

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Мр Миодраг М. Толимир

Повећање ефикасности коришћења  
воде од стране кукуруза  
применом редукованог наводњавања

-Докторска дисертација-

Београд, 2016.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF AGRICULTURE

Miodrag M. Tolimir, M.Sc.

The water use efficiency increase by maize  
under deficit irrigation

- Doctoral Dissertation -

Belgrade, 2016.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертација:

Ментор	Др Ружица Стричевић, редовни професор Пољопривредни факултет Универзитета у Београду
Чланови комисије:	Др Бошко Гајић, редовни професор Пољопривредни факултет Универзитета у Београду
	Др Душан Ковачевић, редовни професор Пољопривредни факултет Универзитета у Београду
	Др Боривој Пејић, ванредни професор Пољопривредни факултет Универзитета у Новом Саду
	Др Бранка Кресовић, виши научни сарадник Институт за кукуруз Земун Поље, Земун - Београд

Датум одбране докторске дисертације: \_\_\_\_\_

## ЗАХВАЛНИЦА

*Проучавања у оквиру ове дисертације била су предмет вишегодишњих истраживања која су реализована у Институту за кукуруз „Земун Поље“, којем желим да изразим посебну захвалност овим поводом.*

*Највећу захвалност, дугујем ментору др Ружици Стричевић, редовном професору Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, на пруженој подршци и несебичној стручној помоћи кроз савете и сугестије током израде дисертације. Њене оригиналне идеје и залагање да се са различитог аспекта сагледа проучавана проблематика у многоме су ми били од помоћи током израде овог рада.*

*На великој и свесрдној сарадњи и стручној помоћи захваљујем се и свим члановима комисије, др Бошко Гајићу и др Душану Ковачевићу, редовним професорима Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, др Боривоју Пејићу ванредном професору Пољопривредног факултета Универзитета у Новом Саду и др Бранки Кресовић, вишем научном сараднику Институту за кукуруз „Земун Поље“.*

*Посебну захвалност дугујем др Јордану Миливојевићу и др Градимиру Васићу, редовним професорима Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, у пензији, за велики допринос који су дали у осмишљавању проучавања и сугестијама при сагледавању свеукупне проблематике која је била предмет ове докторске дисертације.*

*Велику захвалност, на помоћи при извођењу експерименталног дела истраживања, дугујем колегама са одељења за „Агротехнику“ Института за кукуруз „Земун Поље“,*

*Својој породици дугујем велику захвалност на подршци и разумевању, који су ми веома значили током израде ове дисертације.*

*Овим путем желим да се захвалим свима осталим који нису поменути, а помогли су ми у реализацији ове докторске дисертације.*

*Аутор*

Повећање ефикасности коришћења воде од стране кукуруза  
применом редукованог наводњавања

**Извод**

Савремена пољопривредна производња за императив има економичну производњу здравствено безбедне хране, уз очување земљишта и воде, као природних ресурса. Примена редукованог наводњавања препознаје се као једана од могућности за смањење негативних утицаја суше са једне стране и уштеде воде и смањење утрошка енергије и радне снаге у пољопривредној производњи, са друге стране. Основни циљ истраживања предвиђених овом докторском дисертацијом јесте дефинисање потреба кукуруза за водом и рационалног режима наводњавања земљишта редукованим нормама заливања, и одређивање реалне евапотранспирације у условима водног стреса, која обезбеђује најбољу ефикасност коришћења воде наводњавања у дотичним агроколошким условима. Циљ је такође да се утврди која је то најповољнија густина сетве у условима редукованог наводњавања, којим ће се остварити и високи приноси и ефикасност коришћења воде.

Истраживања су обављена на експерименталном пољу за наводњавање Института за кукуруз “Земун Поље” у периоду од 2002. до 2005. године. Експерименталне парцеле величине 44,8 m<sup>2</sup> различитих варијанти истраживања биле су постављене по шеми случајног блок распореда у четири понављања. Гајен је хибрид кукуруза ЗП 677 ФАО 600 групе зрења, у три различите густине: G<sub>1</sub>=54900 биљ·ha<sup>-1</sup>; G<sub>2</sub>=64900 биљ·ha<sup>-1</sup> и G<sub>3</sub>=75200 биљ·ha<sup>-1</sup>. Примењено је пет режима наводњавања: W<sub>0</sub>– природни водни режим земљишта (без наводњавања), W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub> и W<sub>4</sub> засновани на бази међусобног односа реалне (E<sub>Ta</sub>) и референтне евапотранспирације (E<sub>To</sub>) 0,4:1, 0,6:1, 0,8:1 и 1:1, респективно. Наводњавање је обављано методом орошавања, а додате количине воде наводњавањем мерене су водомером, за сваку варијанту проучавања.

Током истраживања свакодневно је методом *Penman-Monteith* обрачунавана референтна евапотранспирација (E<sub>To</sub>), динамика влажности земљишта мерена је декадно, термогравиметријским методом. Током периода

вегетације регистровани су фенолошки периоди и праћене су морфолошке особине кукуруза, а по обављеној берби дужина клипа, број редова на клипу и број зрна у реду, као и маса 1000 зрна.

Просечна вредност реалне евапотранспирације ( $E_{ra}$ ) по варијантама проучавања износила је у  $W_{i1}$  364,5 mm,  $W_{i2}$  409,1 mm,  $W_{i3}$  462,6 mm и  $W_{i4}$  507,7 mm, док је у варијанти ( $W_0$ ) без наводњавања вредност била 342,3 mm. Сваки од третмана редукованог наводњавања условио је појаву теже приступачне воде ( $W_{pl}$ ) у ефективној дубини зоне ризосфере кукуруза, а степен изражености зависио је од степена редукције наводњавања. Остварени водни режими земљишта битно су утицали на висину добијених приноса сувог зрна кукуруза. Највиши принос забележен је у варијанти ( $W_{i4}$ ) 14,464 Mg·ha<sup>-1</sup>, док је редуковано наводњавање резултирало умањењем приноса од 10,4% у варијанти  $W_{i3}$ , односно 21,8% у варијанти  $W_{i2}$  и 30,9% у варијанти  $W_{i1}$ . Водни режим у интеракцији са густином сетве такође је значајно утицао на висину приноса, тако да су највиши приноси остварени у варијанти  $W_{i4}$  у највећој проучаваној густини ( $G_3$ ). У неповољнијим условима водног режима кукуруз је боље приносе остварио при мањим густинама гајења ( $G_2$ ). Дужина клипа и број зрна у реду су узајамно повезани и у великој мери су зависиле од услова гајења кукуруза, а највеће вредности наведених особина утврђене су при најмањој густини сетве ( $G_1$ ) у варијанти ( $W_{i4}$ ). Свако повећање густине или смањење обезбеђености усева лакоприступачном водом ( $W_{pl}$ ) резултирало је редукцијом наведених особина клипа. Број редова зрна на клипу, иако је генетски одређена особина, може бити афектиран у неповољним условима гајења. Добијени резултати показују да су у условима изложености биљака већем стресу услед недостатка воде забележене значајно ниже вредности ове особине. Маса хиљаду зрна, као једна од компоненти приноса, такође, је била условљена интеракцијом водног режима и густине сетве, а највеће вредности овог параметра (393,1g) забележене су у третману  $W_{i4}$ , при најмањој густини сетве. Свака даља редукција наводњавања или повећање густине условили су смањење вредности овог параметра. За ефикасност коришћења воде ( $WUE$ ) у свим проучаваним варијантама забележене су високе вредности и кретале су се од 2,71 kg·m<sup>-3</sup> у варијанти  $W_{i1}$  до 2,84 kg·m<sup>-3</sup> у варијанти  $W_{i4}$ . Такође, при различитим густинама сетве добијене су високе

вредности ефикасности коришћења воде (WUE), а највећа ефикасност коришћења воде забележена је у другој проучаваној густини ( $G_2$ ). Највише вредности ефикасности коришћења воде додате наводњавањем (IWUE), забележене су у варијантама редукованог наводњавања  $Wi_3$  ( $2,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) и  $Wi_2$  ( $2,12 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) и биле су статистички значајно више у поређењу са вредностима добијеним у варијанти  $Wi_1$  ( $1,52 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) и варијанти пуног наводњавања  $1,92 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $Wi_4$ ). Највиша вредност овог параметра забележена је у највећој густини сетве ( $G_3$ ) и износила је  $2,43 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Високе вредности коефицијента ефикасности коришћења воде (WUE) оправдавају примену наводњавања кукуруза у агроеколошким условима Србије. Иако је највиши, просечан принос зрна кукуруза, као и по годинама истраживања добијен у варијанти  $Wi_4$ , ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE), биле су веће у варијантама редукованог наводњавања. Наведени показатељи оправдавају примену редукције наводњавања до 20%, док у сушнијим рејонима са изражено смањеним водним ресурсима може се редуковати наводњавање и до 40%.

**Кључне речи:** редуковано наводњавање, реална евапотранспирација, кукуруз, густина, ефикасност коришћења воде, ефикасност коришћења воде додате наводњавањем

**Научна област:** Биотехничке науке

**Ужа научна област:** Мелиорације земљишта

**УДК број:** 631.672:633.15(043.3)

## The water use efficiency increase by maize under deficit irrigation

### Abstract

Cost-effective production of organic food with preservation of soil and water, as natural resources, is the imperative of contemporary agricultural production. The application of deficit irrigation is recognised as one of the options for reducing adverse effects of drought on the one hand and saving water and reducing in both energy consumption and labour in agricultural production on the other hand. The main aim set up in this doctoral dissertation was to define water requirements of maize plants and the rational soil water status ensured by deficit irrigation and to determine actual evapotranspiration under conditions of water stress that would provide the best irrigation water use efficiency under given agro-ecological conditions. The objective was also to establish the most favourable sowing density under conditions of deficit irrigation due to which high yields and efficient water use would be achieved.

The studies were carried out in the experimental field for irrigation of the Maize Research Institute, Zemun Polje in the 2002-2005 period. The experimental plot size was 44.8 m<sup>2</sup>. The plots with various variants of studying were set up according to the four-replicate randomised complete block design. The maize hybrid ZP 677 of FAO 600 was grown in the following three sowing densities: G<sub>1</sub>=54,900 plants ha<sup>-1</sup>; G<sub>2</sub>=64,900 plants ha<sup>-1</sup> and G<sub>3</sub>=75,200 plants ha<sup>-1</sup>. The following five irrigation regimes were applied: W<sub>0</sub> – rainfed regime of the soil (without irrigation), W<sub>i1</sub>, W<sub>i2</sub>, W<sub>i3</sub> and W<sub>i4</sub> regimes based on the ratio of actual evapotranspiration (ET<sub>a</sub>) to reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) that amounted to 0.4:1, 0.6:1, 0.8:1 and 1:1, respectively. The sprinkling irrigation method was applied, while irrigation water amounts were measured by a water gauge for each variant of studying.

Reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) was daily computed by the Penman-Monteith method, while the dynamics of soil moisture was measured by the gravimetric method each ten days. During the growing season, phenological periods were registered and morphological traits of maize were monitored. After harvest, the ear length, number of kernel rows per ear and the number of kernels per row, as well as the 1000-kernel weight were determined.



The average value of actual evapotranspiration (ETa) over variants of studying amounted to 364.5 mm (W<sub>i1</sub>), 409.1 mm (W<sub>i2</sub>), 462.6 mm (W<sub>i3</sub>) and 507.7 mm (W<sub>i4</sub>), while this value amounted to 342.3 mm in the variant without irrigation (W<sub>o</sub>). Each of deficit irrigation treatments caused the phenomenon of limiting water (W<sub>pl</sub>) in the effective depth of maize rhizosphere, while the degree of soil water stress conditions depended on the degree of deficit irrigation. Accomplished soil water regimes significantly affected the level of dry grain yields of maize. The highest yield of 14.464 Mg·ha<sup>-1</sup> was recorded in the variant W<sub>i4</sub>, while deficit irrigation resulted in the yield decrease of 10.4%, 21.8% and 30.9% in variants W<sub>i3</sub>, W<sub>i2</sub> and W<sub>i1</sub>, respectively. Moreover, the soil water status by sowing density interaction significantly affected achieved yields, hence the highest yields were recorded at the highest studied density (G<sub>3</sub>) in the variant W<sub>i4</sub>. Maize yields were higher at lower sowing densities (G<sub>2</sub>) under more unfavourable conditions of the irrigation regime. The ear length and the number of kernels per row were interrelated and depended largely on maize growing conditions, and the greatest values of these traits were established at the lowest sowing density (G<sub>1</sub>) in the variant W<sub>i4</sub>. Any increase of sowing density or decrease in readily available water (W<sub>pl</sub>) resulted in the reduction of the stated ear traits. The number of kernel rows per ear, although a genetically determined trait, can be affected by unfavourable growing conditions. Obtained results indicate that values of this trait were significantly lower when plants were exposed to greater stress caused by water deficiency. The 1000-kernel weight, as one of yield components, was also affected by the water regime by sowing density interaction, and the highest value of this parameter (393.1g) was recorded at the lowest sowing density in the treatment W<sub>i4</sub>. Any further irrigation decrease or sowing density increase resulted in the reduction of this parameter value. The values of water use efficiency (WUE) in all studied variants were high and ranged from 2.71 kg·m<sup>-3</sup> in the variant W<sub>i1</sub> to 2.84 kg·m<sup>-3</sup> in the variant W<sub>i4</sub>. In addition, the values of this parameter were high in various sowing densities. The highest water use efficiency was recorded in the second sowing density (G<sub>2</sub>). The highest values of irrigation water efficiency (IWUE) were established in the variants of deficit irrigation W<sub>i3</sub> (2.15 kg·m<sup>-3</sup>) and W<sub>i2</sub> (2.12 kg·m<sup>-3</sup>). These values were statistically significantly higher than values obtained in the variant W<sub>i1</sub> (1.52 kg·m<sup>-3</sup>) and the variant of nearly full irrigation

Wi<sub>4</sub> (1.92 kg·m<sup>-3</sup>). The highest value of this parameter (2.43 kg·m<sup>-3</sup>) was recorded in the variant with the highest sowing density (G<sub>3</sub>).

The high values of water use efficiency (WUE) justify the irrigation of maize under agro-ecological conditions of Serbia. Although the highest average grain yield of maize was achieved in the variant Wi<sub>4</sub>, irrigation water use efficiency (IWUE) was greater in the deficit irrigation variants. Stated parameters justify the application of deficit irrigation up to 20%, while irrigation in arid regions with extremely reduced water resources can be reduced up to 40%.

**Key words:** deficit irrigation, actual evapotranspiration, maize, density, water use efficiency, irrigation water use efficiency

**Scienc area:** Biotechnical sciences

**Close science area:** Soil and water management

**UDC:** 631.672:633.15(043.3)

## САДРЖАЈ

1.	УВОД.....	1
2.	ЦИЉ И ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА.....	4
3.	РАДНЕ ХИПОТЕЗЕ.....	5
4.	ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ.....	7
5.	МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ.....	26
5.1.	Поставка огледа.....	26
5.2.	Агро-еколошки услови експерименталног поља.....	27
5.3.	Карактеристике гајеног усева.....	47
5.4.	Примењени водни режим.....	49
5.5.	Евапотранспирација усева (ЕТс).....	55
5.6.	Ефикасност коришћења воде (WUE).....	60
5.7.	Одређивање релативног приноса.....	62
5.8.	Мерење приноса, компоненти приноса и статистичка обрада података	62
6.	РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА.....	64
6.1.	Реална евапотранспирација кукуруза (ЕТа).....	64
6.2.	Водни режим земљишта под кукурузом.....	80
6.2.1.	Природни водни режим чернозема и принос зрна кукуруза.....	81
6.2.2.	Иригациони водни режим чернозема.....	87
6.3.	Принос зрна кукуруза.....	102
6.4.	Ефикасност коришћења воде .....	110
6.5.	Морфолошке особине биљке, клипа и маса 1000 зрна кукуруза.....	127
7.	ЗАКЉУЧАК.....	138
8.	ЛИТЕРАТУРА.....	141

### Прилози

Прилог 1. Биографија

Прилог 2. Изјава о ауторству

Прилог 3. Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског  
рада

Прилог 4. Изјава о коришћењу

## 1. УВОД

Глобалне климатске промене које се најчешће манифестују кроз мањак падавина препознају се као један од најзначајнијих ограничавајућих фактора пољопривредне производње. На подручју Републике Србије падавине су често недовољне и неповољног су распореда, што резултира смањењем приноса (*Кресовић и сар., 2014*). Такође, на светском нивоу резерве расположиве воде за наводњавање се смањују, док се потреба за храном из године у годину повећава, што указује да ће се производња хране у будућности одвијати у условима већег или мањег дефицита воде, односно да је неопходно рационалније газдовање поменутиим ресурсима (*Fereres, 2003*).

У превазилажењу последица суше, наводњавање је најзначајнија агротехничка мера. Међутим, у условима смањене количине воде сматра се да се површине под системима за наводњавање неће повећати у мери сходно потребама, а што ће бити посебно изражен проблем у земљама у развоју (*Гаврић и Михајлов, 2002*). Процене да се од укупне количине слатке воде око 70% троши на пољопривреду (*Evans u Sadler, 2008*), као и да се потрошња воде у пољопривреди сматра неефикасном (*Hsiao et al., 2007*) намећу потребу изналажења различитих мера којима ће се допринети уштеди воде и њеном што рационалнијем коришћењу (*ФАО 2002*).

Примена редукованог наводњавања препознаје се као једана од могућности за смањење негативних утицаја суше са једне стране и уштеде воде у пољопривредној производњи, са друге стране. При редукованом наводњавању усеви се током целог вегетационог периода, или у одређеним фазама плански излажу недостатку воде, што резултира смањењем приноса, али и уштедом воде, односно повећањем ефикасности коришћења воде. Циљ стратегије редукованог наводњавања нису максимални, већ оптимални приноси усева (*Стричевић, 2007*), односно да се при оваквом режиму наводњавања остваре економски најисплативији приноси, уз очување воде и смањење утрошка енергије и радне снаге.

Остварени ефекти примене редукованог наводњавања биће различити, у смислу утицаја на висину и квалитет приноса, у зависности врсте усева, од типа

земљишта, расположиве воде у земљишту, евапотранспирације и др. (Ђосић, 2015).

Истраживања указују да се ефекат наводњавања кукуруза, у годинама када је количина падавина довољна и са правилним распоредом падавина може сматрати скромним, док у сушним годинама примена наводњавања резултира знатно већим повећањем приноса. Истраживања у рејону северног Кавказа указују да у средње сушним годинама наводњавање кукуруза принос повећава и до три пута, а у средње влажним и до 50% *Љгов (1966)*. У нашој земљи у условима наводњавања принос кукуруза повећава се од 30% (*Васић, 1983; Миливојевић, 1984; Кресовић и сар. 1993*), до 40 – 45 % (*Бошњак и Пејић, 1994*), а у екстремно сушним годинама и до 100% (*Васић и Кресовић, 1994*).

Кукуруз се у Србији сеје на 1/3 ораничних површина или на око 1.200.000 ха (*Статистички годишњак РС, 2014*). У Војводини се сеје још више, на 653.000 ха, што износи око 42% ораничних површина. У системима за наводњавање заузима значајне површине и представља основну окопавину у плодоредима. Приноси сувог зрна кукуруза од 3,0 – 6,0 Mg·ha<sup>-1</sup> који се остварују у широкој производњи у Србији, ни изблиза не одговарају његовом значају и месту које заузима у плодоредима. Анализа вишегодишњих (1965-2003.) приноса зрна кукуруза за подручје Војводине (2,26 – 7,11 Mg·ha<sup>-1</sup>) показала је да су исти у директној вези са режимом падавина у истом периоду (*Бошњак, 2004*). Тако низак ниво коришћења генетског потенцијала кукуруза може се сматрати као директна последица недовољне количине и неравномерног распореда падавина у току његове вегетације.

Потребе кукуруза за водом условљене су растом и развићем биљке и метеоролошким условима током вегетационог периода, односно расту почев од сетве, највише вредности достижу током летњег перида (јун, јул и август) и затим опадају до зрења. Једна биљка кукуруза, у вегетационом периоду, утроши 75-115 литара воде, у зависности од хибрида, густине сетве и метеоролошких услова (*Бошњак 1982, 1987*). У различитим агроеколошким условима потребне количине воде током вегетационог периода кукуруза износиле су 460-520 mm (*Бошњак 1982, 1987*), 468 -535 (*Васић, 1983*), 545-642 mm (*Миливојевић, 1984*), 450-550 mm (*Максимовић, 1999*).

За постизање максималне ефикасности коришћења воде, од кључног значаја је познавање потреба кукуруза за водом по фенофазама развића биљке (Ayana, 2011). Недостатак воде у било којој од фаза резултира смањењем раста и продуктивности усева (Pandey et al., 2000), међутим критични периоди су они у којима недостатак воде резултира највећим умањењем приноса, а то је фаза оплодне кукуруза (Agyare et al., 2013) и периода наливања зрна, то јест до почетка млечне зрелости кукуруза (El-Kheir et al., 2007). Дакле, циљ бројних истраживања је да се са што мање воде постигне највећи принос.

Наводњавање кукуруза, треба да је само допуна падавинама чиме би се регулисао водни режим земљишта и обезбедио повољан режим исхране биљака, за остваривање високих и стабилних приноса зрна. Према томе, под водним режимом земљишта подразумева се квантитативна и квалитативна промена влажности земљишта по дубини профила, у простору и у времену, условљена притицањем воде, њеним кретањем, задржавањем и губљењем из њега. Применом наводњавања водни режим земљишта губи статус природног и сврстава се у групу антропогених водних режима иригационог типа (Миливојевић, 1984) и као такав у области наводњавања кукуруза био је предмет проучавања многих истраживача у свету и код нас.

## **2. ЦИЉ И ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА**

Основни циљ истраживања предвиђен овом докторском дисертацијом јесте дефинисање потреба кукуруза за водом и с тим у вези рационалног режима наводњавања земљишта редукованим нормама заливања, и одређивање реалне евапотранспирације у условима водног стреса, а која обезбеђује најбољу ефикасност коришћења воде наводњавања у дотичним агроколошким условима. Циљ је, такође, да се утврди која је то најповољнија густина сетве у условима редукованог наводњавања, којим ће се остварити и високи приноси и ефикасност коришћења воде.

Режим заливања дефинисан на тај начин треба да буде основа за рационално коришћење воде за наводњавање и управљање водним ресурсима као и правилно пројектовање будућих система за наводњавање, у којима је кукуруз доминантна култура у сетвеној структури.

### 3. РАДНЕ ХИПОТЕЗЕ

Кукуруз током свог вегетационог периода у условима природног водног режима земљишта, снабдева се водом различитог порекла неравномерно распоређеном по фенофазама његовог раста и развића:

- водом пореклом од падавина у вегетационом периоду,
- водом акумулираном у земљишту од падавина током ванвегетационог периода,
- водом капиларно подигнутом из ниже лежећих хоризоната или подземне воде у зону кореновог система.

С обзиром да падавине не могу увек обезбедити биљке водом, а све чешће се јављају сушне и веома топле године, наводњавање је све потребније. Будући да приход воде капиларним подизањем у ефективну зону ризосфере кукуруза на черноземима лесне терасе практично не постоји, јер се подземна вода налази на дубини 5 до 15, па и више метара и да се акумулирана вода пред вегетационог периода у земљишту брзо потроши, некад чак и у пролетњим месецима, кукурузу остаје једино на располагању вода од падавина, која је недовољна за нормално обављање фотосинтетских процеса и зато се могу очекивати велики ефекти наводњавања на овим земљиштима.

Истовремено, имајући у виду да је кукуруз велики потрошач воде, а потребе за истом се из године у годину повећавају, намећу се следеће хипотезе на која истраживања треба да дају одговор:

1. Максимална евапотранспирација не даје максималан принос кукуруза.
2. Оптималном нормом заливања базираном на доњој граници лакоприступачне воде од 3,0 Вага не постижу се максимални економски оправдани приноси кукуруза.
3. Теоретском максималном нормом заливања, такође се не могу постићи максимални приноси.
4. Редукованом нормом наводњавања може се повећати ефикасност коришћења воде (WUE) уз значајну уштеду исте.
5. Редукованом нормом наводњавања могу се постићи високи приноси кукуруза уз добро успостављен режим заливања.



6. Планирањем редукованог наводњавања може се направити стратегија управљања водним ресурсима у лимитираним условима, што је посебно значајно у контексту глобалних климатских промена.

#### 4. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

На глобалном нивоу, пољопривредна производња, а тиме и производња кукуруза, у последњим деценијама суочена је са климатским променама и све већим захтевима у погледу очувања животне средине, као ограничавајућим факторима. Истовремено, повећање броја становника на светском нивоу намеће потребу повећања производње хране. У оваквим околностима, савремена пољопривредна производња за императив има економичну производњу здравствено безбедне хране, уз очување земљишта и воде, као природних ресурса.

У циљу успостављања одрживе пољопривредне производње, са економског и еколошког аспекта бројна истраживања стручне и научне јавности усмерена су на изналажење оптималних решења. Отворена питања су како превазићи или ублажити последице климатских промена, првенствено суше, како најрационалније користити природне ресурсе, а посебно воду, чија је доступност за пољопривреду око 70%, са тенденцијом смањења (*Cai и Rosegrant, 2003*), како обезбедити повећање продуктивности усева, које је неопходно, с обзиром на растућу популацију (*Hewell, 2001*).

Кукуруз је један од најважнијих ратарских усева, при чему га његова вишеструка намена сврстава на треће место у свету по засејаним површинама, одмах иза пшенице и пиринча. У Србији, кукуруз се сеје на 1/3 ораничних површина или на око 1200000 ха (*Статистички годишњак РС, 2014*). У Војводини се сеје на око 653000 ха што износи око 42% ораничних површина. Производи се у 125 земаља у развоју, при чему је у 75 земаља најзаступљенија биљна врста (*FAOSTAT, 2010*).

Значај кукуруза у смислу његове велике заступљености, а тиме и производње, базира се на изузетно широкој употребној вредности овог усева. Користи се највећим делом за исхрану домаћих животиња, као зрно или силажа, али значајно место има и у исхрани људи, као намирница (кукурузно брашно, гриз, уље, кукурузни пиринч, конзервирано зрно), или састојак кекса, колача, хлеба, супа, флеклице, кашице. Алкохолна пића, пиво, виски, вотка такође се добијају и од кукуруза, процесима ферментације и дестилације (*Бекрић, 1997*). Кукуруз има значај и као индустријска сировина, у производњи биоетанола и

биоразградиве пластике (*Schgiwietzke et al., 2008*), у хемијској индустрији, као подлога за израду сапунских паста, док се у грађевинској индустрији користи у производњи иверице, гипсаних табли, термовезивне смоле и др. материјала.

Велика разноврсност коришћења кукуруза иде у прилог разумевања глобалних предвиђања, према којима ће кукуруз за десет година бити усева са највећом производњом, као и да ће се потреба за кукурузом у земљама у развоју удвостручити до 2050. године (*Torney et al., 2007; Rosegrant et al., 2008*).

Пољоприврена производња, а самим тим и производња кукуруза последњих деценија, нарочито од 1986. године (*IPCC, 2014*) суочена је са последицама глобалних климатских промена које се манифестују повећањем температура ваздуха, смањења падавина током вегетационог периода, смањењем влажности земљишта и укупно расположиве количине воде (*Поповић, 2007; Gregorič, 2010*). Према прогнозама производња кукуруза и у будућности биће под утицајем наведених климатских промена, као ограничавајућег фактора, са негативним утицајем на висину и квалитет приноса (*Лалић и сар., 2011*).

С обзиром на значај који кукуруз заузима као водећа ратарска култура у Србији, просечни приноси сувог зрна кукуруза, који се остварују у производњи не могу се сматрати задовољавајућим, а углавном зависе од режима падавина и веома варирају од године до године (*Бошњак, 2004*). Наведено је у сагласности са истраживањем *Кресовић (2003)*, према којем на стабилност приноса највећи утицај имају количина и распоред падавина током периода вегетације биљака.

У земљама у развоју утицај климатских промена, изражен кроз нестабилне и непредвидиве временске услове додатно отежава економско пословање, уз истовремено повећање ризика за производњу здравствено безбедне хране. У том смислу, веома су важна истраживања у чијој жижи интересовања је развој различитих мера за смањење ризика у пољопривредној производњи, а која могу бити усмерена на предупређење или ублажавање последица и штета по принос и квалитет пољопривредних производа.

Према подацима *IPCC (2014)* просечан пораст глобалне температуре, у двадесетом веку износио је 0,8 °С, са прогнозом да ће се у 21. веку загревање атмосфере наставити. У нашој земљи, према процени заснованој на климатском моделирању, до краја овог века температура ће порастати за 2,6 °С, а сушни

периоди биће учесталији и дужи праћени смањењем летњих падавина (*Поповић и сар., 2009*). То ће свакако утицати на развој наводњавања, али и на потребу за рационалним коришћењем воде, јер ће се смањити расположиви извори воде за наводњавање (*Стојковић и сар., 2014*).

Суша се јавља у готово свим деловима света, али је тешко дефинисати јер њене карактеристике варирају у зависности од региона до региона, али и од аспекта са којег се суша посматра. Дефиниција суше, према Светској метеоролошкој организацији (*ВМО, 1992*) подразумева: 1) дуг период изостанка падавина, 2) период у коме недостатак падавина проузрокује озбиљну хидролошку неравнотежу и 3) недостатак падавина који за последицу има мањак воде у одређеним делатностима. Разликује се неколико типова суше: метеоролошка, хидролошка, пољопривредна и социо-економска суша (*Heim, 2002*). Са аспекта пољопривредне производње најзначајнија је пољопривредна суша, која повезује параметре метеоролошке и хидролошке суше и њихов утицај на пољопривредну производњу, при чему је тежиште на дефициту падавина, разлике између стварне и потенцијалне евапотранспирације, недостатак влаге у земљишту у ефективној зони кореновог система пољопривредних култура и друго.

Суша је директно зависна од фактора који обједињују: време појаве, интензитет и трајање водног дефицита, у комбинацији са високим температурама. Анализом вишегодишњих података о учесталости суше *Јовановић и сар. (2001)* констатују да је у периоду од 164 године кукуруз сваке друге године имао дефицит влаге, као и да је у последњој декади прошлог века било шест сушних, две осредње и две релативно повољне године, што је за последицу имало смањење просечних приноса за 30% у односу на повољну 1991. годину.

*Стричевић и сар., (2011)* указују да се појава суше, као и њен интензитет тешко могу прецизно предвидети, с обзиром да су анализирајући податке за 56-то годишњи период утврдили да се суша јавила у 14 година, да су три године биле са вишком падавина, а да се највећи број година може сматрати за нормалне године, али са значајним одступањима од просечних вредности.

Приноси кукуруза, у условима пуне агротехнике, у зависности од хибрида и типа земљишта, у нашим условима износе од 10 до 15 t·ha<sup>-1</sup> (*Драговић и сар,*

2006). Међутим, просечни приноси у нашој земљи знатно су нижи, као последица суше, односно недостатка падавина и њиховог неравномерног распореда. (Кресовић и сар., 2003; Републички завод за статистику).

Бошњак (2001) указује да су ретке године које имају довољну количину падавина и њихов повољан распоред за задовољење потреба гајених усева. Анализирајући десетогодишњи период констатовано је да су количине и распоред падавина врло неуједначени, односно да се у летњем периоду крећу од 68 до 329 mm, у вегетационој сезони од 149 до 510 mm, док је варирање на годишњем нивоу у распону од 396 до 791mm, при чему су приноси кукуруза, по годинама, варирали саобразно количинама и распореду падавина. Аутор рада наводи да су мере ублажавања суше: генетика оплемењивања, селекција, рејонизација хибрида и агротехничких мера. Ове мере се могу сматрати алтернативним, чија примена ће имати различит ефекат, у зависности од времена појаве, интензитета и дужине периода у коме је суша трајала, док наводњавање наводи као једину меру којом се проблем може у потпуности превазићи. Међутим, ова констатација би се могла прихватити само под условом да воде за наводњавање има довољно, што није чест случај у аридним и семиаридним пределима.

Драговић и сар. (2008) су на основу истраживања у Доњем Срему констатовали да је умањење приноса зависно од дужине изложености кукуруза стресу. У условима када је кукуруз током вегетације био изложен стресу у трајању од 63 дана умањење приноса је износило 42%, док је код изложености у трајању од 14 дана резултирала умањењем приноса кукуруза од свега 7%.

Према Ковачевићу (2003) углавном постоје два приступа за превазилажење последица суше на пољопривредне културе. Први је стварање отпорних генотипова гајених биљака на сушу, а други побољшање агротехничких мера. Најдоступнија мера за очување воде у земљишту је правовремена и правилна обрада истог, као и уношење у земљиште жетвених остатака и органских ђубрива. Ова мера побољшава водна, физичка и механичка својства земљишта, а самим тим и повећава капацитет истог за лакоприступачном водом биљкама.

Избор хибрида кукуруза, као мера за ублажавање последица суша подразумева генотипове широке адаптивбилне основе, за различите агроколошке рејоне, то јест хибриде прилагодљиве различитим земљишним и климатским

условима (*Reidsma et al., 2009*). Потребне за хибридима кукуруза веће толерантности и адаптабилности на сушу изискују да се део оплемењивачких програма определи у правцу повећања отпорности према суши, као стресном фактору. Стварање хибрида кукуруза отпорних на сушу заснива се на сложеном, мултидисциплинарном приступу, који подразумева комбиновану примену метода класичне селекције и метода молекуларне генетике (*Кравић, 2013*).

Истраживања указују да у условима суше, већу отпорност имају хибриди краће вегетације у поређењу са хибридима са дужим вегетационим периодом, код којих се период дефицита воде поклапа са најкритичнијим фазама, односно са периодом цветања. На основу истраживања у којима су обухваћени хибриди ране, средње и касне вегетације у условима суше, са најмањим умањењем приноса као последицом суше били су хибриди ФАО групе зрења од 300 до 500, што се може објаснити тиме да се појава суше код њих јавља у највећем броју случајева по завршетку фазе оплодње, која је најосетљивија фаза на поменути абиотички стрес (*Стојаковић и сар. (2009)*). Сличне резултате добили су *Кресовић и сар. (2013)*, у петогодишњем испитивању хибрида кукуруза различитих ФАО група зрења (ФАО 400-700) у коме су у условима без наводњавања, односно у сушним условима најбоље приносе остварили хибриди краће вегетације, док су у условима наводњавања у свим годинама проучавања веће приносе остварили хибриди дужег вегетационог периода. Наведена истраживања могу се довести у везу са закључцима до којих је дошао *Reidsma et al., (2009)* да је једна од основних мера адаптације на климатске промене избор хибрида толерантних на сушу и њихова правилна рејонизација.

Међутим, ако се узме у обзир да је у нашим агроколошким условима суша редовна појава, изражена у мањем или већем степену, као и прогноза да ће и у наредним годинама овај ограничавајући абиотички чинилац бити веома актуелан, намеће се потреба за наводњавањем, као једином мером која у потпуности може да отклони његове негативне последице на производњу. Основни задатак наводњавања је да у складу са датим агроколошким условима, уз рационалну употребу воде омогући максимално испољавање генетског потенцијала родности биљака. Наведеној проблематици посвећен је велики број истраживања, а

добијени резултати су разнолики по питању потреба кукуруза за водом, као и ефеката који се постижу наводњавањем.

У свету се наводњава око 270 милиона хектара, што представља 17% од укупних обрадивих површина, са које се обезбеђује 40% до 45% светске хране. (Morison et al., 2008).

*Кресовић и сар.*, (2014) анализом вишегодишњих података дошли су до закључка да наводњавање повећава за 10,75% трошкове производње кукуруза, док профит повећава за 21,4%. Према ауторима овог рада, Србија због суше, само у производњи кукуруза, годишње изгуби преко 120 милиона еура.

Према *Пејућу и сар.*, (2010), у агроколошким условима Војводине, високи и стабилни приноси кукуруза могу се постићи само уз примену наводњавања. Поменути аутори Војводину дефинишу као климатско подручје са променљивим метеоролошким условима, и запажају високу корелативну зависност ( $r = 0,931$ ) између приноса кукуруза и преспелих падавина током августа. Такође, према поменути ауторима, у годинама са довољним количинама и правилним распоредом падавина ефекат наводњавања на повећање приноса кукуруза је врло скроман, док се у изразито сушним годинама принос повећава и до три пута.

С обзиром да се наводњавање може примењивати без икаквих ограничења само у зони чернозема, у којој је производња кукуруза и најраспрострањенија, логично је што је код нас највише проучавања те врсте управо обављено на том типу земљишту. Тако је на пример, *Васић (1983)* закључио да се повољнији водни режим чернозема остварује заливањем из бразда и орошавањем него методом капања или субиригацијом. Супротно наведеном, *Кресовић и сар. (1997)* закључују да на перманентно одржаваном високом нивоу влажности земљишта у плићем делу ризосфере, кукуруз реагује већим приносом у односу на ређа проквашавања дубљих хоризонта. До сличних резултата у својим проучавањима режима наводњавања земљишта под кукурузом дошао је и *Пејућ (1999)*. Такође, веома значајано место у овим проучавањима заузима и предзаливна влажност земљишта. Влажност земљишта до које се може исушивати чернозем, без последица на висину остварених приноса по *Бошњаку (1993)* износи 60-65% од пољског водног капацитета (ПВК), а по *Миливојевићу (1984)* 75% ПВК.

*Драговић и сар. (2012)*, указују да наводњавање повећава принос кукуруза за око 40%, а да повећање у појединим годинама, пре свих, екстремно сушним може да буде до 100% па и више. Поред наведених аутора, велики број аутора, како код нас тако и у свету, бавећи се утицајем наводњавања на принос кукуруза утврдили су линеарну зависност између норми наводњавања и висине остварених приноса (*Миливојевић, 1984; Бошњак, 1996; Zhu et al., 2007; Mengu et al., 2008;*).

Позитивни ефекти наводњавања на принос кукуруза утврђени су у истраживањима великог броја аутора (*Istanbulluoglu, 2002; Payero, 2006; Zhu et al., 2007*).

На светском нивоу пољопривреда се препознаје као један од највећих потрошача воде, а евидентна је све израженија потреба одрживог управљања свим природним ресурсима, па и водним. Истовремено, вода се сматра најчешћим ограничавајућим фактором за остварење високих приноса пољопривредних усева. Све наведено је разлог да је у свету развијен велики број различитих модела за процену приноса усева при производњи у различитим условима снабдевености водом и хранивима.

Резултати добијени применом модела у сагласности су са резултатима добијеним експерименталним истраживањима, што указује на високу поузданост модела (*Matthews et al., 2013; Reidsma et al., 2009; Farahani et al., 2009*). Истраживања указују да модели могу бити у функцији процене приноса у условима оптималног и ограниченог снабдевања биљака водом. Међутим, симулирани приноси нису увек у сагласности са оствареним, из разлога што су у појединим моделима изостављени одређени параметри који битно утичу на принос биљака, а тиме и успешност примењивања неког од њих (*Jamieson et al. 1999*). Поготово недостају податци о утицају агротехничких мера на процену приноса.

За симулацију биомасе и приноса различитих култура, најчешће се примењују модели биљног раста. За симулацију приноса зрна сирка *Gerik et al. (1988)* примењивао је са успехом SORKAM модел биљног раста, док је за симулацију биомасе и приноса сунцокрета у медитеранским условима *Тодоровић (2009)* користио моделе који су развијени у Холандији (WOFOST, SWAP и MARS). За симулацију приноса кукуруза и пшенице RZWQM модел (Root Zone



Water quakity Model) и Ceres модел коришћени су у већем броју истраживања, а аутори су дошли до закључка да се ови модели успешно могу примењивати (*Yu et al., 2006; Ma et al., 2006*). Такође, за процену приноса кукуруза, односно за симулацију раста и приноса зрна развијен је и MSM модел (Maize Simulation Model) који се показао веома успешним (*Zand Parsa et al., 2006*).

Неки од модела могу да омогуће веома важне информације за развој стратегија за управљање водним ресурсима. При FAO развијен је модел биљног раста (FAO AquaCrop), који је у основи заснован на потрошњи воде од стране биљке, при чему се конверзија транспирације у биомасу дефинише преко параметра продуктивности воде (*Nyakudya u Stroosnijder, 2014*). AquaCrop модел је конципиран тако да га могу користити фармери, менаџери, консултати, односно сви они који имају за циљ процену приноса усева који се гаје у различитим условима. Овај модел је релативно лак за коришћење, али је потребно да корисници буду добри познаваоци односа на релацији земљиште – биљка – вода – атмосфера, с обзиром да се морају обезбедити поуздани подаци о земљишту, карактеристикама биљне врсте, агротехници и клими (*Стричевић и сар., 2011*). Уместо скувих експерименталних истраживања, моделима се може предвидети утицај поједине агротехничке мере, попут густине сетве, недостатка воде или хранива на раст и принос проучаване културе, или ефикасност коришћења воде, као што је потврђено у истраживањима *Nyakudya u Stroosnijder (2014), Heng et al., (2009)*.

Процене пада приноса проузроковане сушом често се дају искуствено, што се може сматрати неприхватљивим. У нашој земљи ратарска производња се највећим делом обавља без наводњавања, а потреба да се процени утицај суше на кукуруз и дуге стратешке ратарске културе је веома изражена. *Стричевић и сар. (2011)* за симулацију приноса и ефикасност коришћења воде за наводњавање (IWUE) применили су FAO AquaCrop модел, за три ратарске културе: кукуруз, сунцокрет и шећерну репу. На основу наведеног истраживања аутори су дошли до закључка да се у условима ограничених водних ресурса, за доношење објективне одлуке о давању предности одређеној култури за наводњавање може користити AquaCrop модел.

Резултати истраживања применом модела указују да је принос у великој мери зависан од примене технологије гајења усева, као и одговарајућих агроеколошких услова, а студија је имала за циљ да идентификује факторе на регионалном нивоу, којима се могу објаснити разлике између остварених и симулираних приноса (*Reidsma et al., 2009*). Наведени аутори, за 15 чланица ЕУ користили су Crop Growth Monitoring System (CGMS) који је у основи WOFOST модел, за симулирање потенцијалног и добијеног приноса кукуруза у условима лимитираних водних ресурса, користећи EUROSTAT и FADN податке. Закључили су да су модели за симулирање утицаја промене климатских фактора на принос поуздани, али су истакли да је утицај технологије гајења у одређеним регионима и даље изазов и дали предлоге да се за различите групе региона узму у обзир специфичности како би се побољшала симулација приноса CGMS моделом.

Веома значајан параметар у наводњавању кукуруза који је неопходно познавати је укупна количина воде коју кукуруз троши на максималну реалну евапотранспирацију током периода вегетације, тзв. „потребу кукуруза за водом“. У литератури се срећу различити подаци, зависно од педоклиматских услова у којима се кукуруз гаји. Реална евапотранспирација (ЕТа) кукуруза, у Минесоти, износи 375 mm (*Morey et al., 1980*), у средње азијском делу Русије 890 mm (*Запорожченко, 1978*), у Тексасу 964 mm (*Eck, 1986*), за умерене, семиаридне и семихумидне услове многи аутори наводе вредности од 480-650 mm (*Запорожченко, 1978*). У условима медитеранске климе у области Адана (Турска) при пуној обезбеђености водом кукуруз троши 677 mm воде (*Yazar et al., 2009*). *Boiazzata et al. (2012)* наводе да у условима семиаридне климе Марока максимална реална евапотранспирација кукуруза се креће од 463 до 478 mm.

У агроеколошким условима подручја Земунског поља, ETRm кукуруза према *Васићу (1983)* варира од 468-535 mm, по *Миливојевићу (1984)* износи 545-642 mm, а за услове Војводине према *Бошњаку (1993)* 460-520 mm, а по *Максимовићевој (1999)* 450-550 mm.

Међутим, са аспекта рационалног заливања није довољно познавати само укупне потребе кукуруза за водом, већ је неопходно ускладити потребе за водом са фазама пораста и развића биљке.

*Вучић (1976)* наводи да су за несметан раст и развој кукуруза у условима Војводине потребе за водом по месецима: април 25 mm, мај 75 mm, јун 90 mm, јул 100 mm, август 95 mm и септембар 40 mm. За исте агроколошке услове *Бошњак (1999)* наводи нешто више вредности април 20 mm, мај 30-37 mm, јун 120-130 mm, јул 110-120 mm, август 100-120 mm и септембар 50-60 mm. *Максимовић (1999)* је у четворогодишњим проучавањима утицаја влажности земљишта на принос кукуруза закључила да су потребе кукуруза за водом по месецима: мај 64 mm, јун 106 mm, јул 121 mm, август 124 mm и септембар 63 mm, с тим да касни хибри потроше и извесну количину воде и током октобра.

*Драговић и сар. (2007)* вишегодишњим проучавањима дошли су до закључка да потрошња воде од стране кукуруза варира у зависности од месеца, а да у априлу износи 1 mm на дан, у мају 1,0 до 2,3 mm, у јуну 4,0 до 4,3 mm, у јулу 3,5-4,0 mm, у августу 3,5-4,0 mm и у септембру 1,8-2,0 mm.

Максимална потрошња воде на евапотранспирацију од стране кукуруза зависно од године износи 4,8-9,9 mm и јавља се крајем јула и почетком августа, што се поклапа са средином критичног периода (*Миливојевић, 1984*). С друге стране *Бошњак (1987)* је закључио да максимална дневна евапотрнспирација кукуруза износи 5-7 mm и јавља се у периоду метличења и траје до завршетка оплодње. Исти аутор наводи да је просечна дневна евапотранспирација током вегетационог периода кукуруза 3,0-3,5 mm.

*Кресовић и сар., (2014)* анализирајући промене режима температура и падавина у условима Срема, у десетогодишњем периоду, закључили су да је просечан недостатак влаге за несметан раст и развој кукуруза у јуну 48 mm, у јулу 98 mm и августу 88 mm.

На основу великог броја истраживања која се односе на захтеве кукуруза за водом може се констатовати да су они различити у зависности су од климатских услова, фазе развића биљке, физичких особина земљишта и његове продуктивности.

*Geerts et al. (2009)* анализирајући истраживање из различитих региона света указују на предности и недостатке редукованог наводњавања. Резултати многобројних истраживања потврђују да редуковано наводњавање утиче позитивно на ефикасност коришћења воде, без последица по висину остварених

приноса. Такође, резултати истраживања указују да одређене минималне количине влаге током периода вегетације морају бити обезбеђене, као и да последице стреса изазваног сушом умногоме варирају зависно од генотипа као и фенофазе у којој се стрес јавља.

Велики број истраживања има за циљ да дефинише у којој од фаза развића кукуруза од ницања до њеног зрења дефицит воде резултира највећим последицама по принос и компоненте приноса.

Период највеће осетљивости кукуруза на дефицит воде назива се „критичан период“, јер недостатак воде у том периоду резултира највећим негативним последицама по принос, при чему се током каснијих фаза развоја и развића тај недостатак не може надокнадити.

Недостатак воде код биљака условљава појаву физиолошког стреса, што за последицу има смањење већине параметара раста, у зависности од фенофазе у којој се дефицит јавља, као и од дужине његовог трајања. *Пејић и сар. (2011)* су закључили да је кукуруз најосетљивији на стрес изазван недостатком влаге у фенофази оплодње, док је мање осетљив у фази интензивног пораста и фази наливања зрна.

Према *Васићу (1983)*, кукуруз је најосетљивији на недостатак воде у периоду од 8-10 дана пред метличење па до краја цветања, као и у периоду наливања зрна.

*Lamm et al. (2011)* на основу деветогодишњих проучавања у Канзасу, на дубоким, високопродуктивним, иловастим земљиштима закључили су да кукуруз, уколико је изложен водном стресу у раним фазама развоја, односно у фази пре цветања добро подноси дефицит воде, али под условим да исти не сме бити већи од 0,7 до 0,8 од укупно расположиве воде у профилу земљишта, као и да кукуруз у каснијим фазама развоја буде обезбеђен оптималном количином воде. Такође, *Lamm et al. (2009)* анализом података шеснаестогодишњих истраживања, у којима је кукуруз био изложен водном стресу у фази након цветања, указују да је принос кукуруза линеарно повезан са количином коришћења воде од стране усева, а да укупна просеча потрошња воде у том периоду може износити 432 mm. Аутори наводе, да би се избегао ризик смањења прноса, треба обратити пажњу на

последњих 30 и 15 дана до краја вегетације, када потрошња може бити 127 и 50 mm.

*Jasim et al. (2015)* констатовали су да недостатак влаге у фази интензивног пораста кукуруза доводи до бољег укорјењавања биљке, тј. кукуруз је према истраживању имао статистички значајно већу дужину кореновог система, у поређењу са варијантом у којој није био изложен стресним условима. Међутим, изложеност стресу у вегетативној фази је значајно утицала на смањење висине биљке, као и на смањење суве масе кореновог система. Редукованим наводњавањем биљкама се у зону кореновог система контролисано доводи мања количина воде него што је потребно за процес евапотранспирације, што треба да побољша његову адаптивност на стресне услове (*Zegbe-Domínguez et al., 2003*).

У условима Етиопије највеће умањење приноса добијено је излагањем кукуруза суши у периоду оплодње и периоду наливања зрна. Дефицит наводњавања у вегетативној фази није значајно умањио принос у поређењу са кукурузом гајеним у у режиму пуне обезбеђености водом. Ефикасност воде додате наводњавањем (IWUE) повећавала се са смањењем норме наводњавања (*Ayana, 2011*).

*Agyare et al. (2013)* проучавајући утицај стреса услед недостатка влаге закључују да је најосетљивија фаза метличења и свилања. Изложеност кукуруза стресу у наведеној фази у условима Гане умањила је принос зрна до 27%.

У јужној Шпанији принос кукуруза је био нижи за 17%, а такође су редуковани и број клипова по биљци, као и маса 1000 зрна у условима редукације воде, која је трајала 3-5 недеља почевши 2-3 недеље пре појаве свиле (*Aguilar et al., 2007*).

*El-Kheir et al. (2007)*, у агроеколошким условима Египта, проучавајући утицај дефицита наводњавања кукуруза по појединим фенофазама развића, констатовали су да изостављање једног наводњавања у фенофази оплодње умањује принос за 27,9%, док изостављање једног наводњавања у фенофази наливања зрна редукује принос за 35,5% у односу на гајење кукуруза при оптималном снабдевању водом.

*Eck (1986)* је проучавањима у Сједињеним Америчким Државама установио да изложеност кукуруза недостатку воде у периоду од 4 недеље, у фази

интензивног пораста, утиче на умањење броја листова и висине стабла, као и приноса клипа, док у фази наливања зрна битно утиче само на смање приноса клипа. Исти аутор констатује да услед редукције наводњавања у фази вегетативног пораста, као и фази наливања зрна није дошло до значајнијег повећања ефикасности кориштења воде.

Проучавањем утицаја редукованог наводњавања на принос кукуруза применом субиригације у условима медитеранске климе, у североисточној Шпанији, *Farre u Faci (2009)* дошли су до закључака да је кукуруз најосетљивији на дефицит воде у фази оплодње, када је редукција приноса износила 35%. Такође, исти аутори дошли су и до закључка да је при заливању кукуруза у фенофази оплодње ефикасност коришћењем воде додате наводњавањем (IWUE) била највећа.

*Kuscu (2013)* је на основу истраживања у суб-хумидним условима Турске, у области Мармара, закључио је да се принос зрна, као и принос суве материје повећавао са количином додате воде наводњавањем. Свако редуковано наводњавање је умањивало принос зрна. У условима ограниченог располагања водом за наводњавање, боље је редукцију спровести у фенофази наливања зрна док треба избегавати редуковано наводњавање у фенофази оплодње.

Очување воде, као ограниченог природног ресурса намеће потребу истраживања у правцу проналажења различитих система и мера којима се вода рационално користи, повећава ефикасност њеног коришћења, као и продуктивност исте (*FAO 2002*).

Пољопривреда је највећи потрошач слатке воде (*Evans u Sadler, 2008*), при чему постоје мишљења да се вода, иако све више постаје ограничавајући ресурс, неефикасно троши у пољопривреди (*Hsiao et al., 2007*). Наведено су разлози да су у последњој деценији XX као и почетком XXI века веома актуелна проучавања на тему контролисаног редукованог наводњавања, а јавила су се и као последица глобалних климатских промена. У већем делу света дошло је до смањења резерви расположиве воде за наводњавање, а с друге стране потреба за храном из године у годину се повећава што указује да ће се у будућности производња хране одвијати у условима већег или мањег дефицита воде, а неминовно води ка рационалнијем газдовању поменутиим ресурсима (*Fereres, 2003*).

У пољопривредној производњи истраживања указују да је један од начина смањења негативног утицаја суше, као и уштеде воде примена редукованог наводњавања које има за циљ повећање ефикасности коришћења воде и добијање оптималних приноса (*Topcu et al., 2007*).

У условима лимитиране обезбеђености водом, циљ наводњавања није постизање максималних, већ оптималних приноса (*Стричевић, 2007*). Стратегија примене редукованог наводњавања заснива се на планском излагању усева одређеном нивоу стреса изазваним недостатком воде, што резултира уштедом воде, повећањем ефикасности њеног коришћења, али и контролисаним смањењем приноса (*English и Raja, 1996; Pereira et al., 2002*). Суштински, примена редукованог наводњавања има за циљ да изазове адаптивне реакције биљака на сушу, при чему оне повећавају ефикасност коришћења воде (*Савић, 2008*).

Смањене резерве воде у Небраски и другим деловима Велике Равнице САД-а довеле су до нужне примене редукованог наводњавања. У таквим условима најбољи резултати су добијени наводњавањем кукуруза током прве половине августа, што се поклапа са фазом оплодње и почетком фазе наливања зрна (*Payero et al., 2009*).

Редукован режим наводњавања кукуруза у климатским условима североисточне Шпаније на иловастим земљиштима имао је за последицу највеће умањење приноса зрна, биомасе и жетвеног индекса, када је заливање изостављено у фази полинације (*Farre и Faci, 2009*). С друге стране, исти аутори су закључили да је ефикасност коришћења воде (IWUE) највећа кад се кукуруз залива у фази оплодње.

Семиаридни услови североистока Кине, услед наглог смањења водних ресурса захтевају хитну примену редукованог наводњавања. Регулисаним дефицитом наводњавања кукуруза бољи резултати су добијени када је исти био примењен у раним фазама развоја (*Kang et al., 2000*).

*Beigzadeh et al. (2013)* су у Ирану, у провинцији Курасан проучавали утицај наводњавања у условима када је биљка била у потпуности обезбеђена водом и два режима редукованог наводњавања, са 80% и 60% од укупних потреба биљке за водом. Испитивање је обухватило утицај наведених режима наводњавања на принос и компоненте приноса хибрида кукуруза различите

дужине вегетације, односно пуне, средње и ране групе зрења. На основу остварених резултата констатовано је, да су при режиму пуног наводњавања најбољи принос остварили хибриди најдуже вегетације, док су у условима редукованог наводњавања најбоље резултате остварили хибриди средње групе зрења. Редуковано наводњавање за 20% резултирало је умањењем приноса кукуруза у просеку за 21,6%, а редуковано наводњавање за 40% имало је за резултат умањење приноса зрна од 40,4%. У обе варијанте редукованог наводњавања констатоване су ниже вредности основних компоненти приноса (број редова зрна на клипу, број зрна у реду и маса 1000 зрна) у односу на режим у коме је биљка у потпуности била обезбеђена водом.

*Fereres u Soriano (2007)* анализирајући дефицит наводњавања у условима смањене обезбеђености водним ресурсима, у аридним и семиаридним климатским условима, дошли су до закључака да се контролисаним редукованим наводњавањем, не повећава само продуктивност коришћења воде, већ и зарада фармера. Према истим ауторима, у поменутих климатским условима у већини случајева, може се обезбедити релативно висок ниво воде (60-100%) гајеним усевама у односу на њихове потребе.

Проучавајући различите режиме заливања у суб-хумидним условима Турске, зависно од укупне расположиве воде у дубини профила земљишта 0-90 cm заливањем сваких седам дана током летњих месеци *Kuscu (2013)* је добио највише приносе зрна кукуруза у варијанти где је снабдевеност водом била 100%. Свака примена воде преко наведене, као и сви редуковани режими заливања значајно су умањили приносе. За разлику од приноса, највећа укупна ефикасност кориштења воде (WUE) као и ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) била је у варијанти када је дефицит воде износио 25%, то јест када се налазило 75% укупне расположиве воде у посматраном профили земљишта. Према овом аутору, поменута варијанта редукованог наводњавања је веома значајна код планирања заливања у подручјима са ограниченим водним ресурсима.

*Karasu et al. (2015)* је проучавајући различите режиме наводњавања у односу на количину воде измерену у Пан-евапориметру у области Мармара у Турској, закључио да се са повећањем воде додате наводњавањем повећавао и



принос кукуруза. Највиши принос остварен је режимом наводњавања увећаним за коефицијент 1,25 у односу на измерену количину воде у ПАН-евапориметру. За разлику од приноса, коефицијент ефикасности коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) се линеарно смањивао са повећањем норме наводњавања.

*Couto et al. (2013)* су у области Леон у Шпанији проучавали утицај благог дефицита наводњавања (смањење од 20% од укупних потреба за водом) на принос кукуруза, као и утицај два метода наводњавања - орошавањем и кап по кап. Поређењем наводњавања капањем и орошавањем нису добијене значење разлике, а најбољи принос остварио је третман у коме су латерали били постављени у сваком другом реду, при редукованом наводњавању 80% од укупних потреба кукуруза за водом. Ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) била је већа при примени наводњавања капањем, што је поготову било изражено применом редукованог наводњавања. Резултати истраживања указују да у условима високих трошкова енергије, наводњавање капањем има предности у односу на друге начине наводњавања и да би у развоју стратегије наводњавања требало узети у обзир ову чуњеницу.

Према истраживањима *Huang et al. (2002)* изостављање заливања у условима ограниченог располагања водним ресурсима, у фазама развића после оплодње, није значајно утицало на умањење приноса зрна кукуруза. Коефицијент ефикасности коришћења воде је знатно нижи код изостављања заливања током периода интензивног пораста кукуруза у поређењу са редукованим наводњавањем у фази наливања зрна, или пак услова у којима је биљка у потпуности била обезбеђена водом. Коефицијент ефикасности коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) више се разликовао у зависности да ли је година била са више или мање падавина, него између третмана заливања у оквиру једне календарске године.

*Стричевић и сар. (2011)* констатовали су да у условима континенталне климе черноземне зоне Војводине, ефикасност коришћења воде наводњавања (IWUE) код кукуруза оправдава примену истог. Посебно је овај ефекат изражен у сушним годинама.

Иако су највиши приноси остварени у условима потпуне обезбеђености кукуруза водом, највећа ефикасност коришћења воде додате наводњавањем

(IWUE) била је код средњег и ниског, до средњег нивоа обезбеђености кукуруза водом (*Kang et al., 2000*). Актуелна проучавања контролисаног редукованог наводњавања, између осталог, имају задатак и да повећају ефикасност коришћења воде од стране биљке додате наводњавањем.

Када је реч о односу реалне евапотранспирације (ЕТа) и референтне евапотранспирације (ЕТо) и ефикасности коришћења воде наводњавања (IWUE) са стране кукуруза у условима Турске најбољи резултат је остварен односом  $ERa:ETo=1:1$  и износио је  $2,3-3,52 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (*Dagdelen et al., 2006*). За разлику од њега *Al-Kasai (2003)* је највишу ефикасност коришћења воде (WUE) добио у односу  $ER:ETo=1:0,8$  до  $1:1$  при густинама гајења кукуруза  $69\ 000 \text{ биљ}\cdot\text{ha}^{-1}$  односно  $81\ 000 \text{ биљ}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

*Barbieri et al. (2012)* гајењем кукуруза при различитом међуредном растојању за агроеколошке услове Аргентине, добили су значајно боље резултате ефикасности коришћења воде (WUE) при суженом међуредном растојању у условима природне обезбеђености земљишта водом, док у условима наводњавања није било значајних разлика.

У агроколишким условима Србије постиже се веома добра ефикасност коришћења воде од стране кукуруза и иста у условима наводњавања износи  $2,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , док се у условима природног водног режима, зависно од количине и распореда падавина креће од  $1,4$  до  $2,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (*Трифунковић и сар., 2014*).

У сличним климатским условима као што су у Србији, ефикасност коришћења воде од стране кукуруза је веома добра и у неким земљама ЕУ, без обзира дали је иста пореклом од падавина или од наводњавања. Тако у Грчкој износи  $2,41 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (*Karamanos et al., 2005*), у Италији  $1,75 - 2,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (*Тодоровић и сар., 2005*), а у Румунији у области близу Дунава  $2,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (*Stan et al., 1997*).

Проучавајући утицај међуредног растојања и густине сетве кукуруза у условима наводњавања на принос и на компоненте приноса, *Gobeze et al. (2012)* констатовали су да је међуредно растојање од  $22,5 \text{ cm}$  и густина од  $100.000$  биљака по хектару дало највећи принос биомасе кукуруза. Највиши принос, као и жетвени индекс и највећа ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) остварена је при међународном растојању од  $45 \text{ cm}$  и густини биљака  $100.000$  биљака по хектару. Број зрна у реду, број зрна по клипу и дужина клипа

имали су највише вредности при највећим међуредном растојању, то јест растојању од 90 см и најнижој проучаваној густини сетве од 50000 биљака по хектару.

Проучавајући утицај генотипова и густине сетве на висину приноса кукуруза у наводњавању, на чернозему, у климатским условима Земунског поља *Кресовић и сар. (2011)* дошли су до закључка да је оптимална густина за хибриде ФАО групе зрења 500, 84000 биљака по хектару, док је за хибриде дуге вегетације ФАО групе зрења 700 оптимална густина гајења 72000 биљака по хектару.

*Karrasahin (2014)* је проучавао утицај различитих режима наводњавања кукуруза и различитих густина сетве на принос сило масе кукуруза и компоненте приноса, у агроеколошким условима Ескипазар-Карабука у Турској. Проучавана су три начина наводњавања: наводњавање капањем, подповршинско наводњавање капањем и подповршинско наводњавање капиларним цевима. Применом потповршинског заливања методом кап по кап може се сачувати влага у земљишту до 7%, а применом капиларних цеви до 11% , што је веома значајно узети у обзир приликом развоја подповршинског наводњавања, као и приликом планирања управљања водама у условима ограничених водних ресурса. Такође, овај аутор је констатовао да је принос силаже био највиши при највећим густинама гајења, 120000 и 140000 биљака по хектару.

Проучавајући утицај дефицита наводњавања и густине сетве (*Al-Kaisi et al., 2003*) у Јуми, у Колораду на принос зрна кукуруза, закључили су да се са повећањем степена обезбеђености усева водом може повећати и потенцијално гајена густина кукуруза без последица по принос зрна. Према овим ауторима оптимална густина кукуруза у повољном водном режиму је 69000 биљ. $\cdot$ ха<sup>-1</sup>. Сличне закључке су извели и *Karlen et al. (1985)* који су добили високо значајну зависност између гајене густине и наводњавања на принос зрна кукуруза.

У саванама Нигерије *Sani et al., (2008)* добили су највиши принос зрна кукуруза при највећој испитиваној густини сетве (66000 биљ. $\cdot$ ха<sup>-1</sup>) и пуној обезбеђености усева водом. У условима редукованог наводњавања са повећањем дефицита влажности земљишта, бољи приноси зрна кукуруза добијени су при нижим густинама гајења.

Повећањем густине усева повећава се лисна површина биљака па самим

тим и потрошња воде (*Tetio-Kagho u Gardner, 1988*). Коришћење високих и робусних популација у условима лимитиране обезбеђености кукуруза водом повећава се ризик од појаве стреса, а самим тим и ризик од умањења приноса (*Westgate, 1994*)

Иако се ефикасност коришћења воде (WUE) са повећањем густине усева повећава, мали дефицит влажности уколико се деси током критичног периода, може значајно умањити принос зрна кукуруза. Због тога је веома значајно одредити оптималну густину кукуруза за услове у којима се гаји. Ту се првенствено мисли на земљишне услове, плувиметријски и режим температура (*Sanagoi, 2000*).

## 5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

### 5.1. Поставка огледа

Четворогодишња проучавања режима наводњавања кукуруза, обављена су у периоду од 2002. до 2005. године на експерименталном пољу за наводњавање Института за кукуруз “Земун Поље”. Експерименталне парцеле величине 44,8 m<sup>2</sup> различитих варијанти истраживања биле су постављене по шеми случајног блок распореда у четири понављања (Сл.1). Величина сваке обрачунске парцеле, била је 11,2 m<sup>2</sup>.

Гајен је хибрид кукуруза ЗП 677 ФАО 600 групе зрења, у три различите густине:  $G_1=54900$  биљ.·ha<sup>-1</sup>;  $G_2=64900$  биљ.·ha<sup>-1</sup> и  $G_3=75200$  биљ.·ha<sup>-1</sup>.

Предусев кукурузу у свим годинама проучавања, била је озима пшеница. Сетва је обављена ручно средином друге декаде априла у свим годинама експерименталног истраживања, док су све остале мере гајења примењене као и у широкој производњи овог усева. Разлика је била само у режиму наводњавања који се примењивао:

$W_0$ – природни водни режим земљишта (без наводњавања) и

$W_i$  – иригациони водни режим земљишта са четири подтипа условљена различитим нормама заливања на бази међусобног односа реалне ( $E_{Ta}$ ) и референтне евапотранспирације ( $E_{To}$ ):

$W_{i1}$  – варијанта, однос  $E_{Ta} / E_{To} = 0,4:1$

$W_{i2}$  – варијанта, однос  $E_{Ta} / E_{To} = 0,6:1$

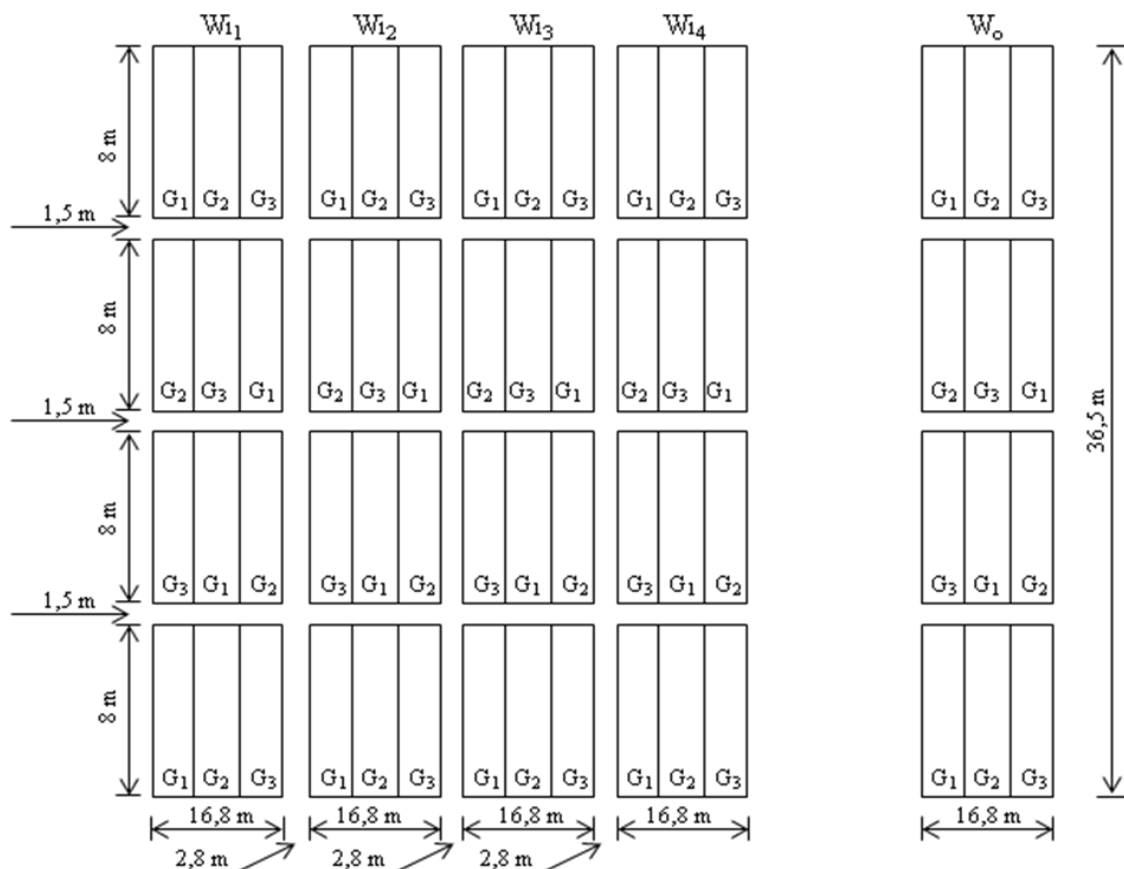
$W_{i3}$  – варијанта, однос  $E_{Ta} / E_{To} = 0,8:1$

$W_{i4}$  – варијанта, однос  $E_{Ta} / E_{To} = 1:1$

Заливање се обављало методом орошавања. Количине воде додате наводњавањем прецизно су мерене водомером за сваку варијанту проучавања.

Заливање је вршено на сваких седам дана, а норма заливања ( $w_i$ ) је условљена односом  $E_{Ta}/E_{To}$ .

Од ницања кукуруза свакодневно је рачунат водни биланс за сваку варијанту заливања посебно. У прорачуну су узете у обзир све падавине, као и вода потрошена на референтну евапотранспирацију. Наводњавањем се интервенисало до нивоа односа  $E_T/E_{T0}$  који је предвиђен за сваку варијанту проучавања.



Сл. 1.- Шематски приказ варијанти експерименталних истраживања

## 5.2. Агро-еколошки услови експерименталног поља

Током експерименталних истраживања кукуруз је егзистирао у условима еко-система лесне терасе Земунског поља. Карактеристике експерименталног поља на коме су обављена проучавања условљене су његовим земљиштем и климом. Од типа земљишта као и климатских услова зависи ниво и врста агротехничких мера које се примењују током гајења, а самим тим и ниво коришћења генетичког потенцијала родности гајеног усева. Што су земљишни и

климатски услови повољнији, утолико су потребе за интервенцијом човека мање и обрнуто.

Са аспекта потреба за наводњавањем сви чиниоци веома сложеног система земљиште-биљка-атмосфера морају се добро анализирати. Земљиште је дефинисано физичким, водним и хемијским особинама, које су мање више стабилне у времену и потребно је да прође дуги низ година да би дошло до њихових промена. Климатски услови су променљиви, а услови раста биљака су директно зависни од метеоролошких услова конкретне године.

Зато је за проучавање климатских услова неопходно анализирати дужи низ година како би се обухватила што већа варирања климе, а у првом реду режима падавина и динамике референтне евапотранспирације експерименталног поља. На основу тих показатеља одређено је ком низу година: влажном, нормалном или сушном, припадају вегетациони периоди кукуруза у годинама проучавања, као и потребе истог за наводњавањем, да би се добијени резултати коректно тумачили.

### **Клима**

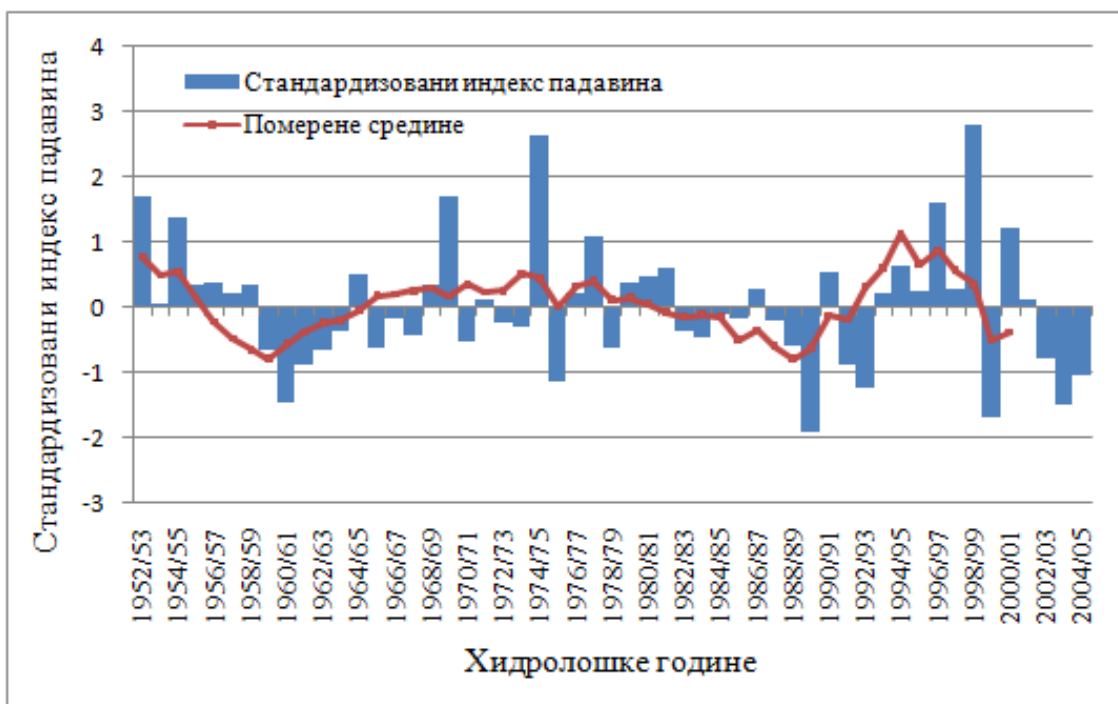
Клима као веома битан фактор пољопривредне производње својим режимом утиче на остварени водни режим земљишта. Од њеног карактера зависи количина воде којом ће биљке располагати током вегетације, а исто тако и количина воде која се из земљишта под усевом губи у атмосферу. Расположива вода првенствено зависи од карактера падавина, то јест од њиховог интензитета и распореда током периода вегетације, док су количине воде које се губе из земљишта евапотранспирацијом условљене аеродинамичким и енергетским стањем приземне атмосфере. Агроеколошки услови Земунског поља су под утицајем континенталне са компонентама средњеевропске и медитеранске климе. Падавинама од свих климатских чинилаца свакако треба посветити највећу пажњу, јер оне обезбеђују воду за раст и развиће гајених усева. Такође, као један од основних елемената водног режима земљишта својим распоредом и количином битно утичу и на режим наводњавања.

Таб. 1. Суме падавина ванвегетационог, вегетационог периода кукуруза и годишње суме падавина, експерименталног поља (mm)

Хидролошке године	Суме ванвегетационог периода кукуруза	Суме вегетационог периода кукуруза	Годишње суме
1	2	3	4
1952/53	352,0	457,5	809,5
1953/54	132,9	466,7	599,6
1954/55	359,6	403,8	763,4
1955/56	277,2	354,1	631,3
1956/57	184,9	450,9	635,8
1957/58	207,2	208,4	415,6
1958/59	257,7	372,1	629,8
1959/60	187,5	333,1	520,6
1960/61	212,2	226,6	438,8
1961/62	257,6	201,9	495,5
1962/63	255,9	264,1	520,0
1963/64	215,2	334,2	549,4
1964/65	334,1	320,4	654,5
1965/66	226,2	298,1	524,3
1966/67	251,4	321,9	573,3
1967/68	233,8	309,5	543,3
1968/69	281,6	352,4	634,0
1969/70	373,9	433,7	807,6
1970/71	215,7	316,7	532,4
1971/72	100,7	504,1	604,8
1972/73	204,6	361,5	566,1
1973/74	164,6	395,0	559,6
1974/75	352,2	593,8	946,0
1975/76	205,7	264,0	469,7
1976/77	258,1	360,0	618,1
1977/78	321,5	399,8	721,3
1978/79	190,3	332,9	523,2
1979/80	267,5	367,7	635,2
1980/81	268,6	381,1	649,7
1981/82	306,1	358,4	664,5
1982/83	226,7	325,6	552,3
1983/84	234,6	306,7	541,3
1984/85	212,3	366,3	578,6
1985/86	271,4	302,2	573,6
1986/87	214,4	410,6	625,0
1987/88	324,0	246,8	570,8
1988/89	135,0	392,6	527,6
1989/90	171,6	228,0	399,6
1990/91	273,8	381,3	655,1
1991/92	258,5	236,6	495,1
1992/93	255,9	207,0	462,9
1993/94	253,2	363,3	616,5
1994/95	230,6	439,1	669,7
1995/96	225,3	394,2	619,5
1996/97	349,6	444,0	793,6
1997/98	309,0	317,0	626,0
1998/99	310,0	664,0	974,0
1999/00	217,0	202,6	419,6
2000/01	231,0	510,6	741,6
2001/02	263,0	344,6	607,6
2002/03	262,0	243,0	505,0
2003/04	179,6	258,6	438,2
2004/05	218,3	262,2	480,5
Климатска норма	246,8	350,8	597,6



Анализом режима падавина за вишегодишњи период (1952/1953-2004/2005) по хидролошким годинама (Таб. 1) у климатским условима Земунског поља, у ванвегетационом периоду износе 246,8 mm (41,3%), а у вегетационом 350,8 mm (58,7%), док је просечна сума за посматрани период 597,6 mm. Према категоризацији суше по методу стандардизованог индекса падавина (SPI), који је иначе развијен за потребе дефинисања и осматрања суше (McKee et al., 1993), хидролошке године током експерименталних проучавања сврставају се у умерено до благо сушне (Граф. 1).



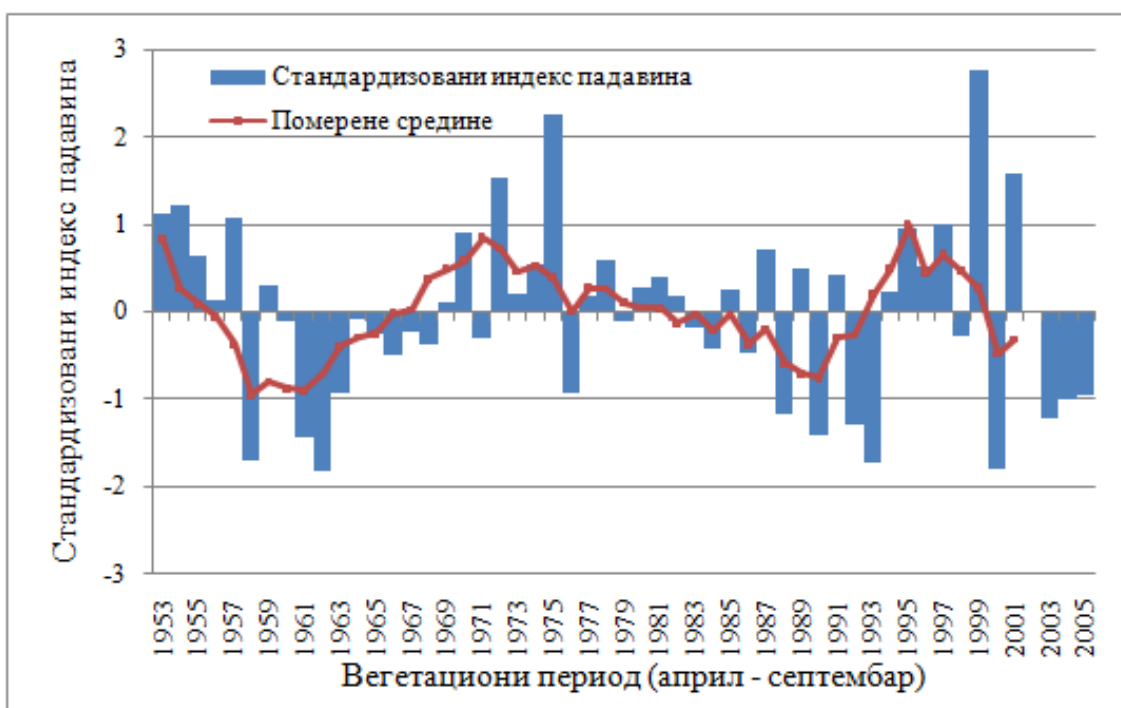
Граф.1. Стандардизовани индекс суше хидролошких година (SPI) за Земунско поље

Међутим, овај податак није довољан за оцену обезбеђености кукуруза падавинама, с обзиром да кључну улогу у развоју биљке имају падавине вегетационог периода, а са гледишта примене наводњавања, директно утичу на остварени водни режим.

Зато је са аспекта потребе за наводњавањем неопходно одредити учесталост сушних година, интензитет суше као и утицај суше на смањење приноса (Стричевић и сар., 2007а).

Просечна вишегодишња вредност падавина током периода вегетације износи 350,8 mm и варира у интервалу од 201,9 mm до 664,0 mm (Таб.2).

Правилан закључак о нивоу обезбеђености усева падавинама у годинама експерименталних проучавања може се донети упоређивањем просечне висине падавина многогодишњег периода са сумама падавина вегетационих периода година у којима су обављена проучавања (Граф. 2). Вегетациони период 2002. године сврстава се у нормално влажне, 2003. у умерено сушне, док су вегетациони периоди 2004. и 2005. били благо сушни. У три од четири године проучавања SPI је био око минус један, а то је сигуран показатељ да је интензитет суше био значајно изражен.



Граф.2. Стандардизовани индекс суше (SPI) вегетационих периода за Земунско поље

Такође, линија померених средина, која показује тренд кретања вегетационих падавина указује на то да су године експерименталних истраживања припадале сушном периоду.

Таб. 2. Месечне суме и суме падавина вегетационог периода кукуруза (mm)

Вегетациони период	М е с е ц и						Сума
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1	2	3	4	5	6	7	8
1953.	33,7	69,6	160,9	96,6	80,3	16,4	457,5
1954.	61,3	111,9	107,6	26,6	98,2	61,1	466,7
1955.	53,3	45,4	48,3	98,1	77,8	80,9	403,8
1956.	38,4	72,4	206,7	11,4	15,3	9,9	354,1
1957.	33,7	171,1	29,1	137,1	19,2	60,7	450,9
1958.	87,4	21,9	49,3	14,9	26,5	8,4	208,4
1959.	43,9	117,0	59,5	82,3	43,9	25,5	372,1
1960.	36,3	49,6	64,7	85,3	57,0	40,2	333,1
1961.	46,6	108,8	25,6	23,6	18,7	3,3	226,6
1962.	53,3	17,2	53,5	45,5	6,7	25,7	201,9
1963.	44,7	61,3	29,7	51,9	22,0	54,5	264,1
1964.	46,2	54,8	36,5	97,0	22,9	76,8	334,2
1965.	69,1	47,5	86,4	38,9	37,5	41,0	320,4
1966.	19,8	64,8	66,3	96,8	29,6	20,8	298,1
1967.	35,3	60,8	82,8	55,1	6,0	81,9	321,9
1968.	17,7	30,8	29,4	97,6	101,9	32,1	309,5
1969.	34,4	15,5	140,5	86,9	51,3	23,8	352,4
1970.	61,2	97,0	87,9	144,4	39,4	3,8	433,7
1971.	29,6	53,8	53,6	62,3	22,3	95,1	316,7
1972.	67,4	78,0	35,5	124,5	129,8	68,9	504,1
1973.	84,4	43,0	97,2	53,8	56,7	26,4	361,5
1974.	45,7	87,1	77,5	36,2	38,7	109,8	395,0
1975.	30,1	89,9	111,7	129,3	166,4	66,4	593,8
1976.	52,4	20,0	60,5	24,5	43,4	63,2	264,0
1977.	75,2	33,4	40,8	58,6	85,4	66,6	360,0
1978.	33,4	88,0	149,2	28,5	15,8	84,9	399,8
1979.	45,5	60,6	94,5	48,4	66,2	17,7	332,9
1980.	38,8	116,8	88,8	24,6	46,5	52,2	367,7
1981.	61,0	61,3	100,3	12,3	61,3	84,9	381,1
1982.	51,6	7,2	68,1	96,4	126,8	8,3	358,4
1983.	28,8	43,3	108,9	73,3	7,5	63,4	325,6
1984.	18,7	66,5	66,8	60,6	45,3	48,8	306,7
1985.	58,6	28,7	125,7	17,2	126,1	10,0	366,3
1986.	74,9	53,3	84,1	73,2	13,0	3,7	302,2
1987.	57,9	164,4	73,1	62,3	46,3	6,6	410,6
1988.	57,7	17,6	70,8	15,9	26,3	58,5	246,8
1989.	81,6	84,8	123,5	16,0	51,2	35,5	392,6
1990.	63,9	12,7	56,1	39,7	12,0	43,6	228,0
1991.	47,6	80,6	48,6	146,6	31,0	26,9	381,3
1992.	59,7	11,9	37,3	57,9	50,5	19,3	236,6
1993.	13,7	17,8	32,6	53,5	42,0	47,4	207,0
1994.	54,6	43,0	176,8	22,9	47,2	18,8	363,3
1995.	65,1	91,8	98,1	48,6	60,9	74,6	439,1
1996.	44,6	74,3	72,3	29,0	75,3	98,7	394,2
1997.	87,0	51,0	31,0	131,0	113,0	31,0	444,0
1998.	31,0	51,0	62,0	33,0	45,0	95,0	317,0
1999.	71,0	87,0	144,0	265,0	12,0	85,0	664,0
2000.	41,0	38,2	30,6	28,4	7,2	57,2	202,6
2001.	148,8	46,2	168,0	41,8	35,0	70,8	510,6
2002.	54,8	29,4	65,0	34,8	105,2	55,4	344,6
2003.	14,6	34,4	19,0	105,4	26,4	41,2	243,0
2004.	27,2	53,6	27,2	66,4	39,4	44,8	258,6
2005.	28,2	39,6	65,0	44,0	64,0	21,4	262,2
Вегетациона норма	50,2	60,0	77,9	65,2	50,9	46,6	350,8

Узимајући у обзир да су потребе кукуруза за водом током вегетационог периода различите, сума падавина није одлучујући чинилац стабилне производње, већ је неопходно да и распоред истих буде повољан са аспекта задовољења потреба гајеног усева. За најкритичнији период у погледу ефекта изазваног сушом може се сматрати период цветања и оплодне кукуруза (*Пејић и сар., 2009, Aguyare et al., 2013*) и период наливања зрна, то јест период до почетка млечне зрелости кукуруза (*El-Kheir et al., 2007*), што се у нашим климатским условима поклапа календарски са јулом и првом половином августа.

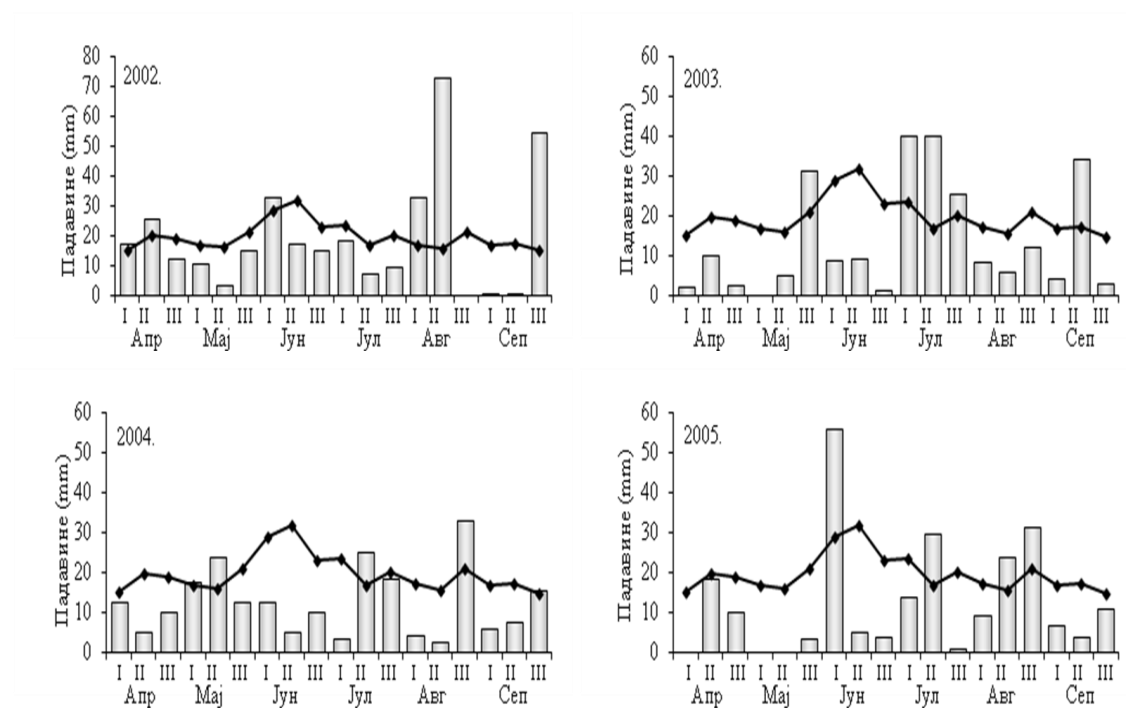
Високи приноси кукуруза у нашим условима гајења могу се очекивати уколико се током летњег периода (јун-август) обезбеди 300-350 mm воденог талоба (*Бошњак, 1999; Максимовић, 1999*).

Таб. 3. Декадне и месечне суме падавина (mm) вегетационог периода кукуруза током трајања експерименталних проучавања

Месеци и декаде	Г о д и н е				Просек 1953- 2005.	
	2002.	2003.	2004.	2005.		
I	2	3	4	5	6	
Април	I	17,2	2,2	12,4	-	14,9
	II	25,4	9,8	4,8	18,3	19,8
	III	12,2	2,6	10,0	9,9	18,9
Месечни просек		54,8	14,6	27,2	28,2	50,2
Мај	I	10,8	-	17,6	-	16,5
	II	3,4	5,2	23,6	-	15,8
	III	15,2	31,2	12,4	3,2	21,0
Месечни просек		29,4	36,4	53,6	39,6	60,2
Јун	I	33,0	8,6	12,4	56,0	28,6
	II	17,0	9,0	4,8	5,2	31,9
	III	15,0	1,4	10,0	3,8	22,9
Месечни просек		65,0	19,0	27,2	65,0	77,9
Јул	I	18,4	40,2	3,2	13,6	23,4
	II	7,0	39,8	24,8	29,4	16,8
	III	9,4	25,4	18,4	1,0	19,9
Месечни просек		34,8	105,4	66,4	44,0	65,2
Август	I	32,6	8,4	4,2	9,0	16,9
	II	72,6	6,0	2,4	23,8	15,3
	III	-	12,0	32,8	31,2	20,9
Месечни просек		105,2	26,4	39,4	64,0	50,9
Септембар	I	0,4	4,2	5,8	6,8	16,6
	II	0,4	34,2	7,6	3,6	17,0
	III	54,6	2,8	15,4	11,0	14,8
Месечни просек		55,4	41,2	44,8	21,4	46,6
Сума вегетационих падавина		344,6	243,0	258,6	262,2	350,8

Највеће суме падавина (Таб. 3) су у периоду мај-јул са максимимом у јуну што је карактеристично за континентални режим падавина.

С обзиром да, средње месечне суме падавина нису довољан показатељ правог режима падавина, јер и поред задовољавајуће количине може доћи до дефицита влаге у земљишту уколико њихов распоред није повољан са аспекта потреба гајеног усева. Због тога, у овом раду анализирани су и декадне вредности падавина вегетационог периода кукуруза у годинама експерименталних проучавања и утврђена су њихова одступања од вредности декадних климатских норми. На графикону бр. 3 уочава се дефицит падавина у односу на вишегодишњи просек који је мање или више изражен током најтоплијег дела године, то јест од друге декаде јуна све до почетка треће декаде августа. Потребне кукуруза за водом у овим месецима су највеће и превазилазе и очекиване падавине, а самим тим и падавине проучаваних година, може се закључити да је примена наводњавања неопходна мера.

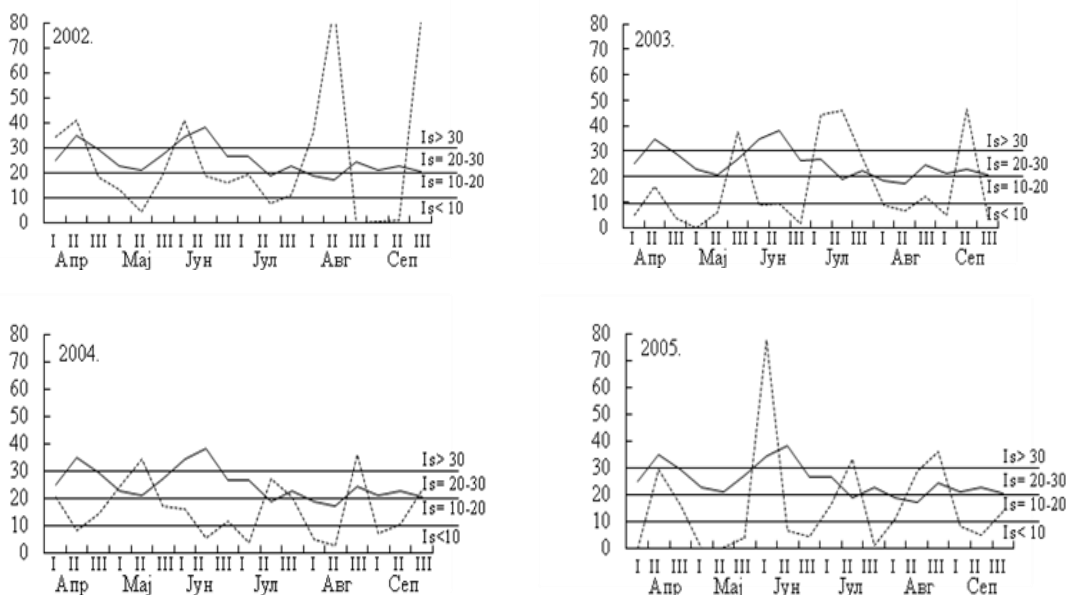


Граф. 3.- Режим декадних падавина вегетационог периода (□) у односу на вишегодишњи просек (—)

Осим падавина, карактер вегетационог периода, односно појединих његових фаза може се добити и помоћу хидротермичког биланса методом *de Martonne-a* прилагођеном потребама наводњавања, свођењем индекса суше на декадни ниво (Миливојевић, 1980). Величина индекса суше поред тога што дефинише карактер климе, указује и на потребу за наводњавањем:

- $I_s > 30$  Хумидни услови (наводњавање није потребно),
- $I_s = 20-30$  Семиаридни услови (наводњавање је потребно),
- $I_s = 10-20$  Аридни услови (наводњавање је неопходно),
- $I_s < 10$  Врло аридни услови (наводњавање је обавезно).

Анализом индекса суше, запажа се да је у свим проучаваним годинама наводњавање било потребно, а у периоду највећих потреба кукуруза за водом и неопходно (Граф. 4).



Граф. 4. Декадне вредности индекса суше вегетационог периода кукуруза (-----) у односу на вишегодишњи просек (—)

Распоред декадних вегетационих падавина варирао је из године у годину, а њихов утицај на водни режим земљишта био је различит.

Кукуруз је пореклом из централне или средње Америке па самим тим има изражене захтеве према температурном режиму током свог развоја. Својом динамиком температура утиче на дужину вегетационог периода усева, па тако и

на дужину трајања појединих фенофаза развоја. Посебно је значајно кретање температура ваздуха у периоду формирања репродуктивних органа, као и наливања зрна кукуруза, што се поклапа са најтоплијим месецима у години (јул и август), а самим тим и критичним периодом овог усева са аспекта снабдевености довољним количинама воде. Најповољније температуре за раст и развиће кукуруза у наведеним фазама развоја треба да се крећу од 24 °C до 26 °C (Bella et al., 2007). За кукурузни појас Америке (Индијана) сума активних температура креће се од 1500 °C до 1700 °C (Nielsen u Thomison, 2002). Према Abendroth et al. (2011) биолошки температурни минимум за кукуруз износи 10 °C док је максимум 30 °C. Код израчунавања суме активних температура од средње дневне температуре одузима се биолошки минимум. Средња дневна температура добија се као просек минималне и максималне дневне температуре, с тим што се код прорачуна све температуре које су ниже од биолошког минимума свде на 10 °C, а температуре више од 30 °C свде на биолошки максимум. Температурне суме израчунате су коришћењем једначине:

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

Где је:  $T_{avg}$  - средња дневна температура ваздуха (°C), добијена као просек између минималне и максималне дневне температуре ваздуха;  $T_b$ - биолошки температурни минимум кукуруза (°C); n- број дана.

Таб. 4. Суме активних температура кукуруза за време извођења огледа (°C)

Година	2002.	2003.	2004.	2005.
Сума температура (°C)	1564,7	1579,3	1336,3	1411,1

Ако посматрамо само податке о температурним сумама може се закључити да су постојали веома повољни услови за раст кукуруза током периода истраживања (Табела 4). Међутим, поређењем суме активних температура кукуруза по проучаваним годинама, запажа се да је вегетациони период 2003. године трајао најкраће, 18 дана у односу на 2004. а чак 23 дана у односу на 2005. годину (Таб. 5 и Таб. 7). Високе температуре током вегетационог периода 2003. године су значајно су утицале на висину оствареног приноса.

Температуре ваздуха током вегетационих периода кукуруза у годинама експерименталног проучавања варирале су од 12,2 °С до 25,0 °С (Таб. 5.). Запажа се да су вегетациони периоди 2002., а поготово 2003. године били знатно топлији од вишегодишњег просека, док су 2004. и 2005. године били на нивоу вишегодишњих вредности.

Таб. 5. Декадне и месечне температуре ваздуха (°С) вегетационог периода кукуруза током тарајања експерименталних проучавања

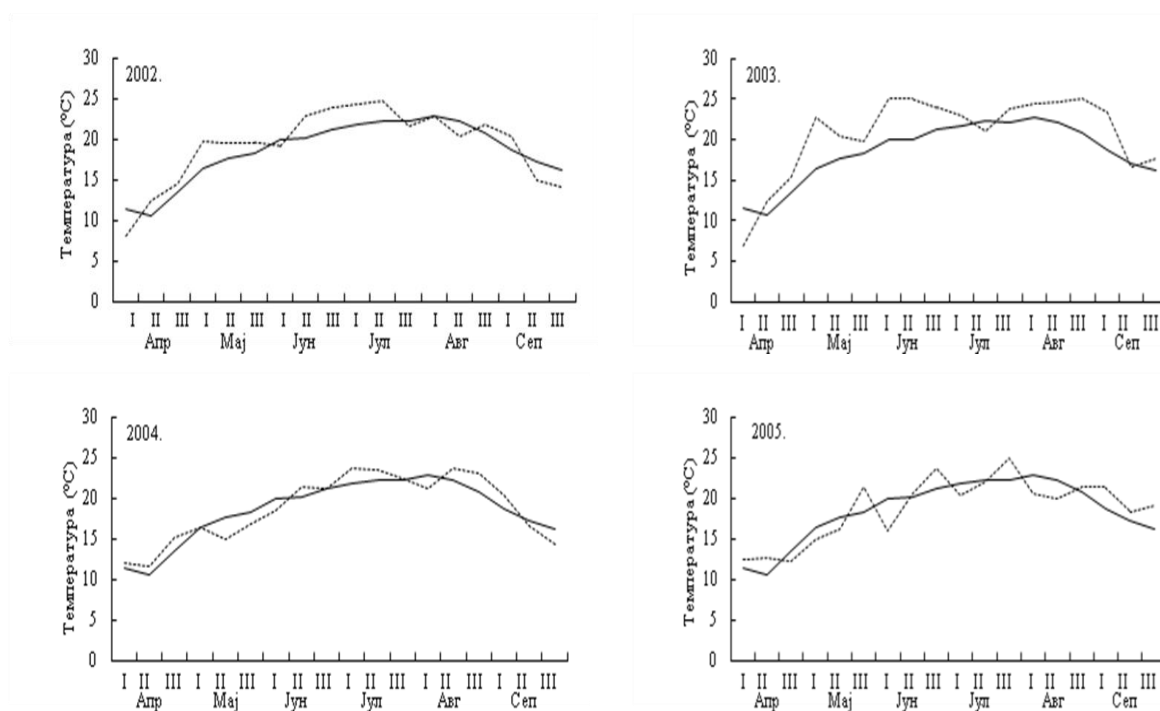
Месеци и декаде	Месеци и декаде				1953-2005.	
	2002.	2003.	2004.	2005.		
1	2	3	4	5	6	
Април	I	8,1	6,9	12,0	12,3	11,4
	II	12,3	12,3	11,7	12,7	10,6
	III	14,4	15,3	15,0	12,2	13,4
Месечни просек		11,6	11,5	12,9	12,4	11,8
Мај	I	19,6	22,8	16,3	14,9	16,3
	II	19,4	20,3	14,8	16,1	17,5
	III	19,5	19,8	16,7	21,4	18,3
Месечни просек		19,5	21,0	16,0	17,5	17,4
Јун	I	19,1	25,0	18,4	16,0	19,9
	II	22,8	25,0	21,5	20,6	20,0
	III	23,9	23,9	21,2	23,7	21,1
Месечни просек		22,0	24,6	20,3	20,1	20,4
Јул	I	24,2	22,9	23,7	20,4	21,7
	II	24,7	21,1	23,5	22,1	22,3
	III	21,5	23,8	22,5	24,9	22,1
Месечни просек		23,5	22,6	23,1	22,4	22,0
Август	I	22,8	24,4	21,2	20,5	22,8
	II	20,2	24,7	23,7	19,9	22,1
	III	21,8	24,9	23,0	21,3	20,7
Месечни просек		21,6	24,6	22,6	20,6	21,9
Септембар	I	20,4	23,4	20,4	21,3	18,6
	II	15,0	16,5	16,5	18,2	17,1
	III	14,1	17,7	14,3	19,1	16,2
Месечни просек		16,5	19,2	17,1	19,5	17,3
Вегетациони просек		19,1	20,6	18,7	18,7	18,5
Сума		3503,3	3774,9	3425,5	3442,2	3385,3

Од периода сетве до ницања просечна температура ваздуха у зависности од године кретала се од 12,2 до 15,3°С што је било довољно за ову фазу вегетационог периода. Вегетативни пораст кукуруза одвијао се при температури од 21,1 до 22,0 °С. У критичном периоду за водом, што се поклапа са оплодњом и наливањем



зрна, кукуруз се развијао при просечним температурама ваздуха од 20,6 °C до 24,6 °C .

Просеци дневних температура у вегетационом периоду 2002., а нарочито у 2003. години били су значајно виши од оптималних, те они припадају категорији топлијих, док вегетациони периоди 2004. и 2005. године припадају категорији оптималних. Посебно је значајно запажање да су у два од четири проучавана периода вегетације температуре ваздуха током критичног периода усева биле значајно више од вишегодишњег просека (Граф. 5.), што је још један показатељ неопходности примене наводњавања.



Граф. 5. Одступање средњих декадних температура ваздуха вегетационог периода кукуруза (-----) у односу на вишегодишњи просек (—)

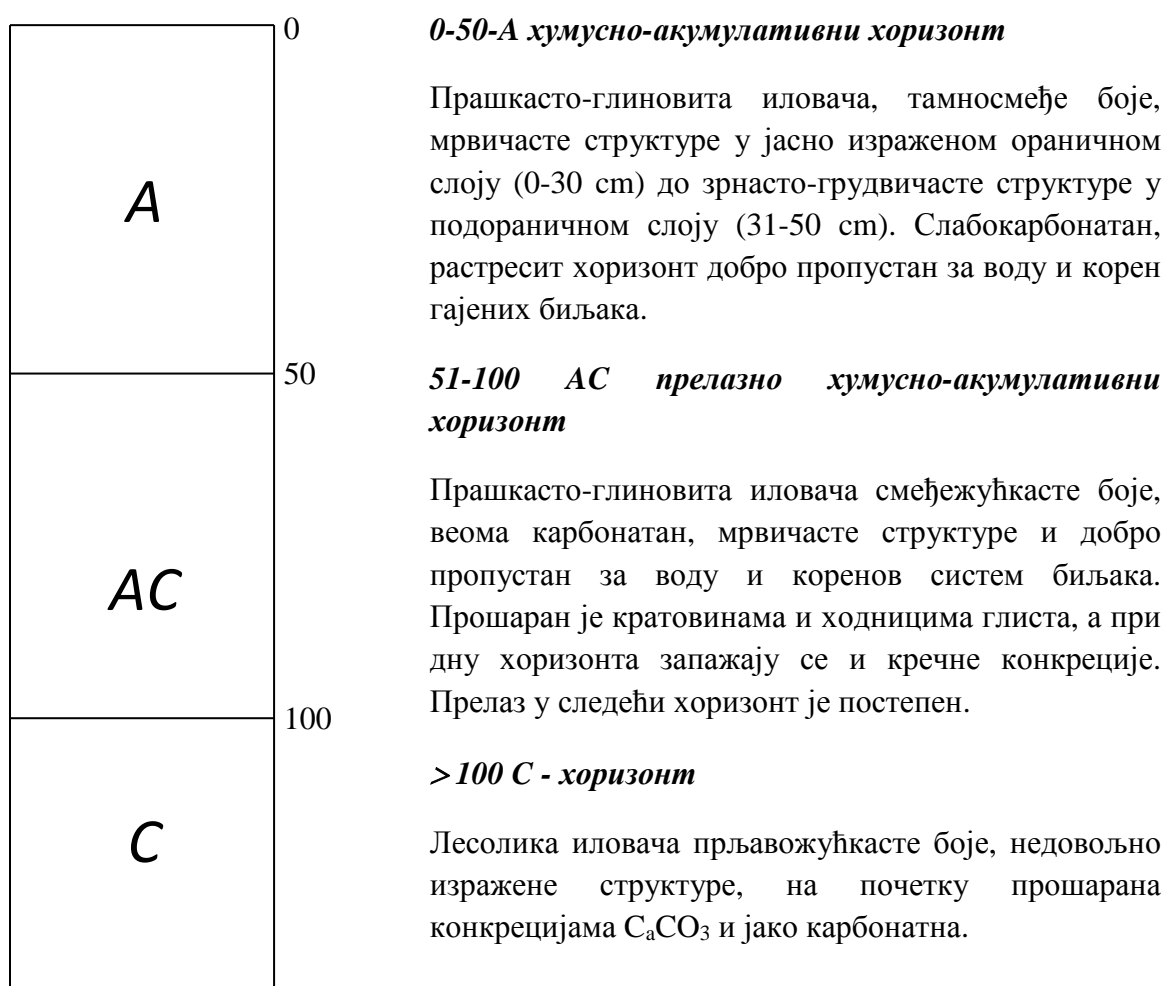
Дугогодишња осматрања показују да средње вредности релативне влажности ваздуха веома мало осцилирају у времену током вегетационог периода. Вишегодишњи просек креће се између 65 и 70%. У годинама експерименталних проучавања вредности релативне влажности ваздуха 2002. и 2003. години биле на нивоу вишегодишњег просека, с тим да су 2003. у два наврата имале просечне декадне вредности ниже од 50%. У вегетационим периодима 2004. и 2005. године релативна влага ваздуха кретала се изнад вишегодишњег просека, што је касније

значајно утицало на то да су у тим годинама забележене ниже вредности референтне евапотранспирације.

Динамика брзине ветра експерименталног поља у проучаваним годинама, као и вишегодишњи просек нам показују да Земунско поље није изложено јаким ветровима. Просечне вишегодишње вредности брзина ветра током периода вегетације износе од  $2,5-3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . У годинама експерименталних проучавања забележене су вредности ниже од просечних и могу се сврстати у категорију слабих ветрова.

## Земљиште

Оглед је постављен у Земунском пољу, на земљишту типа чернозем, који се по боји, структури, садржају хумуса и укупног азота делимично разликује од чернозема Баната и Бачке (Јовановић, 1995). Карактеристике овог земљишта, које припада "сремским черноземима" описано је у педолошким студијама и публикацијама (Миливојевић, 1984; Васић и Милошевић, 1985; Кресовић, 2003), а одликују га следеће морфолошке особине:

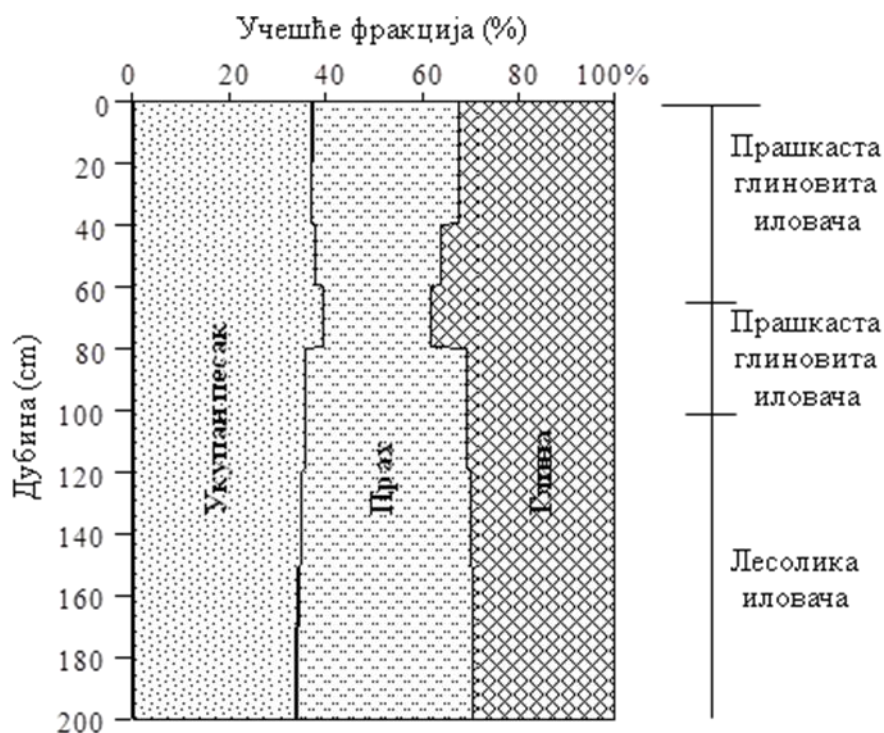


Током огледа, кукуруз је узгајан на наведеном типу земљишта, које је представљало извор хране и воде за усев, а као такво остварило и утицај на природни и иригациони водни режим.

Да би се правилно сагледали добијени резултати у вези са динамиком влажности земљишта, као и оствареном водном режиму земљишта и потрошњи воде од стране усева, а тиме и донели релевантни закључци истраживања, поред морфолошких особина земљишта неопходно је познавање и физичких, водних и хемијских особина земљишта.

Физичке особине земљишта су од значаја за проучавање потрошње воде од стране усева, односно кукуруза, као и прорачуна норми заливања и тумачења водног режима појединих третмана истраживања. Одређене су квантитативне карактеристике гранулометријског састава земљишта, порозност и запреминска маса.

Гранулометријски састав земљишта (Граф. 6) одређен је до дубине од 200 cm, а има директан утицај на запреминску масу земљишта, важног параметра за одређивање садржаја воде у земљишту и индиректан утицај на величину ретенционог капацитета за воду и брзину кретања воде ка кореновом систему кукуруза.

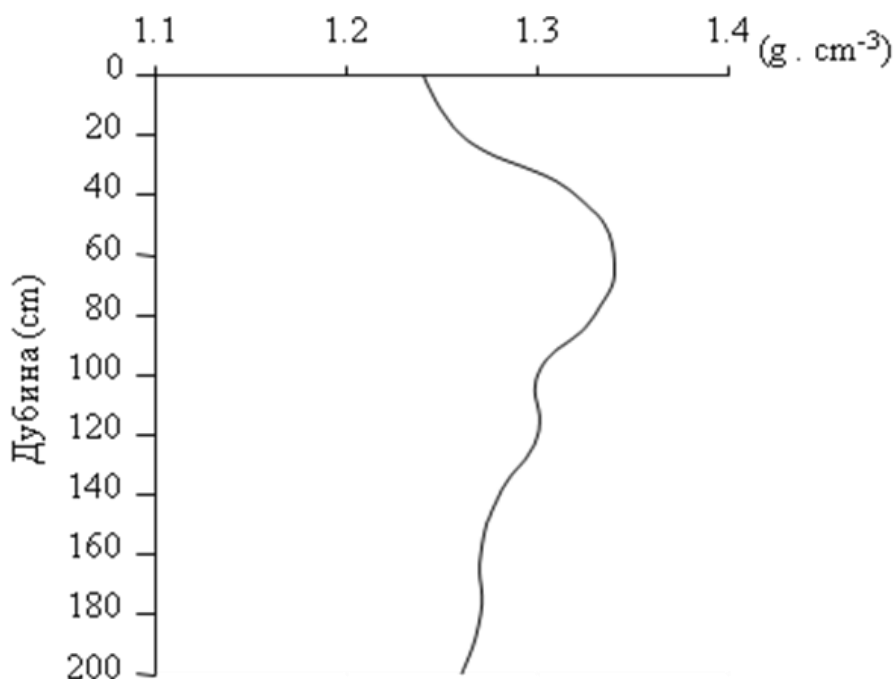


Граф. 6. Гранулометријски састав и текстура чернозема, Земун Поље

Чернозем Земунског поља у орничном слоју има мрвичасту струкутру коју је пожељно сачувати, јер иста омогућује најбоље услове развоја корена, као и

асимилације воде и хранива од стране гајеног усева. Међутим, дугогодишње интензивно наводњавање може да наруши ове повољне структурне агрегате (Гајић и сар., 1997) нарочито у делу профила (0-10 cm). У дубљим деловима профила, наводњавање утиче на повољнији однос структурних макро и микроагрегата (Белић и сар., 2004).

По текстури (USDA, 2006) хоризонти А и АС одговарају прашкасто-глиновитим иловачама и одликују се најинтензивнијом динамиком влажности земљишта и највећом променом запреминске масе (Граф. 7). Запреминска маса представља масу земљишта сушеног на температури од 105 °С у природном стању укључујући порозност (Бошњак, 1997). Иста је веома динамична величина подложна променама поготово у површинским обрадивим слојевима земљишта.

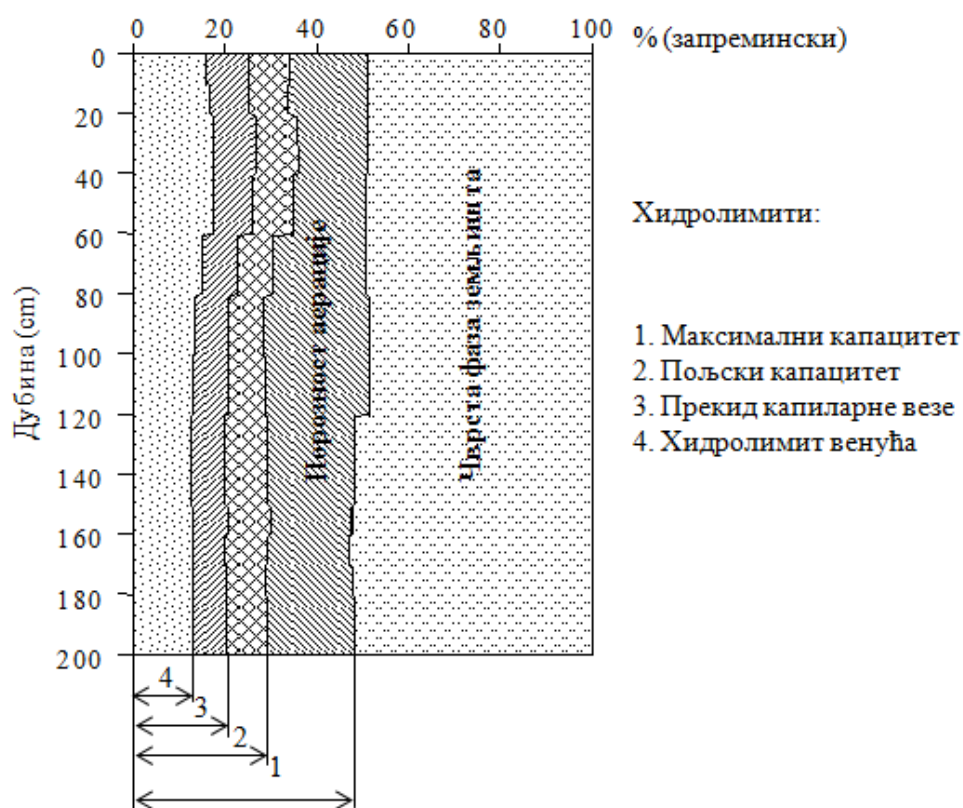


Граф. 7. Запреминска маса чернозема (pb), Експерименталног поља

Гранулометријски састав, садржајем појединих елементарних честица и начином њиховог паковања, остварује и утицај на вредности укупне порозности земљишта, која представља запремину свих шупљина у јединици волумена земљишта (Бошњак и Пејић, 1997), а порозност аерације је део укупне порозности земљишта који обезбеђује ефективну дубину зоне ризосфере ваздухом. Капацитет

земљишта за ваздух представља део укупне порозности земљишта, када је исто засићено водом до нивоа пољског водног капацитета (Хаџић и сар., 1997). Са капацитетом за ваздух од 15 до 20 % у ефективној дубини зоне ризосфере (Граф. 8) чернозем Земунског поља има повољне услове за развој корена.

Поред физичких особина земљишта, на формирање водног режима земљишта утицале су и његове водне особине, које су дефинисане као способност земљишта да упија и проводи воду, да се вода у њему задржава као и да је користе биљке и атмосфера. Све ове особине дефинисане су хидролимитима, капацитетом инфилтрације и хидрауличком проводљивошћу земљишта.

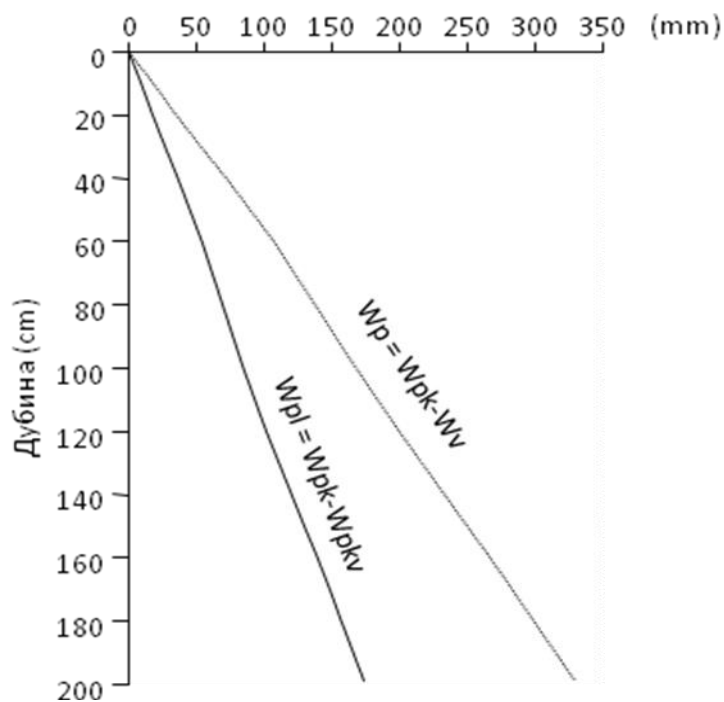


Граф.8. Хидролимити чернозема, Експерименталног поља

Хидролимити (Граф. 8) максималног капацитета ( $W_{mk}$ ), пољског капацитета ( $W_{pk}$ ), прекида капиларне везе ( $W_{pkv}$ ) и хидролит венућа ( $W_{kv}$ ) представљали су основне параметре за дефинисање капацитета гравитационе ( $W_g$ ), укупне приступачне воде ( $W_u$ ), лакоприступачне ( $W_{pl}$ ), тежеприступачне ( $W_{pt}$ ) и неприступачне ( $W_n$ ) воде биљкама (Граф. 9). Познавање вредности наведених хидролимита неопходно је за одређивање норми заливања и режима

наводњавања, као и за приказивање остварених водних режима земљишта, и за тумачење ефеката наводњавања.

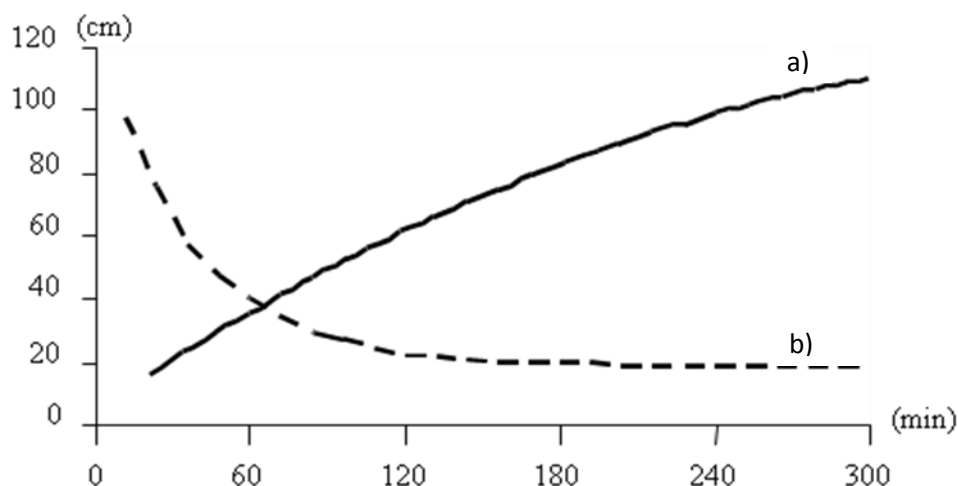
Усвојена је доња граница лакоприступачне воде 0,55 од укупно приступачне воде. Она се мења по слојевима, а њене кумулативне вредности по дубини профила приказане су на графикону 9.



Граф.9. Кумулативне вредности приступачне ( $W_p$ ) и лакоприступачне ( $W_{pl}$ ) воде билькама, чернозема експерименталног поља

При наводњавању или приликом падавина, процес уласка, кретања и акумулирања воде под дејством сила гравитације и матрик потенцијалом незасићеног земљишта, дефинисан је брзином инфилтрације воде у земљишту и инфилтрационим капацитетом (Граф. 10). Даље кретање воде наниже, која непрестално притиче на површину земљишта дефинише се као хидрауличка проводљивост. Капацитет проучаваног земљишта за упијање воде у првом часу износи  $37 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , у другом  $22 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  а у петом  $18 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , што значи да је земљиште високог инфилтрационог капацитета. На основу наведених параметара може се закључити да све падавине интензитета мањег од  $18 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  у потпуности бивају упијене у земљиште, без површинских губитака на отицање и испаравање. Такође, ова вредност инфилтрационог капацитета указује на то да приликом наводњавања интензитет заливања не би смео бити већа већи од  $18 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Са друге стране, висока вредност хидрауличке проводљивости која износи  $850 \text{ mm}\cdot\text{dan}^{-1}$  у ефективној дубини зоне ризосфере омогућује несметано и брзо провођење воде доспеле у земљиште обилним падавинама, у дубље хоризонте што резултира стварањем повољне аерације за нормално функционисање кореновог система биљака.



Граф. 10.- Инфилтрациони капацитет (а) и брзина инфилтрације (б) чернозема, експерименталног поља

Повољне физичке и водне особине чернозема на коме су обављена експериментална проучавања, омогућиле су нормалне услове за несметан развој кукуруза, као и могућност проучавања природног и различитих варијанти иригационог водног режима земљишта.

Са гледишта исхране биљака, као и њихове толеранције на одговарајуће услове познавање хемијских особина земљишта је од великог значаја.

Чернозем је земљиште на коме се без икаквог ограничења могу гајити све биљне врсте. У хумусно-акумулативном хоризонту земљиште је слабокарбонатно ( $< 5\% \text{ CaCO}_3$ ). Повећање креча запажа се у прелазном АС хоризонту, поготово у нижем делу (Таб. 6), а у матичном супстрату налазе се значајне количине креча.

У А хоризонту земљиште је средње обезбеђено хумусом (око 3,4%), а његов садржај се смањује са повећањем дубине. Проучавано земљиште одликује



се неутралном до слабоалкалном реакцијом, при чему се алкалност повећава са дубином профила, као последица испирања креча из А у ниже хоризонте.

На проучаваном земљишту могућност исхране кукуруза у зависности је од укупног садржаја макроелемената, пре свих азота, фосфора и калијума, као и њиховог међусобног односа. Обезбеђеност лакоприступачних облика наведених елемената на проучаваном земљишту указују на примену минералних ђубрива у дугогодишњем периоду.

Таб. 6. Хемијске особине чернозема огледног поља

Хоризонт	Дубина	СаСО <sub>3</sub> (%)	Хумус (%)	рН		Σ N (%)	Лакоприступачни	
				Н <sub>2</sub> О	nKCl		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
							mg/100g	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
A <sub>h</sub>	0-10	3,14	3,19	7,63	6,81	0,21	14,6	31,2
	10-20	3,28	3,17	7,74	6,72	0,21	14,4	32,3
	20-30	3,19	3,22	7,85	6,87	0,21	12,8	30,6
	30-50	4,52	3,06	8,17	7,09	0,17	10,5	28,4
A <sub>h</sub> C	50-70	5,63	2,07	8,13	7,14	0,12	-	-
	70-100	17,14	1,59	8,22	7,23	0,12	-	-
C	100-120	23,42	0,83	8,22	7,23	-	-	-
	120-150	26,35	-	8,39	7,36	-	-	-
	150-180	35,27	-	8,48	7,41	-	-	-
	180-200	36,08	-	8,53	7,47	-	-	-

Чернозем, на дубини од 0-50 cm (0,20%), добро је обезбеђен укупним азотом, средње обезбеђен фосфором (10-14 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) у А хоризонту, док је удео лакоприступачног калијума у чернозему веома велики (>30 mg K<sub>2</sub>O/100 g) у орничном слоју, а садржај свих наведених елемената смањује се са дубином профила земљишта.

Ђубрење земљишта у јесен треба обавити тако да се у исто унесе 1/3 азота, као и целокупна количина фосфора и калијума. Приликом ђубрења земљишта пред основну обраду веома је важно применити формулацију ђубрива са односом N:P:K=1:3:2. Преосталу количину азота (2/3) на земљишту типа чернозем, код гајења кукуруза треба применити пре предсетвене припреме земљишта. У овим проучавањима земљиште је ђубрено у складу са наведеним односом хранива, као и наведеном динамиком примене.

### 5.3. Карактеристике гајеног усева

Са аспекта наводњавања, осим поменутих особина земљишта и климе, веома важно је познавати и особине гајеног усева, од којих преко одговарајућег водног режима земљишта и примењених мера гајења зависе висина и квалитет остварених приноса.

Најважнији параметри биљке у систему земљиште-биљка-атмосфера су: фенофаза пораста, ефективна дубина зоне ризосфере и потрошња воде на евапотранспирацију.

Кукуруз током свог вегетационог периода пролази кроз одређене фазе развоја чија дужина варира у зависности од дужине вегетације гајеног хибрида, као и од суме ефективних температура током периода вегетације. У свакој од тих фаза кукуруз има мање или веће потребе за водом што заједно са падавинама битно утиче на остварени режим наводњавања. Стога, током експерименталних проучавања осматрањем су регистроване према опису *Abendroth et al. (2011)* фазе кроз које је пролазио кукуруз током свог раста и развића: ницање ( $V_e$ ) почетак интензивног пораста ( $V_6$ ), метличење ( $V_t$ ), свилање ( $R_1$ ) и фаза физиолошке зрелости ( $R_6$ ) (Таб. 7). Такође, забележени су и датуми сетве и бербе кукуруза.

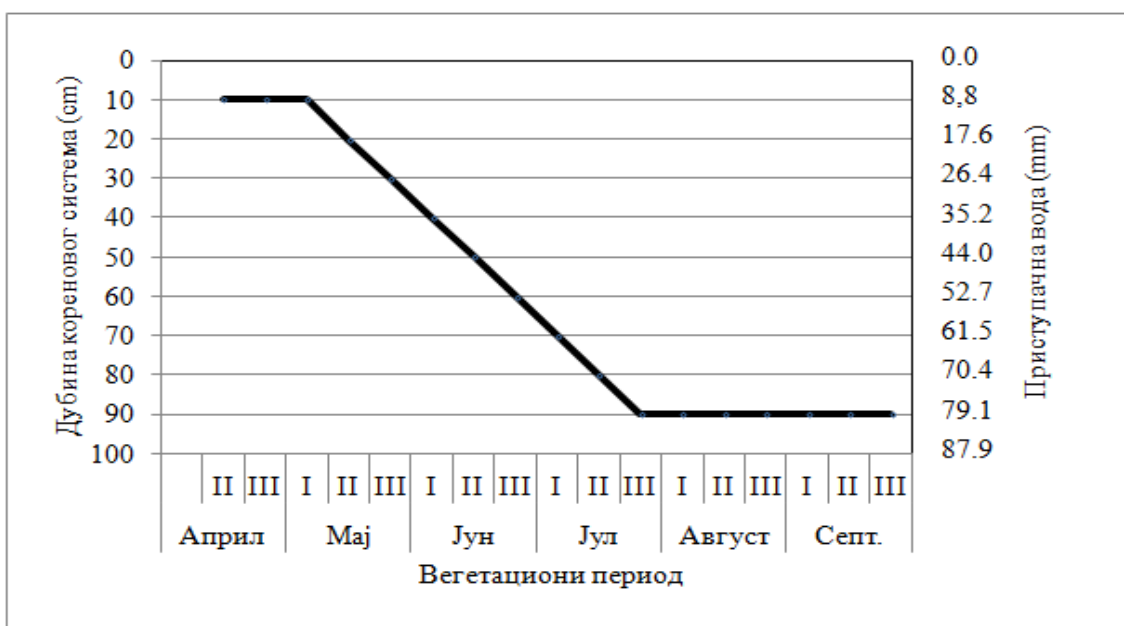
Таб 7. Фенофаза развоја кукуруза током експерименталних истраживања

Фенофаза развића кукуруза	Датум почетка фенофаза кукуруза			
	2002.	2003.	2004.	2005.
Сетва	16.04.	14.04.	15.04.	18.04.
Ничање ( $V_e$ )	29.04.	23.04.	22.04.	03.05.
Почетак интензивног пораста ( $V_6$ )	03.06.	23.05.	01.06.	06.06.
Метличење ( $V_t$ )	06.07.	28.06.	07.07.	11.07.
Свилање ( $R_1$ )	05.07.	01.07.	10.07.	14.07.
Физиолошка зрелост ( $R_6$ )	08.09.	27.08.	14.09.	19.09.
Берба	27.09.	12.09.	23.09.	06.10.

Према *Abendroth et al. (2011)* почетак фенофаза развоја сматра се моменат када је код 50% и више биљака регистрована осматрана појава. Према поменути

ауторима фенофазе кукуруза деле се на вегетативне (од V<sub>1</sub> до V<sub>T</sub>) и репродуктивне (од R<sub>1</sub> до R<sub>6</sub>). У овом раду регистроване су само најважније фенофазе посматрано са аспекта потребе кукуруза за водом.

Приликом интервенције наводњавањем, правило је да се вода доводи у онај део земљишта у коме се налази 80-85% масе кореновог система гајеног усева, то јест у ефективну дубину зоне ризосфере (Миливојевић, 1984). Према Allan et al., (1998) највећи део кореновог система кукуруза налази се на дубини у земљишту до једног метра. Међутим, ефективна дубина зоне ризосфере није стална величина, већ се мења зависно од пораста и фазе развоја кукуруза. У овом раду за одређивање промене дубине кореновог система коришћена је ФАО методологија (Allan et al., 1998) по којој се дубина кореновог система дефинише као променљива величина и креће се од 10 cm у иницијалним фазама развоја, па до 90 cm када је биљка у фази максималног хабитуса (Граф. 11). Такође треба напоменути да кукуруз има веома моћан и добро развијен коренов систем чије се поједине жиле протежу до 1,5 m, па и дубље, што му омогућава да користи воду и из дубљих хоризоната земљишта.



Граф. 11. Ефективна дубина ризосфере кукуруза (cm) и лакоприсупачна вода (Wpl) ефективне дубине зоне ризосфере чернозема

Дубина ефективне зоне ризосфере је истовремено и дубина наводњавања (Миливојевић и Душић, 1988), те она директно утиче на капацитет лакоприсупачне воде биљкама, а самим тим од ње зависе и норме заливања, број

заливања, дужина међузаливног периода и уопште размена масе и енергије у систему земљиште-биљка-атмосфера.

Капацитет лакоприступачне воде биљкама ( $W_{pl}$ ) (Граф. 11) дефинисан је дубином наводњавања и хидролимитима пољског капацитета  $W_{pk}$  и прекида капиларне везе  $W_{pkv}$ , што се може приказати изразом:

$$W_{pl} = W_{pk} - W_{pkv}$$

Истовремено, вредности капацитета лакоприступачне воде ефективне дубине зоне ризосфере представљају и величину норми заливања.

#### 5.4. Примењени водни режим

Утицај климе на потребе биљака за водом утврђује се референтном евапотранспирацијом ( $E_{To}$ ), која се дефинише изгубљеном количином воде из земљишта у атмосферу, у случају када би на њему била у пуном порасту хипотетички густа зелена трава висине 12 cm, а земљиште обезбеђено оптималном количином воде, фиксног површинског стоматалног отпора од  $70 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$  и албедом од 0,23 (Allan et al., 1998). Вредности референтне евапотранспирације ( $E_{To}$ ) чине полазну основу са којом се помоћу евапотранспирационих коефицијената ( $K_c$ ), одређују вредности реалне евапотранспирације гајених усева.

Избор метода за израчунавање референтне евапотранспирације ( $E_{To}$ ), првенствено зависи од расположивих метеоролошких података. Како је метеоролошка станица I реда у Земун Пољу бележила четири претходно описана метеоролошка параметра: температуру ваздуха, осунчаност, влажност ваздуха и брзину ветра, могуће је било применити било који од метода које су констатоване од ФАО као најпоузданије. У нашим проучавањима референтна евапотранспирација ( $E_{To}$ ) дефинисана је коришћењем ФАО Penman-Monteith методе (Allen et al., 1998) која гласи:

$$E_{To} = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$$

Где је:  $E_{To}$ - референтна евапотранспирација ( $\text{mm}\cdot\text{dan}^{-1}$ ),

$R_n$ - нето радијација са површине усева ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dan}^{-1}$ ),

G- енергија утрошена за загревање земљишта ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dan}^{-1}$ ),

T- температура ваздуха мерена на 2 m висине ( $^{\circ}\text{C}$ ),

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

$e_s$ - сатурисани напон водене паре (kPa),

$e_a$ - стварни напон водене паре (kPa),

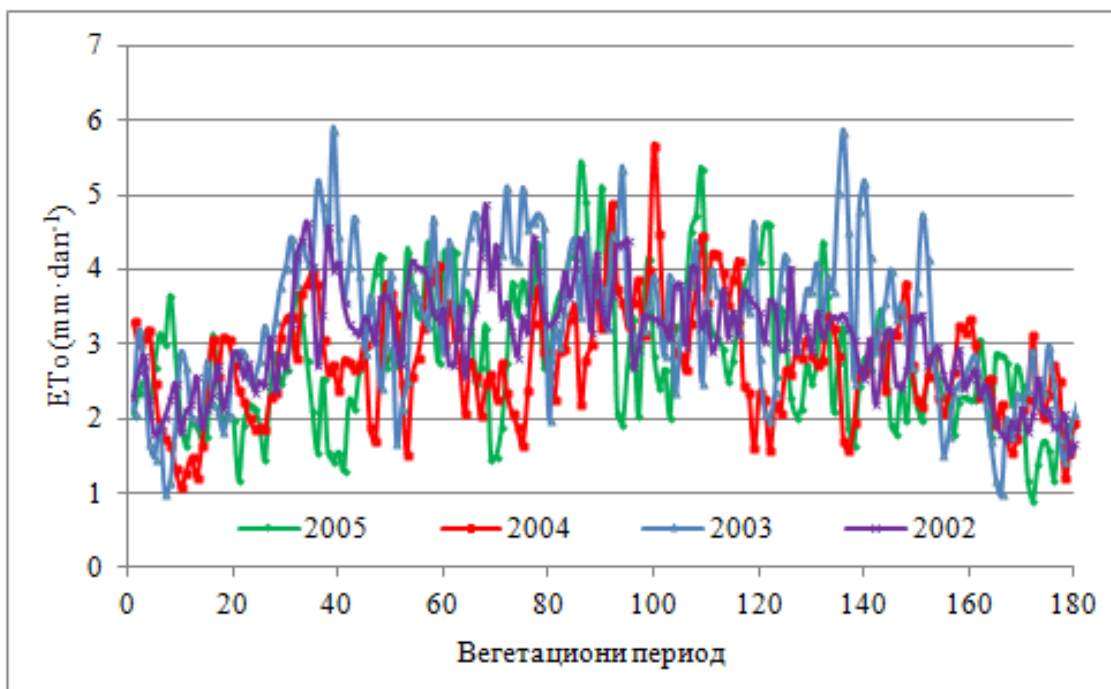
$e_s-e_a$ - дефицит напона водене паре (kPa),

$\Delta$ - нагиб криве напона водене паре ( $\text{kPa}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),

$\gamma$ - психрометријска константа ( $\text{kPa}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

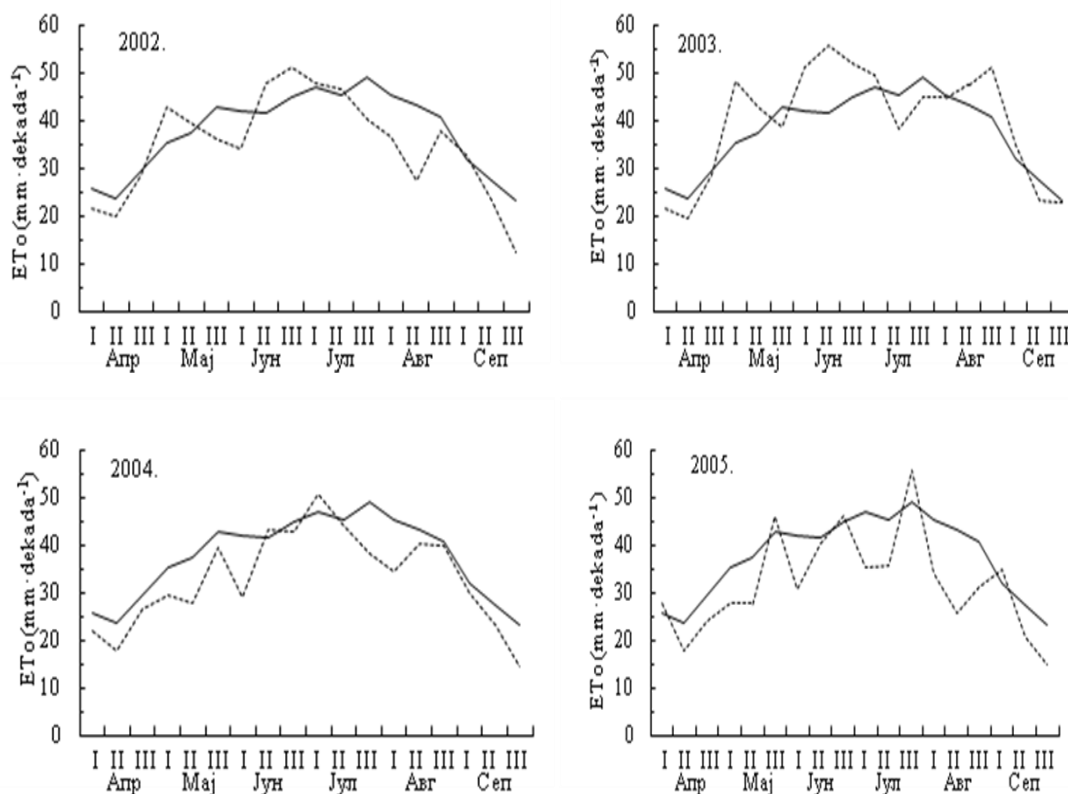
Климатски подаци, максимална и минимална температура ваздуха, брзина ветра, релативна влажност ваздуха, инсолација као и количина падавина мерени су на метеоролошкој станици у Земун Пољу, непосредно поред огледног поља на коме су изведена истраживања.

На графикону бр. 12 приказане су дневне вредности референтне евапотранспирације вегетационих периода година у којима су вршена истраживања. Може се уочити да су највеће вредности  $E_{To}$  забележене током изразито сушне 2003. године, док су најниже биле умерене (просечне) 2005. године.



Граф. 12. Дневне вредности референтне евапотранспирације експерименталног поља током година истраживања

Анализом вишегодишњих података и поређењем истих са вредностима референтне евапотранспирације на декадном нивоу током година експерименталног проучавања (Граф.13) запажа се да су значајно више вредности од просечних забележене током 2003. године. Година 2002. је већим делом вегетационог периода са аспекта висине ЕТо била на нивоу вишегодишњег просека, док су ниже вредности забележене 2004. године, а поготову 2005. године.



Граф. 13. Референтна евапотранспирација вегетационог периода кукуруза (-----) у односу на вишегодишњи просек (—)

Вредности референтне евапотранспирације (ЕТо) заједно са падавинама утицале су на изглед остварених водних режима по варијантама проучавања, као и по годинама истраживања. (Таб. 8) и (Таб. 8а).

Током вегетације кукуруза у 2002. години зависно од варијанте иргационог водног режима заливањем се интервенисало од 3 до 14 пута, док су се норме наводњавања ( $W_i$ ) кретале од 25 mm у варијанти редукованог режима наводњавања 40 % од ЕТо, па до 239 mm варијанти скоро пуног режима наводњавања.

Слични режими наводњавања остварени су и у преосталим годинама истраживања, с том разликом што се мењао број заливања и норме наводњавања од варијанте до варијанте.

Најчешће се интервенисало заливањем у 2004. години (14 пута), док је највећа норма наводњавања забележена у најтоплијој 2003. години (291 mm).

Таб. 8. Режим наводњавања кукуруза по варијантама истраживања у периоду 2002-2004. године

Година проучавања	Ред. број заливања	Датум заливања	Варијанта водног режима			
			W <sub>i1</sub>	W <sub>i2</sub>	W <sub>i3</sub>	W <sub>i4</sub>
			Норма заливања w <sub>i</sub> (mm)			
1	2	3	4	5	6	7
2002	1	07.05.	10	15	20	25
	2	14.05.	-	10	15	20
	3	21.05.	10	15	20	25
	4	28.05.	5	10	15	20
	5	04.06.	-	-	5	10
	6	11.06.	-	10	15	20
	7	24.06.	-	-	-	10
	8	01.07.	-	-	8	14
	9	08.07.	-	-	-	10
	10	15.07.	-	-	20	25
	11	23.07.	-	10	15	20
	12	30.07.	-	5	10	15
	13	06.08.	-	15	20	25
Норма наводњавања W <sub>i</sub> (mm)			25	90	163	239
2003	1	06.05.	10	15	20	25
	2	13.05.	15	20	27	35
	3	20.05.	7	12	18	23
	4	03.06.	-	-	5	15
	5	10.06.	-	5	15	22
	6	17.06.	5	20	22	34
	7	24.06.	-	5	10	15
	8	01.07.	10	17	23	30
	9	29.07.	-	-	-	10
	10	05.08.	-	-	-	10
	11	12.08.	-	-	5	17
	12	19.08.	-	-	25	30
	13	26.08.	-	-	18	25
Норма наводњавања W <sub>i</sub> (mm)			47	94	188	291
2004	1	11.05.	-	-	5	10
	2	25.05.	-	-	-	5
	3	01.06.	-	-	12	20
	4	08.06.	-	5	10	15
	5	15.06.	-	-	5	10
	6	22.06.	-	8	12	17
	7	29.06.	-	5	8	13
	8	06.07.	-	-	10	15
	9	13.07.	-	15	21	27
	10	20.07.	-	7	12	18
	11	27.07.	8	12	18	25
	12	17.08.	-	-	-	10
	13	31.08.	-	-	-	10
	14	09.09.	-	-	5	15
Норма наводњавања W <sub>i</sub> (mm)			8	52	118	210



Таб. 8а. Режим наводњавања кукуруза по варијантама истраживања у 2005.години

Година проучавања	Ред. број заливања	Датум заливања	Варијанта водног режима			
			W <sub>i1</sub>	W <sub>i2</sub>	W <sub>i3</sub>	W <sub>i4</sub>
			Норма заливања w <sub>i</sub> (mm)			
1	2	3	4	5	6	7
2005	1	10.05.	12	18	24	30
	2	31.05.	-	5	17	33
	3	07.06.	-	8	14	19
	4	28.06.	-	-	8	24
	5	05.07.	-	5	20	25
	6	12.07.	-	7	13	20
	7	25.07.	-	7	10	20
	8	02.08.	-	17	23	30
	9	09.08.	-	7	12	16
	10	16.08.	-	6	11	16
	11	23.08.	-	-	-	10
	12	05.09.	-	-	10	20
Норма наводњавања W <sub>i</sub> (mm)			12	80	162	263

Динамика влажности земљишта у ефективној дубини зоне ризосфере кукуруза праћена је термогравиметријским методом, декадно, по дубинама од по 10 cm до дубине земљишта од 1,2 m.

Одмах по узимању узорци земљишта су у алуминијумским кутијицама мерени техничком вагом, затим сушени у сушници од 1 до 2 дана, при температури од 105 °C, до узастопне масе узорака, односно док у два узастопна мерења не буде промене масе. Тада су узорци вађени из сушнице, хлађени у ексикатору и поново мерени. Садржај воде у масеним процентима израчунат је према формули:

$$W_{ws\%mas} = \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_3} \cdot 100$$

Подаци су из масених преведени у запреминске проценате, тако што су масени проценти садржаја воде у земљишту помножени са запреминском масом земљишта (ρ<sub>b</sub>).

На почетку, као и на крају вегетације одређен је садржај влаге у земљишту до дубине од 2,0 m. Добијени резултати у запреминским процентима обрађени су и графички приказани методом аквахроноизоплета.

## 5.5. Евапотранспирација усева (ЕТс)

Под појмом евапотранспирација усева (ЕТс) подразумева се количина воде коју гајени усев потроши при непрестаној снабдевености ефективне дубине зоне ризосфере лакоприступачном водом. Поред тога усев треба да буде гајен уз примену оптималних агротехничких мера (густина сетеве, исхрана, заштита) као и да није под утицајем салинитета. Функционална зависност евапотранспирације усева (ЕТс) од параметара климе, односно од референтне евапотранспирације (ЕТо) дефинисана је коефицијентом културе (Кс).

Евапотранспирација усева израчунава се формулом:

$$ET_c = ET_o \cdot k_c$$

Међутим, како у појединим третманима усев, односно кукуруз није био добро снабдевен водом, евапотранспирација усева обрачуната је као производ референтне евапотранспирације (ЕТо) и дуалног коефицијента културе ( $k_c$ ). Процес евапорације и транспирације потребно је посматрати одвојено приликом прецизног одређивања потрошње воде одређеног усева у реалном времену и у те сврхе користи се тзв. дуални коефицијент културе (*Allen et al., 1998*). Приликом примене дуалног коефицијента одвојено се посматрају ефекат транспирације усева и испаравања са површине земљишта.

Један коефицијент ( $k_c$ ) замењује се са два коефицијента: базални коефицијент културе ( $k_{cb}$ ) - описује транспирацију биљака и коефицијент ( $k_e$ ) - описује испаравање са површине земљишта:

$$k_c = k_{cb} + k_e$$

$$ET_c = ET_o \cdot (k_{cb} + k_e)$$

Базални коефицијент културе ( $k_{cb}$ ) дефинише се односом ЕТс и ЕТо када је површински слој земљишта сув, али је одговарајући просечни садржај воде у земљишту у зони кореновог система, који омогућава да се одржи пуна транспирација биљака. Отуда  $k_{cb} \cdot ET_o$  представља примарну компоненту транспирације.

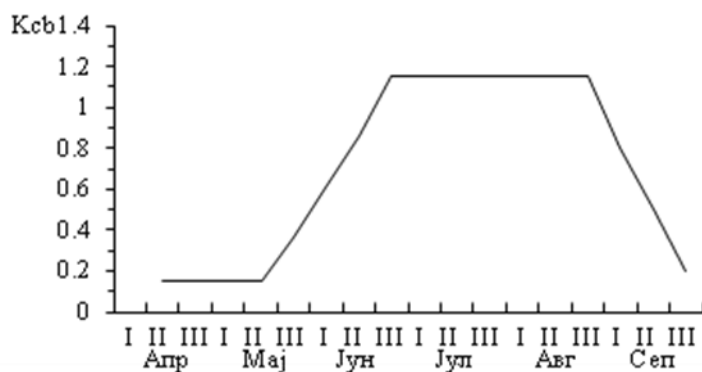
Коефицијент  $k_e$ , описује испаравање са површине земљишта и може да има изражено високе вредности ако је земљиште влажно услед наводњавања или

падавина. Супротно, како се површина земљишта исушује вредност  $k_e$  је све нижа и тежи ка нули. Израчунавање  $k_e$  захтева прорачун биланса на основу дневног садржаја воде у горњем слоју земљишта.

Збир  $k_{cb} + k_e$  никада не може прећи максималну вредност,  $k_{cmax}$ , који одређује енергију расположиву за евапотранспирацију са површине земљишта. Примена дуалног коефицијента културе захтева више прорачуна него примена просечног коефицијента културе  $k_c$ .

Да би се одредиле вредности коефицијената  $k_{cb}$  и  $k_e$  неопходно је обезбедити параметре о дужини вегетационог периода културе, као и дужини трајања сваке њене фенофазе.

Вредности  $k_{cb}$  за I, III фазу и крај IV фазе преузимају се из литературе (Allen et al., 1998) и на основу њих се конструише крива  $k_{cb}$  (Граф.14). Вредност базалног коефицијента ( $k_{cb}$ ) кукуруза за крај I фазе износ 0,15, за III фазу износи 1,15 а за крај IV фазе 0,50 уколико се кукуруз бере одмах по евидентирању физиолошке зрелости, а 0,15 ако се бере када је проценат влаге у зрну око 18%. Вредности  $k_{cb}$  за II и IV фазу читавају се са криве за сваки дан.



Граф. 14. Базални коефицијент ( $K_{cb}$ ) кукуруза

Коефицијент евапорације ( $k_e$ ):

$$k_e = k_r \cdot (k_{cmax} - k_{cb}) \leq f_{ew} \cdot k_{cmax}$$

$k_e$  - коефицијент евапорације са површине земљишта,

$k_{cb}$  - базални коефицијент културе,

$k_{cmax}$  - максимална вредност коефицијента културе након кише или наводњавања,

$k_r$  - бездимензиони редукциони коефицијент испаравања, који зависи од кумулативне дубине воде која испарава из површинског слоја,  
 $f_{ew}$  - фракција земљишта која је изложена квашењу, односно фракција површинског слоја земљишта са које се највише јавља испаравање.

Након кише или наводњавања  $k_r$  је 1, а испаравање је одређено само енергијом расположивом за испаравање. Када се површина земљишта суши,  $k_r$  постаје мање од један и евапорација се смањује. Вредност  $k_r$  је нула када нема воде за евапорацију у површинском слоју земљишта. Испаравање се углавном одвија са земљишта без биљног покривача или када је биљни покривач у формирању све док листови не засенче земљиште.

Процедура прорачуна  $k_e$  се састоји из одређивања:  $k_{cmax}$  - горње границе, која означава расположиву енергију за евапотранспирацију са површине земљишта;  $f_{ew}$ - део земљишта који је изложен квашењу, односно фракција површинског слоја земљишта са које се највише јавља испаравање;  $k_r$  – редукционог коефицијента евапорације за чије је одређивање потребно извршити дневни обрачун садржаја воде у површинском слоју земљишта.

Вредност  $k_{cmax}$  за кукуруз износи 1,15. Вредност дела земљишта које је изложено ( $f_{ew}$ ), то јест фракције површинског дела земљишта са које је испаравање најинтензивније, зависи од засенчености земљишта лисном масом.

Максимални коефицијенти културе такође се коригују за метеоролошке услове који се значајно разликују од стандардних. Поправка  $k_{cmax}$  у зависности од климатских услова се врши преко следећег израза:

$$k_{cmax} = \max \left[ \left\{ 1.2 + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0.3} \right\}, \{k_{cb} + 0.05\} \right]$$

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

$RH_{min}$  – минимална релативна влажност ваздуха (%),

$h$  – висина биљке (m).

Вредности  $k_r$  добијене су преко израза:

$$k_r = \frac{TEW - D_{e, i-1}}{TEW - REW}$$

$k_r$  - бездимензиони редукциони коефицијент евапорације,

TEW – максимална кумулативна дубина евапорације из површинског слоја земљишта када је  $k_r = 0$  (укупна количина воде која може да испари),

REW – лако расположива вода за испаравање (mm), типична вредност за иловасто земљиште до дубине од 10 cm износи 10 mm,

$D_{e, i-1}$  – количина воде која је испарила на крају предходног дана (mm) добија се на основу дневног водног биланса преко израза:

$$D_{e, i-1} = ET_0 \cdot k_e - (P + W_i)$$

где су: P – падавине (mm),

$W_i$  – наводњавање (mm).

Вредност TEW добија се преко израза:

$$TEW = 1000 \cdot (W_{pk} - 0.5W_v) \cdot Z_e$$

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

$W_v$  – садржај воде у земљишту при влажности венућа ( $m^3 \cdot m^{-3}$ ),

$Z_e$  – дубина слоја земљишта из кога се одвија евапорација (вредности се крећу од 0,10 до 0,15 m).

Приказана процедура прорачуна евапотранспирације културе примењује се у условима потпуне обезбеђености исте водом.

Међутим, уколико усев није оптимално снабдевен водом, биљке улазе у стрес те је за добијање стварне евапотранспирације (ET<sub>c</sub>) неопходно узети у обзир коефицијент стреса  $k_s$ .

Евапотранспирација културе:

$$ET_c = (k_s \cdot k_{cb} + k_e) \cdot ET_0$$

Где је: ET<sub>c</sub> – евапотранспирација културе ( $mm \cdot dan^{-1}$ ),

$k_s$  – коефицијент стреса ( $k_s < 1$ ),

Коефицијент стреса  $k_s$  одређује се преко једначине:

$$k_s = \frac{W_u - D_{r, i-1}}{W_u - W_{pl}}$$

Где је:  $k_s$  – коефицијент стреса,

$W_u$  – укупна приступачна вода у зони корена (mm),

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

$W_{pl}$  – лакоприступачна количина воде у зони корена (mm).

Израчунавање укупне расположиве вода у зони корена рачуна се:

$$W_u = (W_{pk} - W_v) \cdot Z_r$$

Где је:  $W_{pk}$  – садржај воде у земљишту при пољском водном капацитету ( $m^3 \cdot m^{-3}$ ),

$W_v$  – садржај воде у земљишту при влажности венућа ( $m^3 \cdot m^{-3}$ ),

$Z_r$  – дубина кореновог система варира од 0,10m до 0,90 m.

Дозвољено исушивање земљишта ( $Di$ ) у зони корена, а које представља и норму заливања израчунава се:

$$Di = W_{pk} \cdot p$$

У условима умерено континенталне климе када је  $ETo$  око  $5mm \cdot dan^{-1}$ , дозвољено исушивање је  $p=0,55$ , што уједно представља и доњу границу лакоприступачне воде ( $W_{pl}$ ). Количина воде која може да се утроши на евапотанспирацију из зоне корена кукуруза а да не дође до водног стреса приказана је у табели 9.

Табела 9. Количина воде која може да се утроши на евапотранспирацију

$Z_r$ (m)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,7	0,85	0,90
$W_{pl}$ (%)	8,79	13,18	17,58	26,37	35,16	43,95	52,73	61,52	74,71	79,10

Да би се потврдио прорачун, урађена је додатна анализа потрошње воде методом водног биланса, користећи расположиве податке о падавинама, норми заливања и промени влажности земљишта.

$$ET_a = \frac{P + W_i \pm \Delta \theta}{n}$$

$ET_a$  – реална евапотранспирација (mm),

$P$  – падавине (mm),

$W_i$  – норма заливања (mm),

$\Delta \theta$  – промена садржаја воде у земљишти између два мерења (mm),

$n$  – број дана између два мерења.

Промена влажности земљишта је мерена и испод дела профила земљишта у којем се налази највећа маса кореновог система (0,30m-0,90m), јер се поједине жиле протежу и до дубине веће од 2,0 m, што је посебно изражено у условима недовољне снабдевености биљке водом.

### 5.6. Ефикасност коришћења воде (WUE)

Стварна еваптранспирација (ЕТа) кукуруза рачуна се да би се одредила ефикасност коришћења воде. Како је овим радом проучавано редуковано наводњавање, те биљке нису у пуној мери снабдеване водом те ће се за стварну евапотранспирацију кукуруза користити вредности израчунате преко дуалног коефицијента културе. То значи да је ЕТа=ЕТс.

Ефикасност коришћења воде – WUE ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) је показатељ дефинисан укупним приносом и количином воде која се током посматраног периода утрошила на евапотранспирацију (Payero et al., 2009) и може се приказати следећим изразом:

$$\text{WUE} = \frac{Y}{\text{ET}_c}$$

Y – принос ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  или  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),

ET<sub>c</sub> –реална евапотанспирација ( $\text{mm}$  или  $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Ефикасност коришћења воде израчуната је по третманима наводњавања, из односа укупних приноса и реалне евапотранспирације.

Ефикасност коришћења воде додате наводњавањем – IWUE ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) је показатељ дефинисан разликом приноса кукуруза оствареног у условима наводњавања и условима природног водног режима и примењене норме наводњавања (Payero et al., 2009):

$$\text{IWUE} = \frac{Y_i - Y}{W_i}$$

Y<sub>i</sub> – принос зрна кукуруза у условима наводњавања ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),

Y – принос зрна кукуруза у условима природног водног режима ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),

W<sub>i</sub> – норма наводњавања ( $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Поред наведених показатеља ефикасности коришћења воде потребно је пре примене наводњавања знати, поготово у климатским условима са ограниченим

водним ресурсима, цену употребе воде као и очекиване ефекте од примене наводњавања. Овим радом упоређени су приходи остварени применом наводњавања у односу на трошак наводњавања, а како би се донела одлука до ког нивоа треба редуковати наводњавање.

У Србији цена воде варира у зависности како се вода допрема, за коју намену се користи. Варијабилни трошкови употребе воде варирају мало, док се фиксни веома разликују у зависности од старости система. По прорачунима *Зорановића и сар. (2015)*, цена воде за наводњавање ратарских култура износи код старијих система за наводњавање (преко 25 година)  $10,53 \text{ RSD}\cdot\text{m}^{-3}$  (варијабилни трошкови 4,68 плус фиксни трошкови од  $5,85 \text{ RSD}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Трошкови једног  $\text{m}^3$  воде нових система за наводњавање достижу вредност  $\text{RSD } 27,31 \text{ RSD}\cdot\text{m}^{-3}$  (варијабилни трошкови 3,73 плус фиксни од  $23,58 \text{ RSD}\cdot\text{m}^{-3}$ ). За прорачун финансијске ефикасности коришћења воде за наводњавање узети су трошкови за старије системе за наводњавање. Просечна цена кукуруза приказана у табели 10 је преузета из базе података Статистичког завода Р. Србије. Узета је просечна цена кукуруза за посматрану годину у динарима и прерачуната у \$ по просечној вредности курса за ту годину.

Таб. 10. Просечна цена кукуруза ( $\text{\$}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) и цена употребе воде за наводњавање ( $\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у годинама експерименталних истраживања

Година	Цена кукуруза ( $\text{\$}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Цена воде ( $\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$ )	
		Стари систем	Нови систем
2002	0,094	0,106	0,275
2003	0,125	0,106	0,275
2004	0,156	0,106	0,275
2005	0,089	0,106	0,275

Финансијска ефикасност наводњавања израчуната је на основу следећег израза:

$$F_{IWUE} = \frac{(Y_i - Y) \cdot R_w}{W_i \cdot C_i}$$

Где је:  $R_w$  цена кукуруза ( $\text{\$}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),

$C_i$ -трошкови наводњавања изражени по  $\text{m}^3$  воде.



## 5.7. Одређивање релативног приноса

Утицај редукованог наводњавања на принос кукуруза најјасније се може сагледати посматрањем односа релативног приноса и релативне евапотранспирације. Релативни принос представља однос остварених приноса по варијантама истраживања и максималног добијеног приноса ( $Y_a/Y_{max}$ ), док је релативна евапотранспирација однос евапотранспирације добијене у различитим третманима редукованог наводњавања и максималне евапотранспирације остварене у условима најбоље снабдевености кукуруза водом ( $ET_a/ET_m$ ).

Релативна евапотранспирација и релативни принос, израчунати су за сваку годину истраживања појединачно. На тај начин узета је у обзир разноликост климатских прилика и њен утицај на остварене приносе и евапотранспирацију.

Линеарни однос пада релативног приноса приказује се једначином:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_{max}} = k_y \cdot \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right)$$

Где је:  $k_y$  коефицијент пада приноса.

По методологији *ФАО (2002)* коефицијент пада приноса износи 1,25.

## 5.8. Мерење приноса, компоненти приноса и статистичка обрада података

Принос сувог зрна кукуруза одређивао се тако што се по завршеној берби мерио принос клипа елементарне парцеле за сва понављања и варијанте проучавања. Узимао се узорак (3-5 клипова) који се одмах по берби мерио, затим окрунио. Измерен је окласак, као и влага у зрну. На основу добијених параметара израчунавао се принос зрна ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) са 14% влаге.

Висина биљке, као и висина до првог клипа мерена је у фенофази метличења односно свилања, тако што су мерења обављена на 10 узастопних биљака у сваком понављању као и варијанти проучавања. Израчунати су просеци за сва мерења и као такви коришћени даље у статистичкој обради података.

Компоненте клипа, као и маса 1000 зрна одређени су тако што се по завршеној берби за сваку варијанту истраживања, као и понављање узео узорак који је чинило 10 просечних клипова. Одређени су параметри за сваки

појединачни клип, затим су израчунати просеци по понављањима и варијантама истраживања.

Добијени резултати огледа обрађени су одговарајућом математичко-статистичким анализом, путем статистичког пакета MSTATC.

Сваки од добијених показатеља обрађен је статистичком анализом, коришћењем дескриптивне статистике за показатеље на годишњем нивоу (од 2002. до 2005. године), као и збирно за све четири године експерименталног истраживања. Утицај проучаваних режима наводњавања (четири третмана и контрола без наводњавања) и различитих густина сетве (три густине) као и њихове интеракције на принос и посматране компоненте приноса анализирани су методом анализе варијансе за двофакторијални оглед постављен по блок систему, као и LSD тестом за ниво значајности 5% и 1%.

## 6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

### 6.1. Реална евапотранспирација кукуруза (ЕТа)

Реална евапотранспирација (ЕТа) кукуруза подразумева количину воде коју биљка потроши из ефективне дубине зоне ризосфере. Она је условљена елементима климе, земљишта и на крају карактеристикама гајеног усева. Уколико је ефективна дубина зоне ризосфере током читавог периода вегетације снабдевена довољном количином лакоприступачне воде, може се користити термин максимална реална евапотранспирација (*Миливојевић, 1984*). Међутим то су ретки случајеви, а како се расположиве количине воде намењене наводњавању глобално из године у годину смањују, те су гајени усеви у већој или мањој мери током вегетације изложени недостатку влаге, биљке троше воду која им је на располагању и такву потрошњу називамо реална или стварна евапотранспирација.

Истраживањима у овом раду највећи број експерименталних варијанти био је изложен режиму редукованог наводњавања и режиму условљеном само падавинама, те у циљу што прецизнијег одређивања вредности потрошене воде, евапотранспирација кукуруза је рачуната као производ референтне евапотранспирације (ЕТо) и дуалног коефицијента кукуруза ( $k_{cb} + k_e$ ).

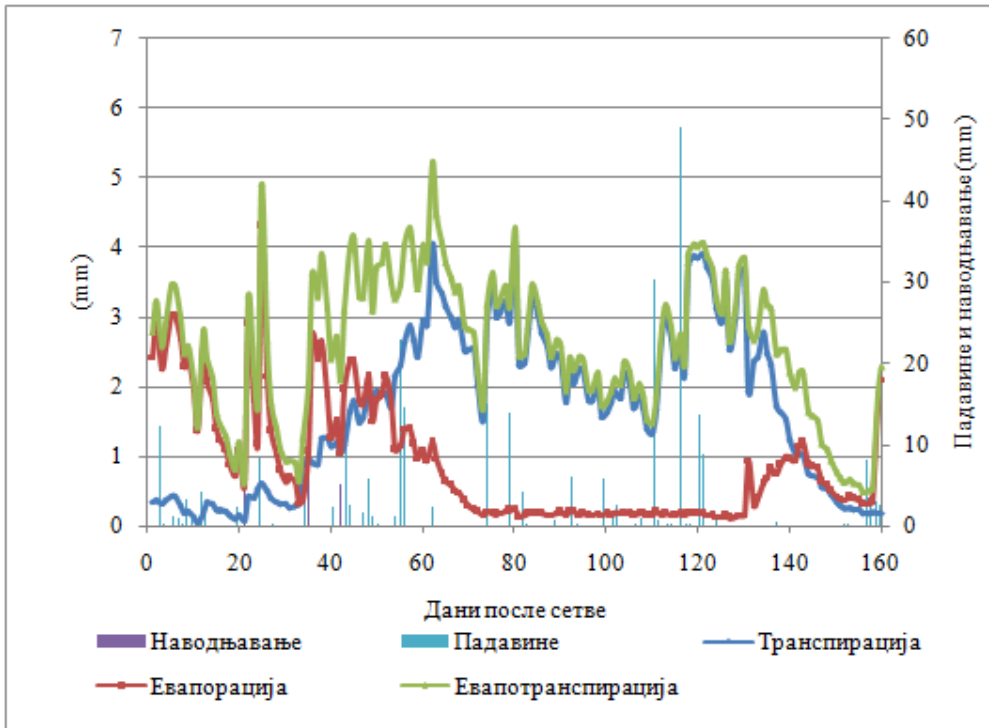
Вредности реалне евапотранспирације у нормално влажној 2002. години (Граф. 15 до Граф. 19) кретале су се од 535,5 mm на третману у којем је кукуруз био у потпуности обезбеђен водом, па до 370,4 mm у варијанти где је кукуруз егзистирао у условима природног водног режима. Запажа се како се дефицит воде потребне кукурузу повећавао, укупна реална евапотранспирација се смањивала, па је износила 508,45 mm у варијанти где је редуковано наводњавање 20%, односно 447,85 mm и 395,54 mm у варијантама са дефицитом воде од 40% односно 60%. Максималне дневне вредности забележене су такође у варијанти скоро пуне обезбеђености кукуруза водом  $5,85 \text{ mm} \cdot \text{dan}^{-1}$  и смањивале су се како се дефицит воде повећавао 5,6; 5,3; 5,3 и  $5,2 \text{ mm} \cdot \text{dan}^{-1}$ .

У умерено сушној 2003. години забележена је најмања сума вегетационих падавина, док су просечне температуре ваздуха биле више за око 2 °C у односу на

вишегодишњи просек. Поменути показатељи убрзали су сазревање кукуруза, а такође битно су утицали и на добијене вредности реалне евапотранспирације.

Као и у претходној години забележен је исти тренд (Граф. 20 до Граф. 24), тако да је највећа реална евапотранспирација (510,39 mm) забележена у варијанти скоро пуне обезбеђености биљке водом, док су најниже вредности регистроване у условима највећег дефицита влаге (351,2 mm) и условима зависним само од плувиметријског режима (304,5 mm). У варијанти  $W_{i3}$  реална евапотранспирација је била 436,2 mm, односно 395,2 mm у варијанти  $W_{i2}$ . Поменуте високе температуре поготову током јула и августа утицале су на максималну дневну потрошњу воде, тако да су забележене знатно више вредности поменутог параметра у односу на 2002. годину. Максимална дневна потрошња воде (7,03 mm) забележена је, што је и очекивано, у варијанти када је кукуруз имао довољно воде на располагању. Са повећавањем дефицита влажности земљишта смањивала се и максимална дневна реална евапотранспирација 6,44 mm, 6,13 mm, док су једнаке вредности 5,64 mm забележене у варијантама  $W_{i2}$  и  $W_0$ .

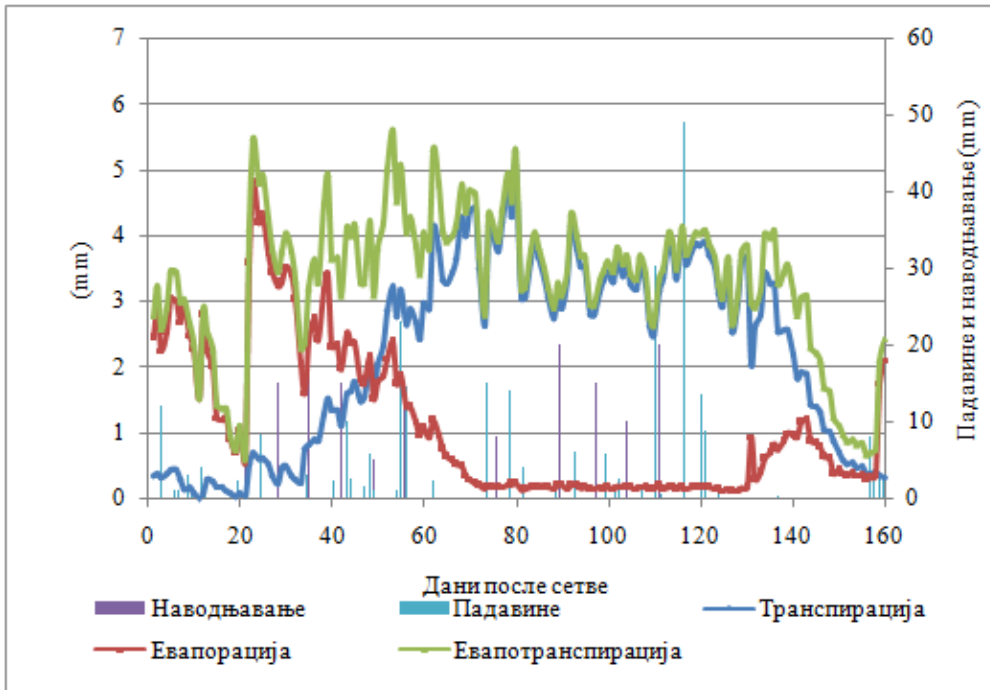
Вегетациони период 2004. године карактерише благи дефицит падавина у односу на вишегодишњи просек и температуре ваздуха које се крећу у границама вишегодишњег просека, с тим што су нешто ниже (за око 1 °C) вредности измерене у раним фазама вегетативног пораста кукуруза. Ниже температуре ваздуха у односу на претходне две године условиле су мању потражњу воде од стране кукуруза, тако да су просечно забележене ниже вредности реалне евапотранспирације (Граф. 25 до Граф. 29). Најнижа реална евапотранспирација била је у варијанти  $W_0$  без наводњавања 331,54 mm, као и варијанти  $W_{i1}$  и износила је 341,18 mm. Са повећањем норме наводњавања расле су и вредности  $E_{Ta}$  378,95 mm ( $W_{i2}$ ), 434,08 mm ( $W_{i3}$ ) па до 478,27 mm у варијанти  $W_{i4}$ . Једнака максимална дневна вредност  $E_{Ta}$  4,57 mm, регистрована је у варијанти без наводњавања, као и две варијанте са највише израженим дефицитом воде. Више вредности забележене су у варијанти  $W_{i4}$  6,81 mm и варијанти  $W_{i3}$  5,70 mm.



Граф. 15. Евапотранспирација кукуруза на W<sub>1</sub> третману у 2002. години



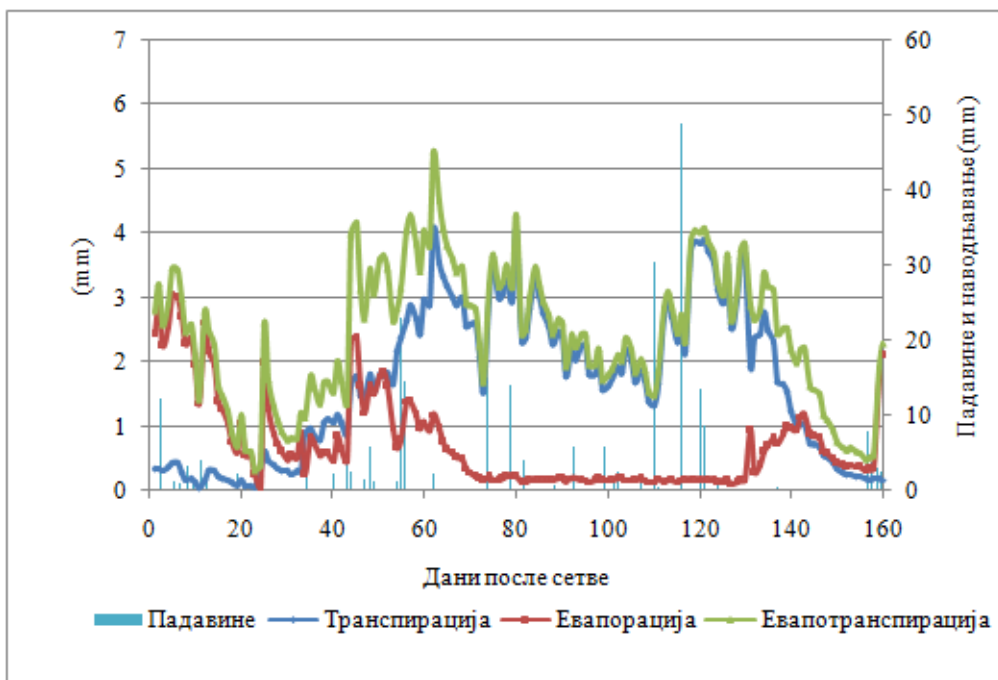
Граф. 16. Евапотранспирација кукуруза на третману W<sub>12</sub> у 2002. години



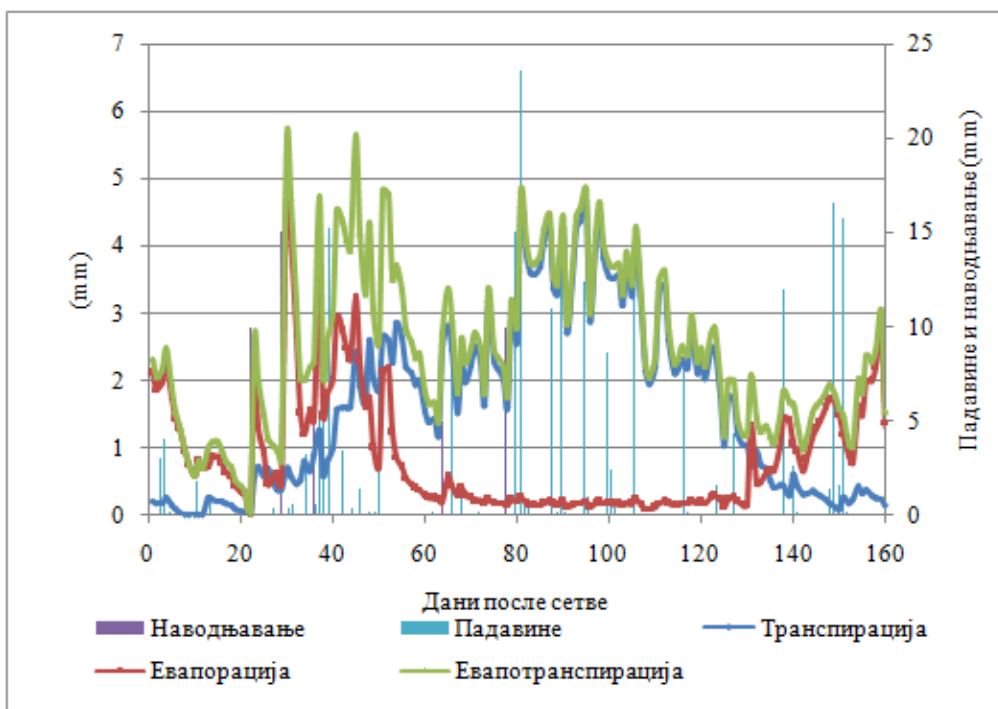
Граф. 17. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{13}$  у 2002. Години



Граф. 18. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{14}$  у 2002. години



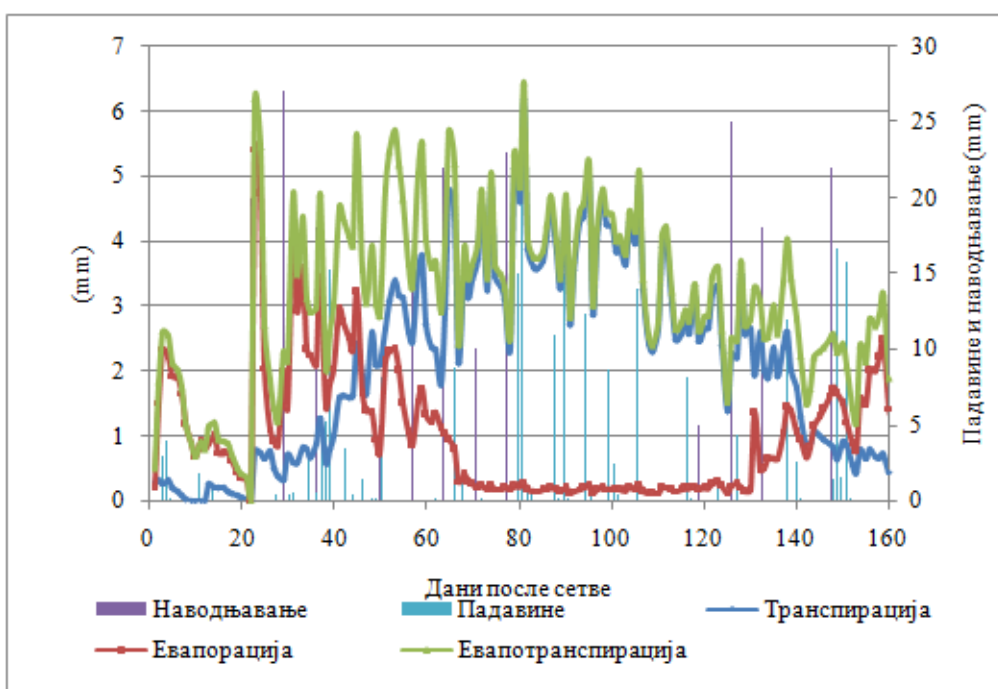
Граф. 19. Евапотранспирација кукуруза у условима природног водног режима ( $W_0$ ) у 2002. години



Граф. 20. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_1$  у 2003. години

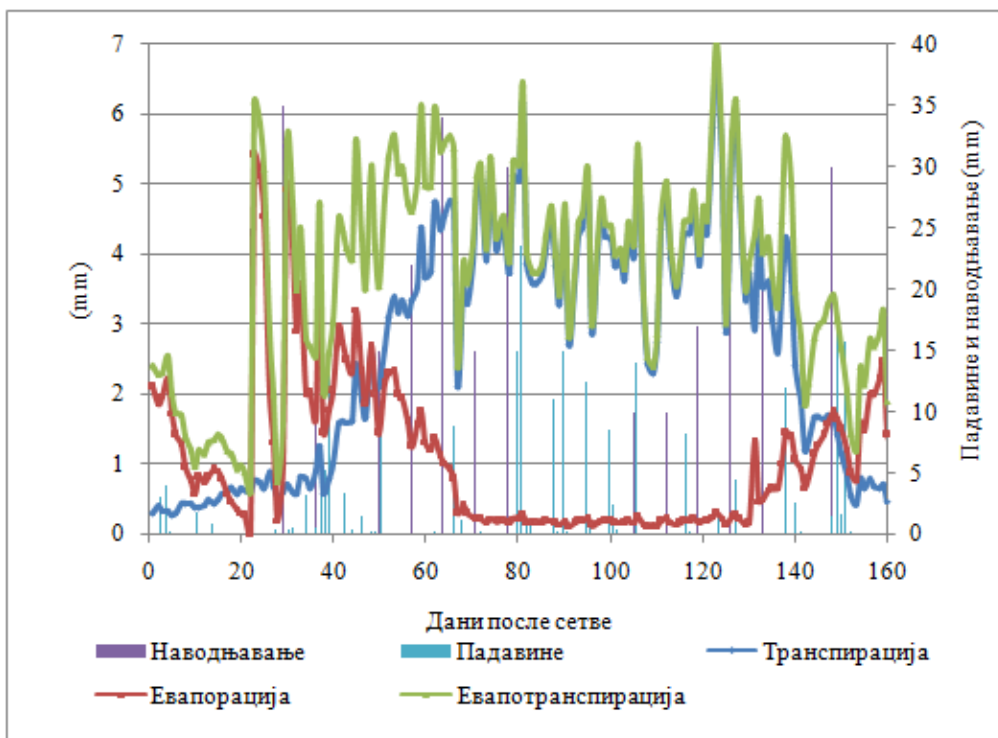


Граф. 21. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{i2}$  у 2003. години

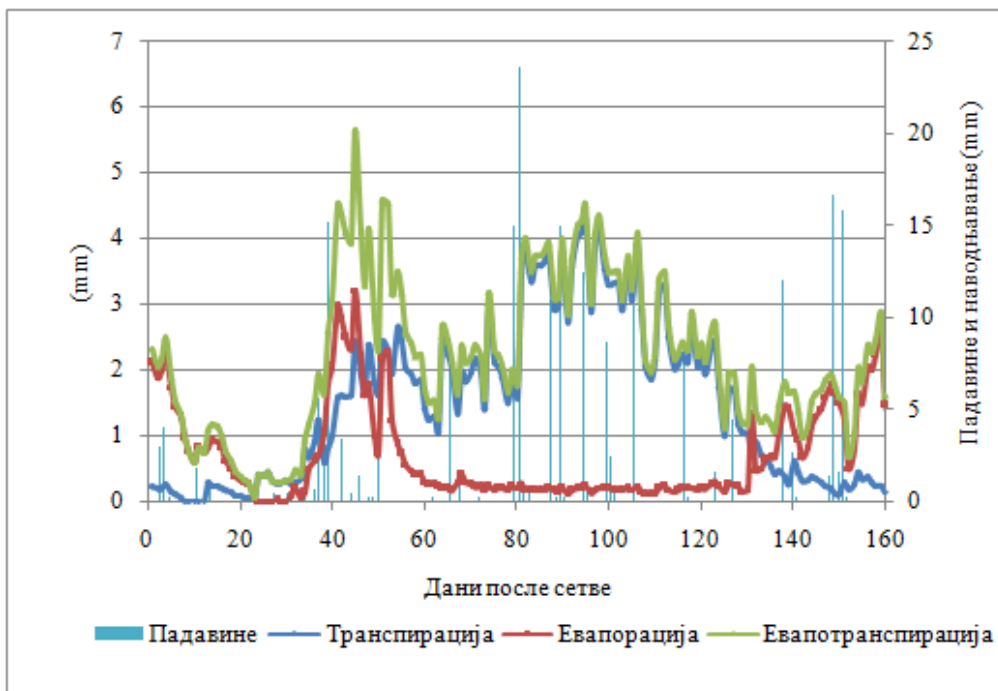


Граф. 22. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{i3}$  у 2003. години

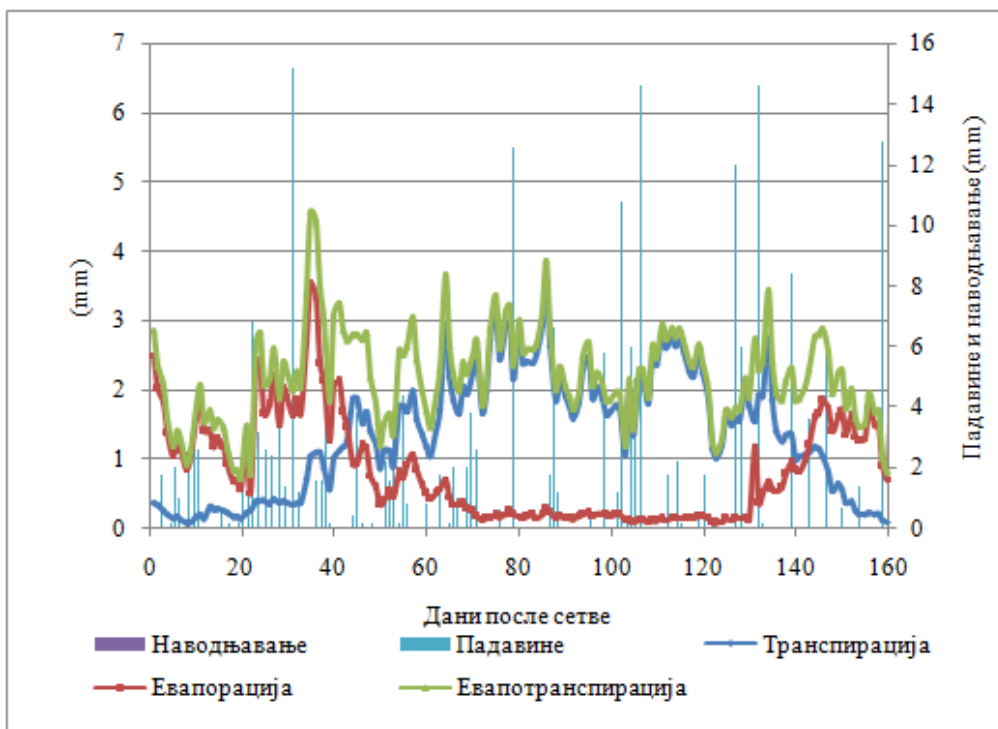




Граф. 23. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{14}$  у 2003. години



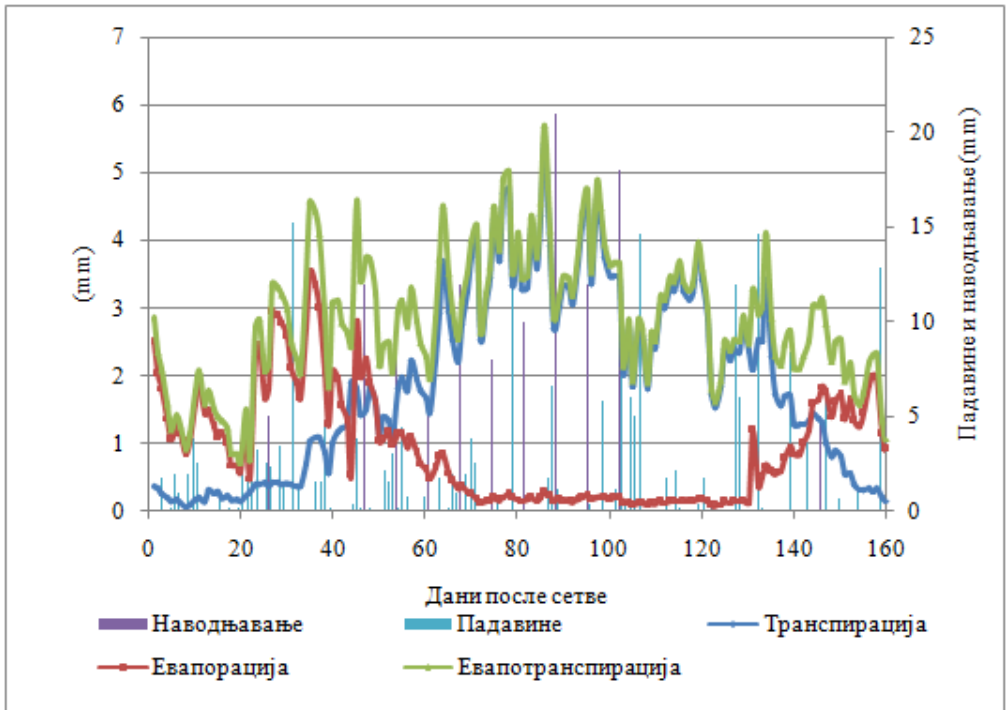
Граф. 24. Евапотранспирација кукуруза у условима природног водног режима ( $W_0$ ) у 2003. години



Граф. 25. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{i1}$  у 2004. години



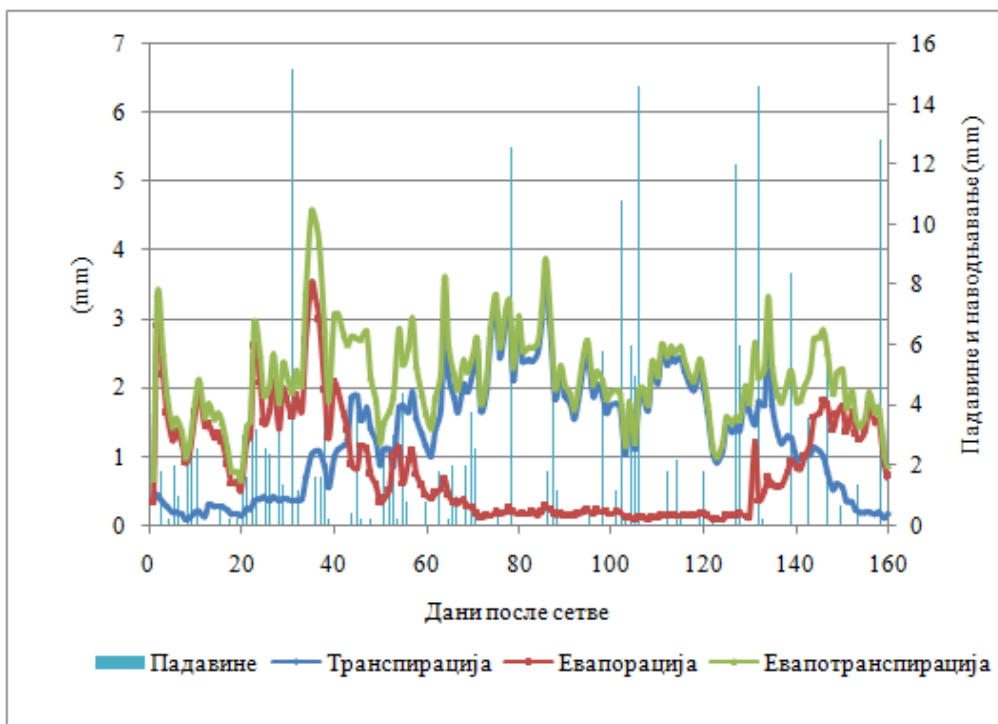
Граф. 26. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{i2}$  у 2004. години



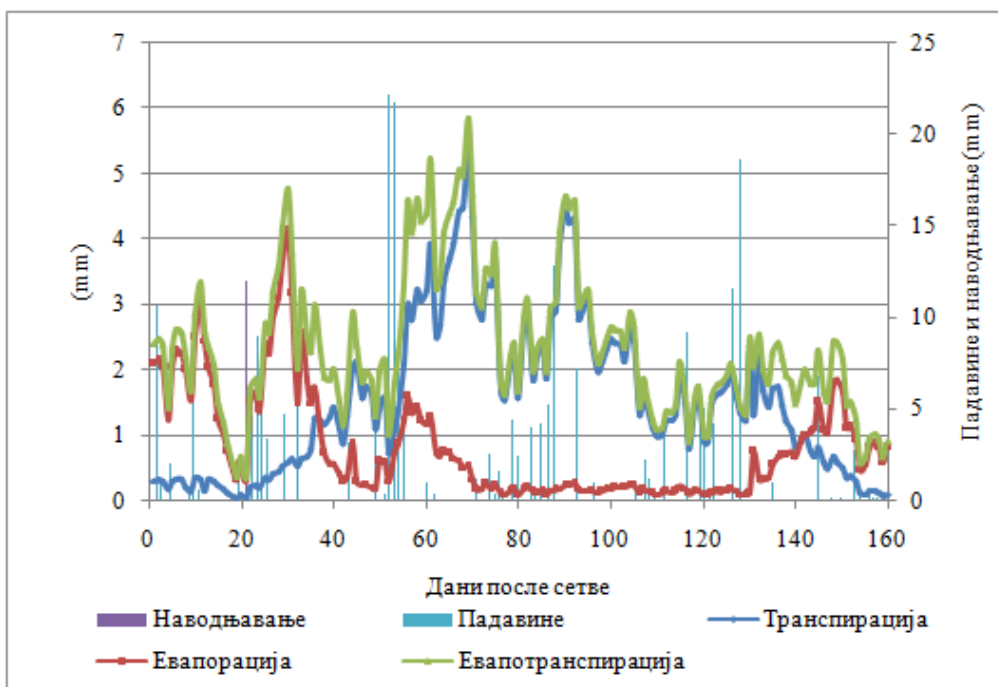
Граф. 27. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{13}$  у 2004. години



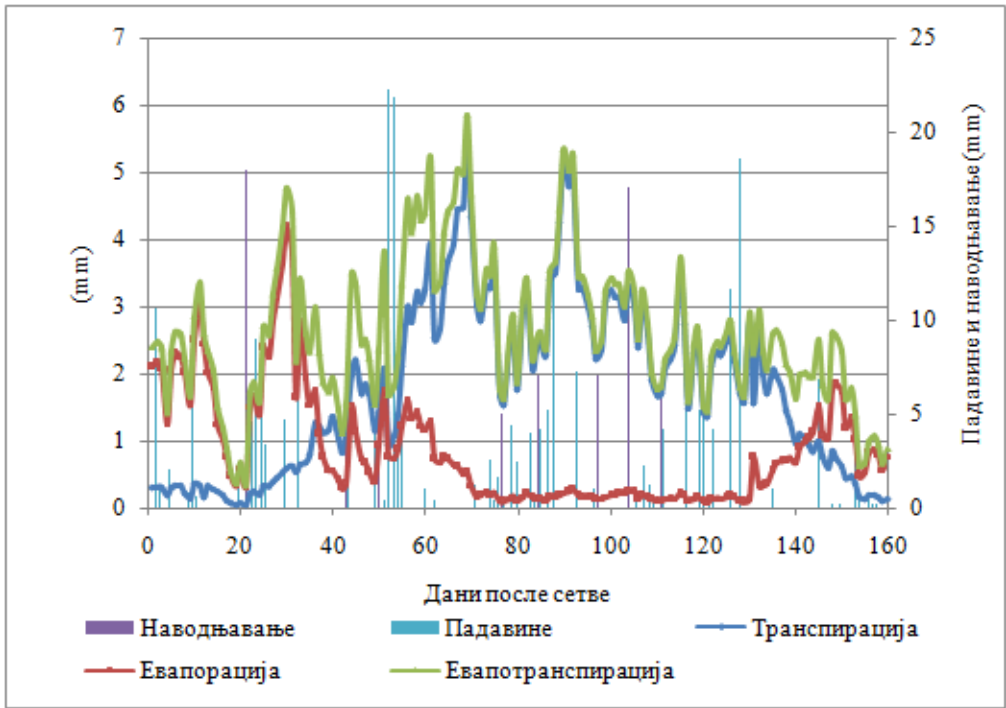
Граф. 28. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{14}$  у 2004. години



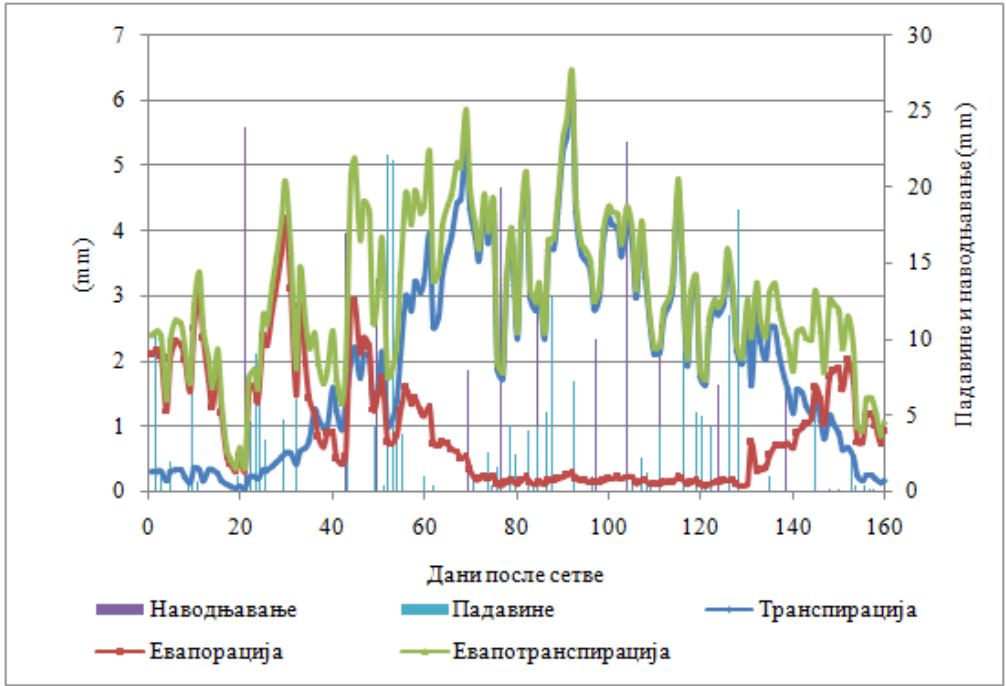
Граф. 29. Евапотранспирација кукуруза у условима природног водног режима ( $W_0$ ) у 2004. години



Граф. 30. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_1$  у 2005. години



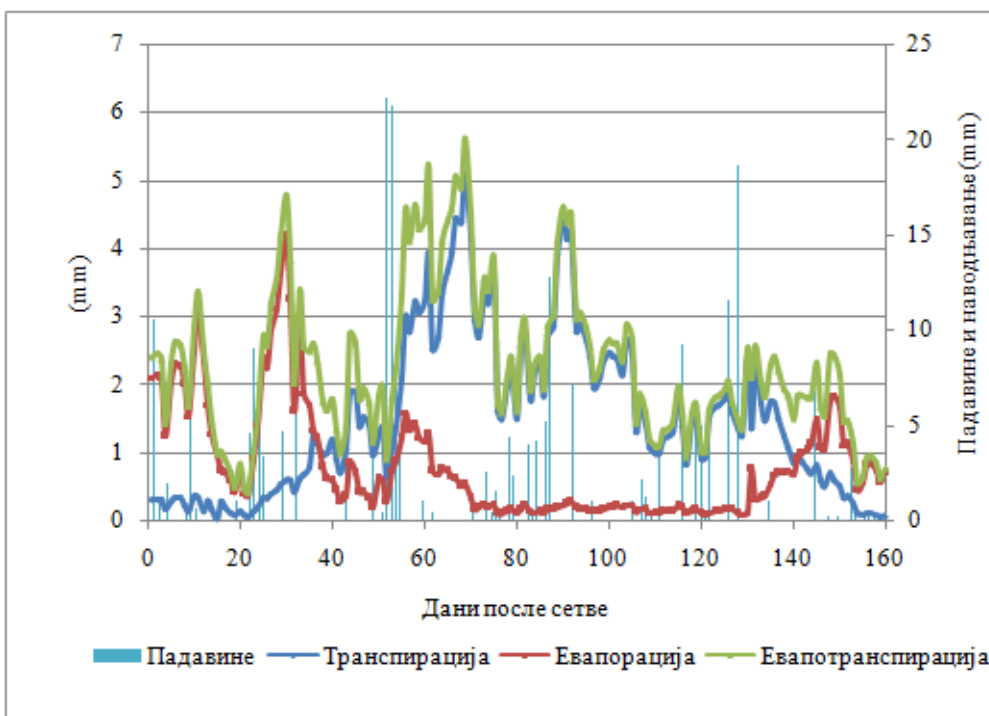
Граф. 31. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{i2}$  у 2005. години



Граф. 32. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{i3}$  у 2005. години



Граф. 33. Евапотранспирација кукуруза на третману  $W_{14}$  у 2005. години



Граф. 34. Евапотранспирација кукуруза у условима природног водног режима ( $W_0$ ) у 2005. години

Током 2005. године, која се може сматрати најповољнијом са аспекта утицаја климе на потражњу воде од стране гајеног усева, забележене су нешто више вредности ЕТа него у претходној години (Граф. 30 до Граф. 34). Као и у свим годинама експерименталног истраживања и у овој, биљка је највише воду трошила (506,6 mm) у варијанти где је исте имала довољно на располагању. Са повећавањем дефицита влаге у земљишту, смањивала се и количина расположиве воде биљкама, те је и реална евапотранспирација била све мања.

Најнижа ЕТа у 2005. години била је у варијанти без наводњавања и износила је 362,69 mm. Како се дефицит наводњавања смањивао од третмана  $W_{i1}$ ,  $W_{i2}$ ,  $W_{i3}$ , то је расла и потрошња воде од стране кукуруза 370,3 mm, 414,2 mm и 471,9 mm. Максимална дневна ЕТа кретала се од 5,6 mm у варијанти ( $W_0$ ) без наводњавања па до 6,5 mm у варијанти потпуне обезбеђености кукуруза влагом.

Како је реална евапотранспирација ЕТа рачуната применом дуалног коефицијента културе то се могу одвојено посматрати процеси евапорације и транспирације. На напред приказаним графиконима јасно се уочава да, у почетним фазама вегетативног пораста, па до момента док биљка незасени површину земљишта, висина евапотранспирације зависи од вредности евапорације, што указује на то да се у тим фазама развоја кукуруза више влаге из земљишта троши на испаравање него на транспирацију. Такође, запажа се да је вредност евапорације већа у годинама и варијантама када је биљка имала више воде у површинском слоју земљишта на располагању. Од фенофазе интензивног пораста, па до фенофазе млечне зрелости, кукуруз воду углавном троши на транспирацију. У зависности од снабдевености земљишта влагом мења се и вредност транспирације усева, што се посебно касније одражава на висину остварених приноса. На графиконима, јасно се уочава да су највише вредности транспирације, а самим тим и евапотранспирације биле у варијантама скоро пуне обезбеђености усева водом. Како се ближио крај вегетације кукуруза то су се смањивале и потребе истог за водом, тако да од момента млечне зрелости па до физиолошке зрелости, усев троши више воде на евапорацију него на транспирацију. У поменутој фенофази развоја, недостатак лакоприступачне воде не утиче значајно на умањење приноса.

Таб. 11. Реална евапотранспирација кукуруза током експерименталних истраживања израчуната коришћењем дуалног коефицијента културе (ЕТа<sub>д.к.</sub>) и методом водног биланса (ЕТа<sub>в.б.</sub>)

Варијанта истраживања	2002.		2003.		2004.		2005.		2002-2005.	
	ЕТа <sub>д.к.</sub>	ЕТа <sub>в.б.</sub>	ЕТа <sub>д.к.</sub>	ЕТа <sub>в.б.</sub>	ЕТа <sub>д.к.</sub>	ЕТа <sub>в.б.</sub>	ЕТа <sub>д.к.</sub>	ЕТа <sub>в.б.</sub>	ЕТа <sub>д.к.</sub>	ЕТа <sub>в.б.</sub>
Wi <sub>1</sub>	395,54	330,2	351,16	282,0	341,18	275,0	370,26	332,9	364,53	305,02
Wi <sub>2</sub>	447,85	378,4	395,24	365,1	378,95	318,3	414,21	391,3	409,06	363,27
Wi <sub>3</sub>	508,45	473,8	436,22	434,7	434,08	393,5	471,88	476,2	462,65	444,55
Wi <sub>4</sub>	535,47	500,5	510,39	512,2	478,27	453,7	506,59	518,9	507,68	496,32
Wo	370,37	306,1	304,5	246,5	331,54	267,6	362,69	318,2	342,27	284,60

Анализом података добијених у четворогодишњим истраживањима може се констатовати да је за несметан раст и развој кукуруза у агроколошким условима Земунског поља неопходно 507,7 mm воде (Таб. 11). До сличних резултата у својим истраживањима дошао је *Васић (1983)*. Према поменутом аутору кукуруз троши између 467 и 528 mm воде на евапотранспирацију. Нешто више вредности, 545-624 mm, за исти локалитет добио је *Миливојевић (1984)*. Међутим, *Кресовић и сар. (2013)* наводе да се максимални приноси хибрида кукуруза пуне вегетације могу очекивати при максималној реалној евапотранспирацији 466 mm. За услове јужне Бачке који су слични условима Земунског поља потребе кукуруза за водом према *Бошњаку (1982)* износе 468-535 mm, *Драговићу (1987)* 480 mm, док *Добренов и сар. (1991)* долазе до закључка да кукуруз на локалитету Римски Шанчеви троши између 460 и 500 mm воде. За поменути локалитет *Пејић (1999)* зависно од дубине проквашавања земљишта закључује да је кукурузу потребно између 514,3 и 536 mm влаге. *Максимовић, (1999)* вишегодишњим истраживањима констатује да кукуруз на евапотранспирацију у условима Војводине потроши 512 mm воде.

Како је евапотранспирација директно зависна од климатских чинилаца разумљиво је да су у различитим климатским условима и различите потребе кукуруза за водом. *Huang et al. (2002)* наводе да у условима Кине постоји висока линеарна зависност приноса кукуруза и потрошене воде на евапотранспирацију до 350 mm, након чега се са потрошњом воде принос и даље повећава али много мањом прогресијом. У аридним деловима Ирана кукурузу је током вегетације потребно 794,3 mm воде (*Salemi et al., 2011*). У агроколошким условима Португалије у режиму потпуног наводњавања орошавањем кукуруз потроши 568 mm (*Rodrigues et al., 2013*). Недостатак влаге у фази вегетативног пораста утицао

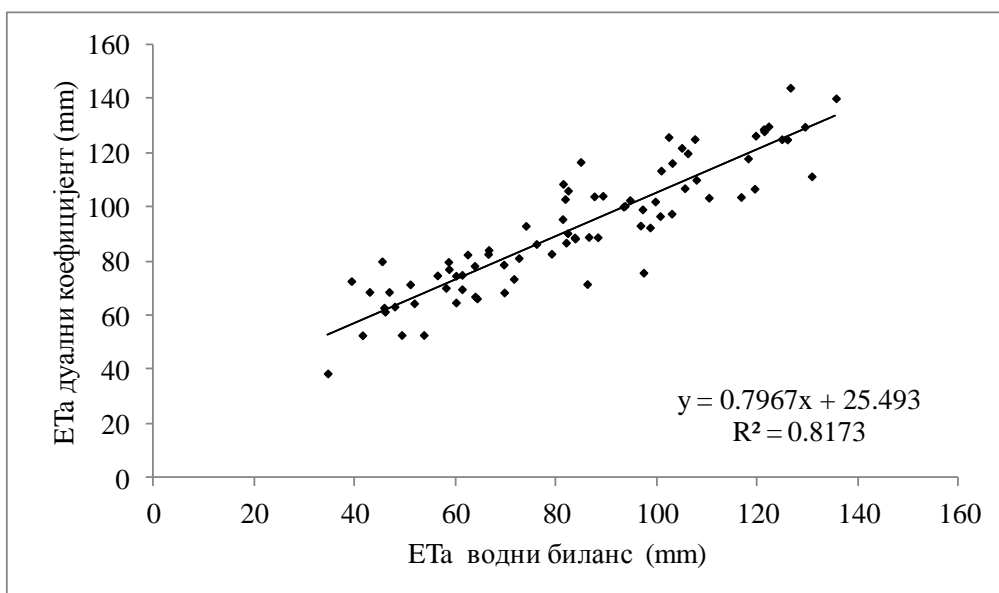


је на смањење укупне евапотранспирације, док редукованим наводњавањем у фази сазревања кукуруза није смањио укупну потрошњу воде. *Bouazzama et al. (2012)* истраживањима различитих нивоа односа реалне и потенцијалне евапотранспирације у Мароку закључују да применом пуног наводњавања кукуруз троши између 463 и 478 mm. У условима Мађарске *Szalokine (1997)* у сушним годинама, мерењем потрошње воде кукуруза у лизиметрима, при оптималној влажности земљишта евапотранспирација износи 505 mm, што је скоро идентично резултатима добијеним овим истраживањима. Применом пуног наводњавања у Тексасу (*Eck, 1986*) евапотранспирација кукуруза кретала се од 783 до 984 mm. Применом редукованог наводњавања у зависности од трајања редукције резултирала је нижим вредностима стварне евапотранспирације за око 200 mm. Нешто ниже вредности, 750 mm максималне реалне евапотранспирације у Небраски и другим деловима Велике равнице забележио је *Payero (2006)*. Такође, у условима редукованог наводњавања са повећавањем дефицита влажности земљишта смањивала се реална евапотранспирација. У саванама Нигерије (*Sani et al., 2008*) при пуном наводњавању добијене вредности 504,86 mm евапотранспирације су веома сличне вредностима добијеним у овом раду. *Paredes et al. (2014)* указује на високу линеарну зависност стварне ЕТа евапотранспирације и остварених приноса кукуруза. До сличних закључака дошли су и многи други аутори који су се бавили овом проблематиком (*Sani et al., 2008, Pejić et al., 2010, Stričević et al., 2011, Bouazzama et al., 2012*).

Поред одређивања стварне евапотранспирације применом дуалног коефицијента, иста је израчуната и методом водног биланса, као најчешће примењиваним методом у нашим условима. Упоредни резултати добијени коришћењем поменутих метода приказани су у табели 11. Добијени резултати указују да се оба метода са великом поузданошћу могу примењивати у условима када је биљка снабдевена довољном количином лакоприступачне воде током читавог периода вегетације. Такође, запажа се висока корелативна зависност између месечних вредности реалне евапотранспирације добијених применом наведених метода (Граф. 35). Међутим, запажа се да се са повећавањем редукције наводњавања повећава и разлика између вредности стварне евапотранспирације добијене применом дуалног коефицијента и метода водног биланса. У свим

годинама проучавања, као и просечно за све четири године израчунате су више вредности ЕТа добијене као производ референтне евапотранспирације и дуалног коефицијента. Како је стварна евапотранспирација кукуруза методом водног биланса рачуната узимајући у обзир промену влаге земљишта само у слојевима где се налази највећа маса кореновог система то су и разлике које су добијене неминовне.

У условима перманентне обезбеђености биљке водом, коренов систем се највећим делом формира у плићем хоризонту и из њега црпи воду и храну. Међутим, са повећавањем редуције влажности земљишта биљка се боље укоречава, то јест корен се простире у дубље хоризонте земљишта па у знатној мери премашује вредности које се могу наћи у литератури. У таквим случајевима осим воде која се налази у тзв. ефективној дубини зоне ризосфере, биљка користи воду и из дубљих слојева земљишта, а да иста није узета у обзир приликом рачунања водног биланса. Из тог разлога као поузданији метод за израчунавање ЕТа код проучавања било које врсте редукованог наводњавања може се препоручити метод у коме се стварна евапотранспирација добија као производ референтне евапотранспирације и дуалног коефицијента.



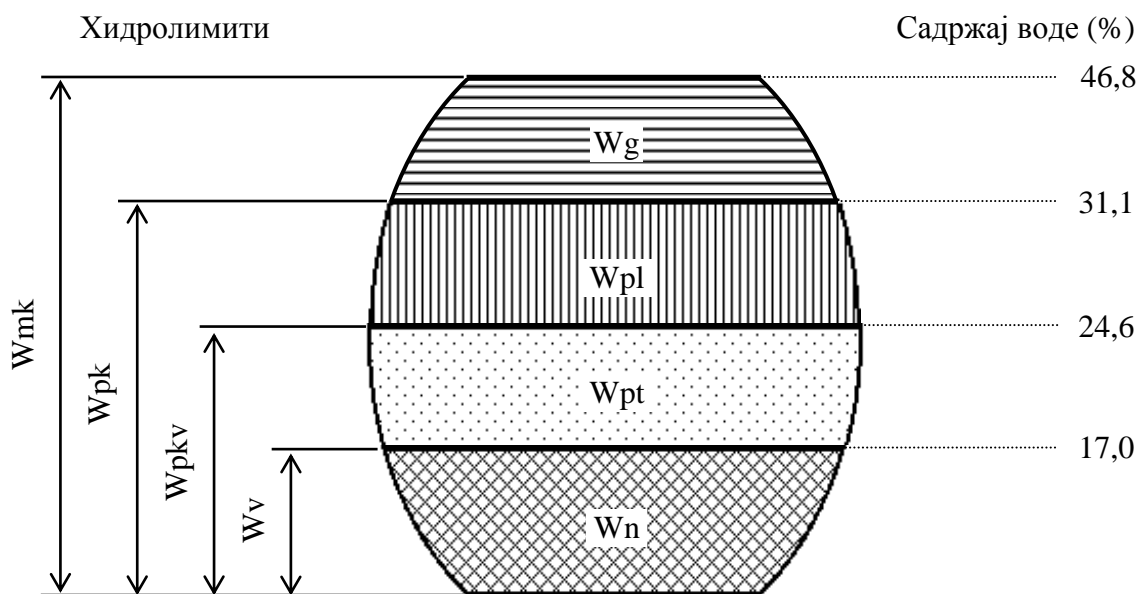
Граф. 35. Однос месечних вредности реалне евапотранспирације кукуруза израчунате методом водног биланса и месечних вредности реалне евапотранспирације добијене као производ референтне евапотранспирације и дуалног коефицијента културе

## 6.2. Водни режим земљишта под кукурузом

Водни режим земљишта подразумева квалитативну промену влажности земљишта по дубини профила и времену, условљену притицањем воде, њеним кретањем, задржавањем и губљењем из њега (*Роде, 1960*). Приходи воде у земљишту могу бити пореклом од падавина, наводњавања или пак капиларног дотицања из дубљих хоризоната земљишта. Вода се из земљишта троши процесима евапорације и транспирације, а може делимично отицати површинским путем уколико су падавине или наводњавање већег интензитета него што је способност земљишта да исту упије, или пак може се процедити у дубље хоризонте уколико су падавине или норма заливања веће од капацитета земљишта да исте задржи. Влажност земљишта је веома важна са аспекта одвијања појединих педогенетских процеса, а од ње зависи и снабдевање гајеног усева водом. Зато одређивање сезонске и вишегодишње динамике влажности земљишта служи као основ многих агрономских, мелиоративних, земљишно-генетичких и других истраживања (*Гајић, 2006*).

Огледно поље на коме су вршена истраживања припада равничарском типу рељефа, а подземне воде налазе се на дубини од пет и више метара, тако да се искључује могућност површинског дотицања воде са стране, а приход воде у зону ризосфере кукуруза капиларним подизањем из дубљих хоризоната земљишта је занемарљив. Дакле кукуруз је током експерименталних истраживања могао користити само резерве воде ванвегетационог периода, воду добијену од падавина и воду додату наводњавањем.

У циљу лакшег тумачења везе између остварених водних режима земљишта и приноса кукуруза, квалитативне промене влажности земљишта ефективне дубине зоне ризосфере кукуруза приказане су методом хроноизоплета (*Роде, 1960*), односно методом аквахроноизоплета (*Миливојевић, 1980*), на комбинованом дијаграму који обухвата параметре система земљиште-биљка-атмосфера. Горњи део дијаграма приказује параметре прихода (падавине и наводњавање) и расхода преко евапотранспирације воде (ETo), као и климатски дефицит или климатски суфицит. Доњи део дијаграма приказује квантитативну промену влажности земљишта у простору и времену.



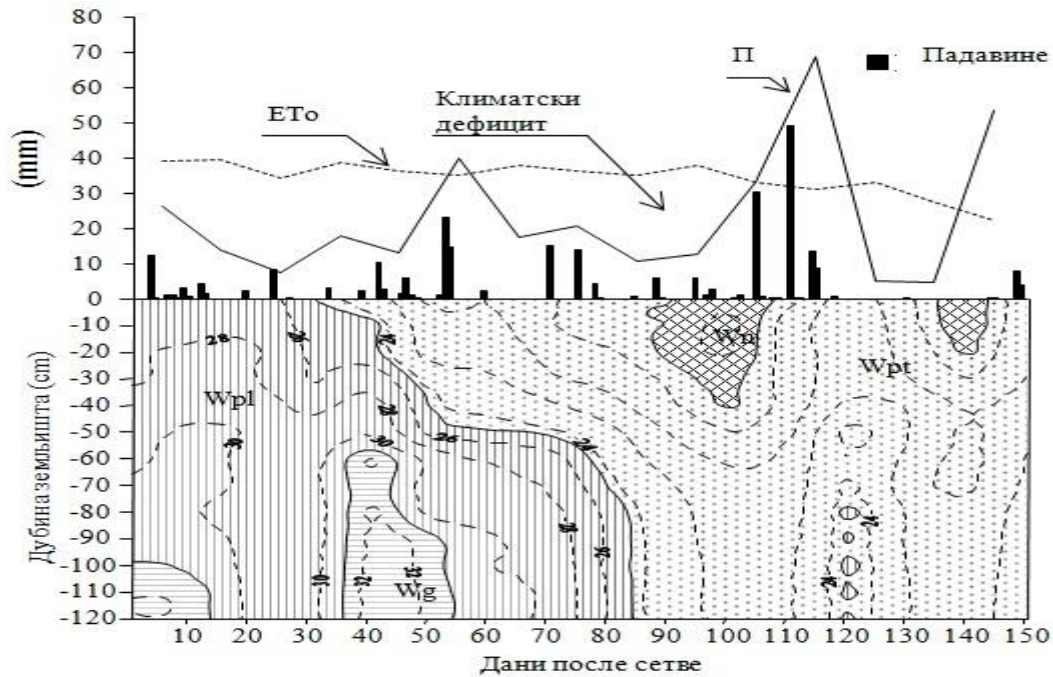
Сл. 2. Хидролимити чернозема и приступачност воде у ефективној дубини ризосфере кукуруза (хидролимити:  $W_v$  – венућа,  $W_{pkv}$  - прекида капиларне везе,  $W_{pk}$  - пољског капацитета и  $W_{mk}$  - максималног капацитета)

Издвојене су категорије влажности земљишта са аспекта њене приступачности биљкама (Сл. 2) тако да се разликују: гравитациона ( $W_g$ ), лакоприступачна ( $W_{pl}$ ), теже приступачна ( $W_{pt}$ ) и неприступачна ( $W_n$ ) вода биљкама. Садржај воде у земљишту исказан је у запреминским процентима, а различите категорије означене су посебним шрафурама.

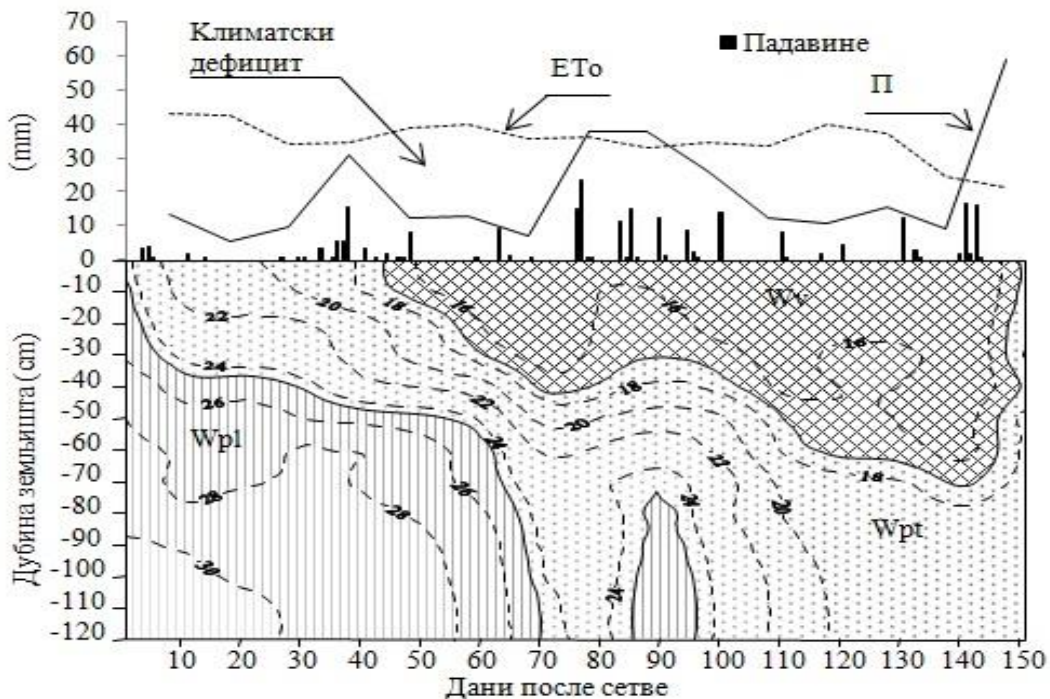
### 6.2.1. Природни водни режим чернозема и принос зрна кукуруза

Природни водни режим чернозема у годинама истраживања био је условљен резервама влаге ванвегетационог периода, падавинама током вегетације и губитком воде на евапотранспирацију. Графикони 36, 37, 38 и 39 илуструју квалитативну промену влажности земљишта условљену само параметрима климе и гајене културе. Током четири године истраживања обухваћене су три варијације режима падавина:

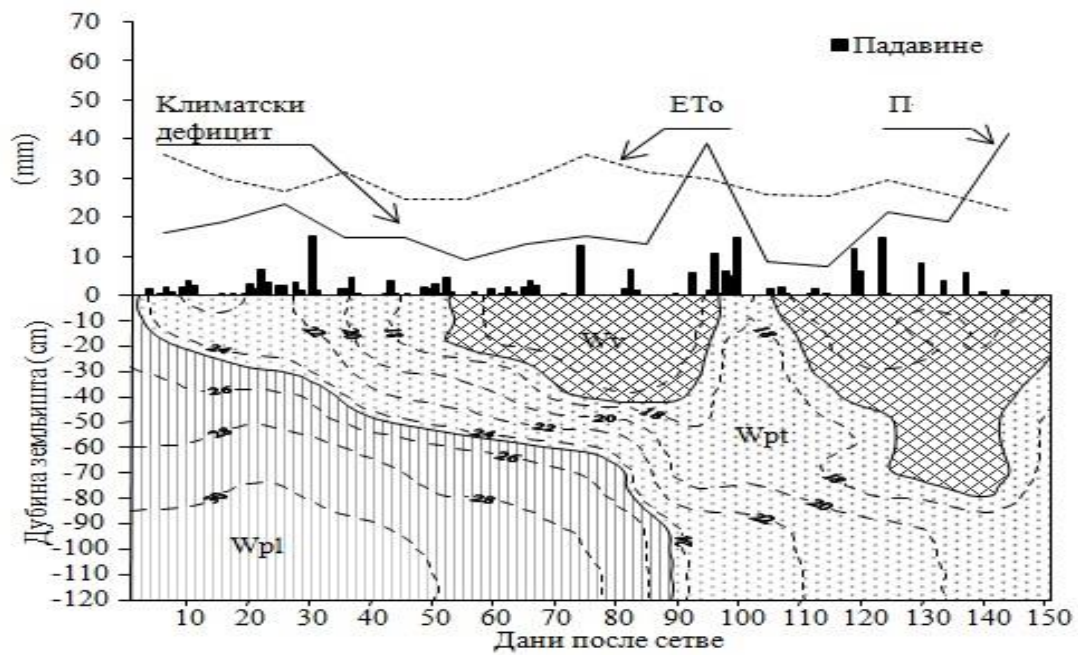
- режим падавина нормално влажне године (2002.),
- режим падавина умерено сушне године (2003.) и
- режим падавина благо сушних година (2004. и 2005.).



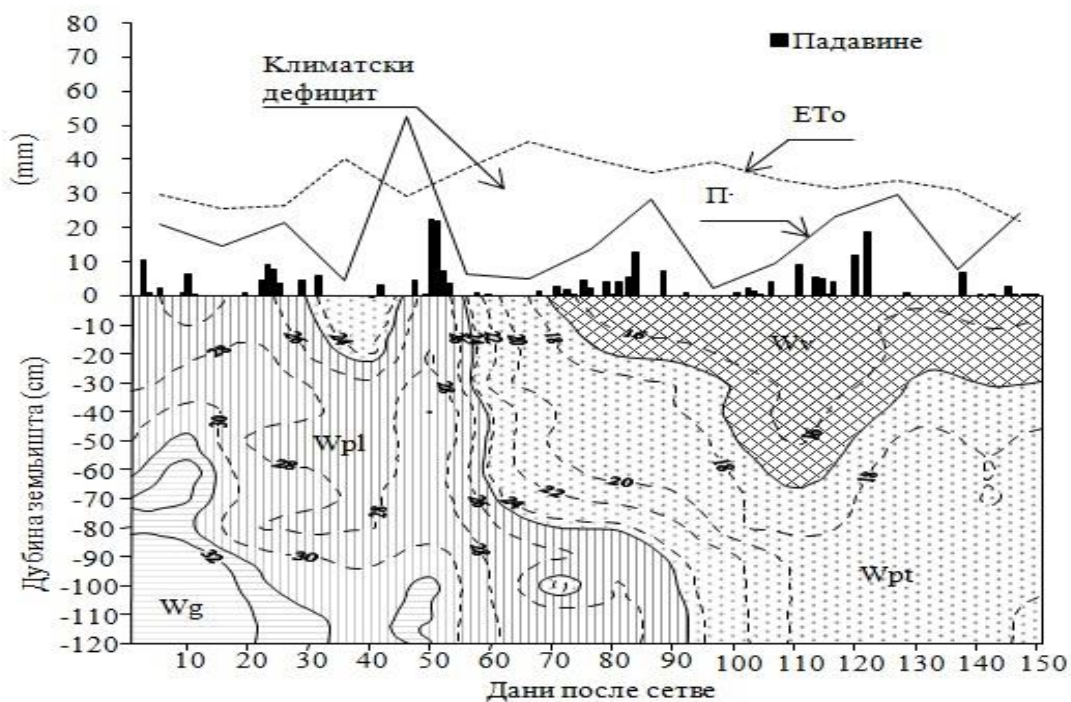
Граф. 36. Природни водни режим чернозема ( $W_0$ ) вегетационог циклуса кукуруза 2002. године, П – декартне падавине (mm), ЕТо –декартна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 37. Природни водни режим чернозема ( $W_0$ ) вегетационог циклуса кукуруза 2003. године, П – декартне падавине (mm), ЕТо –декартна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 38. Природни водни режим чернозема ( $W_0$ ) вегетационог циклуса кукуруза 2004. године, П – декадне падавине (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 39. Природни водни режим чернозема ( $W_0$ ) вегетационог циклуса кукуруза 2005. године, П – декадне падавине (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)

Различити плувиометријски режими, заједно са осталим елементима еко-система битно су утицали на услове у којима је током експерименталних истраживања кукуруз растао и развијао се, те на тај начин утицали су и на висину остварених приноса.

У нормално влажној 2002. години ефективна дубина зоне ризосфере кукуруза је била снабдевена довољном количином лакоприступачне воде ( $W_{pl}$ ) у првој трећини вегетационог периода, што се највећим делом поклапа са фенофазом интензивног пораста (Граф. 36). У последњем делу фенофазе вегетативног пораста, као и током фенофазе оплодње корен кукуруза је већим делом егзистирао у условима теже приступачне воде ( $W_{pt}$ ), док су делови корена који се налазе на дубини већој од 50 cm и даље били у повољним водним условима. У последњој трећини вегетационог периода када су потребе кукуруза за водом изражене, биљка је егзистирала у условима теже приступачне воде ( $W_{pt}$ ), док је у појединим пливним слојевима земљишта вода била неприступачна ( $W_n$ ).

Вегетациони период кукуруза 2003. године са аспекта количине падавина био је умерено сушан, док се са гледишта температурног режима сврстава у веома топле. Суво пролеће допринело је да су резерве лакоприступачне влаге веома мале и налазе се у дубљим слојевима земљишта (Граф. 37), недоступне кукурузу у почетним фазама развоја. Услед наведеног кукуруз се од самог почетка, тако рећи од ницања развијао у неповољним условима са гледишта обезбеђености биљака водом. Вегетативну фенофазу обележило је присуство теже приступачне воде биљкама, док је кукуруз током репродуктивне фазе развоја и фенофазе наливања зрна у делу земљишта где се налази највећа маса кореновог система био ускраћен за коришћење воде. Само делови корена који су се налазили на дубини већој од 60 cm могли су да користе воду која се карактерише као теже приступачна ( $W_{pt}$ ).

На горњем делу дијаграма запажају се значајније падавине које су биле у другој и трећој декади јула то јест у периоду 75 до 90 дана од ницања, што се поклапа са првом фазом наливања зрна. Како је дефицит воде у земљишту био веома велики поменуте падавине само су делимично ублажиле негативно дејство суше.

Вегетациони период 2004. године, као и претходни карактерише се појавом тежеприступачне воде ( $W_{pt}$ ) у пливним слојевима земљишта од самог почетка вегетације (Граф. 38). За разлику од 2003. године, суша је била изражена али у

блажем облику. Лакоприступачна вода ( $W_{pl}$ ), у дубљим деловима земљишта (испод 50 cm) била је доступна кукурузу већим делом вегетације. У делу земљишта дубине око 40 cm запажа се неприступачна вода ( $W_n$ ). Наведена појава десила се када је кукуруз био у завршној фази вегетативног пораста, и трајала је укључујући 20-дневни прекид до сазревања.

У 2005. години обезбеђеност земљишта водом (Граф.39) била је слична као 2002. године. Прву половину вегетационог периода обележава присуство лакоприступачне ( $W_{pl}$ ) воде у делу земљишта где се распростире највећа маса кореновог система. У дубљим слојевима земљишта запажа се и присуство гравитационе воде ( $W_g$ ). Други, важнији део вегетационог периода посматрано са аспекта потреба кукуруза за водом, биљке су егзистирале у условима тежеприступачне воде ( $W_{pt}$ ), док је у површинском делу земљишта доминирала неприступачна вода ( $W_n$ ).

### **Резултати приноса кукуруза на варијанти $W_0$**

Приноси зрна (Таб. 12) добијени четворогодишњим истраживањима у великој мери одговарају стању влажности земљишта током вегетационих периода у годинама извођења огледа. Просечни остварени приноси ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) били су условљени режимом падавина и висином евапотранспирације. Тако у повољнијим (2002. и 2005.) годинама није забележена значајна разлика између остварених приноса ( $11,342 Mg \cdot ha^{-1}$  односно  $11,493 Mg \cdot ha^{-1}$ ), док су исти били значајно нижи у 2004. години ( $8,911 Mg \cdot ha^{-1}$ ), а поготово у сушној 2003. години где је забележен просечан принос  $7,031 Mg \cdot ha^{-1}$ . Добијени резултати су у сагласности са истраживањима *Пејић и сар. (2010)* који указују на високу корелативну зависност падавина и остварених приноса, посебно падавина током јула и августа. До сличних закључака дошао је и *Бошњак (2004)* упоређивањем вишегодишњих (1965-2003.) просечних приноса кукуруза и сума вегетационих падавина у агроколошким условима Војводине.

Утицај густине на висину остварених приноса испољио је високу статистичку значајност. Анализом података приказаних у табели 12, најповољнија од испитиваних густина је  $G_2=64900$  биљ. $\cdot ha^{-1}$  у којој је остварен највиши просечан принос  $10,048 Mg \cdot ha^{-1}$  сувог зрна кукуруза. Такође, запажа се да је у три



од четири године експерименталних истраживања највиши принос остварен управо у поменутој густини сетве. Међутим, принос кукуруза при густини сетве 64900 биљ·ha<sup>-1</sup> није статистички био значајно виши од приноса оствареног при густини сетве 54900 биљ·ha<sup>-1</sup>. Најнижи просечан принос од 9,296 Mg·ha<sup>-1</sup>, као и у свим годинама проучавања, остварен је у највећој густини сетве 75200 биљ·ha<sup>-1</sup>. Поменути принос је био статистички значајно нижи од приноса остварених у варијантама са мањим бројем биљака, што је посебно изражено у сушнијим годинама. Посматрањем интеракције године и густине сетве запажене су статистички веома значајне разлике. Највиши принос остварен је у најповољнијој 2005. години при густини 64900 биљ·ha<sup>-1</sup> и износио је 11,94 Mg·ha<sup>-1</sup>. Незнатно нижи 11,60 Mg·ha<sup>-1</sup> принос остварен је такође у G<sub>2</sub> густини у 2002. години. Најнижи појединачни принос 6,427 Mg·ha<sup>-1</sup> био је у најсушнијој (2003.) години при највећој испитиваној густини (G<sub>3</sub>). Добијени резултати у сагласности су са резултатима *Виденовић и сар. (2003)* који наводе да је оптимална густина сетве хибрида касних група зрења у сушним годинама између 50000 и 60000 биљ·ha<sup>-1</sup>, док се у годинама са повољним плувиометријским режимом може сејати између 60000 и 70000 биљ·ha<sup>-1</sup>. Сличне густине сетве 50-55000 биљ·ha<sup>-1</sup> за хибриде ФАО група зрења 600-700 на земљишту типа псеудоглеј препоручују *Јовановић и Дугалић (1994)*. За разлику од поменутих аутора *Петровић (2000)* двогодишњим истраживањима долази до закључка да су оптималне густине сетве касних хибрида између 50000 и 80000 биљ·ha<sup>-1</sup>, док даље смањивање или повећавање густина неминовно доводи до умањења приноса.

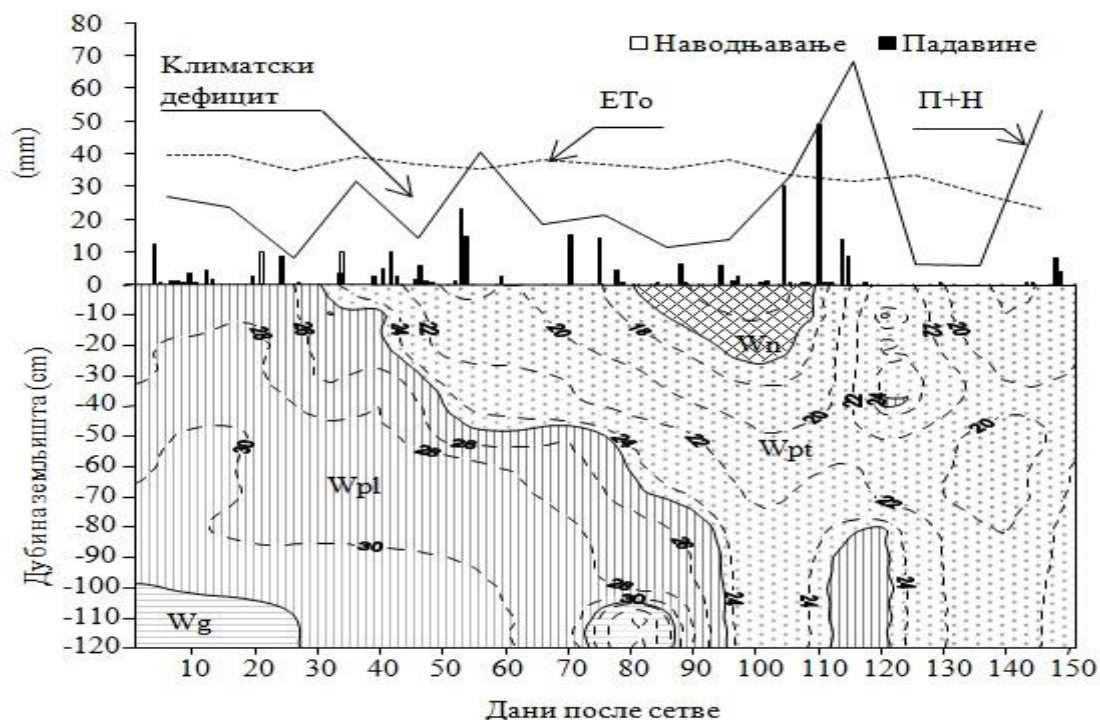
Таб. 12. Принос зрна кукуруза (Mg·ha<sup>-1</sup>) у условима природног водног режима чернозема

Густина (G)	Година (Y)				Просек
	2002.	2003.	2004	2005	
G <sub>1</sub>	11,456 <sup>ab</sup>	7,172 <sup>e</sup>	9,242 <sup>c</sup>	11,075 <sup>b</sup>	9,739 <sup>a</sup>
G <sub>2</sub>	11,597 <sup>ab</sup>	7,492 <sup>e</sup>	9,162 <sup>c</sup>	11,940 <sup>a</sup>	10,048 <sup>a</sup>
G <sub>3</sub>	10,965 <sup>b</sup>	6,427 <sup>f</sup>	8,327 <sup>d</sup>	11,463 <sup>abc</sup>	9,296 <sup>b</sup>
Просек	11,342 <sup>a</sup>	7,031 <sup>c</sup>	8,911 <sup>b</sup>	11,493 <sup>a</sup>	
LSD					
Фактор	0,05	0,01			
Y**	0,2205	0,3168			
G**	0,2611	0,3538			
Y x G*	0,5211	0,7076			

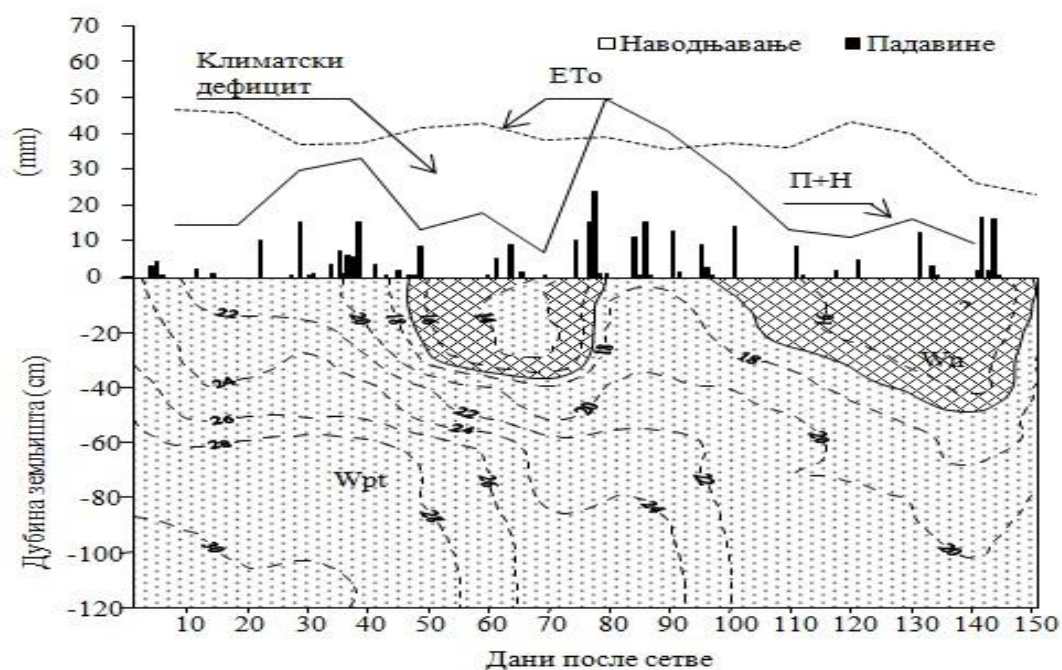
## 6.2.2. Иригациони водни режим чернозема

### Иригациони водни режим чернозема на третману $W_{i1}$

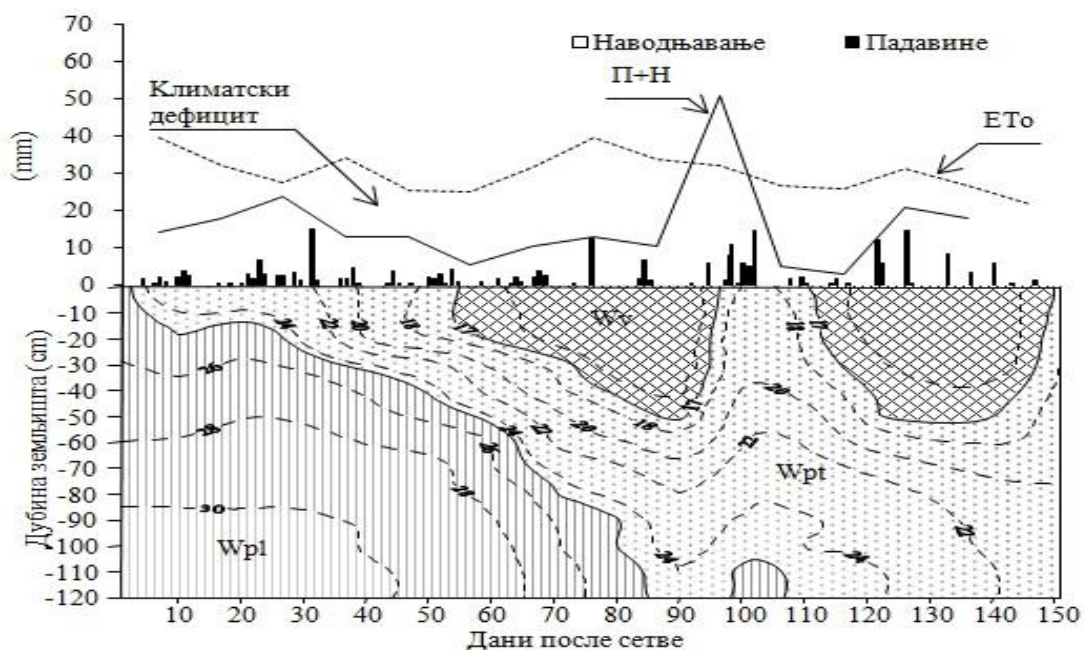
У  $W_{i1}$  варијанти проучавања иригационог водног режима земљишта, наводњавањем се интервенисало како би се кукуруз обезбедио водом до нивоа 40% референтне евапотранспирације (ЕТо). Како су у обзир приликом рачунања водног биланса, у циљу одређивања момента и норме заливања, узете све падавине, а с друге стране планирани ниво обезбеђености кукуруза водом веома низак, наводњавањем се интервенисало малим нормама заливања и то углавном у почетним фазама развоја кукуруза. Тако се у 2002. години заливањем интервенисало три пута укупном нормом ( $W_i$ ) 25 mm. У сушној 2003. години у овој варијанти наводњавања кукуруз је заливен у пет наврата, а норма наводњавања је била 47 mm. У 2004. и 2005. години обављено је по једно наводњавање нормама од 8 mm односно 12 mm. Из напред наведеног може се закључити да је водни режим земљишта зависио углавном од режима падавина (Граф. 40 до 43) док су корекције истог биле минималне.



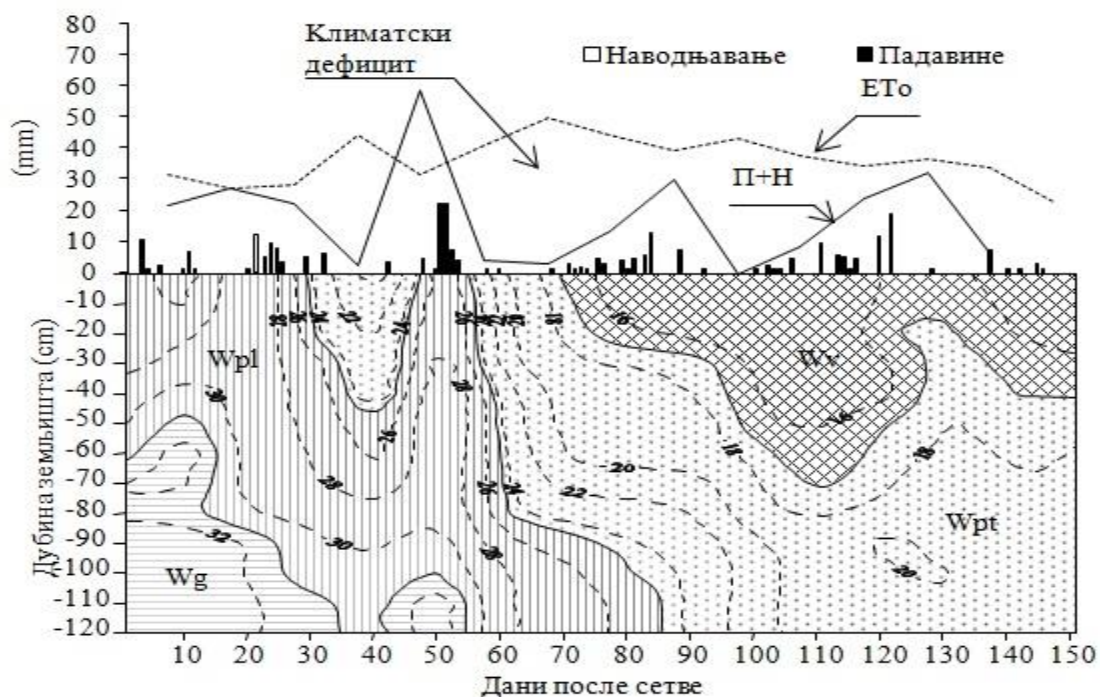
Граф. 40.-Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_1$  вегетационог периода кукуруза 2002. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 41.-Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_1$  вегетационог периода кукуруза 2003. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 42.-Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_1$  вегетационог периода кукуруза 2004. године,  $\Pi+N$  – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)

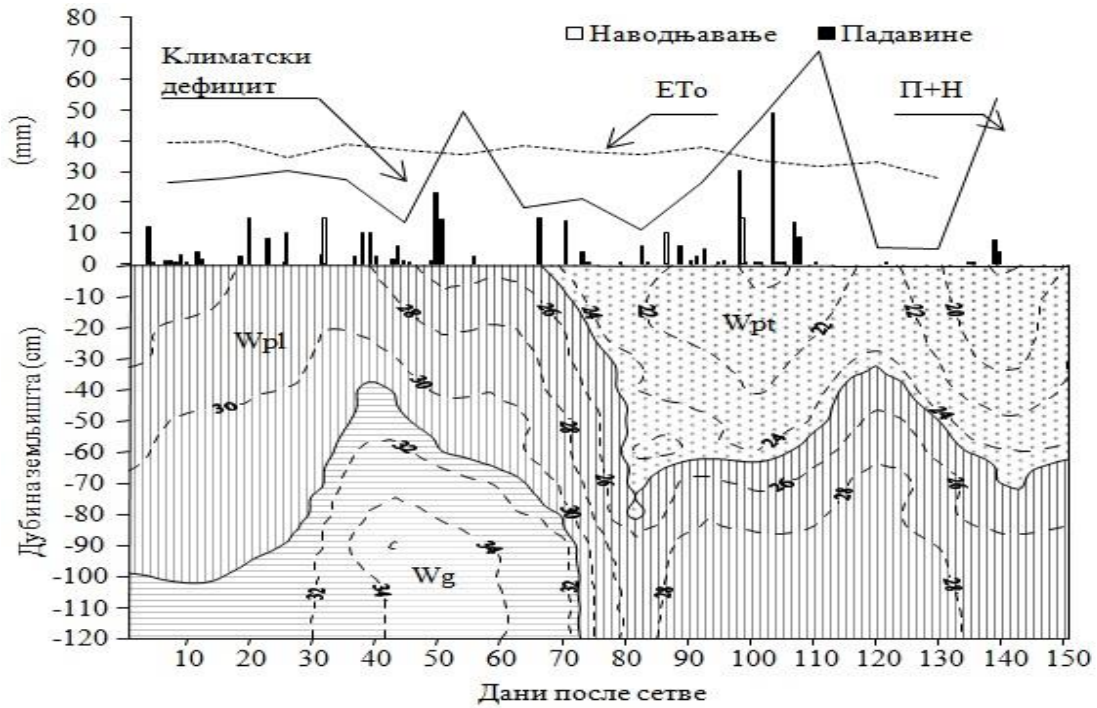


Граф. 43.-Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_1$  вегетационог периода кукуруза 2005. године,  $\Pi+N$  – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)

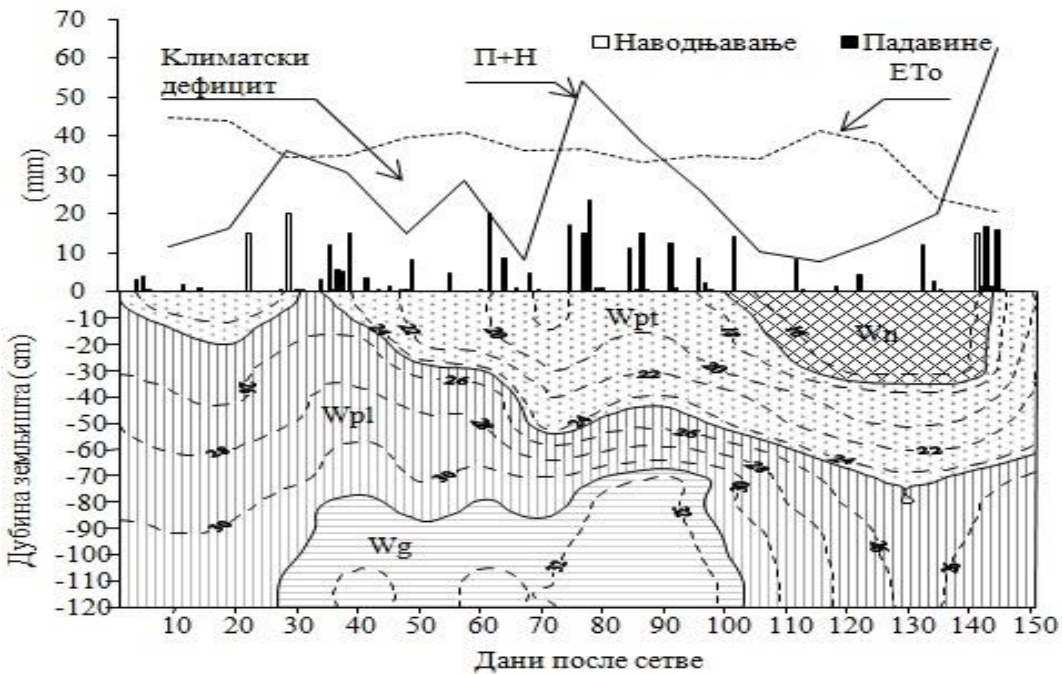
Како је водни режим земљишта у проучаваној варијанти веома сличан, а у појединим годинама скоро идентичан водном режиму оствареном у условима природног снабдевања земљишта водом, може се констатовати да је кукуруз егзистирао више или мање у неповољним условима гледано са аспекта обезбеђености истог лакоприступачном водом. Приноси кукуруза добијени у овој варијанти заливања су углавном зависили од количине и распореда падавина током периода вегетације.

### **Иригациони водни режим чернозема на третману $W_{i2}$**

Подтип иригационог водног режима чернозема ( $W_{i2}$ ) под кукурузом формиран је тако да падавине и вода додата наводњавањем чине 60% воде која се потроши на референтну евапотранспирацију. На формирање водног режима земљишта поред падавина и потрошње воде на евапотранспирацију битно је утицала и вода додата наводњавањем. У 2002. години кукуруз је заливен у 8 наврата нормама заливања ( $w_i$ ) од пет до 15 mm, а норма наводњавања ( $W_i$ ) у овој години износила је 90 mm. Овакав режим наводњавања обезбедио је кукуруз довољном количином лакоприступачне воде ( $W_{pl}$ ) од ницања па до фенофазе оплодње (Граф. 44). Други део вегетационог периода који се поклапа са фенофазама наливања зрна и сазревања, обележило је присуство теже приступачне воде ( $W_{pt}$ ) у слоју земљишта од 0 до 60 cm дубине, док су дубљи слојеви земљишта до краја вегетације били обезбеђени лакоприступачном водом ( $W_{pl}$ ). Водни режим вегетационог периода 2003. године, који у природним условима снабдевања водом карактерише суша од самог почетка вегетације кукуруза и прати га до сазревања, у овој варијанти заливања реализован је нормом наводњавања ( $W_i$ ) од 94 mm, распоређеном кроз седам норми заливања ( $w_i$ ) величине од пет до 20 mm. Изузетно топло лето условило је и високе дневне вредности реалне евапотранспирације кукуруза ( $\max > 7$  mm), те реализовани режим заливања није у потпуности могао да обезбеди лакоприступачну воду ( $W_{pl}$ ) биљкама (Граф. 45). У првој трећини вегетационог периода кукуруз је са мањим изузецима који се односе на површински део хоризонта, био снабдевен



Граф. 44. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{12}$  вегетационог периода кукуруза 2002. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm), ETo –декадна референтна евапотранспирација (mm)

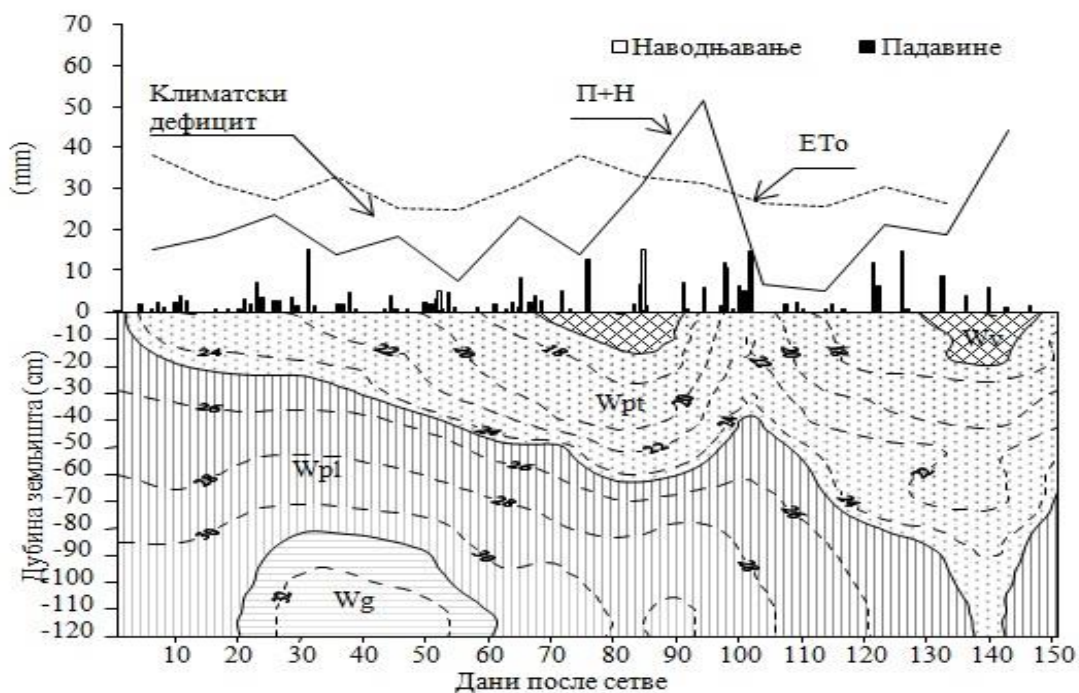


Граф. 45. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{12}$  вегетационог периода кукуруза 2003. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm), ETo –декадна референтна евапотранспирација (mm)

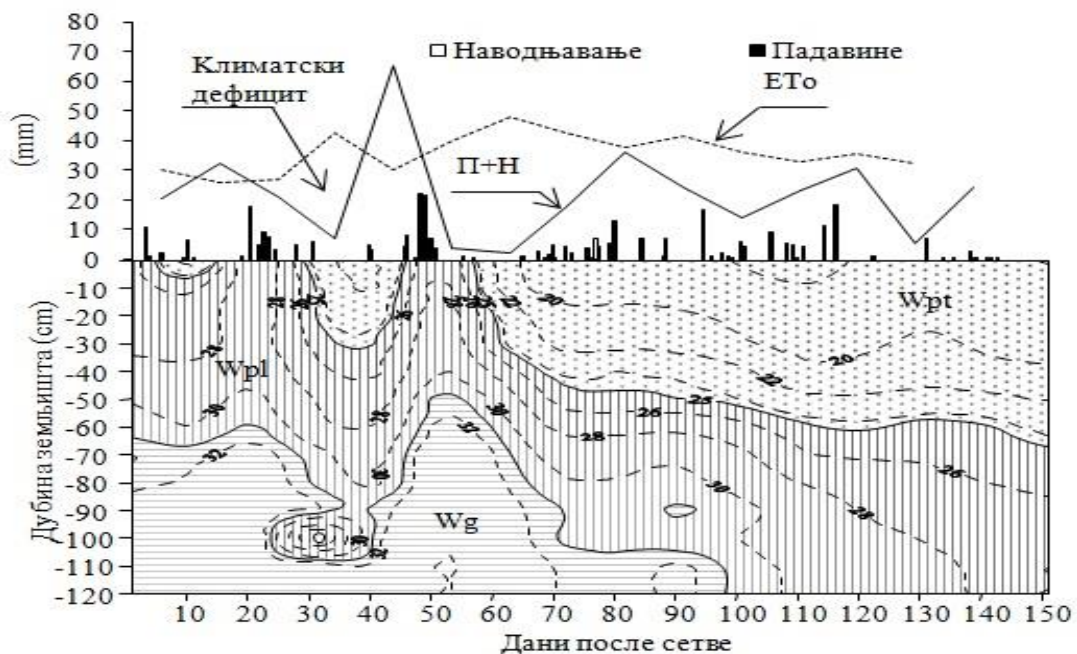
довољном количином лакоприступачне воде ( $W_{pl}$ ). У остатку вегетационог периода кукуруз је егзистирао у релативно неповољним условима. Перманентно присуство тежеприступачне воде ( $W_{pt}$ ) у слоју земљишта од 0 до 50 cm дубине током периода оплодње и наливања зрна, онемогућило је кукуруз да испољи свој пуни потенцијал. Последњих 30 дана вегетације у површинском делу земљишта регистровано је и присуство неприступачне ( $W_n$ ) воде, но то се није значајније одразило на остварени принос, јер је кукуруз у том периоду завршавао вегетацију. Током читавог вегетационог периода у дубљим слојевима земљишта ( $> 60$  cm) корен кукуруза имао је довољну количину лакоприступачне воде.

Садржај воде (Граф. 46) у земљишту у 2004. години имао је сличан тренд као и претходни вегетациони период. Режим наводњавања реализован је применом шест заливања, нормама од пет до 15 mm, а укупна вода додата наводњавањем износила је 52 mm. Прве две трећине вегетационог периода већи део кореновог система кукуруза био је ускраћен за лакоприступачном водом ( $W_{pl}$ ) пошто иста није била присутна у делу земљишта 0 до 50 cm дубине. Поменути дефицит био је изражен у последњој трећини вегетације, а посебно пред њен сам крај. Реализовани режим заливања обезбедио је лакоприступачну воду делу корена кукуруза који се налази на дубини већој од 50 cm до пред сам крај вегетационог периода.

Ни у најповољнијем вегетационом периоду са аспекта климе током 2005. године режим заливања који је подразумевао дефицит воде од 40% у односу на референтну евапотранспирацију ( $E_{To}$ ) није у потпуности обезбедио кукуруз лакоприступачном водом ( $W_{pl}$ ). Остварен је сличан водни режим земљишта као 2002. године, с том разликом што је обезбеђеност профила земљишта била боља посматрано по његовој дубини, док је неповољнији био посматрано у времену. Појава тежеприступачне воде регистрована је 15 дана раније него 2002. године и била је присутна до краја вегетације у делу земљишног профила од 0 до 50 cm дубине. Кукуруз је у потпуности био обезбеђен лакоприступачном водом ( $W_{pl}$ ) у прва два месеца вегетације, а дубљи делови кореновог система током читавог вегетационог периода (Граф. 47).



Граф. 46. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{i2}$  вегетационог периода кукуруза 2004. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 47. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{i2}$  вегетационог периода кукуруза 2005. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)

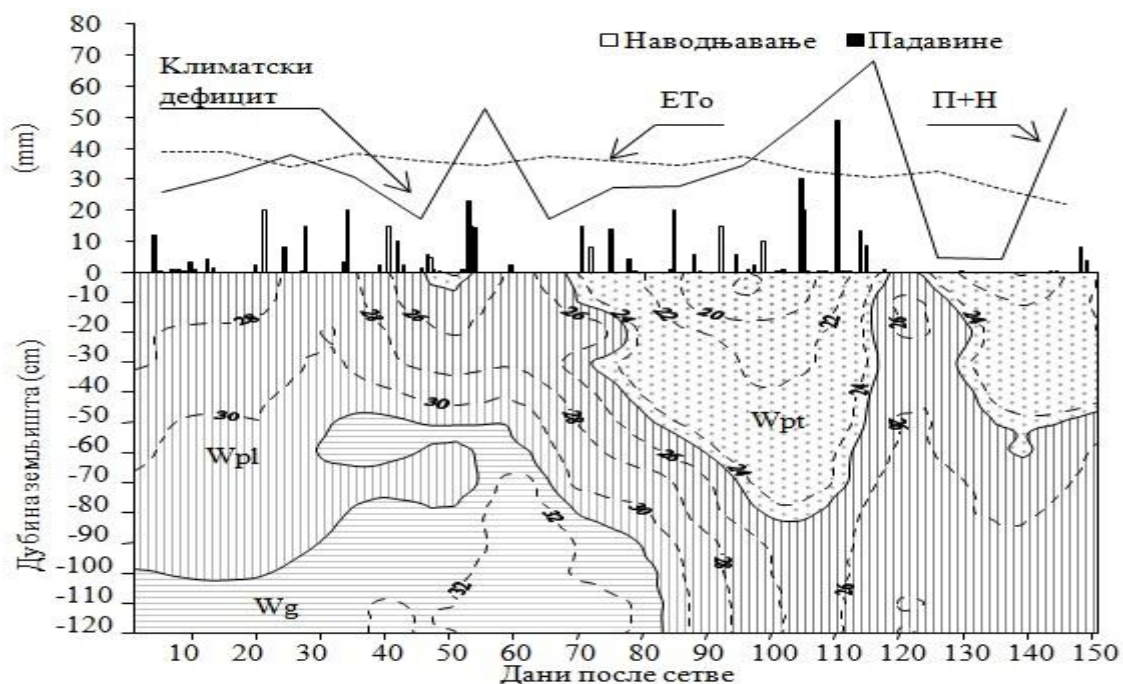


### **Иригациони водни режим чернозема на третману $W_{i3}$**

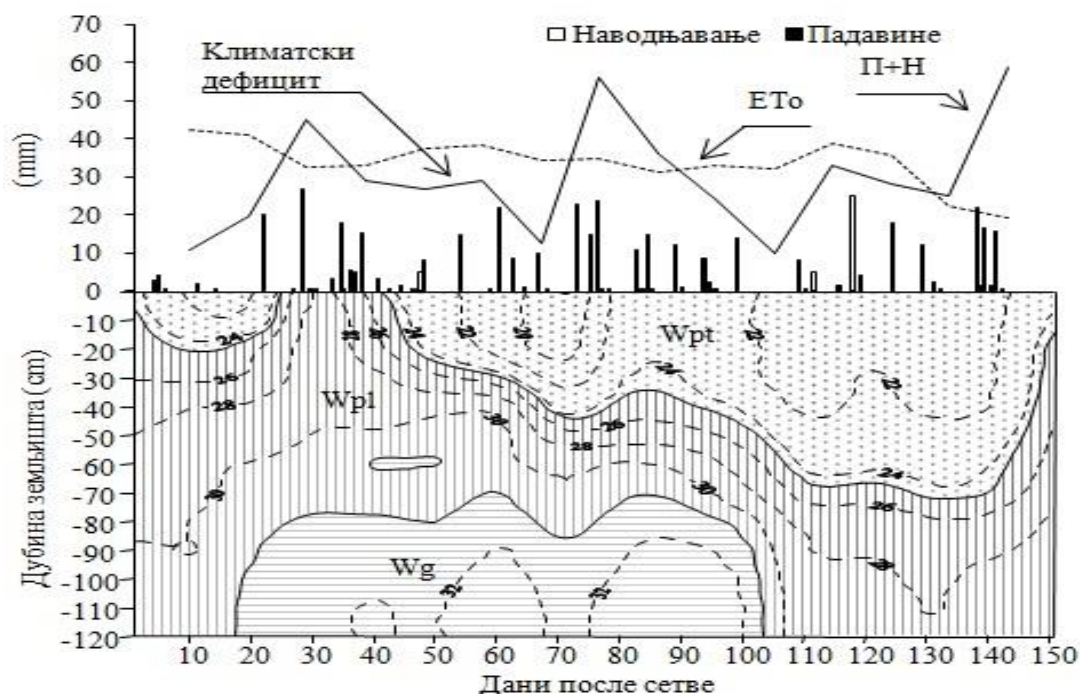
У  $W_{i3}$  варијанти истраживања остварени режим наводњавања имао је за циљ да се кукурузу ускрати 20% воде која се троши на референтну евапотранспирацију. Такав приступ резултирао је једнаким бројем заливања (укупно 11) у свим годинама експерименталних истраживања, с тим што су се норме заливања ( $w_i$ ) разликовале (Таб. 8 и Таб 8а) и зависиле су од висине референтне евапотранспирације. Такође, забележене су и различите норме наводњавања ( $W_i$ ), тако да је најмања (118 mm) била у најхладнијој 2004. години, док је највише воде додато наводњавањем (188 mm) у најсушнијој и најтоплијој 2003. години. Скоро идентичне норме наводњавања биле су 2002. (163 mm) и 2005. године (162 mm). Заједничко запажање за све године експерименталних истраживања (Граф. 48 до Граф. 51) је да је кукуруз био обезбеђен довољном количином лакоприступачне воде у првом делу вегетационог периода, тачније до завршетка вегетативне фазе развоја.

Као и у претходним варијантама истраживања, ни у овој варијанти наводњавања остварени водни режим у другом делу вегетационог периода није обезбедио оптималне услове за развој кукуруза. За разлику од претходних варијанти истраживања, у овој варијанти није забележено присуство неприступачне воде ( $W_n$ ), док се теже приступачна вода биљкама налазила у пливљивим слојевима земљишта, тако да је само половина кореновог система кукуруза била у условима теже приступачне воде ( $W_{pt}$ ). Такође у свим годинама проучавања у првом делу вегетације, када је и најчешће интервенисано наводњавањем забележено је значајно присуство гравитационе воде ( $W_g$ ) у дубљим хоризонтима земљишта.

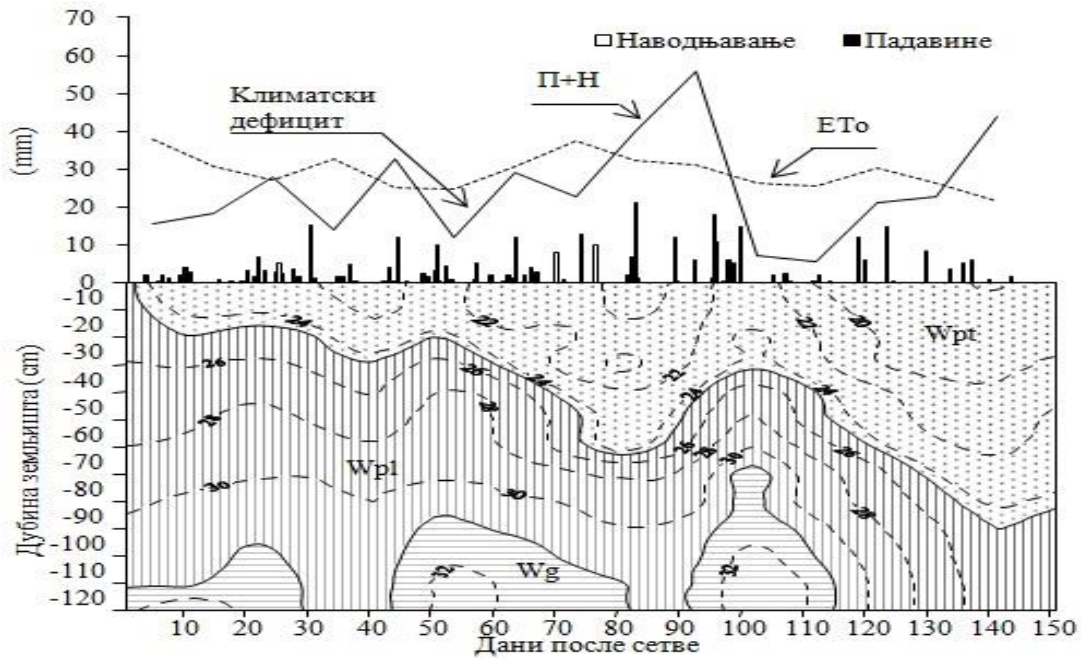
Наведени показатељи указују да вода потрошена на наводњавање није рационално искоришћена, то јест да се бољи ефекат могао постићи истим нормама заливања распоређеним у периоду вегетације када су потребе кукуруза за водом најизраженије.



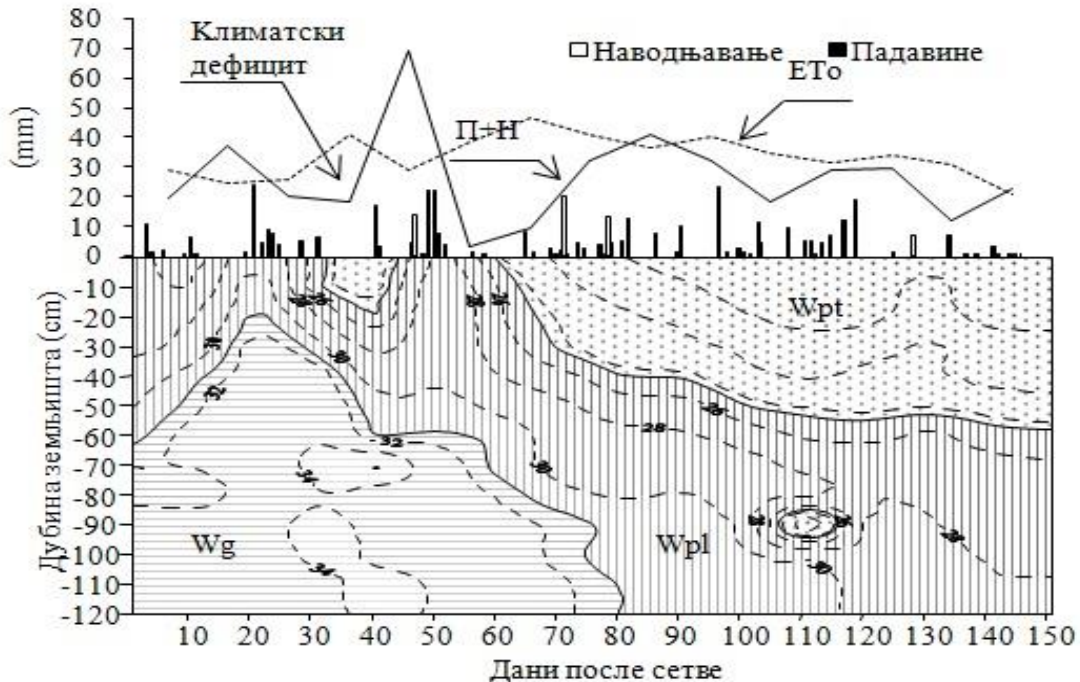
Граф. 48. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{13}$  вегетационог периода кукуруза 2002. године, П+Н – сума декадних падавина и норма заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 49. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{13}$  вегетационог периода кукуруза 2003. године, П+Н – сума декадних падавина и норма заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 50.-Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{13}$  вегетационог периода кукуруза 2004. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 51.-Иригациони водни режим на третману  $W_{13}$  чернозема вегетационог периода кукуруза 2005. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)

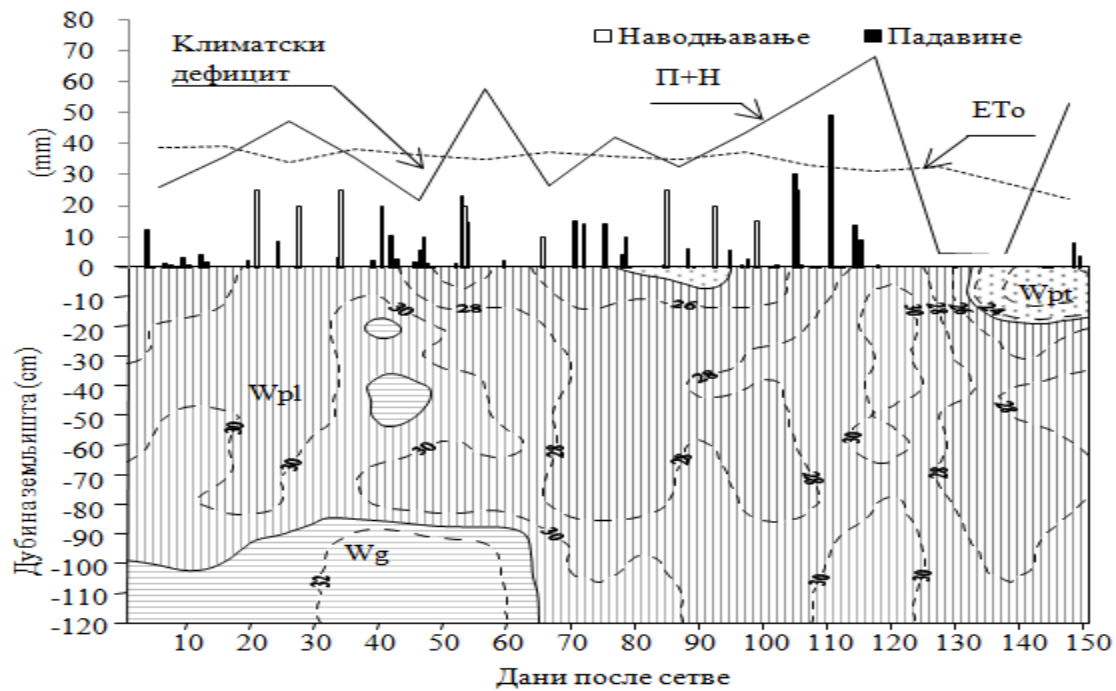
## Иригациони водни режим чернозема на третману $W_{i4}$

Режим наводњавања земљишта који је у потпуности требао да компензује воду из земљишта која би се потрошила на референтну евапотранспирацију реализован је кроз 13 заливања у 2002. и 2003. години, 14 заливања у 2004. и 12 заливања у 2005. години. Укупна количина додата наводњавањем (Таб. 8 и Таб 8а) зависила је првенствено од карактера године кореспондира са вредностима референтне евапотранспирације.

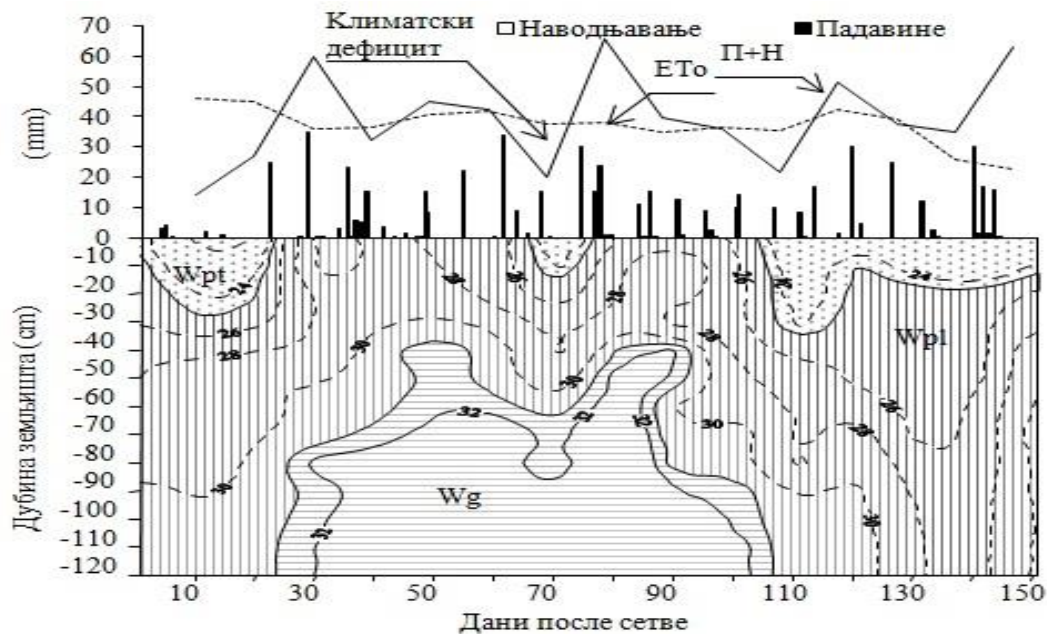
Вода додата наводњавањем обезбедила је кукуруз лакоприступачном водом током читавог периода вегетације у 2005. години (Граф. 55). Мала или боље рећи занемарљива појава тежеприступачне воде биљкама забележена је у површинском слоју земљишта на самом крају вегетације у 2002. и 2003. години (Граф. 52 и Граф. 53).

Ниске резерве влаге предвегетационог периода кукуруза у 2004. години нису надокнађене оствареним режимом заливања, тако да је ефективна дубина зоне ризосфере кукуруза делимично била ускраћена лакоприступачном водом (Граф. 54). Прва четири месеца вегетације у којима кукуруз потроши 85-90% укупне воде, дефицит лакоприступачне воде забележен је у плићим слојевима земљишта, док је на крају вегетације тај дефицит био израженији. Оваквом режиму заливања у 2004. години допринеле су температуре ваздуха које су у почетним фазама вегетације биле ниже од вишегодишњег просека, а у остатку вегетације на нивоу просечних, те су и вредности референтне евапотранспирације биле ниже, што је условило и најнижу норму наводњавања ( $W_i$ ) 210 mm у односу на остале године експерименталних истраживања.

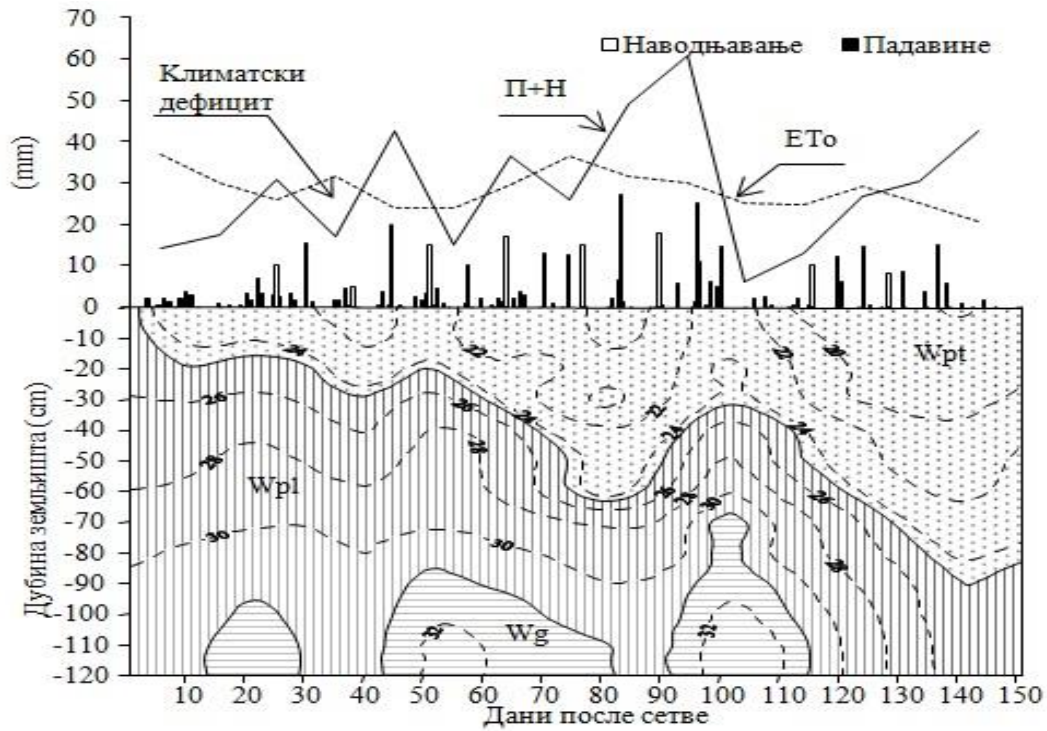
У свим годинама у којима су обављена проучавања на комбинованим дијаграмима који приказују квалитативну промену влажности земљишта у времену и по дубини профила у режиму наводњавања  $W_{i4}$ , запажа се појава гравитационе воде ( $W_g$ ). Ова појава карактеристична је за први део вегетационог периода, када потребе кукуруза за водом нису изражене. Наведена појава указује да у циљу рационалног располагања водом, норме заливања у првом делу вегетационог периода могу бити ниже.



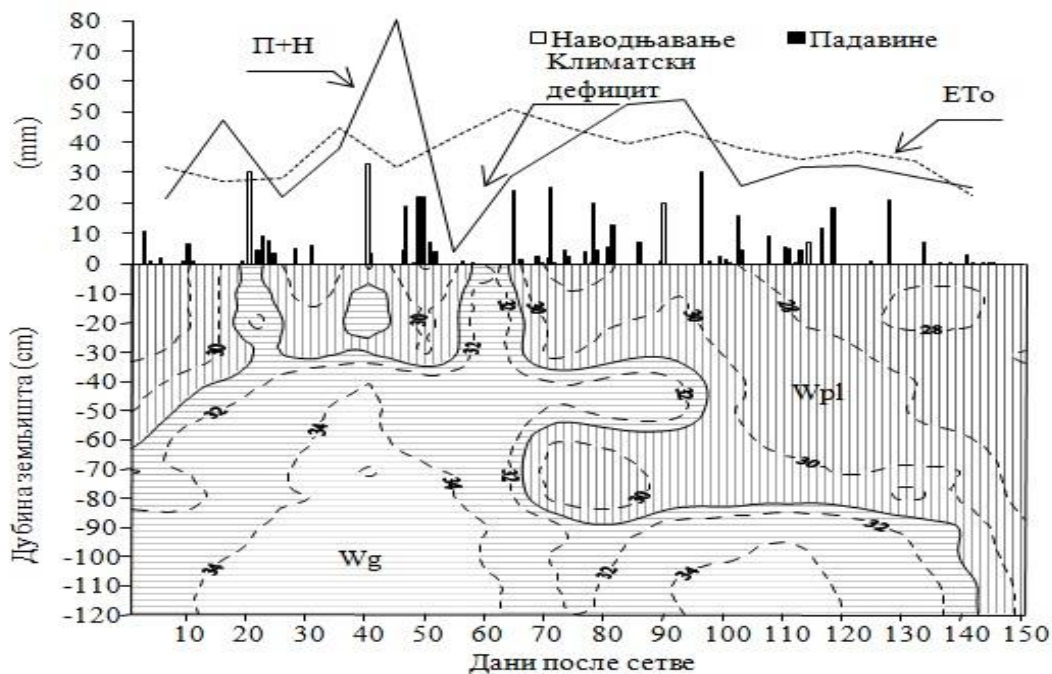
Граф. 52. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{14}$  вегетационог периода кукуруза 2002. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 53. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{14}$  вегетационог периода кукуруза 2003. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 54. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{14}$  вегетационог периода кукуруза 2004. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)



Граф. 55. Иригациони водни режим чернозема на третману  $W_{14}$  вегетационог периода кукуруза 2005. године, П+Н – сума декадних падавина и норми заливања (mm),  $E_{To}$  –декадна референтна евапотранспирација (mm)

Водни режим земљишта био је тема многих проучавања са различитих аспеката, али са јединственим циљем, да се гајеној култури обезбеди довољна количина воде за несметан раст и развиће током читавог периода вегетације. Често се као основ за проучавање водног режима узимала предзаливна влажност земљишта при којој треба интервенисати наводњавањем, а да биљка не буде изложена стању стреса. У нашим агроколошким условима према бројним ауторима (*Бошњак, 1982; Васић, 1983; Миливојевић, 1984*) наводњавање треба применити када се влажност земљишта спусти до нивоа 65% пољског водног капацитета. За разлику од њих *Максимовић (1997)* долази до закључка да се значајно виши приноси зрна кукуруза добијају одржавањем влажности земљишта изнад 75-80%, односно изнад 80-85% пољског водног капацитета (*Тапанарова, 2011*). Према *Васићу и сар. (1994)* одржавање високе влажности у делу земљишта од 0-30 см дубине перманентним наводњавањем малим нормама заливања, обезбеђује повољне услове за добијање високих и стабилних приноса кукуруза. Сличне резултате добио је и *Пејић (1999)*, с тим што наводи да је оптимална дубина проквашавања земљишта до 40 см. Анализа различитих подтипова иригационог режима током година експерименталног проучавања показује да је најповољнији водни режим земљишта, са аспекта гајене културе, остварен у варијанти  $W_{14}$  којом се у потпуности надокнадила разлика воде утрошене на референтну евапотранспирацију и воде доспеле у земљиште падавинама. Свако друго редуковано наводњавање негативно се одразило на садржај воде у земљишту, као и њену приступачност кукурузу. Са повећавањем нивоа редукције повећавало се и присуство тежеприступачне воде биљкама у ефективној дубини зоне ризосфере, док је у појединим варијантама забележена и неприступачна вода. Добијени резултати су у сагласности са резултатима *Payero et al. (2006)*, *Farre u Faci (2009)* који су кукуруз излагали стресу у различитим фазама развоја, а такође је и дужина стреса била различита. Као и у овим истраживањима поменути аутори су применом пуног наводњавања обезбедили оптималну влажност земљишта за гајење кукуруза, док је у већини варијанти редукованог наводњавања у другој половини вегетационог периода вода била теже приступачна, а у појединим моментима влажност земљишта се приближавала тачки већења. Посматрајући кретање динамике влажности земљишта по дубини профила запажа се да су

повећавањем нивоа редукције воде, стресним условима више изложени делови корена кукуруза који се налазе у плићим слојевима земљишта.

Упоређивањем коефицијента стреса ( $k_s$ ) и остварених приноса *Payero et al. (2009)* добили су највећу корелативну зависност када је кукуруз био изложен стресу од 12. до 14. недеље после ницања, то јест у фенофази  $R_3$  (наливање зрна), док је негативна корелативна зависност између наведених параметара забележена при излагању кукуруза стресу у периоду од 17. до 19. недеље после сетве. Из наведеног може се констатовати да наводњавање није неопходно после 17. недеље од ницања.

Динамика влажности земљишта у различитим режимима редукованог наводњавања, као и у условима природне снабдевености водом веома је слична оној коју су уочили *Божих и сар. (2007)*, *Драговић и сар. (2008)* такође у доњем Срему. Наводњавањем је коригован недостатак падавина, а кукуруз је у таквим условима имао довољно воде на располагању.



### 6.3. Принос зрна кукуруза

На основу свега до сада изнетог могуће је довести у везу висину остварених приноса кукуруза са проучаваним водним режимима земљишта.

У 2002. години наводњавање је допринело просечном повећању приноса које се кретало од 1,05% у варијанти  $W_{i1}$  у којој је степен редукције воде био највећи, па до 35,04% у варијанти  $W_{i4}$  где је примећена незнатна редукција наводњавања (Таб. 13). Може се запазити да се са смањивањем дефицита влажности земљишта повећавао принос зрна кукуруза. Испитиване густине сетве, такође су значајно утицале на висину остварених приноса. Анализирајући само утицај густине сетве на принос, намеће се закључак да је оптимална густина сетве хибрида ZP 677 G<sub>2</sub> (64900 биљ·ha<sup>-1</sup>) у којој је остварен највећи просечан принос од 13,211 Mg·ha<sup>-1</sup>. Међутим, детаљном анализом интеракције утицаја водног режима земљишта и густине сетве на принос зрна кукуруза запажа се да је највиши остварени принос (16,125 Mg·ha<sup>-1</sup>) добијен у варијанти наводњавања  $W_{i4}$  при густини сетве G<sub>3</sub> (75200 биљ·ha<sup>-1</sup>). Примена редукованог наводњавања до 20% ( $W_{i3}$ ) омогућава успешно гајење кукуруза при највећој густини сетве, али даље повећавање редукције воде  $W_{i2}$  и  $W_{i1}$  утицало је и на висину остварених приноса, тако да у таквим условима кукурузу одговарају мање густине биљака по јединици површине G<sub>2</sub> и G<sub>1</sub>. У варијантама са израженим редукованим наводњавањем ( $W_{i1}$  и  $W_{i2}$ ), као и у варијанти без наводњавања ( $W_0$ ) није било статистички значајних разлика у добијеним приносима између G<sub>1</sub> и G<sub>2</sub>.

Таб. 13. Принос зрна кукуруза (Mg·ha<sup>-1</sup>) у условима природног и различитих нивоа ирригационог водног режима чернозема у 2002. години

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	$W_0$	
G <sub>1</sub>	11,477 <sup>hi</sup>	12,442 <sup>fg</sup>	13,430 <sup>e</sup>	14,828 <sup>c</sup>	11,456 <sup>hi</sup>	12,728 <sup>b</sup>
G <sub>2</sub>	11,922 <sup>gh</sup>	12,958 <sup>ef</sup>	14,093 <sup>d</sup>	15,485 <sup>b</sup>	11,597 <sup>h</sup>	13,211 <sup>a</sup>
G <sub>3</sub>	10,985 <sup>i</sup>	12,430 <sup>fg</sup>	14,260 <sup>cd</sup>	16,125 <sup>a</sup>	10,965 <sup>i</sup>	12,953 <sup>b</sup>
Просек	11,462 <sup>d</sup>	12,610 <sup>c</sup>	13,928 <sup>b</sup>	15,479 <sup>a</sup>	11,342 <sup>d</sup>	12,960
LSD						
Фактор	0,05	0,01				
W**	0,2654	0,3720				
G**	0,1905	0,2565				
W x G**	0,4259	0,5736				

Сличан тренд када је реч о приносима задржан је и у 2003. години с том разликом што су приноси у просеку у односу на 2002. годину били нижи за 40,1%. Овакав резултат последица је неповољних климатских услова, пре свега високих температура ваздуха, који су пратили развој кукуруза током читавог периода вегетације. Иако се у овој години у свим варијантама истраживања највише интервенисало наводњавањем, добијен је најнижи просечан принос (9,247 Mg·ha<sup>-1</sup>) зрна кукуруза (Таб. 14). Високе температуре ваздуха с једне стране допринеле су великој потрошњи воде од стране кукуруза (максимална дневна потрошња воде је била преко 7 mm), а са друге стране утицале су да кукуруз брже пролази кроз фенофазе развића и на тај начин скрати вегетациони период (Таб. 7).

Ефекат наводњавања на висину остварених приноса у овој години је био највећи и повећање у односу на W<sub>0</sub> кретао се од 80% у варијанти W<sub>4</sub>, па до 5% у варијанти W<sub>1</sub>. Запажа се да у веома сушним годинама и мале норме наводњавања (47 mm) могу значајно повећати принос. Највиши појединачни принос зрна кукуруза добијен је у варијанти W<sub>4</sub> при највећој G<sub>3</sub> густини сетве.

Таб. 14. Принос зрна кукуруза (Mg·ha<sup>-1</sup>) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2003. години

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>0</sub>	
G <sub>1</sub>	7,864 <sup>g</sup>	8,596 <sup>f</sup>	9,916 <sup>de</sup>	11,818 <sup>b</sup>	7,170 <sup>hi</sup>	9,073 <sup>b</sup>
G <sub>2</sub>	7,508 <sup>gh</sup>	9,477 <sup>de</sup>	10,015 <sup>cd</sup>	12,622 <sup>a</sup>	7,497 <sup>gh</sup>	9,424 <sup>a</sup>
G <sub>3</sub>	6,788 <sup>ij</sup>	9,336 <sup>e</sup>	10,580 <sup>c</sup>	13,098 <sup>a</sup>	6,429 <sup>j</sup>	9,244 <sup>ab</sup>
Просек	7,384 <sup>d</sup>	9,137 <sup>c</sup>	10,170 <sup>b</sup>	12,513 <sup>a</sup>	7,032 <sup>e</sup>	9,247
LSD						
Фактор	0,05	0,01				
W**	0,1688	0,2366				
G**	0,2093	0,2818				
W x G**	0,4679	0,6301				

Вегетациони период 2004. године, за разлику од 2003. године, био је посматрано са аспекта температурног режима значајно хладнији, што се може закључити анализом података сума активних температура кукуруза (Таб. 4). Анализирајући режим падавина у овој години уочава се да сума падавина нису значајно одступале од сума падавина вегетационих периода 2003. и 2005. године,

док су значајно ниже у односу на 2002. годину. Међутим, детаљним посматрањем режима декадних сума падавина запажа се њихов неравномеран распоред (Граф. 3). Тако се бележи један дужи сушни период који је трајао од почетка треће декаде маја па до краја прве декаде јула и један краћи који се поклапа са фенофазом наливања зрна (прва и друга декада августа).

Све напред наведено утицало је на водни режим земљишта, а преко њега и на висину остварених приноса зрна кукуруза. Ефекат примене наводњавања и у овој години био је значајан, тако да је просечно повећање приноса у  $W_{i4}$  у односу на контролну варијанту  $W_0$  износило 56,6%. Повећавањем степена редукованог наводњавања смањивао се и ефекат истог, тако да је у варијанти  $W_{i3}$  био 41,3%, у  $W_{i2}$ , 16,1%, док је у варијанти  $W_{i1}$  износио свега 2,9% (Таб. 15).

За разлику претходне две године, у 2004. години истраживања повећање густине позитивно се одразило на висину остварених приноса. Просечно највиши принос је остварен у највећој испитиваној густини  $G_3$  (11,169  $Mg \cdot ha^{-1}$ ), мада није остварена статистички значајна разлика између приноса у  $G_2$  и  $G_3$ . И у овој години највиши појединачни принос добијен је у  $W_{i4}$  варијанти наводњавања, при највећој густини гајења  $G_3$  (14,605  $Mg \cdot ha^{-1}$ ). Принос је на повећавање густине сетве позитивно реаговао у варијантама  $W_{i4}$  и  $W_{i3}$ , док је у варијантама  $W_{i1}$  и  $W_{i2}$ , као и у контролној  $W_0$  варијанти кукурузу одговарао мањи број биљака по јединици површине.

Таб. 15. Принос зрна кукуруза ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2004. години

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	$W_0$	
$G_1$	9,424 <sup>fg</sup>	9,876 <sup>f</sup>	11,680 <sup>d</sup>	13,487 <sup>b</sup>	9,248 <sup>g</sup>	10,743 <sup>b</sup>
$G_2$	9,510 <sup>fg</sup>	10,520 <sup>e</sup>	12,560 <sup>c</sup>	13,848 <sup>b</sup>	9,166 <sup>g</sup>	11,121 <sup>a</sup>
$G_3$	8,610 <sup>h</sup>	10,695 <sup>e</sup>	13,578 <sup>b</sup>	14,605 <sup>a</sup>	8,356 <sup>h</sup>	11,169 <sup>a</sup>
Просек	9,182 <sup>d</sup>	10,364 <sup>c</sup>	12,606 <sup>b</sup>	13,980 <sup>a</sup>	8,923 <sup>d</sup>	11,010
LSD						
Фактор	0,05	0,01				
$W^{**}$	0,2547	0,3571				
$G^{**}$	0,1528	0,2058				
$W \times G^{**}$	0,3417	0,4602				

У 2005., најповољнијој години за гајење кукуруза, добијени су и највиши приноси, како у контролној  $W_0$  тако и у свим варијантама иригационог водног

режима. Наводњавање је позитивно деловало на висину приноса зрна кукуруза, а највећи ефекат (38,2%) имало је у  $W_{i4}$  варијанти истраживања. Кукуруз у повољним условима гајења позитивно реагује и на повећање густине, тако да је у 2005. години највиши просечан принос ( $13,747 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) био у густини  $G_3$ , мада као и у претходној години није био статистички значајно виши у односу на  $G_2$  испитивану густину. Посматрајући интеракцију између различитих варијанти водних режима и густина сетве, највиши принос је остварен у варијанти  $W_{i4}$ , при највећој густини гајења  $G_3$  и износио је  $16,3 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , а то је уједно и највиши принос добијен у четворогодишњим истраживањима. У повољним климатским условима кукуруз позитивно реагује на повећање густине, и при већим редукцијама воде (Таб. 16), што потврђује чињеница да је у 2005. години за разлику од претходних година у којима су извођена експериментална истраживања, у варијанти  $W_{i2}$  највиши принос добијен при највећој густини сетве ( $G_3$ ).

Таб. 16. Принос зрна кукуруза ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2005. години

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	$W_0$	
$G_1$	11,818 <sup>fg</sup>	12,888 <sup>e</sup>	14,378 <sup>d</sup>	15,497 <sup>bc</sup>	11,075 <sup>h</sup>	13,131 <sup>b</sup>
$G_2$	12,232 <sup>f</sup>	13,285 <sup>e</sup>	15,227 <sup>c</sup>	15,860 <sup>ab</sup>	11,940 <sup>fg</sup>	13,709 <sup>a</sup>
$G_3$	11,893 <sup>fg</sup>	13,308 <sup>e</sup>	15,770 <sup>abc</sup>	16,300 <sup>a</sup>	11,463 <sup>gh</sup>	13,747 <sup>a</sup>
Просек	11,981 <sup>d</sup>	13,160 <sup>c</sup>	15,125 <sup>b</sup>	15,886 <sup>a</sup>	11,493 <sup>d</sup>	13,530
LSD						
Фактор	0,05	0,01				
W**	0,3186	0,5283				
G**	0,1849	0,2490				
W x G**	0,4135	0,5568				

Резултати просечних четворогодишњих приноса зрна кукуруза добијени у свим варијантама истраживања приказани су у табели 17. Највиши просечан принос зрна кукуруза  $15,886 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  посматрано са аспекта примењених водних режима добијен је у  $W_{i4}$  варијанти, то јест у варијанти где је додато највише воде наводњавањем. Свако редуковано наводњавање доводило је до умањења приноса зрна кукуруза, а степен редукције приноса уско је повезан са степеном редукције воде у земљишту. До сличних резултата својим истраживањима дошли су *Sani et*

*al.* (2008) испитујући утицај редукованог наводњавања на принос раних хибрида кукуруза у саванама Нигерије. *Mengu u Ozgurel* (2008) су проучавајући утицај редукованог наводњавања на принос кукуруза у Турској, у околини Измира, највиши принос зрна добили у варијанти пуног наводњавања, док је у условима редукованог наводњавања принос био нижи за 11% (у варијанти где је редукација воде била 20%) па чак до 80% (у варијанти где је редукација воде била 80%). У условима западне Турске, *Dagdelen et al.* (2006) добили су највише приносе зрна кукуруза применом пуног наводњавања. *Beigzadeh et al.* (2013) истраживањима су дошли до сличног закључка у агроеколошким условима Ирана, где је редукација наводњавања од 20% утицала на смањење приноса за 21,6%, док је редукација воде на нивоу 40% редуковала принос кукуруза 40,4%. Израженије смањење приноса са повећањем дефицита воде у семиаридним условима добили су *Bouazzama et al.* (2012, тако је редукација воде од само 20% умањила принос чак 37,8%.

Таб. 17. Принос зрна кукуруза ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема 2002.- 2005. година

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	Wi <sub>1</sub>	Wi <sub>2</sub>	Wi <sub>3</sub>	Wi <sub>4</sub>	Wo	
G <sub>1</sub>	10,146 <sup>i</sup>	10,951 <sup>h</sup>	12,351 <sup>f</sup>	13,908 <sup>c</sup>	9,739 <sup>j</sup>	11,419 <sup>b</sup>
G <sub>2</sub>	10,293 <sup>i</sup>	11,560 <sup>g</sup>	12,974 <sup>e</sup>	14,454 <sup>b</sup>	10,050 <sup>i</sup>	11,866 <sup>a</sup>
G <sub>3</sub>	9,567 <sup>jk</sup>	11,442 <sup>g</sup>	13,547 <sup>d</sup>	15,032 <sup>a</sup>	9,303 <sup>k</sup>	11,778 <sup>a</sup>
Просек	10,002 <sup>d</sup>	11,318 <sup>c</sup>	12,957 <sup>b</sup>	14,464 <sup>a</sup>	9,698 <sup>e</sup>	
	LSD					
Фактор	0,05	0,01				
W**	0,1101	0,1469				
G**	0,0896	0,1185				
W x G**	0,2005	0,2650				

Проучавајући утицај редукованог наводњавања на принос силажног кукуруза у Зимбабвеу сличне резултате добили су *Rusere et al.* (2012), као и *Oktem* (2008) у производњи клипа кукуруза шећерца у Турској.

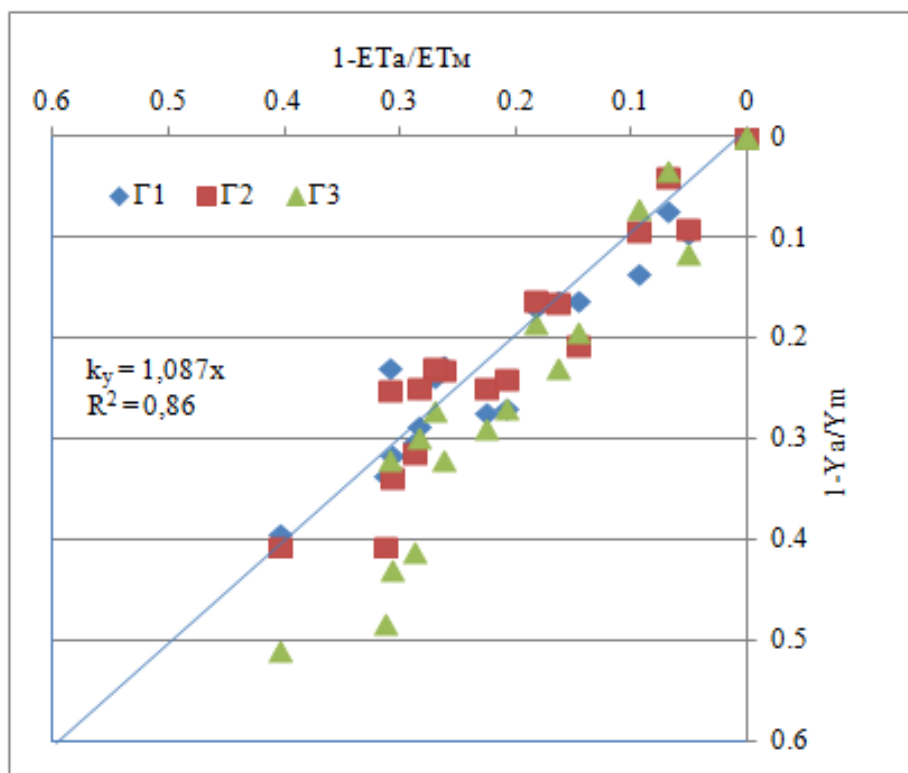
Редуковано наводњавање је мање више у већини истраживања довело до смањења приноса, али у неким рејонима одређени ниво редукације није статистички значајно утицао на редукацију приноса. Тако у Колораду, *Al-Kaisi u Yin* (2003) нису добили статистички значајно нижи принос у варијанти где је

редукција воде била 20% у односу на пун третман наводњавања. Даље ускраћивање воде кукурузу довело је до значајне редукције приноса. Потврду резултатима наведеног аутора дали су својим истраживањима *Couto et al.*, (2013) у Шпанији, *Gencoglan u Yazar* (1999) у Турској и *Salemi et al.* (2011) у Ирану. Међутим, постоје и истраживања која показују да није довољно наводњавањем компензовати само разлику воде потрошене на потенцијалну евапотранспирацију и воде приспеле падавинама, већ су потребе кукуруза за водом још израженије. У Турској, у условима суб-хумидне климе на основу експерименталних истраживањима *Kuscu et al.* (2013) и *Karasu et al.* (2015) закључују да кукуруз најбоље приносе постиже када је однос стварне и потенцијалне евапотранспирације 1,25:1.

Густина сетве такође је значајно утицала на висину остварених приноса. На основу четворогодишњих истраживања може се констатовати да је оптимална густина гајења 64900 биљ. $\cdot$ ha<sup>-1</sup> за хибрид ZP 677. Уколико би кукуруз током читавог периода вегетације био обезбеђен довољном количином лакоприступачне воде, могао би се гајити и у већим густинама. Добијени резултати су у сагласности са резултатима добијеним у проучавањима *Kresović u cap.*, (2004) и *Kresović u cap.*, (2011). Правилан закључак до ког нивоа редукције воде се кукуруз може гајити у одређеним густинама, свакако је значајније од посматрања просечних приноса добијених у различитим густинама сетве. Тако ова истраживања показују да је оптимална густина сетве касних хибрида кукуруза у агроколошким условима Источног Срема, уколико има довољно воде на располагању током вегетационог периода, 75200 биљ. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>. У условима слабије обезбеђености кукуруза водом исти боље реагује на мање густине (биљ. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>). Сличне резултате у агроколошким условима Велике равнице у САД-у добили су *Al-Kaisi u Yin* (2003). Највиши принос кукуруза добили су у варијанти потпуне обезбеђености кукуруза водом при густини 69000 биљ. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>. Повећавање густине није значајно утицало на висину приноса, док су у мањим густинама од поменуте добијени значајно нижи приноси. У условима редукованог наводњавања више или мање израженог, кукуруз боље приносе даје при мањим густинама сетве. *Sani et al.*, (2008) добили су најбоље приносе зрна кукуруза у саванама Нигерије у режиму пуне обезбеђености кукуруза водом при густини 66000 биљ. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>. И они

су дошли до закључка да редуковано наводњавање захтева мањи број биљака по јединици површине. За разлику од кукурузног појаса Америке, кукуруз се у јужној Африци може гајити у значајно већим густинама. Тако *Gobeze et al. (2012)* наводе да је оптимална густина гајења кукуруза у условима наводњавања 100000 биљ. ·ha<sup>-1</sup>, с тим да је најповољнији размак између редова 45 cm. *Karasahin (2014)* је дошао до закључка да је у провинцији Карабука у Турској оптимална густина за гајење силажног кукуруза 119040 биљ. ·ha<sup>-1</sup> у условима наводњавања.

Коефицијент смањења релативног приноса ( $k_y$ ) услед настанка стреса такође је један од показатеља на основу којег се могу дати оцене о толерантности генотипа на неповољне услове или пак одредити фазе развоја у којима је биљка највише осетљива на стрес.



Граф. 56. Однос између смањења релативног приноса и релативне евапотранспирације

На графикону бр. 56 види се да постоји висока линеарна зависност између релативног пада приноса и релативнг смањења количине потребне воде, а вредности варирају у зависности од атмосферских услова током вегетационог периода. Такође, запажа се да са смањењем количине воде не мора доћи обавезно

и до смањења приноса, поготово ако се недостатак јави у периоду кад усев није осетљив на сушу. Јасно се запажа да су падови приноса више изражени на варијантама са већом густином биљака. Овакви резултати ( $k_y=1,09$ ) су у сагласности са резултатима добијеним из ФАО литературе, где је вредност наведеног коефицијента 1,25 (*Doorenbos и Kassam, 1979*). Скоро идентичне резултате ( $k_y=0,99$ ) резултатима добијеним овим истраживањима добили су *Mengu и Ozgurel (2008)* у Турској, док су сличне вредности ( $k_y=1,12$ ) добили *Bouazzama et al. (2012)* у семи-аридним условима Марока истражујући утицај стреса на принос силажног кукуруза. У литератури су забележене и веће вредности  $k_y$ , што првенствено зависи од климатских услова током периода истраживања. Тако су *Howell et al. (1997)*, у Тексасу добили вредност 1,47. Сличан резултат ( $k_y=1,50$ ) у Небраски излагањем кукуруза стресу у репродуктивним фенофазама развоја кукуруза добили су *Payero et al. (2009)*, док у условима аридне климе у Турској *Cakir (2004)* наводи висину овог параметра 1,36. У сличним климатским условима као што су у Србији, *Stan и Naescu (1997)* у Румунији наводе вредности од 0,66-0,86 за  $k_y$ . Знатно ниже вредности (0,54) у условима Војводине добили су *Пејућ и сар. (2011)*, те наводе да су исте последица количине и распореда падавина, као и ниске евапотранспирације у појединим годинама истраживања.



#### 6.4. Ефикасност коришћења воде

##### Ефикасност коришћења воде (WUE)

Ефикасност коришћења воде (WUE) по третманима наводњавања израчуната је из односа приноса и реалне евапотранспирације.

У 2002. години (Таб. 18) највише просечне вредности ( $3,02 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) WUE забележене су у варијанти  $W_0$ , док су најниже вредности биле у варијанти редукованог наводњавања  $W_{i3}$  ( $2,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Посматрано по густинама сетве запажа се да је кукуруз најефикасније користио воду у другој ( $G_2$ ) проучаваној густини, док се при повећаним ( $G_3$ ) или смањеним ( $G_1$ ) густинама ефикасност коришћења воде смањивала. Анализирајући утицај водног режима и густине сетве запажа се да је кукуруз најефикасније користио воду у  $G_2$  при снабдевању водом пореклом само од падавина. С друге стране, најнижа вредност је забележена у варијанти  $W_{i3}$  при најмањој густини сетве ( $G_1$ ). Добијени резултати указују да кукуруз добро користи воду како пореклом само од падавина, тако и воду додатно наводњавањем. Узимајући у обзир да је 2002. година била и најповољнија са аспекта обезбеђености падавинама, разумљиво је да је и вредност WUE у условима природног водног режима била највећа.

Таб. 18. Ефикасност коришћења воде (WUE) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих варијанти иригационог водног режима чернозема у 2002. години

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	$W_0$	
$G_1$	2,866 <sup>cd</sup>	2,735 <sup>def</sup>	2,603 <sup>f</sup>	2,723 <sup>ef</sup>	3,050 <sup>ab</sup>	2,795 <sup>b</sup>
$G_2$	2,973 <sup>abc</sup>	2,855 <sup>cde</sup>	2,733 <sup>def</sup>	2,842 <sup>cde</sup>	3,085 <sup>a</sup>	2,897 <sup>a</sup>
$G_3$	2,740 <sup>de</sup>	2,738 <sup>def</sup>	2,762 <sup>de</sup>	2,958 <sup>abc</sup>	2,917 <sup>bc</sup>	2,823 <sup>b</sup>
Просек	2,859 <sup>b</sup>	2,766 <sup>bc</sup>	2,699 <sup>c</sup>	2,841 <sup>b</sup>	3,017 <sup>a</sup>	
LSD						
Фактор	0,05	0,01				
W**	0,061	0,088				
G**	0,046	0,061				
W x G**	0,102	0,137				

За разлику од 2002. године у 2003. години добијене су значајно ниже вредности WUE, а кукуруз је најефикасније користио воду у наводњавањем

варијантама (Таб. 19). Највиша вредност WUE била је у варијанти  $W_{i4}$  ( $2,41 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), док је најнижа вредност забележена у варијанти  $W_{i1}$ , где је додато свега 40% од потребне количине воде ( $1,955 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Вредности WUE у овој години испитивања увеликој мери су зависиле од режима наводњавања, што потврђује чињеница да су се исте смањивале са повећањем редукације воде. Густине нису значајно утицале на вредност WUE, али се запажа да је вредност овог параметра била највећа у  $G_2$  ( $2,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) као што је био случај и у 2002. години. Кукуруз је најефикасније користио воду у  $W_{i4}$  при највећој густини сетве ( $G_3$ ), док је најмања вредност WUE забележена у варијанти  $W_{i1}$ , такође при највећој проучаваној густини.

Таб. 19. Ефикасност коришћења воде (WUE) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих варијанти иригационог водног режима чернозема у 2003. години

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	$W_o$	
$G_1$	2,105 <sup>def</sup>	2,158 <sup>de</sup>	2,245 <sup>cde</sup>	2,277 <sup>bcd</sup>	2,333 <sup>bc</sup>	2,224
$G_2$	1,977 <sup>f</sup>	2,380 <sup>abc</sup>	2,270 <sup>bcd</sup>	2,435 <sup>ab</sup>	2,442 <sup>ab</sup>	2,301
$G_3$	1,783 <sup>g</sup>	2,343 <sup>bc</sup>	2,395 <sup>abc</sup>	2,525 <sup>a</sup>	2,090 <sup>ef</sup>	2,227
Просек	1,955 <sup>c</sup>	2,294 <sup>b</sup>	2,303 <sup>b</sup>	2,412 <sup>a</sup>	2,288 <sup>b</sup>	
LSD						
Фактор	0,05	0,01				
W**	0,040	0,056				
G	0,058	0,078				
W x G**	0,129	0,173				

У 2004. години (Таб. 20), као и у претходној највиша просечна вредност коефицијента WUE била је у варијанти најбоље обезбеђености кукуруза водом ( $W_{i4}$ ) и износила је  $2,98 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Незнатно нижа вредност ( $2,95 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) била је у варијанти где је обезбеђеност воде износила 80% ( $W_{i3}$ ). Значајно ниже вредности коефицијента коришћења воде биле су у варијантама  $W_{i2}$  и  $W_{i1}$ , док је кукуруз најслабије користио воду ( $2,74 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у варијанти без наводњавања ( $W_o$ ).

Густина сетве такође је значајно утицала на вредност WUE, тако да је највиша просечна вредност добијена као и у претходне (2002. и 2003.) две године у другој ( $G_2$ ) проучаваној густини ( $2,88 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Посматрано са аспекта густина 2004. година се може сматрати повољном за ефикасно коришћење воде од стране кукуруза, с обзиром да је забележена незнатна разлика WUE коефицијента у

највећој густини ( $G_3$ ) у односу на  $G_2$ . Такође и у овој години најниже вредности WUE забележене су при најмањој густини ( $G_1$ ) у којој је кукуруз гајен. Анализирајући интеракцију између водних режима и густина сетве, слично као и у претходној години најбоље коришћење воде од стране кукуруза било је при највећој густини сетве у варијантама  $W_{i3}$  ( $3,18 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) и  $W_{i4}$  ( $3,11 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), док је најнижа вредност ( $2,57 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) WUE забележена у условима природног водног режима земљишта, такође при највећој проучаваној густини сетве.

Таб. 20. Ефикасност коришћења воде (WUE) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих варијанти иригационог водног режима чернозема у 2004. години

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	$W_o$	
$G_1$	2,860 <sup>bc</sup>	2,650 <sup>ef</sup>	2,735 <sup>de</sup>	2,873 <sup>bc</sup>	2,845 <sup>bcd</sup>	2,793 <sup>b</sup>
$G_2$	2,885 <sup>bc</sup>	2,825 <sup>cd</sup>	2,940 <sup>bc</sup>	2,950 <sup>b</sup>	2,817 <sup>cd</sup>	2,883 <sup>a</sup>
$G_3$	2,613 <sup>ef</sup>	2,873 <sup>bc</sup>	3,183 <sup>a</sup>	3,113 <sup>a</sup>	2,570 <sup>f</sup>	2,870 <sup>a</sup>
Просек	2,786 <sup>b</sup>	2,783 <sup>b</sup>	2,953 <sup>a</sup>	2,978 <sup>a</sup>	2,744 <sup>b</sup>	
LSD						
Фактор	0,05	0,01				
W**	0,063	0,088				
G**	0,041	0,055				
W x G**	0,091	0,123				

Посматрано са аспекта услова климе, у најповољнијој, 2005. години нису забележене значајне разлике WUE коефицијента у зависности од примењеног водног режима (Таб. 21). Ипак, посматрајући просечне вредности овог параметра може се запазити да је у овој години кукуруз штедљиво користио воду у условима недовољне обезбеђености. При анализирању утицаја густине сетве, запажа се да су највише просечне вредности WUE добијене у  $G_3$  ( $3,23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) и  $G_2$  ( $3,23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) варијантама. У 2005. години потврђени су резултати, добијени у претходним годинама експерименталног истраживања, да је густина сетве  $G_1$  ( $54900 \text{ бил.}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) са аспекта коришћења воде од стране кукуруза најнеповољнија, јер је у њој забележена најнижа вредност WUE ( $3,09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). У интеракцији утицаја водног режима и густине, запажа се да су највише вредности WUE добијене у свим варијантама иригационог водног режима у  $G_3$ , с тим што је вредност ( $3,34 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) WUE у  $W_{i3}$  варијанти била значајно виша у односу на

остале варијанте. Смањивањем густине смањивала се и вредност WUE, тако да је најнижа ( $3,05 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) такође добијена у  $W_{i3}$  варијанти проучавања.

Таб. 21. Ефикасност коришћења воде (WUE) ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих варијанти иригационог водног режима чернозема у 2005. години

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	$W_o$	
G <sub>1</sub>	3,192 <sup>bcd</sup>	3,112 <sup>def</sup>	3,047 <sup>f</sup>	3,058 <sup>ef</sup>	3,055 <sup>f</sup>	3,093 <sup>b</sup>
G <sub>2</sub>	3,302 <sup>ab</sup>	3,208 <sup>abcd</sup>	3,225 <sup>abcd</sup>	3,130 <sup>def</sup>	3,270 <sup>abc</sup>	3,227 <sup>a</sup>
G <sub>3</sub>	3,212 <sup>abcd</sup>	3,218 <sup>abcd</sup>	3,342 <sup>a</sup>	3,218 <sup>abcd</sup>	3,160 <sup>cdef</sup>	3,230 <sup>a</sup>
Просек	3,236	3,179	3,205	3,135	3,162	
LSD						
Фактор	0,05	0,01				
W <sup>n.s.</sup>	0,178	0,249				
G <sup>**</sup>	0,046	0,061				
W x G <sup>**</sup>	0,102	0,137				

Анализом четворогодишњих резултата (таб. 22) ефикасности коришћења воде (WUE), запажа се да је кукуруз најбоље користио воду у условима најбоље снабдевености ( $W_{i4}$ ). Смањивањем норми наводњавања смањивала се и вредност WUE. Исти тренд у условима Турске добили су *Oktem (2008)* и *Kuscu et al. (2013)*, у условима медитеранске климе у Шпанији *Farre u Faci (2006)*, а у семи-аридним условима Марока *Bouazzama et al. (2012)*. Вредности WUE у овим истраживањима су доста високе ( $2,66$  до  $2,95 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), што показује да кукуруз у агроколошким условима Србије штедљиво користи воду, што је у сагласности са истраживањима *Трифуновић и сар. (2014)*, који наводе да је WUE за кукуруз у условима наводњавања преко  $2,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . У сличним климатским условима као што су у Србији, *Stan u Naescu (1997)* су у Румунији зависносно од рејона и гајеног хибрида кукуруза, добили вредности за WUE од  $1,19 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  па до чак  $3,78 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . У условима медитеранске климе у Грчкој, просечна вредност коефицијента ефикасности коришћења воде је  $2,41 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (*Karamanos et al., 2005*).

Такође, овим проучавањима добијена је висока вредност ( $2,80 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) коефицијента ефикасног коришћења воде у условима природног водног режима. Ако детаљније анализирамо добијене вредности WUE по годинама, запажамо да је иста у 2002. години била највећа у  $W_o$  варијанти, док у 2005. години није било значајних разлика у вредности WUE између проучаваних варијанти. Наведене две

године су најповољније, посматрано са аспекта климатских услова за гајење кукуруза током експерименталних истраживања.

Таб. 22. Ефикасност коришћења воде (WUE) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих варијанти иригационог водног режима чернозема 2002.-2005. година

Густина (G)	Водни режим (W)					Просек
	Wi <sub>1</sub>	Wi <sub>2</sub>	Wi <sub>3</sub>	Wi <sub>4</sub>	Wo	
G <sub>1</sub>	2,756 <sup>de</sup>	2,664 <sup>g</sup>	2,657 <sup>g</sup>	2,733 <sup>ef</sup>	2,821 <sup>cd</sup>	2,726 <sup>c</sup>
G <sub>2</sub>	2,784 <sup>cde</sup>	2,817 <sup>cd</sup>	2,792 <sup>cde</sup>	2,839 <sup>bc</sup>	2,904 <sup>ab</sup>	2,827 <sup>a</sup>
G <sub>3</sub>	2,587 <sup>h</sup>	2,793 <sup>cde</sup>	2,921 <sup>a</sup>	2,953 <sup>a</sup>	2,684 <sup>fg</sup>	2,787 <sup>b</sup>
Просек	2,709 <sup>d</sup>	2,758 <sup>c</sup>	2,790 <sup>bc</sup>	2,842 <sup>a</sup>	2,803 <sup>b</sup>	
LSD						
Фактор	0,05	0,01				
W**	0,026	0,035				
G**	0,022	0,030				
W x G**	0,050	0,065				

За разлику од поменутих резултата у неповољним годинама (2003. и 2004.) посматрано са истог гледишта, највише вредности WUE добијене су у варијанти Wi<sub>4</sub>. Сличне или боље речено исте резултате у условима Турске добили су *Mengu и Ozgurel (2008)* у двогодишњим истраживањима, која су обухватила једну изузетно кишовиту (1999.) и једну веома сушну (2000.) годину. *Couto et al. (2013)* су у околини Валенције у Шпанији, највишу вредност WUE добили када је кукуруз добио 80% потребне воде, што је приближно слична обезбеђеност кукуруза водом, као у овом истраживању. Сличне резултате добили су *Rusere et al. (2012)* у производњи силажног кукуруза у Зимбабвеу, где се смањењем расположиве воде за 20%, повећао WUE за 15,89%, док је смањењем од 40% дошло до повећања WUE за 28,39%. Сличне резултате у семи-аридним условима Етиопије добили су *Yenesev и Tilahun (2009)*. Поменути аутори су у варијанти пуног наводњавања добили WUE вредност  $1,72 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , док је WUE у условима редукованог наводњавања (75 % обезбеђеност водом) био скоро двоструко већи ( $2,96 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). За разлику од свих наведених резултата *Gencoglan и Yazar (1999)* су у условима различитих варијанти редукованог наводњавања добили вредности WUE од  $0,22\text{-}1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , али без правилно израженог тренда, док су у истим истраживањима, али за ефикасност воде додате наводњавањем (IWUE) добили високу линеарну зависност између поменутог коефицијента и нивоа редуције

наводњавања. Вредности IWUE су се кретале од 1,0 до 2,43 kg·m<sup>-3</sup>, а повећавале су се са смањењем расположиве воде кукурузу.

Вишегодишњи просечни резултати показују да је густина сетве (Таб. 22) такође значајно утицала на висину коефицијента ефикасности коришћења воде (WUE) од стране кукуруза. У просеку највиша вредност добијена је у G<sub>2</sub> (2,83 kg·m<sup>-3</sup>), затим у G<sub>3</sub> (2,79 kg·m<sup>-3</sup>), док је кукуруз мање ефикасно користио воду у најмањој испитиваној густини сетве G<sub>1</sub> (2,726 kg·m<sup>-3</sup>). Међутим, од утицаја густине, значајније је посматрати утицај њене интеракције са различитим водним режимима на висину WUE. Највише вредности WUE добијене су у варијанти G<sub>3</sub> W<sub>i4</sub> (2,953 kg·m<sup>-3</sup>), али нису биле статистички значајније у односу на вредност (2,921 kg·m<sup>-3</sup>) WUE добијену у G<sub>3</sub> W<sub>i3</sub> варијанти проучавања. Ако се узме у обзир да је потрошња воде у G<sub>3</sub>W<sub>i3</sub> у односу на G<sub>3</sub>W<sub>i4</sub> варијанту нижа за 10,9%, а вредности WUE занемарљиво ниже (1,1%), посматрано са овог аспекта може се закључити да је режим наводњавања који подразумева редукцију воде до 20% у највећој густини сетве најповољнији у производљи кукуруза. У режимима наводњавања у којима је обезбеђеност воде износила 40%, односно 60% најповољнија је G<sub>2</sub> густина сетве.

Добијени резултати су у сагласности са резултатима које су добили *Al-Kaisi и Yin (2003)*, а који наводе да густина од 69000 биљ·ha<sup>-1</sup> и редуковано наводњавање (20%) у условима североисточног Колорада обезбеђује стабилну производљу кукуруза у дужем периоду. Сличне резултате, то јест најбоље вредности WUE добили су и *Sani et al. (2008)* у северној Нигерији, у варијанти редукованог наводњавања (E<sub>Ta</sub>:E<sub>Tc</sub>= 0,75:1) при густини сетве 66000 биљ·ha<sup>-1</sup>. *Gobeze et al. (2012)* је највећу вредности WUE постигао код ултрараног хибрида кукуруза при густини од 100000 биљ·ha<sup>-1</sup> и међуредном растојању 45 cm у Јужној Африци. Сличне резултате добили су и *Barbieri et al. (2012)* гајењем кукуруза у суженим редовима (35 cm) у Аргентини. Они су добили просечно повећање WUE у наводњавању за 17%. Проучавајући утицај ефективне дубине ризосфере кукуруза (40 cm, 60 cm и 80 cm) и различите густине усева у семи-аридним условима Зимбабвеа, *Nyakudya и Stroosnijder (2014)* дошли су до закључка да се највиша вредност WUE (5,70 kg·m<sup>-3</sup>) постиже при највећој испитиваној густини (44000 биљ·ha<sup>-1</sup>) и ефективној дубини кореновог система од 80 cm.

## Ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE)

Ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) по проучаваним варијантама, израчуната је из односа разлике у приносима са и без наводњавања и норме наводњавања.

У 2002. години, ако изузмемо варијанту, у којој су обављена три заливања на самом почетку вегетације укупном нормом од 25 mm, наводњавања  $W_{i1}$  није било значајних разлика између третмана наводњавања (Таб. 23). Забележене су ниске вредности IWUE (1,19 до 1,73  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Поменути показатељи јављају се као последица релативно повољних услова, првенствено режима падавина. У овој години свакако је значајнији други испитивани фактор то јест густина. Кукуруз је најбоље користио воду у највећој густини сетве ( $G_3$ ). Значајних разлика вредности IWUE између  $G_3$  и  $G_2$  није било, али у односу на  $G_1$  добијене су статистички значајне разлике. Интеракција водног режима и густине сетве није утицала на добијање значајних разлика ефикасности коришћења воде додате наводњавањем.

Таб. 23. Ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2002. години

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	
$G_1$	0,650	1,085	1,205	1,405	1,086 <sup>b</sup>
$G_2$	1,500	1,513	1,530	1,628	1,543 <sup>ab</sup>
$G_3$	1,410	1,627	2,020	2,160	1,804 <sup>a</sup>
Просек	1,187 <sup>b</sup>	1,408 <sup>ab</sup>	1,585 <sup>ab</sup>	1,731 <sup>a</sup>	
	LSD				
Фактор	0,05	0,01			
W*	0,373	0,535			
G**	0,424	0,575			
W x G <sup>n.s.</sup>	0,848	1,150			

У најтоплијој 2003. години (Таб. 24) највећа вредност 2,24 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) добијена је у варијанти  $W_{i2}$  и била је статистички значајно виша у односу на остале проучаване варијанте. Између  $W_{i4}$  и  $W_{i3}$  нема значајних разлика, док је најнижа вредност IWUE (0,798  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) добијена у варијанти  $W_{i1}$  са најнижом обезбеђеношћу воде (40%).

Од свих проучаваних година, у 2003. години највише се интервенисало наводњавањем. У варијанти  $W_{i1}$  обављено је пет заливања укупном нормом од 47 mm. Сва заливања била су у вегетативном делу раста и развића кукуруза, док су интервенције изостале у фази оплодње и наливања зрна. Као последица таквог режима заливања, у топлој и сушној години јавио се и изостанак очекиваног ефекта наводњавања. И у овој години експерименталних истраживања кукуруз је у просеку најбоље користио воду додату наводњавањем у највећој густини сетве ( $G_3$ ). Статистички значајне разлике нису забележене између  $G_1$  и  $G_2$ . Највиша појединачна вредност ( $3,085 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) IWUE, добијена је у  $W_{i2}$  варијанти у највећој испитиваној густини сетве  $G_3$ , док је најмањи ефекат наводњавања био у  $W_{i1}$  варијанти, такође у  $G_3$  густини.

Таб. 24. Ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2003. години

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	
$G_1$	1,462 <sup>bc</sup>	1,517 <sup>bc</sup>	1,457 <sup>bc</sup>	1,598 <sup>bc</sup>	1,509 <sup>b</sup>
$G_2$	0,190 <sup>d</sup>	2,105 <sup>b</sup>	1,343 <sup>bc</sup>	1,765 <sup>b</sup>	1,351 <sup>b</sup>
$G_3$	0,742 <sup>cd</sup>	3,085 <sup>a</sup>	2,210 <sup>ab</sup>	2,292 <sup>ab</sup>	2,082 <sup>a</sup>
Просек	0,798 <sup>c</sup>	2,236 <sup>a</sup>	1,670 <sup>b</sup>	1,885 <sup>b</sup>	
	LSD				
Фактор	0,05	0,01			
W**	0,185	0,265			
G**	0,354	0,479			
W x G**	0,707	0,958			

У 2004. години (Таб. 25) добијене су највише вредности за IWUE од свих година експерименталног истраживања. Највећа ефикасност ( $3,124 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) добијена је у  $W_{i3}$  варијанти и била је статистички веома значајно виша у односу на  $W_{i1}$  и  $W_{i4}$  варијанте, а значајно виша у односу на  $W_{i2}$  варијанту. Утицај густине у овој години био је веома значајан са аспекта висине добијеног IWUE. Највиша вредност ефикасности коришћења воде додате наводњавањем остварена је у  $G_3$  и износија је  $3,227 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Са смањивањем броја биљака по хектару смањивала се и вредност IWUE, тако да је у  $G_2$  износила  $2,375 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , а  $G_1$  у  $1,756 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . У овој години добијене су веома велике разлике IWUE вредности у зависности од интеракције режима наводњавања и густине сетве. Највиша вредност IWUE ( $4,505$



$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) добијена је у  $W_{i2}$ , али није била значајно већа од вредности ( $4,430 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) добијене у  $W_{i3}$  варијанти проучавања. Такође, и у варијанти  $W_{i4}$ , добијена је највиша вредност IWUE у највећој испитиваној густини, али значајно нижа него у претходне две варијанте. Обрнут тренд је добијен у  $W_{i1}$ , где је највиша вредност IWUE добијена у  $G_1$ , док је најнижа забележена не само у овој варијанти него уопште у  $G_3$ .

Таб. 25. Ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2004. Години

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	
$G_1$	1,720 <sup>efg</sup>	1,215 <sup>fg</sup>	2,065 <sup>cdef</sup>	2,023 <sup>cdef</sup>	1,756 <sup>c</sup>
$G_2$	1,780 <sup>defg</sup>	2,612 <sup>bcd</sup>	2,877 <sup>bc</sup>	2,230 <sup>bcde</sup>	2,375 <sup>b</sup>
$G_3$	1,000 <sup>g</sup>	4,505 <sup>a</sup>	4,430 <sup>a</sup>	2,975 <sup>b</sup>	3,227 <sup>a</sup>
Просек	1,500 <sup>c</sup>	2,777 <sup>ab</sup>	3,124 <sup>a</sup>	2,409 <sup>b</sup>	
LSD					
Фактор	0,05	0,01			
W**	0,332	0,476			
G**	0,320	0,433			
W x G**	0,639	0,867			

У климатски најповољнијој 2005. години, варијанта водног режима ( $W_{i4}$ ) у којој је кукуруз имао највише воде на располагању, остварена је најмања ефикасност IWUE. Између остале три варијанте  $W_{i1}$ ,  $W_{i2}$  и  $W_{i3}$  није било статистички значајних разлика у добијеним вредностима IWUE (Таб. 26). Густина сетве такође је значајно утицала на ефикасност коришћења воде додате наводњавањем, а кукуруз је у просеку најбоље користио воду, као и у претходним годинама истраживања у  $G_3$  густини сетве. Анализом интеракције проучаваних фактора, уочава се да нема статистички значајних разлика између различитих варијанти проучавања. Међутим, запажа се да је највећа ефикасност коришћења воде добијена у  $W_{i1}$  и износила је  $3,585 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , али висина остварених приноса (Таб. 17) не оправдава примену водног режима у поменутој варијанти. Нешто ниже вредности IWUE  $2,657 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  и  $2,283 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  добијене су у  $W_{i3}$  и  $W_{i2}$  варијантама и ове две варијанте с аспекта повећања приноса треба узети у разматрање при планирању наводњавања.

Таб. 26. Ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2005. години

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	Wi <sub>1</sub>	Wi <sub>2</sub>	Wi <sub>3</sub>	Wi <sub>4</sub>	
G <sub>1</sub>	2,145	2,268	2,037	1,680	2,033 <sup>ab</sup>
G <sub>2</sub>	2,020	1,683	2,030	1,490	1,806 <sup>b</sup>
G <sub>3</sub>	3,585	2,283	2,657	1,840	2,591 <sup>a</sup>
Просек	2,583 <sup>a</sup>	2,078 <sup>ab</sup>	2,242 <sup>ab</sup>	1,670 <sup>b</sup>	
LSD					
Фактор	0,05	0,01			
W*	0,591	0,848			
G**	0,531	0,719			
W x G <sup>n.s.</sup>	1,060	1,440			

У четворогодишњем периоду (Таб. 27) кукуруз је најбоље користио воду додату наводњавањем у Wi<sub>3</sub> ( $2,16 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), затим у Wi<sub>2</sub> ( $2,12 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) и Wi<sub>4</sub> ( $1,92 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) варијанти. Између поменутих варијанти нису забележене статистички значајне разлике добијених IWUE вредности. Најнижа вредност IWUE добијена је у Wi<sub>1</sub> варијанти ( $1,517 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) и била је статистички значајно нижа у односу на остале варијанте истраживања. Кукуруз је у просеку ефикасно користио воду у G<sub>3</sub> ( $2,43 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), док се са смањивањем густине сетве смањивала и ефикасност коришћења воде додате наводњавањем G<sub>2</sub> ( $1,77 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) и G<sub>1</sub> ( $1,60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Таб. 27. Ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема 2002.- 2005. година

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	Wi <sub>1</sub>	Wi <sub>2</sub>	Wi <sub>3</sub>	Wi <sub>4</sub>	
G <sub>1</sub>	1,494 <sup>de</sup>	1,521 <sup>de</sup>	1,691 <sup>de</sup>	1,676 <sup>de</sup>	1,596 <sup>b</sup>
G <sub>2</sub>	1,372 <sup>e</sup>	1,978 <sup>cd</sup>	1,945 <sup>cd</sup>	1,778 <sup>de</sup>	1,768 <sup>b</sup>
G <sub>3</sub>	1,684 <sup>de</sup>	2,875 <sup>a</sup>	2,829 <sup>a</sup>	2,317 <sup>bc</sup>	2,426 <sup>a</sup>
Просек	1,517 <sup>b</sup>	2,125 <sup>a</sup>	2,155 <sup>a</sup>	1,924 <sup>a</sup>	
LSD					
Фактор	0,05	0,01			
W**	0,178	0,239			
G**	0,200	0,264			
W x G**	0,400	0,529			

Анализирајући утицај водног режима и густине сетве на ефикасност коришћења воде додате наводњавањем, најрационалније је кукуруз гајити у Wi<sub>2</sub>

(2,875 kg·m<sup>-3</sup>) и Wi<sub>3</sub> (2,829 kg·m<sup>-3</sup>) варијанти при највећој испитivanoј густини (G<sub>3</sub>). Смањивање густине резултира слабијим коришћењем воде, а исто тако највећа, као и најмања норма наводњавања су негативно утицале на висину IWUE вредности.

Добијене вредности IWUE су у сагласности са истраживањима великог броја аутора. *Gencoglan и Yazar (1999)*, истраживањима обављеним у семиаридним условима Турске добили су вредности IWUE које су се кретале од 1,0-2,43 kg·m<sup>-3</sup> и имале су јасно изражен тренд повећавања са повећавањем степена редукције наводњавања. *Kuscu et al. (2013)* и *Karasu et al. (2015)* у Бурси добили су ниже вредности (0,41-1,82 kg·m<sup>-3</sup>) односно (1,11-1,72 kg·m<sup>-3</sup>) за IWUE, а ефикасност коришћења воде расла је како се смањивала расположива вода кукурузу. Поменути аутори наводе да дефицит наводњавања од 25% редукује принос за 11,7%, а са друге стране остварена је уштеда воде 24,4%. За разлику од добијених резултата у овом раду, истраживањима ефикасности коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) од стране кукуруза, у североисточној Шпанији, *Farre и Faci (2006)* запажају високу (R<sup>2</sup>=0,93) линеарну зависност између смањивања IWUE и смањивања норми наводњавања. Исти аутори указују да је IWUE највиша (2,24 kg·m<sup>-3</sup>) када се биљкама обезбеди довољно воде у фази цветања, док ефикасност коришћења воде знатно нижа (1,86 kg·m<sup>-3</sup>) у варијанти редукованог наводњавања при продуженом међузаливном периоду у фенофази оплодње. Ниже вредности IWUE добијене су у истраживањима у Ирану (*Mansouri-Far et al. (2010)*), али са аспекта водних третмана закључци се подударадју са нашим истраживањима. Поменути аутори су највише вредности IWUE добили при пуном наводњавању (1,25 kg·m<sup>-3</sup>) и изостављањем наводњавања у фази вегетативног пораста (1,19 kg·m<sup>-3</sup>), док су ниже вредности (1,09 kg·m<sup>-3</sup>) добијене изостављањем наводњавања у фази оплодње. Такође наводе да у условима где су водни ресурси лимитирани, воду треба чувати и користити је у осетљивим фазама развоја кукуруза, уз оптималну примену ђубрива и правилан избор хибрида.

Боље коришћење воде додате наводњавањем него што је добијено у овим истраживањима добили су *Payero et al. (2009)* истраживањима обављеним у Великим равницама Небраске. Највише вредности IWUE (8,64 до 7,55 kg·m<sup>-3</sup>) добили заливањем кукуруза само у јулу, као и применом целокупне норме

наводњавања у јулу и августу, што се поклапа са фенофазама оплодње и наливања зрна.

На ефикасност коришћења воде додате наводњавањем веома битно утиче и избор метода наводњавања. Тако су *Couto et al. (2013)*, у Шпанији добили значајно више вредности IWUE ( $5,44 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) применом метода кап по кап него орошавањем ( $3,45 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), у варијантама где је дефицит воде износио 20%.

У нашим агроеколошким условима, добијене вредности IWUE од  $3,01 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , поготово у сушним годинама каква је била 2000., оправдавају примену наводњава (*Стричевић и сар., 2011*). Међутим, у повољним годинама са аспекта количине падавина, ефикасност коришћења воде додате наводњавањем је веома ниска  $0,47$  односно  $0,50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (*Стричевић и сар., 2011; Пејућ и сар., 2011*).

Вишегодишњим проучавањима дубине проквашавања земљишта под кукурузом *Пејућ (1999)* је добио просечне вредности IWUE од  $2,9$  до  $3,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , док су у појединим годинама та варирања износила од  $2,1$  до  $5,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

### **Финансијска ефикасност коришћења воде додате наводњавањем ( $F_{IWUE}$ )**

Финансијска ефикасност коришћења воде додате наводњавањем ( $F_{IWUE}$ ) приказана је као однос прихода оствареног применом наводњавања и трошкова коришћења наводњавања. Овај параметар, као нови показатељ коришћења воде наводњавањем предложили су *Playan u Mateos (2006)* и *Pereira et al. (2012)*, у циљу планирања одрживог наводњавања и чувања водних ресурса. Чест је случај да највиши добијени приноси не доносе и највећу зараду (*Payero et al., 2008*), а циљ стратегије редукованог наводњавања нису максимални, него економски оправдани приноси (*Стричевић, 2007*). Исплативост примене наводњавања више је условљена ценом производа, која има велика варијабилна током године, а разлике по годинама могу бити веома изражене. Трошкови наводњавања су мање променљиви и више зависе од примењене технике наводњавања и старости система. Код система за наводњавање старијих од 25 година већи су варијабилни трошкови, а првенствено трошкови одржавања, док код нових система у цени воде значајно већи удео чине фиксни трошкови (*Зорановић и сар., 2015*).

У 2002. години најнижа вредност ( $1,05 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ )  $F_{IWUE}$  добијена је у  $W_{i1}$  варијанти, док је највиша ( $1,54 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ ) добијена у  $W_{i4}$ . Статистички нису добијене значајне разлике између  $W_{i2}$ ,  $W_{i3}$  и  $W_{i4}$  (Таб. 28). Повољан плувиометријски режим утицао је да у  $W_{i1}$  варијанти приход од наводњавања буде једнак трошковима истог, а наводњавање у поменутој варијанти могло је бити изостављено без икаквих последица. Поред водног режима и повећане густине су позитивно утицале, на повећање вредности  $F_{IWUE}$ . У  $G_1W_{i1}$  варијанти наводњавање није било неопходно. Интеракција између водног режима и густине сетве на преосталим варијантама није дала статистички значајне разлике.

Таб. 28. Финансијска ефикасност наводњавања ( $F_{IWUE}$ ) ( $\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2002. години

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	
$G_1$	0,575	0,962	1,070	1,250	0,964 <sup>b</sup>
$G_2$	1,330	1,343	1,358	1,445	1,369 <sup>ab</sup>
$G_3$	1,252	1,443	1,790	1,912	1,599 <sup>a</sup>
Просек	1,053 <sup>b</sup>	1,249 <sup>ab</sup>	1,406 <sup>ab</sup>	1,536 <sup>a</sup>	
	LSD				
Фактор	0,05	0,01			
W*	0,333	0,478			
G**	0,376	0,510			
W x G <sup>n.s.</sup>	0,752	1,020			

Наводњавање је резултирало бољим финансијским ефекатом у сушној 2003. години него у претходној проучаваној години (таб. 29). Најисплативије је било наводњавање у  $W_{i2}$  варијанти ( $2,6 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ ), док је ефекат наводњавања, као и 2002. години изостао у  $W_{i1}$  варијанти проучавања. И у 2003. години највећи ефекат ( $F_{IWUE} = 2,46 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ ) од примене наводњавања добијен је сејањем кукуруза у највећој испитиваној густини сетве  $G_3$ . Анализирајући интеракцију између два проучавана фактора закључује се да је највећи ефекат ( $3,64 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ ) остварен гајењем кукуруза у  $W_{i2}$  варијанти у највећој густини  $G_3$ . Значајне статистичке разлике нису добијене између  $W_{i2}$ ,  $W_{i3}$  и  $W_{i4}$  варијанти, у оквиру густине  $G_3$ .

Таб. 29. Финансијска ефикасност наводњавања ( $F_{IWUE}$ ) ( $\$/m^3$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2003. години

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	Wi <sub>1</sub>	Wi <sub>2</sub>	Wi <sub>3</sub>	Wi <sub>4</sub>	
G <sub>1</sub>	1,725 <sup>bc</sup>	1,782 <sup>bc</sup>	1,720 <sup>bc</sup>	1,885 <sup>bc</sup>	1,778 <sup>b</sup>
G <sub>2</sub>	1,228 <sup>cd</sup>	2,483 <sup>b</sup>	1,582 <sup>bc</sup>	2,080 <sup>b</sup>	1,843 <sup>b</sup>
G <sub>3</sub>	0,872 <sup>cd</sup>	3,640 <sup>a</sup>	2,605 <sup>ab</sup>	2,703 <sup>ab</sup>	2,455 <sup>a</sup>
Просек	1,275 <sup>c</sup>	2,635 <sup>a</sup>	1,969 <sup>b</sup>	2,223 <sup>b</sup>	
LSD					
Фактор	0,05	0,01			
W**	0,217	0,311			
G**	0,417	0,565			
W x G**	0,833	1,129			

Производња кукуруза је била најисплативија 2004. године (Таб. 30). Поред наводњавања, на то је утицао и значајан пораст цена ове житарице на светском тржишту, који се јавио као последица суше и ниских приноса добијених у 2003. години. Од примењених водних режима Wi<sub>3</sub> је био најисплативији (4,6  $\$/m^3$ ). Такође, као у и претходне две године (2002. и 2003.) најбољи економски ефекат (4,78  $\$/m^3$ ) остварен је гајењем кукуруза у G<sub>3</sub>. Смањивањем густине сетве, смањивао се и  $F_{IWUE}$ . Анализом интеракције између примењених водних режима и густина сетве, добијене су веома изражене разлике између појединих варијанти проучавања. Тако је гајењем кукуруза у густини G<sub>3</sub> у варијантама Wi<sub>2</sub> (6,63  $\$/m^3$ ) и Wi<sub>3</sub> (6,52  $\$/m^3$ ) добијен највећи финансијски ефекат гајења кукуруза, не само у 2004. години, него током свих година експерименталног истраживања.

Таб. 30. Финансијска ефикасност наводњавања ( $F_{IWUE}$ ) ( $\$/m^3$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2004. години

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	Wi <sub>1</sub>	Wi <sub>2</sub>	Wi <sub>3</sub>	Wi <sub>4</sub>	
G <sub>1</sub>	2,515 <sup>de</sup>	1,790 <sup>e</sup>	3,042 <sup>cd</sup>	2,975 <sup>cd</sup>	2,581 <sup>c</sup>
G <sub>2</sub>	2,303 <sup>de</sup>	3,837 <sup>bc</sup>	4,240 <sup>b</sup>	3,283 <sup>bcd</sup>	3,416 <sup>b</sup>
G <sub>3</sub>	1,593 <sup>e</sup>	6,627 <sup>a</sup>	6,515 <sup>a</sup>	4,383 <sup>b</sup>	4,779 <sup>a</sup>
Просек	2,137 <sup>c</sup>	4,085 <sup>ab</sup>	4,599 <sup>a</sup>	3,547 <sup>b</sup>	
LSD					
Фактор	0,05	0,01			
W**	0,438	0,629			
G**	0,411	0,557			
W x G**	0,822	1,114			

Због повољних климатских услова током 2005. године финансијски ефекат наводњавања није забележен између различитих варијанти иригационог водног режима (Таб. 31). Нису забележене значајне разлике у вредности  $F_{IWUE}$  ни гајењем кукуруза у различитим густинама, нити интеракција поменути два фактора.

Таб. 31. Финансијска ефикасност наводњавања ( $F_{IWUE}$ ) ( $\$/m^3$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема у 2005. години

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	Wi <sub>1</sub>	Wi <sub>2</sub>	Wi <sub>3</sub>	Wi <sub>4</sub>	
G <sub>1</sub>	1,803	1,903	1,713	1,413	1,708
G <sub>2</sub>	1,697	1,412	1,705	1,252	1,517
G <sub>3</sub>	1,010	1,938	2,232	1,545	1,681
Просек	1,503	1,751	1,883	1,403	
	LSD				
Фактор	0,05	0,01			
W <sup>n.s.</sup>	0,496	0,712			
G <sup>n.s.</sup>	0,444	0,602			
W x G <sup>n.s.</sup>	0,889	1,205			

Из анализе четворогодишњих резултата произилази да је са становишта финансијске ефикасности, најповољнија варијанта иригационог режима за гајење кукуруза била Wi<sub>3</sub> (Таб. 32). Нису остварене статистички значајне разлике између Wi<sub>3</sub> (2,46  $\$/m^3$ ) и Wi<sub>2</sub> (2,43  $\$/m^3$ ) варијанте наводњавања. Варијанта заливања (Wi<sub>4</sub>) у којој је утрошено највише воде и поред највишег оствареног просечног приноса кукуруза (Таб. 17), није дала и највећи економски ефекат. Из наведеног произилази, да је у нашим агроеколошким условима најповољније кукуруз гајити у условима благо редукованог наводњавања (до 20%). Иако је у Wi<sub>2</sub> варијанти постигнут веома сличан резултат уз значајно мањи (Таб. 8 и Таб. 8а) просечан утрошак воде на наводњавање, ипак предност треба дати Wi<sub>3</sub> варијанти наводњавања из разлога што је у њој добијен значајно већи принос кукуруза (1,639 Mg·ha<sup>-1</sup>) него у Wi<sub>2</sub> варијанти (Таб. 17).

Густина сетве је такође веома значајно утицала на висину  $F_{IWUE}$ , а као најповољнија се показала густина G<sub>3</sub>. Смањивањем густине гајења у просеку се значајно смањивала и вредност  $F_{IWUE}$ .

Највише вредности, у интеракцији проучаваних фактора,  $F_{IWUE}$  добијене су при G<sub>3</sub> највећој густини гајења кукуруза (G<sub>3</sub>) у варијантама редукованог

наводњавања  $W_{i2}$  ( $3,41 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ ) и  $W_{i3}$  ( $3,29 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Свако смањивање густине сетве или пак свако повећавање или смањивање норми наводњавања у односу на поменуте варијанте заливања, резултирало би смањивањем финансијског ефекта у производњи кукуруза.

Таб. 32. Финансијска ефикасност наводњавања ( $F_{IWUE}$ ) ( $\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема 2002.- 2005. година

Густина (G)	Водни режим (W)				Просек
	$W_{i1}$	$W_{i2}$	$W_{i3}$	$W_{i4}$	
$G_1$	1,654 <sup>de</sup>	1,609 <sup>de</sup>	1,886 <sup>cde</sup>	1,881 <sup>cde</sup>	1,758 <sup>c</sup>
$G_2$	1,639 <sup>de</sup>	2,269 <sup>bc</sup>	2,221 <sup>bc</sup>	2,015 <sup>cd</sup>	2,036 <sup>b</sup>
$G_3$	1,182 <sup>f</sup>	3,412 <sup>a</sup>	3,286 <sup>a</sup>	2,636 <sup>b</sup>	2,629 <sup>a</sup>
Просек	1,492 <sup>c</sup>	2,430 <sup>a</sup>	2,464 <sup>a</sup>	2,177 <sup>b</sup>	
	LSD				
Фактор	0,05	0,01			
W**	0,173	0,232			
G**	0,198	0,263			
W x G**	0,397	0,525			

Добијени резултати су у сагласности са резултатима *Panda et al. (2004)* који наводе да је највећи финансијски ефекат наводњавања када редукција укупне приступачне воде у земљишту износи 45%. Приход се разликовао зависно од нивоа дефицита воде и износио је од  $170 \text{ \$}\cdot\text{ha}^{-1}$  до  $206 \text{ \$}\cdot\text{ha}^{-1}$ . За разлику од наших истраживања и истраживања поменутих аутора, који су највећи економски ефекат остварили редукованим наводњавањем, *Kuscu et al. (2013)* су у семи-аридним условима Турске израчунали да је највећа финансијска добит била када је кукуруз гајену условима пуног наводњавања ( $3212 \text{ \$}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), при потрошених 911 mm воде на наводњавање, што је свега  $0,35 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ . Међутим наведени аутори не наводе значајне разлике између поменуте варијанте и варијанти где је дефицит наводњавања био 25 % (3035 \\$) или пак при суфициту воде од 25% (3182 \\$). Даља редукција воде (50%, 75%) доводила је до значајног смањења  $F_{IWUE}$ . У условима јужне Португалије *Rodrigues et al. (2013)* добили су ниже вредности  $F_{IWUE}$  (око  $1,6 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ ) у односу на истраживања у овом раду, а највећа ефикасност је забележена при пуном наводњавању. Вредности  $F_{IWUE}$  мењале су се зависно од примењеног метода заливања (кап по кап, орошавање, центар пивот), али је сваки дефицит наводњавања смањивао финансијски ефекат. У долини Ебра у Шпанији,



гајењем кукуруза се остварује свега 0,51 до 0,63  $\$/\text{m}^3$ , у зависности од времена када се изводи наводњавање и метода наводњавања (*Playan u Mateos 2006*). Ниже вредности  $F_{IWUE}$  добијене у Шпанији, Португалу или Турској последица су примене већих норми наводњавања у односу на норме примењене у овим истраживањима.

## 6.5. Морфолошке особине биљке, клипа и маса 1000 зрна кукуруза

Од морфолошких карактеристика биљке, овим истраживањима праћен је утицај наводњавања и густине сетве на висину кукуруза и висину до првог клипа. Од особина клипа обухваћене су дужина, број редова и број зрна у реду. Такође, као једна од најважнијих компоненти приноса проучаван је и утицај наводњавања и густине сетве на масу 1000 зрна.

### Висина биљке

Висина биљке је значајан параметар посматрано са агрономског аспекта, јер умногоме стабилност хибрида на полагање зависи од исте, а такође је значајна и са гледишта приноса укупне биомасе. Иако је сортна особина, изузетно је подложна променама услед различитих услова гајења (ђубрење, густина сетве, наводњавање и др.). У овом раду, између осталог, праћен је утицај различитих подтипова иригационог водног режима, као и утицај различитих густина сетве на висину биљке кукуруза, а добијени резултати приказани су у табели 33. Водни режим је веома значајно утицао на поменути параметар. Највиша просечна вредност висине кукуруза (267,6 cm) током периода експерименталних истраживања била је у  $W_{i4}$  варијанти.

Запажа се висока зависност између оствареног режима заливања и висине биљке, тако да се са смањењем расположиве воде кукурузу пропорционално смањивала висина биљке. У односу на висину кукуруза у варијанти без наводњавања ( $W_0$ ), кукуруз је био виши на варијанти  $W_{i4}$  за 15,2%.

Густина сетве, такође је веома значајно утицала на висину кукуруза, тако да је биљка имала највећу просечну висину (253,3 cm) у  $G_3$  проучаваној густини. Са смањивањем густине сетве, смањивала се и висина биљке.

Ако се посматра година као фактор, запажа се да су и по годинама добијене веома различите висине кукуруза. Највиша просечна висина (288,3 cm) забележена у најповољнијој 2005. години, док је најнижа биљка измерена у сушној 2003. години.

Таб. 33. Висина биљке кукуруза (cm) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема 2002.- 2005. година

Водни режим (W)	Густина (G)	Година (Y)				Просек		
		2002.	2003.	2004.	2005.	(WxG)	(W)	(G)
Wi <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	232,9	203,8	207,7	274,8	229,8 <sup>jk</sup>	235,8 <sup>d</sup>	240,7 <sup>c</sup>
	G <sub>2</sub>	237,7	211,5	216,8	280,0	236,5 <sup>h</sup>	241,9 <sup>c</sup>	247,9 <sup>b</sup>
	G <sub>3</sub>	242,9	216,9	222,0	283,0	241,2 <sup>g</sup>	258,6 <sup>b</sup>	253,3 <sup>a</sup>
Wi <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	242,1	204,4	210,6	286,0	235,8 <sup>hi</sup>	267,6 <sup>a</sup>	
	G <sub>2</sub>	244,4	213,3	220,0	291,8	242,4 <sup>g</sup>	232,4 <sup>e</sup>	
	G <sub>3</sub>	248,3	218,2	228,8	295,3	247,6 <sup>f</sup>		
Wi <sub>3</sub>	G <sub>1</sub>	245,1	237,6	239,6	289,3	252,9 <sup>e</sup>		
	G <sub>2</sub>	246,9	244,6	243,5	295,2	257,5 <sup>d</sup>		
	G <sub>3</sub>	252,8	250,9	256,4	301,2	265,3 <sup>c</sup>		
Wi <sub>4</sub>	G <sub>1</sub>	246,4	238,0	252,5	291,2	257,0 <sup>d</sup>		
	G <sub>2</sub>	265,0	248,3	260,5	308,7	270,6 <sup>b</sup>		
	G <sub>3</sub>	269,1	258,5	261,6	311,8	275,2 <sup>a</sup>		
Wo	G <sub>1</sub>	231,2	202,7	207,0	271,2	228,0 <sup>k</sup>		
	G <sub>2</sub>	235,0	209,1	212,9	272,0	232,3 <sup>ij</sup>		
	G <sub>3</sub>	242,5	213,0	218,6	273,4	236,9 <sup>h</sup>		
Просек (Y)		245,5 <sup>b</sup>	224,7 <sup>d</sup>	230,6 <sup>c</sup>	288,3 <sup>a</sup>			

LSD	%	Y**	W**	G**	WxG**	YxWxG <sup>n.s.</sup>
	5	1,231	1,617	1,322	2,956	5,912
1	1,768	2,158	1,748	3,908	7,816	

Интеракција између остварених водних режима и густине сетве, такође је била веома статистички значајна, а у четворогодишњим истраживањима кукуруз је био највиши (275,2 cm) у Wi<sub>4</sub> варијанти при највећој густини сетве.

Добијени резултати у сагласности су са резултатима многих аутора, како код нас тако и у свету. Тако су *Oktem (2008)* код кукуруза шећерца и *Karasi et al. (2015)* у производњи меркантилног кукуруза у односу на варијанту пуног наводњавања забележили смањење висине кукуруза са смањењем расположиве воде. У проучавањима у близини Вавилона изостављање једног заливања у фази вегетативног пораста у односу на варијанту пуног наводњавања, утицало је да се висина кукуруза смањи са 223,0 cm тј. на 164,9 cm (*Jasim et al., 2015*). Сличне резултате у Ирану добили су *Azarpanah et al. (2013)*. Они наводе да највећи утицај на висину биљке има изостављање заливања у фази вегетативног пораста, затим у фази оплодње, док у репродуктивним фазама развића изостављање наводњавања не утиче значајно на висину биљке. Такође, истичу и значај нивоа дефицита влаге на смањење висине биљака. Када је реч о густини сетве, *Karashin (2014)* је, у

Карабуки у Турској, добио навећу висину силажног кукуруза у условима наводњавања при густини сетве 119040 биљ·ha<sup>-1</sup>. Даљим повећавањем или смањивањем густине сетве, смањивала се и висина кукуруза. У Нигерији *Sani et al. (2008)* добили су резултате веома сличне резултатима ових истраживања. Они наводе да је кукуруз био највиши при варијанти пуног наводњавања и густини сетве 66000 биљ·ha<sup>-1</sup>. У агроколошким условима Војводине *Пејић и Вујков (2002)* наводе да наводњавање нема утицај на број интернодија и дебљину стабла, али зато веома значајно утиче на висину кукуруза, те је висина кукуруза у наводњавању била 290,13 cm, док је у условима природног водног режима била 258,75 cm. Ефекат проучавања режима наводњавања на висину биљке на Римским Шанчевима, варирао је од 5% до 9% зависно од варијанте (*Максимовић, 1999*), док је у Земунском пољу максимално повећање биљке услед примене наводњавања износило 22,4% (*Тапанарова, 2011*), односно 16,3% према *Петровић (2000)*.

### **Висина до првог клипа**

Висина до првог клипа кукуруза зависи првенствено од карактеристика хибрида, а као и висина биљке, веома је подложна променама услед различитих услова гајења. Положај клипа на биљци веома је значајан са аспекта стабилности кукуруза на полегање. Пожељно је да се клип налази испод половине укупне висине биљке, а оптималном висином сматра се око 40% висине кукуруза.

Као на висину биљке и на висину до првог клипа водни режим и густина сетве су слично утицали (Таб. 34), што је и разумљиво, с обзиром да су поменуте две карактеристике узајамно повезане. У просеку, за четири године клип је био на највећој висини (125,7 cm) у W<sub>14</sub> варијанти. Смањивањем влажности земљишта пропорционално се смањивала висина до првог клипа, тако да је најнижи (97,9 cm) положај клипа био у W<sub>0</sub> варијанти. Запажа се да није било статистички значајних разлика између W<sub>12</sub> и W<sub>11</sub> варијанти проучавања. Као и висина биљке и висина до првог клипа била је највиша (116,2 cm) у G<sub>3</sub>. Са смањивањем густине смањивала се и висина на којој се налазио клип на кукурузу.

Није било значајних разлика у положају клипа на биљци у повољним 2002. и 2005. години, док је најнижа просечна висина на којој се клип налазио била сушне 2003. године.

Таб. 34. Висина до првог клипа (cm) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема 2002.- 2005. година

Водни режим (W)	Густина (G)	Година (Y)				Просек		
		2002.	2003.	2004.	2005.	(WxG)	(W)	(G)
Wi <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	121,0	86,3	89,5	126,4	105,8	109,6 <sup>c</sup>	108,9 <sup>c</sup>
	G <sub>2</sub>	121,8	89,8	95,7	129,9	109,3	110,7 <sup>c</sup>	112,7 <sup>b</sup>
	G <sub>3</sub>	124,5	95,8	99,4	135,0	113,7	119,0 <sup>b</sup>	116,2 <sup>a</sup>
Wi <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	123,7	87,0	91,2	126,9	107,2	125,7 <sup>a</sup>	
	G <sub>2</sub>	125,9	91,0	94,6	132,2	110,9	97,9 <sup>d</sup>	
	G <sub>3</sub>	131,3	88,4	100,2	136,2	114,0		
Wi <sub>3</sub>	G <sub>1</sub>	123,7	104,8	106,9	127,3	115,7		
	G <sub>2</sub>	127,6	104,9	111,0	132,6	119,1		
	G <sub>3</sub>	128,7	109,2	114,5	136,6	122,3		
Wi <sub>4</sub>	G <sub>1</sub>	125,4	114,5	116,7	129,3	121,5		
	G <sub>2</sub>	128,5	120,2	122,8	132,6	126,1		
	G <sub>3</sub>	129,1	123,1	129,6	136,1	129,5		
Wo	G <sub>1</sub>	119,6	86,8	85,7	84,3	94,1		
	G <sub>2</sub>	120,8	88,7	94,0	88,7	98,1		
	G <sub>3</sub>	123,2	92,6	97,5	92,6	101,5		
Просек (Y)		125,0 <sup>a</sup>	98,9 <sup>c</sup>	103,3 <sup>b</sup>	123,1 <sup>a</sup>			

LSD	%	Y**	W**	G**	WxG <sup>n.s.</sup>	YxWxG <sup>n.s.</sup>
	5	2,077	1,351	1,055	2,358	4,716
1	2,984	1,802	1,394	3,118	6,235	

Интеракција између проучаваних фактора није дала статистички значајне разлике, међутим треба напоменути да је положај клипа у просеку био највиши (129,5 cm) када је кукуруз имао довољно воде на располагању током читавог периода истраживања у највећој проучаваној густини сетве G<sub>3</sub>.

Добијени резултати у сагласности су са резултатима које је добила *Петровић (2000)* у истраживањима такође обављеним у Земунском пољу. Поменути аутор наводи да је висина до првог клипа у условима наводњавања била 22,2% виша него у условима природног водног режима. Истраживањима обављеним на локалитету Римски Шанчеви *Пејућ (1999)* добио је високу ( $r=0,93$ ) корелативну зависност између положаја клипа на биљци и приноса зрна кукуруза.

## Дужина клипа

Дужина клипа, као важан чинилац приноса, позитивно је раговала на наводњавање, тако да је кукуруз имао просечно најдужи клип (20,1 cm) у  $W_{i4}$  варијанти (таб. 35). Повећање дефицита воде утицало је статистички веома значајно на смањивање поменуте особине, а најниже вредности забележене су на  $W_{i1}$  (18,8 cm) и  $W_o$  (18,4 cm) варијантама истраживања. Слично утицају водног режима, на дужину клипа кукуруза утицала је и година извођења експеримента. Односно кукуруз је имао просечно најдужи клип у повољним годинама 2002. и 2005., док је најмања дужина клипа забележена сушне 2003. године. Обрнуто пропорционално повећавању густине, кукуруз је формирао клип све мање дужине, тако да је у просеку најкраћи клип (18,8 cm) измерен у највећој проучаваној густини ( $G_3$ )

Таб. 35. Дужина клипа (cm) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема 2002.- 2005. година

Водни режим (W)	Густина (G)	Година (Y)				Просек		
		2002.	2003.	2004.	2005.	(WxG)	(W)	(G)
$W_{i1}$	$G_1$	19,6	18,4	19,2	19,6	19,2 <sup>ef</sup>	18,8 <sup>d</sup>	19,7 <sup>a</sup>
	$G_2$	19,0	18,0	18,3	19,2	18,6 <sup>g</sup>	19,2 <sup>c</sup>	19,2 <sup>b</sup>
	$G_3$	18,7	17,6	17,9	19,6	18,5 <sup>gh</sup>	19,8 <sup>b</sup>	18,8 <sup>c</sup>
$W_{i2}$	$G_1$	20,1	19,0	19,7	20,2	19,8 <sup>d</sup>	20,1 <sup>a</sup>	
	$G_2$	19,3	18,4	19,3	19,8	19,2 <sup>ef</sup>	18,4 <sup>e</sup>	
	$G_3$	19,0	17,8	18,5	19,6	18,7 <sup>g</sup>		
$W_{i3}$	$G_1$	20,9	19,7	20,4	19,4	20,1 <sup>bc</sup>		
	$G_2$	20,0	19,0	19,7	20,4	19,8 <sup>cd</sup>		
	$G_3$	19,3	18,9	19,2	20,2	19,4 <sup>e</sup>		
$W_{i4}$	$G_1$	20,9	20,4	20,6	19,7	20,4 <sup>a</sup>		
	$G_2$	20,3	19,5	20,1	20,6	20,2 <sup>ab</sup>		
	$G_3$	19,8	19,2	19,6	20,3	19,7 <sup>d</sup>		
$W_o$	$G_1$	19,4	18,2	19,0	19,7	19,1 <sup>f</sup>		
	$G_2$	18,4	17,7	18,2	18,7	18,3 <sup>h</sup>		
	$G_3$	18,1	17,3	17,8	18,3	17,9 <sup>i</sup>		
Просек (Y)		19,5 <sup>a</sup>	18,6 <sup>c</sup>	19,2 <sup>b</sup>	19,7 <sup>a</sup>			
LSD	%	Y**	W**	G**	WxG**	YxWxG**		
	5	0,171	0,142	0,100	0,225	0,449		
	1	0,245	0,189	0,133	0,297	0,594		

Интеракција између оствареног водног режима земљишта и густине сетве веома значајно је утицала на проучавану особину клипа, а највиша вредност (20,4 cm) забележена је у  $W_{14}$  варијанти при најмањој густини сетве ( $G_1$ ).

Веома слични резултати добијени су у проучавањима *Максимовић (1999)*, где је добијен дужи клип у просеку за 1,4 cm, у најповољнијој варијанти водног режима у односу на варијанту без наводњавања. У истим истраживањима просечно највеће повећање дужине клипа било је нешто више и износило је 1,7 cm. Сличне резултате добили су *Васић (1980)* и *Петровић (2000)*, који наводе да је наводњавање у условима Земунског поља утицало на повећање дужине клипа за 8,19%, односно 9,2%. У свету, такође су рађена бројна истраживања на ову тему, а блиско нашем окружењу, у Источној Хрватској *Марковић и сар. (2001)* наводе значајан утицај наводњавања, ђубрења и избора хибрида на поменућу особину. *Karasu et al. (2015)* у производњи меркантилног кукуруза и *Oktem (2008)* код кукуруза шећерца добили су линеарно смањивање дужине клипа са повећавањем дефицита воде у земљишту. За разлику од резултата добијених овим истраживањима, а и горе коментарисаних резултата *Azarpanah et al. (2013)* истраживањима обављених у Ирану нису добили разлике у дужини клипа применом различитих водних третмана, а такође кукуруз није реаговао променом дужине клипа ни услед изазивања стреса у различитим фенофазама развића. У Јужној Африци *Gobeze et al. (2012)* у условима наводњавања добили су највећу дужину клипа у најмањој испитиваној густини ( $50000 \text{ биљ} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) при међуредном растојању од 90 cm. За разлику од поменућих аутора *Parthasarathi et al. (2014)* добили су клип највеће дужине у варијанти пуног наводњавања и густини сетве  $111000 \text{ биљ} \cdot \text{ha}^{-1}$ , при густини сетве 30 cm између редова и 30 cm у реду између биљака.

### **Број редова на клипу**

Број редова на клипу кукуруза искључиво је генетска особина, али може бити редукован услед суше, неповољног режима исхране или пак неправилне примене хербицида (*Abendroth et al., 2011*).

Четворогодишњим експерименталним истраживањима констатовано је да различити водни режими, као и густине сетве статистички веома значајно утичу

на број редова на клипу кукуруза (Таб. 36). Највећи просечан број редова (16,3) био је у  $W_{i4}$  варијанти водног режима и линеарно се смањивао са повећавањем дефицита влажности земљишта. Нису забележене значајне разлике у броју редова између варијанте  $W_{i1}$  (15,2) са најмањом нормом наводњавања и контролне  $W_o$  (15,1) варијанте. Гајење кукуруза у најмањој испитиваној густини сетве ( $G_1$ ) најповољније је утицало на испитивану особину. Повећавањем густине сетве значајно се смањио број редова на клипу, међутим статистички значајне разлике између  $G_2$  и  $G_3$  нису забележене. Статистички значајне разлике интеракције поменути два фактора нису забележене.

Таб. 36. Број редова на клипу у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема 2002.- 2005. година

Водни режим (W)	Густина (G)	Година (Y)				Просек		
		2002.	2003.	2004.	2005.	(WxG)	(W)	(G)
$W_{i1}$	$G_1$	15,9	14,8	15,5	16,1	15,6	15,2 <sup>d</sup>	16,0 <sup>a</sup>
	$G_2$	15,5	14,3	15,2	15,7	15,2	15,6 <sup>c</sup>	15,5 <sup>b</sup>
	$G_3$	15,3	13,8	15,1	15,5	14,9	15,9 <sup>b</sup>	15,4 <sup>b</sup>
$W_{i2}$	$G_1$	16,7	15,0	15,8	16,3	16,0	16,3 <sup>a</sup>	
	$G_2$	16,1	14,7	15,3	15,7	15,5	15,1 <sup>d</sup>	
	$G_3$	15,8	14,8	15,1	15,5	15,3		
$W_{i3}$	$G_1$	17,0	15,8	16,0	16,6	16,4		
	$G_2$	16,3	15,5	15,4	16,0	15,8		
	$G_3$	16,1	15,3	15,4	15,8	15,7		
$W_{i4}$	$G_1$	17,2	16,5	16,2	16,5	16,6		
	$G_2$	16,7	16,1	15,7	16,2	16,2		
	$G_3$	16,5	16,0	15,6	15,9	16,0		
$W_o$	$G_1$	15,6	14,7	15,3	16,0	15,4		
	$G_2$	15,3	13,9	15,1	15,8	15,0		
	$G_3$	15,3	13,6	14,9	15,4	14,8		
Просек (Y)		16,1 <sup>a</sup>	15,0 <sup>c</sup>	15,4 <sup>b</sup>	15,9 <sup>a</sup>			
LSD	%	Y**	W**	G**	WxG <sup>n.s.</sup>	YxWxG <sup>n.s.</sup>		
	5	0,294	0,199	0,157	0,351	0,701		
	1	0,423	0,265	0,207	0,464	0,927		

Добијени резултати у сагласности су са резултатима које су добили *Khalili et al. (2013)* у провинцији Западни Азербејџан у Ирану. Поменути аутори су закључили да се са смањењем норме наводњавања смањује број редова зрна на клипу. До истих резултата такође у Ирану дошли су и *Azarpanah et al. (2013)*, с тим што наведени аутори указују да се поред утицаја нивоа влажности земљишта,



број редова на клипу смањује и изостављањем заливања непосредно пред и у фази оплодње. *Марковић и сар. (2011)* су проучавањима у Источној Хрватској са повећавањем нивоа влажности земљишта добили значајно већи број редова, као и укупан број зрна по клипу.

Супротно добијеним резултатима, као и наводима претходно цитираних аутора, проучавајући редуковано наводњавање *Salemi et al. (2011)*, *Beigzadeh et al. (2013)* у различитим провинцијама у Ирану, као и *Karasu et al. (2015)* у Турској нису добили статистички значајне разлике у броју редова на клипу између проучаваних варијанти.

### Број зрна у реду

Број зрна у реду на клипу кукуруза условљен је дужином клипа, а највише зависи од услова у којима кукуруз егзистира у фази свилања и након поменуте фенофазе развића (*Abendroth et al., 2011*).

Таб. 37. Број зрна у реду (cm) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема 2002.- 2005. година

Водни режим (W)	Густина (G)	Година (Y)				Просек		
		2002.	2003.	2004.	2005.	(WxG)	(W)	(G)
Wi1	G1	47,6	38,9	42,7	49,7	44,7 <sup>e</sup>	42,1 <sup>d</sup>	46,7 <sup>a</sup>
	G2	43,3	37,1	39,2	45,8	41,4 <sup>ij</sup>	43,4 <sup>c</sup>	43,2 <sup>b</sup>
	G3	42,8	35,2	37,4	44,9	40,1 <sup>kl</sup>	45,8 <sup>b</sup>	41,8 <sup>c</sup>
Wi2	G1	49,6	40,1	43,0	50,2	45,7 <sup>cd</sup>	46,9 <sup>a</sup>	
	G2	45,1	37,4	41,0	47,3	42,7 <sup>h</sup>	41,3 <sup>e</sup>	
	G3	44,1	36,2	40,0	46,2	41,6 <sup>i</sup>		
Wi3	G1	51,7	44,5	45,7	54,4	49,8 <sup>b</sup>		
	G2	47,3	39,7	42,6	50,2	45,0 <sup>de</sup>		
	G3	44,4	37,8	41,4	49,2	43,2 <sup>gh</sup>		
Wi4	G1	52,0	45,2	48,4	54,2	50,0 <sup>a</sup>		
	G2	47,9	41,0	44,5	51,5	46,2 <sup>c</sup>		
	G3	45,5	39,5	43,2	50,1	44,6 <sup>ef</sup>		
Wo	G1	46,1	38,1	41,8	49,2	43,8 <sup>fg</sup>		
	G2	42,3	36,2	38,6	45,9	40,8 <sup>ik</sup>		
	G3	41,1	35,1	36,6	44,4	39,3 <sup>l</sup>		
Просек (Y)		46,1 <sup>b</sup>	38,8 <sup>d</sup>	41,7 <sup>c</sup>	48,9 <sup>a</sup>			
LSD	%	Y**	W**	G**	WxG**	YxWxG*		
	5	0,238	0,367	0,272	0,608	1,216		
	1	0,342	0,490	0,359	0,804	1,607		

Број зрна у реду на клипу кукуруза значајно је варирао како по годинама током експерименталног истраживања, тако и по проучаваним варијантама (Таб. 37). Највећи просечан број зрна у реду био је у варијанти  $W_{i4}$  (46,9) и смањивао се са смањивањем приступачне воде у земљишту, односно најмање зрна у четворогодишњем просеку било је у варијанти без наводњавања  $W_0$  (41,3). Најповољнија густина посматрано са аспекта броја зрна у реду је најмања истраживана густина ( $G_1$ ) у којој је забележено 46,7 зрна кукуруза. Са повећавањем густине сетве, смањивао се и просечан број зрна у реду. Из интеракције поменутих фактора може се видети да је кукуруз најповољније гајити у  $W_{i4}$  и најмањој густини сетве  $G_1$ .

Добијени резултати у сагласности су са резултатима *Beigzadeh-a et al. (2013)* и *Khalili-a et al. (2013)* који такође наводе да је пуно наводњавање утицало да се добије највећи број зрна у реду кукуруза. Међутим *Salemi et al. (2011)* и *Karasu et al. (2015)*, посматрано са аспекта утицаја редукованог наводњавања на број зрна у реду на клипу кукуруза, нису добили статистички значајне разлике између пуног наводњавања и варијанти у којима је редукована вода за 20 до 25%.

Када је реч о утицају густине сетве на број зрна у реду код кукуруза у условима наводњавања, сличне резултате који су добијени овим истраживањима, добили су *El-Hendawy et al. (2008)* и *Gobeze et al. (2012)*. Поменути аутори највећи број зрна добили су у најмањим густинама сетве у којима се кукуруз гајио, док је повећавање броја биљака по јединици површине по правилу доводило до смањивања броја зрна у реду на клипу кукуруза.

### **Маса 1000 зрна**

Маса 1000 зрна кукуруза, као једна од најзначајнијих компоненти приноса, током четворогодишњих експерименталних истраживања имала је статистички веома значајна варирања, како у различитим варијантама водног режима, тако и у различитим густинама гајења кукуруза. Када се посматра утицај година у којима су изведена експериментална истраживања, може се запазити да су се добијени резултати у зависности од карактера године такође статистички значајно разликовали.

Таб. 38. Маса 1000 зрна (g) у условима природног и различитих нивоа иригационог водног режима чернозема 2002.- 2005. година

Водни режим (W)	Густина (G)	Година (Y)				Просек		
		2002.	2003.	2004.	2005.	(WxG)	(W)	(G)
Wi <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	383,7	256,2	390,0	391,2	355,3	348,6 <sup>d</sup>	368,6 <sup>a</sup>
	G <sub>2</sub>	382,5	250,0	382,5	383,8	349,7	365,1 <sup>c</sup>	357,2 <sup>b</sup>
	G <sub>3</sub>	366,2	245,0	380,0	372,5	340,9	374,9 <sup>b</sup>	348,8 <sup>c</sup>
Wi <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	408,7	295,0	402,5	403,7	377,5	381,4 <sup>a</sup>	
	G <sub>2</sub>	401,2	276,2	383,8	386,3	361,9	320,8 <sup>e</sup>	
	G <sub>3</sub>	393,7	268,7	382,5	378,8	355,9		
Wi <sub>3</sub>	G <sub>1</sub>	418,7	307,5	413,7	410,0	387,5		
	G <sub>2</sub>	410,0	290,0	397,5	392,5	372,5		
	G <sub>3</sub>	396,2	287,5	390,0	385,0	364,7		
Wi <sub>4</sub>	G <sub>1</sub>	423,7	310,0	422,5	416,2	393,1		
	G <sub>2</sub>	418,7	296,2	406,2	395,0	379,1		
	G <sub>3</sub>	415,0	288,7	395,0	388,8	371,9		
W <sub>0</sub>	G <sub>1</sub>	382,5	253,7	292,5	388,7	329,4		
	G <sub>2</sub>	378,7	245,0	286,3	381,3	322,8		
	G <sub>3</sub>	360,0	238,8	273,7	368,7	310,3		
Просек (Y)		396,0 <sup>a</sup>	273,9 <sup>c</sup>	373,3 <sup>b</sup>	389,5 <sup>a</sup>			

	%	Y**	W**	G**	WxG <sup>n.s.</sup>	YxWxG <sup>n.s.</sup>
LSD	5	4,631	3,780	2,779	6,215	12,43
	1	6,653	5,042	3,674	8,216	16,43

Највећа просечна маса 1000 зрна кукуруза (381,4 g) добијена је у условима заливања (Wi<sub>4</sub>), који су биљци омогућили највећу количину расположиве воде. Смањивањем расположиве воде кукурузу смањивала се и маса 1000 зрна. Најмања проучавана густина сетве (G<sub>1</sub>) највише је погодовала кукурузу посматрано са овог аспекта. Повећавање густине сетве по правилу доводило је до редукције масе 1000 зрна кукуруза (Таб. 38). Како водни режим битно утиче на поменућу особину, тако су посматрано по годинама, највише просечне вредности овог параметра биле у повољним 2002. и 2005. години.

Добијени резултати потпуно су сагласни са резултатима које су добили Максимовић (1999) у агроколошким условима Војводине, Петровић (2000) у условима Земунског поља, Salemi et al. (2011) и Beigzadeh-a et al. (2013) у агроколошким условима Ирана, Hammad et al. (2011) истраживањима обављеним у Пакистану, као и Karasu et al. (2015) у области Мармара у Турској.

*Бошњак и Пејић (2000)* указују на значајан утицај водног режима земљишта на масу 1000 зрна, а такође и на високу корелативну зависност ( $r=92^{**}$ ) између остварених приноса и наведене компоненте приноса.

Супротно овим истраживањима *Sani et al. (2008)* највећу масу 1000 зрна добили су у варијанти наводњавања у којој је заливање било редуковано 50%, али није било статистички значајно у односу на пуно наводњавање. Исти аутори су највећу масу 1000 зрна добили такође у најмањој проучаваној густини сетве, без статистичке значајности у односу на остале густине у којима се кукуруз гајио.

Поред смањења норме наводњавања у процентима у односу на укупне потребе кукуруза, значајније је време појаве недостатка воде. Тако изостављање само једног наводњавања у фенофази свилања кукуруза или пак раној фази сазревања, умањује принос око 12% (*Abo-El-Kheir и Mekki, 2007*). До сличних закључака дошли су и *Mansouri-Far et al. (2010)*. Супротно поменутиим ауторима *Azarpanah et al. (2013)* наводе да је маса 1000 зрна кукуруза била највише погођена при изазивању стреса код кукуруза у фенофази вегетативног пораста.

## 7. ЗАКЉУЧАК

На основу четворогодишњих (2002-2005.) експерименталних проучавања повећања ефикасности коришћења воде од стране кукуруза применом редукованог наводњавања, обављеним у агроколошким условима Земунског поља може се закључити следеће:

- Проучавања су обављена у вегетационом периоду једне нормално влажне (2002.), две благосусне (2004. и 2005.) и једне умерено сушне године (2003.).
- Просечна реална евапотранспирација (ЕТа) кукуруза, по варијантама проучавања износила је у  $W_{i1}$  364, 5 mm,  $W_{i2}$  409,1 mm,  $W_{i3}$  462,7 mm и  $W_{i4}$  507, 7 mm, док је у варијанти без наводњавања вредност била  $W_0$  342,3 mm.
- Код гајења кукуруза у условима природног водног режима биљке су углавном имале на располагању довољну количину лакоприступачне воде до фенофазе оплодње, а надаље до краја вегетације у већини случајева ефективна зона ризосфере била је у условима теже приступачне воде са појавом оаза неприступачне воде.
- Највећи садржај воде у земљишту, како по дубини земљишног профила, тако и по времену утврђен је у варијанти пуног наводњавања ( $W_{i4}$ ). Сваки од третмана редукованог наводњавања условио је појаву теже приступачне воде ( $W_{p1}$ ) у ефективној дубини зоне ризосфере кукуруза, при чему је њено присуство било зависно од степена редуkcије наводњавања.
- Водни режими земљишта битно су утицали на висину добијених просечних приноса сувог зрна кукуруза. Највиши просечан принос забележен је у варијанти пуног наводњавања ( $W_{i4}$ ) 14,464 Mg·ha<sup>-1</sup>, док је редуковано наводњавање резултирало умањењем приноса од 10,4% у варијанти  $W_{i3}$ , односно 21,8% у варијанти  $W_{i2}$  и 30,9% у варијанти  $W_{i1}$ . Најнижи принос (9,698 Mg·ha<sup>-1</sup>) остварен је гајењем кукуруза у условима природног водног режима.
- Густина сетве значајно је утицала на висину приноса, тако да је највећи принос (15,032 Mg·ha<sup>-1</sup>) остварен у варијанти пуног наводњавања ( $W_{i4}$ ) при

највећој густини гајења ( $G_3$ ). У неповољнијим условима водног режима кукуруз је боље приносио остварио при мањим густинама гајења.

- Ефикасност коришћења воде (WUE) у проучаваним варијантама имала је високе вредности које су се кретале од  $2,71 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  у варијанти  $W_{i1}$  до  $2,84 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  у варијанти  $W_{i4}$ . Највећа ефикасност коришћења воде ( $2,95 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) забележена је при највећој проучаваној густини ( $G_3$ ) у варијанти пуног наводњавања ( $W_{i4}$ ).
- Ефикасности коришћења воде додате наводњавањем (IWUE) имала је највише вредности у варијантама редукованог наводњавања  $W_{i3}$  ( $2,15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) и  $W_{i2}$  ( $2,12 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), које су биле статистички значајно више у поређењу са вредностима добијеним у варијанти  $W_{i1}$  ( $1,92 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) и варијанти пуног наводњавања  $1,52 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $W_{i4}$ ). Највиша просечна вредност овог параметра ( $2,43 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) забележена је у највећој густини сетве ( $G_3$ ) и била је статистички значајно већа у односу на остале проучаване густине ( $G_2$  и  $G_1$ ).
- Финансијска ефикасност коришћења воде ( $F_{IWUE}$ ) зависна је од цене кукуруза, цене употребљене воде за наводњавање и ефикасности воде додате наводњавањем (IWUE). Највише вредности овог коефицијента утврђене су у  $W_{i3}$  ( $2,46 \$\cdot\text{m}^{-3}$ ) и  $W_{i2}$  ( $2,43 \$\cdot\text{m}^{-3}$ ), и биле су статистички значајно веће од вредности у варијантама  $W_{i1}$  ( $2,18 \$\cdot\text{m}^{-3}$ ) и  $W_{i4}$  ( $1,57 \$\cdot\text{m}^{-3}$ ). Посматрано са аспекта проучаваних густина сетве највећа вредност  $F_{IWUE}$  била је у највећој проучаваној густини  $G_3$  ( $2,75 \$\cdot\text{m}^{-3}$ ), док се смањивањем густине смањивала и вредност овог параметара.
- Највиша висина биљке и висина до првог клипа забележене су у највећој густини сетве ( $G_3$ ) и водном режиму оствареном пуним наводњавањем ( $W_{i4}$ ). За дужину клипа, број редова зрна на клипу и број зрна у реду највеће вредности утврђене су при најмањој густини сетве ( $G_1$ ) у варијанти пуног наводњавања ( $W_{i4}$ ). Свако повећање густине или смањење обезбеђености усева лакоприступачном водом ( $W_{pl}$ ) резултирало је смањењем наведених особина клипа.

- Маса хиљаду зрна, највећу вредност (393,1 g) остварила је у третману пуног наводњавања, при најмањој густини сетве. Свака редукција наводњавања или повећање густине условили су смањење вредности овог параметра.
- Примена редукованог наводњавања довела је до појаве дефицита влаге у земљишту, а самим тим и до смањења реалне евапотранспирације (ETa) кукуруза, што је резултирало нижим приносима зрна кукуруза у варијантама које су биле изложене редукованом наводњавању. Високе вредности коефицијента ефикасности коришћења воде (WUE) оправдавају примену наводњавања кукуруза у агроеколошким условима Србије. Иако је највиши просечан, а и по годинама истраживања, принос зрна кукуруза добијен у варијанти скоро пуног наводњавања, ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (IWUE), као и финансијска ефикасност коришћења воде додате наводњавањем (FIWUE) биле су веће у варијантама редукованог наводњавања. Наведени показатељи оправдавају примену редукције наводњавања до 20%, док у рејонима са изражено смањеним водним ресурсима може се примењивати редукција наводњавања и до 40%. Стратегија управљања водним ресурсима применом редукованог наводњавања веома је значајна у контексту глобалних климатских промена и очувања воде као природног ресурса.

## 8. ЛИТЕРАТУРА

- Abendroth, J. L., Elmore, W. R., Boyer, J. M. And Marlay, K. S. (2011): Corn Growth and Development. Iowa State University.
- Abo-El-Kheir, M. S. A., Mekki, B.B. (2007): Response of maize single cross -10 to water deficit during silking and grain filling stages. World Journal of Agricultural Sciences, 3 (3): 269-272.
- Aguilar, M., Borjas, F., Espinosa, M. (2007): Agronomic response of maize to limited levels of water under furrow irrigation in southern Spain. Spanish Journal of Agricultural Research. 5 (4), 587-592.
- Agyare, W. A., Freduah B. S., Ofori, E., Kpongor, D. S., Antwi, B. O. (2013): Field and Modelled Maize (*Zea Mays* L.) Response to Water Stress at Different Growth Stages. G.J.B.A.H.S., Vol. 2(3), 68-75.
- Al-Kaisi, M. M., Yin, X. (2003): Effects of Nitrogen Rate, Irrigation Rate, and Plant Population on Corn Yield and Water Use Efficiency. Agron. J. 95, 1475-1482.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irr. & Drain . Paper 56. UN-FAO, Rome, Italy.
- Ayana, M. (2011): Deficit irrigation practices as alternative means of improving water use efficiencies in irrigated agriculture: Case study of maize crop at Arba Minch, Ethiopia. African Journal of Agricultural Research. Vol. 6(2), pp. 226-235.
- Azarpanah, A., Alizadeh, O., Dehghanzadeh, H., Zare, M. (2013): Technical Journal of Engineering and Applied Sciences. 3 (14), 1447-1459.
- Barbieri, P., Echarte, L., Maggiora, A.D., Sadras, V.O., Echeverria, H., Andrade, F.H. (2012): Maize Evapotranspiration and Water-Use Efficiency in Response to Row Spacing. Agronomy Journal, Volume 104, Issue 4, 939-944.
- Beigzadeh, S., Fatahi, K., Fathai, F., Sayedi, A., Ghobadi, R. (2013): Study of Effects of Water Stress on Yield and Yield Components of 3 Corn Hybrids in Eslamabad-e Gharb. World Applied Programming, Vol (3), Issue (8), 350-354.
- Бекрић, В. (1997): Употреба кукуруза. Институт за кукуруз „Земун Поље“, Београд, 1-302.



Bella, S., Szepszo, G., Szalai, S. (2007): Changing climate and the spatial distribution of optimal production area of maize.

[www.efita.net/apps/accesbase/bindocload.asp?d=6154&t](http://www.efita.net/apps/accesbase/bindocload.asp?d=6154&t).

Белић, М., Пејић, Б., Хацић, В., Бошњак, Ђ., Нешић, Љ., Максимовић, Л., Шеремешкић, С. (2004): Утицај наводњавања на структурно стање чернозема. Научни институт за ратарство и повртарство Нови Сад. „Зборник радова“, Свеска 40, 141-152.

Божич, М., Николић, Г., Стевић, Д., Животић, Љ., Драговић, С. (2007): Ублажавање суше применом наводњавања у производњи кукуруза. Водoprивреда, 0350-0519, 39, 229-230, п. 357-365.

Bouazzama, B., Xanthoulis, D., Bouaziz, A., Ruelle, P., Mailhol, J-C. (2012): Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in a semi-arid climate of Tadla (Morocco). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 16 (4), 468-477.

Бошњак, Ђ. (1982): Евапорација са слободне водене површине као основа заливног режима и њен однос према ЕТП кукуруза и соје. Докторска дисертација. Универзитет у Новом Саду. Пољопривредни факултет, Нови Сад.

Бошњак, Ђ. (1987): Захтеви за водом и заливни режими кукуруза. Наука у производњи, 15, 3-4, 29-36.

Бошњак, Ђ. (1993): Проблеми режима наводњавања са аспекта норме заливања. Зборник радова института за ратарство и повртарство, 21, 137-143

Вошњак, Ђ., Рејић, В. (1994): Water balancing as a functional approval to irrigation scheduling for soybean in the province of Vojvodina. Proc. 3<sup>rd</sup> ESA Congress, Abano-Padova, 80-82.

Бошњак, Ђ. (1996): Режим наводњавања у зависности од дубине проквашавања ризосфере. Зборник радова института за ратарство и повртарство, 25, 489-500.

Бошњак, Ђ. (1997): Одређивање запреминске и специфичне масе земљишта. У: Методи истраживања и одређивања физичких својстава земљишта, Југословенско друштво за проучавање земљишта, комисија за физику земљишта, Нови Сад: 51-58.

- Бошњак, Ђ., Пејић, Б. (1997): Одређивање порозности земљишта. У: Методи истраживања и одређивања физичких својстава земљишта, Југословенско друштво за проучавање земљишта, комисија за физику земљишта, Нови Сад: 59-68.
- Бошњак, Ђ. (1999): Наводњавање пољопривредних усева. Универзитет у Новом Саду. Пољопривредни факултет, Нови Сад, 186-214.
- Бошњак, Ђ., Пејић, Б. (2000): Принос и компоненте приноса кукуруза у зависности од дубине проквашавања земљишта наводњавањем. Научни институт за ратарство и повртарство Нови Сад. „Зборник радова“, Свеска 34, 95-101.
- Бошњак, Ђ. (2001): Проблеми суше у Војводини и мере борбе против ње. Научни институт за ратарство и повртарство Нови Сад. „Зборник радова“, Свеска 35, 391-401.
- Бошњак, Ђ. (2004): Суша и њен однос према ратарској производњи у Војводини. Научни институт за ратарство и повртарство Нови Сад. „Зборник радова“, Свеска 40, 45-55.
- Васић, Г. (1980): Утицај наводњавања различитим количинама воде на својства клипа и принос кукуруза на чернозему. Архив за пољопривредне науке, Вол. 41, Свеска 143, 375-384.
- Васић, Г. (1983): Утицај наводњавања на водни режим чернозема Земунског поља и принос кукуруза. Докторска дисертација. Универзитет у Београду Пољопривредни факултет Земун.
- Васић, Г., Милошевић, Љ. (1985): Педолошка студија земљишта у Земунском пољу, Институт за кукуруз "Земун Поље", Београд, 1-114.
- Васић, Г., Толимир, М., Кресовић, Б. (1994): Режим наводњавања кукуруза на чернозему у зависности од дубине проквашавања. Зборник радова „Наводњавање и одводњавање у Србији“, 60-65.
- Vasić, G., Kresović, B. (1994a): Effect of primary tillage depth on yield of maize grown on chernozem. Journal of scientific agricultural research, 56 (198), 2, 21-29.

- Виденовић, Ж., Кресовић, Б., Толимир, М. (2003): Утицај густине сетве на принос ЗП хибрида кукуруза. Архив за пољопривредне науке, 64, 227-228 (2003/3-4), 81-89
- Вучић, Н. (1976): Наводњавање пољопривредних култура. Универзитет у Новом Саду. Пољопривредни факултет, Нови Сад. 232-258.
- Westgate M. E. (1994.): Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. *Crop Science* 34, 76–83.
- WMO (1992): International Meteorological vocabulary. 2<sup>nd</sup> WMO No. 182.
- Gavrić, M., Mihajlov, A. (2002): Report on the state of the environment in 2000, and priorities in 2001 for Serbia. Ministry for Protection of Natural Resources and Environment, Republic of Serbia pp. 94.
- Гајић, Б., Стојановић, С., Пејковић, М., Живковић, М., Ђуровић, Н. (1997): Утицај наводњавања на структуру чернозема. Девети конгрес Југословенског друштва за проучавање земљишта. Уређење, коришћење и очување земљишта. Југословенско друштво за проучавање земљишта, Нови Сад, 45-50.
- 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: 1275-1284.
- Gençoğlan, C., Yazar, A. (1999): The Effect of Deficit Irrigations on Corn Yield and water Use Efficiency. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23: 233-241.
- Gerik, T.J., Rosenthal, W.D., Duncan, R.R. (1988): Simulating grain yield and plant development of ratoon grain sorghum over diverse environments. *Field Crop Research*. Vol 19, Issue 1: 63-74.
- Gobeze, Y. L., Ceronio, G. M., Rensburg, L. D. V. (2012): Effect of Row Spacing and Plant Density on Yield and Yield Component of Maize (*Zea mays* L.) under Irrigation. *Journal of Agricultural Science and Technology*, B 2, 263-271.
- Gregorič, G., (2010): Drought Monitoring in South - Estern Europe. Balwois - Ohrid, Republic of Macedonia, 1-4.

- Dagdelen, N., Yilmaz, E., Sezgin, F., Gurbuz, T. (2006): Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Agricultural Water Management*, 82 (1-2), 63-85.
- Добренов, В., Бошњак, Ђ., Панић, Ж., Максимовић, Л., Пејић, Б. (1991): Потребе кукуруза за водом и утицај суше на принос кукуруза. Зборник радова Института за ратарство и повртарство. 19. 65-71.
- Doorenbos, J. N., Kassam, A. K. (1979): Yield response to water. *Irrigation and Drainage Paper 33* FAO, United Nations, Rome, 176.
- Драговић, С. (1987): Наводњавање ратарских култура, потребе у води и ефекат наводњавања. *Пољопривредне актуелности*, 1-2, 215-226.
- Драговић, С., Максимовић, Л., Радојевић, В., Цицмил, М. (2006): Наводњавање у биљној производњи. *Партенон*. Београд. 133-152.
- Dragović, S., Radojević, V., Cicmil, M. (2007): Water requirement and effect of irrigation of field crops under the agro-climatic conditions of Serbia. *International Conference on Agricultural in Bosnia and Hercegovina, Jahorina-Sarajevo*, 126-132.
- Dragović, S., Božić, M., Stević, D., Ušćumlić, M. (2008): Drought Consequence on Corn Production and Effect of Irrigation. *BALWOIS, Ohrid, Republic of Macedonia*, 1-11.
- Dragović, S., Spalević, V., Radojević, V., Cicmil, M., Ušćumlić, M. (2012): Effect of irrigation on field crops yield under the variable agro-climatic conditions of Serbia. *Agriculture & Forestry, Podgorica, Vol. 54 (08) (1-4)*: 25-40.
- Eck, H.V. (1986): Effects of water deficits on yield, yield components, and water use efficiency of Irrigated corn. *Agronomy Journal*. Vol. 78, No. 6, 1035-1040.
- El-Hendawey, S.E., El-Lattief, E.A., Ahmed, M.S. (2008): Irrigation rate and plant density effects, on yield and water use efficiency of drip-irrigated corn. *Agricultural Water Management* 95, 836-844.
- English, M., Raja, S.N. (1996): Perspective on deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 32, 1-14.
- Evans, R.G., Sadler, E.J. (2008): Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water Resources Research* 44:1-15.
- Завод за статистику Р. Србије, база података [www.stat.gov.rs](http://www.stat.gov.rs)

- Zand-Parsa, S.H., Sepaskhah, A.R., Ronaghi, A. (2006): Development and evaluation of integrated water and nitrogen model for maize. *Agricultural Water Management* 81, 227-256.
- Запорожченко, А. Л. (1978): Поливный режим в зависимости от влажности почвы. Кукуруза на орошаемых землях. 52-62.
- Zegbe-Domínguez, J. A, Behboudian, M. H., Lang, A., and B. E. Clothier (2003). Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in “Petopride” processing tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*). *Scientia Horticulturae* 98, 505-510.
- Zoranović T., Mačkić K., Potkonjak S. (2015): Economics of agricultural production in irrigation conditions on the area of regional hydrosistem Danube-Tisa-Danube. Book of abstracts of the 2<sup>nd</sup> International Symposium for Agriculture and Food, 7-9 October, Ohrid, Republic of Macedonia, 85.
- Zhu, H., Lan, Y., Lamb, M. C., Butts, C. L. (2007): Corn nutritional properties and yields with surface drip irrigation in topographically variable fields. *Agricultural Engineering International: The CIGR journal*. Manuscript LW 07 005. Vol. 9.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Istanbulluoglu, A., Kocaman, I., Konukcu, F. (2002): Water use-production relationship of maize under Tekirdag conditions in Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5: 287-291
- Jamieson, P.D., Porter, J.R., Semenov, M.A., Brooks, R.J., Ewert, F., Ritchie, J.T. (1999): Comments on Testing winter wheat simulation models predictions against observed UK grain yields by Landau et al. *Agricultural and Forest Meteorology* 96, 157-161.
- Jasim, A. H., Rashid, H. M., Hassoun, K. M. (2015): A study of maize (*Zea mays L.*) growth state under different environmental stress. *Mesopotamia Environmental Journal*. Vol. 1, No. 2, pp.8-17.

- Јовановић, Ж., Дугалић, Г. (1994): Утицај краткотрајне монокултуре на принос кукуруза гајеног на земљишту типа псеудоглеј. СМИС, Производња хране и енергије, Пољопривредни факултет Београд, 267-273.
- Јовановић, Ж. (1995): Утицај различитих система гајења на физичке особине земљишта и принос кукуруза. Докторска дисертација. Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет Земун.
- Јовановић, Ж., Виденовић, Ж., Весковић, М., Кресовић, Б., Толимир, М., Анђелковић, В. (2001): Учесталост суше код нас и преглед ЗП хибрида толерантних на ову појаву. II Саветовање: Агроиновације, Врњачка Бања, Вол. 2: 157-162.
- Kang, S., Shi, W., Zhang, J. (2000): An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research*, 67, 207-214.
- Karamanos, A., Aggelides, S. & Londra, P. (2005). Water use efficiency and water productivity in Greece. In: *Water use efficiency and water productivity. Options méditerranéennes*. pp.101-138.
- Karaşahin, M. (2014): Effects of different irrigation methods and plant density on silage yield and yield components of PR 31Y43 hybrid corn cultivar. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 1-10.
- Karasu, A., Kuşcu, H., Öz, M., Bayram, G. (2015): The effect of different irrigation water levels on grain yield, yield components and some quality parameters of silage maize (*Zea mays indentata* Sturt.) in marmara region of Turkey. *Not Bot Horti Agrobi*, 43 (1): 138-145.
- Karlen, D. L., Camp, C. R., & Zublena, J. P. (1985): Plant density, distribution, and fertilizer effects on yield and quality of irrigated corn silage. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 1<sup>st</sup>, Vol. 16, pp. 55-70.
- Ковачевић, Д. (2003): Опште ратарство. Пољопривредни факултет Земун, Београд.
- Кравић, Н. (2013): Анализа генетичке варијабилности кукуруза на толерантност према суши. Докторска дисертација. Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет Земун.
- Kresović, B., Dumanović, Z., Vasić, G. (1993): The effect of irrigation, amount and time of application of N on maize yield. *Acta Biologica Jugoslavica, Zemljište i biljka*, 42 (3) 213-219.

- Kresović, B., Vasić, G., Tolimir, M., Milutinović, S. (1997): Studies of irrigation depths on smonitza cultivated by maize crop under conditions of the Timok Region. Drought and Plant Production. Belgrade, Proceedings 2, pp. 265-270.
- Кресовић, Б. (2003): Утицај наводњавања и система обраде земљишта на производњу кукуруза. Докторска дисертација, Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет Земун.
- Kresović, B., Videnović, Ž., Tolimir, M. (2004): Genotype and environmental interaction effect on heterosis expression in maize. Genetika, Vol. 36, No. 2, 171-180.
- Kresović, B., Dragičević, V., Simić, M., Videnović, Ž., Spasojević, I., Brankov, M. (2011): Effects of a genotype x sowing density interaction on maize yielding on irrigated chernozem. Zemljište i biljka, Beograd, Vol. 60, No. 3, 137-146.
- Kresović, B., Dragičević, V., Gajić, B., Tarapanova, A., Pejić, B. (2013): The dependence of maize (*Zea mays* L.) hybrids yielding potential on the water amounts reaching the soil surface. Genetika, Vol. 45, No. 1, 261-272.
- Kresovic, B., Matovic, G., Gregoric, E., Đuricin, S., Budroza, D. (2014): Irrigation as a climate change impact mitigation measure: An agronomic and economic assessment of maize production in Serbia. Agricultural Water Management, Volume 139, Pages 7-16.
- Khalili, M., Naghavi, M. R., Aboughadareh, A. P., Rad, H. N. (2013): Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L.). International Journal of Agronomy and Plant Production, Vol., 4 (4), 809-812.
- Kuşcu, H., Karasu, A., Öz, M., Demir, A. O., Turgut, İ. (2013): Effect of irrigation amounts applied with drip irrigation on maize evapotranspiration, yield, water use efficiency, and net return in a sub-humid climate. Turkish Journal of Field Crops, 18 (1), 13-19.
- Kuşcu, H., Demir, A. O. (2013a): Yield and water use efficiency of maize under deficit irrigation regimes in a sub-humid climate. The Philippine Agricultural Scientist, Vol. 96, No. 1, 32-41.
- Лалић, Б., Михаиловић, Д.Т., Подрашчанин, З. (2011). Будуће стање климе у Војводини и очекивани утицај на ратарску производњу. Научни институт за ратарство и повртарство Нови Сад. Зборник радова. 48(2), 403-418.

- Lamm, F. R., Abou Kheira, A. A. (2009): Corn irrigation macromanagement at the seasonal boundaries - initiating and terminating the irrigation season. Proceedings of the 21<sup>st</sup> Annual Central Plains Irrigation Conference, Colby Kansas, 40-60.
- Lamm, F. R., Abou Kheira, A. A. (2011): Effect of early season water stress on corn in North West Kansas. An ASABE Meeting Presentation, Paper Number: 1111338, 1-11.
- Льгов, Г. К. (1966): Режим орошения кукурузы биологическое обоснование поливного режима сельскохозяйственных культур в предгорьях северного Кавказа. Биологические основы орошаемого земледелия, Академия наук СССР, г. Москва, 46-54.
- Ma, L., Hoogenboom, G., Ahuja, L.R., Ascough II, J.C., Saseendran, S.A. (2006): Evaluation of the RZWQM-CERES-Maize hybrid model for maize production. *Agricultural Systems* 87: 274-295.
- Максимовић, Л. (1997): Утицај предзаливне влажности земљишта и ђубрења на принос и нека морфолошка својства кукуруза. Девети конгрес Југословенског друштва за проучавање земљишта. Уређење, коришћење и очување земљишта. Југословенско друштво за проучавање земљишта, Нови Сад, 651-656.
- Максимовић, Л. (1999): Зависност приноса и морфолошких карактеристика кукуруза од влажности земљишта и система ђубрења и наводњавања. Докторска дисертација. Универзитет у Новом Саду. Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Mansouri-Far, C., Sanavy, S. A. M. M., Saberli, S. F. (2010): Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 97, 12-22.
- Marković, M., Josipović, M., Plavšić, H., Jambrović, A., Liović, I., Teodorović, R. (2011): Influence of genotype on maize (*Zea mays* L.) yield and yield parameters in irrigated and N fertilized conditions. Proceedings. 46<sup>th</sup> Croatian and 6<sup>th</sup> International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia, 640-644.



- Matthevs, R.B., Rivington, M., Muhammed, S., Newton, A.C. Hallet, P.D. (2013): Adopting crops and cropping systems to future climates to ensure food security the role of crop modelling. *Global Food Security*, 2, 24-28.
- Mengü, G. P., Özgürel, M. (2008): An evaluation of water-yield relations in maize (*Zea mays* L.) in Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11 (4): 517-524.
- Миливојевић, Ј. (1980): Иригациони водни режим чернозема у околини Бачког Градишта. Магистарски рад. Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет Земун.
- Миливојевић, Ј. (1984): Прилог методологији одређивања режима наводњавања земљишта под културом кукуруза. Докторска дисертација. Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет Земун.
- Milivojević, J., Dušić, D. (1988): The mathematical model of determining the irrigation regime. Proc. International Conference, Nitra
- Morey, R.V., Gilley, J.R., bergsrud, F.G., Dirkzwager, L.R.(1980): Yield response of corn related to soil moisture. *Trans. ASAE* 23: pp. 1165-1170.
- Morison, J. I. L., Baker, N. R., Mullineaux, P. M., Daves, W. J. (2008): Improving water use in crop production. *Philosophical transactions of the royal society B* 363, 939-658.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. In. 8<sup>th</sup> Conference on applied climatology, AM. Meteor.Soc., Boston, 179-184.
- Nielsen, R.L., Thomison, P.(2002): Delayed planting & hybrid maturity decisions. <http://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/AY-312-W.pdf>
- Nyakudya, I. W., Stroosnijder, L. (2014): Effect of rooting depth, plant density and planting date on maize (*Zea mays* L.) yield and water use efficiency in semi-arid Zimbabwe: Modeling with AquaCrop. *Agricultural Water Management*, 146, 280-296.
- Oktem, A. (2008): Effects of deficit irrigation on some yield characteristics of sweet corn. *Bangladesh J. Bot.* 37 (2): 127-131.
- Panda, R.K., Behera, S.K., Kashiap, P.S. (2004): Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural Water Management*, 66, 181-203.

- Pandey, R. K., Maranville, J. W., Admou, A. (2000): Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment, I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management*, 46, 1-13.
- Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Pereira, L. S. (2014): Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. *Agricultural Water Management*, 135, 27-39.
- Parthasarathi, T., Vanitha, K., Velu, G. (2014): Impact of soil moisture and plant population on yield components and yield of maize (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 84 (6): 711–713.
- Payero, J. O., Melvin, S. R., Irmak, S., Tarkalson, D. (2006): Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, 84: 1-2, pp. 101-112.
- Payero, J. O., Tarkalson, S., Irmak, D., Davison, J., Petersen, L. (2008): Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, 95, 895-908.
- Payero, J. O., Tarkalson, D., Irmak, S., Davison, D., Petersen, J. L. (2009): Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. *Agricultural Water Management*, 96, 1387-1397.
- Пејић, Б. (1999): Евапотранспирација и морфолошке карактеристике кукуруза у зависности од дубине навлаженог земљишта и њихов однос према приносу. Докторска дисертација. Универзитет у Новом Саду Пољопривредни факултет Нови Сад.
- Пејић, Б., Вујков, Н. (2002): Утицај наводњавања на морфолошке особине, компоненте приноса и принос силокрме кукуруза. *Летопис научних радника*, година 26, број I, 111-117.
- Пејић, Б., Бошњак, Ђ., Мачкић, К., Стричевић, Р., Симић, Д., Дрвар, А. (2009): Осетљивост кукуруза (*Zea mays* L.) на дефицит воде у земљишту у одређеним подпериодима вегетације. *Летопис научних радника*, година 33, број I, 155-166.

- Pejić, B., Maksimović, L., Milić, S., Simić, D., Miletaški, B. (2010): Effect of readily available water deficit in soil on maize yield and evapotranspiration. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad*, 47 (1), 115-121.
- Pejić, B., Maheshwari, B., Šeremešić, S., Stričević, R., Pascureanu-Joita, M., Rajić, M., Čupina, B. (2011): Water-yield relations of maize (*Zea mays* L.) in temperate climatic conditions. *Maydica* 56-1715, 315-321.
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A. (2002): Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*, 57, pp. 175–206.
- Pereira, L.S., Cordery, i., Iacovides, I. (2012): Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, 108, 39-51.
- Playán, E., Mateos, L. (2006): Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*. Volume 80, Issues 1-3, 100-116.
- Петровић, Ј. (2000): Искоришћавање потенцијала родности хибрида кукуруза у условима наводњавања и природног снабдевања водом. Магистарска теза. Универзитет у Новом Саду. Пољопривредни факултет Нови Сад.
- Поповић, Т. (2007): Тренд промена температура ваздуха и количине падавина на подручју Републике Србије. Шуме и промена климе. Шумарски факултет, Београд, 81-123.
- Поповић, Т., Ђурђевић, В., Јовић, Б., Јовановић, М. (2009): Промена климе у Србији и очекивани утицаји. ЕНЕ09 Зборник радова 5. регионалне Конференције „Животна средина ка Европи“. Амбасадори животне средине и Привредна комора Србије, 5-11.
- Reidsma, P., Ewert, F., Boogaard, H., Diepen, K. V. (2009): Regional crop modelling in Europe: The impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields. *Agricultural Systems* 100, 51-60.
- Роде, А. А. (1960): Методы изучения водного режима почвы. Академия наук СССР, г. Москва, ст. 171-183.
- Rodrigues, G. C., Paredes, P., Gonçalves, J. M., Alves, I., Pereira, L. S. (2013): Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated

- maize using multicriteria analysis and simulation modelling: Ranking for water saving vs. farm economic returns. *Agricultural Water Management*, 126, 85-96.
- Rosegrant, M.W., S. Msangi, C. Ringler, T.B. Sulser, T. Zhu, S.A. Cline (2008): International model for policy analysis of agricultural commodities and trade (IMPACT): Model description. International Food Policy Research Institute: Washington, D.C. [www.ifpri.org/themes/impact/impactwater.pdf](http://www.ifpri.org/themes/impact/impactwater.pdf).
- Rusere, F., Soropa, G., Svubure, O., Gwatibaya, S., Moyo, D., Ndeketeya, A., Mavima, G. A. (2012): Effects of deficit irrigation on winter silage maize production in Zimbabwe. *International Research Journal of Plant Science*, Vol. 3 (9), pp. 188-192.
- Савић, С. (2008): Физиолошки механизми регулације продуктивности парадајза (*Lycopersicon esculentum* L.) у условима стеса суше. Докторска дисертација. Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет.
- Salemi, H., Doom, M. A. M., Lee, T. S., Yusoff, M. K., Ahmad, D. (2011): Effects of deficit irrigation on water productivity and maize yields in arid regions of Iran. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 34 (2): 207-216.
- Sanagoi, L. (2000): Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 159-168.
- Sani, B. M., Oluwasemire, K. O., Mohammed, H. I. (2008): Effect of irrigation and plant density on the growth, yield and water use efficiency of early maize in the nigerian savanna. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, Vol. 3, No. 2, 33-40.
- Szalokine Zima (1997): A viz-es a tapanyagellatas hatasa kukurica N-vegyleteinek alakulasara (A kutatás az OTKA támogatásával folyt az F:017030 sz. tema kereteben). *Ontozeses gazdalkodas Az Ontozesi kutato Intezet tudomanyos kiadvanya*, Szarvas, Hungary, 69-76.
- Stan, I., Năescu, V. (1997): Maize response to water deficit. *Romanian agricultural research*, Number 7-8, 77-90.
- Стојаковић, М., Јоцковић, Ђ., Ивановић, М., Бекавац, Г., Настасић, А., Пурар, Б., Станисављевић, Д., Попов, Р., Чапеља, В., Лајшић, Р., Долапчев, С., Стојковић, Ж. (2009): Специфичности реакције хибрида кукуруза у

- различитим агроеколошким условима. Научни институт за ратарство и повртарство, Нови Сад. Зборник радова, 46, II, 334-335,
- Стојковић, М., Плавшић, Ј., Прохаска С. (2014): Дугорочне промене годишњих и сезонских протицаја: пример реке Саве. *Водопривреда*, 267-272, 39-48.
- Стричевић, Р. (2007): Наводњавање - основе пројектовања и управљања системима. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, Република Србија.
- Стричевић, Р., Ђуровић, Н., Пивић, Р. (2007а): Примена стандардизованог индекса падавина за одређивање појава суфицита и дефицита воде на подручју Сурчинског доњег поља. *Водопривреда*. 229-230, 366-375.
- Stricevic, R., Ćosić, M., Đurović, N., Pejić, B., Maksimović, L. (2011): Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management*, 98, 1615-1621.
- Stričević R., Đurović, N., Đurović, Ž. (2011a): Drought classification in northern Serbia based on spi and statistical pattern recognition. *Meteorological applications*, vol. 18 br. 1, p. 60-69.
- Schgiwietzke, S., Y. Kim, E. Ximenez, N. Mosier, M. Ladisch (2008): Ethanol production from maize. *Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement (book)*, part VI: 347-364.
- Тапанарова, А. (2011): Продукција биомасе кукуруза и соје на чернозему у условима различите влажности земљишта. Докторска дисертација, Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет.
- Tetio-Kagho F, Gardner FP (1988). Responses of maize to plant population density: I. Canopy development, light relationships and vegetative growth. *Agronomy Journal*. 80: 930– 935.
- Todorović, M., Caliandro, A., and Albrizio, P. (2005). Irrigated Agriculture And Water Use Efficiency In Italy. In: *Water use efficiency and water productivity. Options Méditerranéennes*. pp. 92-100.
- Todorović, M., Albrizio, R., Životić, Lj., Abi Saab, M.T., Stöckle, C., Steduto, P. (2009): Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the

- simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal*, Volume 101, Issue 3: 509-521.
- Tonney, F., L. Moeller, A. Scarpa, K. Wang (2007): Genetic engineering approaches to improve bioethanol production from maize. *Current Opinion in Biotechnology*. 18, 193-199.
- Topcu, S., Kirda, C., Dasgan, Y., Kaman, H., Cetin, M., Yazici, A., Bacon, M.A. (2007): Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation. *European Journal of Agronomy*, 26, pp. 64–70.
- Трифуновић, С. Р., Стричевић, Р., Ђуровић, Н. (2014): Ефикасност коришћења воде најважнијих усева у условима са и без наводњавања у Србији. *Агрознање*, вол. 15, бр. 3, 231-243.
- Ђосић, М. (2015): Утицај каолина на повећање ефикасности коришћења воде у различитим режимима наводњавања паприке (*Capsicum annuum* L.). Докторска дисертација. Универзитет у Београду. Пољопривредни факултет.
- USDA. (2006): *Keys to Soil Taxonomy*, Tenth edition. Soil Survey Staff, United States Department of Agriculture NRCS.
- FAO. (2002): *Deficit Irrigation Practices*. Water Reports 22, Rome, Italy.
- FAOSTAT. (2010): Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>
- Farahani, H.J., Izzi, G., Oweis, T.Y. (2009): Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy Journal* 101, 469-476.
- Farre, I., Faci, J.M. (2006): Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to irrigation deficit in Mediterranean climate. *Agricultural Water Management* 83, 135-143.
- Farre, I., Faci, J.M. (2009): Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*. 96, 383-394.
- Fereres E, Goldhamer DA, Parsons LR. (2003): Irrigation water management of horticultural crops. Historical review compiled for the American Society of Horticultural Science's 100th Anniversary. *Horticultural Science* 38, 1036–1042.

- Fereras, E., Soriano, M.A. (2007): Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, No. 2, pp. 147-159.
- Hammad, H. M., Ahmad, A., Azhar, F., Khaliq, T., Wajid, A., Nasim, W., Farhad, W. (2011): Optimizing water and nitrogen requirement in maize (*Zea mays* L.) under semi arid conditions of Pakistan. *Pak J. Bot.*, 43 (6): 2919-2923.
- Хаџић, В., Нешић, Љ., Белић, М. (1997): Одређивање ваздушних својстава и састава земљишног ваздуха. У: методи истраживања и одређивања физичких својстава земљишта. Југословенско друштво за проучавање земљишта. Комисија за физику земљишта. Нови Сад, 183-200.
- Heim, R. (2002): A review of twentieth century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83: 1149-1165.
- Heng, L.K., Hsiao, T.C., Evett, S., Howel, T., Steduto, P. (2009): Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*. 101 (3), 488-498.
- Howell, T. A., Schneider, A. D., Evett, S. R. (1997): Subsurface and surface microirrigation of corn-Southern High Plains. *Trans ASAE* 40, 635-641.
- Howell, T. (2001): Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agron. J.* 93, 281-289.
- Hsiao, T.C., Steduto, P., Fereres, E. (2007): A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irr. Sci.* 25, 209-231.
- Huang, M., Zhong, L., Gallichand, J. (2002): Irrigation treatments for corn with limited water supply in the Loess Plateau, China. *Canadian biosystems engineering*, Volume 44, 129-134.
- Cai, X., Rosegrant, M.W. (2003): World water productivity: current situation and future options. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka, pp. 163-178.
- Cakir, R. (2004): Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89, 1-16.
- Couto, A., Ruiz Padin, A., Reinoso, B. (2013): Comparative yield and water use efficiency of two maize hybrids differing in maturity under solid set sprinkler

and two different lateral spacing drip irrigation system in Leon, Spain. *Agricultural Water Management* 124, 77-84.

Yazar, A., Gökcel, F., Sezen, M.S. (2009): Corn yield response to partial rootzone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant soil environ*, 55 (11), 494-503.

Yenesew, M., Tilahun, K. (2009): Yield and water use efficiency of deficit-irrigated maize in a semi-arid region of Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*. Vol. 9, No. 8, 1635-1651.

Yu, Q., Saseendran, S.A., Ma, L., Flerchinger, G.N., Green, T.R., Ahuja, L.R. (2006): Modeling a wheat-maize double cropping system in China using two plant growth modules in RZWQM. *Agricultural systems* 89, 457-477.



## Прилог 1. Биографија

### БИОГРАФИЈА

Миодраг Толимир, рођен је 16.01.1967. године у Шумњацима код Гламоча. Основну школу завршио је у Батајници, а средњу Грађевинску техничку школу у Београду. Школске 1986/87. године уписао је Пољопривредни факултет Универзитета у Београду, Одсек за водопривредне мелиорације, на коме је студије завршио 1991. године са просечном општом оценом 8,90 и оценом 10 на дипломском раду.

Последипломске студије ранга магистеријума, на групи: Наводњавање, на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, уписао је 1991. године и положио све испите са просечном оценом 9,71. Магистарску тезу под насловом: “Оптимизација режима наводњавања чернозема лесне терасе под сојом”, успешно је одбранио 2002. године.

Веће Биотехничких наука Универзитета у Београду, 2014. године, одобрило му је израду докторске дисертације под насловом: „Повећање ефикасности коришћења воде од стране кукуруза применом редукованог наводњавања“

Као стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, од 1993. године почео је да ради у Институту за кукуруз "Земун Поље", где је и засновао радни однос од 01.01.1995. године. У Одељењу за Агротехнику Института за кукуруз "Земун Поље" радио је до 2003. године, а затим у Одељењу за маркетинг до 2013. године, од када обавља послове заменика директора .

Од запослења, учесник је пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Учествовао је на више домаћих и међународних скупова из области наводњавања и проучавања земљишта. Објавио је, као аутор или коаутор 87 научних радова и саопштења.

Члан је српског Друштва за проучавање земљишта и Друштва за одводњавање и наводњавање.

## Прилог 2. Изјава о ауторству

### Изјава о ауторству

Потписани-а Миодраг М. Толимир

Пријава докторске дисертације бр. 61206-1744/2-14

#### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Повећање ефикасности коришћења воде од стране кукуруза применом редукованог наводњавања

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

Потпис докторанда

У Београду, 05.01.2016.

*М. Толимир*

---

**Прилог 3. Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада**

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада**

Име и презиме аутора Миодраг М. Толимир

Пријава докторске дисертације бр. 61206-1744/2-14

Студијски програм Пољопривредне науке, модул: Мелиорације земљишта

Наслов рада Повећање ефикасности коришћења воде од стране кукуруза применом редукованог наводњавања

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

Потписани/а Миодраг М. Толимир

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања 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.

У Београду, 05.01.2016.

**Потпис докторанда**

*М. Толимир*

## Прилог 4. Изјава о коришћењу

### Изјава о коришћењу

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

Повећање ефикасности коришћења воде од стране кукуруза применом редукованог наводњавања

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

У Београду, 05.01.2016.

Потпис докторанда

