irrigation treatments (D_1 and D_2). The three-year study was conducted from mid-April to early October (2018, 2019, 2020) on the experimental field of the company "Napredak" a.d. Stara Pazova. All three years were warm and rainy, with total precipitation during the study period ranging from 590 mm (2019) to 434 mm (2020), which is well above the average value of 359 mm for this period.

Within the framework of the examined factors (sowing period and irrigation regime), the following aspects were monitored: phenology of beans, soil moisture, canopy cover, dry biomass accumulation, leaf area index, water consumption of common bean, plant health and water status, grain yield, dry biomass yield, number of pods per plant, 1000-grain weight, harvest index, chemical properties of bean grains (protein and oil content), and water productivity and water use efficiency. The research also applied modern remote sensing methods, including multispectral and thermal images.

The highest soil moisture was observed in the F treatment (full irrigation) during all three sowing periods and water content did not drop below the readily available water level, except during maturation. The full irrigation regime (F) achieved significantly higher ($p < 0.05$) biomass accumulation and canopy cover compared to the D_2 treatment, while the D_1 did not differ significantly.

The effect of the irrigation regime and sowing period was statistically significant in changing the values of actual evapotranspiration. The difference in average values of actual evapotranspiration between irrigation treatments and between sowing periods was determined. In the three-year period, an average of 383.4 mm was spent in the first sowing period, 407.9 mm in the second, and 360.0 mm in the third. In the full irrigation treatment, an average of 401.7 mm was consumed, while water consumption in deficit irrigation treatments was lower compared to the F treatment (381.1 mm and 366.9 mm in the D_1 and D_2 treatments, respectively)

Calculated vegetation indices (*NDVI* - normalized difference vegetation index, *GNDVI* - green normalized difference vegetation index, and *MCARI* - modified chlorophyll absorption ratio index at 700 nm) were obtained from multispectral images taken by an unmanned aerial vehicle (drone). The values of *NDVI*, *MCARI* and *GNDVI* were significantly higher in the F treatment than in the deficit irrigation treatments. Vegetation indices *NDVI*, *MCARI*, and *GNDVI* were in good to strong correlation with the variables affected by the irrigation regime: canopy cover, leaf area index and transpiration, as well as satisfactory correlation with soil moisture values. The high correlations of the *NDVI*, *MCARI* and *GNDVI* indices with the detection of differences in irrigation regimes qualify them as a reliable tools for estimating bean yields. The estimated yield data based on the *NDVI* index showed good correlation with the measured yield values, while the estimated values

based on the *MCARI* and *GNDVI* indices showed moderate correlation with the measured values.

Observing leaf temperature of beans, it is noted that the lowest temperatures of the plant canopy were observed in F treatments, i.e. when plants were better supplied with water, their temperature was lower. Within the sowing periods, the lowest temperatures were achieved in the second and third sowing periods, when plants were exposed to high air temperatures. The lowest values of the crop water stress index were observed in the first sowing period and increased in the later sowing periods, while plants in the F treatment achieved the lowest values of the crop water stress index (0.06), indicating that plants under full irrigation were not exposed to water stress. The values of the *CWSI* index were consistent with the soil moisture content, indicating the high potential of using the plant water stress index to determine the appropriate timing for irrigation.

The highest bean yield was recorded during the first sowing period, with a yield of $4.55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. This was 12.07% and 41.3% higher compared to the second and third sowing periods, respectively. Full irrigation scheduling achieved the highest yields ($4.24 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), which is only 5.74% higher than the D_1 treatment and statistically significantly higher (18,11%) than the D_2 treatment.

In the first and second sowing periods, significantly higher values of dry biomass accumulation were observed compared to the third sowing period, furthermore the F and D_1 treatments showed a significantly higher accumulation of dry biomass compared to the D_2 treatment.

The highest values of total dry biomass were achieved in the first sowing period ($9.09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), which was significantly different ($p < 0.01$) compared to the second and third sowing periods. The second and third sowing periods achieved lower values of total dry biomass by 9.68% and 14.74%, respectively, compared to the first sowing period. Within the irrigation regimes, the F and D_1 treatments achieved values of $8.76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ and $8.40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectively, which was significantly different compared to the D_2 treatment, where the observed value was $7.89 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

The number of pods is one of the main indicators of bean yield. The most pods per plant were registered in the first sowing period (7.4). Within the irrigation regime, the expected highest number of pods per plant was observed in the F treatment (6.92), which is 2.75% more compared to the D_1 treatment, but also significantly more (9.67%) compared to the D_2 treatment. The results of the harvest index indicate that the first and second sowing periods and the full irrigation treatment proved to be the most adequate. The mass of 1000 grains shows that significantly higher values were achieved in the F (407.61 g) and D_1 (404.04 g) treatments compared to the D_2 treatment (396.50 g), while significantly higher values of the weight of 1000 grains were achieved in the first and second sowing periods compared to the third sowing period. The maximum values of water productivity were observed in the first sowing period ($12.32 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), which is 4.23% higher compared to the second sowing period or 14.60% higher compared to the third sowing period. The irrigation regime did not significantly affect water productivity, but it was observed that water productivity was highest in the D_1 and D_2 treatment ($11.79 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ and $11.78 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, respectively), which is 4.15% and 4.06% higher than in the F treatment. Similar to water productivity, water use efficiency was highest in the first sowing period ($1.19 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). If the irrigation regime is observed, the lowest water use efficiency was observed in the D_2 treatment ($1.01 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), while the full irrigation regime and the D_1 deficit irrigation treatment had similar water use efficiency ($1.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and $1.09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

The average protein content in the first and second sowing periods was 26.74% and 26.05%, respectively, which is significantly higher compared to the third sowing date, which achieved values of 19.45%. Protein content slightly increased in the deficit irrigation treatments compared to the full irrigation (23.94%, 24.02% and 24.28% in F, D_1 and D_2 treatments, respectively). The value of the average oil content within the first sowing period is 8.83%, which is 11.77% higher compared to the second sowing period, or 53.03% higher compared to the third sowing period. If the irrigation regime is observed, there was no statistically significant difference in oil content

between the treatments. The highest content was measured in the F treatment (7.53%).

By adopting deficit irrigation (D_1), we can achieve comparable yields to the full irrigation (F treatment), while saving significant amounts of water and enhancing the quality of bean grain.

Keywords: common bean, sowing period, irrigation regime, yield and quality, remote sensing, water productivity.

Research field: Biotechnical sciences

Specific research field: Soil and Water Management

UDK: 631.67:631.53.04]:635.652(043.3)

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ЦИЉ И ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА	3
3. РАДНЕ ХИПОТЕЗЕ.....	4
4. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ	5
4.1. Потенцијал гајења пасуља.....	5
4.2. Утицај рокова сетве на потребе за водом, ефикасност коришћења воде и принос.....	8
4.3. Повећање ефикасности коришћења воде редукованим наводњавањем.....	9
4.4. Савремене методе управљања водама (Примена даљинске детекције у пољопривреди) .	13
5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ.....	17
5.1. Поставка огледа.....	17
5.2. Климатски и метеоролошки услови гајења	19
5.3. Метеоролошка осматрања.....	21
5.4. Земљиште.....	25
5.5. Рокови сетве	29
5.6. Примењене агротехничке мере током огледа	30
5.7. Водни режими	30
5.8. Методе експерименталног истраживања.....	35
5.8.1. Мерење влажности земљишта	35
<i>Гравиметријски метод</i>	35
<i>Метода временски дефинисане рефлектометрије TDR (Time Domain Reflectometry)...</i>	36
5.8.2. Мерење покривности усева.....	36
5.8.3. Праћење пораста биомасе	37
5.8.4. Мерење индекса лисне површине (ИЛП)	38
5.8.5. Даљинска детекција и вегетациони индекси.....	38
5.8.6. Референтна евапотранспирација (ЕТо).....	42
5.8.7. Евапотранспирација усева (ЕТс)	42
5.8.8. Нормализована продуктивност воде (ПВ*).....	46
5.8.9. Ефикасност коришћења воде (ЕКВ).....	46
5.8.10. Испитиване компоненте приноса	47
5.8.11. Биохемијски квалитет плодова	47
5.8.12. Статистичка обрада података	47
6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	48
6.1. Рокови сетве и њихов утицај на дужину вегетационог периода и појединих фенофаза пасуља	48
6.2. Влажност земљишта на огледном пољу током трогодишњег периода истраживања	50
6.2.1. Гравиметријски метод	50
6.2.2. Метод временски дефинисане рефлектометрије (<i>TDR</i>)	57

6.3. Покровност земљишта лисном масом.....	60
6.4. Акумулација суве биомасе пасуља	63
6.5. Индекс лисне површине пасуља (ИЛП).....	65
6.6. Евапотранспирација културе (ЕТс) и стварна евапотранспирација (ЕТа)	66
6.7. Методе даљинске детекције као показатељи водног стреса и њихов потенцијал за процену приноса пасуља	73
6.7.1. Вегетациони индекси добијени коришћењем мултиспектралне камере постављене на беспилотну летелицу (дрон)	73
6.7.2. Температура биљног покривача и Биљни водни стрес индекс (<i>CWSI</i>)	78
6.8. Приноси и параметри приноса пасуља	89
6.8.1 Ефекат рока сетве и режима наводњавања на принос и компоненте приноса	89
6.9. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на нормализовану продуктивност воде (ПВ) и ефикасност коришћења воде (ЕКВ)	93
6.10. Хемијске особине зрна пасуља	97
7. ДИСКУСИЈА.....	101
7.1. Фенофазе пасуља у различитим роковима сетве	101
7.2. Влажност земљишта	102
7.2.1. Влажност земљишта на огледном пољу мерена гравиметријским методом у току три године истраживања	102
7.2.2. Влажност земљишта на огледном пољу мерена <i>TDR</i> методом у току три године истраживања	102
7.3. Покровност земљишта лисном масом, акумулација суве биомасе и индекс лисне површине	103
7.4. Евапотранспирација, транспирација и евапорација пасуља	104
7.5. Методе даљинске детекције као показатељи водног стреса и њихов потенцијал за процену приноса пасуља	105
7.5.1. Вегетациони индекси добијени коришћењем мултиспектралне камере постављене на беспилотну летелицу (дрон)	105
7.5.2 Температура лишћа и биљни водни стрес индекс (<i>CWSI</i>)	107
7.6. Приноси и параметри приноса пасуља	108
7.6.1. Просечан принос зрна пасуља, број махуна по биљци, сува биомаса, маса 1000 семена и жетвени индекс.....	108
7.7. Продуктивност воде (ПВ) и ефикасност коришћења воде (ЕКВ).....	112
7.7.1. Продуктивност воде.....	112
7.7.2. Ефикасност коришћења воде	113
7.8. Хемијске особине зрна пасуља	113
ЗАКЉУЧАК.....	115
ЛИТЕРАТУРА.....	121
Допунски материјал.....	133
Допунски материјал 1. Дневна средња, максимална и минимална температура ваздуха током периода истраживања	133

Допунски материјал 2. Просечна релативна влажност ваздуха током периода истраживања	134
ПРИЛОЗИ	136
Биографија	136
Изјава о ауторству.....	137
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада.....	138
Изјава о коришћењу.....	139

СПИСАК ГРАФИКА

- График 1. Валтеров клима дијаграм за период од 1998. до 2017. за подручје Сурчина
- График 2. Поређење климатских података током 2018. (А), 2019. (Б), 2020. (В) са вишегодишњим просеком (1988-2017) године
- График 3. Приказ дужине трајања појединих фенофаза пасуља у току трогодишњег периода истраживања (2018-2020) на експерименталном пољу у Старој Пазови
- График 4. Доступна количина воде у земљишту за пасуљ у свим испитиваним третманима (I-Ф, II-Ф, III-Ф, I-Д₁, II-Д₁, III-Д₁, I-Д₂, II-Д₂, III-Д₂) за 2018. годину
- График 5. Доступна количина воде у земљишту за пасуљ у свим испитиваним третманима (I-Ф, II-Ф, III-Ф, I-Д₁, II-Д₁, III-Д₁, I-Д₂, II-Д₂, III-Д₂) за 2019. Годину
- График 6. Доступна количина воде у земљишту за пасуљ у свим испитиваним третманима (I-Ф, II-Ф, III-Ф, I-Д₁, II-Д₁, III-Д₁, I-Д₂, II-Д₂, III-Д₂) за 2020. годину
- График 7. Влажност земљишта (%_{зап.}) мерена *TDR* сондама (Ф (%), Д₁ (%) и Д₂ (%)) и гравиметријски, норме заливања и падавине по испитиваним режимима заливања и роковима сетве током 2018. године
- График 8. Влажност земљишта (%_{зап.}) мерена *TDR* сондама (Ф (%), Д₁ (%) и Д₂ (%)) и гравиметријски, норме заливања и падавине по испитиваним режимима заливања и роковима сетве током 2019. године
- График 9. Влажност земљишта (%_{зап.}) мерена *TDR* сондама (Ф (%), Д₁ (%) и Д₂ (%)) и гравиметријски, норме заливања и падавине по испитиваним режимима заливања и роковима сетве током 2020. године
- График 10. Покровност земљишта лисном масом при режимима наводњавања (Ф, Д₁, Д₂) у три испитивана рока сетве (I, II, и III) током трогодишњег истраживања
- График 11. Акумулација суве биомасе при режимима наводњавања (Ф, Д₁, Д₂) у три испитивана рока сетве (I, II, и III) током трогодишњег истраживања
- График 12. Индекс лисне површине при различитим режимима наводњавања (Ф, Д₁, Д₂) у три испитивана рока сетве (I, II, и III) током трогодишњег истраживања
- График 13. Евапорација, транспирација и евапотранспирација пасуља при различитим роковима сетве (I, II, и III) и режимима заливања (Ф, Д₁, Д₂) у току 2018. године
- График 14. Евапорација, транспирација и евапотранспирација пасуља при различитим роковима сетве (I, II, и III) и режимима заливања (Ф, Д₁, Д₂) у току 2019. године
- График 15. Евапорација, транспирација и евапотранспирација пасуља при различитим роковима сетве (I, II, и III) и режимима заливања (Ф, Д₁, Д₂) у току 2020. године
- График 16. Сезонски тренд температуре биљног покривача на третманима по роковима сетве и режимима заливања током трогодишњег истраживања
- График 17. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2018. године
- График 18. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2019. године
- График 19. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2020. године
- График 20. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*) и влажност земљишта (%_{зап.}) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2018. године

График 21. Биљни водни стрес индекс ($CWSI$) и влажност земљишта ($\%_{зап}$) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2019. године

График 22. Биљни водни стрес индекс ($CWSI$) и влажност земљишта ($\%_{зап}$) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2020. године

График 23. Однос између биљног водног стрес индекса $CWSI$ и влажности земљишта ($\%_{зап}$) при различитим роковима сетве и режимима заливања током трогодишњег истраживања.

График 24. Дневна средња (T_{sr}), максимална (T_{max}) и минимална (T_{min}) температура ваздуха и падавине током 2018 године

График 25. Дневна средња (T_{sr}), максимална (T_{max}) и минимална (T_{min}) температура ваздуха и падавине током 2019 године

График 26. Дневна средња (T_{sr}), максимална (T_{max}) и минимална (T_{min}) температура ваздуха и падавине током 2020 године

График 27. Просечна влажност ваздуха током 2018. године

График 28. Просечна влажност ваздуха током 2019. године

График 29. Просечна влажност ваздуха током 2020. године

СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Локација огледне парцеле у Старој Пазови

Слика 2. Сетва пасуља на огледној парцели и постављање система за наводњавање

Слика 3. Шематски приказ огледа са системом наводњавања

Слика 4. Метеоролошка станица на огледном пољу

Слика 5. Сензори за праћење климатских параметара

Слика 6. Ендоморфологија педолошког профила и узимање узорака земљишта за лабораторијска истраживања

Слика 7. Приказ појединих етапа гравиметријског метода одређивања влажности земљишта

Слика 8. *TDR* сензори са дата логером постављеним на огледној парцели у Старој Пазови

Слика 9. Мерење покривности пасуља и анализа добијене фотографије

Слика 10. Мерење лисне површине пасуља на уређају *LC-3100C Area Meter*

Слика 11. Слика дрона са мултиспектралном камером (А), поступком радиометријске калибрације (Б) и почетком снимања (В)

Слика 12. Приказ термалне камере (*FLIR, T335*)

Слика 13. Просечне вредности *NDVI* индекса по третманима заливања и роковима сетве за 04.7.2019. (а) и 03.07.2020.(б)

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Просечне месечне вредности основних климатских параметара за период од 1988. до 2017. године за метеоролошку станицу Сурчин: температура ваздуха (T_{sr} -средња; T_{max} -максимална; T_{min} -минимална), релативна влажност ваздуха (RH), брзина ветра (V) и падавине (P)

Табела 2. Просечна месечна глобална радијација, релативна влажност ваздуха и брзина ветра током трогодишњег периода истраживања

Табела 3. Температурне суме пасуља у оквиру сваког рока сетве током трогодишњег истраживања на експерименталном пољу

Табела 4. Механички састав и текстурне класе земљишта на експерименталном пољу

Табела 5. Водно-ваздушне особине земљишта

Табела 6. Агрегатни састав земљишта добијен сувим просејавањем

Табела 7. Агрегатни састав земљишта добијен мокрим просејавањем

Табела 8. Индекси структуре испитиваног чернозема

Табела 9. Резултати основних хемијских својстава земљишта експерименталног поља

Табела 10. Садржај Mg, Na, Ca и микроелемената (Cu, Fe, Mn, Ni и Zn) у земљишту експерименталног поља

Табела 11. Датуми сетве пасуља током периода истраживања

Табела 12. Средње (T_{sr}) и минималне температуре (T_{min}) земљишта осредњене за период од 7 дана пре сетве

Табела 13. Примена средства за заштиту од болести и штеточина током трајања истраживања

Табела 14. Датуми и норме заливања (mm) пасуља по роковима сетви и третманима наводњавања током 2018. године

Табела 15. Датуми и норме заливања (mm) по роковима сетви и третманима наводњавања током 2019. године

Табела 16. Датуми и норме заливања (mm) пасуља по роковима сетви и третманима наводњавања током 2020. године

Табела 17. Опсеги и параметри просторне резолуције мултиспектралних података

Табела 18. Датуми снимања огледа током периода истраживања

Табела 19. Ефекат рока сетве на дужину трајања појединих фенофаза пасуља (број дана) током трогодишњег периода истраживања (2018-2020)

Табела 20. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на покривност (%) земљишта лисном масом током трогодишњег истраживања

Табела 21. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на акумулацију суве биомасе ($g \cdot m^{-2}$) током трогодишњег истраживања

Табела 22. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на индекс лисне површине ($m^2 \cdot m^{-2}$) током трогодишњег истраживања.

Табела 23. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на просечну стварну евапотранспирацију пасуља током трогодишњег истраживања

Табела 24. Просечне вредности вегетационих индекса и парцијална анализа варијансе утицаја режима наводњавања на испитиване вегетационе индексе у оквиру сваког рока сетве за 2019. годину

Табела 25. Просечне вредности вегетационих индекса и парцијална анализа варијансе утицаја режима наводњавања на испитиване вегетационе индексе у оквиру сваког рока сетве за 2020. годину

Табела 26. Пирсонов коефицијент корелације између средњих вредности вегетационих индекса (ВИ) и мерења са огледних парцела (ПК, ИЛП, Т, В3) током 2019. и 2020. године

Табела 27. Регресиона једначина за процену приноса пасуља на основу три изабрана вегетациона индекса

Табела 28. Ефекат рока сетве и режима наводњавања на принос и компоненте приноса пасуља

Табела 29. Анализа варијансе утицаја године, рока сетве и режима наводњавања на принос и компоненте приноса пасуља

Табела 30. Продуктивност и ефикасност коришћења воде пасуља при различитим роковима сетве и режимима наводњавања током трогодишњег истраживања

Табела 31. Анализа варијансе утицаја године, рока сетве и режима наводњавања на продуктивност воде, ефикасност коришћења воде и однос транспирације и евапорације

Табела 32. Ефекат рока сетве и режима наводњавања на садржај уља и протеина у зрну пасуља током трогодишњег периода истраживања

Табела 33. Анализа варијансе утицаја године, рока сетве и режима наводњавања на садржај уља и протеина у зрну пасуља

1. УВОД

Пораст температуре ваздуха, промена распореда и интензитета падавина, појава суше, недостатак воде за наводњавање озбиљна су претња биљној производњи (Fererer и Soriano, 2007; Forzieri et al., 2016; Stričević et al., 2020). У условима интензивне пољопривредне производње, очување ресурса земљишта и вода је од великог значаја. Како се при агротехничкој мери наводњавања користе велике количине слатке воде (око 70% од укупне количине обновљивих ресурса вода) посебан акценат се мора ставити на ефикасно коришћење овог ресурса. Око половине од процењене количине воде не стигне до усева. Пројекције климатских промена предвиђају смањење падавина на подручју југоисточне Европе (Olesen et al., 2011), уз повећање потреба за водом у сектору пољопривреде (Pastor et al., 2019). Јасно је да ће обезбеђивање рационалне количине воде за наводњавање одређених усева у будућности бити неопходно, како би се задовољиле све веће потребе уз уштеду воде.

Један од начина уштеде воде представља редуковано наводњавање. Редуковано наводњавање представља оптимизацију стратегије наводњавања, када се усев плански излаже водном стресу током читавог периода вегетације или само у појединим фенофазама, када је биљка мање осетљива на стрес суше (Geerts и Raes, 2009). На овај начин, смањује се потрошња воде и енергије у пољопривреди уз побољшање ефикасности коришћења воде, науштрб приноса, што ипак може довести до боље економске зараде у поређењу са постизањем максималних приноса.

Међутим, поред недостатка воде, пораст људске популације на планети условљава све веће захтеве за храном, те ће још један од изазова с којим се суочава пољопривредна производња бити проширење и унапређење биљне производње у већ погоршаним климатским условима. Дакле, неопходно је обезбедити довољно здравствено-безбедне, високо квалитетне хране уз профитабилну производњу, а при том очувати земљиште и ефикасно користити воду, све с циљем одрживе и стабилне пољопривреде у дужем временском периоду.

Добар план повећања производње хране може бити и гајење накнадних усева, након жетве озиме пшенице, уљане репице или раног поврћа уз примену наводњавања. Поред проширења производње, пољопривредници би обезбедили већу економску добит са њихових парцела. На просторима Србије, као накнадни усеви најчешће се гаји силажни кукуруз, соја, сточни грашак, сунцокрет, крмни сирак, суданска трава и велики број повртарских култура. Гајењем више усева у сезони повећава се обим производње и профит, али се намеће проблем недовољних количина воде, односно захтева се вештина ефикасног коришћења воде током целе вегетационе сезоне.

Применом редукованог наводњавања усева гајених у различитим роковима сетве (као накнадни усев), постигло би се уједно и рационално управљање водним ресурсима уз повећање производње хране. Оваква комбинација може представљати један од начина за адаптацију на новонастале глобалне промене с којима се суочава читава пољопривредна производња.

Проширење и интензивирање пољопривредне производње захтева и примену нових метода за праћење стања вегетације и управљање системима наводњавања у циљу уштеде воде и оптимизације приноса. Методе даљинске детекције, као брзе, јефтине и недеструктивне, све чешће се користе за планирање наводњавања, исхрану и заштиту биљака, процену стања усева и што бољу примену многобројних агротехничких мера (Shanmugaraja et al., 2019). Применом беспилотних летелица (дронова) и мултиспектралних камера могу се добити просторни прикази стања вегетације у високој резолуцији, што омогућава прецизну оцену стања вегетације и снабдевености усева водом (Tsouros et al.,

2019). Такође, процена температуре биљног покривача применом термовизијских камера, може показати да ли је биљка у водном стресу пре него што је то видљиво голим оком.

Праћење стања усева методама даљинске детекције, временом ће се усавршавати и постати неопходан алат за прецизно управљање у пољопривреди, што може значајно допринети изазовима с којима се суочава пољопривредна производња 21. века. Дакле, проширење пољопривредне производње уз рационалну употребу воде може бити спроведено уз помоћ недеструктивних метода даљинске детекције.

За ово истраживање одабрана је биљна врста пасуљ (*Phaseolus vulgaris*, L.). Првенствено, јер представља основно вариво у исхрани светског становништва (Graham и Ranalli, 1997) и један је од најбогатијих извора протеина који су биолошки највреднији у људској исхрани (Терић et al., 2007). С друге стране, просечни приноси пасуља на простору Србије износе тек нешто више од $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, а Србија константно повећава увоз пасуља. Према последњим подацима на увоз пасуља је потрошено 17,2 милиона еура (FAOSTAT, 2023). Поред наведеног, многе сорте пасуља имају кратку вегетацију, одликује их средња толерантност на сушу и на високе температуре током периода цветања, што их чини погодним за гајење у касним роковима сетве или као накнадни усев. Треба напоменути још да је пасуљ познат као култура која се гајила као здружени усев, најчешће са кукурузом, док се данас гаји као чист усев. Због углавном плитког кореновог система, пасуљ има средње захтеве за водом, док се највеће потребе јављају током периода цветања и образовања махуна, када суша и наноси велике штете биљкама. Пасуљ се у нашем климату углавном гаји у условима природне снабдевености водом, а за добар раст и задовољавајући принос неопходно је обезбедити од 250 до 500 mm воде (Brouwer и Heibloem, 1986; Тодоровић и сар., 2008).

2. ЦИЉ И ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ истраживања предвиђен овом докторском дисертацијом био је испитивање потенцијала гајења пасуља у редовним и касним роковима сетве (потенцијално гајен као накнадни усев) уз дефинисање потребе пасуља за водом, ради дефинисања ефикасног и рационалног режима наводњавања, чији ће крајњи резултат бити висок принос и квалитет зрна. Затим, циљ је да се повећа продуктивност и ефикасност коришћења воде у свим сетвеним роковима, да се одреде индекси водног стреса и сагледа могућност примене метода даљинске детекције за успостављање оптималног режима наводњавања пасуља.

Дефинисањем оптималних режима заливања и утврђивањем потенцијала гајења пасуља као пострног усева, омогућило би се интензивније гајење ове врсте и значајно унапредило спровођење адекватног плодореда, уз очување природних ресурса као што су земљиште и вода.

3. РАДНЕ ХИПОТЕЗЕ

Основне хипотезе од којих се полази у истраживању

Основне хипотезе од којих се полази у оквиру ове докторске дисертације су следеће:

- У истраживањима се полази од претпоставке да ће у условима умерене суше у свим роковима сетве (третман редукованог наводњавања када је обезбеђено 80% ЕТс - евапотранспирације културе) доћи до незнатног смањења приноса пасуља, али уз значајно повећање ефикасности коришћења воде, продуктивности и уштеде воде;
- У третману редукованог наводњавања (60% од ЕТс) очекује се значајније смањење приноса у поређењу са пуним наводњавањем у свим роковима сетве (100% од ЕТс), али и већа ефикасност коришћења воде, као и значајне уштеде воде за наводњавање;
- Сетвени рокови неће значајно утицати на принос пасуља при пуном наводњавању;
- Очекује се да између усева из различитих рокова сетве неће постојати значајне разлике у квалитету зрна пасуља, при пуном наводњавању;
- Очекује се да између пуног и редукованог третмана заливања неће постојати значајне разлике у квалитету зрна пасуља;
- Претпоставља се да ће веће потребе пасуља за водом бити у пострним роковима сетве у поређењу са редовном сетвом;
- Режим наводњавања ће значајно утицати на морфолошке особине и принос пасуља;
- Полази се од претпоставке да ће методе даљинске детекције дати поуздане индикаторе водног режима биљке на основу којих би се могао успоставити режим заливања односно процена утицаја суше на принос.

4. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Пољопривреда је највећи потрошач слатке воде на свету која просечно користи око 75% од укупно обновљивих извора (FAO, 2014; Finogenova et al., 2019), од чега за наводњавање одлази око 70% (FAO, 2006; Foley et al., 2011), па чак и 80% у земљама аридне климе (Пакистан, Израел, Иран, Уједињени Арапски Емирати итд.). Овако великим количинама воде може се заливати свега 20% обрадивих површина у свету, са којих се производи око 40% хране (Droogers et al., 2010). Недостатак воде већ представља озбиљну глобалну претњу, а Светски економски форум је 2015. године на својој листи хитних глобалних ризика истакао „водене кризе“. У међувремену, расте забринутост због будућих залиха воде, јер пораст становништва захтева производњу већих количина хране, а самим тим и потрошњу воде, док све учесталије промене климе утичу на смањење броја изворишта вода (De Fraiture и Wichelns, 2010; Haddeland et al., 2014; Hoekstra, 2014).

Према истраживањима и сведочењима самих агронома и пољопривредника у Србији, биљна производња како у садашњим тако и у будућим климатским условима биће угрожена услед пораста температуре ваздуха, промена распореда и количине падавина, појаве дужих периода суше, екстремних временских непогода (топлотни и хладни таласи), олуја и града (Forzieri et al., 2016; Stričević et al., 2020a; Stričević et al., 2020b). Уз то, у другим земљама наводе да ће недостатак воде за наводњавање бити главна претња производњи хране (Fereges и Soriano, 2007; Pastor et al., 2019). Глобалне климатске промене непрестано подстичу човечанство за проналажење нових начина за постизање стабилне и одрживе пољопривредне производње, уз очување најважнијих природних ресурса, земљишта и вода.

Предложено је много начина да се решавају текући проблеми попут смањења разлика између достигнутих и потенцијалних приноса, повећања продуктивне способности усева (најчешће коришћењем нових технологија и улагањем у истраживања), смањења отпада, промена начина исхране и проширивања пољопривредне производње. Све наведено мора бити координирано у вишеструкој и повезаној глобалној стратегији како би се осигурала одржива и правична производња и прерасподела хране (Godfray et al., 2010). Мере прилагођавања пољопривредне производње у Србији су већ препознате, попут наводњавања, одводњавања, адаптација постојећих технологија гајења усева, измена биљних врста и сортимената, правилан избор сортимената, увођење и коришћење сорти толерантнијих на стресне услове, прилагођавање плодореда, измене у времену и густинама сетве и сл. (<https://www.klimatskepromene.rs/wp-content/uploads/2017/09/NAP-UNDP-2015-srpski.pdf>; Стричевић и сар., 2019).

Истраживањима се закључује да се у наредном периоду очекује померање рокова сетве и промена потреба за наводњавањем (Молнар и сар., 2003; Lipovac et al., 2018), док Stričević et al. (2020a; 2020b) указују да пољопривредници Србије већ примењују поједине адаптационе мере (померање рокова сетве, наводњавање, избор култура и сортимената и сл.) како би ублажили ефекте климатских промена.

Гајење одређених култура кратке вегетације као накнадних усева, у касним роковима сетве уз примену адекватне количине воде за наводњавање може бити добар одговор на изазове као што су несташица воде и сигурност хране.

4.1. Потенцијал гајења пасуља

Када говоримо о пасуљу, производњу ове махунарке у нашој држави карактеришу ниски и колебљиви просечни приноси. Производња пасуља данас се најчешће одвија без наводњавања, у чистом усеву са мало механизованих операција (Тодоровић и сар., 2003; Ћота и Елезовић, 2005; Бошњак и Васић, 2006), па у складу са тим, немамо званичних информација и истраживања о потребама ове културе за водом.

Пасуљ (*Phaseolus vulgaris*) се сматра најважнијом махунарком за исхрану људи широм света (Graham и Ranaili, 1997; Cuadra et al., 2000; Terić et al., 2007). Важан је извор протеина и влакана (Bennink, 2005; Nayat et al., 2013, Basso Los et al., 2018). Годишње се укупно произведе око 26 милиона тона овог усева (FAOSTAT, 2018). У Србији, пасуљ се производи на површини од око 9100 хектара, са просечним приносом око 1 t·ha⁻¹ (Статистички годишњак РС, 2020). Традиционално, на нашим просторима гајио се као међуусев у кукурузу. Југославија је пре Другог светског рата била један од великих европских произвођача пасуља, са задовољавајућим просечним приносима (Vulf et al., 1937). Увођењем хибрида кукуруза који су захтевали гушћи склоп биљака, пасуљ се све ређе гајио као међуусев (Росић, 1957; Видовић, 1964). Осавремењавањем пољопривредне производње, нестала је могућност гајења пасуља у здруженом усеву са кукурузом. У претходних неколико година, детерминантне сорте пасуља почеле су да се производе на већим површинама, што је отворило врата за нова истраживања у производњи ове врсте у чистом усеву.

Пасуљ или грах (*Phaseolus vulgaris* L.) пореклом је из Америке. Пренет је у Европу крајем XVI века у другом Колумбовом путовању, а у наше пределе стигао је из два правца, први из Турске преко Македоније, где су се ширили крупнозрни бели пасуљи и многоцветни пасуљ и други са севера, из Француске и Италије у Војводину, стигао је пасуљ са семењачом у боји и са шареним семењачама. Пасуљ је зељаста једногодишња биљка из породице *Fabaceae*, род *Phaseolus*, врста *Vulgaris*. Сматра се да данас постоји више од 1000 форми ове биљке. Дели се на две подврсте; *ssp. volubilis* за индетерминантне и *ssp. nanus* за детерминантне врсте (Tudžarov, 1981).

Основи спољашни услови за раст и развој гајених биљака јесу светлост, топлота, вода и земљиште. За пасуљ, оптимум фотосинтетичке активне радијације је око 20.000 лукса. Већина сорти врсте *Phaseolus vulgaris* које се данас узгајају су биљке кратког дана тј. у условима дневног осветљења до 12 сати убрзано цветају, што је нарочито важно за касну сетву пасуља. Сорте кратког дана, тамо где је могуће наводњавање, погодне су за пострну сетву (Тодоровић и сар., 2008).

Пасуљ потиче из топлих подручја, те не подноси температуре испод 0 °С, такође температуре изнад 35 °С нису погодне за раст и развиће. Минимална температура клијања и ницања варира од 8 °С до 12 °С, док је најповољнија између 18 °С и 25 °С, када ниче за 4 до 10 дана, у зависности од стања земљишта и особине семена. Пасуљ не треба сејати исувише рано у пролеће, јер се раст биљака зауставља на 5 °С. Оптимална температура за цветање и заметање махуна варира у опсегу од 20 °С до 25 °С, а цветање се зауставља при температурама мањим од 15 °С, односно вишим од 35 °С. Летње температуре изнад 30 °С до 35 °С, посебно уз смањену влажност ваздуха онемогућавају оплодњу. Оплодња изостаје и када је температура нижа од 15 °С (Тодоровић и сар., 2008). Високе температуре у периоду цветања доводе до смањеног броја махуна и опадања приноса семена, због одбацивања цветова и махуна (Monterroso и Wien, 1990; Konsens et al., 1991). Слабо је отпоран на мразеве, па температуре од -3 °С потпуно уништавају клијанце, -2 °С биљке у фази цветања, -4 °С у фази сазревања. Закључује се да је пасуљ топлољубива биљка која се најбоље развија у распону температура од 15 °С до 30 °С, али не подноси вредности изван датих опсега (Гламочлија, 2012).

Потребна температурна сума у току вегетационог периода пасуља креће се између 1900 °С и 3000 °С. На основу температурних сума, које су сортна специфичност, праве се планови рокова сетве махунарки попут бораније и пасуља (Cota, 1989).

Предуслов за добру производњу пасуља је дубоко, растресито, добро припремљено земљиште са рН вредношћу од 6,5 до 7. Развој квржичних бактерија на кореновом систему изостаје када су земљишта киселе реакције, а самим тим смањује се и снабдевање биљке азотом. Најпогоднија земљишта за гајење пасуља су чернозем, ливадска црница и поједина

алувијална земљишта, док се са нешто мањим успехом може производити на смоницама, гајњачама, добро дренираним ритским црницама.

Са становишта потреба за водом, пасуљ има умерене потребе и економично је троши. За добар раст, развој и висок принос потребно је од 300 mm до 500 mm падавина (Brouwer и Heibloem, 1986). Међутим, пасуљ се може гајити успешно и у подручјима са 200-250 mm падавина правилно распоређених током вегетационог периода (Гламочлија, 2012). За добро ницање пасуља, поред адекватно припремљеног земљишта неопходно је обезбедити довољну количину воде за бубрење и клијање семена. У почетним фенофазама раста, пасуљ добро подноси краткотрајну сушу, док у фенофазама цветања, сазревања и наливања зрна може доћи до значајних штета. Око 60% производње пасуља у свету одвија се у условима водног стреса (Рао, 2014). Због неравномерног распореда падавина, пасуљ највише пати у репродуктивној фази (Laing et al., 1984). Узевши у обзир да се највећи део генеративног периода одвија у летњем периоду, када се јавља највећи дефицит воде, недостатак влажности може узроковати одбацивање цветова и махуна (Rezene et al., 2013; Mathobo et al., 2017), што за крајњу последицу има смањење приноса пасуља (Terán и Singh, 2002; Liebenberg, 2017). Пасуљ спада у врло осетљиве биљне врсте. Климатске промене су узрок временских услова које отежавају производњу ове махунарке, што због екстремних периода суше односно кише, тако и због интензивирања напада изазивача биљних болести (Hagedorn и Inglis, 1986) и инсеката (Тодоровић и сар., 2008). Сорте које потичу из семиаридних подручја субтропске климе боље подnose сушу. То су генотипови ниских жбуноликих стабала, уских листова и ситних лоптастих семена тамне боје (Гламочлија, 2012).

Технологија производње пасуља је разноврсна. Може се гајити у чистом усеву или сејати у наизменичне траке (најчешће сорте ниског раста, тзв. чувавци), и у здруженом усеву, традиционално са кукурузом (сорте високог раста, индетерминантне, тзв. пузавице).

Предсетвена припрема земљишта се изводи у циљу формирања растреситог површинског слоја земљишта, како би се постигло што боље и уједначеније ницање семена. Стварање покорице на земљишту услед пљускова, што се чешће дешава у пострној сетви, може довести до неуједначеног ницања семена, и неравномерног пораста биљака, што омета њен даљи развој и редукује принос. Када говоримо о сетви ниских сорти, да би се постигао склоп од око 400.000 хиљада биљака по хектару, сетва се обавља са размаком између редова од 50 cm и размаком између биљака у реду од 5 cm.

Прву култивацију треба извршити од фазе првог до фазе другог правог листа, не дубље од 10 cm. Наредне култивације треба да су плиће у односу на прву (Тодоровић и сар., 2008).

Током вегетационог периода пасуљ износи велике количине азота, фосфора и калијума из земљишта. Према истраживањима Lešić et al. (1981), ова култура приносом зрна од 2430 kg·ha⁻¹ износи 87 kg·ha⁻¹ азота, 27 kg·ha⁻¹ лакоприступачног фосфора (P₂O₅) и 37 kg·ha⁻¹ калијума (K₂O). У почетним фазама развоја пасуља јавља се велика потреба за азотом и калцијумом, све до тренутка док се не развију квржичне бактерије на корену (Кастори, 1983). Гламочлија (2012), сматра да у условима оптималне активности симбиотске бактерије обезбеде око 80% потреба пасуља за азотом. Препорука је да се на черноземима и ритским земљиштима 30% азотних ђубрива унесе на јесен са целокупном дозом фосфора и калијума, а остала количина у пролеће (Тодоровић и сар., 2006). Прихрањивање се препоручује када се пасуљ узгаја на лаким и пропусним земљиштима из којих се брзо испира лакорастворљиви азот. Фертиригација је добар начин прихране, када се усев гаји под системом за наводњавање.

Поред гајења пасуља у редовној сетви, због кратке вегетације може се сејати и касније, све до почетка јула месеца, те може бити интересантан као накнадни усев.

4.2. Утицај рокова сетве на потребе за водом, ефикасност коришћења воде и принос

Један од начина за боље искоришћавање земљишта, а уједно и повећање приноса и прихода са јединице површине јесте смењивање више усева годишње на истом месту (Молнар и сар., 2003). Војводина је такво подручје где су две жетве годишње могуће у зависности од избора усева (Vučić, 1981) и у условима наводњавања (Бошњак, 1999).

Када се говори о месту у плодореду, може се рећи да су махунарке прилагођене на различите системе и услове гајења. С обзиром да постоји пуно сорти кратке вегетације, махунарке се могу гајити и као главни и као пострни (накнадни) усев. Од свих махунарки, до сада је код нас најзаступљенија у пострној сетви била соја (Миладиновић и сар., 2006; Максимовић и сар., 2008). Бројна истраживања говоре да се поред соје, и пасуљ може гајити у пострној сетви како у свету (Babačian et al., 2012; Tunc et al., 2020) тако и у агроколошким условима Србије (Васић и сар., 2007; Пандуровић и сар., 2019).

Испитивање оптималних и касних рокова сетве на махунаркама вршено је у различитим агроколошким условима широм света.

Утицај наводњавања, рока сетве и примене азота на квалитет и принос грашка на подручју Ирана истраживали су Ghodsi et al. (2022). Примењена су три режима заливања (50% од пољског водног капацитета (ПВК), 75% од ПВК и 100% од ПВК), два рока сете (фебруар и март) и третман азотног ђубрења (са и без примене). Утврдили су да се садржај хлорофила, индекс лисне површине, принос и продуктивност воде значајно повећавају у касној сетви. Редукованим наводњавањем може се уштедети најмање 25% воде без значајних смањења приноса.

Manning et al. (2020) истраживали су како различити рокови сетве (половина априла, почетак маја и крај маја/почетак јуна) на две локације (подручје Аустралије) уз примену заливања утичу на принос више генотипова боба. Највећи приноси остварени су сетвом почетком маја ($3,05 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) уз постизање највећег жетвеног индекса (0,44), док се најнижи приноси постижу сетвом у првој половини априла ($2,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Касном сетвом смањује се време сазревања, док се сетвом крајем маја/почетком јуна значајно смањује маса 1000 семена.

Tunc et al. (2020) су испитивали утицај пострне сетве на компоненте приноса десет сорти пасуља. Двогодишњи оглед је постављен као потпуно случајан блок систем са три понављања. Оглед је сејан 16. јуна током 2017. године и 20. јуна током 2018. године. Наводњавање је вршено методом капања. Остварени су просечни приноси од $1912 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (2017) и $1505 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (2018). Закључено је да је производња пасуља као другог усева могућа уз примену наводњавања. Babačian et al. (2012) су испитали утицај рока сетве и густине усева пасуља. Резултати указују да је прва сетва имала већу масу 1000 семена, док је у другој сетви забележен мањи број махуна по биљци и смањен број зрна по биљци. Такође, указали су и да периоди сетве нису значајно утицали на висину биљке и жетвени индекс. Zeleke и Nendel, (2019) испитивали су утицај два рока сетве и четири режима наводњавања на пораст и принос боба (*Vicia faba* L.). Закључили су да одлагањем сетве долази до опадања приноса, масе 1000 семена и покривности усева, док се број махуна по биљци није значајно разликовао у поређењу са редовним роком сетве. Третман наводњавања у репродуктивној фази, остварио је еквивалентне приносе као режим пуног наводњавања уз уштеду воде од 28%. Arredondo et al. (2020) испитали су утицај касне сетве пасуља на подручју семиардине климе Мексика у модификованим климатским условима, који симулирају повећање амбијенталне температуре за $2 \text{ }^\circ\text{C}$ уз снижене падавине за 30%. Истраживања су показала да се са повећањем температуре за $2 \text{ }^\circ\text{C}$ принос пасуља такође повећава и у каснијим роковима сетве.

Истраживања могућности гајења пасуља у пострној сетви (након жетве јечма) обавили су Васић и сар. (2007), испитујући укупно 16 генотипова. Доказали су да се пасуљ може успешно гајити у пострној сетви уз примену наводњавања методом кишења. У пострној сетви током прве године истраживања примењена је норма наводњавања од 90 mm, а у току друге године примењено је 195 mm. Код неких генотипова забележен је повећан број махуна по биљци, али смањен број семена по махуни. Приноси у пострној сетви износили су око $1900 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, тек нешто мање од просечних приноса из редовне сетве. Закључено је да се пасуљ у пострној сетви може сејати најкасније до почетка јула месеца.

Пандуровић и сар. (2019) су у четворогодишњем периоду истраживали могућност производње пасуља сорте *сремац* у условима природне снабдевености водом, на подручју Шапца. Прве три године сејан је пасуљ у редовној пролећној сетви, док се четврте године пасуљ сејао као пострни усев. Приноси по години су се кретали од $1510 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ до $2520 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (2015. и 2018. год.). У пострној сетви пасуљ је сејан 6. јула, а принос је износио $1980 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, чиме се закључује да у повољним годинама са аспекта распореда падавина пасуљ може успешно производити и у касним роковима сетве као пострни усев.

4.3. Повећање ефикасности коришћења воде редукованим наводњавањем

Када говоримо о наводњавању, постоји више начина за повећање ефикасности коришћења воде у циљу њеног рационалног коришћења. Неки од начина могу бити редуковано наводњавање (РН) и регулисано редуковано наводњавање (РРН), који уједно представљају адаптивну меру за одржавање високих приноса уз значајне уштеде воде (Zhang et al., 2021), али и повећање продуктивности воде (ПВ) (Rathore et al., 2021).

Редуковано заливање је вид оптимизације стратегије наводњавања, где се заливањем дозвољава да усев уђе у стрес суше, ради уштеде воде уз минималне утицаје на смањење приноса (Geerts and Raes, 2009). Током фенофаза толерантнијих на сушу (најчешће интензивни пораст и сазревање) биљке се излажу стресу суше. У литератури се такође среће термин „заливање усева по потреби“ (eng. *Supplemental irrigation*), који се односи на интервентно заливање усева током читаве сезоне. Оба термина се користе као концепт уштеде воде за наводњавање.

Концепти продуктивности воде (ПВ) и ефикасности коришћења воде (ЕКВ) су основни параметри у процени стратегије редукованог наводњавања (Molden et al., 2003). Редуковано наводњавање има за циљ стабилизацију приноса уз максимизирање ПВ, на уштрб постизања максималних приноса. Поред уштеде воде, редукованим наводњавањем, смањује се испирање хранива из зоне кореновог система, што доприноси бољем квалитету подземних вода (Ünlü et al., 2006) и ефикаснијем коришћењу минералних материја у земљишту.

Постоји много истраживања о томе како редуковано наводњавање утиче на морфологију, квалитет и принос плодова. Правилна примена ове мере захтева темељну процену економског утицаја смањења приноса изазваног стресом суше (English, 1990; Sepaskhah et al., 2006). За адекватну стратегију редукованог наводњавања потребна су вишегодишња истраживања у огледима на отвореном пољу.

Zhang et al. (2019) су закључили да редуковано заливање током фазе наливања зрна кукуруза значајно снижава принос у поређењу са редукованим заливањем током фазе вегетативног пораста, док Comas et al. (2019) предлажу мању норму заливања током касне фазе интензивног пораста, како би се заливање интензивирало током наливања зрна кукуруза.

Mila et al. (2017) су истраживали ефекат редукованог заливања на ПВ, принос и економску оправданост производње сунцокрета. Третмани наводњавања од 100%, 80%, 60% и 40% од евапотраспирације културе (ЕТс) су примењивани на сунцокрет у вегетативној фази, фази пред цветања и формирања главице. Максималне вредности ПВ добијене су на

третманима на којима је успостављен 60% дефицита воде у току вегетативног пораста и фазе пред цветање. Bell et al. (2018) су истраживали ефекат редукованог наводњавања на принос и компоненте приноса сирка. Закључили су да је наводњавање током критичних фенофаза, најбоље са аспекта ефикасности коришћења воде и приноса, у поређењу са пуним наводњавањем.

Редуковано заливање у одмаклој фази пораста, на 17 генотипова уљане репице у циљу уштеде воде, истражили су Euni-Nargeseh et al. (2019). Садржаји олеинске киселине су се повећали у третманима редукованог заливања. Најбољи генотип постигао је високе приносе ($3892,45 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), проценат незасићене масне киселине (87,63%) и ниске вредности засићене масне киселине (7,98%), што га чини најпогоднијим за гајење у условима дефицита воде у семиаридним климатима.

Kifle и Gebretsadikan (2016) су поставили оглед са осам режима наводњавања из бразде код кромпира. Пет третмана заснивало се на пуном заливању само у појединим фенофазама кромпира, док су преостала три третмана обухватала редуковано заливање од 25%, 35% и 50% од ЕТс. Резултати показују да је кромпир најосетљивији на недостатак воде током цветања. Наводњавање са 65% од укупних потреба за водом током читаве сезоне показало се боље од редукованог наводњавања само у периоду цветања, док се са дефицитом од 25% постигло ефикасније коришћење воде него у пуном наводњавању.

У Србији је извршено неколико истраживања о ефекту редукованог заливања ратарских и повртарских култура. У огледима на отвореном пољу истраживани су утицаји редукованог заливања парадајза и паприке (Djurović et al., 2016; Ćosić et al., 2018), канабиса (Pejić et al., 2018) и соје (Gajić et al., 2018).

Ефекат режима наводњавања и примене каолина на квалитет и ефикасност коришћења воде парадајза анализирали су Djurović et al. (2016). Поређењем третмана пуног (100% од ЕТс) и редукованог наводњавања (50% од ЕТс), констатовани су већи приноси парадајза за 21% у третману пуног наводњавања, али и мања потрошња воде за 28% у редукованом наводњавању.

Ćosić et al. (2018) су истраживали утицај различитих нивоа наводњавања и примене каолина на температуру биљног покривача паприке и парадајза. Трогодишњи оглед је постављен као двофакторски потпуно случајни блок систем. На паприци је примењено три режима наводњавања (100%, 80% и 70% од ЕТс), а на парадајзу два режима (100% и 50% од ЕТс). Каолин је примењиван у концентрацији од 5% на све третмане, док је контрола представљала третмане без примене каолина. Резултати су показали да је наводњавање значајно утицало на температуру листа. Уочен је јасан тренд пораста температуре биљног покривача са смањењем норме заливања. Међутим, није уочена значајна разлика између биљног водног стреса и приноса паприке и парадајза.

Pejić et al. (2018) истраживали су ефекат наводњавања методом капања на принос и евапотранспирацију канабиса. Примењен је један третман са наводњавањем на основу билансирања воде и контрола без наводњавања. Током вегетације наводњавањем је додато 320 mm воде. Укупан утрошак воде на евапотранспирацију биљака у условима наводњавања износио је 470 mm, а у условима без наводњавања 129 mm. Закључак је да је наводњавање значајно повећало принос стабљике, свежу масу листова и цвасти, пречник стабљике и висину биљке. Биљке су усвојиле највише воде током појаве мушких цветова (54% од укупне количине воде).

Утицај различитих нивоа наводњавања на принос, жетвени индекс и продуктивност воде соје, гајене на отвореном пољу су испитивали Gajić et al. (2018). Трогодишњи експеримент је обухватао четири нивоа заливања (100%, 65%, 40% и 0% од пољског водног капацитета). Наводњавање је вршено када садржај приступачне воде у земљишту достигне вредности од 50%. Добијени резултати су показали да су третмани са заливањем у поређењу

са контролом просечно повећали принос соје за 29% уз повећање продуктивности воде за 13%. Највиши приноси постигнути су на редукованом заливању за 65% од пољског водног капацитета (ПВК).

Постоје бројна истраживања редукованог наводњавања махунарки у свету. Утицај интервентног заливања на компоненте приноса грашка испитивали су Dogan et al. (2015). Примењено је пет нивоа заливања, 25%, 50%, 75%, 100% и 125% од потребне количине воде и контрола (природна снабдевеност водом). Принос биомасе кретао се од 1300 kg·ha⁻¹ (контрола) до 3450 kg·ha⁻¹ (пуно заливање). Закључили су да је за оптималан принос биомасе и зрна потребно пуно наводњавање, док се редукованим заливањем може очекивати значајно смањење приноса.

Saleh et al. (2018) су испитивали утицај наводњавања на пораст, принос и хемијске особине две сорте бораније. Истраживање је обављено у стакленику са контролисаним условима, сетва је извршена у саксијама, које су наводњаване методом кап по кап. Примењена су три третмана наводњавања; 100%, 80% и 60% од ЕТо. Третман са редукованим заливањем 80% од ЕТо показао се најпродуктивнијим у погледу ефикасности коришћења воде (5,68 g·l⁻¹), броја махуна по биљци (15 махуна) и приноса (1188 g·m⁻²). Пуно наводњавање (100% од ЕТо) није показало повећање приноса у поређењу са редукованим третманом 80% од ЕТо.

Као што је већ речено, за нормалан раст и развој пасуља током вегетације потребно је обезбедити 250-500 mm воде. Са 3-4 турнуса заливања уз заливну норму од 30 до 40 mm могу се постићи високи приноси. Разлике у количинама воде потичу од разлика температуре на појединим локалитетима, дужине вегетације, сорти пасуља итд. Потребне пасуља за водом мењају се по фенофазама развића. Велика количина воде троши се за бубрење и ницање. Семену треба 120 g воде на 100 g његове масе за успешно покретање процеса ницања. У време сетве, влаге у земљишту углавном има довољно, међутим с обзиром да у појединим годинама имамо јако сува пролећа, са малом резервом воде због сувих зима, често се при сетви пасуљ одмах залива. Пасуљу је највише воде потребно на преласку из вегетативне у генеративну фазу, тј. почетком цветања, и тај период вршне потрошње траје око три недеље, а завршава се у фази почетка наливања зрна. У том периоду троши се чак и до 7,5 mm воде дневно (Тодоровић и сар., 2008).

Samros et al. (2021) су испитивали ефекат редукованог наводњавања на физиологију и принос пасуља. Извршена су два експеримента на отвореном пољу, први је постављен у саксијама, а други на стандардној парцели. Испитиване су четири сорте пасуља; две индетерминатног и две детерминатног пораста. Примењена су три нивоа заливања у саксијама; 100%, 50% и 30% од евапотранспирације усева (ЕТс). На парцели су примењена два третмана; 100% и 40% од ЕТс. Истраживачи су закључили да су третмани са 30% и 40% од ЕТс значајно утицали на смањење приноса пасуља, међутим третман 50% од ЕТс се показао као добар у смислу уштеде воде, али науштрб приноса пасуља, који није био статистички значајан у односу на друге редуковане третмане. Како би истражили утицај суше на морфологију и физиологију пасуља, Rasti Sani et al. (2017) су обавили експеримент у заштићеном простору са две сорте и четири режима заливања и то 100% (контрола), 74%, 50% и 25% од пољског водног капацитета (ПВК). Анализа варијансе показала је да је суша утицала на све морфолошке особине истраживане културе. Све сорте су у свим третманима показале смањење лисне површине, суве масе махуна, висине стабла и суве масе корена у поређењу са контролним третманом. Анализа варијансе такође је показала да је на све физиолошке особине (релативни садржај воде, индекс стабилности мембране, фотосинтетска ефикасност, индекс хлорофила, ефикасност коришћења воде, отпорност стома) утицао недостатак воде.

Satriani et al. (2018) су испитивали утицај примене хидрогела и различитих режима заливања на принос пасуља у области јужне Италије. Хидрогел чини групу полимерних

материјала, чија хидрофилна структура им омогућава да држе велике количине воде. Примењена су три третмана наводњавања; третман са 100% од ЕТс и без примене хидрогела, третман са 70% од ЕТс и применом 5 g хидрогела по биљци, и третман са 50% од ЕТс и применом 10 g хидрогела по биљци. Највећи приноси пасуља добијени су у третманима са 100% и 50% од ЕТс. Сходно томе, закључак је да се комбинацијом хидрогела и редукованог наводњавања могу постићи високи приноси уз уштеду воде. Karimzadeh-Soureshjani et al. (2019) су истраживали утицај редукованог наводњавања на принос, морфологију и биохемију две сорте пасуља (сорта осетљива (1) и отпорна (2) на стрес). Примењиван је систем наводњавања из бразде, са три различите норме заливања; третман без стреса суше, третман умереног стреса суше и третман јаког стреса суше. Генотип 1 је остварио веће приносе у условима добре снабдевености водом, међутим значајан пад приноса забележен је условима суше. С друге стране, генотип 2 је забележио нижи пад приноса у условима умереног и јаког стреса суше.

Webber et al. (2006) су одређивали ефикасност коришћења воде (ЕКВ) пасуља наводњаваног на традиционалан и унапређен начин из бразда. Оглед је изведен на уобичајеном сортименту пасуља и на мунго пасуљу, након жетве пшенице. Примењене су три норме заливања (пуна норма, норма умереног стреса и норма јаког стреса). Закључено је да оба начина заливања могу умањити потребе биљке за водом и повећати ЕКВ напредном методом за наводњавање из бразде уз примену редукованог наводњавања и до 50% без губитка приноса у поређењу са пуном нормом заливања.

Abd El-Wahed et al. (2017) истраживали су на усеву пасуља ефекат два начина малчирања (слама пиринча и примена стајњака), три режима наводњавања методом кап по кап (100%, 85% и 70% од ЕТс) и четири дебљине слоја малча (0 cm, 3 cm, 6 cm и 9 cm) на ефикасност коришћења воде и салинитет земљишта. На основу истраживаног, закључено је да се за постизање високих приноса пасуља најбоље показала комбинација пуног наводњавања (100% од ЕТс) уз примену стајњака и слоја малча од 9 cm, док се редукованим наводњавањем (85% од ЕТс) остварила уштеда воде од 15%.

Ghassemi-Golezani et al. (2008) су вршили огледе са три сорте пасуља, да би утврдили како три третмана редукованог наводњавања (почетак наводњавања када из евапориметра класе „А“ испари 60 mm, 80 mm и 100 mm воде) утичу на период зрења и квалитет семенског зрна. Дошли су до закључка да је могуће произвести квалитетно семе пасуља у свим режимима наводњавања, уколико се жетва врши након фазе наливања зрна, при влажности зрна између 16-25%. Раном и касном жетвом добија се лош квалитет семенског пасуља. Rosales et al. (2013) су истраживали ефекат суше на физиолошке параметре код четири сорте пасуља, од којих две добро подносе сушу, а друге две сорте су осетљивије. Оглед је обављен у стакленику (контролисани простор) уз примену два режима заливања (100% и 70% од ПВК). Резултати указују да сорте толерантне на сушу ефикасније усвајају угљеник и умањују губитке воде услед суше, интензивнијим затварањем стома током дана и постижу повећање релативног садржаја влажности у листовима током ноћи у поређењу са сортама осетљивим на сушу.

Herrera et al. (2021) су испитивали утицај редукованог наводњавања на принос, фитохемију и функционална својства две сорте пасуља (*Raramuri* и *Pinto Saltillo*) у семиаридним висоравнима Мексика. Примењена су три режима заливања: наводњавање током читавог вегетационог периода пасуља (*IWC* - 60% изнад ПВК), прекид наводњавања током фазе плодношења (*TD* - без заливања од цветања до краја вегетације) и редуковано наводњавање током читавог вегетационог периода (*RI* - 40% изнад ПВК). Резултати указују да су биљке на *TD* третманима имали редукацију приноса од 13% и 20%. Код *RI* третмана запажено је повећање приноса од 33% и 5% за *Raramuri* и *Pinto Saltillo*. Највећи садржај протеина добијен је у *RI* третману (5% и 9% за *Raramuri* и *Pinto Saltillo* у односу на *IWC* третман), сличан тренд запажен је и код садржаја липида. У третманима *TD* и *RI* забележен је

пораст већине фитохемијских својстава. Редуковано заливање може побољшати квалитет и функционална својства пасуља уз незнатни утицај на принос.

Dewedar et al. (2020) су поставили двогодишњи оглед са циљем да истраже утицај површинског и подповршинског начина наводњавања методом кап по кап и норме заливања (100%, 80% и 60% од ЕТс) на принос пасуља уз процену модела *SALTMED*. Третман редукованог заливања (80% од ЕТс) показао је статистички незнатно смањење приноса указавши да се може постићи уштеда воде од 20%. Продуктивност воде је била већа код подповршинског наводњавања у поређењу са површинским наводњавањем на свим третманима; за 1,27% при режиму 100% ЕТс, за 4,2 % при режиму 80% ЕТс и за 3,93% при режиму 60% од ЕТс. Резултати указују да подповршински системи омогућују повећање приноса од 3,57% у поређењу са површинским начином наводњавања, али уз бољу продуктивност воде и постизање високих приноса при режиму наводњавања од 80% ЕТс.

Поред тога што се наводњавањем пасуља постижу високи приноси, велике норме наводњавања могу довести до слабих приноса зрна пасуља и других легуминоза (Forsythe et al., 1979; Deschamps и Wery, 1987). Стога, вегетациони пораст и употреба воде морају бити избалансирани. Наиме, редуковано наводњавање може бити добар начин постизања стабилних приноса зрна пасуља (English et al., 1990).

4.4. Савремене методе управљања водама (Примена даљинске детекције у пољопривреди)

Стратегије редукованог наводњавања и пострне сетве у комбинацији могу представљати добро решење уједно за уштеду воде и повећану производњу хране у условима глобалних промена. Ипак, данас ради што прецизнијег праћења стања усева, влажности земљишта и сл. све више се примењују методе прецизне пољопривреде и даљинске детекције (Jiang et al., 2020).

Даљинска детекција представља процесе добијања информација о објектима без директног контакта са истим (Vadivambal и Jayas, 2011; Wójtowicz et al., 2016). Принцип се заснива на употреби сензора за прикупљање информација помоћу електромагнетне енергије (Lu et al., 2021). Регистровани сигнали пролазе кроз низ операција и корекција (превођење у дигитални или аналогни облик, ректификација, интерпретација и класификација) (Jones и Vaughan, 2010).

Сензори за прикупљање података се постављају на платформе, које могу бити: *терестичке* (на земљи), *аеро* (у ваздуху) и *космичке* (у свемиру).

Забележено зрачење које са собом носи електромагнетна енергија зове се једним именом *снимак* (Mather, 1999).

Пре употребе снимка врши се његова обрада кроз разне врсте корекција, побољшања визуелне интерпретације и класификације.

Перманентним развојем науке и технологије побољшава се квалитет снимака. Данас су у употреби мултиспектрални снимци (са 3-10 канала), и хиперспектрални снимци (преко 100 канала). Њихово коришћење отвара огромне могућности за праћење и квантитативну процену одређених својстава неког подручја или објекта (Illarionova et al., 2021). Састоје се од неколико различитих канала (*bands*). Снимци се могу приказивати за сваки канал посебно или комбинацијом три канала (Милановић и Љешевић, 2009).

Мултиспектрални снимци добијени са различитих канала могу се комбиновати како би се извршио попис вегетације и добили различити вегетациони индекси (ВИ). Данас се за процену стања вегетације користе неколико индекса: *NDVI* - вегетациони индекс нормализоване разлике; *MCARI* - модификовани индекс абсорпције хлорофила у рефлексији; *LCI* - индекс хлорофила листа; *GNDVI* - зелени вегетациони индекс нормализоване разлике;

BNDVI - плави вегетациони индекс нормализоване разлике; *SAVI* - индекс вегетације прилагођен земљишту описани од стране (Jones и Vaughan, 2010) и многи други.

Вегетациони индекси су важни показатељи стања биљака, јер су у високој корелацији са покровношћу, индексом лисне површине, садржајем хлорофила, биомасом и фотосинтетском активношћу (Jones и Vaughan, 2010), што их чини погодним за брзо праћење стања вегетације и процену приноса. Снимци добијени преко сателита, авиона, беспилотне летелице или платформе пружају вредне информације за доношење одлука у пољопривредној производњи (Ballester et al., 2019; Siegfried et al., 2019). Беспилотне летелице (дронов) сматрају се погодним за управљање водним ресурсима у пољопривреди због могућности прикупљања података у високој резолуцији и јефтиној цени коштања, без утицаја временских прилика (облачност) на резултате (Alvino и Marino, 2017).

Мултиспектрални снимци се могу користити и за процену стварне евапотранспирације (Glenn et al., 2010). На пример, добро наводњаван усев резултоваће високом рефлексijом блиског инфрацрвеног зрачења (*NIR*), односно ниском рефлексijом црвеног зрачења (*R*) (Genc, et al., 2013; Van Beek et al., 2013), а вегетациони индекси који су добијени на основу тих канала показале се најбољи за праћење водног статуса.

Поред мултиспектралних снимака, у процени потреба биљака за водом користе се и термални снимци са термовизијских камера. Снимци са ових камера омогућавају визуелизацију температурних разлика објекта, мерећи разлике у дуготаласној инфрацрвеној радијацији. Температура површине биљака у великој мери зависи од интензитета транспирације (Nobel, 1991), тако да се закључује да је температура вегетације важан показатељ водног стреса биљака, те се може користити у одређивању времена заливања (Wang et al., 2010).

У пољопривредној производњи, методе даљинске детекције најчешће се користе за управљање наводњавањем (Veysi et al., 2016; Ranjan et al., 2019; Jorge et al., 2019; Rai et al., 2020), процену приноса (Spitkó et al., 2016; da Silva et al., 2020), процену биомасе, индекса лисне површине, одређивање зрелости биљке (Li et al., 2016) и слично.

Stone et al. (2016) испитивали су могућност управљања варијабилним наводавањем кукуруза на основу *NDVI* индекса, тензиометара (стандардно) и *Irrigator Pro* система на више различитих типова земљишта. Није постојала значајна разлика ЕКВ између испитиваних третмана. Аутори су закључили да су методе на основу *NDVI* и *Irrigator Pro* система једнако добре као и стандардна метода, те да се могу са великим успехом користити за управљање варијабилним системима наводњавања. Ranjan et al. (2019) су анализирали могућност праћења стреса и приноса редукованог наводњаваног пасуља, коришћењем мултиспектралних камера. Оглед се састојао из два фактора: режима заливања и начина обраде. Користили су више од 20 вегетационих индекса. Индекси *IPVI* (Индекс инфрацрвеног процента вегетације), *TDVI* (Вегетациони индекс трансформисане разлике), *NLI* (нелинеарни вегетациони индекс) и *MNLI* (модификовани нелинеарни вегетациони индекс) су били у доброј корелацији са водним стресом и приносом пасуља, док се индекси као што су *NDVI*, *MSAVI* (Модификовани индекс вегетације прилагођен земљишту) и *OSAVI* (Оптимизовани индекс вегетације прилагођен земљишту) могу користити као допунски индекси.

Rai et al. (2020) су истраживали како варијабилно наводњавање утиче на пораст и принос пасуља, а уједно и примену даљинске детекције за праћење стања усева. Редуковано заливање је довело до смањења приноса од 30% до 93% у односу на пуно наводњавање. На основу ИЛП (индекс лисне површине), *NDVI* и висине биљке закључено је да норма наводњавања пасуља за оптимални пораст износи од 250-270 mm. Такође, донесен је закључак да ИЛП и *NDVI* могу бити добри индикатори за предвиђање приноса пасуља. Поред *NDVI*, *GNDVI* и *OSAVI*, Jorge et al. (2019) препоручују примену индекса

нормализоване разлике руба црвеног спектра (*NDRE*) за детектовање водног стреса маслина.

Spitkó et al. (2016) испитивали су повезаност *NDVI* индекса и приноса кукуруза гајеног у систему са и без наводњавања. Установили су да се од средине фазе метличења могу уочити разлике у *NDVI* индексима, а у каснијим фенофазама повезаност индекса и приноса је јача, те се остварују боље процене приноса. Da Silva et al. (2020) испитивали су могућност примене вегетационих индекса добијених дроном за предвиђање приноса соје гајене при различитим густинама сетве на подручју Бразила. Као најбољи индекси издвојили су се *NDVI*, *MSAVI2* и *SAVI* (вегетациони индекс прилагођен земљишту), чијом се применом може предвидети принос са прецизношћу од 93%.

Nemeskéri et al. (2017) пратили су пораст више сората зелене и жуте бораније у условима редукованог наводњавања уз примену ручне мултиспектралне камере на подручју Мађарске. Примењена су три режима наводњавања (100% и 50% од ЕТс и третман без примене наводњавања). Аутори закључују да *NDVI* вредности током фенофаза цветања и формирања махуна показују веома добру корелацију са приносима, те се могу користити за предвиђање приноса у условима дефицита воде.

Toureiro et al. (2017) испитали су могућност примене *NDVI* индекса добијених са *Landsat 5* сателита за управљање системима наводњавања. За процену погодности *NDVI*, наводњавањем се управљало на два начина: праћењем параметара на терену (влажност и ИЛП) и наводњавањем на основу *FAO* методологије. *NDVI* индекс показао је високу корелацију са коефицијентом културе и дуалним коефицијентом културе, те да се овај индекс може користити у управљању наводњавањем. Међутим, као недостатак издвајају недостатак броја мерења, јер *Landsat 5* даје просторну представу терена на сваких 16 дана.

Методe даљинске детекције на бази термалних камера се увелико примењују за детекцију водног стреса зато што су неструктивне и не захтевају пуно времена и радне снаге (Ihouma и Madramootoo, 2019). Ове методе се заснивају на мерењу температуре лишћа, што је прво предложио Jackson et al. (1977), а нешто касније Idso et al. (1981) предлаже употребу индекса биљног водног стреса (*CWSI*) који се заснива на притиску водене паре и разлици између температуре ваздуха и температуре лишћа.

Erdem et al. (2006) су испитивали везу између температуре биљног покривача и дефицита напона водене паре, који се користе за одређивање индекса биљног водног стреса (*CWSI*) при различитим режимима заливања. Доказали су да је вредност *CWSI* у линеарној вези са приносом зрна пасуља, те се на основу датог индекса може развијати стратегија управљања системима наводњавања на местима где нема довољно воде за наводњавање. Са друге стране, Stričević и Ćaki (1997) истичу да се температурне разлике између биљног покривача и ваздуха, не могу користити за одређивање времена заливања сирка шећерца, због значајне осетљивости на промену дневних временских услова, али јасно указују на стрес усева када се постигне температурна разлика преко 2 °C.

Потенцијал примене индекса биљног водног стреса за успостављање режима заливања бундеве истражили су Kirnak et al. (2019). Примењено је 6 нивоа заливања; пуно наводњавање и 5 редукованих третмана. Закључено је да је *CWSI* у високој корелацији са приносом, индексом лисне површине, садржајем уља и протеина, те да се на основу вредности *CWSI* може организовати добар режим заливања. Ćosić et al. (2018) наводе да је наводњавање утицало на снижавање температуре листа паприке, закључивши да заливање значајно утиче на температуру листа. Добра корелација између приноса и *CWSI* није добијена, те аутори предлажу учесталија праћења температуре биљног покривача.

Упаривање снимака са мултиспектралне и термалне камере показало је висок потенцијал за предвиђање приноса. Zhou et al. (2018) су испитивали могућност коришћења мултиспектралних и инфрацрвених термалних фотографија за праћење стреса пасуља у различитим третманима режима заливања и начина обраде земљишта. Закључили су да су

GNDVI индекс, температура биљног покривача и покровност усева (ПК) у високој корелацији са приносом пасуља и индексом лисне површине (ИЛП), те да се дати индекси могу користити као индикатори стреса усева за праћење стреса суше. Температура биљног покривача је показала највећу корелацију са приносом у поређењу са *GNDVI* и ПК, те се може користити као индикатор стреса усева на принос. Температура лишћа у третманима са редукованим заливањем је била значајно већа у поређењу са оптимално наводњаваним третманима, док начин обраде није имао значајан утицај. Mwinuka et al. (2021) тестирали су могућност упаривања снимака са термалне камере мобилног телефона и мултиспектралних снимака добијених беспилотном летелицом да би оценили ефикасност заливања афричког патлицана. Примењена су 4 режима наводњавања: 100%, 80%, и 60% од ЕТс. Добијени индекс биљног водног стреса и садржај влаге у листу значајно су се разликовали између испитиваних третмана заливања током читавог вегетационог периода, док су *NDVI* и *OSAVI* индекс успели да детектују водни стрес тек након интензивног пораста. Ова два индекса добро су корелирала са садржајем влаге у листу. Аутори су установили да се комбинацијом *CWSI*, *OSAVI* и *NDVI* могу рано предвидети приноси патлицана.

5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

5.1. Поставка огледа

Експеримент је постављен на отвореном пољу огледног пољопривредног добра „Напредак“ а.д. на коме се обавља ратарска и повртарска производња у склопу компаније Делта Аграр. Огледно добро се налази у Старој Пазови на 40-ак километара северно од Земуна (Пољопривредни факултет Универзитета у Београду), Србија ($44^{\circ}58'50,29''$ северне географске ширине и $20^{\circ}7'45,16''$ источне географске дужине; на 79 метара надморске висине). Локација огледне парцеле је приказана на слици 1.



Слика 1. Локација огледне парцеле у Старој Пазови

Трогодишњи оглед је постављен као двофакторијални сплит плот план подељених парцела у три понављања. Гајен је пасуљ сорте *сремац* у различитим роковима сетве и режимима заливања.

Третман са три рока сетве представљао је први фактор:

1. Варијанта са редовном сетвом (средина априла у климатским условима Србије) (I);
2. Варијанта са пострном сетвом (крај маја и почетак јуна) (II);
3. Варијанта са пострном сетвом (трећа декада јуна и почетак јула) (III).
- 4.

Други испитивани фактор је обухватао три варијанте заливања:

1. Варијанта са пуним наводњавањем када је обезбеђено 100% евапотранспирације усева (ЕТс) (Ф);
2. Варијанта са редукованим наводњавањем када је обезбеђено 80% ЕТс (Д₁);
3. Варијанта са редукованим наводњавањем када је обезбеђено 60% ЕТс (Д₂).

Пасуљ сорте *сремац* сејан је у три рока сетве (један редован и две пострне) на огледним парцелама у три понављања. Међуредно растојање је било 0,5 m, а растојање између биљака у реду 5 cm, чиме је постигнута густина сетве од око 400 000 биљака по хектару. Укупна површина огледа износила је 2371,5 m².

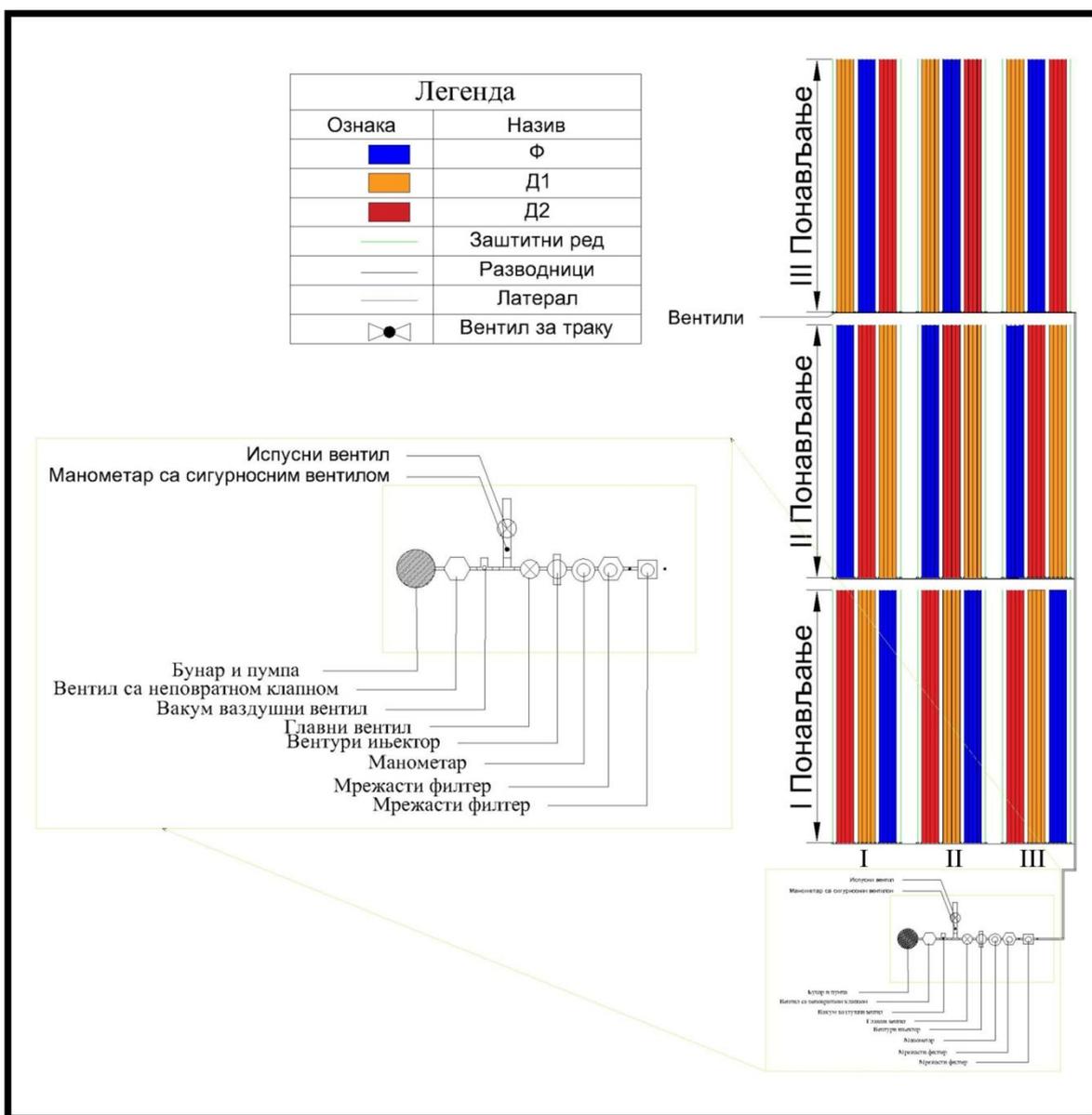
- Површина усева пасуља по једном року сетве: 90 m x 7,5 m = 675 m².
- Површина усева пасуља у третману пуног наводњавања у једном року сетве: 2,5 m x 90 m = 225 m².
- Површина усева пасуља у третману редукованог наводњавања 80% ЕТс у једном року сетве: 2,5 m x 90 m = 225 m².
- Површина усева пасуља у третману редукованог наводњавања 60% ЕТс у једном року: 2,5 m x 90 m = 225 m².
- Површина бочних редова (заштитни појас - буфер) и путева између понављања износи 346,5 m².

Поставка експеримента била је идентична током свих година истраживања. Сетва је вршена машински (слика 2), након чега је постављан систем за заливање методом кап по кап.



Слика 2. Сетва пасуља на огледној парцели и постављање система за наводњавање

Шематски приказ огледа са третманима заливања и системом наводњавања приказан је на слици 3.



Слика 3. Шематски приказ огледа са системом наводњавања

5.2. Климатски и метеоролошки услови гајења

Анализа климатских параметара извршена је на основу података за тридесетогодишњи период (1988-2017) из годишњака Републичког хидрометеоролошког завода (РХМЗ) преузетих са метеоролошке станице у Сурчину, која се сматра репрезентативном за огледно подручје. Просечне вредности најзначајнијих параметара су приказане у табели 1.

Клима локалитета је умерено континентална. Просечна годишња температура ваздуха износи 12,4 °С, најтоплији месеци су јул и август са просечном температуром од 22,9 °С, а најхладнији јануар и децембар са просечном температуром од 1,1 °С. Просечна влажност ваздуха износи 74,3%, а највише (86,3%) и најниже (65,2%) вредности достиже у месецима када је и најнижа односно највиша просечна температура ваздуха, дакле у јануару и августу, редом. Просечна брзина ветра износи 2,5 m·s⁻¹, а најветровитији месец је март (3,1 m·s⁻¹). Просечна годишња висина падавина износи 620 mm и у тридесетогодишњем периоду варира је од 937,3 mm до 351,6 mm. Највећа количина падавина јавља се у јуну (просечно 79,7 mm), а најнижа у фебруару (просечно 33,2 mm).

Табела 1. Просечне месечне вредности основних климатских параметара за период од 1988. до 2017. године за метеоролошку станицу Сурчин: температура ваздуха (T_{sr} -средња; T_{max} -максимална; T_{min} -минимална), релативна влажност ваздуха (RH), брзина ветра (V) и падавине (P)

Месец	T_{sr} (°C)	T_{min} (°C)	T_{max} (°C)	RH %	V ($m \cdot s^{-1}$)	P (mm)
Јануар	1,1	4,5	-2,3	86,3	2,5	40,2
Фебруар	3,3	7,5	-1,0	79,7	2,8	33,2
Март	7,7	12,9	2,6	71,4	3,1	43,6
Април	12,6	18,1	7,0	68,6	3,0	50,9
Мај	17,4	23,1	11,7	68,5	2,5	64,4
Јун	20,8	26,6	15,1	69,2	2,3	79,7
Јул	22,9	29,0	16,7	65,6	2,2	56,3
Август	22,9	29,2	16,6	65,2	2,0	51,2
Септембар	18,0	23,7	12,4	72,0	2,3	56,9
Октобар	13,0	18,2	7,7	76,7	2,4	50,5
Новембар	7,3	11,5	3,1	81,8	2,6	47,6
Децембар	2,1	5,3	-1,1	86,3	2,6	45,6
Максимум	22,9	29,2	16,7	86,3	3,1	79,7
Минимум	1,1	4,5	-2,3	65,2	2,0	33,2
Просек	12,4	17,5	7,4	74,3	2,5	51,7

Дијаграм по Валтеру (Walter et al., 1975) (график 1) даје увид када се на неком подручју може очекивати недостатак воде за биљке. Недостатак воде за гајене културе се на истраживаном подручју (1988 - 2017) према дијаграму по Валтеру јавља током јуна, јула и августа.

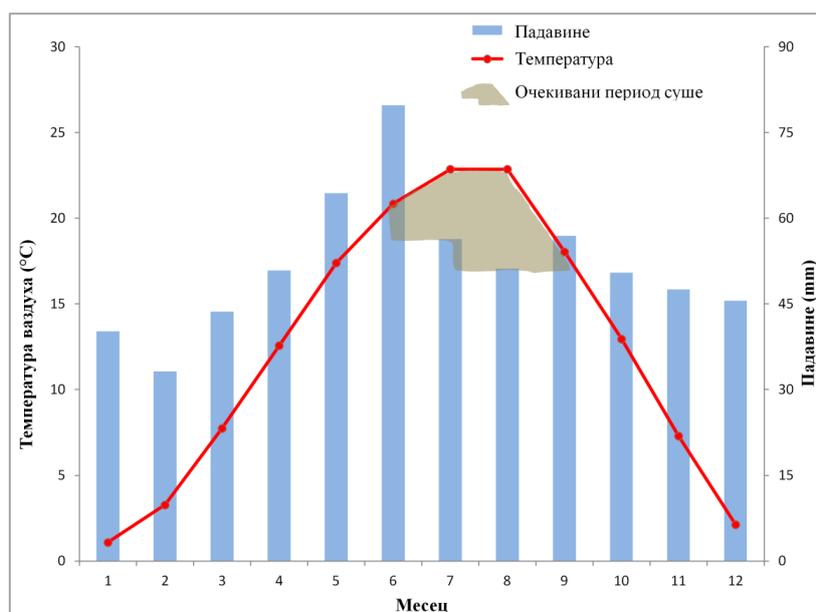


График 1. Валтеров клима дијаграм за период од 1988. до 2017. за подручје Сурчина

5.3. Метеоролошка осматрања

За потребе истраживања на огледном пољу постављена је аутоматска метеоролошка станица компаније „EMS Vrno“. Станица је постављена на репрезентативном месту, у непосредној близини огледних парцела, на травнатом усеву, који је током сезоне наводњаван, редовно кошен и одржаван (слика 4).



Слика 4. Метеоролошка станица на огледном пољу

За праћење климатских параметара на метеоролошкој станици, коришћени су следећи сензори (слика 5):

Minikin RTHi даталогер који се састоји из три сензора: *RTHi* - за праћење глобалне радијације ($W \cdot m^2$), *Pt1000* за мерење температуре ваздуха ($^{\circ}C$) и *Thi* за мерење влажности ваздуха (%);

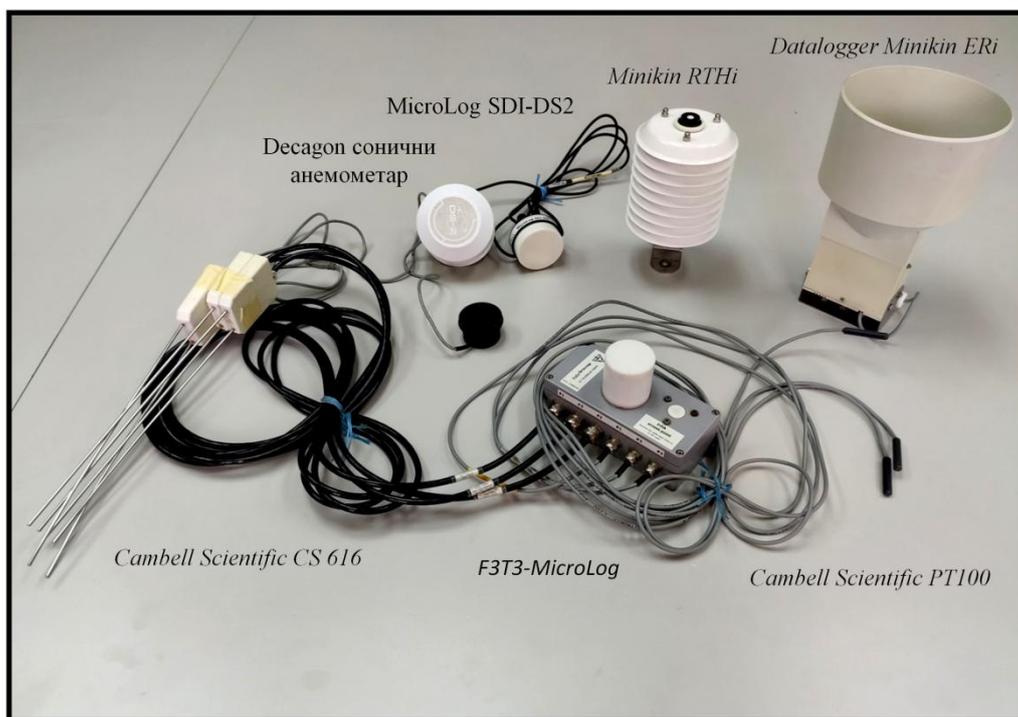
MicroLog SDI-DS2 са *Decagon* соничним анемометром - за праћење брзине и правца дувања ветра ($m \cdot s^{-1}$);

Datalogger Minikin ERi - за праћење висине падавина (mm);

F3T3-MicroLog са сензорима *Cambell Scientific CS 616-LC* и *PT100/8* - за праћење влажности (%) и температуре земљишта ($^{\circ}C$);

Irda/USB кабал за комуникацију и преузимање података са даталогера.

Рад сензора и обрада података извршена је коришћењем универзалног *Mini 32* софтвера. Овим уређајима могуће је подешавање временских интервала похрањивања података, вршење контроле рада сензора и управљања базом података у реалном времену (преузимање сирових података или статистички обрађених података у виду табела или графикона). За потребе ових истраживања сви сензори су подешени да врше мерење и похрањивање података у интервалу од сат времена, чиме се обезбеђује адекватна прецизност мерења.



Слика 5. Сензори за праћење климатских параметара

Резултати просечне месечне температуре ваздуха и суме падавина током трогодишњег истраживања поређени су са вишегодишњим подацима (1988-2017) и представљени у виду Валтеровог дијаграма на графику 2.

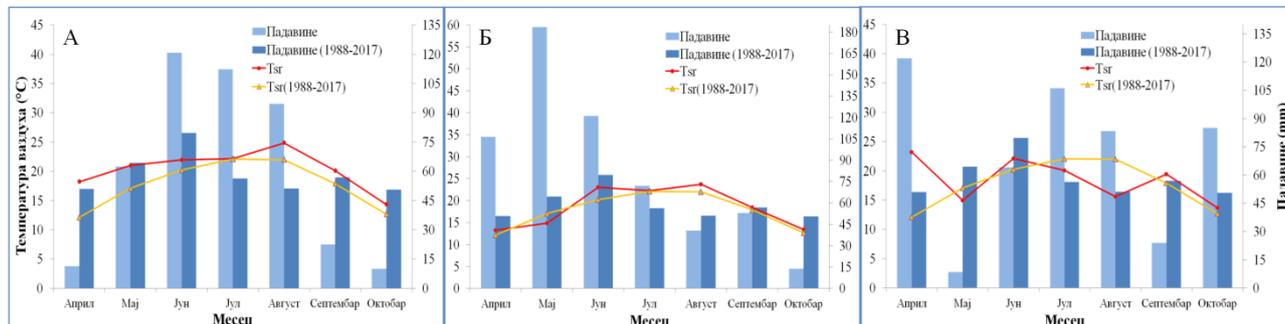


График 2. Поредица климатских података током 2018. (А), 2019. (Б), 2020. (В) са вишегодишњим просеком (1988-2017) године

Током трајања огледа 2018. године средња месечна температура ваздуха износила је 21,05 °C, што је за 3,32 °C више у поређењу са вишегодишњим просеком (график 2А). Просечне максималне и минималне температуре ваздуха износиле су 27,19 °C и 14,83 °C, редом (додатни материјал 1). Оно што је карактеристично за ову годину истраживања јесте то што је осмотрено чак 59 тропских дана када је T_{max} премашивала 30 °C. С друге стране, забележено је 52 дана с падавинама, а укупна количина падавина износила је 434,00 mm, што је за 24,10 mm више у поређењу са вишегодишњим просеком суме падавина. Током два падавинска догађаја, забележене су дневне висине падавина од 48,8 mm (7. јул) и 47 mm (26. август). Дакле, година је била атипична, топла и влажна.

Резултати просечне температуре ваздуха и суме падавина 2019. године представљени су на графику 2Б. Средња месечна температура ваздуха износила је 19,04 °C, што је 1,32 °C више у поређењу са вишегодишњим просеком (график 2Б). Просечне максималне и

минималне температуре ваздуха износиле су 25,46 °C и 12,54 °C, редом (додатни материјал 1). Слично као у претходној години осмотрено је чак 58 дана када је T_{\max} премашивала 30 °C. Међутим, забележено је чак 66 дана са падавинама, а укупна количина падавина износила је 590,5 mm, што је за чак 180,59 mm више у поређењу са вишегодишњим просеком. Током августа пало је свега 40,5 mm, а најкишовитији месец био је мај са 183,5 mm падавина. Ова година истраживања поред јако високих температура пропраћена је и са највишом количином падавина, нарочито у пролеће.

Резултати средњих месечних температура и суме падавина 2020. године представљени су Валтеровим клима дијаграмом (график 2В). Средња месечна температура ваздуха износила је 18,69 °C, што је 0,97 °C више у поређењу са вишегодишњим просеком (график 2Б). Просечне максималне и минималне температуре износиле су 25,00 °C и 12,06 °C, редом (додатни материјал 1). Током трајања огледа 2020. године забележено је чак 52 дана са падавинама, а укупна количина падавина до 10. октобра (жетва) износила је 449,9 mm, односно 492,9 mm до краја месеца што је 40 mm више у односу на вишегодишњи осмотрени период. Током септембра пало је свега 24 mm, а најкишовитији месец био је август са 122 mm падавина. Дакле, година је била умеренија у односу на претходне две у погледу температуре и падавина.

Током трогодишњег праћења климатских параметара, закључује се да су све три године биле уједно и топле и кишовите у поређењу са вишегодишњим просеком. Најтоплија била је 2018., а најкишовитија 2019. година.

Вредности просечне месечне глобалне радијације, релативне влажности ваздуха и брзине ветра за трогодишњи период истраживања приказане су у табели 2.

Највећа просечна глобална радијација запажена је 2020. године ($219,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), што је за 4,95 и 12,28 више у поређењу са 2019. и 2018. годином, редом. Просечна релативна влажност ваздуха била је уједначена током 2018. и 2019. године (74,54% и 74,05%), односно за око 6% виша у односу на 2020. годину. Дневне вредности релативне влажности ваздуха варирале су од 33,70% (2019) до 100% (2019) (додатни материјал 2). Највећа просечна брзина ветра запажена је 2019. године ($1,79 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), односно за 27,86% и 2,29% више него 2018. и 2020. године, редом.

Табела 2. Просечна месечна глобална радијација, релативна влажност ваздуха и брзина ветра током трогодишњег периода истраживања

Година	Месец	Глобална радијација ($W \cdot m^{-2}$)	Релативна влажност ваздуха (%)	Брзина ветра ($m \cdot s^{-2}$)
2018	Април	204,79	63,47	1,98
	Мај	255,24	67,44	1,65
	Јун	223,82	81,29	1,16
	Јул	236,84	81,26	1,11
	Август	231,03	73,20	1,03
	Септембар	150,87	74,52	1,27
	Октобар	64,66	80,59	1,59
	Просек	195,32	74,54	1,40
2019	Април	185,69	68,02	2,92
	Мај	190,08	84,29	2,09
	Јун	270,24	78,70	1,46
	Јул	271,58	75,97	1,35
	Август	251,24	68,18	1,22
	Септембар	177,76	70,64	1,62
	Октобар	116,11	72,58	1,85
	Просек	208,96	74,05	1,79
2020	Април	240,80	59,3	1,95
	Мај	210,11	72,8	2,25
	Јун	228,26	81,3	1,83
	Јул	254,30	74,3	1,38
	Август	231,37	75,5	1,32
	Септембар	217,93	63,2	1,68
	Октобар	152,32	75,3	1,82
	Просек	219,30	71,67	1,75

У табели 3 приказане су температурне суме пасуља у свим роковима сетве током 2018, 2019. и 2020. године. Температурне суме (GDD) израчунате су на основу средње дневне температуре ваздуха (T_{sr}) и биолошког температурног минимума (T_b) који износи $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Russelle et al., 1984):

$$GDD = \sum_{i=1}^n (T_{sr} - T_b) [1]$$

Просечно највећа температурна сума пасуља остварена је најтоплије 2018. године ($1188,81\text{ }^{\circ}\text{C}$), што је за 11,04% и 15,51% више у поређењу са 2019. и 2020. годином, редом. Просечно, највећа температурна сума остварена је у II року сетве ($1199,17\text{ }^{\circ}\text{C}$), што је за чак 22,09% више него у I року сетве, односно за 8,30% више него у III року сетве.

Табела 3. Температурне суме пасуља у оквиру сваког рока сетве током трогодишњег истраживања на експерименталном пољу

Рок сетве/година	Температурне суме (°C)			
	I	II	III	Просек
2018	1222,71	1237,26	1106,47	1188,81
2019	892,48	1268,12	1051,29	1070,63
2020	831,50	1092,14	1164,00	1029,21
Просек	982,23	1199,17	1107,25	1096,22

5.4. Земљиште

Како би се идентификовао тип земљишта и одредиле његове физичке и хемијске карактеристике, на репрезентативном делу огледне парцеле отворен је педолошки профил (слика 6). На терену су описивани елементи спољашње и унутрашње морфологије (FAO, 2006), а за потребе лабораторијских истраживања узети су узорци земљишта по генетским хоризонтима у нарушеном стању и природном склопу (цилиндрима од 100 cm³, у три понављања). Педолошки профил диференциран је на четири хоризонта А-АС-СА-С (слика 6). Одликује се моћним хумусно-акумулативним хоризонтом (А), који се простире до дубине од 55 cm. Прелазни хоризонти АС и СА простиру се до дубине 115 cm, након које се јавља С хоризонт, у овом случају лес.



Слика 6. Ендоморфологија педолошког профила и узимање узорака земљишта за лабораторијска истраживања

У лабораторији су испитане физичке особине земљишта по методама које су детаљно описане у приручницима Методе истраживања и одређивања физичких својстава земљишта (Група аутора, 1997) и Carter (1993):

- Механички састав земљишта пипет методом, са припремом узорка Е варијантом пирофосфатне методе;
- Агрегатни састав земљишта, методом Савинова;
- Текстурна класа земљишта одређена је преко текстурног троугла (USDA троугао);
- Запреминска густина, цилиндрима запремине 100 cm³;
- Специфична густина, методом пикнометра са ксилолом;

- Ретенциони водни капацитет, на 33 кПа, методом Ричардса, преко мембранске пресе (*Pressure plate extractor*);
- Влажност трајног увенућа биљака, на 1500 кПа, методом Ричардса, преко мембранске пресе (*Pressure plate extractor*);
- Приступачна вода биљкама, рачунским путем;
- Укупна порозност, рачунским путем;
- Апсолутни ваздушни капацитет, рачунским путем.

У лабораторији су одређене следеће хемијске особине земљишта:

- Активна киселост земљишта, рН у H_2O (van Reeuwijk, 2002);
- Разменљива (супституциона) киселост, рН у KCl (van Reeuwijk, 2002);
- Садржај калцијум-карбоната ($CaCO_3$) у земљишту волуметријском методом са Шајблеровим калциметром (Nelson, 1982);
- Садржај хумуса дихроматном методом Тјурин у модификацији Симакова (Минеев et al., 2001);
- Садржај приступачних (изменљивих) макроелемената (K, Na, Ca, Mg) екстракцијом у 1 М амонијум-ацетату рН 7, однос земљиште раствор за екстракцију 1:10 (Allen, 1974), мерењем концентрације у екстракту оптичком емисионом спектроскопијом са индукованом спрегнутом плазмом (ICP-OES);
- Садржај приступачних микроелемената (Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) екстракцијом у раствору ДТРА-ТЕА рН 7,3, однос земљиште: раствор 1:2 (Allen, 1974), мерењем концентрације у екстрактима ICP-OES.
- Садржај укупног азота рачунским путем.

Према америчкој класификацији (*USDA, 2006*) испитивано земљиште у А хоризонту припада текстурној класи прашкаста иловача, у АС и СА хоризонту прашкасто глиновитој иловачи у С хоризонту прашкастој иловачи (табела 4).

Табела 4. Механички састав и текстурне класе земљишта на експерименталном пољу

Хоризонт	Дубина (cm)	Садржај механичких фракција, у % на масу				Текстурна класа земљишта према америчкој (USDA) класификацији
		Песак		Прах	Глина	
		крупан	ситан			
		2,00-0,20 mm	0,20-0,05 mm	0,05-0,002 mm	< 0,002 mm	
А	0-55	1,5	2,6	71,5	24,4	Прашкаста иловача
АС	55-90	1,0	2,7	68,1	28,2	Прашкасто глинаста иловача
СА	90-115	0,6	2,8	68,3	28,3	Прашкасто глинаста иловача
С	115-160	0,7	2,9	71,0	25,4	Прашкаста иловача

Земљиште се читавом својом дубином одликује добрим водно-ваздушним особинама (табела 5). Максимални водни капацитет у А хоризонту износи 50,18%_{зап.}, док у прелазним АС и СА хоризонтима износи 51,77%_{зап.} и 49,41%_{зап.}, редом. Вредности пољског водног капацитета (ПВК) су уједначене по дубини земљишта и варирају од 33,94%_{зап.} до 32,07%_{зап.}. Земљиште у хумусно-акумулативном хоризонту може задржати до 88,38 mm воде, а до своје дубине од 115 cm (А, АС и СА хоризонти), укупно 170,92 mm, што представља важан резервоар воде током вегетационог периода. Запреминска густина земљишта (ρ_b) у А хоризонту је у граничним вредностима за пољопривредна земљишта и износи 1,22 g·cm⁻³, повећава се са дубином све до вредности од 1,4 g·cm⁻³.

Табела 5. Водно-ваздушне особине земљишта

Хоризонт	Дубина (cm)	ρ_s (g·cm ⁻³)	ρ_b (g·cm ⁻³)	Укупна порозност (% зап.)	Ваздушни капацитет (% зап.)	МВК (% зап.)	ПВК (% зап.)	ЛКВ (% зап.)	ВВ (% зап.)	Укупно приступачна вода (mm)	Лако приступачна вода (mm)	Теже приступачна вода (mm)
A	0-55	2,56	1,22	52,34	17,91	50,18	33,29	23,13	17,22	88,38	55,87	32,51
AC	55-90	2,59	1,25	51,73	18,71	51,77	33,21	22,77	18,94	49,95	36,55	13,41
CA	90-115	2,63	1,32	49,81	15,48	49,41	33,94	21,07	20,91	32,58	32,19	0,40
C	115-160	2,65	1,4	47,17	14,09	46,13	32,07	18,12	16,99	67,86	62,76	5,09

Подаци о агрегатном саставу земљишта представљени су у табелама 6,7 и 8. Добијени резултати након сувог просејавања (табела 6) указују на повољну структуру испитиваног земљишта. Просечан садржај агрономски најповољнијих агрегата (0,25-10 mm) износи 69,50±5,68%. Међу овим агрегатима доминирају мрвичести агрегати (0,5-5 mm).

Табела 6. Агрегатни састав земљишта добијен сувим просејавањем

Хоризонт	Дубина (cm)	Садржај фракција ваздушно сувих агрегата у %							
		>10 (mm)	10-5 (mm)	5-3 (mm)	3-2 (mm)	2-1 (mm)	1-0,5 (mm)	0,5-0,25 (mm)	<0,25 (mm)
A	0-55	22,29	23,00	14,86	15,63	13,46	1,92	4,06	4,78
AC	55-90	17,05	15,94	13,74	17,54	18,97	2,51	6,56	7,69
CA	90-115	25,55	16,34	11,78	13,94	16,71	2,16	6,17	7,35
C	115-160	32,10	19,20	11,43	12,06	13,56	2,01	4,46	5,18

Дистрибуција агрегатних фракција добијених након мокрог просејавања за сваки узорак приказана је у табели 7. Висок садржај микроагрегата (<0,25 mm) након мокрог просејавања у А, СА и С хоризонтима кретао се у интервалу од 42,20% до 66,32% што указује на нижу стабилност, односно мању водоотпорност структурних агрегата.

Табела 7. Агрегатни састав земљишта добијен мокрым просејавањем

Хоризонт	Дубина (cm)	Садржај фракција водоотпорних агрегата у %					
		>3 (mm)	3-2 (mm)	2-1 (mm)	1-0,5 (mm)	0,5-0,25 (mm)	<0,25 (mm)
A	0-55	1,42	1,28	15,42	31,46	8,22	42,20
AC	55-90	0,88	1,18	33,04	28,92	4,52	31,46
CA	90-115	1,32	0,32	4,24	33,74	9,96	50,42
C	115-160	0,44	0,14	1,92	18,02	13,16	66,32

Индекси структуре представљају битне параметре у разматрању структурног стања земљишта (табела 8). Прорачунати су следећи индекси структуре земљишта: суви просечни масени дијаметар (dMWD), мокри просечни масени дијаметар (wMWD), индекс стабилности структуре (SI). Просечни масни дијаметри израчунати су за мокро и суво просејавање. Суви

просечни масени дијаметар је показивао вредности у распону од 4,57 mm до 6,29 mm ($5,47 \pm 0,71$ mm). Вредности wMWD варираше су у распону од 0,30 mm до 0,83 mm. Однос wMWD и dMWD је индикатор стабилности структурних агрегата. Ниске вредности односа wMWD и dMWD указују на ниску воодоотпорност структурних агрегата испитиваног земљишта. Вредности SI од 12,70% у површинском хоризонту указују на низак ризик од структурне деградације, док се тај ризик значајно повећава са повећањем дубине, што је и очекивано због смањења садржаја органске материје по дубини.

Табела 8. Индекси структуре испитиваног чернозема

Хоризонт	Дубина (cm)	dMWD (mm)	wMWD (mm)	wMWD/dMWD	SI (%)
A	0-55	5,62	0,63	0,11	12,70
AC	55-90	4,57	0,83	0,18	5,58
CA	90-115	5,41	0,47	0,09	3,47
C	115-160	6,29	0,30	0,05	2,21

У табели 9 представљени су резултати основних хемијских својстава земљишта. Реакција земљишта се повећава по дубини земљишног профила. Према приказаним вредностима pH у H₂O земљиште је у А хоризонту (0-55 cm) благо алкалне реакције, а са повећањем дубине земљиште се класификује као умерено алкално. Вредности реакције земљишта у KCl такође указују на слабо алкалну реакцију у површинском хоризонту, која затим прелази у алкалну. Хемијска реакција земљишта је у корелацији ($r=0,99$) са процентуалним садржајем CaCO₃ у земљишту. Садржај карбоната се континуирано повећава са повећањем дубине и креће се у распону од 8,59% у А хоризонту до 31,56% у С хоризонту.

Земљиште се у површинском хоризонту дефинише као средње хумусно (3,62%). Са повећањем дубине садржај хумуса опада и подповршински хоризонти су слабо до врло слабо хумусни.

Садржај укупног азота у А хоризонту износи 0,18%, и опада са дубином све до 0,04%. Према класификацији коју су навели Џамић и Стевановић (2007) земљиште је високо обезбеђено овим елементом у хумусно акумулативном хоризонту.

Земљиште је у хумусно-акумулативном хоризонту добро обезбеђено лако приступачним фосфором (P) 164,39 mg·kg⁻¹ и калијумом (K) 420,1 mg·kg⁻¹. Ове вредности указују на изузетно висок садржај поменутих елемената (Џамић и Стевановић, 2007) у делу земљишта у ком се развија главна маса кореновог система биљака.

Табела 9. Резултати основних хемијских својстава земљишта експерименталног поља

Хоризонт	Дубина (cm)	pH у H ₂ O	pH у KCl	CaCO ₃ (%)	C _{орг.} (%)	Хумус (%)	N _{укупни} (%)	C/N	K (mg·kg ⁻¹)	P (mg·kg ⁻¹)
A	0-55	7,43	7,05	8,59	2,11	3,62	0,18	11,72	420,11	164,39
AC	55-90	7,88	7,56	20,50	1,03	1,78	0,09	11,44	129,00	20,36
CA	90-115	8,02	7,77	26,49	0,64	1,10	0,06	10,76	99,78	1,76
C	115-160	8,30	7,83	31,56	0,37	0,64	0,04	9,25	95,54	0,29

Садржаји Mg, Ca, Na и микроелемената (Cu, Fe, Mn, Ni и Zn) приказани су табели 10. Садржај Mg опада са дубином и у А хоризонту износи 426,66 mg·kg⁻¹, а у С хоризонту 328,32 mg·kg⁻¹ што према класификацији Џамић и Стевановић (2007) показује да је земљиште добро обезбеђено овим елементом (>70 за средње тешка земљишта). Количина Na се

повећава са дужином и у А хоризонту износи $16,01 \text{ mm}\cdot\text{kg}^{-1}$ односно $16,15 \text{ mm}\cdot\text{kg}^{-1}$ у АС хоризонту. Садржај Са се повећава са дужином и у А хоризонту износи $5759,9 \text{ mm}\cdot\text{kg}^{-1}$ односно $5983,2 \text{ mm}\cdot\text{kg}^{-1}$ у С хоризонту. Просечни садржај магнезијума ($379,76 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), бакра ($1,55 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), гвожђа ($77,35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), мангана ($6,91 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), цинка ($1,49 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) показује да је земљиште високо обезбеђено овим микроелементима (Lindsay и Norvell, 1978). Садржај никла који представља опасне тешке метале у земљишту износи $0,06 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ и $0,03 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ у А и АС хоризонтима, редом, што је у границама дозвољене количине тешких метала.

Табела 10. Садржај Mg, Na, Ca и микроелемената (Cu, Fe, Mn, Ni и Zn) у земљишту експерименталног поља

Хоризонт	Дубина (cm)	Mg ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Na ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Ca ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Cu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Fe ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Mn ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Ni ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Zn ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
A	0-55	426,66	16,01	5759,9	2,45	77,36	17,51	0,06	5,33
АС	55-90	398,23	16,15	5815,1	1,32	82,52	3,91	0,03	0,25
СА	90-115	365,82	16,24	5866,3	1,28	75,20	3,28	0,03	0,22
С	115-160	328,32	16,38	5983,2	1,15	74,33	2,95	0,02	0,17

5.5. Рокови сетве

Пасуљ је сејан у три рока (редовна сетва и два пострна рока сетве). У табели 11 приказани су датуми сетве по роковима за период трајања огледа. Редовна сетва вршена је када се у пољопривредној пракси иначе сеје пасуљ, односно половином априла. Други рок сетве вршен је крајем маја и почетком јуна, док је трећи рок сетве био планиран за крај јуна. Датуми сетве су варирали у зависности од временских прилика. Распоред и количина падавина су у великој мери утицали на одлагање сетве у пострним роковима. Предусев за све рокове сетви био је кукуруз.

На огледном пољу мерила се температура земљишта на 5 cm дубине како би се одредили повољни услови за клијање и ницање пасуља (табела 12). Рокови сетве прилагођавани су у зависности од температуре и влажности земљишта, тако да су понекад одлагани како би се стекли повољни услови за клијање и ницање пасуља.

Табела 11. Датуми сетве пасуља током периода истраживања

Рок сетве/година	2018.	2019.	2020.
I	17.04.	22.04.	15.04.
II	30.05.	07.06.	28.05.
III	21.06.	03.07	30.06.

Табела 12. Средње (T_{sr}) и минималне температуре (T_{min}) земљишта осредњене за период од 7 дана пре сетве

Година	2018.		2019.		2020.		Просек	
	T_{sr}	T_{min}	T_{sr}	T_{min}	T_{sr}	T_{min}	T_{sr}	T_{min}
I	15,19	12,15	14,03	10,77	16,97	11,58	15,40	11,50
II	24,20	18,17	18,41	17,18	18,55	14,69	20,39	16,68
III	23,77	19,44	26,05	23,26	23,38	20,52	24,40	21,07

За сетву је коришћена сорта пасуља *сремац*, чије је семе произведено на Институту за ратарство и повртарство у Новом Саду. Пасуљ *сремац* је сорта детерминатног, усправног

средње бујног стабла, крупних листова. Спада у сорте кратке вегетације (65-70 дана), те се због тога сматра толерантном на сушу и високе температуре у цветању, па остварује стабилне приносе у различитим климатским условима. *Сремац* је толерантнији на бактериозе од многих других сорти, али га треба превентивно третирати бакром у фази развоја три права листа. У недозромелом стању махуна је светло-зелене боје, овално-пљосната и права. Зрела махуна је сламнато-жута и не пуца. Зрно је у типу кулаша, ваљкастог до елипсастог облика, зеленкасто сивкасте боје. Маса 1000 зрна износи око 350-400 g, а уз добру клијавост семена (89%) за постизање одговарајућег склопа биљака потребно је од 16-18 kg·ha⁻¹ семена.

Принос му је преко 2 t·h⁻¹ у условима природне снабдевености водом, а преко 3 t·h⁻¹ када се врши наводњавање. Остварује стабилан принос у различитим климатским и едафским условима гајења. Посебно се препоручује за подручје Баната, Хомоља и Јужне Србије. Добре резултате остварује у целом региону.

5.6. Примењене агротехничке мере током огледа

Култивирање земљишта вршено је пре сваке сетве пасуља. Након сетве постављани су латерали за наводњавање. Коришћени су латерали произвођача „*Rivulis*“. Растојање између капаљки на латералу износило је 20 cm, а протицај сваке капаљке 1 l·h⁻¹. Пре пуштања у рад система провераван је радни притисак и количина истицаја воде из капаљки. Варијација притиска од 5% и протицаја од 2% била је знатно мања од дозвољених вредности (20%), чиме се постигла висока униформност заливања.

Коровске биљке су благовремено окопане, чиме се поред одржавања усева постизало и редовно разбијање покорице и избегло коришћење хербицида.

Након извршене анализе земљишта утврђено је да нема потребе за прихраном усева, јер је садржај биљкама доступног фосфора и калијума био висок, док је садржај азота био оптималан. Такође, у обзир је узето да је пасуљ азотофиксатор, тако да биљка неће оскудевати у овом елементу.

Током периода истраживања примењиван је фунгицид „*Folio Gold*“ за сузбијање пламењаче и инсектицид „*Movento*“ против беле лептирасте ваши (табела 13). У првој години није било потребе за применом средстава за заштиту биља, док се током друге и треће године истраживања оглед третирао због присуства пламењаче и беле лептирасте ваши, које су се углавном јављале у II и III року сетве.

Табела 13. Примена средстава за заштиту усева од болести и штеточина током трајања истраживања

Датум примене третмана	Средство	Рок сетве
22.07.2019.	Folio Gold	I
22.07.2019.	Movento	II и III
25.06.2020.	Folio Gold	II и II
25.06.2020.	Movento	II и II
25.08.2020.	Folio Gold	II и III
25.08.2020.	Movento	II и III

5.7. Водни режими

За наводњавање коришћена је вода из артерског бунара, позиционираног у непосредној близини огледне парцеле, На глави система вршило се пречишћавање воде од песка хидроциклоном, а за издвајање других нечистоћа коришћени су мрежасте филтерима. Пасуљ се наводњавао методом кап по кап. Након сетве, парцеле су се заливале до пољског водног капацитета, како би се обезбедили погодни услови за клијање и ницање семена пасуља.

Норма заливања одређена је на основу садржаја расположиве воде у земљишту, фенофазе биљке и евапотранспирације. На основу датих параметара током свих рокова сетви, примењене су три норме заливања (12 mm, 15 mm и 18 mm). Третмани пуног заливања (Ф) наводњавани су у интервалу од 3 дана, редуковани третмани Д₁ и Д₂ у интервалу од 4 и 5 дана. У табелама од 14 до 16 приказани су датуми и нето норме заливања пасуља током трајања огледа.

Током прве године истраживања (2018) највеће норме наводњавања примењене су на пасуљу који је посејан у редовном року сетве (рок I). Код третмана Ф наводњавањем је додато укупно 126 mm воде (8 заливања), затим код третмана Д₁, 111 mm воде (7 заливања), а код третмана Д₂, 93 mm (6 заливања). У другом року сетве, код третмана Ф, наводњавањем је додато укупно 108 mm воде (6 заливања), затим код третмана Д₁, 72 mm воде (4 заливања), а код третмана Д₂, 72 mm (4 заливања). У трећем року сетве, код третмана Ф наводњавањем додато је укупно 108 mm воде (6 заливања), затим код третмана Д₁, 90 mm воде (5 заливања), а код третмана Д₂, 72 mm (4 заливања), због повољног распореда падавина (табела 14).

У другој години истраживања (2019) највише је наводњаван пасуљ засејан у III року. У првом року није било потребе за наводњавањем, због високе количине и доброг распореда падавина током дела сезоне (табела 15). У другом року сетве, код третмана Ф, наводњавањем додато је укупно 150 mm воде (9 заливања), затим код третмана Д₁, 117 mm воде (7 заливања), а код третмана Д₂, 84 mm (5 заливања). У трећем року сетве, код третмана Ф наводњавањем додато је укупно 249 mm воде (16 заливања), затим код третмана Д₁, 180 mm воде (12 заливања), а код третмана Д₂, 129 mm (9 заливања).

У трећој години истраживања (2020) највећи број заливања био на третманима редовног рока сетве (рок I) (табела 16). У року I, на третману Ф додато је наводњавањем укупно 228 mm воде (14 заливања), затим код третмана Д₁, 162 mm воде (10 заливања), а код третмана Д₂, 126 mm (8 заливања). У другом року сетве, код третмана Ф додато је наводњавањем укупно 141 mm воде (9 заливања), затим код третмана Д₁, 90 mm воде (6 заливања), а код третмана Д₂, 75 mm (5 заливања). У трећем року сетве, код третмана Ф додато је наводњавањем укупно 207 mm воде (13 заливања), затим код третмана Д₁, 144 mm воде (9 заливања), а код третмана Д₂, 111 mm (7 заливања).

Табела 14. Датуми и норме заливања (mm) пасуља по роковима сетви и третманима наводњавања током 2018. године

	Рок сетве I						Рок сетве II						Рок сетве III					
	Датум	Ф	Датум	Д ₁	Датум	Д ₂	Датум	Ф	Датум	Д ₁	Датум	Д ₂	Датум	Ф	Датум	Д ₁	Датум	Д ₂
	25.4.	12	25.4.	12	25.4.	12	31.5.	18	31.5.	18	31.5.	18	5.7.	18	5.7.	18	5.7.	18
	21.5.	15	21.5.	15	21.5.	15	6.6.	18	6.6.	18	6.6.	18	23.7.	18	23.7.	18	23.7.	18
	25.5..	15	26.5.	15	27.5.	15	23.7.	18	4.8.	18	5.8.	18	3.8.	18	3.8.	18	3.8.	18
	28.5..	15	30.5.	15	1.6.	15	3.8.	18	22.8.	18	23.8.	18	15.8.	18	22.8.	18	23.8.	18
	31.5..	15	3.6.	18	6.6.	18	15.8.	18					21.8.	18	26.8.	18		
	3.6.	18	7.6.	18	25.7.	18	21.8.	18					25.8.	18				
	6.6.	18	24.7.	18														
	23.7	18																
Норма наводњавања	126 mm		111 mm		93 mm		108 mm		72 mm		72 mm		108 mm		90 mm		72 mm	
Број заливања	8		7		6		6		4		4		6		5		4	

Табела 15. Датуми и норме заливања (mm) по роковима сетви и третманима наводњавања током 2019. године

	Рок сетве I						Рок сетве II						Рок сетве III												
	Датум	Ф	Датум	Д ₁	Датум	Д ₂	Датум	Ф	Датум	Д ₁	Датум	Д ₂	Датум	Ф	Датум	Д ₁	Датум	Д ₂							
							24.7.	15	24.7.	15	24.7.	15	4.7.	12	4.7.	12	4.7.	12							
							27.7.	15	28.7.	15	29.7.	15	21.7.	12	21.7.	12	21.7.	12							
							30.7.	15	1.7.	15	10.8.	18	25.7.	12	25.7.	12	25.7.	12							
							2.8.	15	9.8.	18	15.8.	18	27.7.	15	28.7.	15	29.7.	15							
							8.8.	18	13.8.	18	20.8.	18	30.7.	15	1.8.	15	10.8.	18							
							11.8.	18	17.8.	18			2.8.	15	9.8.	18	15.8.	18							
							14.8.	18	21.8.	18			8.8.	18	13.8.	18	20.8.	18	20.8.	18					
							17.8.	18					11.8.	18	17.8.	18	25.8.	18	25.8.	18					
							20.8.	18					14.8.	18	21.8.	18	1.9.	18	1.9.	18	1.9.	18			
													17.8.	18	25.8.	18									
						20.8.							18	31.8.	18	20.8.					18	31.8.	18		
						23.8.							18	4.9.	18	23.8.					18	4.9.	18		
						26.8.							18			26.8.					18				
						30.8.							18			30.8.					18			30.8.	18
						2.9.							18			2.9.					18			2.9.	18
						5.9.	18	5.9.	18	5.9.	18														
Норма наводњавања	0	0	0	0	0	150 mm	117 mm	84 mm	249 mm	180 mm	129 mm														
Број заливања	0	0	0	0	0	9	7	5	16	12	9														

Табела 16. Датуми и норме заливања (mm) пасуља по роковима сетви и третманима наводњавања током 2020. године

	Рок сетве I						Рок сетве II						Рок сетве III					
	Датум	Ф	Датум	Д ₁	Датум	Д ₂	Датум	Ф	Датум	Д ₁	Датум	Д ₂	Датум	Ф	Датум	Д ₁	Датум	Д ₂
	24.4	12	24.4.	12	24.4.	12	3.6..	12	3.6.	12	3.6.	12	1.7.	15	1.7.	15	1.7.	15
	10.05.	15	10.5.	15	10.5.	15	1.7.	15	2.7.	15	3.7.	15	4.7.	15	4.7.	15	4.7.	15
	13.5.	15	14.5.	15	15.5.	15	4.7..	15	6.7.	15	8.7.	15	7.7.	15	10.7.	15	8.7.	15
	16.5.	15	18.5.	15	20.5.	15	7.7.	15	10.7.	15	13.7.	15	10.7.	15	14.7.	15	13.7.	15
	19.5.	15	22.5.	15	25.5.	15	10.7.	15	14.7.	15	31.7.	18	13.7.	15	30.7.	15	31.7.	15
	22.5.	15	6.6.	18	3.7.	18	13.7.	15	30.7.	18			24.7.	15	3.9.	18	4.9.	18
	25.5.	15	2.7.	18	8.7.	18	24.7.	18					29.7.	15	7.9.	18	10.9.	18
	4.6.	18	6.7.	18	13.7.	18	29.7.	18					1.08.	15	11.9.	18		
	7.6.	18	10.7.	18			1.8.	18					2.9.	18	15.9..	15		
	1.7.	18	14.7.	18									5.9.	18				
	4.7.	18											8.9.	18				
	7.7.	18											11.9.	18				
	10.7.	18											14.9.	15				
	13.7.	18																
Норма наводњавања	228 mm		162 mm		126 mm		141 mm		90 mm		75 mm		207 mm		144 mm		111 mm	
Број заливања	14		10		8		9		6		5		13		9		7	

5.8. Методе експерименталног истраживања

5.8.1. Мерење влажности земљишта

Гравиметријски метод

Влажност земљишта мерена је стандардним гравиметријским методом (Гајић, 2006) на сваких 7 дана. Узорци су узимани бургијом са три дубине (0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm), затим складиштени у алуминијумске кутијице и транспортовани у лабораторију. Узорци су се по доласку у лабораторију мерили на техничкој ваги, што представља збирну масу сувог земљишног узорка, воде и алуминијумске кутијице:

$$T_1 = M_k + M_w + M_s \quad [2]$$

где је: M_k - маса алуминијумске кутијице;

M_w - маса воде;

M_s - маса узорка земљишта;

Након завршеног првог мерења, узорци у алуминијумским кутијицама преносили су се у сушницу, где су се сушили на температури од 105 °C до константне масе, односно док у два поновљена мерења није било промена вредности масе узорка. Након сушења, сматра се да је сва вода испарила и приступа се поновном мерењу узорка:

$$T_2 = M_k + M_s \quad [3]$$

Затим, приступило се мерењу празних кутијица:

$$T_3 = M_k \quad [4]$$

Садржај воде узорка изражен у односу на његову масу (Wws), добијен је на основу следеће формуле:

$$Wws_{\%mas} = \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \cdot 100 \quad [5]$$

Како би се коначно добио процентуални садржај воде у земљишту изражен у односу на његову запремину, добијени резултат потребно је помножити са запреминском густином земљишта (ρ_b). На слици 7 приказан је начин узорковања земљишта, складиштење земљишта у алуминијумске кутијице, мерење и сушење у лабораторији.



Слика 7. Приказ појединих етапа гравиметријског метода одређивања влажности земљишта

Метода временски дефинисане рефлектометрије TDR (Time Domain Reflectometry)

Метода *TDR* је релативно нова и поуздана технологија за процену волумног садржаја воде у земљишту. Уређај ради на принципу електромагнетног импулса који пролази кроз челичне сензоре постављене у земљишту. Када сигнал дође до краја сензора, рефлектује се назад према рецептору. Протекло време за које се сигнал врати зависи од диелектричне константе на коју утиче садржај воде у земљишту у којем је постављен сензор.

За потребе огледа коришћена је *TDR* сонда произвођача *Cambell Scientific*, модел *CS 616* (слика 8). Овај сензор састоји се од две шипке од нерђајућег челика дугачке 30 cm, које су повезане мерном електроником. Сензори су повезани са дата логером *F3T3-MicroLog* који преко *Mini 32* софтвера омогућава складиштење података, подешавање интервала мерења, праћење рада сензора, трајање батерије и сл. Дата логер је подешен да на сваких сат времена складишти податке о влажности земљишта.



Слика 8. *TDR* сензори са дата логером постављеним на огледној парцели у Старој Пазови

5.8.2. Мерење покривности усева

Мерење покривности усева вршено је ради прецизног одређивања евапотранспирације пасуља. Коришћењем дрвеног рама површине од 1 m^2 означавањем је репрезентативни простор на парцели са биљкама, који је затим фотографисан фотоапаратом. За анализу фотографија

коришћен је софтверски пакет *Python* у окружењу *JupyterLab*. Софтвер је подешен да врши сегментацију слике, тако да је издвајана зелена површина (лисна површина) на фотографији (слика 9). Прво је фотографија из *RGB* система трансформисана у *YCBCR* систем. Подешавањем компонената *cb* (засићеност плавом бојом) и *cr* (засићеност црвеном бојом) и *y* (илуминанса), издвојен је опсег ($y < 240$; $cb < 155$; $cr < 122$), који је најбоље детектовао нијансе зелене боје, односно лисну површину (слика 9).

Резултати су представљени као процентуална вредност зелене површине на фотографији. За добро функционисање софтвера неопходно је оивичити тачан део фотографије за анализу. Корови не смеју бити присутни, јер могу ометати каснију анализу снимака. Фотографисање је вршено на сваком третману у три понављања на сваких 10 до 15 дана у зависности од временских услова. Како је растојање између редова пасуља 50 cm, фотографија 1 m² омогућавала је репрезентативну представу покривности.



Слика 9. Мерење покривности пасуља и анализа добијене фотографије

5.8.3. Праћење пораста биомасе

Праћење динамике раста пасуља извршено је мерењем акумулације суве биомасе. Биљке за анализу узорковане су са огледне парцеле на сваких 10 до 15 дана у зависности од временских услова. Праћење пораста биомасе вршено је током интензивног пораста биљке, све до цветања и на крају вегетације када долази до зрења махуна и опадања лисне масе. Узорци су распрострањени у лабораторији где се вршило њихово уситњавање и припремање за мерење лисне површине, након тога ваздушно сушење, потом сушење у сушници на температури од 70 °C до константе масе, након чега су биљке мерене, а биомаса је изражена у $g \cdot m^{-2}$.

5.8.4. Мерење индекса лисне површине (ИЛП)

Пре одређивања суве биомасе, извршено је мерење површине листова пасуља коришћењем уређаја под називом *LI-3100C Area Meter* (слика 10). Узорци се постављају на провидном појасу, где се уз помоћ ваљака премештају ка флуоресцентном извору светлости. Пројектована слика рефлектује се системом од три огледала до камера за скенирање. Како узорци пролазе испод извора светлости, тако се на дисплеју акумулира површина изражена у cm^2 .

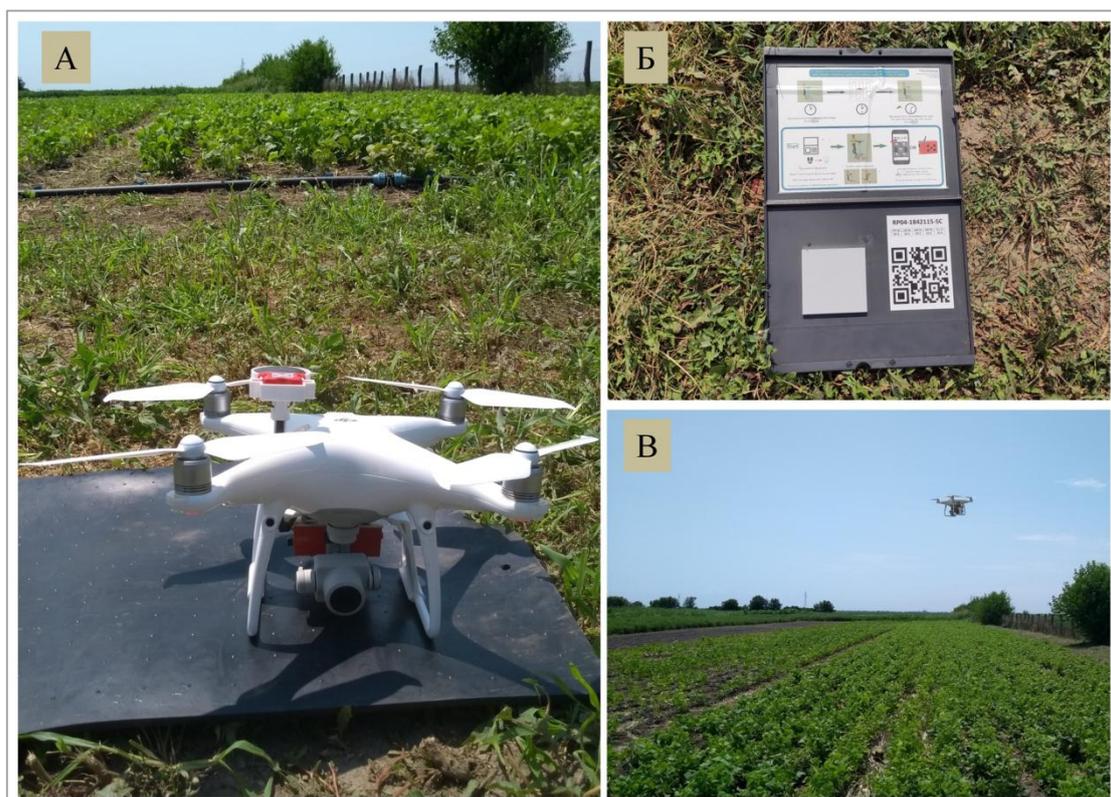


Слика 10. Мерење лисне површине пасуља на уређају *LC-3100C Area Meter*

5.8.5. Даљинска детекција и вегетациони индекси

Током трајња огледа извршено је снимање стања усева пасуља коришћењем дрона *DJI PHANTOM 4 PRO V2* на кога је монтирана мултиспектрална камера *RedEdge MX* (слика 11).

Сваки направљени снимак садржи сет података од пет спектралних канала: плави, зелени, црвени, црвени руб и блиско инфрацрвени спектар (табела 17). Одабрана је висина лета од 50 m, а просторна резолуција износила је 3,7 cm. Коришћењем калибрационе табле, пре сваког лета извршена је радиометријска калибрација.



Слика 11. Слика дрона са мултиспектралном камером (А), поступком радиометријске калибрације (Б) и почетком снимања (В).

Табела 17. Опсеги и параметри просторне резолуције мултиспектралних података

Број канала	Име канала	Просторна резолуција (cm)	Опсег таласних дужина	Централна таласна дужина
1	Плави (<i>BLUE</i>)	3,7	0,465-0,485	0,475
2	Зелени (<i>GREEN</i>)		0,550-0,570	0,560
3	Црвени (<i>RED</i>)		0,663-0,673	0,668
4	Црвени руб (<i>REDEGE</i>)		0,712-0,722	0,717
5	Блиско инфрацрвени спектар (<i>NIR</i>)		0,820-0,860	0,840

Прелети су вршени по сунчаном времену у периоду од 11:00 до 13:00 часова. Током 2019. и 2020. године извршено је седам снимања (табела 18).

Табела 18. Датуми снимања огледа током периода истраживања

2019	2020
04.07.2019.	03.07.2020.
19.07.2019.	27.08.2020.
16.08.2019	16.09.2020.
13.09.2019.	

Pix4Dmapper (<https://www.sensefly.com/software/pix4d/>) софтвер је коришћен за генерисање ортомозаика од сирових снимака. Истовремено са генерисањем снимака, у *Pix4Dmapper*, вршена је геометријска корекција. Финални производ након процесирања су пет различитих спектралних канала у *GeoTIFF* формату.

Даља анализа добијених слика вршена је коришћењем *QGIS 3.12* софтвера. Снимци су тримовани на ниво огледних парцела употребом „*clipper*“ апликације. Обрачунавање вегетационих индекса вршено је у истом софтверу, коришћењем функције „*raster calculator*“. Релевантни статистички подаци за сваки третман обрачунати су помоћу функције „*zonal statistics*“ и експортирани у *xlsx* формат.

Генерисано је 5 вегетацијских индекса:

NDVI индекс

Представља индекс нормализоване разлике вегетације (*Normalized difference vegetation index*), на основу ког је могуће проценити садржај хлорофила, биомасу, снабдевеност усева водом и уочити делове парцеле на којима биљке нису у доброј кондицији. Дефинише се као однос разлика између појединих вредности рефлектујућих таласних дужина - одбијања блиско црвеног (*NIR*) и црвеног спектра (*RED*) зрачења и њихове суме, што се може представити једначином (Ustuner et al., 2014):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} [6]$$

GNDVI индекс

GNDVI је модификовани *NDVI* који има за циљ да утврди фотосинтетску активност биљке. Користи се за процену садржаја азота у листу и усвајање воде од стране биљке. Овај индекс користи зелени (*GREEN*), видљиви део спектра и одређује се следећом једначином (Omer et al., 2017):

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN} [7]$$

OSAVI индекс

Оптимизовани индекс вегетације прилагођен земљишту (*OSAVI*), је индекс прилагођен за праћење стања усева у биљној производњи. *OSAVI* је осетљивији на присуство вегетације и показује разлике у стању усева/вегетације боље од *SAVI*, нарочито где је присутна велика густина вегетације. Одређује се преко следећег израза (Zou и Mottus, 2017):

$$OSAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + 0,16} (1 + L) [8]$$

Вредност *L* се прилагођава на основу количине вегетације. *L=0,5* је подразумевана вредност.

MCARI1 индекс

Модификовани индекс абсорпције хлорофила у рефлексији (*MCARI1*) прати разлике у индексу лисне површине и садржају хлорофила, а одређује се преко следећег израза: (Gitelson и Merzylak, 1994) :

$$MCARI1 = 1.2(2.5(NIR - RED) - 1.3(NIR - GREEN)) [9]$$

NDRE индекс

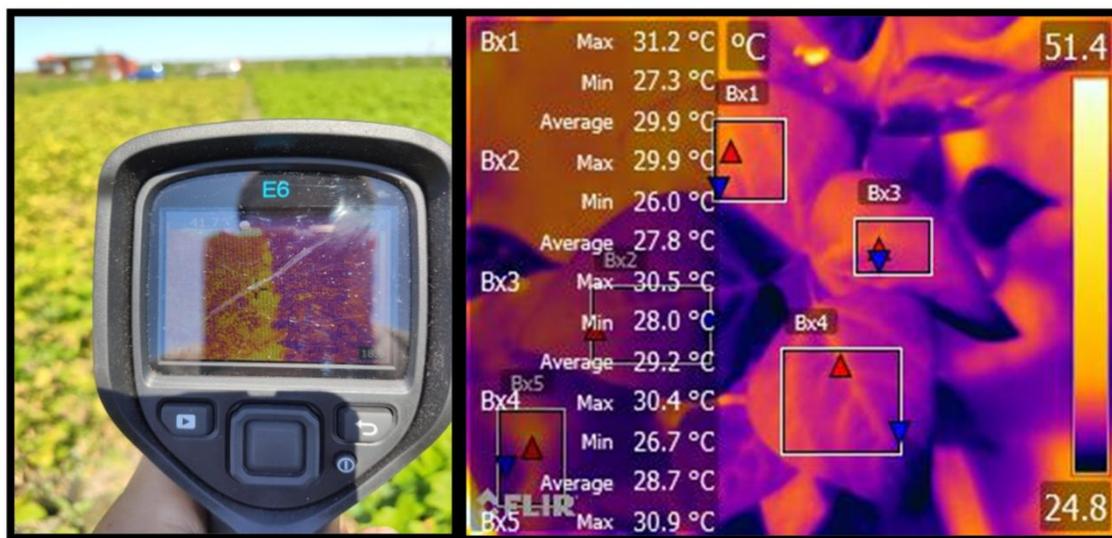
Индекс нормализоване разлике спектра црвеног руба (*Normalized Difference Red Edge*) прати разлике у садржају хлорофила и фотосинтетској активности биљке, а ефикасан је за

праћење усева у каснијим фазама пораста када се примењује наводњавање и фертигација (Gitelson и Merzylak, 1994):

$$NDRE = \frac{NIR - REDEGE}{NIR + REDEGE} \quad [10]$$

Даљинско мерење температуре лисне масе и Биљни водни стресни индекс (CWSI)

Поред мултиспектралне камере, коришћена је и ручна термална камера (*FLIR, T335*) (слика 12). Термална камера користи се за праћење температуре биљног покривача, а затим одређивања индекса биљног водног стреса *CWSI* (*Crop Water Stress Index CWSI*). У току вегетационог периода за сваку сетву извршено је 5-8 мерења током трогодишњег периода истраживања (2018, 2019. и 2020. године). Сваки третман фотографисан је 9 пута, тако да је за сваки рок сетве добијено 27 фотографија.



Слика 12. Приказ термалне камере (*FLIR, T335*)

Пре сваког мерења, вршена су подешавања параметара на камери. Улазни подаци неопходни за добијање прецизних резултата су средња температура ваздуха, средња релативна влажност ваздуха, емисивност вегетације (0,95), рефлектујућа температура и подешавање растојања од биљке до камере (1 m). Температура и влажност ваздуха је читавана непосредно пре мерења са метеоролошке станице која је постављена поред огледног поља.

У програму *FLIR TOOLS* који доставља произвођач камере, врши се анализа фотографија. Са сваке фотографије се селекује пет површина за анализу просечне температуре лишћа.

На основу измерених и упросечених температура биљног покривача, одређује се *CWSI* објашњен од стране Idso et al. (1981).

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - D_2}{D_1 - D_2} \quad [11]$$

где је: T_a - амбијентална температура (°C);

T_c - температура биљног покривача (°C);

D_1 - разлика између максималне температуре биљног покривача и температуре ваздуха. За биљку у стресу износи 3,962 (Idso et al., 1981);

D_2 - доња граница разлике између температуре биљног покривача и температуре ваздуха.

$$D_2 = 1,03 - 1,923 \cdot VDP \quad [12]$$

Дефицит напона водене паре (VDP) израчунава се на основу разлике вредности сатурисаног напона водене паре (e_s) и стварног напона водене паре (e_a).

$$VDP = e_s - e_a \quad [13]$$

e_s зависи од температуре ваздуха (T_a)

$$e_s = 0,611 \cdot \exp \cdot \left(\frac{17,27 \cdot T_a}{T_a + 237,3} \right) \quad [14]$$

e_a се одређује на основу e_s и релативне влажности ваздуха (RH)

$$e_a = e_s \cdot \frac{RH}{100} \quad [15]$$

5.8.6. Референтна евапотранспирација (ЕТо)

Референтна евапотранспирација (ЕТо) представља климатски параметар који изражава атмосферску моћ за испаравањем са референтне површине. Референтна површина је хипотетички травнати усев висине 0,12 m, фиксног површинског отпора $70 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ и албедом 0,23. Референтна површина је врло слична екстензивној зеленој, добро наводњаваној трави, униформне висине, при активном расту и комплетној покривности земљишта. Фиксни отпор површине представља средње суву површину земљишта насталу услед седмичног турнуса заливања (Allen et al., 1998).

Међународна комисија за наводњавање и одводњавање (ICCD) и Организација Уједињених нација за исхрану и пољопривреду (FAO) усвојили су Penman-Monteith методу (FAO56-PM) за стандардну методу за прорачун референтне евапотранспирације.

FAO56 Penman-Monteith је комплексна метода која за обрачун референтне евапотранспирације узима у обзир велики број климатских параметара, формула гласи:

$$ETo = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta \cdot \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad [16]$$

где је: ETo - референтна евапотранспирација ($\text{mm} \cdot \text{dan}^{-1}$),
 Rn - нето радијација на површини усева ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dan}^{-1}$),
 G - енергија утрошена на загревање земљишта ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dan}^{-1}$),
 T - температура ваздуха ($^{\circ}\text{C}$),
 u_2 - брзина ветра мерена на два метра висине ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
 e_s - сатурисани напон водене паре (kPa),
 e_a - стварни напон водене паре (kPa),
 $(e_s - e_a)$ - дефицит напона водене паре (kPa),
 Δ - нагиб криве водене паре ($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$),
 γ - психрометарска константа ($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$),

5.8.7. Евапотранспирација усева (ЕТс)

Евапотранспирација усева представља производ коефицијента културе (kc), који садржи карактеристике усева и референтне евапотранспирације (ЕТо), која представља

атмосферску моћ испаравања, и уствари приказује климатске услове. Евапотранспирација усева подразумева да се биљка гаји у погодним условима, тј. да је усев оптималне густине, добро наводњаван и обезбеђен хранивима, да није под утицајем салинитета, да је без присуства корова, болести и штеточина. Евапотранспирација усева се изражава следећом формулом:

$$ET_c = ET_o \cdot k_c \quad [17]$$

Усев никада ефективно не може искорисити све падавине, јер се један део падавина задржи на лишћу, део отекне или се процеди у дубље слојеве, а само један део се задржи у зони кореновог система, који биљка ефикасно троши. Да би се прецизно одредила потрошња воде примењен је дуални коефицијент (K_c) (Allen et al., 1998) који раздваја транспирацију од евапорације:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad [18]$$

где је: K_{cb} - базални коефицијент културе

K_e - коефицијент евапорације са површине земљишта

Базални коефицијент културе (K_{cb}) представља однос ET_c и ET_o при просечном садржају воде у земљишту, довољном да се обезбеди пуна транспирација гајене културе. При одсуству кише и наводњавања, K_{cb} представља основни потенцијал K_c .

Коефицијент K_e разматра само процес испаравања са површине земљишта. Када је земљиште влажно, након падавина или наводњавања, K_e може имати високе вредности, али збир $K_{cb} + K_e$ никада не прелази максималну вредност ($K_{c \max}$) која представља расположиву енергију за евапотранспирацију. Када се површински слој земљишта исушује, вредности K_e се смањују, све до тренутка када нема воде за евапорацију ($K_e=0$). Да би се процениле вредности K_e , неопходно је одредити садржај воде у површинском слоју земљишта на дневном нивоу.

Примена дуалних коефицијента културе захтева више мерења и прорачуна у односу на просечан коефицијент културе K_c . Дуални коефицијент културе најпрактичније је користити за управљање системима наводњавања у реалном времену.

Да би се одредиле вредности коефицијената K_{cb} и K_e потребно је одредити дужину вегетационог периода културе, као и дужину трајања сваке фенофазе, и количину укупно испариве количине воде и лако испариве воде из површинског слоја земљишта.

Вредности K_{cb} за прву, трећу и крај четврте фазе преузимају се из литературе (*FAO Irrigation and drainage paper 56*), а на основу њих конструише се крива K_{cb} . Вредност K_{cb} пасуља за крај прве фазе (укорењавање) износи 0,15, за трећу фазу 1,10 а за крај четврте фазе 0,25. Вредности K_{cb} за другу и четврту фазу читавају се са криве на дневном нивоу.

Коефицијент евапорације (K_e) представља се следећом формулом:

$$K_e = K_r \cdot (K_{c \max} - K_{cb}) \leq f_{ew} \cdot K_{c \max} \quad [19]$$

где је: K_e - коефицијент евапорације са површине земљишта;

K_{cb} - базални коефицијент културе;

$K_{c \max}$ - максимална вредност K_c услед падавина или наводњавања;

K_r - бездимензиони коефицијент редукције испаравања који зависи од кумулативне количине воде која испарава из површинског слоја земљишта;

f_{ew} - фракција површинског слоја земљишта у којој је испаравање најинтензивније.

После кише или наводњавања, K_r достиже своју максималну вредност (један). Како се површински слој земљишта исушује, евапорација се снижава, а K_r опада (<1). Када у површинском слоју земљишта нема воде за испаравање, K_r износи нула. Процес испаравања се углавном одвија када је земљиште незасенчено лисном масом, а најинтензивније је у почетним фенофазама развића гајених култура.

Кораци за обрачун K_r :

- прорачун горње границе $K_{c \max}$ (представља расположиву енергију за процес евапотранспирације са површине земљишта);
- одређивање K_r ;
- одређивање F_{ew} (вредност дела земљишта које је изложено сунцу (f_{ew}), то јест фракције површинског дела земљишта са које је испаравање најинтензивније, зависи од засенчености земљишта лисном масом).

За процену K_r , потребно је вршити прорачуне водног биланса површинског слоја земљишта на дневном нивоу.

Вредност $K_{c \max}$ за пасуљ износи 1,15 (*FAO Irrigation and drainage paper 56*). Максимални коефицијенти културе коригују се за метеоролошке услове који се разликују од стандардних. Поправка $K_{c \max}$ у зависности од климатских услова се врши преко следеће формуле:

$$K_{c \max} = \max \left(\left\{ 1,2 + [0,04 \cdot (u_2 - 2) - 0,004 \cdot (RH_{\min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \right\}, \{K_{cb} + 0,05\} \right) [20]$$

где је: u_2 - брзина ветра ($m \cdot s^{-1}$), мерена на 2 m висине;

RH_{\min} - минимална релативна влажност ваздуха (%);

h - висина биљке (m).

Вредности K_r добијене су преко израза:

$$K_r = \frac{TEW - D_{e, i-1}}{TEW - REW} [21]$$

где је: K_r - бездимензиони коефицијент редукције испаравања;

TEW - максимална кумулативна количина воде која испарава из површинског слоја земљишта када је $k_r = 0$ (укупна количина воде која испари);

REW - лако приступачна вода за испаравање (mm), вредност преузета из табеле, за прашкасте иловаче, до дубине од 10 cm, износи 10 mm (*FAO Irrigation and drainage paper 56*);

$D_{e, i-1}$ - укупна количина воде која је испарила претходног дана (mm) добија се на основу дневног водног биланса:

$$D_{e, i-1} = ET_0 \cdot k_e - (P_i + I_i - DP_i) [22]$$

где је: P_i - падавине на дан i (mm),

I_i - наводњавање на дан i (mm),

DP_i - дубока перколација на дан i .

Вредност TEW се добија преко израза:

$$TEW = 1000 \cdot (W_{FC} - 0,5\theta_{WP}) \cdot Z_e [23]$$

где је: W_{FC} - садржај воде у земљишту при пољском водном капацитету ($m^3 \cdot m^{-3}$);

θ_{WP} - садржај воде у земљишту при влажности венућа ($m^3 \cdot m^{-3}$);

Z_e - дубина слоја земљишта из којег се врши процес евапорације, вредности се крећу од 0,0 m до 0,15 m.

Приказани кораци одређивања евапотранспирације културе примењују се у условима оптималне обезбеђености усева водом.

Када усев није оптимално снабдевен водом, као што је у третманима редукованог заливања у овом огледу, биљке пате од недостатка воде, тако да је за одређивање евапотранспирације културе потребно увести коефицијент стреса K_s :

$$ET_a = (K_s \cdot K_{cb} + K_e) \cdot ET_o [24]$$

где је: ET_c - евапотранспирација културе ($mm \cdot dan^{-1}$);

K_s - коефицијент стреса ($k_s < 1$);

Коефицијент стреса одређује се формулом:

$$k_s = \frac{TAW - D_{r, i-1}}{TAW - RAW} [25]$$

где је: K_s - коефицијент стреса;

TAW - укупно приступачна вода биљкама (mm) у зони кореновог система;

$D_{r, i-1}$ - количина воде која је испарила из зоне кореновог система на крају предходног дана до које се долази преко једначине водног биланса на дневном нивоу;

RAW - лакоприступачна количина воде у зони кореновог система (mm).

Укупно приступачна вода у зони кореновог система одређује се преко формуле:

$$TAW = (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \cdot Z_r [26]$$

где је: θ_{FC} - садржај воде у земљишту при пољском водном капацитету ($m^3 \cdot m^{-3}$);

θ_{WP} - садржај воде у земљишту при влажности венућа ($m^3 \cdot m^{-3}$);

Z_r - дубина кореновог система (0,45).

Дозвољено исушивање земљишта ($D_{r,i}$) у зони кореновог система добија се преко следеће формуле:

$$D_{r,i} = D_{r, i-1} - P_i - I_i - DP_i + ET_{c,i} [27]$$

где је: $D_{r,i}$ и $D_{r,i-1}$ - кумулативна транспирација у зони кореновог система на крају дана i и на крају претходног дана $i-1$ (mm) редом.

Како би се потврдио прорачун, извршена је додатна анализа потрошње воде методом водног биланса, користећи расположиве податке о падавинама, норми заливања и влажности земљишта:

$$ET_a = \frac{P + I \pm \Delta\theta - D_p}{n} [28]$$

где је: ET_a - реална евапотранспирација (mm);

$\Delta\theta$ - промена садржаја воде у земљишту између два мерења (mm);

n - број дана између два мерења;

D_p - дубока перколација (mm)

5.8.8. Нормализована продуктивност воде (ПВ*)

Нормализована продуктивност воде може се квантификовати односом укупне надземне биомасе и суме односа транспирације и референтне евапотранспирације:

$$ПВ^* = \frac{B}{\sum \frac{T}{ET_0}} [29]$$

где је: $ПВ^*$ - нормализована продуктивност воде ($kg \cdot ha^{-1}$)

B - укупна надземна биомаса ($kg \cdot ha^{-1}$)

T - транспирација ($mm \cdot dan^{-1}$)

ET_0 - референтна евапотранспирација ($mm \cdot dan^{-1}$)

5.8.9. Ефикасност коришћења воде (ЕКВ)

Ефикасност коришћења воде (ЕКВ) представља показатељ количине приноса по јединици воде коју биљка утроши на процес евапонтранспирације:

$$ЕКВ = \frac{Y}{ET_a} [30]$$

где је: Y - принос ($g \cdot m^{-2}$);

ET_a - сума реалне евапотранспирације током читавог вегетационог периода (mm или $m^3 \cdot ha^{-1}$).

Ефикасност коришћења воде рачуната је у оквиру третмана наводњавања при свим роковима сетви пасуља.

5.8.10. Испитиване компоненте приноса

Испитиване компоненте приноса одређиване су са елементарних парцелица формираних на свим третманима (рокови сетве и режими наводњавања) по понављањима. Елементарне парцелице оформљене су 10-ак дана након ницања, на местима који се налазе на репрезентативним деловима сваке заливне парцеле.

Жетва је обављана ручно за сваки рок сетве, у фази физиолошке зрелости, а време жетве варирало је у зависности од временских услова. Вршено је узорковање биљака са елементарних парцелица, а потом преношење у лабораторију за даљу припрему. Најпре је вршено одвајање махуна, затим и зрна из махуна, одвајање и уситњавање преостале биомасе и припрема узорака за анализе. Одређени су следећи параметри:

- Укупна биомаса (свежа маса биљке у $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$);
- Укупна сува биомаса (сува маса биљке $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$);
- Број махуна по биљци;
- Маса махуна (g);
- Принос зрна пасуља ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$);
- Маса 1000 зрна (g);
- Жетвени индекс (%).

Принос зрна испитиваних узорака сведен је на 12% влаге и изражен по јединци површине од један хектар за сваки испитивани третман.

5.8.11. Биохемијски квалитет плодова

Након одређивања компоненти приноса, узорци зрна пасуља одмерени су у посебне најлонске кесице за анализу биохемијског квалитета плодова.

За анализу садржаја уља и протеина у зрну пасуља коришћен је NIR анализатор INSTALAB 600 произвођача Dickey-John чији се рад заснива на методологији Нумовитз et al. (1974). Пре анализе узорци су самлевени у лабораторијском млину WZ-1, а затим је 50 грама сваког узорка пренето на стандардну кивету након чега је одређен садржај протеина и уља у семену пасуља.

5.8.12. Статистичка обрада података

Припрема сета података и дескриптивна статистичка анализа урађена је у оквиру SAS софтверског пакета (SAS Institute Inc. Software License 9.3, 2012). Детерминација утицаја фактора на испитиване особине урађена је применом фиксног линеарног модела у оквиру GLM процедуре наведеног софтверског пакета.

Сваки од добијених показатеља је обрађен коришћењем дескриптивне статистике за показатеље на годишњем нивоу (од 2018. до 2020. године, као и за трогодишњи просек). Ефекти фактора рока сетве (три рока) и нивоа заливања (три третмана), као и њихове интеракције на посматране особине приноса, физичких и хемијских особина пасуља извршена је методом анализе варијансе и применом LSD теста.

6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

6.1. Рокови сетве и њихов утицај на дужину вегетационог периода и појединих фенофаза пасуља

Вегетациони период представља број дана од почетка ницања до пуне зрелости. Код пасуља, овај период прати се све до физиолошке зрелости, односно жетве. Дужина вегетационог периода код пасуља, као и код већине биљних врста умереног климатског поднебља је биолошка (сортна) особина која зависи од температурне суме.

У току истраживања праћено је трајање појединих фенофаза и укупног трајања вегетационог периода у свим роковима сетве. На графику 3. приказани су резултати утицаја рока сетве на дужину трајања појединих фенофаза по испитиваним годинама. Нису уочене разлике у дужини трајања појединих фенофаза између третмана наводњавања, тако да ће се у даљем тексту говорити о разликама дужине трајања, у оквиру рокова сетве.

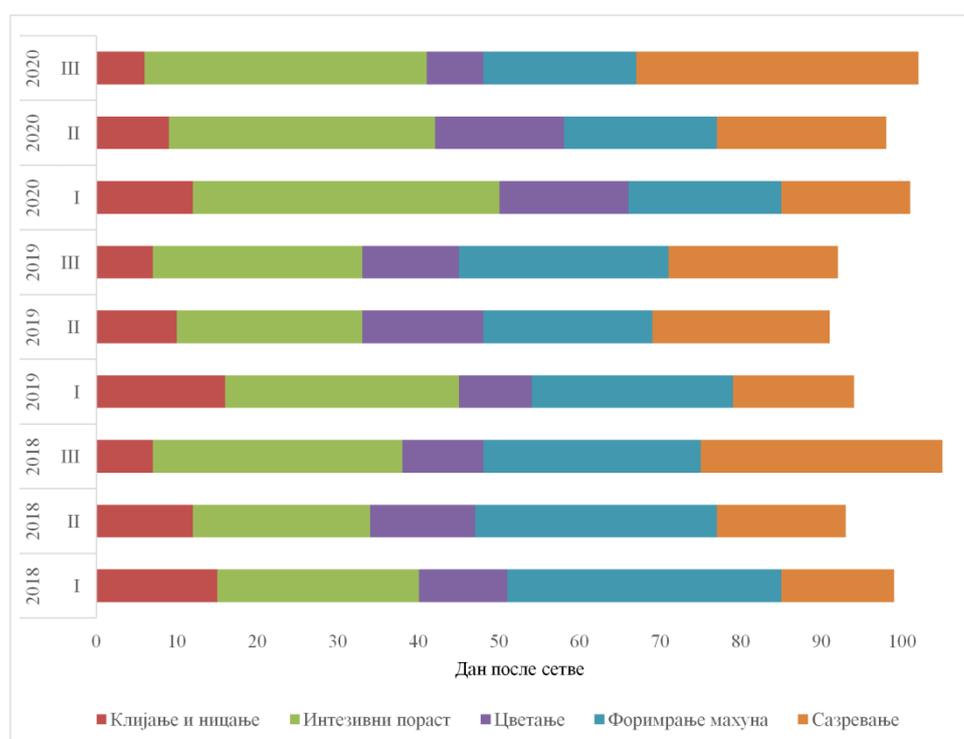


График 3. Приказ дужине трајања појединих фенофаза пасуља у току трогодишњег периода истраживања (2018-2020) на експерименталном пољу у Старој Пазови

Као што је наведено у претходном поглављу, пре сваког рока сетве праћена је средња и минимална температура и влажност земљишта (табела 12), те се сетва одвијала увек у повољним условима. У погледу дужине трајања периода од сетве до ницања остварене су статистички високо значајне разлике ($p < 0,01$) између испитиваних рокова сетве (табела 19). За ницање пасуља у првом року сетве (I) просечно је било потребно око 14 дана, у другом року 10, а у трећем року нешто мање од 7 дана. Када је повољан садржај воде, биљке у касним роковима сетве (II и III) брже ничу услед повољнијих температурних услова, а истовремено и повољне влажности земљишта. Овакав тренд клијања и ницања пасуља запажен је у свим годинама истраживања. Наиме, у првом року сетве просечна минимална температура износила је $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, у другом року била је за $5,18\text{ }^{\circ}\text{C}$ виша, а у трећем року за чак $9,57\text{ }^{\circ}\text{C}$ виша. Уколико је било потребно, након сетве вршено је наводњавање како би се обезбедили добри услови влажности земљишта.

Највећи утицај на дужину периода од ницања до цветања (развој лисне масе) има температура ваздуха, чији оптимум износи од 18 °C до 22 °C (Тодоровић и сар., 2008). Трајање периода од ницања до цветања (интензивни пораст - развој лисне масе) није се статистички значајно разликовало (нз) између испитиваних рокова сетве (табела 19). Развој лисне масе пасуља просечно је најкраће трајао у II сетвеном року (24 дана), док је у I и III року тај период износио 31 и 29 дана, редом. Нешто краће трајање развоја лисне масе у другом сетвеном року условљено је високим температурама којима су биљке биле изложене у том периоду, док су у периоду првог и трећег рока сетве током интензивног пораста температурни услови били повољнији. Овакав тренд трајања периода развоја лисне масе запажен је у свим истраживаним годинама са изузетком 2020. године, када је запажено да се овај период одвијао 4 дана дуже у другом у односу на трећи рок сетве.

Табела 19. Ефекат рока сетве на дужину трајања појединих фенофаза пасуља (број дана) током трогодишњег периода истраживања (2018-2020)

Фенофаза	Клијање и ницање	Интензивни пораст	Цветање	Формирање махуна	Сазревање	Период од сетве до жетве
Рок сетве	**	нз	**	нз	**	*
I	14 a	31	12 b	26	15 c	98 ab
II	10 b	26	15 a	23	20 b	94 b
III	7 c	29	10 b	29	25 a	100 a
Просек	10	29	12	26	20	97

Тестирање просечних вредности унутар колона Тукијевим тестом ($p > 0,05$; $p < 0,05$; $p < 0,01$): F тест - нема статистичког значаја (нз) ($p > 0,05$); * статистички значајан утицај ($p < 0,05$); ** статистички веома значајан утицај ($p < 0,01$)

Трајање периода цветања зависи од температуре и влажности ваздуха, али и влажности земљишта. Оптимална температура за цветање и заметање махуна износи од 20 °C до 25 °C, а цветање се зауставља при температурама од 15 °C и 35 °C (Тодоровић и сар., 2008). Трајање цветања (крај интензивног пораста - формирање махуна) статистички се веома значајно разликовало ($p < 0,01$) између испитиваних рокова сетве (табела 19). Период од почетка цветања до периода формирања махуна у свим роковима сетве варирао је од 16 до 8 дана, а цветање је осмотрено и у току фазе формирања махуна (због сукцесивног цветања пасуља). Просечно, најдужи период цветања до фазе формирања махуна запажен је у другом року сетве (15 дана), што је статистички веома значајно ($p < 0,01$) дуже него у првом року сетве (12 дана). У трећем року сетве фаза цветања је трајала најкраће (10) дана. Овакав тренд био је карактеристичан за 2018. и 2019. годину, док је најкраће трајање ове фазе запажено у трећем року сетве 2020. године (9 дана). Пасуљ је најосетљивији на недостатак воде током фенофазе формирања махуна. Поред тога, високе температуре од 30 °C до 35 °C уз смањену влажност ваздуха доводе до уништавања полена и онемогућавања оплодње (Тодоровић и сар., 2008). Период формирања махуна статистички није се значајно разликовао (нз) између испитиваних рокова сетве (табела 19). Варирао је од 19 до 35 дана у свим роковима сетве. Генерално, ова фаза најдуже се одвијала у року сетве III (29 дана), затим нешто краће у I и II року (26, 23 дана, редом). Трајање ове фенофазе различито се манифестовало током трогодишњег истраживања. Током 2018. године период формирања махуна трајао је 34 дана, у другом 30, а у трећем сетвеном року 27 дана. Током 2019. године формирање махуна најдуже је трајало у III року сетве (26 дана) незнатно краће у I року сетве (25 дана), а најкраће у II року (21 дан). У последњој години истраживања (2020) формирање махуна најдуже је трајало у трећем року (35 дана).

Трајање фенофазе сазревања махуна статистички се веома значајно разликовало

($p < 0,01$) између испитиваних рокова сетве (табела 19). Просечно је варирао од 14 до 30 дана. Фаза сазревања пасуља у року I просечно је трајала 15 дана и повећавала се у каснијим роковима сетве (II=20; III=25). Разлог продужетка фазе сазревања махуна јесте нешто нижа температура и виша влажност ваздуха у том делу године. Овакав тренд трајања сазревања запажен је у све три године истраживања.

Период од сетве до жетве статистички се значајно разликовао ($p < 0,05$) између испитиваних рокова сетве (табела 19). Пасуљ је најбрже стизао на жетву када је сејан у II року сетве (просечно за 94 дана), што је статистички значајно више ($p < 0,05$) у односу на I и III рок сетве, где је пасуљ касније стизао на жетву, односно за 98 и 100 дана, редом.

6.2. Влажност земљишта на огледном пољу током трогодишњег периода истраживања

Влажност земљишта на огледним парцелама праћена је на основу две методе:

1. Гравиметријски метод (стандардни метод)
2. Метод временски дефинисане рефлектометрије (*TDR*)

6.2.1. Гравиметријски метод

Влажност земљишта на огледним парцелама праћена је на сваких 7 до 10 дана до дубине од 60 центиметара по слојевима од 0-20 cm; 20-40 cm и 40-60 cm. Добијени резултати су множени са запреминском густином земљишта да би се израчунао садржај воде у односу на запремину земљишта (%_{зап.}). Затим је одређена расположива количина воде за пасуљ у оквиру сваког третмана наводњавања.

Динамика садржаја воде у земљишту за све третмане наводњавања приказана је на графицима 4, 5 и 6. Илустративно је приказана промена садржаја воде у земљишту заједно са линијама које представљају ПВК (пољски водни капацитет), ВВ (влажност трајног увенућа биљака), УПВ (укупно доступна вода биљкама у зони кореновог система) и линија стреса (дозвољено исушивање да не дође до водног стреса). Дозвољено исушивање износило је 40% од УПВ у зони кореновог система (Doogenboss и Kassam, 1988). На графицима је приказана и висина падавина и норма заливања.

Након сетве пасуља неопходно је обезбедити повољну количину воде у сетвеном слоју, јер при клијању зрно упија значајне количине воде (104,5% од своје масе) и набубри. Процес клијања је важан, јер поред оптималног садржаја воде потребно је обезбедити много кисеоника и довољно топлоте. Стога, уколико није било падавина, пасуљ је одмах након сетве наводњаван до ПВК у слоју земљишта од 20 cm. Након обезбеђивања уједначеног ницања примењивани су третмани заливања.

На графику 4 приказан је садржај воде у земљишту на свим испитиваним третманима у 2018. години (I-Ф, II-Ф, III-Ф, I-Д₁, II-Д₁, III-Д₁, I-Д₂, II-Д₂, III-Д₂).

У оквиру првог рока сетве (I) садржај воде у земљишту између испитиваних третмана наводњавања (Ф, Д₁ и Д₂) био је уједначен и варирао је између вредности ПВК и линије стреса тј. усвојене вредности доње границе лакоприступачне воде (ЛПВ). Падавине су често реметиле успостављене режиме наводњавања те је садржај воде у већем делу првог рока сетве био уједначен.

У оквиру другог рока сетве (II) запажен је сличан тренд садржаја воде у земљишту између испитиваних третмана наводњавања (Ф, Д₁ и Д₂) као у претходном року. Разлог томе су појаве падавина у данима када је планирана примена наводњавања по третманима. Садржај воде кретао се у зони ПВК, а највећи дефицити на испитиваним третманима

наводњавања запажени су тек у фазама сазревања махуна (11 mm, 15 mm и 20 mm за Ф, Д₁ и Д₂ третмане, редом).

У оквиру трећег рока сетве (III) садржај влаге варирао је у опсегу од ПВК до линије стреса у првих 60 до 65 дана након сетве у свим испитиваним третманима. Након тога, у фенофази сазревања махуна допуштено је да се садржај влаге спусти испод ЛПВ. Највећи садржај влаге забележен је на Ф третману, док је на редукованим третманима након 60 дана после сетве запажен већи пад влажности испод линије стреса, а максимални је износио 44 mm (Д₁) и 51 mm (Д₂).

Очекивано, највећи садржај влаге у земљишту у свим роковима сетве забележен је на Ф третманима и варирао је у распону од ПВК до ЛПВ. Само у трећем року сетве (III) запажено је смањење расположиве воде од 40 mm, око границе ЛПВ у кратком временском периоду, што је оправдано у фази сазревања махуна када је пасуљу потребно мање воде, ради уједначеног сазревања. Међутим, садржај влаге у редукованим третманима наводњавања планирано је одступао у односу на пуно наводњавање, али не у жељеном обиму, услед повољног распореда падавина.

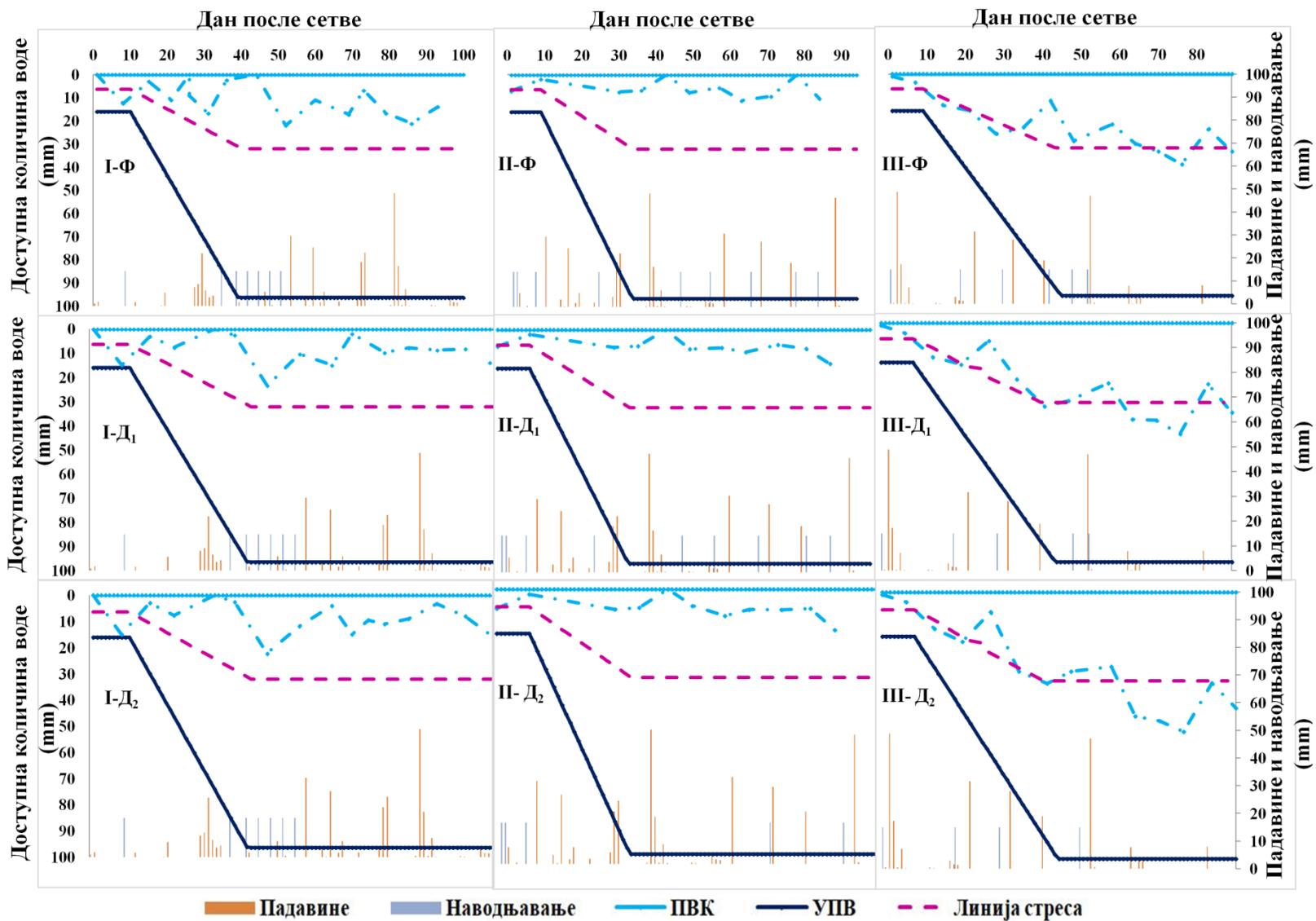


График 4. Доступна количина воде у земљишту за пасуљ у свим испитиваним третманима (I-Ф, II-Ф, III-Ф, I-Д₁, II-Д₁, III-Д₁, I-Д₂, II-Д₂, III-Д₂) за 2018. годину

На графику 5 приказан је садржај воде у земљишту на свим испитиваним третманима у 2019. години (I-Ф, II-Ф, III-Ф, I-Д₁, II-Д₁, III-Д₁, I-Д₂, II-Д₂, III-Д₂).

У оквиру првог рока сетве (I) садржај влаге у земљишту између испитиваних третмана наводњавања (Ф, Д₁ и Д₂) био је прилично уједначен и варирао је између вредности ПВК и ЛПВ. Због изразито повољног распореда падавина током првог рока сетве (од априла до краја јула) наводњавање је изостављено, те режими Ф, Д₁ и Д₂ нису успостављени.

У другом року сетве (II) на почетку вегетације (првих 35 дана) распоред падавина је погодовао пасуљу. Након тога, успостављени су третмани наводњавања. Очекивано, највећи садржај воде запажен је у Ф третману, а расположива количина воде пасуљу се због примењених норми није смањивала испод вредности дозвољеног исушивања. Садржај влаге се снижавао у редукованим третманима наводњавања. На Д₁ третману од 65 дана садржај влаге кретао се око доње границе дозвољеног исушивања и износио је око 35 mm, док је на Д₂ од 55 дана садржај влаге варирао такође око доње границе дозвољеног исушивања.

Генерално, највећи садржај воде запажен је у првом року сетве, када услед обилних и добро распоређених падавина нису примењени третмани наводњавања. У касним роковима сетве (II и III), највећи садржај воде осмотрен је на Ф третманима, док је садржај воде редукованих третмана наводњавања од средине вегетације пасуља (40 дан од сетве) варирао око доње границе ЛПВ.

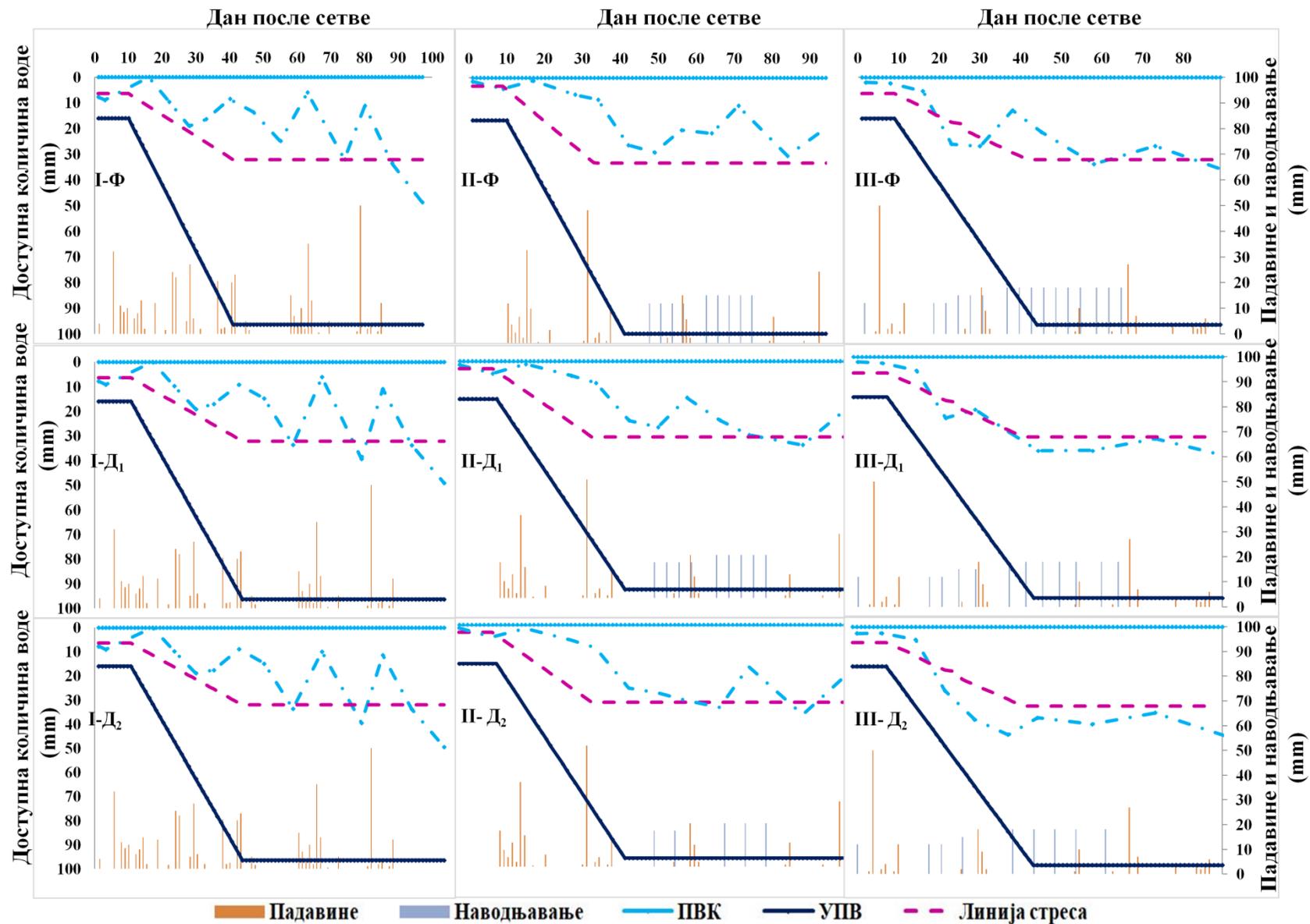


График 5. Доступна количина воде у земљишту за пасуљ у свим испитиваним третманима (I-Ф, II-Ф, III-Ф, I-Д₁, II-Д₁, III-Д₁, I-Д₂, II-Д₂, III-Д₂) за 2019. годину

На графику 6 приказан је садржај воде у земљишту на свим испитиваним третманима у 2020. години (I-Ф, II-Ф, III-Ф, I-Д₁, II-Д₁, III-Д₁, I-Д₂, II-Д₂, III-Д₂).

У првом року сетве (I) садржај влажности земљишта на свим третманима био је у границама лако приступачне воде. Примењени третмани заливања често су прекидани због појаве падавина, чак и услед примењене веће норме наводњавања на Ф третману, садржај влаге у земљишту се није много разликовао у односу на третмане редукованог заливања. Тек при фенофазама сазревања пасуљ је изложен благом стресу.

У другом року сетве слично као у 2019. години на почетку вегетације (првих 35 дана) распоред падавина је погодовао пасуљу. Након тога, успостављени су третмани наводњавања. Садржај воде на Ф третману био је током читавог вегетационог периода у границама лакоприступачне воде, како је и планирано. На третманима Д₁ и Д₂, влажност земљишта се спустила испод доње границе ЛПВ само тридесетак дана (од 30 до 65 дана после сетве (ДПС)), јер су уследиле обилне падавине које су нарушиле планирани распоред заливања. Пред крај вегетационог периода пасуља, садржај воде на свим примењеним третманима био је изнад ЛПВ, услед појаве падавина.

Највеће количине воде за наводњавање примењене су у трећем року (III), на почетку вегетације, при ницању и на крају вегетационог периода, при наливању махуна и сазревању. На свим третманима, влажност земљишта је била у границама ЛПВ, с тим што је на Д₁ и Д₂ третманима досезала доњу границу непосредно пре заливања.

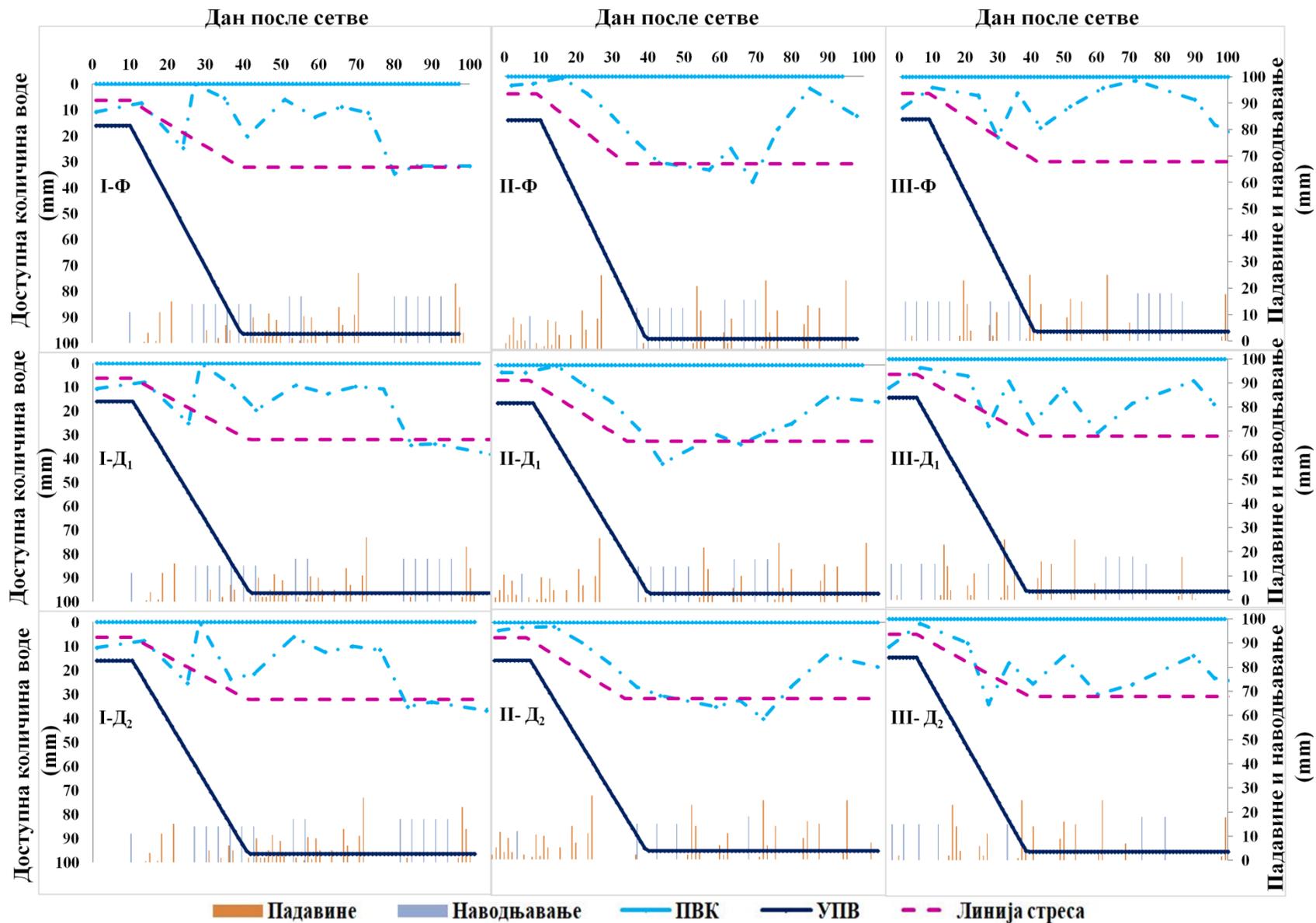


График 6. Доступна количина воде у земљишту за пасуљ у свим испитиваним третманима (I-Ф, II-Ф, III-Ф, I-Д₁, II-Д₁, III-Д₁, I-Д₂, II-Д₂, III-Д₂) за 2020. годину

Највећа влажност земљишта током трогодишњег истраживања забележена је на Ф третманима у свим роковима сетве (I, II и III) где се садржај воде није спуштао испод границе лако приступачне воде биљкама у зони кореновог система (ЛПВ), осим током фазе сазревања махуна, када се допушта нижи садржај воде ради уједначеног сазревања. Сличан тренд је уочен и на I-Д₁ третману када се због повољног распореда падавина у пролећној сетви влажност земљишта није спуштала испод ЛПВ. Тек у касним роковима сетве (II и III) влажност земљишта третмана Д₁ кретала у оквиру границе ЛПВ, услед редукованог наводњавања с једне стране и високе евапотранспирације с друге стране, током летњих месеци. Овакав тренд забележен је и на Д₂ третманима, где се на третману I-Д₂ влажност земљишта одржала изнад границе ЛПВ, док на I- Д₂ и III- Д₂ третману влажност земљишта спуштала испод границе ЛПВ.

Генерално, током трогодишњег истраживања у свим роковима сетве, пасуљ је био обезбеђен лакоприступачном водом на Ф третману. На Д₁ и Д₂ третманима редукованим наводњавањем влажност земљишта се спуштала испод доње границе ЛПВ, али у краћем периоду него што је планирано, услед појаве обилних падавина, које нису карактеристичне за летње месеце јули и август.

6.2.2 Метод временски дефинисане рефлектометрије (*TDR*)

Да би добили бољи увид у садржај влаге у земљишту у сваком тренутку, примењен је метод временски дефинисане рефлектометрије (*TDR*). На графицима 7, 8 и 9 приказан је континуални процентуални садржај влаге у земљишту (%_{зап.}) измерен *TDR* сондама на дубини од 30 cm за све испитиване третмане заливања и рокове сетве током трогодишњег истраживања. Такође, на графицима су представљени резултати мерења влажности земљишта гравиметријском методом измерени на дубини од 20 cm до 40 cm, како би се утврдила тачност мерења добијена *TDR* сондама. Поред наведеног, ради лакшег праћења промене садржаја влаге у земљишту, приказане су дневне суме падавина и норме заливања по третманима.

Током 2018. године у сва три рока сетве запажа се претежно уједначен садржај влаге између испитиваних режима заливања, који је варирао од 40%_{зап.} (I-Ф, I-Д₁, и I-Д₂) што указује да је повремено после великих падавина земљиште краткотрајно било превлажено до 17,5%_{зап.} на III-Д₂ третману углавном пред жетву када се влажност земљишта спуштала скоро до влажности венућа. У периоду 40 и 60 дана од сетве првог рока (I) уочава се диференцирање садржаја влаге услед редукованог заливања, када су на Ф третману садржаји влаге варирали од 29%_{зап.} до 32%_{зап.}, док се садржај влаге спуштао до вредности од 22%_{зап.} и 23%_{зап.} на Д₁ и Д₂ третманима, редом (график 7). У другом року (II) сетве вредности влаге на Ф третману су достигале највеће нивое услед примењених норми заливања, али се након падавина садржај влаге уједначавао. У трећем року у периоду од 40 до 53 дана примећује се диференцирање садржаја влаге услед редукованог наводњавања, где су вредности влаге на Ф третману били у нивоу пољског водног капацитета, док су се садржаји влаге на третманима Д₁ и Д₂ спуштали до 23%_{зап.} (нешто испод линије стреса), али услед падавина од 47 mm запажених 53. ДПС, садржај воде између испитиваних третмана се уједначавао.

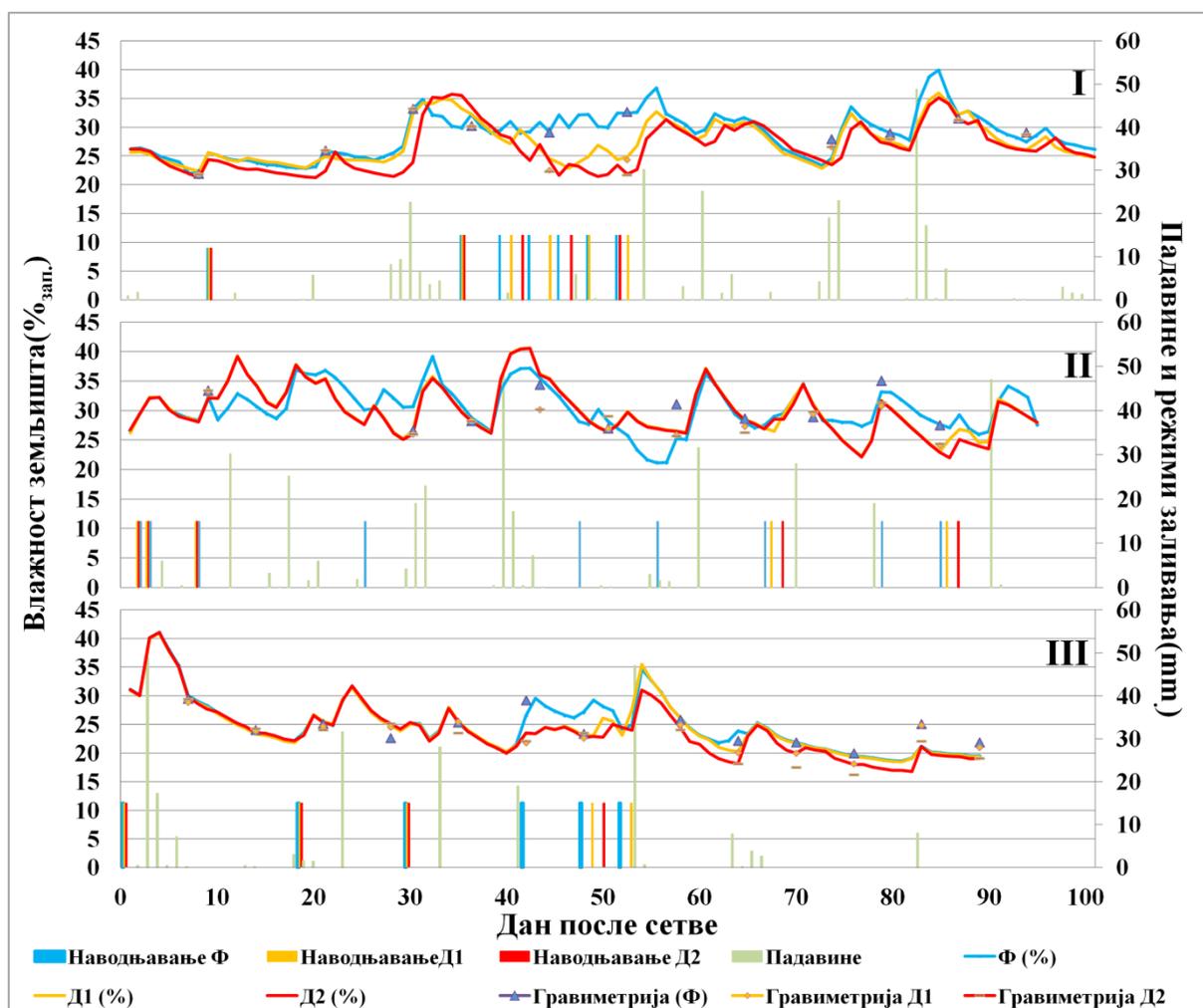


График 7. Влажност земљишта (%_{зап.}) мерена *TDR* сондама (Ф (%), Д₁ (%) и Д₂ (%)) и гравиметријски, норме заливања и падавине по испитиваним режимима заливања и роковима сетве током 2018. године

Током 2019. године садржај воде у земљишту варирао је од 43%_{зап.} (I-Ф, I-Д₁, и I-Д₂) до 16,5%_{зап.} на III-Д₂ третману. Запажа се уједначен садржај воде у првом року сетве, што је последица изостављања наводњавања услед добро распоређених падавина у пролећном делу године. Тек након 50 дана од сетве другог рока (II), запажа се диференцирање садржаја воде у земљишту услед редукованог заливања, када је влажност земљишта на Ф третманима варирала од 28%_{зап.} до 32%_{зап.}, на Д₁ третманима од 30%_{зап.} до 25%_{зап.}, а на Д₂ третманима од 28%_{зап.} до 23%_{зап.} На половини фазе сазревања у другом року сетве прекинуто је наводњавање, па се садржај воде на третманима заливања спуштао и до 15%_{зап.} на дан саме жетве (график 8). У последњем року (III) уочава се диференцирање влажности земљишта већ од 25 ДПС када су успостављени режими заливања, а наводњавање је прекинуто 67 дана од сетве услед појаве падавина. У том периоду садржај воде варирао је од 31%_{зап.} на Ф третману до 17,5%_{зап.} на Д₂ третманима.

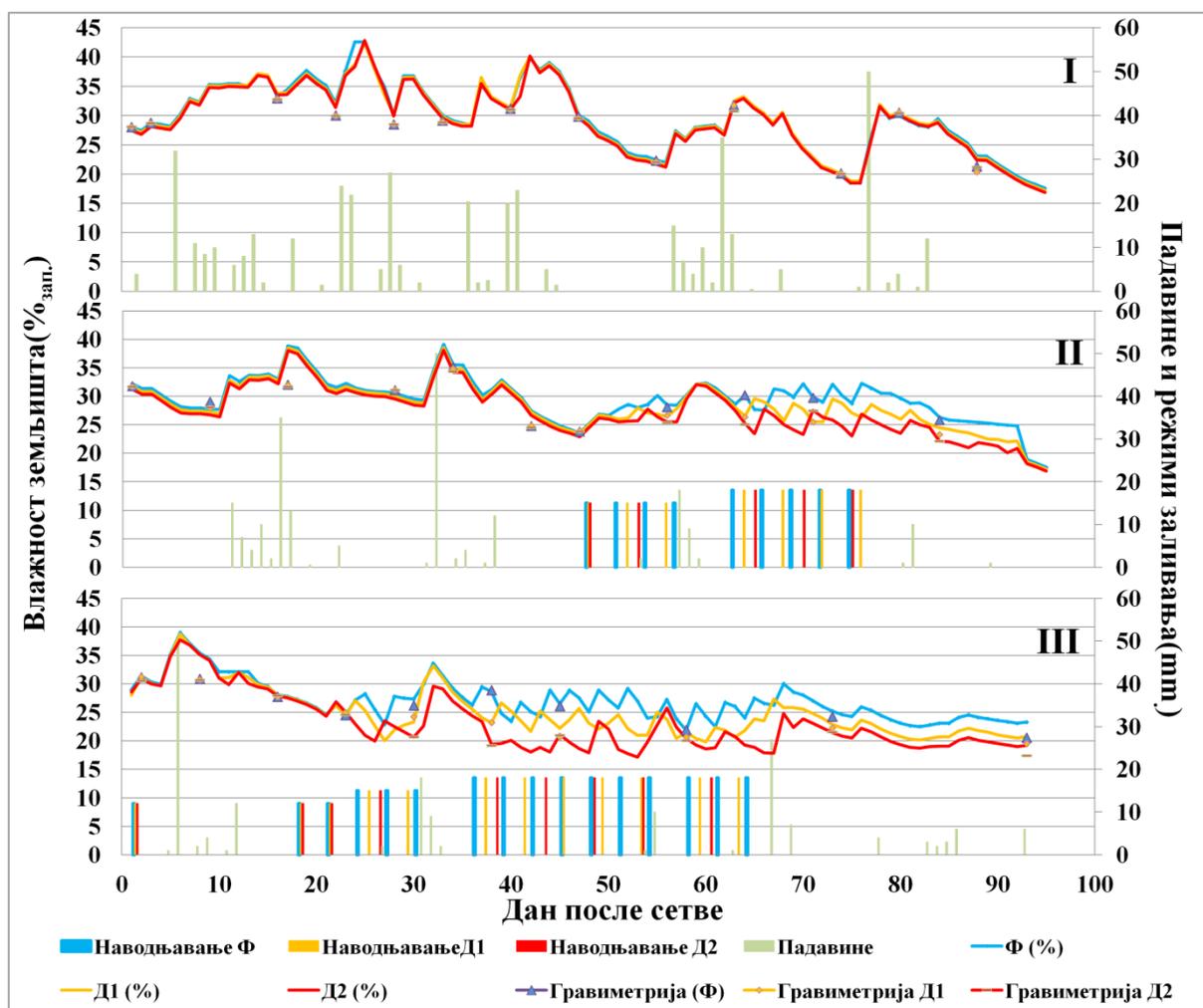


График 8. Влажност земљишта (%_{зап.}) мерена *TDR* сондама (Ф (%), Д₁ (%) и Д₂ (%)) и гравиметријски, норме заливања и падавине по испитиваним режимима заливања и роковима сетве током 2019. Године

Садржај воде током 2020. године варирао је од 35%_{зап.} на I-Ф третману до 18%_{зап.} на I-Д₂ третману. У првом року сетве уочава се диференцирање садржаја воде између третмана заливања током већег дела вегетационог периода, а највећа разлика примећена је од 60 до 70 дана од сетве, када је на Ф третману износио 30%_{зап.}, а на Д₂ третману 19%_{зап.}. Услед примене наводњавања, у другом року диференцирање влажности земљишта на третманима заливања примећује се од 40 дана од сетве и траје све до жетве пасуља. У том периоду садржај воде варирао је од 32%_{зап.} на Ф третманима до 20%_{зап.} и 19%_{зап.} на Д₁ и Д₂ третманима. У трећем року највеће диференцирање влажности земљишта запажено је од 60 дана од сетве, где су на Ф третману садржаји воде били у зони лакоприступачне воде (30-32,29%_{зап.}), док су се садржаји воде на Д₂ снижавали испод 21%_{зап.}, што означава да је пасуљ повремено био изложен условима стреса (график 9).

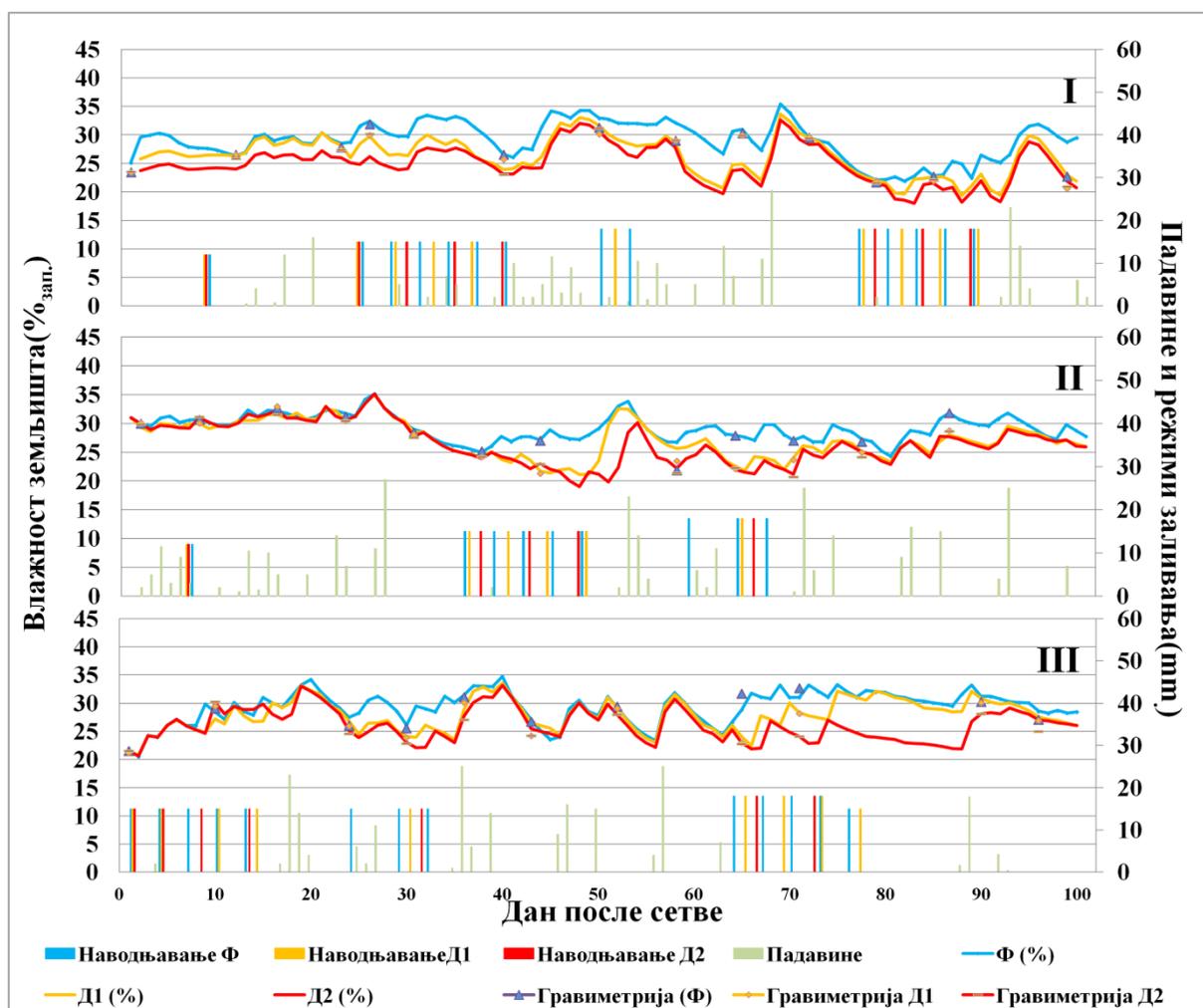


График 9. Влажност земљишта (%_{зап.}) мерена *TDR* сондама (Ф (%), Д₁ (%) и Д₂ (%)) и гравиметријски, норме заливања и падавине по испитиваним режимима заливања и роковима сетве током 2020. године

Поузданост мерења влажности земљишта *TDR* методом

Да би се утврдила поузданост мерења влажности земљишта *TDR* методом урађена је корелација између података влажности земљишта мерених гравиметријским методом на истој дубини (30 cm). Остварена је корелација од 0,84, а резултати мерења су приказани на графику 9. Пре анализе извршена је контрола квалитета података добијених *TDR* методом. Дешавало се да услед губитка контакта сонде са земљиштем у сушним условима дође до прекида сигнала, а при влажењу до појаве превелике количине воде и добијања анормалних података услед дужег задржавања воде у близини сонде. Такви подаци су елиминисани у овој анализи. Са графика се јасно уочава да постоји добра корелација између података добијених стандардном гравиметријском методом и *TDR* методом.

6.3. Покровност земљишта лисном масом

Како би се прецизно одредила потрошња воде и динамика раста пасуља, у току периода вегетације у оквиру свих третмана (рокова сетве и режима наводњавања), одређиван је проценат покровности земљишта лисном масом и акумулација суве биомасе, а резултати су приказани на графику 10.

Покровност земљишта нагло се повећава од ницања и клијања све до завршетка фазе интензивног пораста. Током цветања и формирања махуна, не долази до великих промена у

покривности, да би током сазревања услед опадања лишћа била нешто нижа.

Током 2018. године тренд пораста и проценат засенчености није много одступао ни по роковима сетве ни по третманима наводњавања. Максималне вредности су остварене на Ф третману у периоду цветања и формирања махуна (95,7%), док су одступања на другим третманима била мања од 2%. Биљке првог рока сетве највећу покривност достизале су након 50 дана од сетве, а биљке другог и трећег рока од 42. до 50. дана. Благи пад покривности при крају вегетационог периода означава сазревање пасуља (график 10).

Током 2019. године добијени су другачији трендови пораста покривности лисном масом по роковима сетве. У првом року сетве, услед повољног режима влажности земљишта биљке су уједначено расле и није било одступања у процентима покривности земљишта. Максималне вредности нису прелазиле 94,3% (график 10).

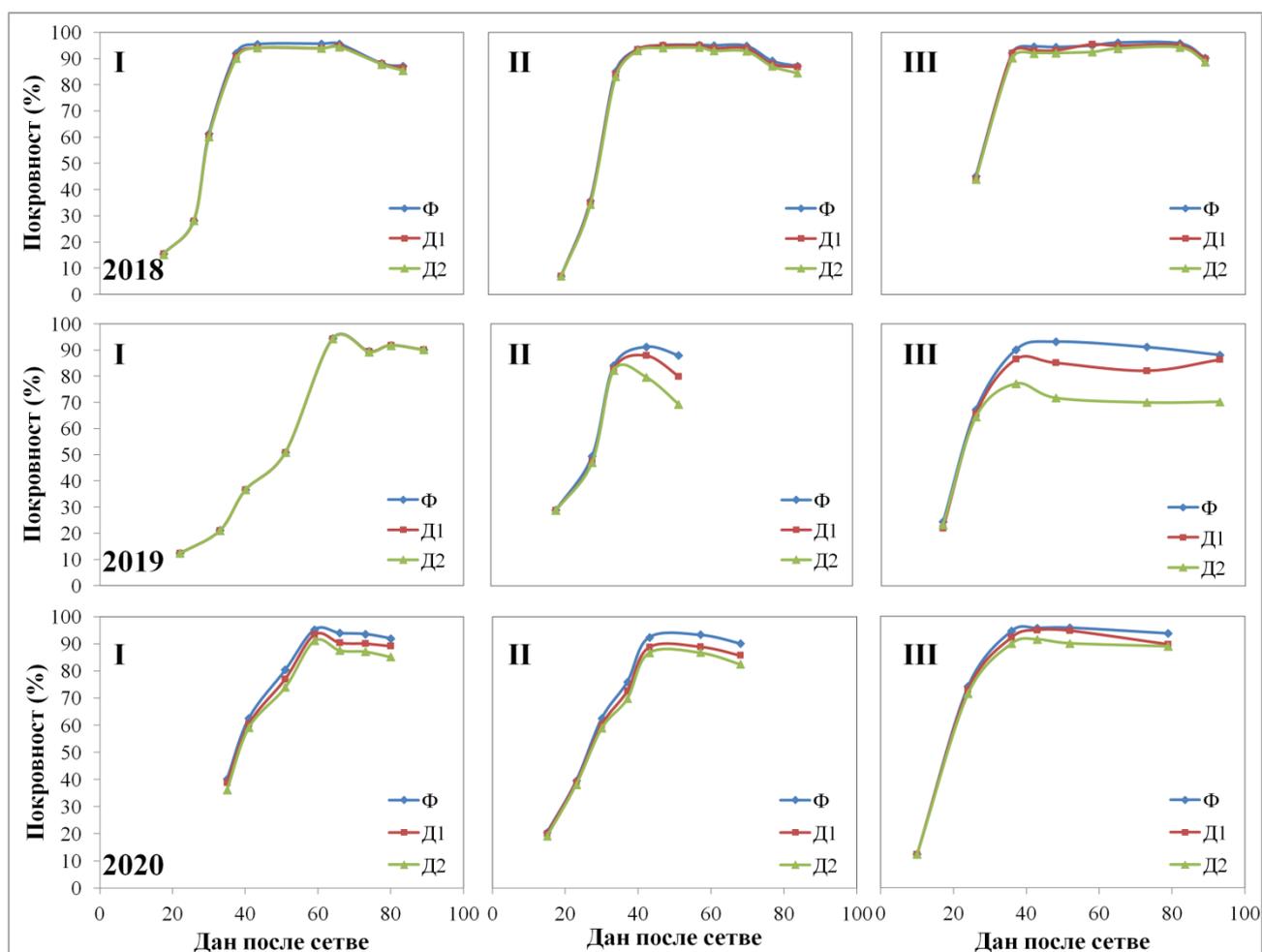


График 10. Покривност земљишта при режимима наводњавања (Ф, Д₁, Д₂) у три испитивана рока сетве (I, II, и III) током трогодишњег истраживања.

У другом року сетве долази до диференцирања % покривности услед примене редукованог наводњавања након 35 дана после сетве. Мања количина лакоприступачне воде утицала је на спорији раст биљака на Д₁ и Д₂ третману, тако да су постигнуте максималне вредности значајно варирале у односу на третман Ф. На третману Ф, Д₁ и Д₂ постигнуте су максималне вредности око 40 ДПС, 91,25%, 87,94% и 82,23%, редом, затим су опадале до краја вегетационог циклуса.

Сличан тренд је уочен и током трећег рока сетве с извесним разликама. Наиме, нагли пораст покривности земљишта лисном масом био је уједначен до 30 дана после сетве, након

чега долази до диференцијације услед примене редукованог режима заливања. Максималне вредности на свим третманима су постигнуте у периоду цветања (93,19%, 86,51% и 77,18% на третманима Ф, Д₁ и Д₂, редом) и високе вредности су задржане до краја вегетационог циклуса.

Биљке првог рока сетве највећу покривност достизале су након 50 ДПС, док су биљке касних рокова сетве (II и III) максималну покривност постизале за декаду раније. У првом року покривност је остала изнад 80% до краја вегетационог циклуса.

Током 2020. године у првом року сетве долази до постепеног диференцирања % покривности услед примене редукованог наводњавања након 45 дана после сетве. Максималне вредности покривности запажене су око 55. ДПС на Ф третману (95,7%), односно за 1,78% више у односу Д₁ третман и Д₂ третман.

Сличан тренд осматран је и у другом року сетве, где долази до постепеног диференцирања % покривности услед примене редукованог наводњавања након 40 дана после сетве. Максималне вредности покривности измерене су око 40. ДПС, а највеће су биле на Ф третманима (95,2%) а најниже на Д₂ третманима (94,1%). Вредности покривности су након тога опадале до краја вегетационог циклуса уз постепену диференцијацију услед примењених режима наводњавања.

Као и у претходна два рока сетве, осматрано је диференцирање % покривности услед примене редукованог заливања око 35. до 40. ДПС. Међутим максималне вредности покривности осматране су око 40 ДПС на Д₁ третману (95,5%), незнатно мање на Ф третману (95,3%), а најмање на Д₂ третману (92,55%).

Рок сетве није статистички значајно утицао (нз) на покривност, али се уочава да је највећа покривност запажена у првом року сетве (94,15%) (табела 20). Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је значајно већу ($p < 0,05$) покривност у поређењу са Д₂ третманом, док се третман Д₁ није значајно разликовао. Највећа просечна покривност земљишта током трогодишњег периода запажена је на I-Ф третману (95,08%) а најнижа на III-Д₂ третману (87,65%).

Табела 20. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на покривност (%) земљишта трогодишњег истраживања.

Третмани	I	II	III	Просек (*)
Ф	95,08	93,25	95,07	94,47 a
Д ₁	94,13	90,62	92,35	92,37 ab
Д ₂	93,25	87,74	87,65	89,55 b
Просек (нз)	94,15	90,54	91,69	92,13

Тестирање просечних вредности унутар колона Тукијевим тестом ($p > 0,05$; $p < 0,05$; $p < 0,01$): F тест - нема статистичког значаја (нз) ($p > 0,05$); * статистички значајан утицај ($p < 0,05$); ** високо статистички значајан утицај ($p < 0,01$)

6.4 Акумулација суве биомасе пасуља

Вредности акумулације суве биомасе пасуља при различитим роковима сетве и режимима наводњавања приказане су на графику 11.

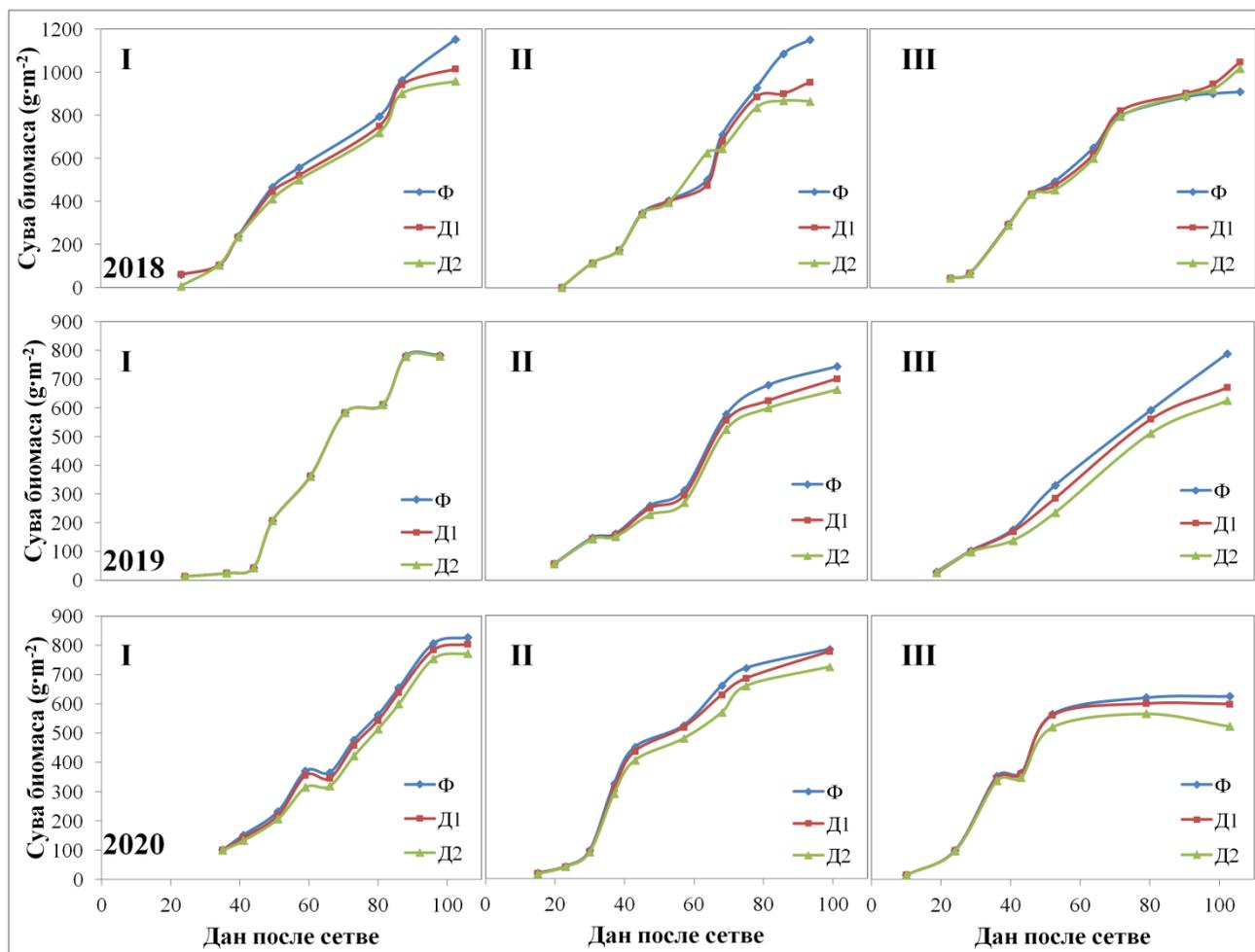


График 11. Акумулација суве биомасе при режимима наводњавања (Ф, Д₁, Д₂) у три испитивана рока сетве (I, II, и III) током трогодишњег истраживања

Као и код покровности, акумулација суве биомасе пасуља измерена је од ницања и формирања три до четири права листа, затим долази до интензивног пораста и акумулације суве биомасе, потом достиже константне вредности, да би током фенофазе сазревања постепено опадала.

Највећа просечна акумулација биомасе у 2018. години запажена је у I року сетве ($1148,35 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), нешто ниже у II року сетве ($998,21 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), а најниже у III року сетве ($990,67 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), (график 11). Акумулација биомасе има сличан тренд као и покровност. Током 2018. године биљке боље снабдевене водом, односно биљке на третманима пуног наводњавања (Ф) оствариле су већу акумулацију биомасе ($1105,28 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) него на третманима редукованог наводњавања ($D_1=1054,29 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$; $D_2=976,56 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) (график 11).

Током 2019. године акумулација биомасе била је знатно нижа у односу на 2018. годину на свим проучаваним третманима. Изостанак режима наводњавања условио је да максималне вредности буду уједначене на свим третманима ($78 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2} \pm 4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). У другом и трећем року сетве запажа се диференцијација акумулације биомасе са применом редукованог наводњавања. Мања количина лако приступачне воде биљкама утицала је на спорији раст

биљака на третманима редукованог наводњавања (D_1 и D_2). Током другог рока сетве, на свим третманима, постигнуте су знатно ниже максималне вредности (око 42% ниже) у односу на 2018. годину. Максимална вредност је измерена на Φ третману свега $744,21 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Овако ниске вредности се могу објаснити појавом високих температура ваздуха $>35 \text{ }^\circ\text{C}$, када долази до знатно спорије асимилације CO_2 , као и бржег опадања лишћа, што се манифестовало ниским вредностима биомасе на крају вегетационог циклуса. У трећем року сетве до диференцијације акумулације биомасе дошло је најраније, после свега 30 ДПС, услед веће температурне суме. Максимална вредност је износила је $807,19 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ на Φ третману, док су ниже вредности осмотрене на D_1 и D_2 третманима $739,62 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $705,18 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, редом.

У трећој години истраживања (2020) просечна максимална акумулација биомасе, варијала је од $800,32 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (I) до $582,41 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (III) (график 11). Највећа акумулација суве биомасе у првом року сетве запажена је на Φ третману ($825,88 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), што је за 2.82% више него у D_1 третману, (график 11). У другом року сетве акумулација биомасе на третману Φ износи $785,22 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, што је нешто више у односу на D_1 третман ($777,14 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), D_2 третман ($723,81 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). Сличан тренд опажен је и у трећем року, где је на Φ третману измерена вредност од $626,41 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, на D_1 третману $597,71 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, а најниже на третману D_2 ($522,01 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$).

Просечне вредности за трогодишњи период акумулације суве масе варирају у опсегу од $951,29 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ до $748,12 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (табела 21). Први рок сетве остварио је статистички значајно ($p<0,05$) веће вредности суве биомасе ($909,43 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), у односу на други и трећи рок сетве. Може се уочити тренд смањења акумулације биомасе са одлагањем сетве (табела 21). Режим пуног наводњавања (Φ) остварио је значајно већу ($p<0,05$) акумулацију биомасе ($876,45 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), што је за 4,32% и 11,16% више у поређењу са D_1 и D_2 третманима.

Табела 21. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на акумулацију суве биомасе ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) током трогодишњег истраживања

Третмани	I	II	III	Просек (*)
Φ	951,29	897,41	780,65	876,45 a
D_1	910,31	815,42	794,78	840,17 b
D_2	866,68	750,58	748,12	788,46 b
Просек (*)	909,43 a	821,14 b	774,52 b	835,03

Тестирање просечних вредности унутар колона Тукијевим тестом ($p>0,05$; $p<0,05$; $p<0,01$): F тест - нема статистичког значаја (нз) ($p>0,05$); * статистички значајан утицај ($p<0,05$); ** статистички веома значајан утицај

6.5. Индекс лисне површине пасуља (ИЛП)

Многобројна истраживања потврђују да величина и трајност индекса лисне површине (ИЛП) у великој мери утиче на висину приноса, такође тесно је повезан са снабдевенošћу водом и температурним условима. Вредности индекса лисне површине при различитим роковима сетве и режимима наводњавања приказане су на графику 12.

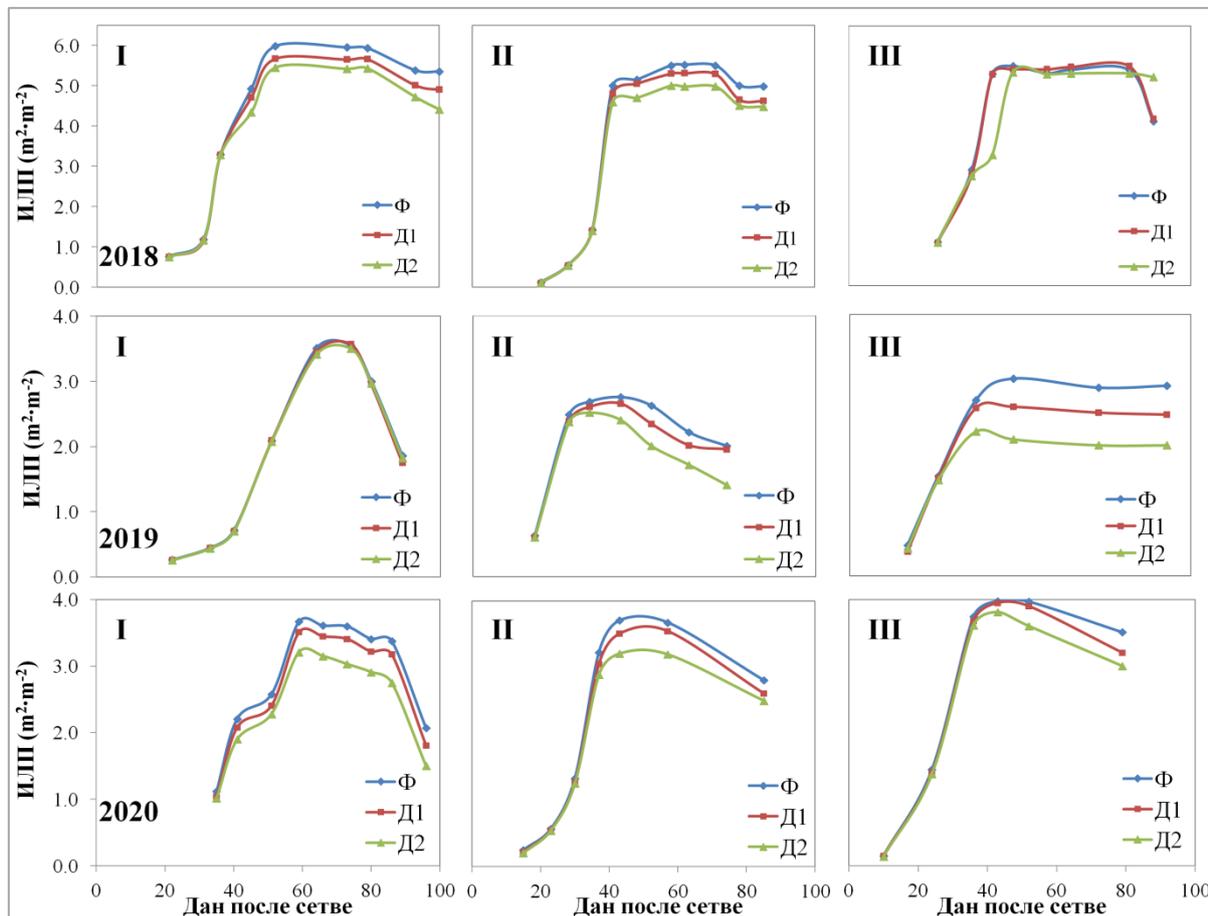


График 12. Индекс лисне површине при различитим режимима наводњавања (Ф, Д₁, Д₂) у три испитивана рока сетве (I, II, и III) током трогодишњег истраживања

Као и покривност и акумулација биомасе, индекс лисне површине има сличан тренд. Пораст индекса лисне површине траје све до периода интензивног пораста, у периоду цветања и заматања махуна стагнира, док са сазревањем махуна долази до појаве опадања лишћа и благог смањења индекса лисне површине.

У току трогодишњег огледа на свим варијантама наводњавања и по роковима сетве, највеће вредности ИЛП су измерене на Ф варијантама ($5,67 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), 2018. године, а најниже вредности на Д₂ третману, свега $2,61 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, 2019. године. Високе вредности ИЛП су се задржале до краја вегетационог циклуса прве године истраживања у свим роковима сетве. Током друге и треће године истраживања на варијантама Д₁ и Д₂ уочен је бржи пад вредности ИЛП, као последица опадања лишћа услед или превисоких температура ваздуха и/или водног стреса (график 12).

Највеће вредности ИЛП у 2018. години остварене су услед најпогоднијих климатских услова. Наиме, 2018. година била је најумеренија са становништвом температуре ваздуха, што је веома значајно код интензивног пораста пасуља, који у случају високих температура и смањене влажности земљишта има тенденцију скраћивања ове фенофазе.

Рок сетве није статистички значајно утицао (нз) на вредност суве биомасе, али се може уочити да је највећа вредност ИЛП током трогодишњег истраживања запажена на првом року сетве (табела 22). Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је значајно више ($p < 0,05$) вредности индекса лисне површине у поређењу са Д₂ третманом, док се третман Д₁ није значајно разликовао. Максимални просечни индекс лисне површине током трогодишњег периода запажен је на I-Ф третману ($4,38 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) а најнижи на II-Д₂ третману ($3,57 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$).

Табела 22. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на индекс лисне површине ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) током трогодишњег истраживања

Третмани	I	II	III	Просек (*)
Ф	4,38	3,99	4,17	4,18 a
Д ₁	4,23	3,84	3,99	4,02 ab
Д ₂	4,03	3,57	3,75	3,79 b
Просек (нз)	4,21	3,80	3,97	3,99

Тестирање просечних вредности унутар колона Тукијевим тестом ($p > 0,05$; $p < 0,05$; $p < 0,01$): F тест - нема статистичког значаја (нз) ($p > 0,05$); * статистички значајан утицај ($p < 0,05$); ** статистички веома значајан утицај

6.6. Евапотранспирација културе (ЕТс) и стварна евапотранспирација (ЕТа)

Као што је већ споменуто у претходном поглављу, референтна евапотранспирација (ЕТо) прорачуната је коришћењем методе *FAO Penman-Monteith* (Allen et al., 1998). Прорачун ЕТо вршен је на основу дневних улазних података добијених са метеоролошке станице постављене у непосредној близини огледних парцела. Множењем референтне евапотранспирације са дуалним коефицијентом културе добија се евапотранспирација културе, односно пасуља.

Графици 13, 14 и 15 приказују дневне вредности транспирације (Т), евапорације (Е) и евапотранспирације пасуља у испитиваним роковима сетве и режимима наводњавања за период 2018-2020. годину.

У првој години истраживања (2018) највећа просечна евапотранспирација запажена је у првом и другом року сетве, $334,92 \text{ mm}$ и $333,46 \text{ mm}$, редом. Нешто нижа евапотранспирација ($325,53 \text{ mm}$) запажена је у трећем року сетве. Такође, запажа се да је највише воде утрошено на евапорацију у трећем року сетве ($67,64 \text{ mm}$), што је за $12,68\%$ више него у другом, односно $41,35\%$ мање него у првом року сетве. Поред малих разлика у просечној евапотранспирацији пасуља по роковима сетве, јасно се запажа да биљка троши више воде на евапорацију у касним роковима сетве (II и III). Поред тога што биљке касних рокова брже достижу максималну покривност, високе температуре у касним роковима сетве условиле су велику евапорацију са голог земљишта у периоду од сетве до краја интензивног пораста пасуља. Година 2018. била је умерена током сва три рока у погледу температуре ваздуха, али су је одликовале и обилне и добро распоређене падавине, те су вредности евапотранспирације уједначеније у оквиру рокова сетве.

У I року сетве евапотранспирација пасуља износила је $349,08 \text{ mm}$ на Ф третману, $327,82 \text{ mm}$ на Д₁ и $325,87 \text{ mm}$ на Д₂ (график 13). Максималне дневне вредности на третманима Ф, Д₁, Д₂ износиле су $6,67 \text{ mm} \cdot \text{dan}^{-1}$, $6,6 \text{ mm} \cdot \text{dan}^{-1}$ и $6,5 \text{ mm} \cdot \text{dan}^{-1}$, редом. Просечна дневна евапотранспирација на Ф, Д₁, Д₂ износила је $3,51 \text{ mm} \cdot \text{dan}^{-1}$, $3,29 \text{ mm} \cdot \text{dan}^{-1}$, $3,3 \text{ mm} \cdot \text{dan}^{-1}$.

У II року сетве евапотранспирација пасуља износила је $343,22 \text{ mm}$ на Ф третману, $328,01 \text{ mm}$ на Д₁ и $324,13 \text{ mm}$ на Д₂ (график 13). Максималне дневне вредности на

третманима Ф, Д₁, Д₂ износиле су 6,60 mm·dan⁻¹, 6,30 mm·dan⁻¹ и 6,20 mm·dan⁻¹, редом. Просечна дневна евапотранспирација на Ф, Д₁, Д₂ износиле је 3,81 mm·dan⁻¹, 3,58 mm·dan⁻¹, 3,45 mm·dan⁻¹.

У III року сетве евапотранспирација пасуља била је уједначена на испитиваним третманима и варирала од 326,41 mm на Ф третману до 325,80 mm на Д₂ третману (график 13). Максималне дневне вредности на третманима Ф, Д₁, Д₂ такође су биле уједначене по режимима заливања и износиле 6,85 mm·dan⁻¹. Просечна дневна евапотранспирација на Ф, Д₁, Д₂ износиле је 3,66 mm·dan⁻¹, 3,65 mm·dan⁻¹, 3,65 mm·dan⁻¹.

Добијени резултати указују да је пасуљ на третманима редукованог заливања нешто мање трошио воду у поређењу са Ф третманима.

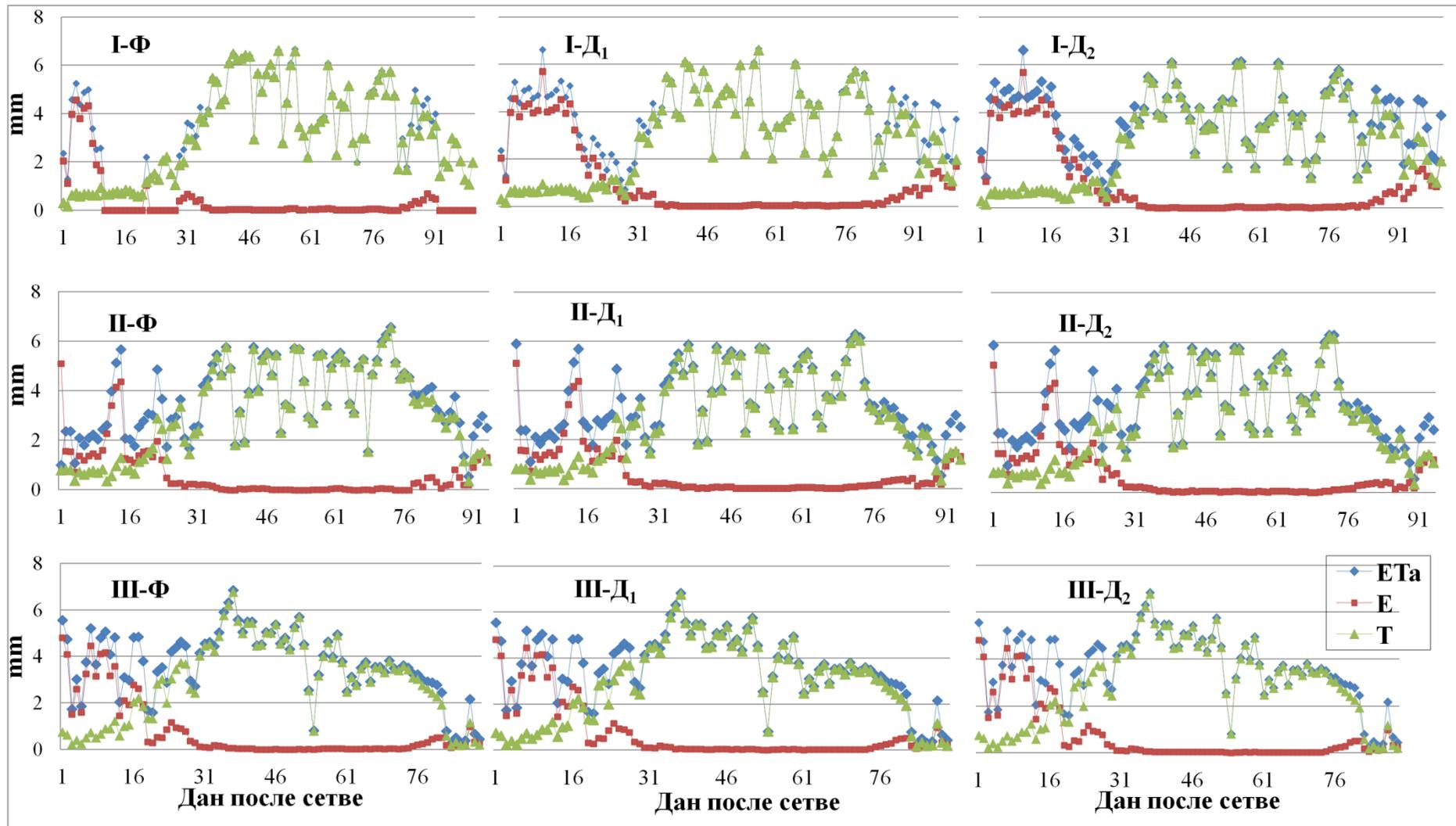


График 13. Евапорација, транспирација и евапотранспирација пасуља при различитим роковима сетве (I, II, и III) и режимима заливања (Ф, Д₁, Д₂) у току 2018. године

Током 2019. године највећа просечна евапотранспирација запажена је у другом року сетве (391,36 mm), затим у првом и трећем року сетве (368,45 mm и 358,78, mm, редом) (график 14). Запажа се да је највише воде утрошено на евапорацију у другом року сетве (91,84 mm), што је за 16,96% више него у првом, односно 29,82% више него у трећем року сетве. Биљке другог рока сетве трошиле су воду највише у погледу евапотранспирације и евапорације, због високих температура у периоду од сетве до краја интензивног пораста пасуља. Година 2019. обиловала је падавинама у првом року сетве када није примењен режим наводњавања. Услед високих температура пасуљ засејан у другом року трошио је највише воде.

У I року сетве укупна евапотранспирација пасуља била је уједначена, јер као што је већ поменуто нису успостављени режими наводњавања. Евапотранспирација пасуља износила је око 368 mm на испитиваним третманима (график 14). Максималне дневне вредности на третманима Ф, Д₁, Д₂ износиле су око 7,63 mm·dan⁻¹. Просечна дневна вредност евапотранспирације на Ф, Д₁, Д₂ износила је око 3,76 mm·dan⁻¹.

У II року сетве укупна евапотранспирација пасуља износила је 432,87 mm на Ф третману, 407,14 mm на Д₁ и 334,06 mm на Д₂ (график 14). Максималне дневне вредности на третманима Ф, Д₁, Д₂ износиле су 7,19 mm·dan⁻¹, 7,0 mm·dan⁻¹ и 6,9 mm·dan⁻¹, редом. Просечна дневна вредност евапотранспирације на Ф, Д₁, Д₂ износила је 4,42 mm·dan⁻¹, 4,15 mm·dan⁻¹, 3,41 mm·dan⁻¹.

У III року сетве укупна евапотранспирација пасуља износила је 374,32 mm на Ф третману, 352,27 mm на Д₁ и 339,25 mm на Д₂ (график 14). Максималне дневне вредности на третманима Ф, Д₁, Д₂ износиле су 7,31 mm·dan⁻¹, 7,3 mm·dan⁻¹ и 7,14 mm·dan⁻¹, редом. Просечна дневна вредност евапотранспирације на Ф, Д₁, Д₂ износила је 4,02 mm·dan⁻¹, 3,85 mm·dan⁻¹, 3,65 mm·dan⁻¹.

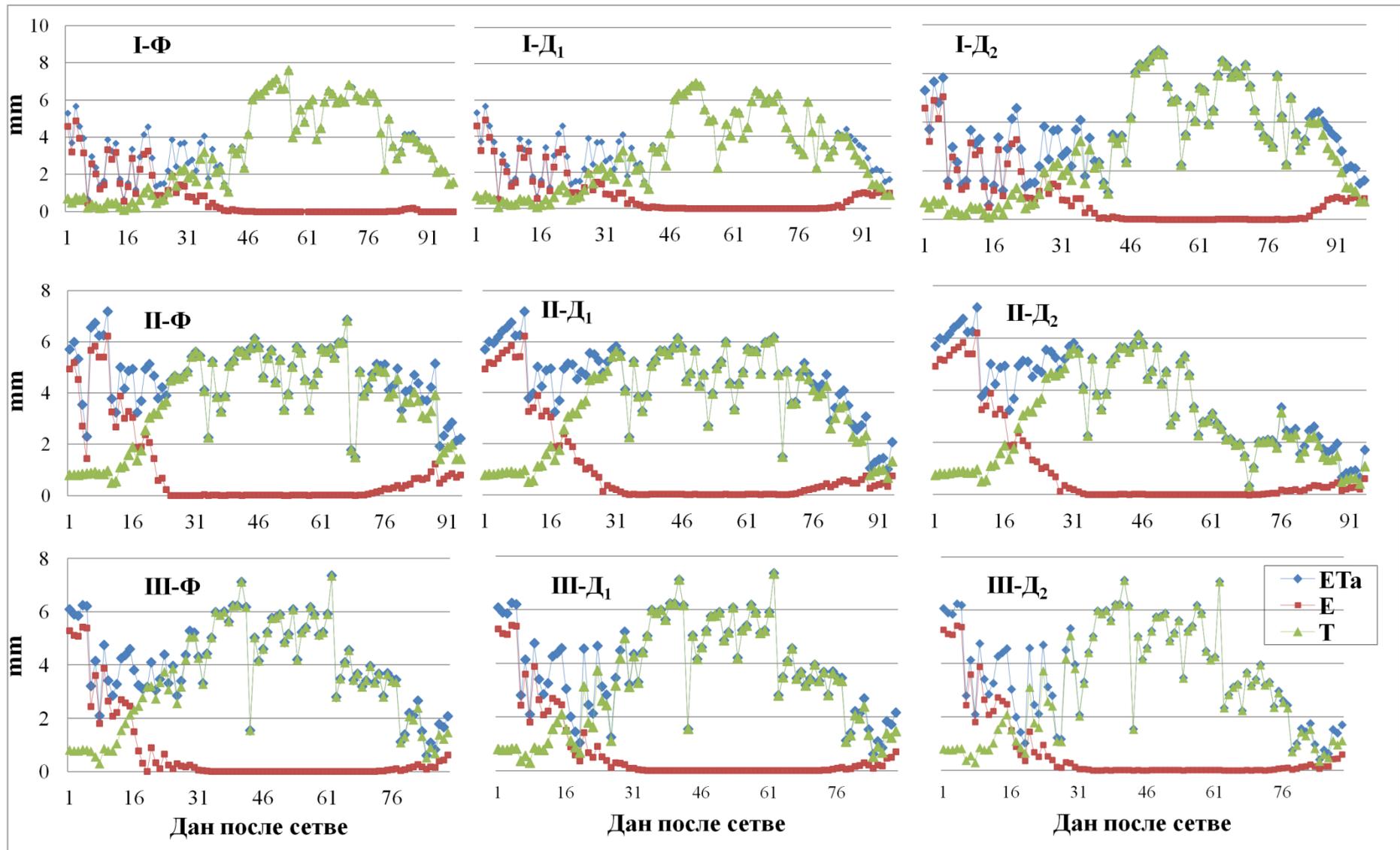


График 14. Евапорација, транспирација и евапотранспирација пасуља при различитим роковима сетве (I, II, и III) и режимима заливања (Ф, Д₁, Д₂) у току 2019. године

У трећој години истраживања (2020) највећа просечна вредност евапотранспирације, као и претходне године запажена је у другом року сетве (459,20 mm), затим у првом и трећем року сетве (423,04 mm и 389,23 mm, редом) (график 15). Запажа се да је највише воде утрошено на евапорацију у другом и трећем року сетве (86,60 mm и 86,96 mm), што је за око 23,09% више него у првом року сетве. Поред евидентних разлика у просечној вредности евапотранспирације пасуља по роковима сетве, такође се запажа да биљке троше више воде на евапорацију у касним роковима сетве (II и III) слично као у 2018. години. Опет се може приметити да, насупрот томе што биљке касних рокова брже достижу максималну покривност, високе температуре у касним роковима сетве условиле су велику евапорацију са голог земљишта у периоду од сетве до краја интензивног пораста пасуља. Година 2020. била је најтоплија од друге половине јуна до краја августа када су биљке другог рока биле гајене, отуда и највећа потрошња воде у том периоду.

У I року сетве укупна евапотранспирација пасуља износила је 349,08 mm на Ф третману, 327,82 mm на Д₁ и 325,87 mm на Д₂ (график 15). Максималне дневне вредности на третманима Ф, Д₁, Д₂ износиле су 8,20 mm·dan⁻¹, 7,95 mm·dan⁻¹ и 7,90 mm·dan⁻¹, редом. Просечна дневна вредност евапотранспирације на Ф, Д₁, Д₂ износила је 4,54 mm·dan⁻¹, 4,32 mm·dan⁻¹, 4,01 mm·dan⁻¹.

У II року сетве укупна евапотранспирација пасуља износила је 514,01 mm на Ф третману, 439,13 mm на Д₁ и 420,45 mm на Д₂ (график 15). Максималне дневне вредности на третманима Ф, Д₁, Д₂ износиле су 8,44 mm·dan⁻¹, 8,30 mm·dan⁻¹ и 8,25 mm·dan⁻¹, редом. Просечна дневна евапотранспирација на Ф, Д₁, Д₂ износила је 5,19 mm·dan⁻¹, 4,44 mm·dan⁻¹, 4,28 mm·dan⁻¹.

У III року сетве укупна евапотранспирација пасуља износила је 514,01 mm на Ф третману, 439,13 mm на Д₁ и 420,45 mm на Д₂ (график 15). Максималне дневне вредности на третманима Ф, Д₁, Д₂ износиле су 8,44 mm·dan⁻¹, 8,30 mm·dan⁻¹ и 8,25 mm·dan⁻¹, редом. Просечна дневна евапотранспирација на Ф, Д₁, Д₂ износила је 5,19 mm·dan⁻¹, 4,44 mm·dan⁻¹, 4,28 mm·dan⁻¹.

Добијени резултати указују да је пасуљ на третманима редукованог заливања нешто мање трошио воду у поређењу са Ф третманима.

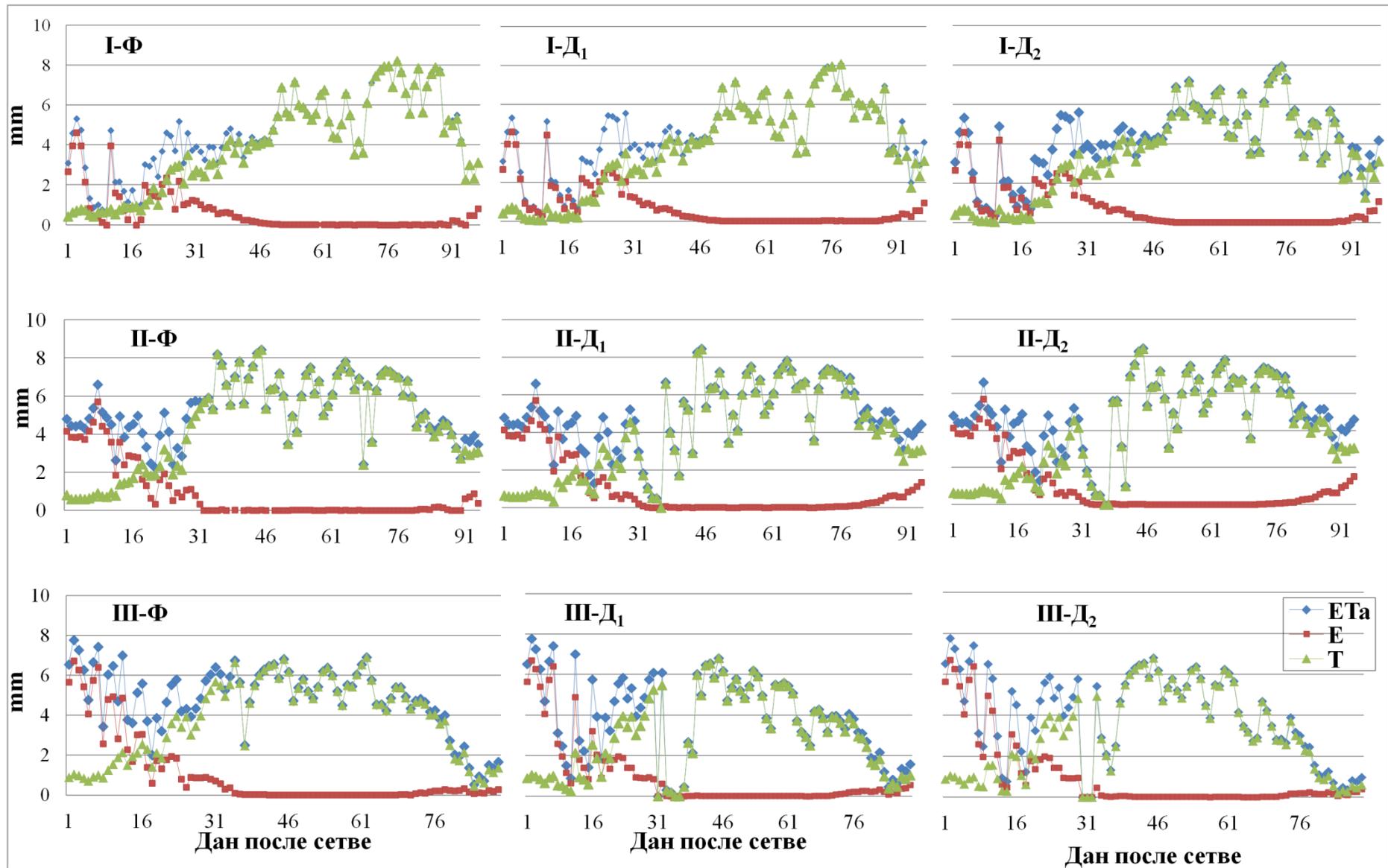


График 15. Евапорација, транспирација и евапотранспирација пасуља при различитим роковима сетве (I, II, и III) и режимима заливања (Ф, Д₁, Д₂) у току 2020. године

У табели 23. приказан је утицај режима наводњавања и рокова сетве на вредности стварне евапотранспирације. У трогодишњем периоду у првом року сетве у просеку је потрошено 383,4 mm, у другом 407,9 mm, а у трећем 360,4 mm. На варијанти са пуним наводњавањем у просеку је потрошено 401,7 mm, док је пасуљ на третманима редукованог заливања нешто мање трошио воду у поређењу са Ф третманима (383,1 mm и 366,9 mm на третманима Д₁ и Д₂).

Утицај режима наводњавања и рока сетве испољили су статистичку значајност ($p < 0,05$) на промену вредности стварне евапотранспирације. Тестирање значајности разлике указало је да постоји статистички значајна разлика у просечним вредностима стварне евапотранспирације између третмана наводњавања и између појединих рокова сетви ($p < 0,05$). Укупна евапотранспирација другог рока сетве статистички се значајно разликовала од трећег рока сетве ($p < 0,05$), док се третман пуног наводњавања (Ф) значајно разликовао ($p < 0,05$) од третмана редукованог заливања (Д₂).

Табела 23. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на просечну стварну евапотранспирацију пасуља током трогодишњег истраживања

Третмани	I	II	III	Просек (*)
Ф	393,2	433,2	378,5	401,7 a
Д ₁	381,7	408,9	358,8	383,1 ab
Д ₂	375,3	381,6	343,8	366,9 b
Просек (*)	383,4 ab	407,9 a	360,4 b	383,9

Тестирање просечних вредности унутар колона Тукијевим тестом ($p > 0,05$; $p < 0,05$; $p < 0,01$): F тест - нема статистичког значаја (нз) ($p > 0,05$); * статистички значајан утицај ($p < 0,05$); ** статистички веома значајан утицај

6.7. Методе даљинске детекције као показатељи водног стреса и њихов потенцијал за процену приноса пасуља

Као што је већ поменуто у оквиру прегледа литературе методама даљинске детекције може се проценити стање усева, његова снабдевеност водом, водни стрес, али се може вршити и предвиђање приноса. За наведене процене у овом истраживању коришћени су снимци добијени мултиспектралном камером монтираном на беспилотну летелицу (дрон) и ручне термалне камере.

6.7.1. Вегетациони индекси добијени коришћењем мултиспектралне камере постављене на беспилотну летелицу (дрон)

Након направљених просторних мултиспектралних снимака коришћењем „RedEdge MX“ мултиспектралне камере монтиране на дрон „DJI PHANTOM 4 PRO V2“, извршено је генерисање снимака вегетационих индекса за све испитиване третмане и урађена је дескриптивна статистичка анализа.

Вегетациони или вегетацијски индекси (ВИ) примењују се за просторну и временску процену стања усева, снабдевености водом, процену приноса, а у високој су корелацији са индексом лисне површине (ИЛП) и покровношћу земљишта лисном масом (ПК) и могу приказати право стање усева пре него што је оно видљиво голим оком (Weiss et al., 2020).

У табелама 24 и 25 приказана је парцијална анализа варијансе утицаја режима наводњавања на вегетационе индексе унутар рокова сетве. Поређење статистичке

значајности између рокова сетве није извршено, зато што није остварен довољан број снимака у свим сетвеним роковима.

Током 2019. године у првом року сетве није запажена статистички значајна разлика између испитиваних третмана наводњавања и вегетационих индекса (табела 24). Овакав резултат је очекиван, јер у првом року сетве режим наводњавања није примењен услед повољне количине и распореда падавина у том делу године. У другом року сетве запажа се статистички значајна разлика ($p < 0,05$) вредности *NDVI*, *MCARII* у оквиру испитиваних режима наводњавања. Вредности *NDVI* индекса Φ третмана износиле су 0,67, што је статистички значајно више ($p < 0,05$) у односу на D_2 третман на коме су остварене вредности од 0,56. Слично је добијено и код *MCARII* индекса, на коме се запажа да је третман Φ остварио вредности од 0,48 односно статистички значајно више ($p < 0,05$) у поређењу са D_2 третманом, на коме је запажена вредност 0,39. Код индекса *GNDVI*, *OSAVI* и *NDRE* нису остварене статистички значајне разлике између режима наводњавања ни у другом року сетве. У оквиру трећег рока сетве запажа се статистички значајна разлика ($p < 0,05$) вредности *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* индекса у оквиру испитиваних режима наводњавања. Вредности *NDVI* индекса на Φ третману износиле су 0,63, што је статистички значајно више ($p < 0,05$) у односу на D_2 третман на коме су остварене вредности од 0,51. Слично је добијено и код *MCARII* индекса, на Φ третману се запажа да вредности индекса износе 0,55 односно статистички значајно више ($p < 0,05$) у поређењу са D_2 третманом на коме су остварене вредности од 0,42. Такође, у трећем року сетве вредности *GNDVI* индекса на Φ третману су се значајно разликовале ($p < 0,05$) у поређењу са D_2 третманом.

Табела 24. Просечне вредности вегетационих индекса и парцијална анализа варијансе утицаја режима наводњавања на испитиване вегетационе индексе у оквиру сваког рока сетве за 2019. годину

Рок сетве	Режим наводњавања	<i>NDVI</i>	<i>MCARII</i>	<i>GNDVI</i>	<i>OSAVI</i>	<i>NDRE</i>
I	Φ	0,79 ^a	0,57 ^a	0,92 ^a	0,60 ^a	0,63 ^a
	D_1	0,77 ^a	0,54 ^a	0,90 ^a	0,57 ^a	0,60 ^a
	D_2	0,67 ^a	0,53 ^a	0,91 ^a	0,56 ^a	0,59 ^a
	Пр.	0,74	0,55	0,91	0,58	0,61
II	Φ	0,67 ^a	0,48 ^a	0,81 ^a	0,43 ^a	0,43 ^a
	D_1	0,63 ^a	0,45 ^a	0,75 ^a	0,41 ^a	0,40 ^a
	D_2	0,56 ^b	0,39 ^b	0,67 ^a	0,35 ^a	0,34 ^a
	Пр.	0,62	0,44	0,74	0,40	0,39
III	Φ	0,63 ^a	0,55 ^a	0,82 ^a	0,54 ^a	0,47 ^a
	D_1	0,61 ^a	0,54 ^a	0,77 ^a	0,51 ^a	0,44 ^a
	D_2	0,51 ^b	0,42 ^b	0,65 ^b	0,49 ^a	0,39 ^a
	Пр.	0,58	0,50	0,80	0,49	0,43

Током 2020. године у првом року сетве запажа се статистички значајна разлика ($p < 0,05$) вредности *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* индекса у оквиру испитиваних режима наводњавања. Вредности *NDVI* индекса на Φ третману износила је 0,97, што је статистички значајно више ($p < 0,05$) у односу на D_2 третман на коме су остварене вредности од 0,73. Слично је добијено и код *MCARII* индекса, на коме се запажа да је индекс на Φ третману износио 0,98 односно

статистички значајно више ($p < 0,05$) у поређењу са D_2 на коме су остварене вредности од 0,71. Такође, у првом року сетве вредности *GNDVI* индекса на Ф третману (0,79) су се значајно разликовале ($p < 0,05$) у поређењу са D_2 третманом на коме су запажене вредности од 0,55. Остали индекси се нису значајно разликовали. У другом року сетве такође се запажа статистички значајна разлика ($p < 0,05$) вредности *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* индекса у оквиру испитиваних режима наводњавања. Вредности *NDVI* индекса на Ф третману износиле су 0,75, што је статистички значајно више ($p < 0,05$) у односу на D_2 третман на коме су остварене вредности од 0,60. *MCARII* индекс, на Ф третману износио је 0,65 односно статистички значајно више ($p < 0,05$) у поређењу са D_2 третманом на коме су остварене вредности од 0,54. У трећем року сетве такође се запажа статистички значајна разлика ($p < 0,05$) вредности *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* индекса у оквиру испитиваних режима наводњавања. Вредности *NDVI* индекса на Ф третману износиле су 0,76, што је статистички значајно више ($p < 0,05$) у односу на D_2 третман на коме су остварене вредности од 0,63. *MCARII* индекс, на Ф третману износио 0,61 односно статистички значајно више ($p < 0,05$) у поређењу са D_2 третманом на коме су остварене вредности од 0,44. Вредности *GNDVI* индекса на Ф третману (0,69) значајно су се разликовале ($p < 0,05$) у поређењу са D_2 третманом на коме су остварене вредности од 0,56. Остали индекси се нису значајно разликовали.

Генерално се уочава да су индекси *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* показали статистички значајне разлике између третмана наводњавања, што указује да могу да прате разлике између третмана наводњавања.

Табела 25. Просечне вредности вегетационих индекса и парцијална анализа варијансе утицаја режима наводњавања на испитиване вегетационе индексе у оквиру сваког рока сетве за 2020. годину

Рок сетве	Режим наводњавања	<i>NDVI</i>	<i>MCARII</i>	<i>GNDVI</i>	<i>OSAVI</i>	<i>NDRE</i>
I	Ф	0,97 ^a	0,98 ^a	0,79 ^a	0,91 ^a	0,44 ^a
	D_1	0,86 ^a	0,90 ^a	0,71 ^a	0,87 ^a	0,40 ^a
	D_2	0,73 ^b	0,71 ^b	0,55 ^b	0,85 ^a	0,33 ^a
	Пр.	0,85	0,81	0,68	0,78	0,39
II	Ф	0,75 ^a	0,58 ^a	0,65 ^a	0,75 ^a	0,32 ^a
	D_1	0,72 ^a	0,54 ^a	0,63 ^a	0,74 ^a	0,30 ^a
	D_2	0,60 ^b	0,37 ^b	0,54 ^b	0,67 ^a	0,27 ^a
	Пр.	0,69	0,50	0,61	0,72	0,30
III	Ф	0,76 ^a	0,61 ^a	0,69 ^a	0,97 ^a	0,30 ^a
	D_1	0,66 ^a	0,50 ^a	0,60 ^a	0,96 ^a	0,29 ^a
	D_2	0,63 ^b	0,44 ^b	0,56 ^b	0,93 ^a	0,28 ^a
	Пр.	0,68	0,52	0,62	0,95	0,29

Како су режими наводњавања у овим истраживањима утицали на покривност (ПК), индекс лисне површине пасуља (ИЛП), транспирацију (Т) и садржај воде у земљишту (Вз), извршена је корелациона анализа између ових параметара и пет вегетационих индекса при различитим режимима наводњавања са циљем да се утврди који индекс најбоље корелира са подацима мереним на терену.

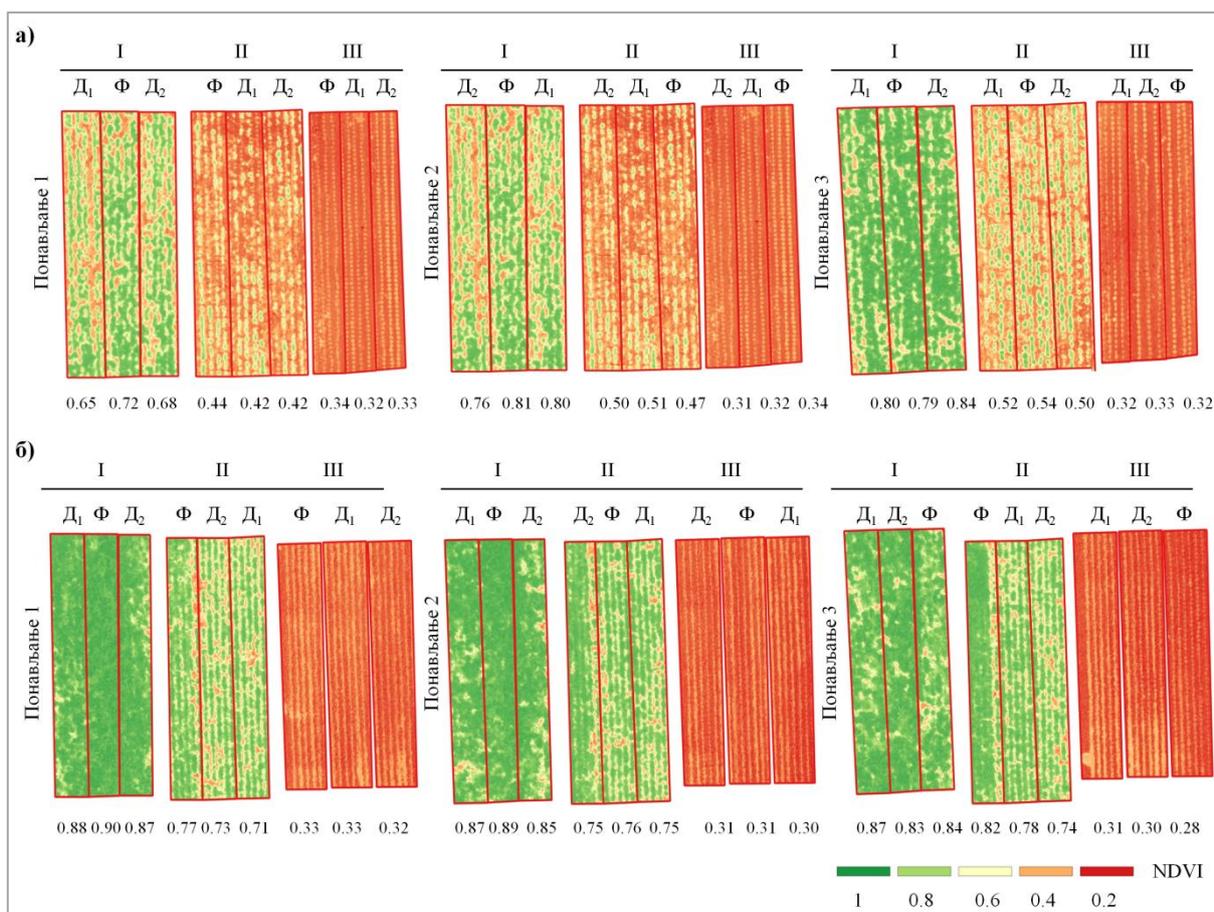
У табели 26 приказане су вредности Пирсоновог коефицијента корелације вегетационих индекса (ВИ) и индикатора пораста пасуља (ПК, ИЛП, Т и Вз). Корелација је испитивана на пет вегетационих индекса (*NDVI*, *MCARII*, *NDRE*, *OSAVI* и *GNDVI*).

Вегетациони индекси *NDVI*, *MCARI*, *NDRE* и *GNDVI* били су у доброј до јакој корелацији са покровношћу, индексом лисне површине и транспирацијом, али и у задовољавајућој корелацији са влажношћу земљишта. Корелација *NDVI* са ПЛ и ИЛП била је уједначена у сва три режима наводњавања и варирала је од 0,94 до 0,95 и од 0,79 до 0,74 редом. *MCARI* индекс је такође показао високу корелацију са ПК и ИЛП, чије су се вредности кретале од 0,83 до 0,84 (ПК) и од 0,71 до 0,56 (ИЛП). Вредности транспирације су биле у јакој корелацији са вредностима *NDVI* и *MCARI* индекса. Остали индекси су такође дали задовољавајуће резултате, на пример *GNDVI* је добро корелирао са ПК, ЛАИ и Т. Влажност земљишта имала је слабу негативну корелацију са испитиваним параметрима. Високе корелације индекса *NDVI*, *MCARI* и *GNDVI* уз детектовање разлике у режимима наводњавања квалификује их као најбоље за процену приноса пасуља.

Табела 26. Пирсонов коефицијент корелације између средњих вредности вегетационих индекса (ВИ) и мерења са огледних парцела (ПК, ИЛП, Т, Вз) током 2019. и 2020. године

Р.Н.	ВИ	<i>NDVI</i>	<i>MCARI</i>	<i>NDRE</i>	<i>GNDVI</i>	<i>OSAVI</i>
Ф	ПК	0,94**	0,83**	0,71**	0,66**	0,45**
	ИЛП	0,79**	0,71**	0,57**	0,51**	0,55**
	Т	0,71**	0,78**	0,53**	0,55**	0,36*
	Вз	-0,29 ^{НЗ}	-0,31*	-0,34*	-0,34*	-0,42**
Д ₁	ПК	0,95**	0,84**	0,71**	0,66*	0,41**
	ИЛП	0,79**	0,68**	0,53**	0,49**	0,47**
	Т	0,67**	0,59**	0,44**	0,45**	0,37*
	Вз	-0,48**	-0,53**	-0,59**	-0,46**	-0,49**
Д ₂	ПК	0,94**	0,83**	0,67**	0,64**	0,38*
	ИЛП	0,74**	0,56**	0,39**	0,40**	0,45**
	Т	0,62**	0,52**	0,38**	0,41**	0,39**
	Вз	-0,61**	-0,60**	-0,60**	-0,51**	-0,70**

С обзиром на то да је *NDVI* био у најјачој корелацији са *ПК* и *ИЛП*, одабран је да се сагледа његова просторна варијација и разлика у режимима заливања и роковима сетви за исти период у 2019. и 2020. години (слика 13). У оквиру третмана просечне вредности *NDVI* индекса варирале су од 0,28 до 0,90. Високе разлике условљене су различитим роковима сетви, јер су се биљке у датом приказу налазиле у различитим фенофазама. Први рок сетве био је у фенофази цветања и формирања махуна, други рок сетве био је у фенофази интензивног пораста, док је трећи рок био у фази ницања. У првом року сетве током 2019. године вредности *NDVI* индекса варирале су од 0,84 (Ф третман) до 0,65 (Д₂ третман), док су током 2020. године за исти период варирале од 0,90 (Ф третман) до 0,83 (Д₂ третман). У другом року сетве за исти период, у 2019. години, *NDVI* индекс варирао је од 0,54 (Ф третман) до 0,42 (Д₂ третман), а за исти период у 2020. добијене су значајно веће вредности *NDVI* и варирале су од 0,82 (Ф третман) до 0,71 (Д₁ третман). Више вредности *NDVI* у оквиру 2020. године за други рок сетве условљене су повољнијим климатским условима и нешто ранијом сетвом. Третмани наводњавања у оквиру три рока сетве у датом тренутку били су у фази ницања те њихове вредности одговарају вредностима *NDVI* за голо земљиште (Lillesand et al., 2015).



Слика 13. Просечне вредности *NDVI* индекса по третманима заливања и роковима сетве за 04.7.2019 (а) и 03.07.2020 (б)

На основу добијених података, извршена је регресиона анализа и добијена једначина за процену приноса пасуља на основу *NDVI*, *MCARI* и *GNDVI* индекса (табела 27). Подаци указују да је *NDVI* индекс остварио добру повезаност са измереним подацима, док су *MCARI* и *GNDVI* индекси показали задовољавајућу повезаност. Овакви подаци указују да се вегетациони индекси могу користити за процену приноса пасуља.

Табела 27. Регресиона једначина за процену приноса пасуља на основу три изабрана вегетациона индекса

Вегетациони индекс	Модел	R^2
<i>NDVI</i>	$Y = 1,95x + 1,85$	0,75
<i>MCARI</i>	$Y = 1,63x + 2,14$	0,65
<i>GNDVI</i>	$Y = 1,71x + 1,98$	0,68

6.7.2. Температура биљног покривача и Биљни водни стрес индекс (CWSI)

Температура лишћа један је од најважнијих показатеља водног стреса и користи се као један од параметара у одређивању почетка заливања. Када усев расте у оптималним условима (добро снабдевен водом и хранивима) температура лишћа је углавном слична температури околног ваздуха (Jackson et al., 1977).

На графику 16 приказан је сезонски тренд температуре лишћа пасуља током 2018, 2019. и 2020. године. Може се приметити да је до периода сазревања температура лишћа углавном нешто нижа у поређењу са амбијенталном температуром. Уочава се да су температуре на третманима пуног наводњавања (Ф), ниже у поређењу са Д₁ и Д₂ третманима. Посматрајући рокове сетве, нешто ниже температуре лишћа запажене су на третману у првом року, у односу на други и трећи рок сетве. Такав тренд прати и 2018. годину, где су највише температуре осмотрене у касним роковима сетве. Нешто ниже температуре на свим третманима наводњавања уочене су 78. ДПС у другом и 64. и 71. ДПС у трећем року, услед падавина и хладног времена на крају вегетационе сезоне. Током 2018. највиша температура листа измерена је на П-Д₁ третману 72. ДПС 31,98 °С, а најнижа на Ф третману трећег рока 71. дан 14,55 °С.

Температура биљног покривача током 2019. године углавном је била нешто нижа у поређењу са амбијенталном температуром. Само у трећем року примећују се нешто уједначеније температуре листа и температуре ваздуха. Температура лишћа током 2019. године била је најнижа на Ф третманима (24,76 °С), али се запажа да није било одступања између третмана наводњавања у првом року сетве, јер је заливање изостављено због доброг распореда падавина. Просечно, температура првог рока сетве износила је 22,04 °С, што је за 3,96 °С и 4,66 °С ниже у односу на други и трећи рок, редом. Услед учесталих падавина, најниже температуре запажају се 33. и 40. дана првог рока сетве, али и 34. дана другог рока сетве. Максимална температура листа пасуља током 2019. године измерена је на П-Д₂ третману 84. ДПС 31,55 °С при влажности земљишта од 22,12% што указује на повећану температуру услед недостатка воде у земљишту. Најнижа температура измерена је на Ф третману истог рока 34. дан 14,41 °С при садржају влажности земљишта од 35,57%, што одговара садржају воде изнад ПВК, док је амбијентална температура износила тек 16,73 °С, чиме се јасно уочава да биљка није била у стресу у тренутку мерења.

Као што је запажено у претходне две године и током 2020. године уочава се да је температура лишћа нешто нижа од амбијенталне температуре у свим роковима сетве и режимима наводњавања (график 16). Максимална температура лишћа током 2020. године измерена је на Д₂ третману трећег рока сетве 30 дана 30,55 °С при влажности од 24,12%, а најнижа на Ф третману првог рока сетве 40 дана 18,01 °С при земљишној влажности од 26,64% али и ниском амбијенталном температуром у тренутку снимања (18,61 °С).

На основу остварених резултата закључује се да режим наводњавања утиче на температуру биљног покривача, тако да биљке мање снабдевене водом имају вишу температуру. Такође, одлагањем рока сетве, долази до пораста температуре лишћа.

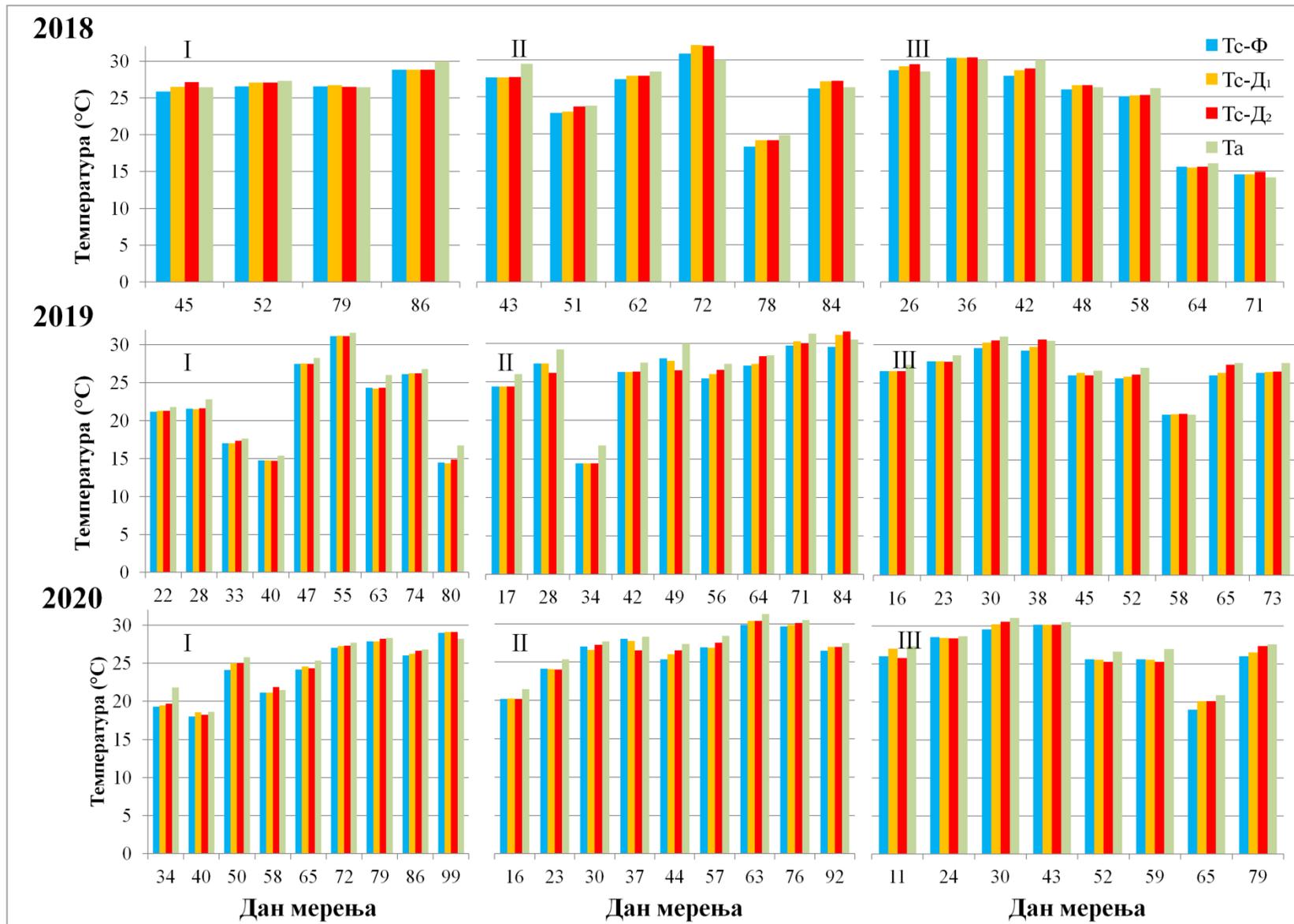


График 16. Сезонски тренд температуре биљног покривача на третманима по роковима сетве и режимима заливања током трогодишњег истраживања

Биљни водни стрес индекс је најчешће коришћен индекс за квантификацију стреса биљака на бази температуре биљног покривача. Додатно, овај индекс се одређује и на основу температуре ваздуха и влажности ваздуха у тренутку мерења. Вредности *CWSI* индекса варирају од -1 (биљка добро снабдевена водом) до +1 (биљка у водном стресу).

На графицима 17, 18 и 19 представљене су вредности *CWSI* на свим третманима по роковима сетве и третманима наводњавања који су приказани заједно са падавинама, ради бољег представљања добијеног индекса.

Током 2018. године вредности *CWSI* варирале су од 0,64 на II-Д₁ третману до -0,38 на II-Ф третману. Запажа се да су у првом року биљке третмана редукованог наводњавања изложене стресу суше услед високих температура и смањеног садржаја воде у земљишту. Познато је да биљке изложене високим температурама ваздуха затварају стоме, како би смањиле потрошњу воде, што доводи до повећања температуре биљног покривача. Пасуљ је на третманима другог рока повремено био изложен водном стресу (од 50. до 80. ДПС), најчешће на третману редукованог заливања када су вредности *CWSI* индекс биле од 0,62 и 0,64 на Д₁ и Д₂ третманима, редом. У трећем року високе вредности *CWSI* запажене су од 20. до 50. ДПС (максимално 0,40 на Д₂ третману). Стрес који се јавља у току фенофазе сазревања услед прекида наводњавања не утиче негативно и убрзава опадање лишћа пасуља ради лакше жетве. Пасуљ је високе вредности *CWSI* у дужем периоду остваривао у трећем року сетве током фазе цветања и почетка плодоношења када је биљка и најосетљивија на водни стрес, што је утицало на нешто нижи принос пасуља.

У другој години истраживања (2019) вредности *CWSI* кретале су се од 0,50 на III-Д₂ третману до -0,50 на II-Ф третману. Наводњавање није примењивано у првом року сетве услед повољног распореда падавина, што потврђују и вредности *CWSI*, које су биле уједначене између третмана заливања, биљке су биле изложене стресу само два пута у току мерења након чега су се јављале падавине. У другом року у периоду од 45. до 75. ДПС вредности *CWSI* на третманима Д₁ и Д₂ достигале су вредности од 0,21 и 0,25, док биљке Ф третмана нису биле изложене стресу. Максимална вредност *CWSI* у другом року јавила се у периоду сазревања пасуља, што није негативно утицало на принос. У трећем року сетве већ од 20. па до 65. ДПС биљке редукованог третмана изложене су водном стресу. У појединим мерењима биљке Ф третмана су биле изложене већем стресу него биљке редукованих третмана. Оваква појава дешава се када су температуре лишћа испитиване на дан када је примењено заливање на редукованим третманима.

Вредности *CWSI* у трећој години истраживања (2020) варирале су од 0,43 на Д₂ и Д₁ првог рока сетве, до -0,41 на Ф третманима, такође првог рока сетве. У првом року сетве вредности *CWSI* су се повећавале током фазе плодоношења достигавши вредности до 0,22 и 0,30 на Д₁ и Д₂ третманима, редом, док је пред само жетву остварена максимална вредност *CWSI* (0,43), што је и очекивано пред крај фазе сазревања. У другом року сетве највеће варирање вредности *CWSI* између третмана заливања запажено је од 30. до 60. ДПС. Редуковано заливање утиче на повећан стрес, изузев када се снимање врши на дан заливања редукованог третмана, као што се десило 37-ог ДПС, кад биљке Д₂ третмана нису биле у стресу. У трећем року сетве вредност *CWSI* показује појаву стреса у првом делу вегетације, када је она достигала вредности до 0,27 и 0,29 на Д₁ и Д₂ третманима редом, док се касније опажају вредности око 0, све до прекида заливања.

Карактеристично за све три године јесте да биљке првог рока сетве, у водни стрес улазе тек након 50 дана од сетве. У већини мерења уочене су више вредности *CWSI* на Д₂ третманима у односу на Д₁ и Ф третмане, што указује на недостатак воде. С друге стране, најниже вредности *CWSI* измерене су на Ф третманима, што пак означава добру снабдевеност пасуља водом. Повољни режим падавина и умерене вредности температуре у пролећном делу године позитивно утичу на смањење водног стреса, који се у првим роковима сетве јавља у другој половини вегетационог периода. С друге стране у трећем року

сетве, максималне вредности *CWSI* оствариване су од интензивног пораста па све до плодношења, најчешће услед редукованог заливања и високих температура.

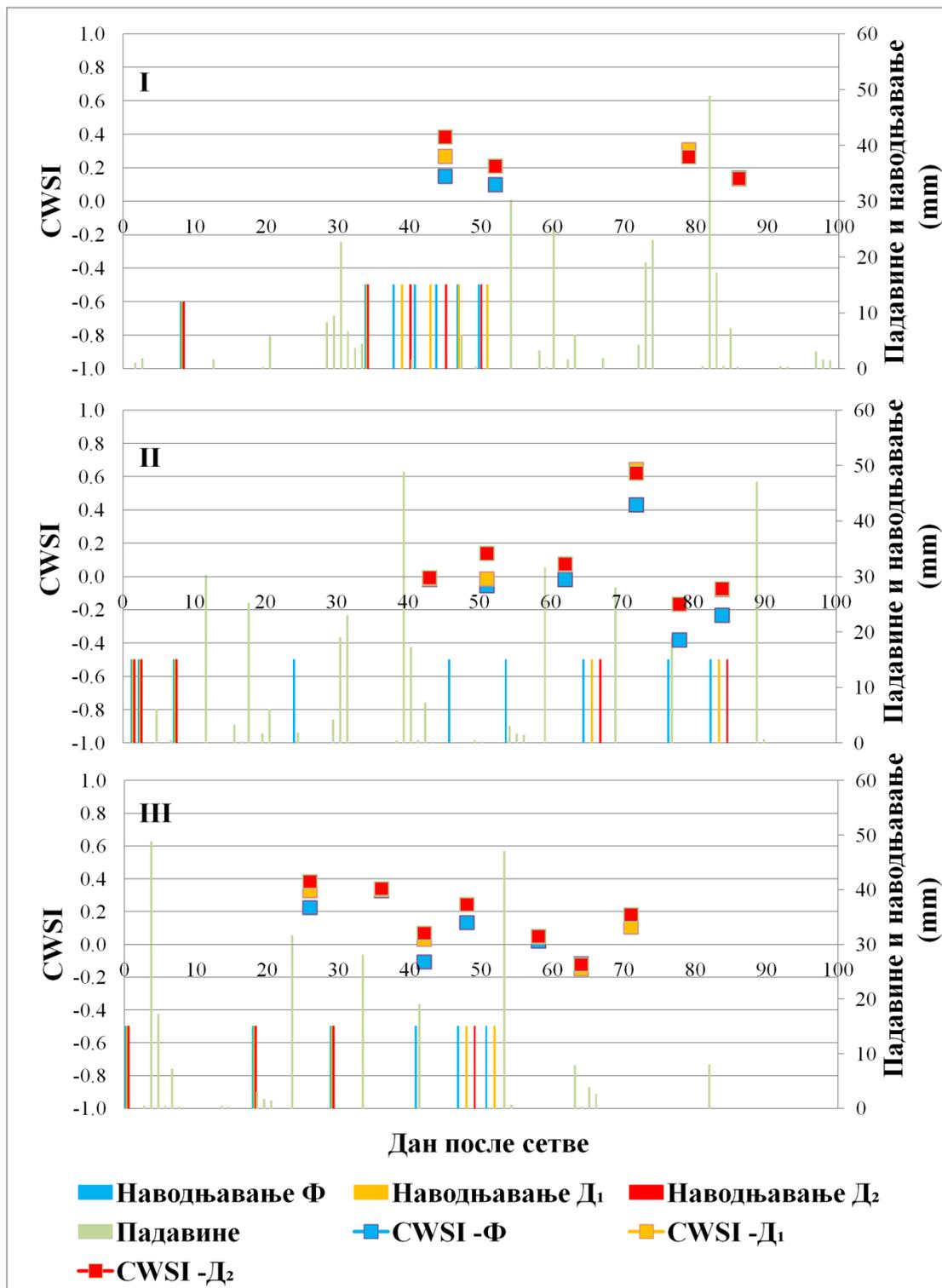


График 17. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2018. године

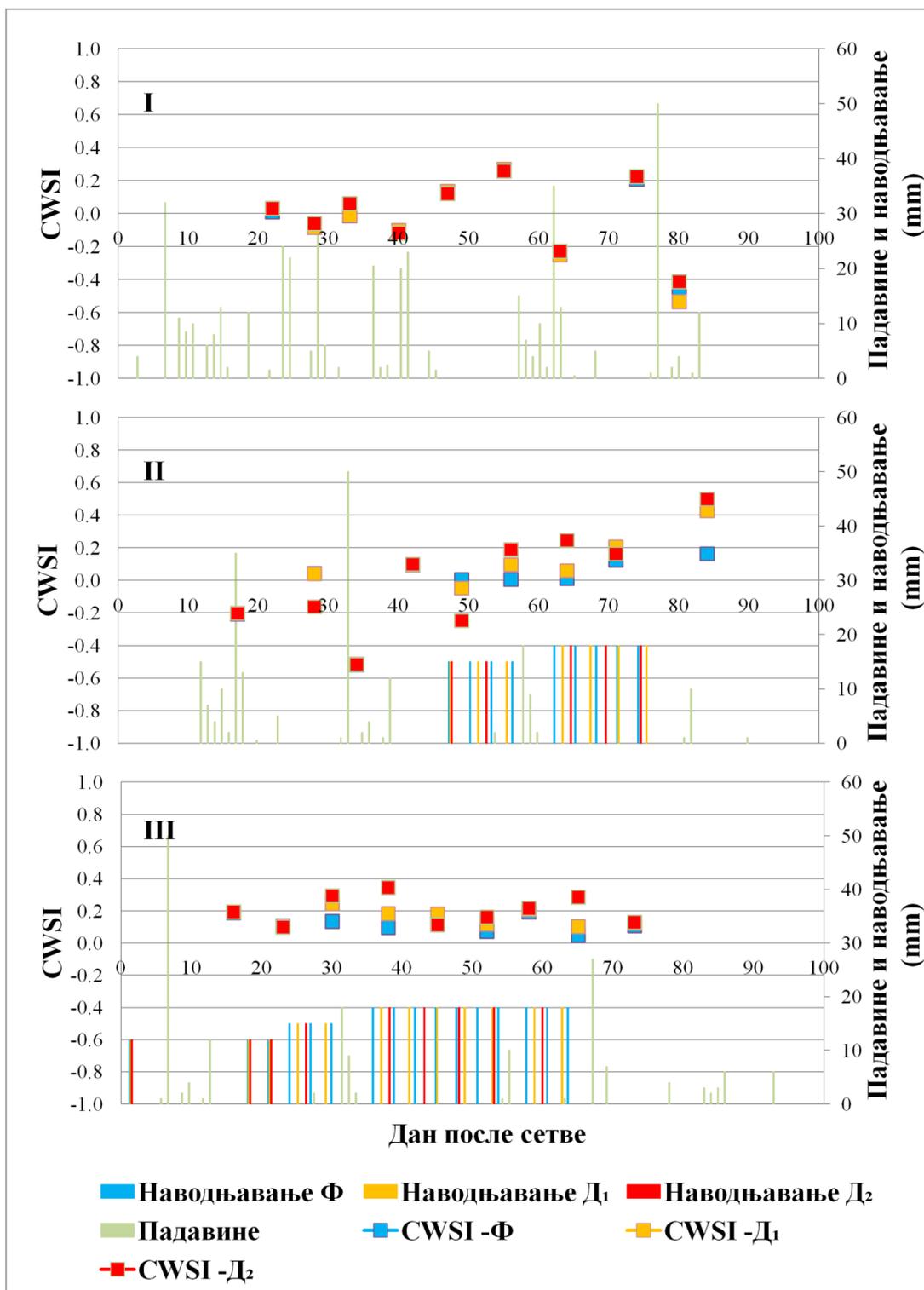


График 18. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2019. године

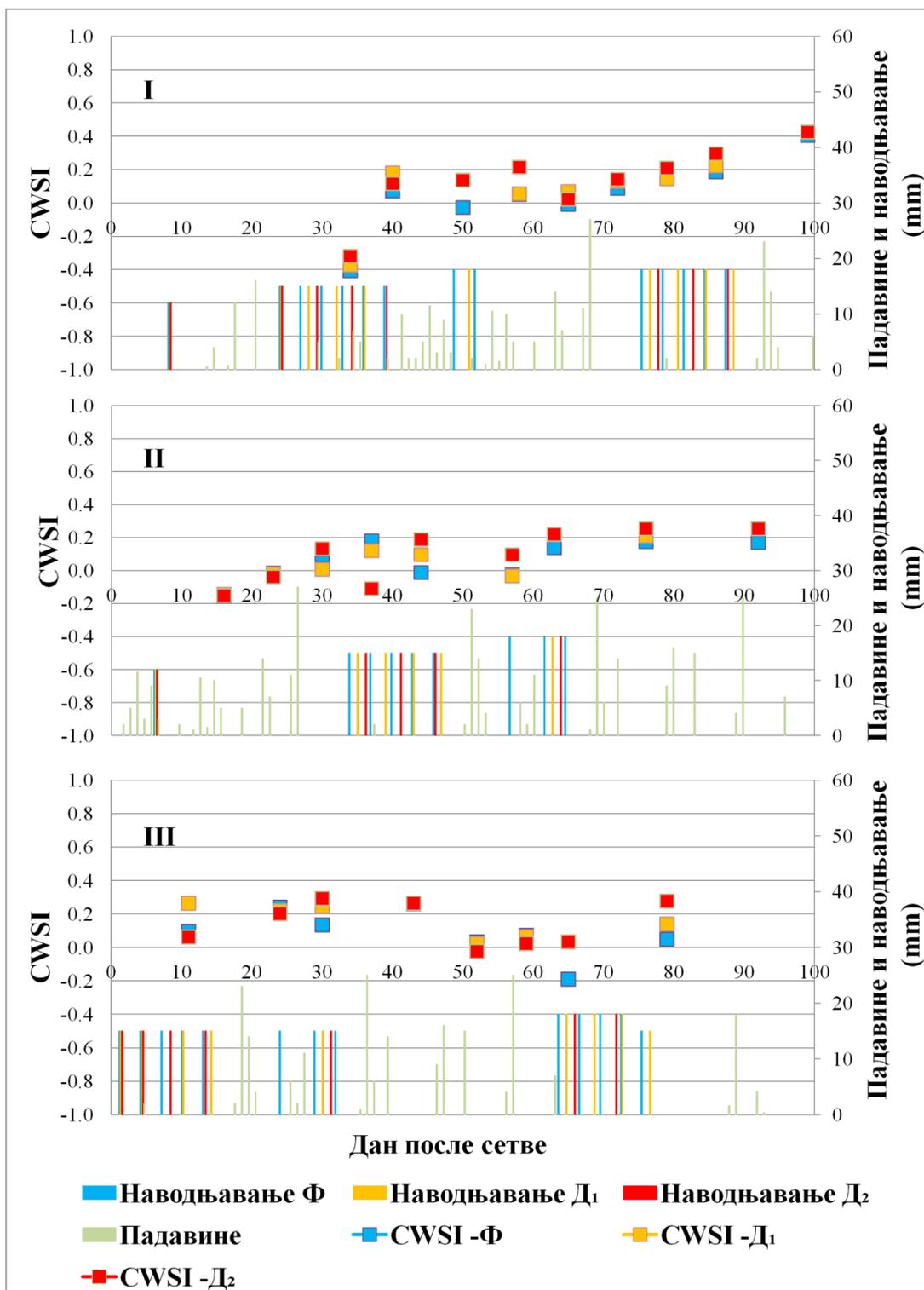


График 19. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*), на свим третманима заливања и роковима сетве током 2020. године

Како би се приказао утицај влажности земљишта на водни стрес, на графицима 20, 21 и 22 приказани су *CWSI* и садржај воде у земљишту ($\%_{\text{зап.}}$) за 2018, 2019. и 2020. годину.

Анализом односа *CWSI* и влажности земљишта уочава се да је садржај воде у сагласности са оствареним вредностима *CWSI* између испитиваних третмана заливања. Код третмана пуног наводњавања (Ф) вредности *CWSI* индекса кретале су се у близини нуле, у тренутку када је повољан садржај воде у земљишту (од $27\%_{\text{зап.}}$ до $32\%_{\text{зап.}}$), док се на редукованим третманима Д₁ и Д₂, чешће јављају вредности *CWSI* изнад 0, најчешће до 0,2

што је последица снижавања садржаја воде испод 25%_{зап.}. Вредности *CWSI* индекса између 0 и +1 запажају се када влажност земљишта опадне испод 25%_{зап.}, међутим на појединим мерењима запажа се водни стрес и када је повољан садржај воде, што је последица високих температура (око 30 °C).

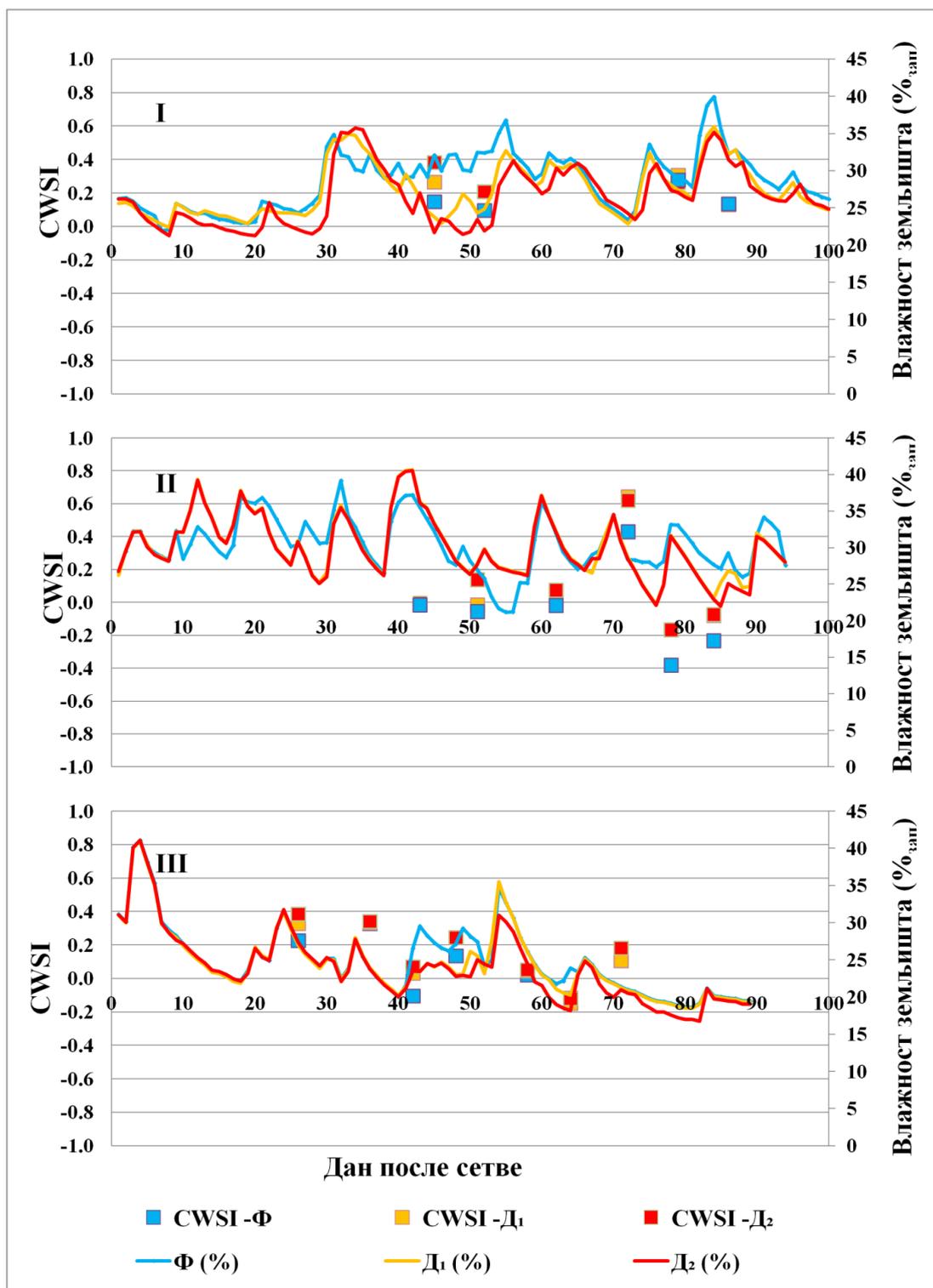


График 20. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*) и влажност земљишта (%_{зап}) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2018. године

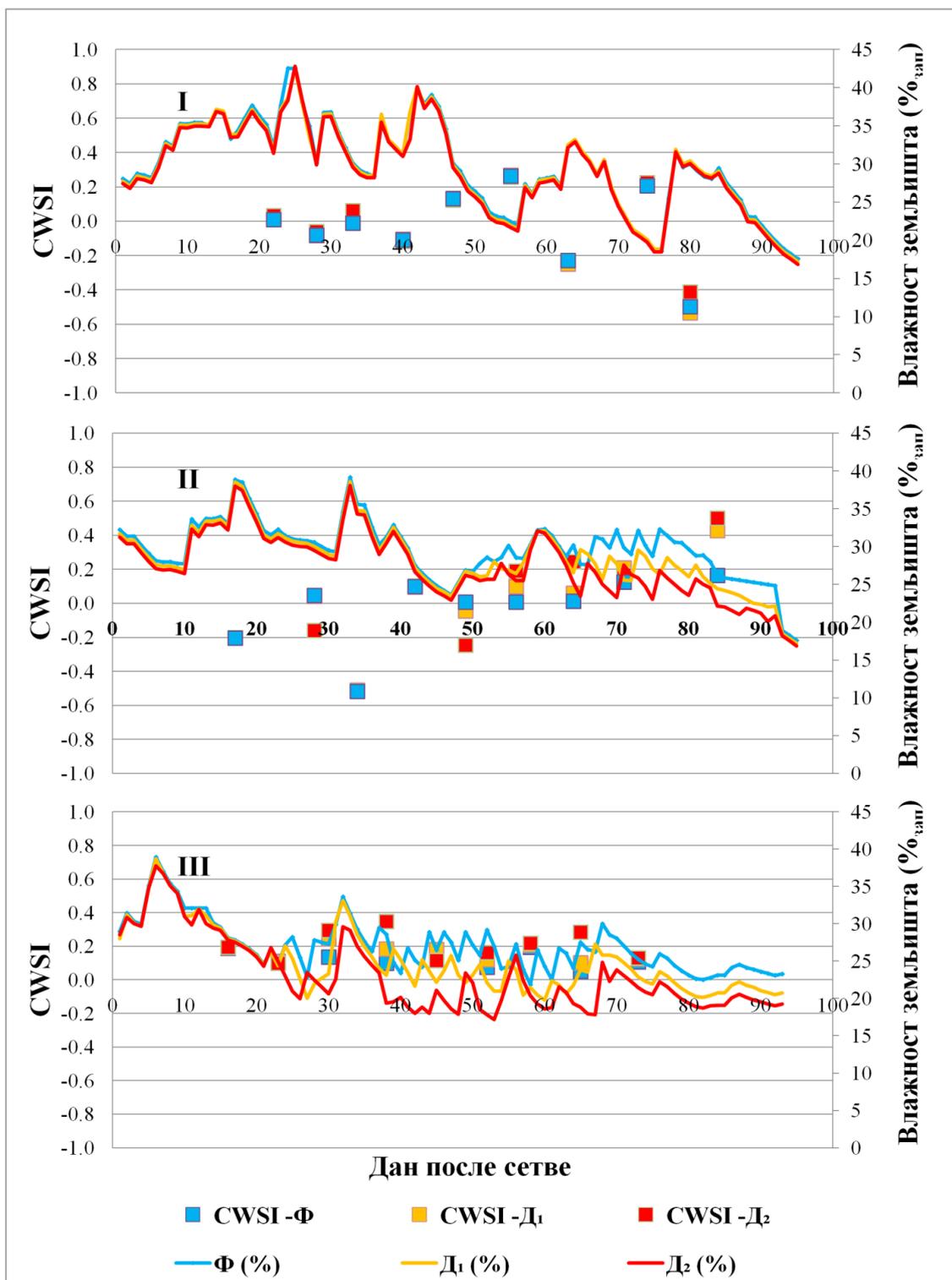


График 21. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*) и влажност земљишта (%_{зап.}) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2019. године

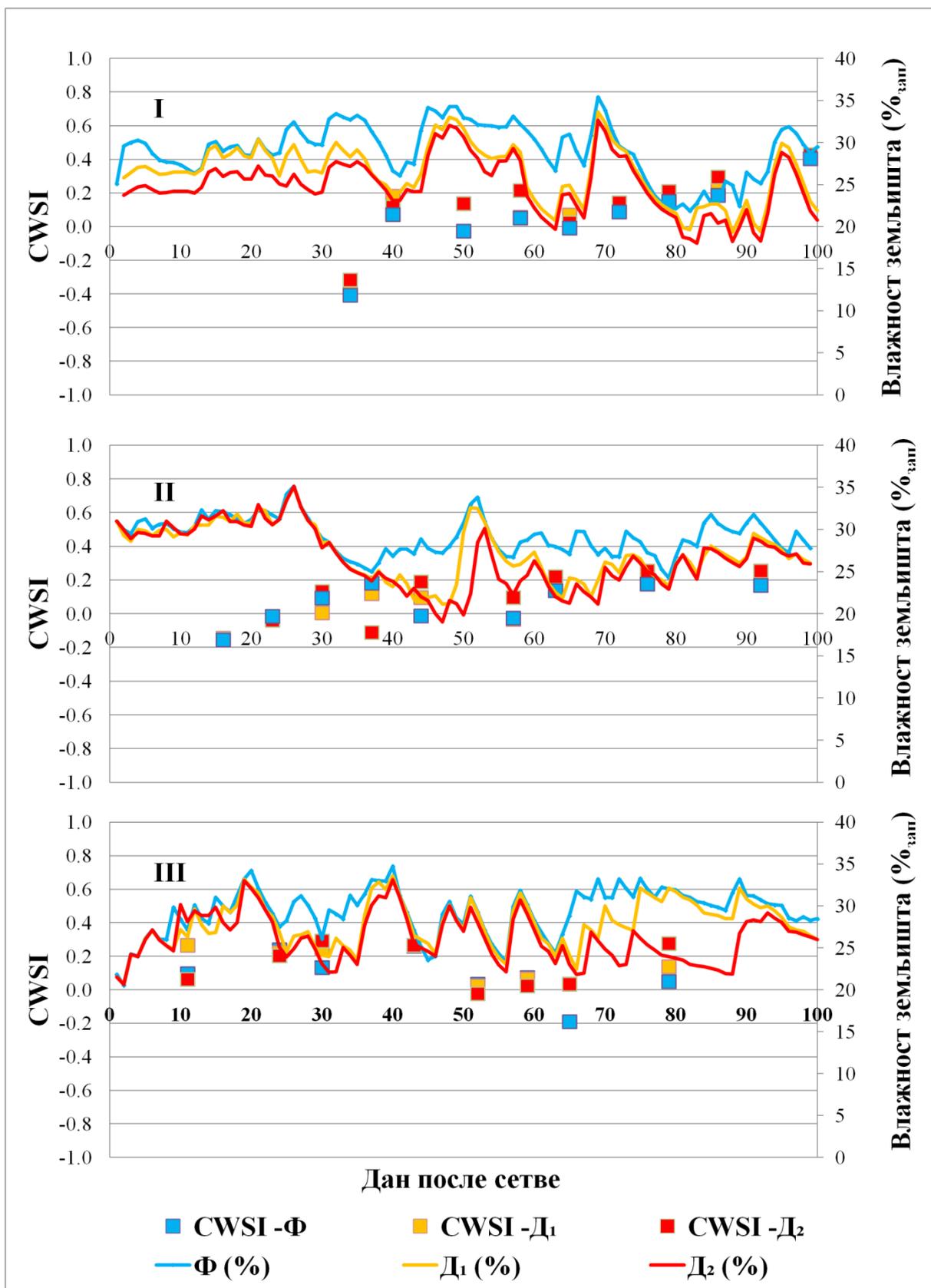


График 22. Биљни водни стрес индекс (*CWSI*) и влажност земљишта (%_{зап.}) на свим третманима заливања и роковима сетве током 2020. године

На графику 23 приказан је однос *CWSI* и садржаја воде (%_{зап.}) између третмана наводњавања посебно за сваки рок сетве током трогодишњег истраживања.

Са графика се уочава да са смањењем садржаја воде, долази до повећања *CWSI*. Биљке су биле под водним стресом када садржај воде опадне испод 25%_{зап.}, међутим благи водни стрес осматран је и када је садржај воде био нешто виши, услед појаве високих температура. Биљке Д₁ и Д₂ третмана су достизале највише вредности *CWSI* индекса, али те вредности су ретко прелазиле 0,4, што указује да су биљке биле у благом водном стресу.

Биљке другог рока постизале су максималне вредности *CWSI* (преко 0,6), што је последица редукованог наводњавања и високих температура.

Као и код вегетационих индекса, на основу добијених података за 2019. и 2020. годину, извршена је регресиона анализа и добијена једначина за процену приноса пасуља на основу *CWSI* индекса (једначина 31). Подаци указују на јасну негативну повезаност *CWSI* индекса и приноса ($R^2=0,91$). Овакви подаци указују да се *CWSI* индекс може користити за процену приноса пасуља.

Регресиона једначина за процену приноса (Y) на основу вредности *CWSI* (X) индекса:

$$Y = -11,69 * X + 4,353 [31]$$

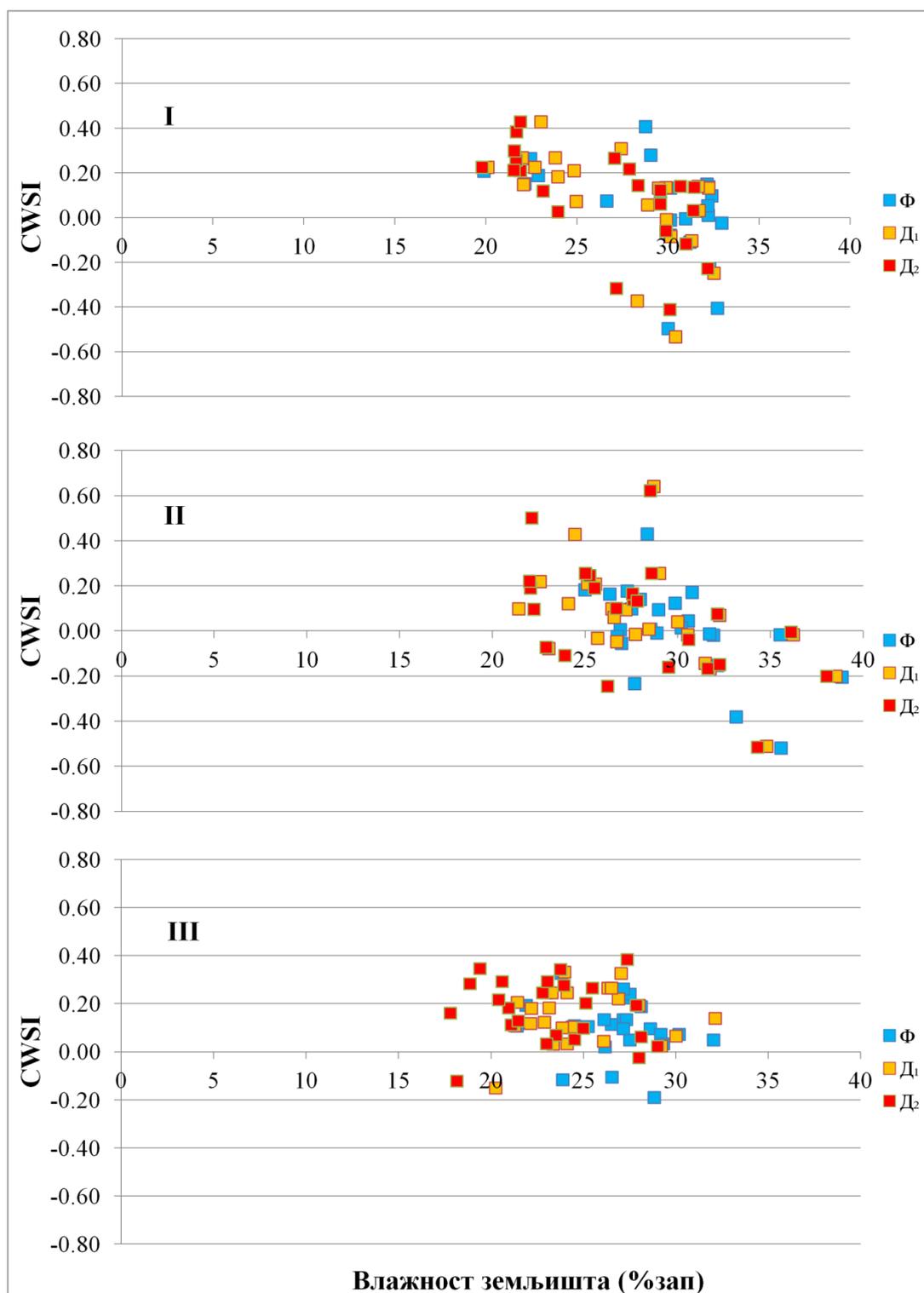


График 23. Однос између биљног водног стрес индекса *CWSI* и влажности земљишта (%зап.) при различитим роковима сетве и режимима заливања током трогодишњег истраживања

6.8. Приноси и параметри приноса пасуља

Током трогодишњег истраживања праћени су параметри приноса пасуља у три рока сетве и три режима наводњавања.

Извршена је анализа приноса семена пасуља ($t \cdot ha^{-1}$), укупна свежа биомаса ($t \cdot ha^{-1}$), укупна сува биомаса ($t \cdot ha^{-1}$), просечан број махуна по биљци, маса 1000 семена и жетвени индекс (%). Квалитет приноса приказан је анализом садржаја уља и протеина у семену. Експериментални подаци представљени су табеларно.

6.8.1 Ефекат рока сетве и режима наводњавања на принос и компоненте приноса

У табели 28 представљени су резултати утицаја рока сетве и режима наводњавања на број махуна по биљци, масу 1000 семена, принос зрна, суву и свежу биомасу и жетвени индекс током трогодишњег истраживања, а у табели 29 приказана је анализа варијансе утицаја године, рока сетве и режима наводњавања на испитиване параметре. Анализа варијансе показује да су година, рок сетве (РС) и режим наводњавања (РН) испољили статистичку значајност ($p < 0,05$ и $p < 0,01$) по свим испитиваним параметрима. За тестирање разлика између третмана коришћен је Тукијев тест.

У току трогодишњег огледа највећи број махуна по биљци (8,17) остварен је 2018. године на Ф третманима првог рока сетве, а најниже вредности запажене су 2020. године на Д₂ третману трећег рока сетве (2,07). У оквиру првог рока сетве током трогодишњег периода број махуна по биљци кретао се од 7,82 (2018) до 7,12 (2020), док је на Ф, Д₁ и Д₂ третманима број махуна по биљци износио 7,60, 7,39 и 7,22, редом. У другом року сетве запажен је нешто нижи број махуна који је варирао од 7,39 (2018) до 6,76 (2020), а број махуна по биљци на Ф, Д₁ и Д₂ третманима износио је 7,34, 7,17 и 6,46, редом. У трећем року сетве број махуна по биљци кретао се од 7,43 (2018) до 2,41 (2020), док су на Ф, Д₁ и Д₂ третманима добијене вредности од 5,83, 5,64 и 5,26 махуна по биљци, редом. Велико смањење броја махуна по биљци у трећем року сетве 2020. године условљено је нападом штеточине *Pentatoma rufipes* (смрдибуба), што се манифестовало уништавањем постојећих махуна и њиховим делимичним оштећењима. Уочава се правилност да се сетвом у редовном року (I) остварује највећи број махуна по биљци, и он опада померањем рокова сетве. Применом редукованог наводњавања број махуна по биљци се смањује, са изузетком првог рока сетве где је ова вредност била уједначена услед повољног распореда падавина. Просечне вредности за цео испитивани период у свим роковима сетве у третману пуног наводњавања износи 6,92, док са смањењем количине доступне воде опада (6,73 на Д₁ третману и 6,31 на Д₂ третману).

Просечан број махуна по биљци се статистички веома значајно разликовао ($p < 0,01$) између испитиваних рокова сетве. У I року сетве просечан број махуна износио је 7,4, што је статистички веома значајно више од броја махуна у третману II (6,99), односно статистички веома значајно више од броја махуна у III року сетве (5,58). У оквиру режима наводњавања није било значајне разлике у броју махуна по биљци између Ф и Д₂ третмана али су се значајно разликовали у односу на Д₁ третман. Година истраживања је статистички веома значајно утицала на број махуна по биљци. Највећи број махуна по биљци остварен је у 2018. години (7,55), затим у 2019. години (6,99), а најнижи у 2020. години (5,43). Интеракција фактора РСxРН статистички се значајно разликовала, на шта је утицао трећи рок сетве у 2020. години, када је остварен значајно нижи број махуна по биљци услед напада смрдибубе у поређењу са осталим интеракцијама.

Максимална вредност масе 1000 зрна током трогодишњег огледа измерена је на Ф третману 425,10 g првог рока сетве 2018. године, а најнижа вредност 345,10 g на Д₂ третману трећег рока сетве 2020. године. Просечно је маса 1000 зрна током трогодишњег истраживања износила 407,61 g, 404,04 g и 396,50 g на Ф, Д₁ и Д₂ третманима, редом.

Са аспекта рокова сетве, добијени су веома слични резултати (410,06 g до 393,93 g), а уочена је иста правилност као и код броја махуна по биљци - са померањем времена сетве смањује се маса 1000 зрна.

Највећа маса 1000 семена осматрена је у I и II року сетве (I=410,06 g; II=404,16 g), али се није статистички значајно разликовала, док се трећи рок сетве статистички веома значајно разликовао ($p<0,01$). Третмани Ф и Д₁ нису се статистички значајно разликовали (407,61 g и 404,04 g, редом), док се Д₂ третман веома значајно разликовао ($p<0,01$). Маса 1000 семена била је статистички значајно већа у првој години истраживања (413,86 g), односно за 3,02% виша него у 2019. години и 5,43% више у 2020. години.

Током трогодишњег огледа највећи принос зрна (5,72 t·ha⁻¹) остварен је 2018. године на Ф третманима првог рока сетве, а најниже вредности осматрене су 2020. године на Д₂ третману трећег рока сетве (0,77 t·ha⁻¹). Просечни приноси пасуља добијени трогодишњим истраживањима по третманима наводњавања износе 4,24 t·ha⁻¹, 4,01 t·ha⁻¹ и 3,59 t·ha⁻¹ на Ф, Д₁ и Д₂ третманима, редом.

Анализирањем утицаја рока сетве, просечни приноси износе 4,55 t·ha⁻¹, 4,06 t·ha⁻¹ и 3,22 t·ha⁻¹ у I, II и III року сетве. У првом року сетве током трогодишњег периода принос зрна је варирао од 5,21 t·ha⁻¹ (2018) до 4,22 t·ha⁻¹ и 4,21 t·ha⁻¹ (2019 и 2020. године), док је на Ф, Д₁ и Д₂ третманима принос зрна износио 4,78 t·ha⁻¹, 4,53 t·ha⁻¹ и 4,34 t·ha⁻¹, редом. У другом року сетве запажа се да је принос зрна варирао од 4,71 t·ha⁻¹ (2018) до 3,62 t·ha⁻¹ (2019), док је на Ф, Д₁ и Д₂ третманима износио је 4,48 t·ha⁻¹, 4,09 t·ha⁻¹ и 3,62 t·ha⁻¹, редом. У трећем року принос зрна је био најнижи и кретао се од 4,64 t·ha⁻¹ (2018) до 1,23 t·ha⁻¹ (2020), а принос зрна на Ф, Д₁ и Д₂ третманима износио је 3,46 t·ha⁻¹, 3,42 t·ha⁻¹ и 2,80 t·ha⁻¹, редом. Просечан принос пасуља се статистички веома значајно разликовао ($p<0,01$) између свих испитиваних рокова сетве. Просечан принос пасуља у I року сетве износи 4,55 t·ha⁻¹, односно 12,07% више него у II року сетве и 41,30% више него у III року сетве. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је просечно највише приносе (4,24 t·ha⁻¹), што је за 5,74% више него на Д₁ третману, односно статистички значајно више (18,11%) у поређењу са Д₂ третманом. Интеракција фактора није значајно утицала на принос. Највећи принос остварен је 2018. године, а најнижи 2019. године. Интеракција фактора РСxPH статистички се значајно разликовала, на шта је утицао трећи рок сетве у 2020. години, када је остварен значајно нижи принос пасуља услед напада штеточине *Pentatoma rufipes* (смрдибуба) у поређењу са осталим интеракцијама. Као и код броја махуна по биљци, уочава се тренд смањења приноса са одлагањем сетве, нарочито у поменутом трећем року сетве, док се редукованим наводњавањем очекује нешто нижи принос пасуља.

Највеће вредности укупне суве биомасе постигнуте су у првом року сетве (9,09 t·ha⁻¹), што се статистички веома значајно разликовало ($p<0,01$) у односу на други и трећи рок сетве, када су ипак остварене знатно ниже вредности укупне суве биомасе (8,21 t·ha⁻¹ и 7,75 t·ha⁻¹, редом). У оквиру режима наводњавања Ф и Д₁ третман остварене су вредности од 8,76 t·ha⁻¹ и 8,40 t·ha⁻¹, редом што се статистички значајно разликовало у поређењу са Д₂ третманом на коме је запажена вредност 7,89 t·ha⁻¹. Година 2018. веома значајно се разликовала у односу на две наредне године истраживања, јер је сува биомаса била за 40,40% већа него 2019. године, а за читавих 46,29% већа него 2020. године. Интеракција фактора године и рока сетве (ГxРС) значајно је утицала на резултате услед високих вредности суве биомасе током 2018. године.

Током трогодишњег огледа највеће вредности жетвеног индекса осматрене су на Д₁ третманима првог рока сетве 2019. године (54,37%), а најниже вредности осматрене су 2020. године на Д₂ третману трећег рока сетве (14,75%). Жетвени индекс је у првом року сетве током трогодишњег периода био уједначен 2019. и 2020. године (54,10% и 52,62%), док је 2018. износио 45,45%. У оквиру третмана наводњавања нема значајних одступања. Сличан тренд је осматрен и у другом року сетве, те су највеће вредности жетвеног индекса остварене

2019. и 2020. године (51,45% и 50,55%), а најниже вредности добијене су 2018. године (48,10%). У оквиру третмана наводњавања у другом року сетве није било значајног одступања између Ф и Д₁ третмана (51,25% и 50,46%, редом), док су незнатно ниже вредности остварене на Д₂ третману (48,38%). У трећем року сетве жетвени индекс варирао је од 51,41% (2019) до 20,80% (2020), док је у оквиру третмана Ф, Д₁ и Д₂ достигао вредности од 42,57%, 40,35% и 34,77% редом. Ако се посматрају просечне вредности за сва три рока сетве, највеће вредности се уочавају на третманима пуног наводњавања (48,28%), а опадају са смањењем доступне количине воде (47,18% на Д₁ третману и 44,53% на Д₂ третману). Жетвени индекс се није значајно разликовао у првом и другом року сетве, али се веома значајно разликовао у поређењу са трећим роком сетве ($p < 0,01$). У оквиру режима наводњавања није уочена значајна разлика жетвеног индекса. Година 2020. веома значајно се разликовала у поређењу са претходне две године истраживања.

Табела 28. Ефекат рока сетве и режима наводњавања на принос и компоненте приноса пасуља

Година	Р.С. / Р.Н.	Број махуна по биљци				Маса 1000 зрна (g)				Принос зрна (t·ha ⁻¹)				Укупна сува биомаса (t·ha ⁻¹)				Жетвени индекс (%)			
		Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.	Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.	Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.	Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.	Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.
2018	I	8,17	7,70	7,60	7,82	425,10	419,80	419,70	421,53	5,72	5,10	4,82	5,21	12,44	11,49	10,5	11,48	45,8	44,74	45,81	45,45
	II	7,70	7,40	7,07	7,39	418,50	405,00	417,40	413,63	5,42	4,60	4,11	4,71	11,62	9,66	8,65	9,98	48,9	47,83	47,56	48,1
	III	7,43	7,47	7,40	7,43	408,00	403,10	408,10	406,40	4,64	5,13	4,14	4,64	9,09	10,48	10,17	9,91	50,88	48,24	40,33	46,48
	Пр.	7,77	7,52	7,36	7,55	417,20	409,30	415,07	413,86	5,26	4,94	4,36	4,85	11,05	10,54	9,77	10,46	48,52	46,94	44,57	46,68
2019	I	7,33	7,23	7,23	7,27	407,21	405,50	404,10	405,60	4,21	4,23	4,22	4,22	7,84	7,78	7,78	7,8	53,70	54,37	54,24	54,10
	II	7,17	7,10	6,20	6,82	405,10	403,20	390,51	399,60	3,84	3,75	3,27	3,62	7,44	7,01	6,64	7,03	51,61	53,50	49,25	51,45
	III	7,27	7,10	6,30	6,89	402,12	406,12	391,80	400,01	4,19	3,76	3,47	3,81	8,07	7,4	7,05	7,51	51,92	50,08	49,22	50,41
	Пр.	7,26	7,14	6,58	6,99	404,81	404,94	395,47	401,74	4,08	3,91	3,66	3,88	7,78	7,40	7,16	7,45	52,41	52,65	50,90	51,99
2020	I	7,31	7,23	6,83	7,12	406,58	402,50	400,01	403,03	4,42	4,26	3,96	4,21	8,26	8,03	7,72	8,00	53,51	53,05	51,30	52,62
	II	7,17	7,00	6,10	6,76	405,18	400,80	391,77	399,25	4,18	3,92	3,50	3,87	7,85	7,77	7,24	7,62	53,25	50,05	48,34	50,55
	III	2,80	2,35	2,07	2,41	390,70	390,30	345,10	375,37	1,56	1,36	0,77	1,23	6,26	5,98	5,22	5,82	24,92	22,74	14,75	20,80
	Пр.	5,76	5,53	5,00	5,43	400,82	397,87	378,96	392,55	3,38	3,18	2,74	3,10	7,46	7,26	6,73	7,15	43,89	41,95	38,13	41,32
Просек	I	7,60	7,39	7,22	7,40	412,96	409,27	407,94	410,06	4,78	4,53	4,34	4,55	9,51	9,10	8,67	9,09	51,00	50,72	50,45	50,72
	II	7,34	7,17	6,46	6,99	409,59	403,00	399,89	404,16	4,48	4,09	3,62	4,06	8,97	8,15	7,51	8,21	51,25	50,46	48,38	50,03
	III	5,83	5,64	5,26	5,58	400,27	399,84	381,67	393,93	3,46	3,42	2,80	3,22	7,81	7,95	7,48	7,75	42,57	40,35	34,77	39,23
Просек	6,92	6,73	6,31	6,66	407,61	404,04	396,50	402,72	4,24	4,01	3,59	3,94	8,76	8,40	7,89	8,35	48,28	47,18	44,53	46,66	

Табела 29. Анализа варијансе утицаја године, рока сетве и режима наводњавања на принос и компоненте приноса пасуља

Фактор	Број махуна по биљци	Маса 1000 зрна (g)	Принос зрна ($t \cdot ha^{-1}$)	Сува биомаса ($t \cdot ha^{-1}$)	Жетвени индекс (%)
Година (Г)	**	**	**	**	**
2018	7,55 a	413,86 a	4,85 a	10,46 a	46,68 a
2019	6,99 b	401,74 b	3,88 b	7,45 b	51,99 a
2020	5,43 c	392,55 c	3,10 c	7,15 b	41,32 b
Рок сетве (РС)	**	**	**	**	**
I	7,40 a	410,06 a	4,55 a	9,09 a	50,72 a
II	6,99 b	404,16 a	4,06 b	8,21 b	50,03 a
III	5,58 c	393,93 b	3,22 c	7,75 b	39,23 b
Режим наводњавања (РН)	*	**	*	**	нз
Ф	6,92a	407,61 a	4,24 a	8,76 a	48,28
Д ₁	6,73a	404,04 a	4,01 a	8,40 a	47,18
Д ₂	6,31b	396,50 b	3,56 b	7,89 b	44,53
Интеракција фактора	**	нз	**	*	*
ГхРН	нз	нз	нз	нз	*
ГхРС	**	нз	**	*	*
РСхРН	*	нз	нз	нз	нз

Тестирање просечних вредности унутар колона Тукијевим тестом ($p > 0,05$; $p < 0,05$; $p < 0,01$): F тест - нема статистичког значаја (нз) ($p > 0,05$); * статистички значајан утицај ($p < 0,05$); ** статистички веома значајан утицај ($p < 0,01$)

6.9. Ефекат рокова сетве и режима наводњавања на нормализовану продуктивност воде (ПВ) и ефикасност коришћења воде (ЕКВ)

Продуктивност воде и ефикасност коришћења воде израчунати су за све три године истраживања по испитиваним третманима (рокови сетве и режими наводњавања).

Табела 30 приказује продуктивност воде и ефикасност коришћења воде пасуља при различитим роковима сетве и режимима наводњавања током трогодишњег истраживања. У Табели 31 приказана је анализа варијансе утицаја године, рока сетве и режима наводњавања на продуктивност воде (ПВ), ефикасност коришћења воде (ЕКВ) и однос транспирације и евапорације (Т/Е). Анализа варијансе показује да су године и рок сетве испољили статистичку значајност ($p < 0,01$; $p < 0,05$) на све испитиване параметре, док режими наводњавања нису статистички значајно утицали на продуктивност воде, али је запажена статистички значајна разлика ($p < 0,01$; $p < 0,05$) у ефикасности коришћења воде и Т/Е. Интеракција између испитиваних фактора је показала високу статистичку значајност ($p < 0,01$). За тестирање разлике између третмана коришћен је Тукијев тест.

У току трогодишњег огледа највећа продуктивност воде ($15,85 g \cdot m^{-2}$) остварена је 2018. године на Д₁ третманима првог рока сетве а најниже вредности запажене су 2020. године на Д₂ третману трећег рока сетве ($9,08 g \cdot m^{-2}$).

Вредности продуктивности воде статистички веома значајно су се разликовале ($p < 0,01$) између сва три испитивана рока сетве. Највећа продуктивност воде остварена је у I року сетве ($12,32 g \cdot m^{-2}$), што је за 4,23% више у односу на II рок сетве, односно 14,60% у односу на III рок. У оквиру режима заливања није било статистички значајне разлике

продуктивности воде. Међутим, запажа се да је највећа продуктивност воде остварена на Д₁ и Д₂ третману (11,79 g·m⁻² и 11,78 g·m⁻², редом), док су вредности ПВ на Ф третману износиле 11,32 g·m⁻². Интеракција фактора није значајно утицала на продуктивност воде. Уочава се правилност да се са одлагањем сетве снижава продуктивност воде. На ниске вредности продуктивности воде у трећем року сетве 2020. године утицао је већ поменути напад штеточине.

Током трогодишњег огледа најбоља ефикасност коришћења воде 1,64 kg·m⁻³ запажена је 2018. године на Ф третманима првог рока сетве, а најниже вредности осмотрене су 2020. године на Д₂ третману трећег рока сетве (0,22 kg·m⁻³).

Просечна вредност ефикасности коришћења воде се статистички веома значајно разликовала између сва три испитивана рока сетве (p<0,01). Највећа ЕКВ остварена је у првом року сетве (1,19 kg·m⁻³), што је за 12,26% више у односу на II рок сетве и 26,60% у односу на III рок сетве. Третман Д₂ се статистички значајно разликовао (p<0,05) са вредношћу 1,01 kg·m⁻³. На њему су остварене вредности за око 8% ниже у односу на вредности на Ф и Д₁ третманима, редом. Продуктивност воде се разликовала (p<0,05) између свих година истраживања. Највећа вредност продуктивности воде добијена је 2018. (1,46 g·m⁻²).

Интеракција фактора РСxPH статистички се значајно разликовала, на шта је утицао трећи рок сетве у 2020. години, када је остварена значајно нижа ефикасност коришћења воде услед напада смрдибубе у поређењу са осталим интеракцијама. Као што је запажено код продуктивности воде, и овде се уочава опадање ефикасности коришћења воде са одлагањем сетве, углавном услед примењене веће количине воде за наводњавање, док се у касним роковима сетве Д₁ третман најефикасније користи воду.

Однос транспирације и евапорације (Т/Е) током трогодишњег огледа варијала је од 82,09 на Ф третманима другог рока сетве 2020. године, до 57,50 на Д₂ третманима трећег рока сетве 2020. године.

Просечна вредност Т/Е се статистички веома значајно разликовала између сва три испитивана рока сетве (p<0,01). Највећа Т/Е остварена је у првом року сетве (73,89%), што је за 5,80% више у односу на II рок сетве и 3,08% више у односу на III рок сетве. Вредности Т/Е статистички су се високо значајно разликовали (p<0,01) у свим испитиваним режимима наводњавања. Највеће вредности добијене су на Ф третману (77,53%) што је за 8,89% и 16,27% више у поређењу са Д₁ и Д₂ третманима, редом. Вредности Т/Е су биле уједначене током 2018. и 2019. године (72,96% и 73,00%, редом), што је статистички значајно више (p<0,01) у односу на 2020. годину. Интеракција фактора ГxPC значајно је утицала на вредности Т/Е у трећем року сетве, услед напада штеточина 2020. године на третманима трећег рока сетве због чега су остварене значајно ниже вредности ЕКВ од очекиваних. Интеракције су значајно утицале (ГxPH, ГxPC и РСxPH) на Т/Е. Климатска варијабилност, третман наводњавања и рок сетве значајно су утицали на потрошњу воде и процес евапорације и транспирације. Уочава се правилност да се у касним роковима сетве више воде троши на евапорацију али и да је у неким случајевима мања транспирација при касној сетви због климатских услова. Ф третман има нешто више вредности Т/Е, што је последица примењене веће норме наводњавања.

Генерално, може се уочити правилност да са одлагањем рока сетве опада продуктивност и ефикасност коришћења воде. Разлог томе су већи захтеви за водом у касним роковима сетви, услед високе температуре ваздуха, али и мање количине падавина. Однос Т/Е нам указује да је у другом року сетве значајно већа евапорација утицала да овај однос буде мањи, слично је добијено и у трећем року сетве, али услед нешто мање транспирације остварен је већи Т/Е однос у поређењу са трећим роком сетве. У другом року сетве је једнако ефикасно коришћена вода на Ф и Д₁ третману, док уједначене вредности продуктивности

воде указују на добро искоришћавање воде из дубљих слојева земљишта биљака које су гајене у редукованим режимима наводњавања.

Табела 30. Продуктивност и ефикасност коришћења воде пасуља при различитим роковима сетве и режимима наводњавања током трогодишњег истраживања

Година	Р.С./Р.Н.	Продуктивност воде (g·m ⁻²)				Ефикасност коришћења воде (kg·m ⁻³)				Т/Е			
		Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.	Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.	Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.
2018	I	15,66	15,85	15,28	15,60	1,64	1,34	1,31	1,43	79,43	72,47	68,74	73,55
	II	15,54	13,92	12,52	13,99	1,58	1,40	1,25	1,41	74,82	69,43	69,08	71,11
	III	12,24	14,12	13,72	13,36	1,43	1,57	1,27	1,42	74,25	74,25	74,16	74,22
	Пр.	14,48	14,63	13,84	14,31	1,55	1,41	1,42	1,46	76,17	72,05	70,66	72,96
2019	I	10,51	10,43	10,43	10,46	1,09	1,17	1,18	1,15	74,58	74,58	74,58	74,58
	II	9,41	9,91	12,19	10,50	0,89	0,92	0,98	0,93	79,07	70,73	54,45	68,08
	III	9,94	9,51	10,08	9,84	1,12	1,15	1,02	1,10	81,21	77,84	69,92	76,32
	Пр.	9,95	9,95	10,90	10,27	1,03	1,08	1,06	1,06	78,29	74,38	66,32	73,00
2020	I	10,47	10,99	11,25	10,90	0,99	1,00	0,99	1,00	78,92	73,04	68,65	73,54
	II	9,56	11,79	11,49	10,95	0,81	0,89	0,82	0,84	82,09	65,88	63,00	70,32
	III	8,53	9,56	9,08	9,06	0,36	0,36	0,22	0,31	73,38	62,57	57,50	64,48
	Пр.	9,52	10,78	10,61	10,30	0,72	0,75	0,68	0,72	78,13	67,16	63,05	69,45
Просек	I	12,21	12,43	12,32	12,32	1,24	1,17	1,16	1,19	77,64	73,36	70,66	73,89
	II	11,50	11,88	12,07	11,82	1,09	1,07	1,02	1,06	78,66	68,68	62,18	69,84
	III	10,24	11,06	10,96	10,75	0,97	1,03	0,84	0,94	76,28	71,55	67,19	71,68
Просек		11,32	11,79	11,78	11,63	1,1	1,09	1,01	1,06	77,53	71,20	66,68	71,80

Табела 31. Анализа варијансе утицаја године, рока сетве и режима наводњавања на продуктивност воде, ефикасност коришћења воде и однос транспирације и евапорације.

Фактор	Продуктивност воде (g·m ⁻²)	Ефикасност коришћења воде (kg·m ⁻³)	T/E (%)
Година (Г)	**	*	**
2018	14,31 a	1,46 a	72,96 a
2019	10,27 b	1,06 b	73,00 a
2020	10,30 b	0,72 c	69,45 b
Рок сетве (РС)	**	**	**
I	12,32 a	1,19 a	73,89 a
II	11,82 b	1,06 b	69,84 c
III	10,75 c	0,94 c	71,68 b
Режим наводњавања (РН)	нз	*	**
Ф	11,32	1,10 a	77,53 a
Д ₁	11,79	1,09 a	71,20 b
Д ₂	11,78	1,01 b	66,68 c
Интеракција фактора			
ГхРН	нз	*	**
ГхРС	нз	**	**
РСхРН	нз	нз	**

Тестирање просечних вредности унутар колона Тукијевим тестом ($p > 0,05$; $p < 0,05$; $p < 0,01$): F тест - нема статистичког значаја (нз) ($p > 0,05$); * статистички значајан утицај ($p < 0,05$); ** статистички веома значајан утицај ($p < 0,01$)

6.10. Хемијске особине зрна пасуља

У овом одељку приказан је утицај рока сетве и режима наводњавања на садржај уља и протеина пасуља током трогодишњег периода.

Табела 32. приказује ефекат рока сетве и режима наводњавања на садржај уља и протеина у зрну пасуља. У табели 33 приказана је анализа варијансе утицаја године рока сетве и режима наводњавања на процентуални садржај уља и масти у зрну пасуља. Анализа варијансе показује да је рок сетве испољио статистичку значајност ($p < 0,01$; $p < 0,05$) на све испитиване параметре. Режим наводњавања нису статистички значајно утицали на садржај уља, али је добијена статистички значајна разлика у садржају протеина ($p < 0,05$). Година истраживања се показала статистички значајна само у садржају уља. Интеракција између испитиваних фактора је значајно утицала на испитиване параметре. За тестирање разлике између третмана коришћен је Тукијев тест.

У току трогодишњег огледа највећи % уља (9,93%) остварен је 2020. године на Д₁ третману првог рока сетве, а најниже вредности запажене су исте године на Д₁ третману трећег рока сетве (4,30%).

Просечан садржај уља статистички се веома значајно разликовао ($p < 0,01$) између испитиваних рокова сетве. Највећи удео уља забележен је у I року сетве (8,83%), што је за

11,77% више него у II року сетве и 53,03% више него у III року сетве. Садржај уља се није значајно разликовао у испитиваним режимима заливања, а просечна вредности износила је 7,50%. Највише вредности удела уља остварене су у другој и трећој години истраживања (7,64% и 7,67%, редом), а статистички значајно ниже у првој години истраживања (7,19%). Уочава се правилност да са одлагањем сетве опада садржај уља, док је на режимима наводњавања Ф третман остварио незнатно већи садржај уља у односу на Д₁ и Д₂ третмане

Трогодишњи резултати огледа показују да је највећи садржај протеина (28,47%) остварен је 2020. године на Ф третману другог рока сетве, а најниже вредности запажене су исте године на Д₂ третману трећег рока сетве (15,67%).

Просечан садржај протеина статистички се високо значајно разликовао ($p < 0,01$) између испитиваних рокова сетве. Највећи удео протеина забележен је у I року сетве (26,74%), односно за 2,65% више него у II року сетве и 37,48% више него у III року сетве. У оквиру режима заливања остварена је статистички значајна разлика у садржају протеина ($p < 0,01$), у поређењу Ф и Д₁ третмана са Д₂ третманом, а просечне вредности износиле су 24,08%. Садржај протеина био је уједначен у све три године истраживања. Исто као и код садржаја уља, са одлагањем сетве долази до снижавања удела протеина, док се у редукованим режимима наводњавања запажа повећање садржаја протеина. Уочава се да је садржај протеина значајно смањен у 2020. години, услед напада штеточине, али да су у оквиру режима наводњавања мале варијације у садржају протеина.

Генерално са одлагањем сетве долази до опадања вредности протеина и уља, који представљају основне показатеље хемијског квалитета пасуља, док се редуковано наводњавање показало повољно са аспекта садржаја протеина у зрну.

Табела 32. Ефекат рока сетве и режима наводњавања на садржај уља и протеина у зрну пасуља током трогодишњег периода истраживања

Година	Р.С. / Р.Н.	Садржај уља (%)				Садржај протеина (%)			
		Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.	Ф	Д ₁	Д ₂	Пр.
2018	I	8,25	8,17	7,86	8,09	25,64	26,17	26,63	26,15
	II	7,76	7,09	6,42	7,09	23,66	25,26	25,66	24,86
	III	6,21	6,39	6,52	6,37	20,28	21,67	22,49	21,48
	Пр.	7,41	7,22	6,93	7,19	23,20	24,37	24,93	24,16
2019	I	8,52	8,40	8,84	8,58	27,47	25,01	26,98	26,48
	II	8,25	7,99	7,66	7,97	24,75	24,77	25,47	25,00
	III	5,90	6,36	6,81	6,36	21,63	21,17	20,07	20,96
	Пр.	7,55	7,58	7,77	7,64	24,61	23,65	24,17	24,15
2020	I	9,68	9,93	9,79	9,80	27,49	27,95	27,38	27,61
	II	8,45	8,66	8,79	8,63	28,47	28,22	28,20	28,30
	III	4,79	4,30	4,67	4,59	16,08	16,00	15,67	15,92
	Пр.	7,64	7,63	7,75	7,67	24,01	24,06	23,75	23,94
Просек	I	8,82	8,83	8,83	8,83	26,86	26,37	27,00	26,74
	II	8,15	7,91	7,62	7,90	25,63	26,08	26,44	26,05
	III	5,63	5,68	6,00	5,77	19,33	19,62	19,41	19,45
Просек	7,53	7,47	7,48	7,50	23,94	24,02	24,28	24,08	

Табела 33. Анализа варијансе утицаја године, рока сетве и режима наводњавања на садржај уља и протеина у зрну пасуља

Фактор	Садржај уља (%)	Садржај протеина (%)
Година (Г)	*	нз
2018	7,19 b	24,16
2019	7,64 a	24,15
2020	7,67 a	23,94
Рок сетве (РС)	**	**
I	8,83 a	26,74 a
II	7,90 b	26,05 a
III	5,77 c	19,45 b
Режим наводњавања (РН)	нз	*
Ф	7,53	23,94 b
Д ₁	7,47	24,02 b
Д ₂	7,48	24,28 a
Интеракција фактора		
ГxРН	**	**
ГxРС	**	**
РСxРН	**	**

Тестирање просечних вредности унутар колона Тукијевим тестом ($p > 0,05$; $p < 0,05$; $p < 0,01$): F тест - нема статистичког значаја (нз) ($p > 0,05$); * статистички значајан утицај ($p < 0,05$); ** статистички веома значајан утицај ($p < 0,01$)

7. ДИСКУСИЈА

7.1. Фенофаза пасуља у различитим роковима сетве

Рокови сетве утицали су на дужину трајања појединих фенофаза пасуља што је илустровано на графику 3. Након сваке сетве, уколико је било потребно, земљиште је наводњавано како би се обезбедили повољни услови влажности за ницање и клијање. Према наводима Тодоровић и сар. (2008) за ницање пасуља неопходно је обезбедити 120 g воде на сваких 100 g његове масе семена. Поред захтева за влагом, пасуљ у овој фази има велике захтеве за топлотом. Минимална температура за ницање пасуља износи од 8 °C до 12 °C, док је оптимална између 20 °C и 25 °C. У пролеће углавном је заступљена довољна количина влаге, али у касним роковима сетве уколико нема падавина, наводњавање је неопходно. За ницање пасуља у року I просечно је потребно око 14 дана, у другом року 10, а у трећем року нешто мање од 7 дана. Када је повољан садржај влаге, биљке у касним роковима сетве (II и III) брже ничу услед повољнијих температурних услова. То потврђују и резултати температуре земљишта, који су били најповољнији у касним роковима сетве. Развој лисне масе пасуља најкраће је трајао на третманима II рока сетве (24 дана), док је на третманима I и III рока сетве тај период износио 30 и 29 дана, редом. Нешто краће трајање развоја лисне масе на третманима у II року сетве условљено је високим температурама којима су биљке биле изложене у том периоду. Цветање је у свим роковима сетве варирало од 10 до 14 дана и често осматрено и у току фазе формирања махуна (због сукцесивног цветања пасуља), која је трајала 19-34 дана. Генерално, ова фаза најдуже се одвијала у третману I (26 дана), затим нешто краће у третману II и III (23, 24 дана, редом). Фаза сазревања пасуља у свим третманима I рока сетве просечно је трајала 15 дана и повећавала се у каснијим роковима сетве (II=20; III=29). Разлог продужетка фазе сазревања махуна јесте нешто нижа температура и виша влажност ваздуха у том делу године. Најдуже трајање ове фенофазе забележено је 2020. године (30 дана), услед појаве смрдибубе (*Pentatoma rufipes*) на усеву пасуља, која је успорила развој махуна и нанела значајне губитке приноса.

Да биљке касних рокова сетве брже ничу закључили су и Bateman et al. (2020) испитујући фенофазе соје на простору Сједињених Америчких Држава. Закључили су да се сетвом крајем јуна, почетком јула ницање одвија брже за 4 дана у поређењу са редовним роковима сетве. Исти аутори наводе смањење периода од ницања до пораста лисне масе у касним роковима сетве, што су потврдила и наша истраживања, док се репродуктивни период скраћивао у касним роковима сетве услед високих температура, док наша истраживања потврђују супротно, што се подводи под утицај ниских температура у периоду сазревања. На подручју Србије, Божић (1996) закључује да се касном сетвом пасуља (око 10. маја) постиже брже ницање у поређењу са раном сетвом (10. април), док у поређењу са сетвом 20. априла, нема разлике у периоду ницања, док се период од ницања до цветања скраћује у касним роковима сетве. Loss и Siddique (1997) су утврдили да се период трајања цветања боба смањује у касним роковима сетве, док, слично нашим резултатима Божић (1996) закључује да нема великих промена у дужини трајања цветања при различитим роковима сетве.

Повећан ризик од напада инсеката у касним роковима сетве, уочили су и Bateman et al. (2020) истраживајући ефекат рока сетве на пораст развој и принос соје у јужном делу Сједињених Америчких Држава. Наиме, соја сејана крајем јуна и почетком јула била је највише изложена нападу неколико врсти смрдибуба.

7.2. Влажност земљишта

7.2.1. Влажност земљишта на огледном пољу мерена гравиметријским методом у току три године истраживања

Резултати мерења влажности земљишта на огледним парцелама током трогодишњег истраживања, показују да је садржај воде био највећи на Ф третманима, где је висока влажност одржавана правовременим наводњавањем. У оквиру Ф третмана садржај воде се није спуштао испод границе лако приступачне воде биљкама, изузев пред крај фазе сазревања када је биљкама потребна мала количина расположиве воде, те је наводњавање изостављано (графици 4,5 и 6). Нешто нижи садржаји влажности земљишта остварени су на Д₁ и Д₂ третманима. У пролећним роковима сетве (I) влажност земљишта на Д₁ третманима се није спуштала испод границе лако приступачне воде, услед повољног распореда падавина. Тек у касним роковима сетве (II и III) влажност земљишта кретала се у границама и испод зоне лако приступачне воде биљкама. Овакав тренд запажен је и на Д₂ третманима, где се у првом року у тренуцима мерења влажност одржала изнад границе лако приступачне воде, док се у касним роковима сетве (II и III) влажност земљишта спуштала испод границе лако приступачне воде. Генерално, током трогодишњег истраживања биљке на I року сетве нису биле изложене недостатку воде услед повољног распореда и количине падавина (осим током 2020), где третмани наводњавања нису успостављени у дужем временском периоду. Тек у касним роковима сетве (II и III) током 2019. и 2020. године, због нешто нижих падавина и високе евапотранспирације, биљке из третмана Д₁ и Д₂ су имале недостатак лако приступачне воде у појединим периодима од 40. до 80. дана од сетве.

Слично закључују Zeleke и Nendel (2019) у студији утицаја рокова сетве и режима влажности земљишта на принос и квалитет боба. Применили су три режима наводњавања (пуно наводњавање, наводњавање током периода интензивног пораста, наводњавање током фазе репродукције и контролни третман природне снабдевености водом). Закључују да се наводњавањем у репродуктивној фази може уштедети до 28% воде без утицаја на принос пасуља и да се биљка може опоравити од недостатка воде у фази интензивног пораста, али током фазе репродукције, боб је веома осетљив на стрес суше, што потврђују и наша истраживања са врстом из исте ботаничке фамилије.

7.2.2. Влажност земљишта на огледном пољу мерена *TDR* методом у току три године истраживања

Влажност земљишта мерена је и *TDR* методом на дубини од 30 cm. Резултати влажности били су у високој корелацији ($r=0,84$) са влажношћу која је узимана гравиметријском методом за дубину од 20-40 cm што указује да се ова метода са високом поузданошћу може користити за праћење влажности земљишта у реалном времену.

Садржај влаге током истраживања варирао је од 43% у првом року сетве на свим третманима 2019. године до 16,5% у трећем року сетве на Д₂ третману исте године. Сонде су детектовале садржаје влаге изнад пољског водног капацитета које су се краткотрајно јављале након обилних падавина. Са графика се може уочити у којим тренуцима је земљиште било исушено испод линије стреса. Приликом примене режима наводњавања, уочава се промена садржаја влаге што побољшава праћење наводњавања и омогућава успостављање бољег режима наводњавања.

Sampos et al. (2021) су испитивали ефекат три третмана наводњавања (100% од ЕТс, 50% од ЕТс и 30% од ЕТс) у саксијама и два третмана наводњавања (100% и 40% од ЕТс) пасуља на отвореном пољу. Влажност земљишта на свим третманима варијала је у опсегу од 40% до 18% што је у сагласности са нашим истраживањима.

7.3. Покровност земљишта лисном масом, акумулација суве биомасе и индекс лисне површине

Просечна покровност земљишта лисном масом у току трогодишњег истраживања варирала је од 89,55% на Д₂ третману до 94,47% на Ф третману. Највећа засенченост запажена је на I-Ф третману 2018. године 95,7%, а најмања на III-Д₂ третману током 2019. са вредношћу 77,18%. Биљке које су боље снабдевене водом, оствариле су већу покровност, међутим током 2018. године, разлике покровности између третмана наводњавања биле су мале, јер су биљке добро користиле акумулирану влагу из дубљих слојева земљишта. Генерално биљке првог рока оствариле су за 3,99% и 2,68% више вредности покровности у поређењу са биљкама из другог и трећег рока сетве, редом. Овакви резултати остварени су услед нешто повољнијих температурних услова за развој лисне масе у редовном року сетве.

Olivera et al. (2016) су у својим истраживањима на подручју Бразила, установили да се у условима природне снабдевености водом постиже покровност од 92%, док Espadafor et al. (2017) у огледима обављеним у Калифорнији (Сједињене Америчке Државе) закључују да максималне вредности покровности пасуља износе 99%. Boydston et al. (2018) су остварили максималне вредности покровности пасуља од 90,9% на третманима пуног наводњавања, док се на третманима редукованог наводњавања остварују вредности од 68,9%. Zeleke и Nendel (2019) закључују да се са одлагањем сетве боба и применом редукованог наводњавања снижавају вредности покровности усева.

Просечна акумулација суве биомасе пасуља варирала је од 1244,21 g·m⁻² на I-Ф третману у 2018. до 522,35 g·m⁻² на II-Д₂ третману 2019. године. Генерално посматрано, највећа акумулација на свим посматраним третманима остварена је 2018. године, где се уочава да је добар температурни и режим влажности земљишта погодовао акумулацији највеће биомасе. Док у покровности није било велике разлике, индекс лисне површине је показао да режим наводњавања утиче на акумулацију суве биомасе, док је у оквиру рокова сетве она била уједначена. Примећује се да са одлагањем сетве такође опада акумулација биомасе, што је нарочито карактеристично за 2019. годину. Максимална акумулација биомасе одговара тренутку максималне покровности те се може приметити да је и за акумулацију биомасе потребно око 55 дана у првом року сетве, док се у каснијим роковима сетве примећује бржа акумулација биомасе.

Просечан индекс лисне површине пасуља варирао је од 5,98 m·m⁻² на I-Ф третману у 2018. до 2,2 m·m⁻² на III-Д₂ третману 2019. године. Генерално посматрано, највећа акумулација на свим посматраним третманима остварена је 2018. године, што је у сагласности са вредностима покровности и акумулацији биомасе. Међутим, 2018. највећи индекс лисне површине измерен је на Ф третманима (5,50 m·m⁻²), а најмањи на Д₂ третманима (5,35 m·m⁻²). Као и код акумулације суве биомасе, уочен је тренд опадања индекса лисне површине са одлагањем сетве, те је највећи индекс лисне површине у првом року сетве (4,21 m·m⁻²), а најмање у трећем року сетве (3,97 m·m⁻²). Код сва три параметра пораста биљке (покровност, акумулација суве биомасе и индекс лисне површине), јасно се уочава правилност да биљке боље снабдевене водом (Ф третман) остварују веће вредности ових показатеља, а да се са одлагањем сетве примећују ниже вредности параметара пораста пасуља.

Индекс лисне површине и акумулација биомасе су тесно повезане са покровношћу. Режији наводњавања и рокови сетве значајно утичу на акумулацију биомасе и индекс лисне површине. Испитујући утицај режима наводњавања на морфолошке и физиолошке особине пасуља Ghanbari et al. (2013) су утврдили да просечне вредности ИЛП варирају од 5,11 m·m⁻¹ до 1,38 m·m⁻¹ у зависности од режима наводњавања и сортимента, док Karimzadeh-Soureshjani et al. (2019) закључују ИЛП на третманима пуног наводњавања пасуља достиже вредности блиске 4,00 m·m⁻¹.

7.4. Евапотранспирација, транспирација и евапорација пасуља

Просечна потрошња воде на процесе евапотранспирације усева током три године истраживања на Ф, Д₁ и Д₂ третманима износила је 400,61 mm, 383,1 mm и 366,9 mm, редом. Просечна дневна потрошња воде износила је 4,19 mm, 3,92 mm и 3,75 mm на Ф₁, Д₁ и Д₂ третманима, редом. Просечне вредности транспирације током трогодишњег периода истраживања кретале су се од 333,28 mm на Ф третману до 287,11 mm на Д₂ третману.

Просечна потрошња воде између испитиваних рокова сетви износила је 383,4 mm, 407,9 mm и 360,4 mm за I, II и III рок сетве, редом. Просечна дневна потрошња воде између испитиваних рокова сетве износила је 3,90 mm, 4,06 mm и 3,90 mm за I, II и III рок сетве, редом. Просечне вредности транспирације током трогодишњег периода истраживања варирале су од 326,42 mm у првом року сетве до 281,87 mm на трећем року сетве. Просечне вредности евапорације током трогодишњег истраживања износиле су 54,91 mm, 78,86 mm и 75,98 mm за I, II и III рок сетве, редом.

Режим наводњавања и рок сетве показали су статистички значајну разлику ($p < 0,05$) на просечне вредности евапотранспирације пасуља. Разлика евапотранспирације пасуља између Ф и Д₂ третмана је статистички и значајна, а потрошња воде на Д₂ третману је за 9,48% мања него на Ф третману, док Д₁ третман није показао статистички значајне разлике. Овакви резултати добијени су услед честих прекида режима наводњавања услед падавина. Када посматрамо рокове сетве, највећа потрошња воде запажена је у другом року сетве (407,9 mm) што је статистички значајно ($p < 0,05$) више за 13,29% у односу на други рок сетве, док се први рок сетве није значајно разликовао. Веће вредности евапорације у касним роковима сетве остварене су услед изложености тек изниклих усева високим температурама, какве су биле крајем маја/почетком јуна и крајем јуна/почетком јула.

На основу наведених резултата примећује се значајан утицај рока сетве и режима наводњавања на вредност евапотранспирације пасуља. Пасуљ је највише воде трошио у другом року сетве, на шта су утицале високе температуре у летњем периоду године када се одвија готово читав вегетациони период пасуља. Најниже вредности потрошње воде пасуља добијене су на трећем року сетве. Периоди плодношења и сазревања пасуља одвијају се током септембра па и новембра месеца када је потрошња воде смањена услед нижих температура ваздуха. Такође, редуkcијом наводњавања смањује се вредност евапотранспирације пасуља, међутим услед честих појава падавина током трогодишњег истраживања, нису остварене значајне разлике између сва три третмана наводњавања. Сличне трендове евапотранспирације остварили су Maphosa et al. (2022) за леблебију. Они су испитивали утицај четири рока сетве на ефикасност коришћења воде код две сорте леблебије. Просечна вредност транспирације је била највећа у прва два рока сетве, 260 mm и 252 mm (средина и крај априла), док се сетвом крајем маја остварена најмања вредност евапотранспирације (234 mm). С друге стране Srivastava et al. (2020) закључују да се одлагањем сетве за 15 дана од оптималног рока постижу за 10% мање вредности евапотранспирације. Zeleke и Nendel (2019) испитујући утицај режима наводњавања закључили су да се касном сетвом боба такође смањује вредност евапотранспирације. Високе вредности транспирације у наводњаваним третманима очекивани су због веће проводљивости стома у наводњаваном пасуљу (Karimzadeh-Soureshjani et al., 2019). То потврђују и резултати Matev et al. (2022) у којима је евапотранспирација у зависности од режима наводњавања варирала од 385 mm (100% од ЕТс) до 278 mm на контролном третману.

Потребе пасуља за водом у агроеколошким условима Србије варирају од 250 mm до 500 mm (Brouwer и Heibloem, 1986; Стричевић, 2007; Тодоровић и сар., 2008), што је у сагласности са просечном потрошњом добијеном у овим истраживањима на Ф третманима која је износила око 400 mm. Васић и сар. (2007) истражили су потенцијал гајења пасуља као

накнадног усева на простору Србије на земљишту типа чернозем. Да би се задовољиле потребе пасуља за водом, поред 195 mm, падавина, наводњавањем методом орошавања је додато 195 mm воде, укупно 390 mm воде, што је у сагласности са нашим истраживањима за касну сетву.

7.5. Методе даљинске детекције као показатељи водног стреса и њихов потенцијал за процену приноса пасуља

Даљинска детекција у пољопривреди има широку примену. Користи се за процену фенологије, начина коришћења земљишта, предвиђање приноса, процену водног стреса, евапотранспирацију усева и управљање системима наводњавања, као и процену недостатка хемијских елемената у земљишту. Своју примену проналази и у индентификацији корова, болести и штеточина и тако даље (Shanmugapriya et al., 2019; Weiss et al., 2020).

7.5.1. Вегетациони индекси добијени коришћењем мултиспектралне камере постављене на беспилотну летелицу (дрон)

Вегетациони индекси најчешће се користе за праћење пораста усева, детекцију суше и абиотског стреса, процену снабдевености усева водом, праћење фенологије, процене приноса и слично. Методе за праћење индекса лисне површине и акумулције биомасе захтевају пуно времена и радне снаге. Процена ових вредности преко вегетацијских индекса, значајно је лакше, не одузима пуно времена, а додатно даје просторну представу стања усева и у високој је корелацији са ИЛП, покровности и акумулацијом биомасе. Поред ручних мултиспектралних камера и оних на сателитима, све чешћа је употреба дрона ради добијања просторних података у високој резолуцији (Weis et al., 2018).

Прелетање огледа беспилотном летелицом вршено је током 2019. и 2020. године. Анализом израчунатих вредности вегетационих индекса уочава се да су *NDVI*, *MCARI* и *GNDVI* показали бољу осетљивост на снабдевеност пасуља водом у поређењу са *OSAVI* и *NDRE* индексом. Уочава се правилност да што су биљке боље снабдеване водом, вредност индекса је већа. Ова разлика најбоље се може уочити након интензивног пораста пасуља. Највише просечне вредности вегетационих индекса остварене су на Ф третманима, 0,83, 0,72, 0,71, затим на Д₁ третманима 0,75, 0,65, 0,65 и Д₂ третманима 0,65, 0,50 и 0,55 за *NDVI*, *MCARI* и *GNDVI* индексе, редом.

Вредности ових индекса имали су тренд сличан као код покровности, ИЛП, и акумулације биомасе, дакле са порастом биомасе расле су и вредности вегетационих индекса све до фазе плодношења, након чега наступа старење и повећава се видљивост голог земљишта, што је у сагласности са добијеним резултатима на другим културама (Duchemin et al., 2006; Toureiro et al., 2017). Вегетациони индекси који су показали осетљивост на ИЛП били су подобни за предвиђање приноса пасуља. У првом року сетве није било значајних разлика између приноса, ИЛП, ПК и вегетационих индекса у оквиру режима заливања. Овакав резултат добијен је због висине и распореда падавина у 2019. години (график 2) која је у првом року сетве погодовала развоју пасуља, те наводњавање није примењено. Овакве тенденције јављају се и на другим проучаваним културама и климатским условима (Zhang и Oweis, 1999). У другом року сетве забележене су значајне разлике ($p < 0,05$) приноса у режимима заливања, што су испратиле вредности ИЛП. Међутим, од испитиваних ВИ само *NDVI*, *MCARI* и *GNDVI* су успели да испрате разлике у оквиру Д₂ третмана. Овакви резултати добијени су јер у појединим датумима снимања, биљке нису биле изложене дефициту воде у Ф и Д₁ третманима, због турнуса заливања и климатских услова. Током 2019. и 2020. године разлике у максималном *NDVI* током вегетације биле су умерене, при чему је најнижи *NDVI* примећен у другом року сетве, на Д₂ третману, а максималне вредности забележене су у III року сетве на Ф третману (табеле 24 и 25). Највеће вредности *NDVI* (0,89) за све третмане примећене су током наливања махуна, што је у сагласности са

результатима које су добили Rai et al. (2020), а износе (0,84). За исти период највеће вредности имао је и *GNDVI* индекс. Сличан тренд забележен је и код *MCARI* и *GNDVI* индекса.

Успостављена је добра корелација *NDVI*, *MCARI* и *GNDVI* индекса и ИЛП у различитим режимима заливања, указавши на висок потенцијал примене ВИ за недеструктивно праћење стања вегетације и предвиђање приноса. Сличне вредности коефицијента корелације *NDVI* и ИЛП ($r=0,85$) добили су Hoffman et al. (2016) на наводњаваном јечму, а високе корелације *NDVI* ($r=0,90$) и *GNDVI* ($r=0,96$) индекса ИЛП добили су С.Д. Lelong et al. (2008) на пшеници и Rai et al. (2020) на пасуљу. Боља осетљивост ИЛП на добијене приносе у поређењу са ВИ огледа се у чињеници да је ИЛП праћен на сваких 7-10 дана у току вегетације, чиме се боље испратио пораст биљке у оквиру одређених третмана. За прецизније одређивање приноса коришћењем беспилотних летелицама, у наредним истраживањима, циљ ће бити повећан број снимања у току сезоне, нарочито у фенофази интензивног пораста и тренуцима када је биљка изложена стресу суше. Ипак, примена ВИ показала је одређени потенцијал у праћењу стања вегетације и процени приноса пасуља у различитим режимима заливања и роковима сетви. Поред наведеног, може се истаћи да је задовољавајућа корелација остварена је између ВИ (*NDVI* и *MCARI*) и транспирације пасуља, чиме се указује на могућност примене ових индекса за процену транспирације и евапотранспирације биљака.

На основу изнетих података, индекси *NDVI*, *MCARI* и *GNDVI* као најбољи, коришћени су за формирање једначине линеарне регресије за предвиђање приноса пасуља (табела 27). Подаци указују да је *NDVI* индекс остварио добру корелацију са измереним подацима, док су *MCARI* и *GNDVI* индекс показали умерену корелацију. Овакви подаци указују да се вегетациони индекси могу користити за процену приноса пасуља.

Вегетациони индекси, *NDVI*, *MCARI* и *GNDVI* показали су се као добри за предвиђање приноса у третманима због своје могућности да детектују биљни водни стрес који је одговоран за пад приноса. До нешто слабијих резултата дошли су и (Spitkó et al., 2016; da Silva et al., 2020). Raňjan et al. (2019) такође предлажу примену *NDVI* добивши вредност $r=0,62$ а за *GNDVI* $r=0,54$ за процену приноса пасуља. Zhou et al. (2018) предлажу коришћење *GNDVI* за индикацију у праћење стреса суше и предвиђање приноса пасуља, добивши високе корелације овог индекса са приносом (0,7 за рану фазу пораста и 0,87 током средине вегетационог периода). Значајно ниже вредности коефицијента корелације за процењене приносе у III року сетве, остварене су због неочекиваног пада приноса услед штете настале због интензивне појаве смрдибубе (*Pentatoma rufipes*) у току фазе плодношења, што је условило успорено образовање махуна и продужавање фенофазе плодношења. С обзиром да се утицај инсеката није огледао на оштећење лисне масе, већ само на махуне, изостала је реакција вегетационих индекса. Иако су резултати указали да спектрална рефлекција биљног покривача може бити у сагласности са ИЛП и ПК, индекси могу да имају висок потенцијал за предвиђање приноса у различитим роковима сетви и различитим режимима наводњавања. Појава штеточина на усеву се у неким случајевима не може јасно уочити на основу ВИ, што указује на неминовност теренских осматрања усева.

Просторна варијација *NDVI* индекса (слика 13) као резултат различитих рокова сетви и режима заливања уочава се у приказаним мапама. Варијација стања усева на пољу одликује се различитом скалом боја. На пример, биљке које нису биле у водном стресу, резултовале су високом вредношћу *NDVI* и визуелно јарко зеленом бојом. Приликом мапирања дефицита воде у наводњаваним усевима Veysi et al. (2017) и Stone et al. (2016) дошли су до закључка да се *NDVI* индексом може добро пратити просторна разлика водног стреса током читаве сезоне. Вредност индекса зависила је и од фенофазе, тако да се на основу односа између зелене боје која представља биомасу и црвене боје која представља голо земљиште, јасно може сагледати корелација са покривношћу усева и индексом лисне површине, уз потенцијално праћење фенофаза по роковима сетви што су утврдили и Tenreiro et al. (2021) и

Trout (2008).

7.5.2 Температура лишћа и биљни водни стрес индекс (*CWSI*)

Као што је већ речено, температура биљног покривача један је од најважнијих показатеља водног стреса. Температура биљног покривача се користи за детектовање водног стреса на принципу да вода изгубљена на транспирацију снижава температуру лишћа испод температуре ваздуха амбијента када је примењена адекватна норма заливања. Како садржај влаге у земљишту опада, смањује се транспирација, а температура листа ће бити већа од температуре ваздуха због сунчеве радијације коју лист апсорбује. Ручна термална камера је уређај даљинске детекције за брза и прецизна просторна мерења температуре биљног покривача (Jackson, 1982), чија је примена постала све више популарна (Hatfield, 1990). Измерена температура биљног покривача важан је параметар за израчунавање индекса биљног водног стреса (*CWSI*), на који такође утиче и дефицит напона водене паре који пуно зависи од релативне влажности ваздуха. Са растом дефицита напона водене паре, повећава се и вредност индекса биљног водног стреса, те се може десити да је биљка изложена благом водном стресу иако њена температура није већа од амбијенталне температуре.

Сезонска температура лишћа пасуља (график 16) показује да режим наводњавања значајно утиче на температуру биљног покривача пасуља, односно да биљке боље снабдевене водом имају ниже температуре лишћа, што указује да се процес транспирације врши неометано. На биљкама гајеним у касним роковима сетве (II и III) остварене су знатно веће температуре лишћа у поређењу са првим роком, што говори да се сетвом у касним роковима биљке излажу већим температурама. Такође, са графика се уочава да су биљке првог рока највише температуре биљног покривача достигале након 50 ДПС, биљке другог углавном током читавог периода вегетације, док биљке трећег рока највише температуре остварују од почетка сетве до 60. ДПС, када улазе у нешто хладнији период. Генерално, најниже температуре биљног покривача остварене су на третманима првог рока сетве, а са одлагањем сетве просечна вредност температуре биљног покривача се повећава за 3,96% и 4,66%. Највише температуре листа остварене су 2018. године на II-Д₂ третману (31,98 °C), а најниже 2019. године на II-Ф третману (14,41 °C). Можемо закључити, да биљке боље снабдевене водом, имају ниже температуре листа у поређењу са биљкама на третманима редукованог заливања, а да се са одлагањем сетве биљке излажу већим температурама ваздуха што условљава повећане температуре листа.

До сличних резултата дошао је Zhou et al. (2018) испитујући примену даљинске детекције уз помоћ беспилотних летелица да би се оценио утицај режима наводњавања и начина предсетвене обраде земљишта на усеву пасуља. Примењена су два режима наводњавања (100% и 52% од ЕТс). Аутори закључују да су температуре биљног покривача на третманима редукованог заливања биле значајно веће у поређењу са третманима пуног наводњавања. Cosić et al. (2018) су испитивали утицај режима наводњавања (100%, 50% од ЕТс за парадајз и 100%, 80% и 70% од ЕТс за паприку) и примене каолина на температуре лишћа парадајза и паприке на подручју Србије. Закључили су да што је биљка боље снабдевена водом, температура лишћа је нижа. На простору Србије, вршена су истраживања на сирку, где је установљено да недостатак воде утиче на повећање температуре лишћа у односу на температуру околног ваздуха (T_a), тако што се разлике повећавају с повећањем недостатка воде (Stričević и Šaki, 1997), што се потврђује и овим истраживањима.

Анализа *CWSI* индекса указује да режим наводњавања знатно утиче на водни стрес. Слично као и код температуре биљног покривача, што су биљке боље снабдевене водом, процес транспирације је на адекватном нивоу, а лишће пасуља се хлади и постиже ниже температуре што се показује преко вредности *CWSI*. Просечне вредности *CWSI* током периода истраживања на Ф третманима износиле су 0,06 што указује да биљке Ф третмана нису биле у водном стресу. Биљке Д₁ и Д₂ третмана оствариле су вредности од 0,1 и 0,15 што

указује да су биљке на третманима редукованог заливања биле изложене благом стресу, а у појединим тренуцима вредност *CWSI* на третманима редукованог заливања достигале су и вредности од око 0,6. Најниже просечне вредности *CWSI* индекса остварене су на првом року сетве (0,06), затим на другом року сетве (0,01), а највеће вредности запажене су на трећем року сетве (0,12). Из наведеног се може закључити да су биљке Ф третмана нису биле у водном стресу, док се са одлагањем рока сетве, вредност и *CWSI* индекса благо повећавају.

До сличног тренда дошли су и Erdem et al. (2006) проучавајући утицај 5 режима наводњавања (100%, 75%, 50%, 25% и 0% примене наводњавања када се земљиште исуши на 50% од пољског водног капацитета) пасуља на температуру биљног покривача и индекса биљног водног стреса. Аутори наводе да је *CWSI* на третманима пуног наводњавања максимално износио 0,2, а на третманима са 75% и 50% индекс је достигао вредности до 0,5 и 0,7, редом. Asemanrafat и Honar (2017) износе закључке да је вредност *CWSI* пасуља у условима пуног наводњавања просечно износила 0,07, што је у сагласности са нашим истраживањима, док је на третманима редукованог заливања (80% и 60% од ЕТс) *CWSI* индекс варирао од 0,1 до 1. Quiloango-Chimarro et al. (2021) су испитивали утицај три режима наводњавања (100%, 75% и 50% од ЕТс) на биљни водни стрес индекс и његов потенцијал за предвиђање приноса пасуља на подручју Бразила. Они наводе да су вредности *CWSI* индекса на пуним третманима оствариле наниже вредност *CWSI* (0,2), и да се *CWSI* може користити за предвиђање приноса пасуља ($R^2=0,76$).

Велики број истраживања потврђује могућности примене *CWSI* индекса за одређивање времена заливања (плави патлиџан, паприка и парадајз, бундева, винова лоза, кукуруз, соја) (Bellvert., 2014; Dejonge et al., 2015; Ћосић et al., 2018; Matese et al., 2018; Kirnak et al., 2019; Mwinuka et al., 2021).

На основу графика (17, 18 и 19) јасно се може уочити да је биљни водни стрес индекс био у сагласностима са влажношћу земљишта мереној на дубини од 30 cm *TDR* сондама, односно, што је већа влажност земљишта, *CWSI* индекс је имао ниже вредности. Када је садржај воде пао испод 25 %_{зап.} вредности индекса износиле су око 0,2 што указује на појаву стреса. До сличних вредности на пуном наводњавању дошли су и Erdem et al. (2006) при испитивању утицаја режима наводњавања на биљни водни стрес индекс пасуља и процену приноса. Вредности индекса на пуном наводњавању имале су вредности блиске 0, а садржај воде кретао се у границама биљкама лако приступачне воде.

7.6. Приноси и параметри приноса пасуља

Као што је већ објашњено, током целокупног истраживања проучавани су принос и параметри приноса пасуља гајеног у три рока сетве и три режима наводњавања.

Спроведена су мерења приноса зрна пасуља (сува маса зрна $t \cdot ha^{-2}$), укупна сува биомаса ($t \cdot ha^{-2}$), број махуна по биљци, маса 1000 семена (g), жетвени индекс (%), биохемијски квалитет зрна (садржај протеина и уља).

7.6.1. Просечан принос зрна пасуља, број махуна по биљци, сува биомаса, маса 1000 семена и жетвени индекс

У табели 28 представљене су просечне вредности броја махуна по биљци, масе 1000 семена, приноса зрна, суве биомасе и жетвеног индекса у свим роковима сетве и третманима наводњавања и годинама истраживања са извршеном статистичком анализом. Резултати Тукијевог теста потврђују резултате анализе варијансе утицаја рока сетве и режима наводњавања по испитиваним параметрима (табела 29).

Рок сетве и режим наводњавања је статистички значајно утицао на принос зрна пасуља. Резултати трогодишњег истраживања показују да је први рок сетве (I) најподеснији за остваривање високих приноса пасуља. У I року сетве остварују се статистички веома

значајно већи ($p < 0,01$) приноси зрна пасуља у поређењу са друга два каснија рока сетве (II и III). Уочава се правилност да са одлагањем сетве долази до опадања приноса пасуља. Просечни принос зрна у првом року сетве ($4,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) је за 12,07% већи него у другом року и 41,3% већи него у трећем року сетве. Показује се да разлике између група имају практични значај на величину промене зависне појаве. Закључује се да је трећи рок сетве најмање погодан за остваривање високих приноса зрна пасуља. У овом року, остварује се статистички веома значајно ($p < 0,01$) мањи принос зрна пасуља у односу на први и други рок сетве. Међутим, важно је напоменути да је током 2019. године, принос на трећем року сетве био за око 5% виши у односу на други рок сетве, док је принос трећег рока 2020. године драстично смањен услед напада штеточине, што указује на увећан ризик производње у овом року сетве.

Резултати трогодишњег истраживања показују да су Ф и Д₁ третман најпогоднији за остваривање високих приноса пасуља. На Ф и Д₁ третману добијене су статистички значајно већи ($p < 0,05$) приноси у поређењу са Д₂ третманом. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је просечно највише приносе ($4,24 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), што је за само 5,74% више него на Д₁ третману, односно статистички значајно више (18,11%) у поређењу са Д₂ третманом. Закључује се да је Д₂ третман најмање погодан за постизање високих приноса зрна пасуља. Овакав тренд остварен је у свим роковима сетве, са изузетком првог рока 2019. године, када услед погодног распореда падавина није уочена разлика између третмана наводњавања.

На основу приказаних резултата може се закључити да се одлагањем сетве значајно смањује принос зрна пасуља док се редукованим наводњавањем Д₁ могу остварити незнатно мањи приноси у поређењу са Ф третманом. Ипак се може истаћи, да су приноси пасуља у сва три рока сетве били много виши у поређењу са просечним приносима пасуља на подручју Србије који износи око $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Васић и сар. (2007), су током 2006. године испитивали могућност пострне сетве три сорте пасуља. Аутори наводе да се накнадном сетвом пасуља на подручју Војводине (Србија) остварују високи приноси ($2301 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) који се значајно не разликују од приноса из редовне сетве. Ипак, сорта *сремац* која је испитивана у овој докторској дисертацији остварила је за 10,77% ниже приносе у поређењу са редовном сетвом. Аутори закључују да се сетва пасуља мора извршити најкасније почетком јула уз добар избор сортимената и примену наводњавања, што се потврђује и овим истраживањима. Поред тога, пасуљ има велике захтеве према влажности земљишта, али и влажности ваздуха у периоду цветања и наливања зрна (Тодоровић и сар., 2008), када су најчешће били примењени третмани наводњавања, али и ниска релативна влажност ваздуха (допунски материјал 2), што је вероватно утицало на смањење приноса у касним роковима сетве. Према наводима Дозет и сар. (2017) на простору Србије, сорта патуљастог раста *златко*, уз примену гуанито ђубрива и наводњавање по потреби, достиже приносе од око 4 тоне по хектару, што је у сагласности са нашим истраживањима.

Слична запажања добијена су у разним истраживањима на пасуљу, бобу и соји (Васић и сар., 2007; Babaeian et al., 2012; Zeleke и Nendel, 2019; Bateman et al., 2020; Arredondo et al., 2020; Tunc et al., 2020; Dewedar et al., 2020; Campos et al., 2021).

Tunc et al. (2020) су испитивали утицај пострне сетве на компоненте приноса десет сорти пасуља. Закључују да се високе температуре ваздуха које се јављају у касној сетви негативно утичу на принос и број зрна по биљци.

Campos et al. (2021) су испитивали ефекат три третмана наводњавања (100% од ЕТс, 50% од ЕТс и 30% од ЕТс) пасуља гајеног у саксијама и два третмана наводњавања (100% и 40% од ЕТс) на отвореном пољу. Аутори наводе да се третман са 50% од ЕТс показао као добар у смислу уштеде воде на уштрб приноса. Dewedar et al. (2020) закључују да пасуљ гајен у условима редукованог заливања (80% од ЕТс) неће значајно смањити принос, уз постизање уштеде воде од око 20%, што је у сагласности са нашим резултатима. На високе разлике у приносима на Д₂ третманима, нарочито у касним роковима сетве (II и III) поред смањења садржаја воде у земљишту (графици 7,8 и 9) утичу и високе вредности евапотранспирације

(графици 13, 14 и 15), нарочито на II третману, што потврђују резултати Konsens et al. (1991) и Herrera et al. (2021).

Bateman et al. (2020) су истраживали ефекат рока сетве на пораст, развој и принос соје на подручју југа САД-а. Главни фактор био је рок сетве. Сетва је извршена у седам рокова почевши од краја марта, на сваке две недеље, до половине јула. Принос се кретао од $6321 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ до $1372 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Закључили су да је најбољи период сетве од 25. марта до 20. априла, а да се са каснијом сетвом очекује опадање приноса од $26,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dan}^{-1}$. Zelele и Nendel (2019) испитивали су утицај два рока сетве и четири режима наводњавања на пораст и принос боба (*Vicia Faba* L.) гајене у субхумидним условима. Закључили су одлагање сетве доводи до опадања приноса, масе 1000 семена, покривности, док се број махуна по биљци није значајно разликовао. Третман наводњавања у репродуктивној фази, остварио је еквивалентне приносе као режим пуног наводњавања уз уштеду воде од 28%, те се може закључити да на принос зрна пасуља највише утиче стрес који се јавља у репродуктивној фази.

Рок сетве и режим наводњавања пасуља је статистички значајно утицао на број махуна по биљци. Резултати трогодишњег истраживања показују да је први рок сетве (I) најпогоднији за формирање великог броја махуна. У I року сетве остварује се статистички веома значајно већи ($p<0,01$) број махуна по биљци пасуља у поређењу са друга два рока сетве (II и III). Просечни број махуна по биљци у првом року сетве (7,4) је за 5,87% више него у другом и 32,62% више него у трећем року сетве. Закључује се да трећи рок сетве формира најмањи број махуна по биљци. У овом року, остварује се статистички веома значајно мањи ($p<0,01$) број махуна по биљци пасуља у односу на први и други рок сетве. Међутим, важно је напоменути да је током 2019. године, број махуна у трећем и другом року био једнак, док је број махуна у оквиру трећег рока 2020. године драстично смањен услед напада штеточине, што указује на увећан ризик производње у овом року сетве. Резултати трогодишњег истраживања показују да је на Φ и D_1 третманима остварен највећи број махуна по биљци. На Φ и D_1 третману остварен је статистички значајно већи ($p<0,05$) број махуна по биљци у поређењу са D_2 третманом. У режиму пуног наводњавања (Φ) остварен је највећи број махуна по биљци (6,92), што је за само 2,82% више него на D_1 третману, односно статистички значајно више (9,67%) у поређењу са D_2 третманом. Закључује се да је D_2 третман најмање погодовао образовању махуна. Овакав тренд остварен је у свим роковима сетве, са изузетком трећег рока 2018. године и првог рока 2019. године, када услед погодног распореда падавина није уочена разлика између третмана наводњавања.

Тренд смањења броја махуна по биљци запажен је и код Babaeian et al. (2012), док Tunc et al. (2020) истиче да је смањење броја махуна по биљци у касном року сетве израженије код сорти пасуља детерминатног пораста. Zeleke и Nendel (2019) нису запазили значајне разлике у броју махуна по биљци у редовним и касним роковима сетве боба, међутим истичу да се на пуном наводњавању и наводњавању током репродуктивне фазе остварује највећи број махуна по биљци (8) у поређењу са редукованим наводњавањем. Васић и сар. (2007) истичу да је сорта *сремац* остварила незнатно већи број махуна (7) у касном року сетве током 2005. године. Да је број махуна пасуља смањен у условима редукованог наводњавања закључили су и Dewedar et al. (2020), Rai et al. (2020), Campos et al. (2021).

Тестирање разлика између третмана закључује се да се током трогодишњег истраживања у првом (I) и другом (II) року сетве остварују статистички веома значајно већи ($p<0,01$) приноси суве биомасе у поређењу са трећим роком сетве (III). Просечни принос биомасе пасуља у првом року ($9,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) је за 10,71% више него у другом и 17,29% више него у трећем року сетве. У трећем року остварује се статистички веома значајно ($p<0,01$) мањи принос суве биомасе пасуља у односу на први и други рок сетве. На Φ и D_1 третману остварен је статистички веома значајно већи ($p<0,01$) принос биомасе у поређењу са D_2 третманом. Режим пуног наводњавања (Φ) остварио је највећи принос биомасе ($8,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), што је за само 4,29% више него на D_1 третману, односно статистички значајно више (11,03%)

у поређењу са Д₂ третманом.

Због скраћења периода вегетације (високих температура током интензивног пораста) најмањи развој биомасе добијен је у другом року сетве, на шта указују Manning et al. (2020). Овакви резултати су у сагласности са резултатима многих истраживања. Одлагањем сетве и применом редукованог наводњавања смањује се принос суве биомасе гајених култура (Babaeian et al., 2012; Zeleke и Nendel, 2019; Arredondo et al., 2020; Tunc et al., 2020; Dewedar et al., 2020; Rai et al., 2020; Campos et al., 2021).

На основу резултата Тукијевог теста јасно се види да су први и други рок сетве остварили статистички веома значајно већу ($p < 0,01$) масу 1000 семена у односу на трећи рок сетве (III). Маса 1000 семена пасуља у првом року (410,06 g) је за само 1,46% већа него у другом и 4,09% већа него у трећем року сетве. На Ф и Д₁ третману остварена је статистички веома значајно већа ($p < 0,01$) маса 1000 семена у поређењу са Д₂ третманом. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је највише вредности масе 1000 семена (407,61 g). Закључује се да се трећи рок сетве и Д₂ третман показују као најмање погодни за масу 1000 семена пасуља.

Овакви резултати су у сагласности са резултатима многих истраживања. Одлагањем сетве и применом редукованог наводњавања смањује се маса 1000 семена пасуља. (Lipinski et al., 1988; Babaeian et al., 2012; Zeleke и Nendel, 2019; Tunc et al., 2020; Dewedar et al., 2020; Rai et al., 2020; Campos et al., 2021). Међутим када говоримо о року сетве, остварени су и другачији резултати (Васић и сар., 2007), те се може рећи да маса 1000 семена не зависи само од еколошких услова већ је и сортна одлика.

Слично као и код претходно испитиваних параметара први и други рок сетве су остварили статистички веома значајно веће вредности жетвеног индекса ($p < 0,01$) у односу на трећи рок сетве (III). Вредности овог параметра достизале су максималне вредности у другом року сетве (59,47%). На Ф третману остварена је статистички значајно већа ($p < 0,05$) вредност жетвеног индекса у поређењу са Д₁ и Д₂ третманом. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио највеће вредности жетвеног индекса (56,19%). У погледу жетвеног индекса први и други рок сетве и третман пуног наводњавања показали су се као најадекватнији. Међутим, може се истаћи да су на ниске вредности жетвеног индекса у трећем року утицале штеточине које су се јавиле током 2020. године. Espadafor et al. (2017) наводи да се на огледима на пасуљу у Калифорнији, остварују вредности жетвеног индекса од 40%, што је нешто ниже у поређењу са нашим истраживањем. Испитујући различите рокове сетве и режиме наводњавања Zeleke и Nendel (2019) су установили да су се вредности жетвеног индекса кретале од 50% до 0,32% што је у сагласности са нашим истраживањима. Када је повољан садржај влаге у земљишту током читаве године маса зрна пасуља може бити већа него принос биомасе, стога вредности жетвеног индекса могу бити веће од 50% као што је остварено на првим роковима сетве.

Овакви резултати су у сагласности са резултатима многих истраживања (Babaeian et al., 2012; Arredondo et al., 2020; Tunc et al., 2020; Dewedar et al., 2020; Rai et al., 2020; Campos et al., 2021). Одлагањем сетве и применом редукованог наводњавања смањује се вредност жетвеног индекса. Међутим нема значајне разлике када се сетва врши до краја маја/почетка јуна на шта указују Zeleke и Nendel (2019).

Статистички значајне разлике између година истраживања остварене су на свим испитиваним параметрима приноса пасуља. Јасно се уочава да се 2018. година значајно разликује у односу на две наредне у свим испитиваним параметрима, где се може истаћи да је остварен највећи принос зрна, акумулација биомасе, број махуна по биљци. Сматра се да је овакав резултат последица повољних климатских услова који су окарактерисали 2018. годину, која је умерено топла (допунски материјал 1), уз остварене највеће температурне суме у поређењу са остале две године истраживања (табела 3). Оно што је важно истаћи јесте, да је уз постизање оптималног садржаја влаге у земљишту током цветања и

плодоношења била повољна и температура ваздуха, која није прелазила 25 °C, и висока влажност ваздуха (допунски материјал 2) која у периоду цветања и наливања зрна махуне знатно погодује пасуљу (Тодоровић и сар., 2008). Arredondo et al. (2020) закључили су да би се повећањем температуре за 2 °C постигли значајно већи приноси пасуља у односу на тренутну температуру ваздуха на подручју Бразила.

7.7. Продуктивност воде (ПВ) и ефикасност коришћења воде (ЕКВ)

У табели 30 приказана је ефикасност коришћења воде (ЕКВ) и продуктивност воде (ПВ) у свим роковима сетве и третманима наводњавања. Резултати Тукијевог теста потврђују резултате анализе варијансе утицаја рока сетве и режима наводњавања по испитиваним параметрима (табела 31).

7.7.1. Продуктивност воде

Статистичка анализа утицаја рока сетве и режима наводњавања на продуктивност воде (ПВ) током трогодишњег истраживања показује да је рок сетве испољио статистички веома значајан утицај ($p < 0,01$) на ПВ, док режим наводњавања није показао статистички значајне разлике. ПВ се значајно разликовала између сва три рока сетве, а максимална вредност остварена је на третманима првог рока сетве ($12,32 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), што је за 4,23% више у односу на II рок сетве, односно 16,60% у односу на III рок. Може се закључити да је продуктивност воде највећа у првом року и опада са одлагањем сетве. Овакав тренд уочен је током све три године истраживања, а најниже вредности остварене су у трећем року сетве 2020. године на шта је утицао напад штеточине. Нешто ниже вредности укупне надземне биомасе уз веће захтеве усева за водом у касним роковима сетве (II и III), због смањене количине падавина и високих температура условиле су веће потребе за водом да би се достигао жељени принос, самим тим и ниже вредности ПВ. Није добијена статистички значајна разлика утицаја режима наводњавања на ПВ, али се примећује да су D_1 и D_2 третмани најпродуктивније користили воду током периода истраживања остваривши вредности од $11,79 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ и $11,78 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, што је за 4,15% и 4,06% више у односу на Φ третман. На основу изнетих резултата можемо закључити да су сви третмани остварили приближно једнаке вредности ПВ, али да се примећује да је третман D_1 најбоље користио воду. Espadafor et al. (2017) у огледима обављеним у Калифорнији (Сједињене Америчке Државе) су остварили вредности продуктивности воде од $15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ што се може повезати са сортом одликом, а сличне вредности за пасуљ ($14,9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) добијају и Yuan et al. (2013).

Праћење утицаја рока сетве и режима наводњавања на ЕКВ пасуља и других махунарки вршено је неколико истраживања (Nouralinehzad et al., 2018; Karimzadeh-Soureshjani et al., 2019; Ghodsi et al., 2022)

Hosseini и Shahrokina (2020) испитивајући утицај три интервала наводњавања (4, 8, и 12 дана) на две сорте пасуља, закључују да примећени режими наводњавања нису утицали на продуктивност воде, те препоручују да је за постизање високих приноса потребно применити заливање у интервалу од 4 и 8 дана. Ghodsi et al. (2022) су истраживали утицај рокова сетве, режима наводњавања и третмана ђубрења азотом на водни режим и компоненте приноса грашка. Аутори закључују да је највећа ефикасност воде на третманима пуног наводњавања, док се сетвом у марту остварује највећа продуктивност воде ($2,02 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Nouralinehzad et al. (2018) испитали су утицај режима наводњавања (40%, 60%, 80% и 100% од ЕТс) и три третмана примене азота ($0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ и $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) на принос и продуктивност воде две махунарке (пасуљ и вигна (*Vigna unguiculata* L.)) на подручју Ирана. Највеће вредности продуктивности воде добијене су на третманима редукованог наводњавања (60% и 40% од ЕТс) вигне, док је пасуљ највеће вредности остварио на третманима пуног наводњавања (100% од ЕТс), а највећи приноси за обе културе остварени су на третманима пуног наводњавања.

7.7.2. Ефикасност коришћења воде

Статистичка анализа утицаја рока сетве и режима наводњавања на ефикасност коришћења воде током трогодишњег истраживања показује да је рок сетве испољио статистички веома значајан утицај ($p < 0,01$) на ЕКВ, док је режим наводњавања испољио статистички значајне разлике ($p < 0,05$). Као и ПВ, ЕКВ значајно се разликовала између сва три рока сетве, а највећа вредност запажена је у првом року сетве ($1,19 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), што је за 12,96% више у односу на II рок сетве и 26,60% у односу на III рок. Овакав тренд запажен је и код вредности ПВ, али је на резултате утицао значајно смањен принос у трећем року 2020. године, који се догодио, као што је већ више пута наведено услед напада штеточине. Пасуљ гајен у оквиру трећег рока сетве је током 2018. и 2019. године ефикасније користио воду у поређењу са третманима у другом року сетве, те се може претпоставити да је када нема ризика од напада штеточине други рок сетве најмање ефикасно користио воду. Резултати истраживања показују да су Ф и Д₁ третмани значајно ефикасније ($p < 0,05$) користили воду у односу на Д₂ третман. Може се истаћи да је 2018. године најефикасније воду користио Ф третман, док је у наредне две године највећа ЕКВ остварена на Д₂ третману. На основу наведеног може се извести закључак да је други рок сетве најмање адекватан са становништва ЕКВ.

Сличне резултате утицаја рока сетве и режима наводњавања на ЕКВ приказала су бројна истраживања на пасуљу, бобу, леблебији и грашку (Simsek et al., 2011; Abd el Wahed et al., 2017; Nouralinehzad et al., 2018; Zeleke и Nendel, 2019; Dewedar et al., 2020; Maphosa et al., 2022), па се може закључити да је то одлика махунарки тј. СЗ култура.

Abd el Wahed et al. (2017) истраживали су на усеву пасуља ефекат два начина малчирања (слама пиринча и примена стајњака), три режима наводњавања методом кап по кап (100%, 85% и 70% од ЕТс) и четири дебљине слоја малча (0 cm, 3 cm, 6 cm и 9 cm) на ефикасност коришћења воде и салинитет земљишта. Највећа ефикасност ($0,94 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) остварена је на третману 85% уз остварену уштеду воде до 15%. Нешто веће вредности остварили су Karimzadeh-Soureshjani et al. (2019) код којих је ЕКВ на третманима пуног наводњавања варијала од $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ до $0,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, а на третманима редукованог наводњавања (80% од ЕТс) од $1,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ до $1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Током трогодишњег истраживања, рок сетве и режим наводњавања испољили су статистички веома значајан утицај на Т/Е однос ($p < 0,01$). Вредности Т/Е значајно су се разликовала између сва три рока сетве, а вредности за I, II и III рок сетве износиле су 73,89%, 69,84% и 71,68%, редом. Најниже вредности Т/Е остварене су на третманима другог рока сетве, што је последица високе евапорације након сетве пасуља, те се може закључити да сетвом пасуља у другом року сетве можемо очекивати највеће губитке воде на евапорацију.

Такође, вредности Т/Е значајно су се разликовале између режима наводњавања и за Ф, Д₁ и Д₂ третман сетве износиле су 77,53%, 71,20% и 66,68%, редом. Може се закључити да са применом пуног наводњавања (Ф), добијамо највише вредности Т/Е.

Година истраживања је значајно утицала на ПВ, ЕКВ и Т/Е. Примећује се да су веома значајно више вредности ПВ ($14,31 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) и ЕКВ ($1,46 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) остварене у 2018. години у поређењу са две наредне године истраживања. Сматра се да је овакав резултат, као што је већ поменуто последица повољних климатских услова који су окарактерисали 2018. годину.

7.8. Хемијске особине зрна пасуља

У табели 33 приказан је просечни садржај уља (%) и протеина (%) у свим роковима сетве и третманима наводњавања током трогодишњег периода истраживања. Резултати Тукеу теста потврђују резултате анализе варијансе утицаја рока сетве и режима наводњавања по испитиваним параметрима (табела 33).

Статистичка анализа ефекта рока сетве и режима наводњавања трогодишњег истраживања показује да је рок сетве испољио статистички веома значајан утицај сва три третмана ($p < 0,01$) на садржај уља, док режим наводњавања није показао статистички значајне разлике. Највећи удео уља забележен је на третманима пасуља у I року сетве (8,83%), што је за 11,77% више него у II року сетве и 53,03% више него у III року сетве. Овакав тренд уочен је током све три године истраживања. На основу остварених резултата може се закључити да се најповољнији садржаји уља добијају у првом року сетве, док трећи рок сетве се показао као најнеповољнији са аспекта садржаја уља. Није остварена статистички значајна разлика утицаја режима наводњавања на садржај уља, али се примећује да су на Ф третману остварене највеће вредности овог параметра (7,53%).

Статистичка анализа утицаја рока сетве и режима наводњавања на садржај протеина, приказује да је рок сетве испољио статистички веома значајан утицај третмана ($p < 0,01$) на садржај протеина, а режим наводњавања показао је статистички значајне разлике ($p < 0,01$). Пасуљ на третманима првог и другог рока сетве остварио је значајно већи садржај протеина (26,74% и 26,05%, редом) у поређењу са третманима треће рока сетве. Резултати јасно указују да сетва у трећем року негативно утиче на удео протеина и квалитет пасуља. Овакав тренд запажен је током све три године истраживања. Третман наводњавања D_2 најпогодније је утицао на садржај протеина остваривши значајно више вредности ($p < 0,05$) у поређењу са Ф и D_1 третманом. Садржај протеина на Ф, D_1 и D_2 третманима износио је 23,94%, 24,02% и 24,28%, редом. Редукованим наводњавањем постиже се бољи садржај протеина, а D_2 третман показао се најбољи у том погледу.

Herrera et al. (2021) су испитивали утицај редукованог наводњавања на принос, фитохемију и функционална својства две сорте пасуља (*Raramuri* и *Pinto Saltillo*) у семиаридним висоравнима Мексика. Остварили су сличан тренд повећања садржаја протеина у редукованим третманима заливања где се садржај протеина кретао од 18,6% на третманима пуног наводњавања до 20,2% на третманима редукованог наводњавања. Пасуљ гајен у II и III року сетве је имао нешто ниже нутритивне вредности (уља и протеина) у односу на пасуљ из редовног рока сетва (I). Може се претпоставити да су овакви резултати остварени услед продуженог вегетативног периода и фотосинтетских процеса код раније сетве или код каснијих рокова сетве услед неповољних временских услова, као што су високе температуре и распоред падавина (Singh et al., 1997). Такође, Neugschwandtner et al. (2015), истичу да се ранијом сетвом продужава трајање феонфаза у односу на касну сетву, те се стварају бољи услови за синтезу протеина и масти. Истраживања у свету показују да се редукованим наводњавањем садржај протеина и масти повећава (Asemanrafat et al., 2017; Silva et al., 2020; Herrera et al., 2021).

ЗАКЉУЧАК

У овој докторској дисертацији је извршено комплексно истраживање утицаја режима наводњавања и рокова сетве на ефикасност коришћења воде, принос и квалитет зрна пасуља (*Phaseolus vulgaris*, L). За истраживање је изабран пасуљ због великог значаја који ова биљка има, а који се огледа у томе што она представља основно вариво у исхрани светског становништва и један је од најбогатијих извора протеина, који су биолошки веома вредни у људској исхрани. С друге стране, производња пасуља у Србији не задовољава потребе становништва, због чега се констатно повећава увоз. Пасуљ се у нашим условима углавном гаји у условима природне снабдевености водом, а за добар раст и задовољавајући принос неопходно је обезбедити од 250 mm до 500 mm воде.

Основни циљ истраживања предвиђених овом докторском дисертацијом био је испитивање потенцијала гајења пасуља у редовним и касним роковима сетве (потенцијално гајен као накнадни усев) уз дефинисање потребе пасуља за водом, ради успостављања ефикасног и рационалног режима наводњавања, чији ће крајњи резултат бити висок принос и квалитет зрна. Током истраживања дефинисани су оптимални режими заливања и утврђен потенцијал гајења пасуља као пострног усева.

Додатни акценат стављен је на примену савремених метода даљинске детекције, односно тестирање могућности примене мултиспектралних снимака добијених са камера на беспилотним летелицама за оцену снабдевености биљке водом и процену приноса пасуља. Такође, истражена је примена термовизијских камера за процену водног стреса пасуља у циљу ефикаснијег и прецизнијег управљања системима наводњавања.

Истраживање је извршено на пасуљу сорте *сремац*. Постављен је двофакторијални оглед по *split plot* плану (плану подељених парцела) у три понављања. Први фактор (парцела) био је рок сетве: сетва у редовном року (половина априла) и две касне сетве (крај маја/почетак јуна и крај јуна/почетак јула). Други фактор (подпарцела) био је режим наводњавања (третман пуног наводњавања (Ф) и два третмана редукованог наводњавања). Третмани редукованог наводњавања су били: D_1 (80% од евапотранспирације културе (ЕТс)) и D_2 (60% од ЕТс). Трогодишње истраживање у периоду од половине априла до почетка октобра (2018, 2019. и 2020. године) извршено је на огледном пољу компаније „Напредак“ а. д. Стара Пазова.

Влажност земљишта је одређивана гравиметријском методом и методом временски дефинисане рефлектометрије (*TDR*). Највеће вредности садржаја воде у земљишту регистроване су у оквиру Ф третмана у свим испитиваним роковима сетве, и овај садржај воде није се спуштао испод границе лако приступачне воде биљкама, изузев током сазревања. У пролећним роковима сетве (I) влажност земљишта на D_1 третманима се није спуштала испод границе лако приступачне воде услед повољног распореда падавина и умереније потрошње воде пасуља у овом року, док је на D_2 третманима запажено да је биљка била у благом стресу суше. Тек у касним роковима сетве влажност земљишта се услед примене редукованог заливања на третманима D_1 и D_2 кретала између зоне лако и теже приступачне воде биљкама.

Трајање појединих фенофаза пасуља зависило је од рокова сетве. У првом року сетве биљке ничу за око 14 дана, док се са одлагањем сетве запажа брже ницање које у другом и трећем року износи 10 и 7 дана, редом. У условима повољног садржаја влаге, биљке у каснијим роковима сетве брже ничу услед повољнијих температурних услова. Трајање периода од ницања до цветања (интензивни пораст - развој лисне масе) није се статистички значајно разликовало између испитиваних рокова сетве. Развој лисне масе најкраће је трајао код биљака посејаних у другом року (24 дана) услед високих температура ваздуха. Рокови сетве показали су високу статистичку значајност код фаза цветања и сазревања (продужење

фазе сазревања са померањем рокова сетве) а статистички значајан утицај на дужину периода од сетве до жетве (најбрже је стигао на жетву у другом року сетве).

Како би се прецизно одредила потрошња воде и динамика раста пасуља, у току периода вегетације у оквиру свих третмана (рокова сетве и режима наводњавања), одређиван је проценат акумулација суве биомасе, проценат покривности земљишта лисном масом и индекса лисне површине.

Вредности акумулације суве масе на третманима огледа током истраживања варирају у опсегу $1244,21 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ - $522,35 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. У просеку у првом року сетве остварене су статистички значајно ($p<0,05$) више вредности суве биомасе ($909,43 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) у односу на трећи рок сетве, док се други рок сетве није статистички значајно разликовао, али се може уочити тренд смањења акумулације биомасе са одлагањем сетве. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је значајно већу ($p<0,05$) акумулацију биомасе у поређењу са D_2 третманом, док се третман D_1 није значајно разликовао.

Рок сетве није статистички значајно утицао на проценат покривности земљишта лисном масом, али се уочава да је највећа покривност запажена у првом року сетве (94,1%). Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је значајно већу ($p<0,05$) покривност у поређењу са D_2 третманом, док се третман D_1 није значајно разликовао. Највећа просечна покривност земљишта током трогодишњег периода запажена је на I-Ф третману (95,08%) а најнижа на III- D_2 третману (87,65%).

Величина и трајност индекса лисне површине (ИЛП) у великој мери утиче на висину приноса и тесно је повезан са снабдевношћу водом и температурним условима. Рок сетве није статистички значајно утицао на вредност индекса лисне површине, али се може уочити да је највећа вредност ИЛП током трогодишњег истраживања запажена у првом року сетве. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је значајно више ($p<0,05$) вредности индекса лисне површине у поређењу са D_2 третманом, док се третман D_1 није значајно разликовао. Највећи индекс лисне површине измерен је на Ф третманима ($5,50 \text{ m}\cdot\text{m}^{-2}$), а најмањи на D_2 третманима ($5,35 \text{ m}\cdot\text{m}^{-2}$).

На основу наведеног, може се закључити да се код сва три параметра пораста биљке (покривност, акумулација суве биомасе и индекс лисне површине), јасно уочава правилност да биљке боље снабдеване водом (Ф третман) остварују веће вредности ових показатеља, а са одлагањем сетве примећују се ниже вредности параметара пораста пасуља.

Режим наводњавања и рокови сетве испољили су статистичку значајност на промену вредности стварне евапотранспирације. Тестирање значајности разлике указало је да постоји статистички значајна разлика у просечним вредностима стварне евапотранспирације између третмана наводњавања и између појединих рокова сетви. У трогодишњем периоду у првом року сетве у просеку је трошено 383,4 mm, у другом 407,9 mm а у трећем 360,04 mm. На варијанти са пуним наводњавањем у просеку је потрошено 401,7 mm, док је пасуљ на третманима редукованог заливања нешто мање трошио воду у поређењу са Ф третманима (383,1 mm и 366,9 mm на третманима D_1 и D_2).

Може се закључити да је пасуљ највише воде трошио у другом року сетве, а најмање у трећем року сетве. Редукијом наводњавања смањује се вредност евапотранспирације пасуља, међутим, услед честих појава падавина током трогодишњег истраживања, нису остварене значајне разлике у потрошњи воде између сва три третмана наводњавања.

Методама даљинске детекције су генерисани вегетациони индекси. Они су се показали као поуздани индикатори водног режима биљке на основу којих би се могао успоставити режим заливања односно проценити утицај суше на принос. На снимцима направљеним мултиспектралном камером са дрона, извршена је анализа слика. Применом одговарајућих софтверских пакета извршено је генерисање вегетационих индекса за све испитиване

третмане и изведена дескриптивна статистичка анализа.

Веgetациони (ВИ) се примењују за просторну и временску процену стања усева, снабдевености водом, процену приноса и могу приказати право стање усева пре него што је оно видљиво голим оком. Анализирани су следећи вегетациони индекси: *NDVI индекс* (индекс нормализоване разлике вегетације), на основу кога је могуће проценити садржај хлорофила, биомасу, снабдевеност усева водом и уочити делове парцеле на којима биљке нису у доброј кондицији); *GNDVI индекс* (модификовани *NDVI* који има за циљ да утврди фотосинтетску активност биљке и користи се за процену садржаја азота у листу и усвајање воде од стране биљке); *OSAVI индекс* (оптимизовани индекс вегетације прилагођен земљишту, који је прилагођен за праћење стања усева у биљној производњи); *MCARII индекс* (модификовани индекс апсорпције хлорофила у рефлексији који прати разлике у индексу лисне површине и садржају хлорофила); *NDRE индекс* (индекс нормализоване разлике спектра црвеног руба који прати разлике у садржају хлорофила и фотосинтетској активности биљке, а ефикасан је за праћење усева у каснијим фазама пораста када се примењује наводњавање и фертигација).

Како су режими наводњавања у овим истраживањима утицали на покривност (ПК), индекс лисне површине пасуља (ИЛП), транспирацију (Т) и садржај воде у земљишту (Вз), извршена је корелациона анализа између ових параметара и пет вегетационих индекса при различитим режимима наводњавања са циљем да се утврди који индекс најбоље корелира са подацима мереним на терену. Вегетациони индекси *NDVI*, *MCARII*, и *GNDVI* били су у доброј до јакој корелацији са покривеношћу, индексом лисне површине и транспирацијом, али и у задовољавајућој корелацији са вредностима влажности земљишта.

Поред тога што је анализа показала високу корелацију између наведених величина и вредности вегетационих индекса *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI*, уочено је да су индекси *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* показали статистички значајне разлике између третмана наводњавања, што указује да могу детектовати разлике у снабдевености биљака водом. Вредности *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* највеће су у првом року сетве, а такође су статистички значајно виши у Ф третману него на третманима редукованог наводњавања. Највише просечне вредности вегетационих индекса остварене су на Ф третманима, 0,83, 0,72, 0,71, затим на Д₁ третманима 0,75, 0,65, 0,65 и Д₂ третманима 0,65, 0,51 и 0,55 за *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* индексе, редом.

Високе корелације индекса *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* уз детектовање разлика у режимима наводњавања квалификује их као поуздане алате за процену приноса пасуља. На основу добијених података, извршена је регресиона анализа и добијена једначина за процену приноса пасуља на основу *NDVI*, *MCARII* и *GNDVI* индекса. Процењени подаци о приносу на основу *NDVI* индекса су у доброј корелацији са измереним вредностима приноса, док су процењене вредности на основу *MCARII* и *GNDVI* индекс показале умерену корелацију са измереним вредностима.

Овакви подаци указују да се вегетациони индекси са успехом могу користити за процену приноса пасуља због своје могућности да детектују биљни водни стрес који је одговоран за пад приноса.

Температура лишћа један је од најважнијих показатеља водног стреса. Користи се као један од параметара у одређивању почетка заливања, па је методама даљинске детекције праћена и њена вредност. Сезонска температура лишћа пасуља показује да режим наводњавања значајно утиче на температуру биљног покривача пасуља, односно да биљке боље снабдеване водом имају ниже температуре лишћа, што указује да се процес транспирације врши неометано. На биљкама гајеним у каснијим роковима сетве (II и III) остварене су знатно веће температуре лишћа у поређењу са првим роком, што говори да се сетвом у касним роковима биљке излажу вишим температурама. Биљке првог рока највише температуре биљног покривача достизале су након 50 ДПС, биљке другог рока имале су

високу температуру листа током читавог периода вегетације, док биљке трећег рока највише температуре остварују од почетка сетве до 60. ДПС, када улазе у нешто хладнији период.

Анализа *CWSI* (биљни водни стрес индекс) указује да режим наводњавања знатно утиче на водни стрес. Што су биљке боље снабдевене водом, процес транспирације је на адекватном нивоу, лишће пасуља се хлади и постиже ниже температуре, што се показује преко вредности *CWSI*. Просечне вредности *CWSI* током периода истраживања на Ф третманима износиле су 0,06 што указује да биљке Ф третмана нису биле у водном стресу. Биљке Д₁ и Д₂ третмана оствариле су вредности од 0,1 и 0,15 што указује да су биљке на третманима редукованог заливања биле изложене благом стресу, а у појединим тренуцима вредност *CWSI* на третманима редукованог заливања достигале су и вредности од око 0,6. Просечне вредности *CWSI* индекса варирају од 0,06 у првом року сетве до 0,12 у трећем року сетве. Из наведеног се може закључити да су биљке Ф третмана нису биле у водном стресу, док се са одлагањем рока сетве, вредности *CWSI* индекса повећавају. Вредности *CWSI* индекса биле су у сагласности са тренутним садржајем влаге, што указује на висок потенцијал примене индекса биљног водног стреса у одређивању тренутка почетка заливања.

Рок сетве и режим наводњавања су статистички значајно утицали на принос зрна пасуља. Резултати истраживања показују да је први рок сетве (I) најподеснији за остваривање високих приноса пасуља. Чак и у условима пуне снабдевености водом померање рокова сетве утицало је на смањење приноса. Са одлагањем сетве долази до опадања приноса пасуља - просечни принос зрна у првом року сетве (4,55 t·ha⁻¹) је за 12,07% већи него у другом року и за 41,3% већи него у трећем року сетве. Међутим, накнадна сетва пасуља може бити препоручена у циљу проширења обима производње, али уз чињеницу да су потребе за наводњавањем у таквој производњи веће, али и ризици изазвани штеточинама. Трећи рок сетве најмање је погодан за остваривање високих приноса зрна пасуља.

У оквиру третмана наводњавања за остваривање високих приноса најпогодни су Ф и Д₁ третман. На Ф и Д₁ третману добијене су статистички значајно већи (p<0,05) приноси у поређењу са Д₂ третманом. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је просечно највиши принос (4,24 t·ha⁻¹), што је за само 5,74% више него на Д₁ третману, односно статистички значајно више (18,11%) у поређењу са Д₂ третманом. На основу наведеног може се закључити да је Д₂ третман најмање погодан за постизање високих приноса зрна пасуља, али и да Д₁ третман може бити препоручен као адекватан режим наводњавања у циљу уштеде воде и оптималних приноса.

Рок сетве и режим наводњавања пасуља су значајно утицали на број махуна по биљци. У I року сетве остварује се статистички веома значајно већи (p<0,01) број махуна по биљци пасуља у поређењу са друга два рока сетве (II и III). Просечни број махуна по биљци (7,40) је за 5,87% виши него у другом и 32,62% виши него у трећем року сетве. На Ф и Д₁ третману остварен је статистички значајно већи (p<0,05) број махуна по биљци у поређењу са Д₂ третманом. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је највећи број махуна по биљци (6,92), што је за само 2,82% више него на Д₁ третману, односно статистички значајно више (9,67%) у поређењу са Д₂ третманом. Трендови вредности броја махуна у оквиру рокова сетве и режима наводњавања су у сагласности са оствареним приносима. Са одлагањем сетве и применом редукованог наводњавања број махуна по биљци се смањује.

Током трогодишњег истраживања у првом (I) и другом (II) року сетве остварују се већи (статистички веома значајно, p < 0,01) приноси суве биомасе у поређењу са трећим роком сетве (III). Просечни принос биомасе пасуља у првом року (9,09 t·ha⁻¹) је за 10,72% виши него у другом и за 17,29% виши него у трећем року сетве. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио је највећи принос биомасе (8,76 t·ha⁻¹), што је за 4,29% више него на Д₁ третману, односно статистички значајно више (11,03%) у поређењу са Д₂ третманом. Због скраћења периода вегетације (високих температура током интензивног пораста) најмањи развој биомасе добијен је у трећем року сетве.

Први и други рок сетве су остварили већу (статистички веома значајно, $p < 0,01$) масу 1000 семена у односу на трећи рок сетве (III). Маса 1000 семена пасуља у првом року (410,06 g) је за само 1,46% већа него у другом и 4,09% већа него у трећем року сетве. На Ф и Д₁ третману (407,61 g и 404,04 g, редом), остварена је већа (статистички веома значајно, $p < 0,01$) маса 1000 семена у поређењу са Д₂ третманом (396,50 g). Може се закључити да се трећи рок сетве и Д₂ третман показују као најмање погодни са становишта параметра масе 1000 семена пасуља.

Слично као и код претходно испитиваних параметара први и други рок сетве су остварили веће (статистички веома значајно, $p < 0,01$) вредности жетвеног индекса у односу на трећи рок сетве (III) (50,72% и 50,03%, редом). На Ф третману остварена је статистички значајно већа ($p < 0,05$) вредност жетвеног индекса у поређењу са Д₁ и Д₂ третманом. Режим пуног наводњавања (Ф) остварио највеће вредности жетвеног индекса (48,28%). У погледу жетвеног индекса први и други рок сетве и третман пуног наводњавања показали су се као најадекватнији.

Највећа продуктивност воде (ПВ) остварена је у првом року сетве и снижава се са одлагањем сетве. ПВ се значајно разликовала између сва три рока сетве, а максимална је остварена на третманима првог рока сетве ($12,32 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), што је за 4,23% више у односу на II рок сетве, односно 14,60% у односу на III рок. Између третмана наводњавања није остварена статистички значајна разлика. Међутим, на Д₁ и Д₂ третманима су остварене највеће вредности продуктивности воде ($11,79 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ и $11,78 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$), више него на Ф третману ($11,32 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$).

Слично као и продуктивност воде, ефикасност коришћења воде је била највећа у првом року сетве и смањивала се са одлагањем рокова сетве. У првом року сетве износи $1,19 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, што је за 12,26% више у односу на II рок сетве и 26,60% у односу на III рок сетве. Ако се посматра режим наводњавања, најмања ефикасност коришћења воде уочена је код Д₂ третмана ($1,01 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), док је код режима пуног наводњавања и Д₁ третмана редукованог наводњавања ефикасност коришћења воде приближно иста ($1,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ и $1,09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Применом пуног наводњавања (Ф), добијају се највише вредности Т/Е. Вредности Т/Е значајно су се разликовале између режима наводњавања и за Ф, Д₁ и Д₂ третман износиле су 77,53%, 71,20% и 66,68%. Најниже вредности Т/Е остварене су на третманима другог рока сетве, што је последица високе евапорације након сетве пасуља, те се може закључити да сетвом пасуља у другом року сетве можемо очекивати највеће губитке воде на евапорацију.

Највећи садржај протеина и уља у зрну измерен је на третманима првог рока сетве, док са одлагањем сетве садржај испитиваних параметара опада (статистички веома значајан утицај). Пасуљ на третманима првог и другог рока сетве остварио је значајно већи садржај протеина (26,74% и 26,05%, редом) у поређењу са третманима трећег рока сетве (19,45%). Третмани редукованог наводњавања погодују повећаном садржају протеина (статистички значајан утицај).

У погледу садржаја уља није остварена статистички значајна разлика између режима наводњавања. Померање рока сетве значајно утиче на садржај уља (статистички веома значајна разлика између биљака различитих рокова сетве). Вредност просечног садржаја уља у оквиру првог рока сетве је 8,83%, што је за 11,77% више у односу на други рок сетве, односно 53,03% више у односу на трећи рок сетве. Резултати јасно указују да сетва у трећем року негативно утиче на удео протеина и квалитет пасуља.

Пажљивим вођењем експеримента три узастопне године и анализом добијених података успостављена је јасна корелација између проучаваних фактора и приноса и квалитета зрна, па се као значајан допринос ове дисертације могу извести јасне препоруке за произвођаче у циљу интензивнијег гајења пасуља и значајног унапређења и спровођење адекватног плодореда, уз очување природних ресурса земљишта и воде.

Редукованим наводњавањем (D_1) могу се остварити приноси блиски онима оствареним на третманима пуног наводњавања, уз значајну уштеду воде и повећање квалитета зрна пасуља. И поред тога што долази до опадања приноса зрна пасуља са одлагањем рока сетве, гајењем у каснијим роковима, уз адекватно наводњавање и добру негу усева, може се унапредити плодоредна шема овом врстом и остварити додатни приход са две жетве током године. При избору режима наводњавања и рокова сетве, треба тежити компромисним решењима која ће с једне стране задовољити потребу за што ефикаснијим коришћењем воде, а, с друге, омогућити задовољавајући принос и квалитет зрна. Свакако треба напоменути и чињеницу да су ова истраживања недвосмислено показала да интензивна производња пасуља у агроеколошким условима Србије има потенцијала. Даља истраживања могла би да се односе на огледе у вегетационим сезонама са различитим агрометеоролошким условима, нарочито у сушним годинама, као и на другим локалитетима и типовима земљишта.

Методe даљинске детекције се са успехом могу применити за просторну и временску процену стања усева, односно сагледавање правог стања усева пре него што је оно видљиво голим оком. Статистичком анализом снимака добијених мултиспектралном и термовизијском камером могу се генерисати вегетациони индекси као поуздани индикатори водног режима биљке на основу којих се може успоставити режим заливања. Због своје могућности да детектују биљни водни стрес који је одговоран за пад приноса, вегетациони индекси са успехом могу користити за процену приноса пасуља. Предложену методологију за сагледавање обезбеђености биљака водом и процену приноса усева требало би применити на више сорти пасуља, као и на другим биљним културама, чиме би се употпунила досадашња сазнања о могућности примене недеструктивних метода даљинске детекције у пољопривреди.

ЛИТЕРАТУРА

- Abd El-Wahed, M. H., Baker, G. A., Ali, M. M., Abd El-Fattah, F. A. (2017): Effect of drip deficit irrigation and soil mulching on growth of common bean plant, water use efficiency and soil salinity. *Scientia Horticulturae* 225:235-242. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.007>.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9):D05109.
- Allen, S.E., Grimshaw, H. M., Parkinson, J. A., Quarmby, C. (1974): Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Alvino, A., Marino, S. (2017): Remote sensing for irrigation of horticultural crops. *Horticulturae* 3(2):40. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020040>.
- Arredondo, T., Delgado-Balbuena, J., Kimball, B., Luna-Luna, M., Yopez-Gonzalez, E., Huber-Sannwald, E., García-Moya, E., Garatuzza-Payan, J. (2020): Late sowing date as an adaptive strategy for rainfed bean production under warming and reduced precipitation in the Mexican Altiplano? *Field Crops Research* 255:107903. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107903>.
- Asemanrafat, M., Honar, T. (2017): Effect of water stress and plant density on canopy temperature, yield components and protein concentration of red bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. *akhtar*). *International Journal of Plant Production* 11:241-258. Doi: [10.22069/IJPP.2017.3422](https://doi.org/10.22069/IJPP.2017.3422).
- Babaeian, M., Javaheri, M., Asgharzade, A. (2012): Effect of row spacing and sowing date on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Microbiology Research* 6(20):4340-4343. Doi: [10.5897/AJMR11.1311](https://doi.org/10.5897/AJMR11.1311).
- Ballester, C., Brinkhoff, J., Quayle, W. C., Hornbuckle, J. (2019): Monitoring the effects of water stress in cotton using the green red vegetation index and red edge ratio. *Remote Sensing* 11(7):873. <https://doi.org/10.3390/rs11070873>.
- Basso Los, F.G., Ferreira Zielinski, A.A., Wojeicchowski, J.P., Nogueira, A., Mottin Demiate, I. (2018): Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. *Current Opinion in Food Science* 19:63-71. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.010>.
- Bateman, N.R., Catchot, A.L., Gore, J., Cook, D.R., Musser, F.R. Irby, J.T. (2020): Effects of Planting Date for Soybean Growth, Development, and Yield in the Southern USA. *Agronomy* 10(4): 596. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040596>.
- Bell, J.M., Schwartz, R., McInnes, K.J., Howell, T., Morganc, L.S. (2018): Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. *Agricultural Water Management* 203(30):289-296. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.002>.
- Bellvert, J., Zarco-Tejada, P. J., Girona, J., Fereres, E. (2014): Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: Comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture* 15:361-376. <https://doi.org/10.3390/rs11070873>
- Bennink, M. (2005): Eat beans for good health. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative, Michigan St.Univ.*, 48:1-5.
- Boydston, R. A., Porter, L. D., Chaves-Cordoba, B., Khot, L. R., Miklas, P. N. (2018): The impact of tillage on pinto bean cultivar response to drought induced by deficit irrigation. *Soil and Tillage Research* 180:63-72. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.011>.
- Божих, М. (1996): Продуктивност фотосинтезе и принос семена пасуља (*Phaseolus vulgaris* L. *savi*) у зависности од времена сетве и густине усева. Докторска дисертација. Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет.

- Бошњак, Ђ., Васић М. (2006): Пасуљ у структури сетве Војводине. Економика пољопривреде 4:1055-1063.
- Бошњак, Ђ. (1999): Наводњавање пољопривредних усева. Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Бошњак, Ђ., Драговић, С., Хацић, В., Бабовић, Д., Костић, Н., Бурлица, Ч., Ђоровић, М., Пејковић, М., Михаиловић, Т.Д., Стојановић, С., Васић, Г., Стричевић, Р., Гајић, Б., Поповић, В., Шекуларац, Г., Нешић, Љ., Белић, М., Ђорђевић, А., Пејић, Б., Максимовић, Л., Карагић, Ђ., Лалић, Б., Арсенић, И. (1997): Методе истраживања и одређивања физичких својстава земљишта. Југословенско друштво за проучавање земљишта, Нови Сад.
- Brouwer, C., Heibloem, M. (1986): Irrigation Water Management: Training Manual No. 3: Irrigation Water Needs. Irrigation water management: Training manual no. 3.
- Campos, K., Schwember, A. R., Machado, D., Ozores-Hampton, M., Gil, P. M. (2021): Physiological and yield responses of green-shelled beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under restricted irrigation. *Agronomy* 11(3):562. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030562>.
- Carter, M. (1993): *Soil sampling and methods of analysis*. Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
- Comas, L.H., Trout, T.J., DeJonge, K.C., Zhang, H. Gleason, S.M. (2019): Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. *Agricultural Water Management* 212:433-440. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.015>.
- Cuadra, C., De La, De Ron A.M., Schachl, R. (2000): Handbook on evaluation of *Phaseolus* germplasm. PHASELIEU-FAIR5-PL97-3463. Mision Biologica de Galicia.
- Ćosić, M., Stričević, R., Djurović, N., Lipovac, A., Bogdan, I., Pavlović, M. (2018): Effects of irrigation regime and application of kaolin on canopy temperatures of sweet pepper and tomato. *Scientia Horticulturae* 238:23-31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.035>.
- Ćota, J. (1989): Utjecaj sorte i rokova sjetve na rast i razvitak graha mahunara (*Phaseolus vulgaris* var. nanus) na brtsko-planinskom području istočne Bosne. Doktorska disertacije. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
- Ћота, Ј., Елезовић, З. (2005): Грах - грах махунар (*Phaseolus vulgaris* L.). Пољопривредни институт Сарајево, БиХ, стр. 70.
- da Silva, E. E., Rojo Baio, F. H., Ribeiro Teodoro, L. P., da Silva Junior, C. A., Borges, R. S., Teodoro, P. E. (2020): UAV-multispectral and vegetation indices in soybean grain yield prediction based on in situ observation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 18:100318. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100318>.
- de Fraiture, C., Wichelns, D. (2010): Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management* 97:502-511. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.008>.
- Deschamps, M., Wery J. (1987): Effet de l'eau et de l'azote sur la croissance et la nutrition azotée du pois et du pois chiche. In: INRA (Eds.), Nutrition azotée des légumineuses. Les colloques de l'INRA, 37, Versailles, pp. 271-284.
- Dewedar, O.M., Plauborg, F., Marwa, M.A., El-shafie, A.F., Ragab, R. (2020): Improving water saving, yield, and water productivity of bean under deficit drip irrigation: Field and modelling study using the SALTMED model. *Irrigation and Drainage* 70(2):224-242. <https://doi.org/10.1002/ird.2539>.
- Djurović, N., Ćosić, M., Stričević, R., Savić, S., Domazet, M. (2016): Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of tomato. *Scientia*

Horticulturae 201:271-278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.017>.

- Dogan, E., Rat, I., Kahraman, A., Ipek, I. S. (2015): Green pea response to deficit irrigation rates under semi-arid climatic conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 21(5):1005-1011.
- Doorenbos, J., Kassam, A. H. (1988): Yield response to water. *FAO Irrigation and drainage paper* 33:257.
- Дозет, Г., Цвијановић, Г., Миленковић, С., Нинков, Н., Костов, Љ., Калуђеровић, Д. (2017): Компоненте приноса пасуља у зависности од примене гуанита и микробиолошких ђубрива. *Зборник радова XXII саветовање о биотехнологији*. Чачак, Србија, стр. 69-74.
- Droogers, P., Immerzeel, W.W., Lorite, I.J. (2010): Estimating actual irrigation application by remotely sensed evapotranspiration observations. *Agricultural Water Management* 97(9):1351-1359. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.017>.
- Duchemin, B., Hadria, R., Erraki, S., Boulet, G., Maisongrande, P., Chehbouni, A., Escadafal, R., Ezzahar, J., Hoedjes, J. C. B., Kharrou, M. H., Khabba, S., Mougenot, B., Olioso, A., Rodriguez, J. C., Simonneaux, V. (2006): Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. *Agricultural Water Management* 79:1-27. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.02.013>.
- English, M.J., Musick, J.T., Murty, V.V.N. (1990): Deficit irrigation. In: Hoffman, G.J., Howell, T.A., Solomon, K.H. (Eds.), *Management of Farm Irrigation Systems*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, pp. 631-663.
- Erdem, Y., Şehirali, S., Erdem, T., Kenar, D. (2006): Determination of Crop Water Stress Index for Irrigation Scheduling of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30(3):195-202.
- Espadafor, M., Couto, L., Resende, M., Henderson, D. W., Garcia-Vila, M., Fereres, E. (2017): Simulation of the Responses of Dry Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to Irrigation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 60: 1983-1994. Doi: [10.13031/trans.12386](https://doi.org/10.13031/trans.12386)
- Eyni-Nargeseh, H., AghaAlikhani, M., Shirani Rad, A. H., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres Sanavy, S. A. M. (2019): Late season deficit irrigation for water-SAVIng: selection of rapeseed (*Brassica napus*) genotypes based on quantitative and qualitative features. *Archives of Agronomy and Soil Science* 66(1):126-137. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1602866>.
- FAO (2006): FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO (2014): The Water-Energy-Food Nexus - A New Approach in Support of Food Security and Sustainable Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAOSTAT (2018): FAO Statistical Databases (Food and Agriculture Organization of the United Nations).
- FAOSTAT (2023): FAO Statistical Databases (Food and Agriculture Organization of the United Nations).
- Fereres, E., Soriano, M. A. (2007): Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58(2):147-159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>.
- Finogenova, N., Berger, M., Finkbeiner, M. (2019): Enhancing the Water Footprint Method to a Region Specific Management Tool. In: Schebek L., Herrmann C., Cerdas F. (eds) *Progress in Life Cycle Assessment. Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*. Springer, Switzerland, pp. 27-35. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92237-9_4.

- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D. P. M. (2011): Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478:337-342. Doi: [10.1038/nature10452](https://doi.org/10.1038/nature10452).
- Forsythe, W.M., Victor, A., Gomez, M. (1979): Flooding tolerance and surface drainage requirements of *Phaseolus vulgaris* L. In: Lal, R., Greenland, D.J. (Eds.). *Soil physical conditions and crop production in the tropics*. Wiley, Chichester, Sussex, UK, pp. 205-214.
- Forzieri, G., Feyen, L., Russo, S., Voudoukas, M., Alfieri, L., Outten, S., Migliavacca, M., Bianchi, A., Rojas, R., Cid, A. (2016): Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climatic Change* 137:105-119. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1661-x>.
- Gajić, B., Kresović, B., Tapanarova, A., Životić, L., Todorović, M. (2018): Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. *Agricultural Water Management* 210:224-231. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.002>.
- Гајић, Б. (2006): Физика земљишта, практикум. Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет Земун.
- Geerts, S., Raes, D. (2009): Deficit Irrigation as an On-Farm Strategy to Maximize Crop Water Productivity in Dry Areas. *Agricultural Water Management* 96(9):1275-1284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>.
- Genc, L., Inalpulat, M., Kizil, U., Mirik, M., Smith, S. E., Mendes, M. (2013): Paprastojo kukuruzo (*Zea mays* L.) dregmes streso nustatymas, taikant spektrini atspindi ir klasifikavimo medžio metoda. *Zemdirbyste* 100:81-90. Doi: [10.13080/z-a.2013.100.011](https://doi.org/10.13080/z-a.2013.100.011).
- Ghanbari, A. A., Shakiba, M. R., Toorchi, M., Choukan, R. (2013): Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit stress. *European Journal of Experimental Biology* 3(1):487-492.
- Ghassemi-Golezani, K., Mazloomi-Oskooyi, R. (2008): Effect of water supply on seed quality development in common bean (*Phaseolus vulgaris* var.). *International Journal of Plant Production* 2(2):117-124. Doi: [10.22069/IJPP.2012.604](https://doi.org/10.22069/IJPP.2012.604).
- Ghodsi, A., Honar, T., Heidari, B., Salarpour, M., Etemadi, M. (2022): The interacting effects of irrigation, sowing date and nitrogen on water status, protein and yield in pea (*Pisum sativum* L.). *Scientific reports* 12(1):15978. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20216-5>.
- Gitelson, A., Merzlyak, M. N. (1994): Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology* 22(3): 247-252. [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(93\)06963-4](https://doi.org/10.1016/1011-1344(93)06963-4).
- Гламочлија, Ђ. (2012): Посебно ратарство, жита и зрнене махунарке. Драганић, Београд.
- Glenn, E.P., Nagler, P.L., Huete, A.R. (2010): Vegetation Index Methods for Estimating Evapotranspiration by Remote Sensing. *Surveys in Geophysics* 31:531-555. <https://doi.org/10.1007/s10712-010-9102-2>.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., Toulmin, C. (2010): Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327(80):812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>.
- Graham, P.H., Ranalli, P. (1997): Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research* 53(1-3):131-146. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00112-3).

- Haddeland, I., Heinke, J., Biemans, H., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Konzmann, M., Ludwig, F., Masaki, Y., Schewe, J., Stacke, T., Tessler, Z. D., Wada, Y., Wisser, D. (2014): Global water resources affected by human interventions and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111(9):3251-3256. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222475110>.
- Hatfield, J. L., (1990): Measuring plant stress with an infrared thermometer. *HortScience* 25(12):1535-1538.
- Herrera, M. D., Reynoso-Camacho, R., Melero-Meraz, V., Guzmán-Maldonado, S. H., Acosta-Gallegos, J. A. (2021): Impact of soil moisture on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) phytochemicals. *Journal of Food Composition and Analysis* 99:103883. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103883>.
- Hoekstra, A.Y. (2014): Water scarcity challenges to business. *Nature Climate Change* 4(5):318-320. <https://doi.org/10.1038/nclimate2214>.
- Hoffmann, H., Jensen, R., Thomsen, A., Nieto, H., Rasmussen, J., Friborg, T. (2016): Crop water stress maps for an entire growing season from visible and thermal UAV imagery. *Biogeosciences* 13(24):6545-6563. <https://doi.org/10.5194/bg-13-6545-2016>.
- Hosseini, S. M., Shahrokhnia, M. A. (2020): The effect of irrigation interval on yield, yield components and water productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars in a semi-arid area. *Annals of Biology* 36(1):56-61.
- Hymowitz, T., Dudley, J. W., Collins, F. I., Brown, C. M. (1974): Estimations of Protein and Oil Concentration in Corn, Soybean, and Oat Seed by Near-Infrared Light Reflectance¹. *Crop Science* 14(5):713-715. <https://doi.org/10.2135/cropsci1974.0011183X001400050031x>
- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter, P. J., Reginato, R. J., Hatfield, J. L. (1981): Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology* 24:45-55. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(81\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(81)90032-7).
- Ihuoma, S. O., Madramootoo, C. A. (2019): Crop reflectance indices for mapping water stress in greenhouse grown bell pepper. *Agricultural Water Management* 219:49-58. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.001>.
- Illarionova, S., Nesteruk, S., Shadrin, D., Ignatiev, V., Pukalchik, M., Oseledets, I. (2021): MixChannel: Advanced augmentation for multispectral satellite images. *Remote Sensing* 13(11):2181. <https://doi.org/10.3390/rs13112181>.
- Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed, A., Bashir, S. (2013): Nutritional and Health Perspectives of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): an Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54(5):580-92 <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639>.
- Jackson, R. D., Reginato, R. J., Idso, S. B. (1977): Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. *Water Resources Research* 13(3):651-656. <https://doi.org/10.1029/WR013i003p00651>.
- Jiang, J., Zhang, Z., Cao, Q., Liang, Y., Krienke, B., Tian, Y., Zhu, Y., Cao, W., Liu, X. (2020): Use of an Active Canopy Sensor Mounted on an Unmanned Aerial Vehicle to Monitor the Growth and Nitrogen Status of Winter Wheat. *Remote Sensing* 12(22):3684. <https://doi.org/10.3390/rs12223684>.
- Jones, H.G., Robin A Vaughan, R.A. (2010): *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications*. Oxford University Press, Inc., New York.
- Jorge, J., Vallbé, M., Soler, J. A. (2019): Detection of irrigation inhomogeneities in an olive grove using the NDRE vegetation index obtained from UAV images. *European Journal of Remote Sensing* 52(1):169-177. <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1572459>.

- Karimzadeh Soureshjani, H., Nezami, A., Kafi, M., Tadayon, M. (2019): Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 213:270-279. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.038>.
- Кастори, Р. (1983): Улога елемената у исхрани биљака. Матица српска, Нови Сад.
- Kifle, M., Gebretsadikan, T. G. (2016): Yield and water use efficiency of furrow irrigated potato under regulated deficit irrigation, Atsibi-Wemberta, North Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 170:133-139. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.003>.
- Kirnak, H., Irik, H.A., Unlukara, A. (2019): Potential use of crop water stress index (CWSI) in irrigation scheduling of drip-irrigated seed pumpkin plants with different irrigation levels. *Scientia Horticulturae* 256:108608. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108608>.
- Konsens, I., Ofir, M., Kigel, J. (1991): The Effect of Temperature on the Production and Abscission of Flowers and Pods in Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany* 67(5):391-399. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088173>
- Laing, D.R., Jones, P.G., Davis, J.H.C. (1984): Common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: P.R. Goldsworthy & N.M. Fisher (Eds.), *The Physiology of Tropical Field Crops*. John Wiley & Sons, New York, pp. 305-351.
- Lelong, C. C. D., Burger, P., Jubelin, G., Roux, B., Labbé, S., Baret, F. (2008): Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors* 8(5):3557-3585. <https://doi.org/10.3390/s8053557>.
- Lešić, R. (urednik) (1981): Istraživanja i selekcioniranje visokorodnih sorti plantažnog graha koji može uspijevati u ekološkim uvjetima brdsko-planinskog područja. *Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva* 46(5):543-569.
- Li, W., Niu, Z., Chen, H., Li, D., Wu, M., Zhao, W. (2016): Remote estimation of canopy height and aboveground biomass of maize using high-resolution stereo images from a low-cost unmanned aerial vehicle system. *Ecological Indicators* 67:637-648. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.036>.
- Liebenberg, A.J. (2017): Dry bean production. Department Agriculture, Pretoria.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., Chipman, J. (2015): Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Lindsay, W. L., Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal* 42(3):421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>.
- Lipiński, Z., Godlewski, P., Skąpski, H., Łotocka, B. (1988). Wpływ terminu siewu i odległości między roślinami w rzędzie na wzrost, kwitnienie, owocowanie i plonowanie fasoli biczkowej. *Biul. Warz.* 32:77-102.
- Lipovac, A., Mandić, M. V., Vuković, A., Stričević, R., Ćosić, M. (2018): Assessment of AquaCrop Model on Potato Water Requirements in Climate Change Conditions. *Proceedings of the 10th Eastern European Young Water Professionals Conference IWA YWP*. Zagreb, Croatia, pp. 70-77.
- Loss, S. P., Siddique, K. H. M. (1997): Adaptation of faba bean (*Vicia faba* L.) to dryland Mediterranean-type environments II. Phenology, canopy development, radiation absorption and biomass partitioning. *Field Crops Research* 52(1-2):17-28. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(96\)03455-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(96)03455-7).
- Lu, H., Liu, C., Li, N., Fu, X., Li, L. (2021): Optimal segmentation scale selection and evaluation of cultivated land objects based on high-resolution remote sensing images with spectral and

texture features. *Environmental Science and Pollution Research* 28:27067-27083. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12552-2>.

- Максимовић, Л., Милић, С., Червенски, Ј., Пејић, Б. (2008): Производња купуса у пострној сетви после јечма. *Зборник Радова института за ратарство и повртарство* 45(2):187-193.
- Manning, B. K., Adhikari, K. N., Trethowan, R. (2020): Impact of sowing time, genotype, environment and maturity on biomass and yield components in faba bean (*Vicia faba*). *Crop and Pasture Science* 71(2):147-154. <https://doi.org/10.1071/CP19214>.
- Maphosa, L., Anwar, M. R., Luckett, D. J., Ip, R. H. L., Chauhan, Y. S., Richards, M. F. (2022): Impact of Sowing Time and Genotype on Water Use Efficiency of Lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Agronomy* 12(7):1542. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071542>.
- Matese, A., Baraldi, R., Berton, A., Cesaraccio, C., Di Gennaro, S. F., Duce, P., Facini, O., Mameli, M. G., Piga, A., Zaldei, A. (2018): Estimation of Water Stress in grapevines using proximal and remote sensing methods. *Remote Sensing* 10(1):114. <https://doi.org/10.3390/rs10010114>.
- Matev, A., Ilcheva, G., Petrova, R., Velika Kuneva, V. (2022): Evapotranspiration of common beans (*Phaseolus vulgaris*) depending on the irrigation regime. *Romanian Agricultural Research* 39:283-295.
- Mather, P.M. (1999): *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Mathobo, R., Marais, D., Steyn, J.M. (2017): The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural Water Management* 180:118-125. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.005>.
- Mila, A. J., Ali, M. H., Akanda, A. R., Rashid, M. H. O., Rahman, M. A. (2017): Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic return of sunflower. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1):1287619. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1287619>.
- Милановић, М., Љешевић, М. (2009): Теледетекционе методе истраживања животне средине, Географски факултет, Универзитет у Београду, Београд.
- Миладиновић, Ј., Хрустић, М., Видић, М., Ђорђевић, В. (2006): Тридесет година оплемењивања соје у Научном институту за ратарство и повртарство у Новом Саду. *Зборник радова Института за ратарство и повртарство*, 42(1):297-31.
- Молнар, И., Милошев, Д., Секулић П. (2003): *Агроекологија*. Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Минеев, В.Г., Сычев, В.Г., Амелянчик, О.А. Большева, Т.Н., Гомонова, Н.Ф. Дурьнина, Е.П. Егоров, В.С. Егорова, Е.В. Едемская, Н.Л. Карпова, Е.А. Прижукова, В.Г. (2001): *Практикум по агрохими*. Московский государственный университет имени МВ Ломоносова Издательский Дом (типография), Moscow.
- Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., & Makin, I. (2003). A water-productivity framework for understanding and action. In Kijne, J. W.; Barker, R.; Molden. D. (Eds.). *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. Cabi Publishing, Wallingford, pp. 1-18.
- Monterroso, V.A., Wien, H.C. (1990): Flower and pod abscission due to heat stress in beans. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115(4):631-634. <https://doi.org/10.21273/JASHS.115.4.631>.
- Mwinuka, P. R., Mbilinyi, B. P., Mbungu, W. B., Mourice, S. K., Mahoo, H. F., Schmitter, P. (2021): The feasibility of hand-held thermal and UAV-based multispectral imaging for canopy water status assessment and yield prediction of irrigated African eggplant (*Solanum*

- Nelson, R.E., (1983): Carbonate and gypsum. Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison.
- Nemeskéri, E., Molnár, K., Helyes, L. (2018): Relationships of spectral traits with yield and nutritional quality of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in dry seasons. Archives of Agronomy and Soil Science 64(9):1222-1239.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1420903>.
- Neugschwandtner, R. W., Ziegler, K. V., Kriegner, S., Kaul, H. P. (2015): Limited winter survival and compensation mechanisms of yield components constrain winter faba bean production in Central Europe. Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science 65(6):496-505.
- Nobel, P.S., Lee, C.H. (1991): Variations in Root Water Potentials: Influence of Environmental Factors for Two Succulent Species. Annals of Botany 67(6):549-554.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088197>.
- Nouralinezhad, A., Babazadeh, H., Amiri, E., Sedghi, H. (2018): Effects of irrigation and nitrogen on yield and water productivity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in north of Iran. Applied Ecology and Environmental Research 16(3):3113-3129. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1603_31133129.
- Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvag, A.O., Seguin, B., Peltonen - Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale F. (2011): Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy 34(2):96-112.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.11.003>.
- Olivera, N., Brown, O., Masjuan, Y., Guerrero, A. (2016): Evaluation of AquaCrop model in crop dry bean growth simulation Evaluación del modelo AquaCrop en la simulación del crecimiento del cultivo del frijol. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 25(3):23-30.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30090.06080>.
- Omer, G., Mutanga, O., Abdel-Rahman, E. M., Peerbhay, K., Adam, E. (2017): Mapping leaf nitrogen and carbon concentrations of intact and fragmented indigenous forest ecosystems using empirical modeling techniques and WorldView-2 data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 131:26-39.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.005>.
- Пандуровић, Ж., Поповић, В., Ђурић, Н., Радовић, Р., Младеновић Гламочлија, М., Масловарић, М., Томић, В., Милорадовић, З. (2019): Производња пасуља у променљивим временским условима. Зборник научних радова XXXIII Саветовање агронома, ветеринара, технолога и агроекономиста. Земун, Србија, стр. 181-192.
- Pastor, A. V., Palazzo, A., Havlik, P., Biemans, H., Wada, Y., Obersteiner, M., Kabat, P., Ludwig, F. (2019): The global nexus of food-trade-water sustaining environmental flows by 2050. Nature Sustainability 2(6):499-507. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0287-1>.
- Pejić, B., Sikora, V., Milić, S., Mačkić, K., Koren, A., Bajić, I. (2018): Effect of drip irrigation on yield and evapotranspiration of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Field and Vegetable Crops Research 55(3):130-134. <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>.
- Quiloango-Chimarro, C., Coelho, R. D., Costa, J. de O., Gomez-Arrieta, R. (2021): Crop Water Stress Index for Predicting Yield Loss in Common Bean. Irriga 1(4):687-695.
<https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n4p687-695>.
- Rai, A., Sharma, V., Heitholt, J. (2020): Dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and yield

- response to variable irrigation in the arid to semi-arid climate. *Sustainability* 12(9):3851. <https://doi.org/10.3390/su12093851>.
- Ranjan, R., Chandel, A.K., Khot, L.R., Bahlol, H.Y., Zhou, J., Boydston, R.A., Miklas, P.N. (2019): Irrigated pinto bean crop stress and yield assessment using ground based low altitude remote sensing technology. *Information Processing in Agriculture* 6(4):502-514. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.01.005>.
- Rao, I. M. (2014): Advances in improving adaptation of common bean and *Brachiaria* forage grasses to abiotic stresses in the tropics. In Pessaraki, M. (E.d.), *Handbook of Plant and Crop Physiology*. Taylor and Francis Group, Boca Raton, pp. 847-889.
- Rasti Sani, M., Ganjeali, A., Lahouti, M., Mousavi Kouhi, S.M. (2018): Morphological and physiological responses of two common bean cultivars to drought stress. *Journal of Plant Process and Function* 6(22):37-46.
- Rathore, V.S., Nathawat, N.S., Bhardwaj, S., Yadav, B.M., Kumar, M., Santra, P., Kumar, P., Reager, M.L., Yadava, N.D., Yadav, O. P. (2021): Optimization of deficit irrigation and nitrogen fertilizer management for peanut production in an arid region. *Scientific Reports* 11(1):1-14. 5456 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82968-w>.
- Rezene, Y., Gebeyehu, S., Zelleke, H. (2013): Morpho-physiological Response to Post-flowering Drought Stress in Small Red Seeded Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes. *Journal of Plant Studies* 2(1):42. <https://doi.org/10.5539/jps.v2n1p42>.
- Rosales, M.A., Cuellar-ortiz, S.M., Arrieta-montiel, D. P., Acosta-gallegos, J., Covarrubias, A. A. (2013): Physiological traits related to terminal drought resistance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93(2):324-331. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5761>.
- Росић, К. (1957): Истраживање биолошких особина најраспрострањенијих сората пасуља *Phaseolus vulgaris* L. *savi* на Космету у вези одређивања њихове економске вредности. Библиотека архива за пољопривредне науке 12:72.
- Russelle, M. P., Wilhelm, W. W., Olson, R. A., Power, J. F. (1984): Growth Analysis Based on Degree Days. *Crop Science* 24(1):28-32. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400010007x>
- Saleh, S., Liu, G., Liu, M., Ji, Y., He, H., Gruda, N. (2018): Effect of irrigation on growth, yield, and chemical composition of two green bean cultivars. *Horticulturae* 4(1):3. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4010003>.
- SAS Statistical Package (2007): SAS Version 9.1.3; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA.
- Satriani, A., Catalano, M., Scalcione, E. (2018): The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: A case-study in Southern Italy. *Agricultural Water Management* 195:114-119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.008>.
- Sepaskhah, A.R., Bazrafshan-Jahromi, A.R., Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. (2006): Development and Evaluation of a Model for Yield Production of Wheat, Maize and Sugarbeet under Water and Salt Stresses. *Biosystems Engineering* 93(2):139-152. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.11.005>.
- Shanmugapriya, P., Rathika, S., Ramesh, T., Janaki, P. (2019): Applications of Remote Sensing in Agriculture - A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8(1):2270-2283. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.238>.
- Siegfried, J., Longchamps, L., Khosla, R. (2019): Multispectral satellite imagery to quantify in-field soil moisture variability. *Journal of Soil and Water Conservation* 74(1):33-40. <https://doi.org/10.2489/jswc.74.1.33>.

- Silva, A. do N., Ramos, M. L. G., Ribeiro, W. Q., de Alencar, E. R., da Silva, P. C., de Lima, C. A., Vinson, C. C., Silva, M. A. V. (2020): Water stress alters physical and chemical quality in grains of common bean, triticale and wheat. *Agricultural Water Management* 231:106023. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106023>.
- Simsek, M., Comlekcioglu, N., Ozturk, I. (2012): The effects of the regulated deficit irrigation on yield and some yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology* 10(20):4057-4064. Doi: [10.5897/AJB10.2012](https://doi.org/10.5897/AJB10.2012).
- Spitkó, T., Nagy, Z., Zsubori, Z. T., Szóke, C., Berzy, T., Pintér, J., Marton, C. L. (2016): Connection between normalized difference vegetation index and yield in maize. *Plant, Soil and Environment* 62(7):293-298. Doi: [10.17221/676/2015-PSE](https://doi.org/10.17221/676/2015-PSE).
- Srivastava, R. K., Panda, R. K., Chakraborty, A., Halder, D. (2020): Quantitative estimation of water use efficiency and evapotranspiration under varying nitrogen levels and sowing dates for rainfed and irrigated maize. *Theoretical and Applied Climatology* 139:1385-1400. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03005-5>.
- Статистички годишњак Републике Србије (2020): www.stat.gov.rs
- Stone, K. C., Bauer, P. J., Sigua, G. C. (2016): Irrigation management using an expert system, soil water potentials, and vegetative indices for spatial applications. *Transactions of the ASABE* 59(3):941-948. Doi: [10.13031/trans.59.11550](https://doi.org/10.13031/trans.59.11550).
- Stričević, R., Čaki, E. (1997): Relationships between available soil water and indicators of plant water status of sweet sorghum to be applied in irrigation scheduling. *Irrigation Science* 18:17-21. <https://doi.org/10.1007/s002710050040>.
- Стричевић, Р. (2007): Наводњавање - основе пројектовања и управљања системима. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, Република Србија.
- Стричевић, Р., Продановић, С., Ђуровић, Н., Петровић Обрадовић, О., Ђуровић, Д. (2019): Извештај утицаја осматраних климатских промена на пољопривреду у Србији и пројекције будуће климе на основу различитих сценарија будућих емисија. Национална монографија. Стр .50-52. ИСБН 978-86-7728-262-2
- Stričević, R., Srdjević, Z., Lipovac, A., Prodanović, S., Petrović-Obradović, O., Čosić, M., Djurović N. (2020)a: Synergy of experts' and farmers' responses in climate-change adaptation planning in Serbia. *Ecological Indicators* 116:106481. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106481>.
- Stričević, R., Lipovac, A., Prodanović, S., Ristovski, M., Petrović-Obradović, O., Djurović N., Djurović D. (2020)b: Vulnerability of agriculture to climate change in Serbia - farmers' assessment of impacts and damages. *Journal of Agricultural Sciences* 65(3):263-281. <https://doi.org/10.2298/JAS2003263S>.
- Tenreiro, T. R., García-Vila, M., Gómez, J. A., Jiménez-Berni, J. A., Fereres, E. (2021): Using NDVI for the assessment of canopy cover in agricultural crops within modelling research. *Computers and Electronics in Agriculture* 182:106038. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106038>.
- Тепић, А., Вујић, В., Васић, М. Лућић, А. (2007): Amino Acids and Phytic Acid in some Serbian Varieties of Dry Beans (*Phaseolus vulgaris*). 2nd International Congress on Food and Nutrition, Istanbul, Turkey, pp. 24-26.
- Terán, H., Singh, S.P. (2002): Comparison of Sources and Lines Selected for Drought Resistance in Common Bean. *Crop Science* 42(1):64-70. doi: [10.2135/cropsci2002.6400](https://doi.org/10.2135/cropsci2002.6400).
- Тодоровић, Ј., Божић, Б., Комљеновић, И. (2003): Ратарско - повртарски приручник. Графомарк, Лакташи.

- Тодровић, Ј., Васић, М., Тодоровић, В. (2008): Пасуљ и боранија. Графомарк, Лакташи.
- Toureiro, C., Serralheiro, R., Shahidian, S., Sousa, A. (2017): Irrigation management with remote sensing: Evaluating irrigation requirement for maize under Mediterranean climate condition. *Agricultural Water Management* 184:211-220. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.010>.
- Trout, T. J., Johnson, L. F., Gartung, J. (2008): Remote sensing of canopy cover in horticultural crops. *HortScience* 43(2):333-337. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.2.333>.
- Tsouros, D. C., Bibi, S., Sarigiannidis, P. G. (2019): A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information* 10(11):349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>.
- Tudžarov, T. (1981): Nekoji morfološki, biološki i stopanski osobini na поваžните попујацији боранија (*Phaseolus vulgaris Savi*) во Titovoveleško. Doktorska disertacija. Zemlodelski fakultet, Skopje, Jugoslavija.
- Tunc, M., Bicer, B. T., Turk, Z. (2020): Cultivation Possibilities of Some Common Beans Varieties Under Second Crop Conditions. *Cercetari Agronomice in Moldova* 53(2):144-151. <https://doi.org/10.46909/cerce-2020-012>.
- Ünlü, M., Kanber, R., Şenyigit, U., Onaran, H., Diker, K. (2006): Trickle and sprinkler irrigation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Middle Anatolian Region in Turkey. *Agricultural Water Management* 79(1):43-71. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.02.004>.
- USDA (2006): Keys to Soil Taxonomy, Tenth edition. Soil Survey Staff, United States Department of Agriculture NRCS.
- Ustuner, M., Sanli, F. B., Abdikan, S., Esetlili, M. T., Kurucu, Y. (2014): Crop type classification using vegetation indices of rapideye imagery. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40(7):195. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-195-2014>.
- Vadivambal, R., Jayas, D. S. (2011): Applications of Thermal Imaging in Agriculture and Food Industry-A Review. *Food and Bioprocess Technology* 4(2):186-199. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0333-5>.
- Van Beek, J., Tits, L., Somers, B., Coppin, P. (2013): Stem Water Potential Monitoring in Pear Orchards through worldview-2 Multispectral Imagery. *Remote Sensing* 5(23):6647-6666. <https://doi.org/10.3390/rs5126647>.
- Van Reeuwijk, L.P., (2002): Procedures for soil analysis. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen.
- Васић, М., Милић, С., Пејић, Б., Гвоздановић-Варга, Ј., Максимовић, Л., Бошњак, Д. (2007): Могућност пострне производње пасуља (*Phaseolus vulgaris* L) у агроколошким условима Војводине. Зборник радова Института за ратарство и повртарство, 43(1):283-291.
- Видовић, О. (1964): Ботаничка систематика пасуља. Пољопрвиредни преглед, Сарајево.
- Veysi, S., Naseri, A. A., Hamzeh, S., Bartholomeus, H. (2017): A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. *Agricultural Water Management* 189:70-86. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.016>.
- Vučić, N. (1981): Sunflower seedlings transplanted for double cropping in irrigation. 9. International Conference of Sunflower. Torremolinos, Spain, pp. 375-379.
- Vulf, E.V, (уредник) (1937): Културнар флора СССР; Зерноње бобовље. ГИСКЛ, Москва-Ленинград, СССР.
- Walter, H., Harnickell, E., Mueller-Dombois, D. (1975): Climate diagram maps. Ind. Countries and

the ecological climatic regions of the earth. *Suppl. to the veg. monographs* 8(11):1-36.

- Webber, H. A., Madramootoo, C. A., Bourgault, M., Horst, M. G., Stulina, G., Smith, D. L. (2006): Water use efficiency of common bean and green gram grown using alternate furrow and deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 86(3):259-268. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.05.012>.
- Weiss, M., Jacob, F., Duveiller, G. (2020): Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment* 236:111402. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>.
- Wójtowicz, M., Wójtowicz, A., Piekarczyk, J. (2016): Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science* 11(1):31-50.
- Zeleke, K., Nendel, C. (2019): Growth and yield response of faba bean to soil moisture regimes and sowing dates: Field experiment and modelling study. *Agricultural Water Management* 213:1063-1077. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.023>.
- Zhang, H., Oweis, T. (1999): Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 38(3):195-211. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00069-9).
- Zhang, H., Han, M., Comas, L.H., DeJonge, K.C., Gleason, S.M., Trout, T.J., Ma, L. (2019): Response of maize yield components to growth stage-based deficit irrigation. *Agronomy Journal*, 111(6):3244-3252. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0214>.
- Zhang, H., Ma, L., Douglas-Mankin, K. R., Han, M., Trout, T. J. (2021): Modeling maize production under growth stage-based deficit irrigation management with RZWQM2. *Agricultural Water Management* 248:106767. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106767>.
- Zhou, J., Khot, L.R., Boydston, R.A., Miklas, P.N., Porter, L. (2018): Low altitude remote sensing technologies for crop stress monitoring: a case study on spatial and temporal monitoring of irrigated pinto bean. *Precision Agriculture* 19:555-569. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9539-0>.
- Zou, X., Mõttus, M. (2017): Sensitivity of common vegetation indices to the canopy structure of field crops. *Remote Sensing* 9(10):994. <https://doi.org/10.3390/rs9100994>.
- Yuan, M., Zhang, L., Gou, F., Su, Z., Spiertz, J. H. J., van der Werf, W. (2013): Assessment of crop growth and water productivity for five C3 species in semi-arid Inner Mongolia. *Agricultural Water Management* 122:28-38. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.02.006>.
- Цамић, Р., Стевановић, Д. (2007): *Агрохемија. Друго издање. Партенон, Београд.*

Допунски материјал

Допунски материјал 1. Дневна средња, максимална и минимална температура ваздуха током периода истраживања

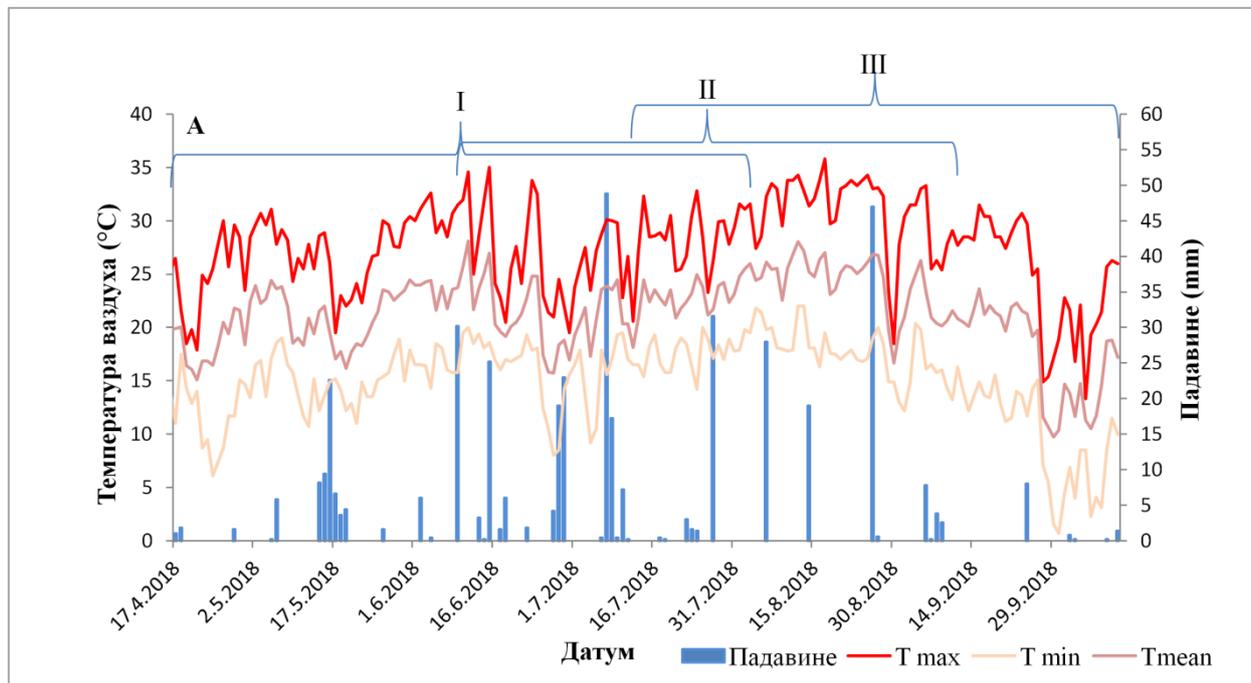


График 24. Дневна средња (T_{sr}), максимална (T_{max}) и минимална (T_{min}) температура ваздуха и падавине током 2018. године (А)

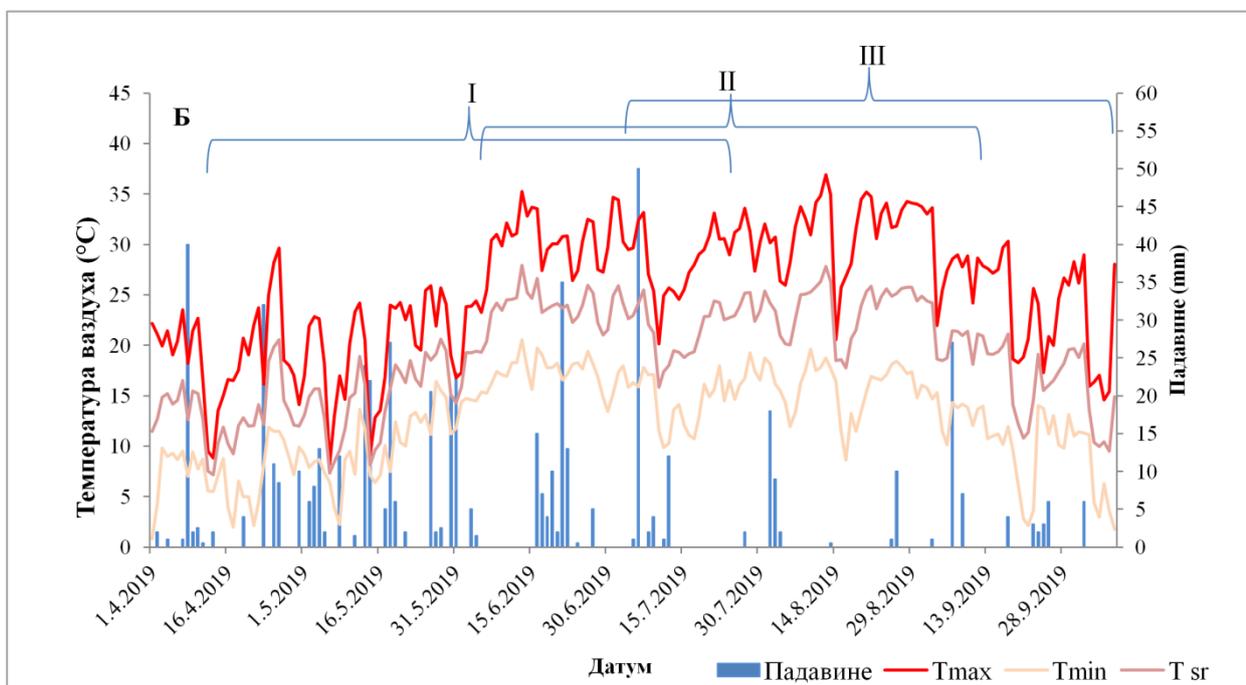


График 25. Дневна средња (T_{sr}), максимална (T_{max}) и минимална (T_{min}) температура ваздуха и падавине током 2019. године (Б)

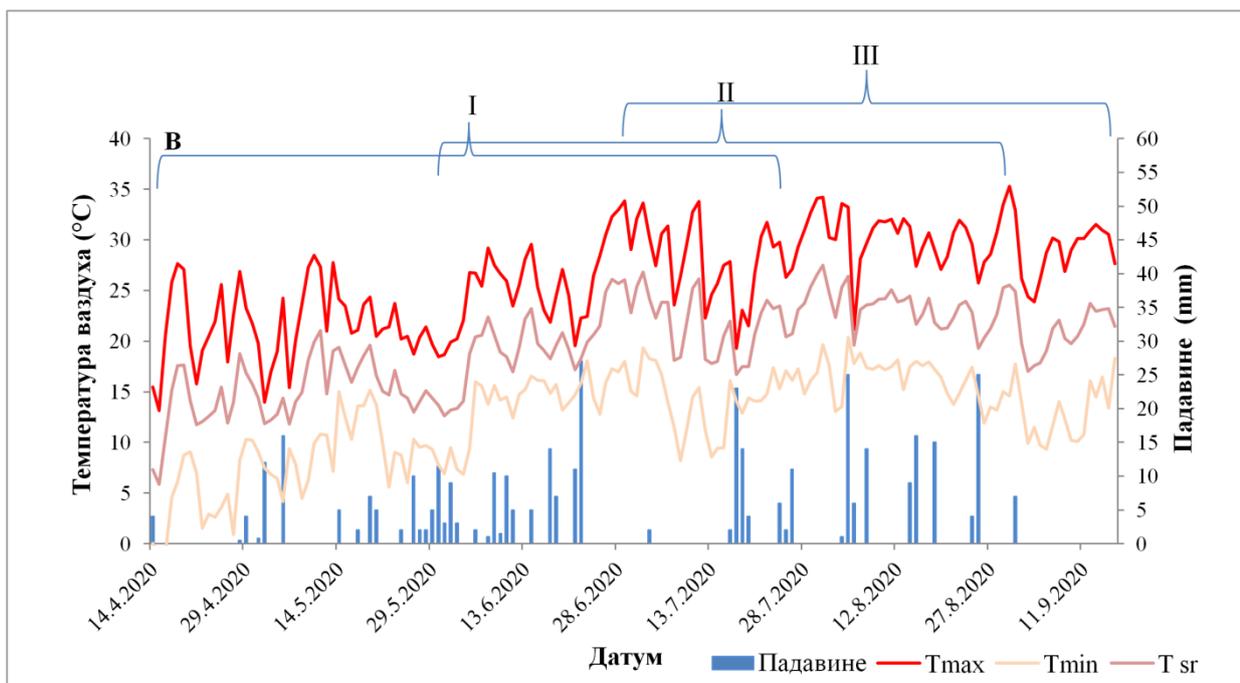


График 26. Дневна средња (T_{sr}), максимална (T_{max}) и минимална (T_{min}) температура ваздуха и падавине током 2020. године (В)

Допунски материјал 2. Просечна релативна влажност ваздуха током периода истраживања

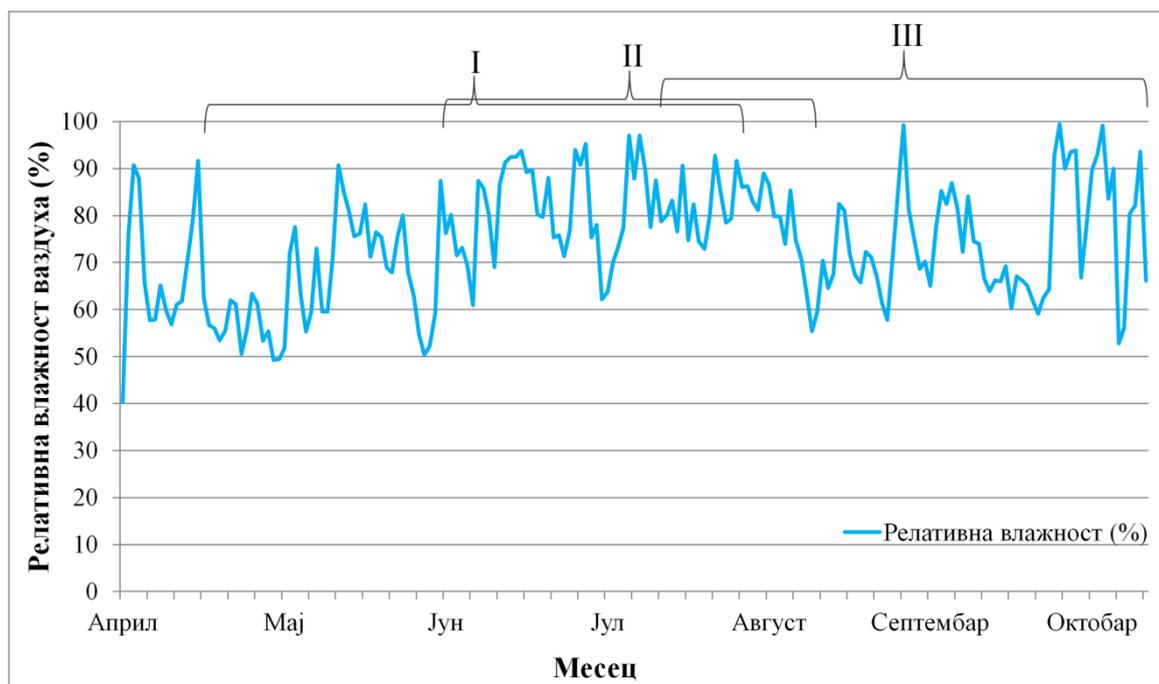


График 27. Просечна влажност ваздуха током 2018. године

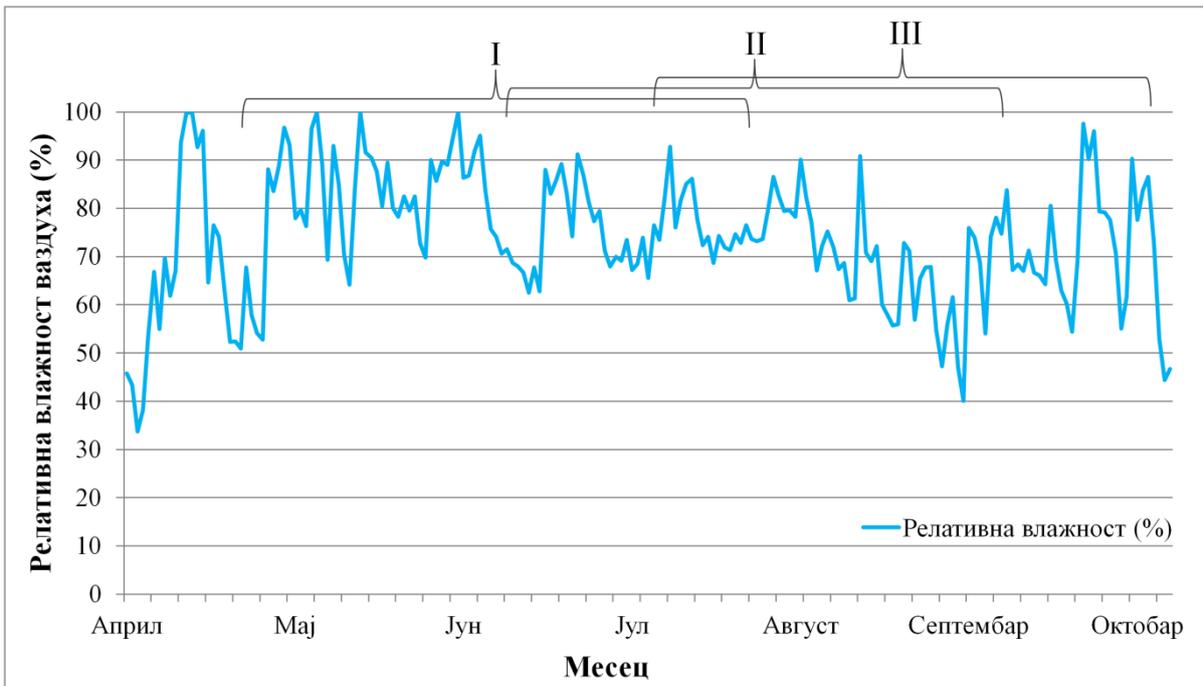


График 28. Просечна влажност ваздуха током 2019. године

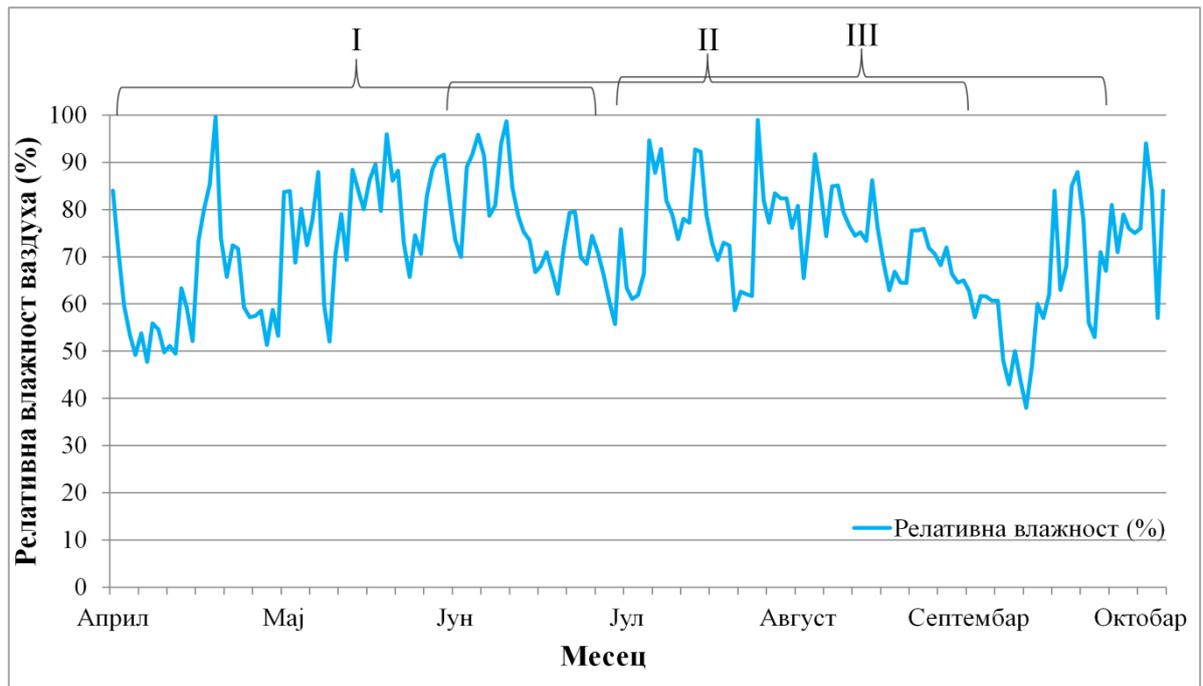


График 29. Просечна влажност ваздуха током 2020. године

ПРИЛОЗИ

Прилог 1.

Биографија

Маст. инж. пољ. Алекса Липовац из Чукојевца рођен је 15. априла 1992. г. у Краљеву. Основну школу је завршио у Витановцу а гимназију у Краљеву. Школске 2011/2012. г. је уписао Пољопривредни факултет у Београду, студијски програм *Мелиорације земљишта*. Дипломирао је 2015. године са просечном оценом 9,07 и оценом 10 на дипломском испиту. Добитник је награде за студента генерације студијског програма *Мелиорације земљишта* на Пољопривредном је факултету шк. 2014/15. године.

Школске године 2015/16. уписао је мастер академске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, студијски програм Пољопривреда, модул *Мелиорације земљишта*. Мастер академске студије завршио је 2017. године са просечном оценом 10 и оценом 10 на дипломском (мастер) раду. Школске 2017/18. г. уписао је докторске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, студијски програм *Пољопривредне науке*, модул *Мелиорације земљишта*.

Од априла до октобра 2016. г. био је запослен у компанији „АТР Irrigation“ на пословима пројектовања и монтаже система за наводњавање. На Пољопривредном факултету Универзитета у Београду први пут је изабран у звање и на радно место сарадника у настави за ужу научну област Мелиорације земљишта 1.10.2016. год. Након две године у звању сарадника у настави од 27.08.2018. год. Изабран је у звање и на радно место асистента, за ужу научну област Мелиорације земљишта. Обавља функцију секретара Катедре за Мелиорације земљишта од 2018. године. Члан је Савета Пољопривредног факултета из редова сарадника. Као члан радне групе активно учествује у промоцији Пољопривредног факултета Универзитета у Београду. Члан је Српског друштва за проучавање земљишта.

У периоду од 1. до 28. фебруара 2018. г. обавио је стручно усавршавање у оквиру COST акције CA16209 са темом *Natural Flood Retention on Private Land* на Универзитету у Рејкјавику (Háskólinn í Reykjavík) на Исланду. Учесник је више радионица и летњих школа из области агрометеорологије, даљинске детекције и решења заснованих на природним (*Nature Based Solutions*). Објавио више од четрдесет библиографских јединица од чега је пет у часописима са SCI листе. Коаутор је једног поглавља у монографији и уредник издања међународног зборника радова Српског друштва за проучавање земљишта.

Прилог 2.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Алекса Липовац
Број индекса: МЛ170012

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

Утицај режима наводњавања и рока сетве на ефикасност коришћења воде, принос и квалитет зрна пасуља

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

Потпис аутора

У Београду, _____

Прилог 3.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Алекса Липовац

Број индекса: МЛ170012

Студијски програм: Мелиорације земљишта

Наслов рада: Утицај режима наводњавања и рока сетве на ефикасност коришћења воде, принос и квалитет зрна пасуља

Ментор: др Ружица Стричевић, редовни професор, Пољопривредни факултет Универзитета у Београду

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

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

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

Потпис аутора

У Београду, _____

Прилог 4.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Утицај режима наводњавања и рока сетве на ефикасност коришћења воде, принос и квалитет зрна пасуља

која је моје ауторско дело.

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

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

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.