



PRIMENA INDIREKTNIH METODA U OBRAČUNU UTROŠKA VODE NA EVAPOTRANSPIRACIJU KUKURUZA

Borivoj Pejić^a, Ksenija Mačkić^{a*}, Predrag Ranđelović^b, Stanko Milić^b, Vladimir Sikora^b, Goran Bekavac^b, Ivana Bajić^b, Dejan Simić^c

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija

^bInstitut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, Srbija

^cPoljoprivredni institut Republike Srpske, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

*Autor za kontakt: ksenija@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Imajući u vidu da je određivanje potreba biljaka za vodom u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama, praćenjem dinamike vlažnosti zemljišta, zahtevno, predložene su brojne indirektno, obračunske metode. Uprkos brojnim merenjima i upoređenjima ostaje konstatacija da ne postoji takav indirektni metod koji bi imao univerzalnu primenu, već je svaki od njih lokalnog ili regionalnog karaktera. U analizi utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza (ET_m) poređene su indirektno metode primenom referentne evapotranspiracije (ET_o) i biljnih koeficijenata (kc) sa primenom obračuna bioklimatskim postupkom korišćenjem hidrofototermičkih indeksa. ET_o je računata Penman-Monteith metodom koja je od strane FAO organizacije predložena kao standardna za obračun ET_o i metodom Hargreaves-a koju koristi Republički hidrometeorološki zavod Srbije (RHMZS). Meteorološki podaci za obračun uzeti su sa meteorološke stanice koja se nalazi na oglednom polju Instituta za ratarstvo i povrtarstvo iz Novog Sada u Odeljenju za alternativne biljne kulture u Bačkom Petrovcu. Razlike u vrednostima utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza (ET_m) obračunate pomenutim metodama za period vegetacije nisu bile posebno izražene. Međutim, znatno veće vrednosti ET_m u julu, obračunate Hargreaves i Penman-Monteith metodama u odnosu na bioklimatski postupak primenom hidrofototermičkih indeksa ukazuju na potrebu da se u narednom istraživačkom periodu ove metode provere u režimu navodnjavanja kukuruza. Statistička značajnost u visini prinosa na različitim varijantama preporučuje najprihvatljiviji postupak obračuna utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza u agroekološkim uslovima Vojvodine.

KLJUČNE REČI: Kukuruz, evapotranspiracija, indirektno metode

Uvod

Da bi se uopšte moglo prići realizaciji bilo kakve ideje o intenzivnom korišćenju agroekoloških uslova ili razradi novih postupaka za zalivni režim gajenih biljaka, nemoguće je bilo šta pokušati bez poznavanja pravih vrednosti potreba biljaka za vodom, odnosno potencijalne evapotranspiracije (ETP). Utvrđene vrednosti potreba biljaka za vodom su osnova za pravilno projektovanje i kasnije racionalno korišćenje zalivnih sistema. Potrebe za vodom zavise od biljne vrste, faze razvića, uslova zemljišta i klimatskih uslova. Ertek (2011) ukazuje na potrebu provere ranije utvrđenih vrednosti potreba biljaka za vodom imajući u vidu globalno zagrevanje, klimatske ekstreme, pre svega visoke temperature vazduha. Djaman et al. (2018), takođe ukazuju na potrebu što preciznijeg utvrđivanja potreba gajenih biljaka za vodom u uslovima nastupajućih klimatskih promena imajući u vidu značaj evapotranspiracije u pravilnom projektovanju i kasnijem korišćenju zalivnih sistema.

O značaju potencijalne evapotranspiracije govori podatak da je još 1699. godine Woodward pokušao da utvrdi količinu vode koju biljke troše u toku vegetacije (Woodward, 1699). Prvi ozbiljniji eksperimenti vezani za ETP izvedeni su 1847 godine u Rothamsted-u u Engleskoj, a naročito intenzivna istraživanja obavljena su u Nemačkoj u periodu 1860-1880 godine od strane Hillriegel-a, Wolly-a i Haberland-a i u SAD u Teksasu, Vašingtonu i Nebraski od strane Briggs-a, Lyman-a, Belza and Shantz-a 1910-1911 godine (Montgomery, 1911). Interesovanje za ETP nesmanjeno je i danas što potvrđuje mnogo novih modela sa osnovnim ciljem da se ove vrednosti što preciznije odrede.

Jedino realne i merodavne vrednosti potreba gajenih biljaka za vodom (ETP) dobijaju se eksperimentalnim putem, merenjem određenim metodama. Najčešće primenjivane direktne metode su merenje u poljskim uslovima, na eksperimentalnim parcelama praćenjem dinamike vlažnosti zemljišta i merenje lizimetrima i evapotranspirometrima.

Određivanja potreba biljaka za vodom direktnim metodama zahtevaju više vremena, posebnu opremu i mogu se izvoditi samo u specijalizovanim istraživačkim ustanovama (Vučić, 1976; Ertek, 2011). Imajući ovo u vidu predložene su brojne indirektno metode za određivanje vrednosti ETP.

Uprkos brojnim merenjima i upoređivanjima ostaje konstatacija da ne postoji takav indirektni metod koji bi imao univerzalnu primenu, već je svaki od njih lokalnog ili regionalnog karaktera (Pejić et al., 2011a).

U našoj praksi navodnjavanja za obračun potreba gajenih biljaka za vodom najčešće se koristi bioklimatski metod primenom hidrofitermičkih indeksa (Vučić, 1971; Bošnjak, 1982; Dragović, 1991). Naime, utvrđena je najveća korelacija između temperature vazduha i utrošene vode na evapotranspiraciju gajenih biljaka što ovom meteorološkom elementu daje prednost u odnosu na ostale (relativna vlažnost vazduha, deficit vlažnosti vazduha, dužina trajanja sijanja sunca, globalna radijacija). Vrednosti hidrofitermičkih indeksa za kukuruz iznose 0,11 maj, 0,18 jun, jul i avgust, 0,11 septembar (Bošnjak, 1982). Dragović (1991) vrednosti hidrofitermičkih indeksa za kukuruz povećava ili smanjuje u odnosu na srednje dnevnu temperaturu vazduha.

Početakom 70-ih godina prošlog veka FAO (Food Agriculture Organization) grupa eksperata predlaže da se potrebe biljaka za vodom određuju indirektnim putem, preko referentne evapotranspiracije (ET_o) i koeficijenta kulture (k_c). Referentna evapotranspiracija (ET_o) predstavlja evapotranspiraciju sa hipotetičke referentne kulture pretpostavljene visine 0,12 m, stalnog površinskog otpora 70 s m^{-1} i sa albedom od 0,23, koja je bliska evapotranspiraciji sa velike površine pokrivene zelenom travom u fenofazi aktivnog rasta, u uslovima bez nedostatka lakopristupačne vode. Brojni radovi pokazuju da je Penman-Monteith metoda (FAO-56 PM, Allen et al., 1998) u skladu sa novom definicijom referentne kulture, da je pouzdana u svim klimatskim uslovima i za sve vremenske periode proračuna i zato je ona od strane FAO organizacije predložena kao standardna za obračun ET_o . Hidrometeorološki zavod Srbije za praktične potrebe daje dnevne vrednosti ET_o za glavne meteorološke stanice obračunate metodom Hargreaves-a (Hargreaves and Allen, 2003) kojoj je zbog jednostavnosti i visoke korelacije sa rezultatima dobijenim Penman-Monteith metodom data prednost. Vrednosti koeficijenta kulture za kukuruz iznose 0,3-0,5 maj, 0,7-0,85 jun, 1,05-1,2 jul, 0,8-0,9, avgust, 0,5-0,6 septembar.

ETP kukuruza u agroekološkim uslovima Vojvodine iznosi 470-540 mm, sa najvećim dnevnim vrednostima u julu i avgustu od 4,6-4,8 mm i maksimalnim dnevnim utroškom od 6,2 mm (Bošnjak, 1982; Pejić, 2000).

Cilj istraživanja je da se poređenjem različitih indirektnih metoda analizira utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza (ET_m) na dnevnom, mesečnom nivou i za period vegetacije u celini. Imajući u vidu klimatske promene, pre svega temperaturne ekstreme, javlja se potreba za detaljnijom analizom dnevnih vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza sa namerom da se zalivni režim ove biljne vrste što preciznije realizuje, odnosno dobiju visoki prinosi koji opravdavaju sredstva uložena u sisteme za navodnjavanje.

Material i metod rada

Obračun utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza obavljen je bioklimatskim postupkom primenom hidrofitermičkih indeksa (Bošnjak, 1982; Dragović, 1991, Tabela 1), takođe primenom referentne evapotranspiracije (ET_o) i koeficijenta kulture (k_c , Tabela 1) u periodu vegetacije kukuruza 2016/2017 godine. Meteorološki podaci za obračun uzeti su sa meteorološke stanice koja se nalazi na oglednom polju Instituta za ratarstvo i povrtarstvo iz Novog Sada u Odeljenju za alternativne biljne kulture u Bačkom Petrovcu. ET_o je računata Penman-Monteith metodom (FAO-56 PM, Allen et al., 1998) koja je od strane FAO organizacije predložena kao standardna za obračun ET_o i metodom Hargreaves-a (Hargreaves and Allen, 2003) koju koristi Republički hidrometeorološki zavod Srbije (RHMZS).

Tabela 1.

Hidrofitotermički indeksi i koeficijenti kulture (kc) kukuruza

Table 1.

Hydrophytothermic indices and crop coefficients (kc) for maize

Meseci	Bošnjak (1982)	Dragović (1991)	Penman-Monteith Hargreaves
Maj	0,11	<15,1°C-0,12	<15,1°C-0,3
		15,1°C-18,3°C-0,14	15,1°C-18,3°C-0,4
		>18,3°C-0,17	>18,3°C-0,5
Jun	0,18	<18,4°C-0,14	<18,4°C-0,7
		18,4°C-21°C-0,16	18,4°C-21°C-0,8
		>21°C-0,18	>21°C-0,85
Jul	0,18	<20,1°C-0,16	<20,1°C-1,05
		20,1°C-22,7°C-0,18	20,1°C-22,7°C-1,1
		>22,7°C-0,20	>22,7°C-1,2
Avgust	0,18	<19,2°C-0,15	<19,2°C-0,8
		19,2°C-22,4°C-0,18	19,2°C-22,4°C-0,85
		>22,4°C-0,21	>22,4°C-0,9
Septembar	0,11	<15,4°C-0,10	<15,4°C-0,5
		15,4°C-18,3°C-0,12	15,4°C-18,3°C-0,55
		>18,3°C-0,14	>18,3°C-0,6

Penman-Monteith metoda (FAO-56 PM, Allen et al., 1998):

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

ET_o – referentna evapotranspiracija (mm dan⁻¹),
R_n – neto radijacija na površini useva (MJ m⁻² dan⁻¹),
G – zemljišni toplotni fluks (MJ m⁻² dan⁻¹),
T – temperatura vazduha na 2 m visine (°C),

Hargreaves metoda (Hargreaves and Allen, 2003):

$$ET_o = 0.0023 (T_m + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a \quad (2)$$

ET_o – referentna evapotranspiracija (mm dan⁻¹),
T_m – srednja dnevna temperatura vazduha (°C),
T_{max} – maksimalna dnevna temperatura vazduha (°C),
T_{min} – minimalna dnevna temperatura vazduha (°C),
R_a – extraterestrialna radijacija (MJ m⁻² dan⁻¹).

Dnevne vrednosti evapotranspiracije kukuruza (ET_d) računane su sledećim formulama:

$$ET_d = hfti \cdot sdtv \quad (3)$$

$hfti$ – hidrofitornermički indeks (Tabela 1)

$sdtv$ – srednje dnevna temperatura vazduha ($^{\circ}C$)

$$ET_d = ET_o \cdot kc \quad (4)$$

ET_o – referentna evapotranspiracija (mm)

kc – koeficijent kulture (Tabela 1)

Rezultati i diskusija

U periodu vegetacije kukuruza tokom 2016. godine, palo je 337,7 mm, a 2017. godine palo je 242,3 mm kiše (Tabela 2, Grafikon 1, 2). Ako se analiziraju padavine samo za period maj - avgust u 2016. godini je palo za 2,1 mm više, a u 2017. godini za 178,5 mm manje u odnosu na višegodišnji prosek Vojvodine od 293,4 mm (Tabela2). Pored veće količine padavina u 2016. godini u odnosu na 2017. godinu, treba istaći da je raspored padavina u 2016. godini bio povoljniji.

Tabela 2.

Sume mesečnih padavina (mm) i srednje mesečne temperature vazduha ($^{\circ}C$) u vegetacionom periodu kukuruza (Meteorološka stanica Bački Petrovac) za 2016. i 2017. godinu

Table 2.

Sum of monthly precipitation (mm) and average monthly air temperatures ($^{\circ}C$) for vegetation period of maize (Meteorological station Bački Petrovac) in 2016 and 2017

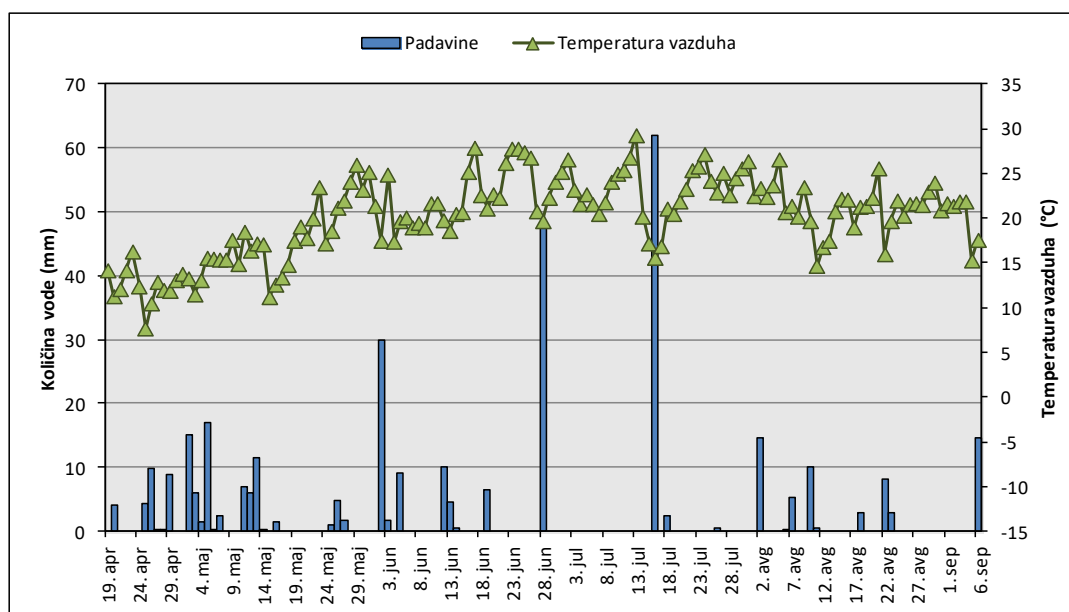
Mesec	Padavine		Temperatura		Višegodišnji prosek padavina (1964-2017)	Višegodišnji prosek temperatura (1964-2017)
	2016	2017	2016	2017		
April	27,6*	7,0*	12,2*	14,8*	48,8	11,4
Maj	75,5	50,2	17,4	18,6	59,6	16,8
Jun	110,3	14,5	22,4	23,9	85,7	19,9
Jul	65,0	22,1	23,2	24,7	82,1	22,2
Avgust	44,8	28,1	21,2	25,0	66,0	21,6
Septembar	14,5*	5,5*	19,7*	20,0*	39,0	16,8
Ukupno/Prosek						
maj-avgust	295,5	114,9	21,1	23,1	293,4	20,1
april- septembar	337,70	242,3	19,4	21,2	381,2	18,1

*Vrednosti sume padavina i srednje dnevne temperature vazduha se odnose na period od 19-30. aprila 2016. i 26-30. aprila 2017., odnosno 1-6. septembra 2016. i 1-3. septembra 2017. godine. Za poređenje sa višegodišnjim vrednostima merodavni su podaci za period maj-avgust.

Prosečna temperatura vazduha u periodu vegetacije u 2016. godini je bila 19,4 $^{\circ}C$, a u 2017. godini 21,2 $^{\circ}C$ (Tabela 2). Ako se analiziraju temperature samo za period maj - avgust u 2016. godini prosečna temperatura vazduha (21,1 $^{\circ}C$) je bila viša za 1,0 $^{\circ}C$, a u 2017. godini (23,1 $^{\circ}C$) za 3,0 $^{\circ}C$ u odnosu na višegodišnji prosek (20,1 $^{\circ}C$) što je sigurno uticalo na potrošnju vode, odnosno evapotranspiraciju biljaka, a takođe i na dužinu vegetacionog perioda kukuruza. Maksimalne vrednosti srednje dnevne temperature u 2016. godini utvrđene su 13 jula od 29,3 $^{\circ}C$, a u 2017. godini 5. i 6.

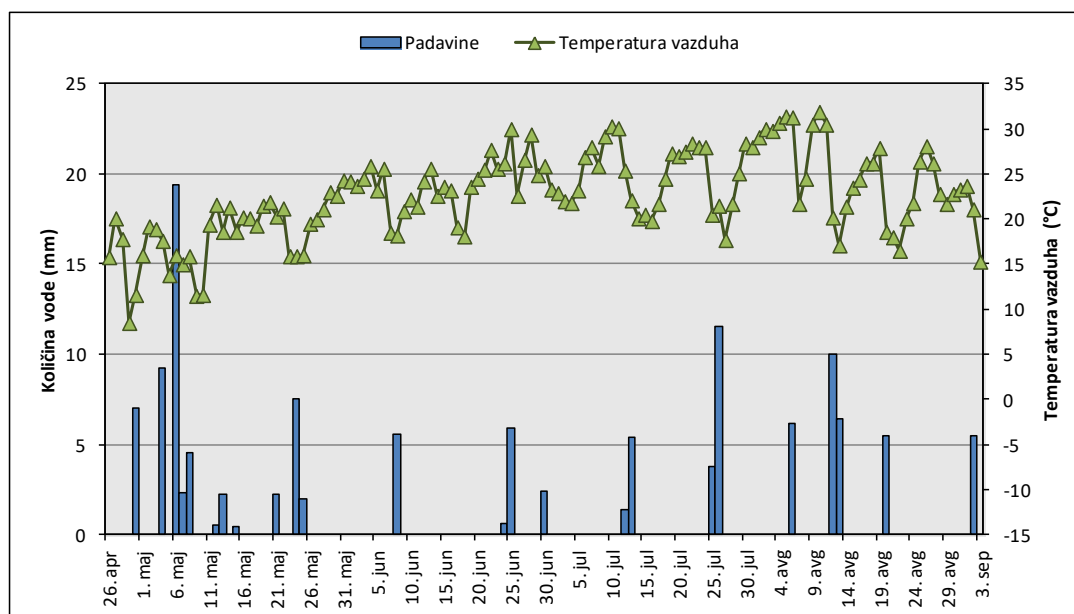
avgusta sa vrednostima 31,4 °C (Grafikon 1, 2) što je direktno uticalo na maksimalni dnevni utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza.

Zbog velikog značaja potencijalne evapotranspiracije, pre svega u realizaciji racionalnog zalivnog režima gajenih biljaka i činjenicu da kukuruz zauzima najveće površine u strukturi setve u Srbiji, a posebno u Vojvodini, obavljena su detaljna istraživanja u prethodnom periodu o potrebama kukuruza za vodom (Bošnjak, 1982; Vasić et al., 1997; Pejić, 2000). Utvrđene su potrebe kukuruza za vodom, merenjem u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama u intervalu od 470-540 mm uz maksimalni dnevni utrošak od 6,2 mm izmeren u letnjem periodu praćenjem stanja vlažnosti zemljišta (Bošnjak, 1982; Pejić, 2000). Bioklimatski postupak koji je utemeljio Vučić (1971, 1973) kao osnovu u realizaciji zalivnog režima gajenih biljaka i danas se koristi u promenljivim klimatskim uslovima Vojvodine. Utvrđene su vrednosti hidrofittermičkih indeksa za brojne ratarske, povrtarske i voćne vrste (Dragović, 1973; Kišgeci, 1974; Bošnjak, 1982; Pejić et al., 2011a). Jednostavnost postupka i činjenica da se koristi samo srednja dnevna temperatura u obračunu evapotranspiracije omogućili su da se postupak kao osnova za određivanje vremena zalivanja primenjuje u našoj praksi navodnjavanja na većini zalivnih sistema. Sugestija FAO (Food Agriculture Organization), početkom sedamdesetih godina prošlog veka, da se u obračunu potreba gajenih biljaka za vodom koristi referentna evapotranspiracija (ET_0) i koeficijenti kulture (kc) (Doorenbos and Pruitt, 1977) daje nove mogućnosti u obračunima utroška vode na evapotranspiraciju biljaka. Uticaj klimatskih faktora na kc je ograničen i to je omogućilo prihvatljivost ovog pristupa za različite lokacije i klimatske uslove, što znači da obračun utroška vode na evapotranspiraciju biljaka zavisi od metode koja se koristi za obračun ET_0 i lokalnih klimatskih uslova. FAO predlaže Penman-Monteith metodu kao referentnu uz napomenu da se zbog njene kompleksnosti i druge metode mogu koristiti u obračunu ET_0 pod uslovom da vrednosti ne odstupaju značajnije. Upravo iz pomenutih razloga Republički hidrometeorološki zavod koristi Hargreaves metodu za obračun ET_0 . Vrednosti evapotranspiracije gajenih biljaka na nivou vegetacionog perioda kao i mesečnom nivou nisu od koristi u realizaciji zalivnog režima. Jedino dnevne vrednosti imaju upotrebnju vrednost u realizaciji zalivnog režima primenom metode bilansa.



Grafikon 1. Padavine i srednja dnevna temperatura vazduha (Bački Petrovac, vegetacioni period 2016. godine)

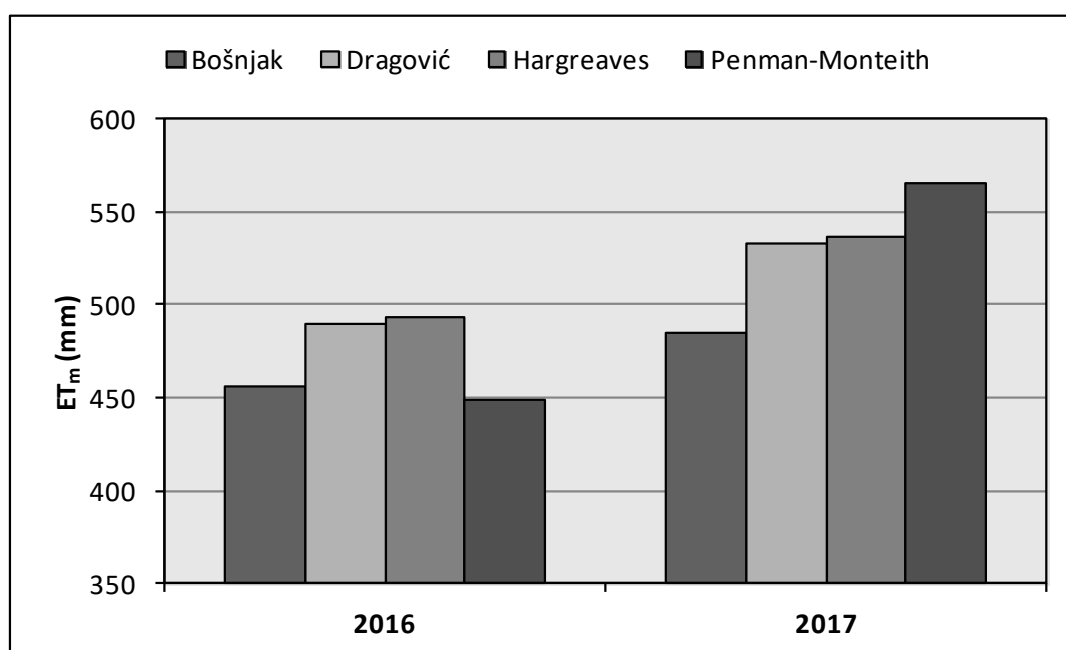
Figure 1. Precipitation and average daily air temperature (Bački Petrovac, for vegetation period in 2016)



Grafikon 2. Padavine i srednja dnevna temperatura vazduha (Bački Petrovac, vegetacioni period 2017. godine)

Figure 2. Precipitation and average daily air temperature (Bački Petrovac, for vegetation period in 2017)

U 2016. povoljnoj godini za proizvodnju kukuruza, u periodu vegetacije, obračun utroška vode na evapotranspiraciju metodom Bošnjaka iznosio je 455 mm, odnosno 449 mm metodom Penman-Monteith. Vrednosti od 491 mm, odnosno 494 mm obračunate su metodama Dragović i Hargreaves (Grafikon 3). U 2017. ekstremno toploj i sušnoj godini obračunate su vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju metodom Bošnjaka od 487 mm i vrlo slične vrednosti od 535 mm, 537 mm i 565 mm metodama Dragović, Hargreaves i Penman-Monteith (Grafikon 3). Znači, u umerenim godinama sa temperaturama vazduha na nivou višegodišnjeg proseka sve metode obračuna daju ujednačene vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza u periodu vegetacije, a u ekstremno toplim godinama metode Dragović, Hargreaves i Penman-Monteith daju vrednosti veće u odnosu na vrednosti utvrđene metodom Bošnjaka.

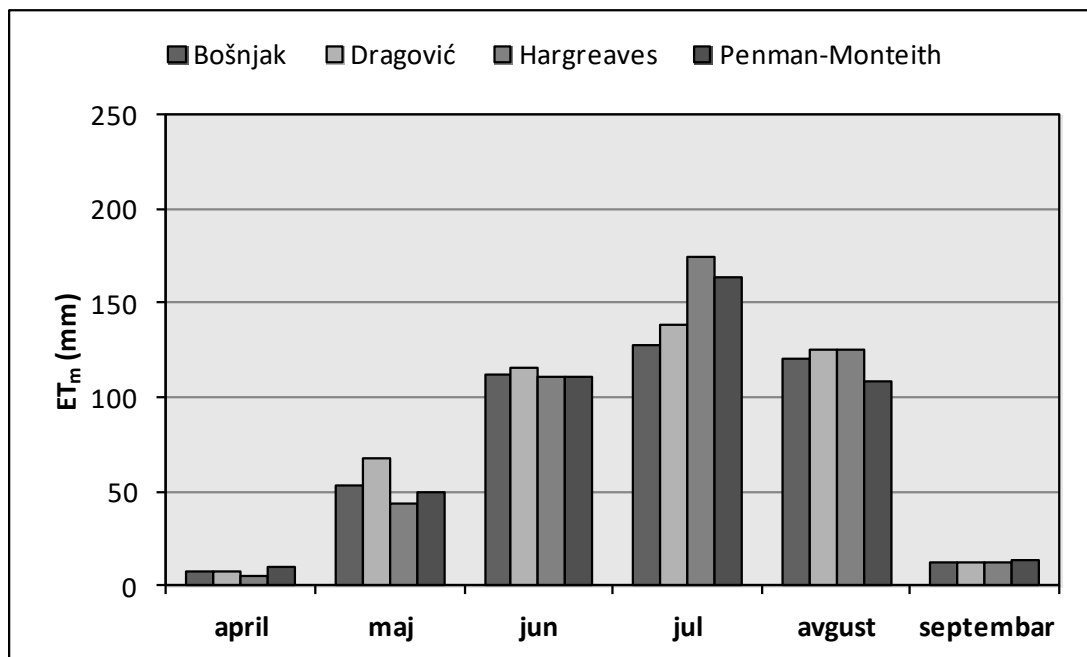


Grafikon 3. Vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza za period vegetacije

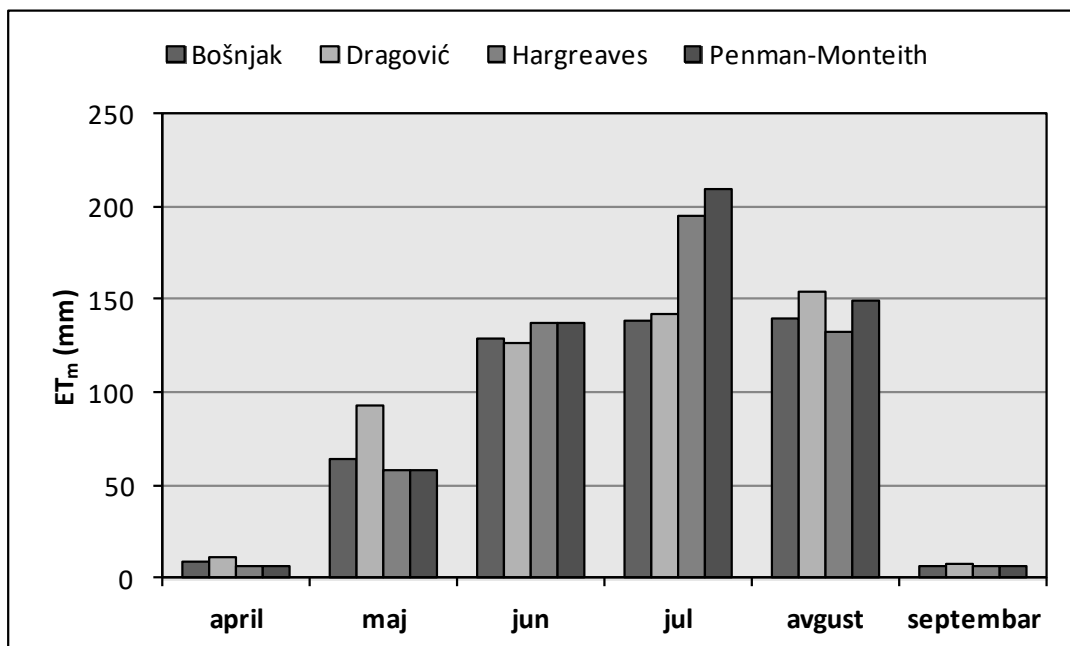
Figure 3. Water consumption on maize evapotranspiration for the growing season

Vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza u julu su važne jer su biljke u punom porastu, troše najviše vode, a i evapotranspiracioni uslovi sredine dostižu maksimalne vrednosti. Takođe, u julu se obavlja najveći broj zalivanja kukuruza u klimatskim uslovima Vojvodine. U 2016. godini utrošak na evapotranspiraciju kukuruza u julu obračunat primenom hidrofitornermičkih indeksa Bošnjaka i Dragovića iznosio je 129 mm, odnosno 138 mm (Grafikon 4). Znatno veće vrednosti obračunate su metodama Penman-Monteith i Hargreaves, i iznosile su 164 mm i 174 mm (Grafikon 4). U 2017. godini zbog ekstremnih temperatura u julu obračunate su vrednosti 138 mm, 142 mm, 195 mm, 209 mm (Grafikon 5) metodama Bošnjaka i Dragovića, odnosno Hargreaves i Penman-Monteith metodama. Vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza u julu mesecu obračunate metodama Bošnjaka i Dragovića u intervalu od 129 mm do 142 mm su u skladu sa ranije izmerenim vrednostima u klimatskim uslovima Vojvodine od 128,5 mm do 142,6 mm (Pejić et al., 2011b). Vrednosti obračunate metodama Penman-Monteith i Hargreaves u intervalu od 164 mm do 209 mm su znatno veće, u odnosu na vrednosti iz ranijih perioda, što ukazuje na potrebu njihove provere u narednom istraživačkom periodu u cilju što preciznijeg utvrđivanja potreba kukuruza za vodom i racionalnog navodnjavanja.

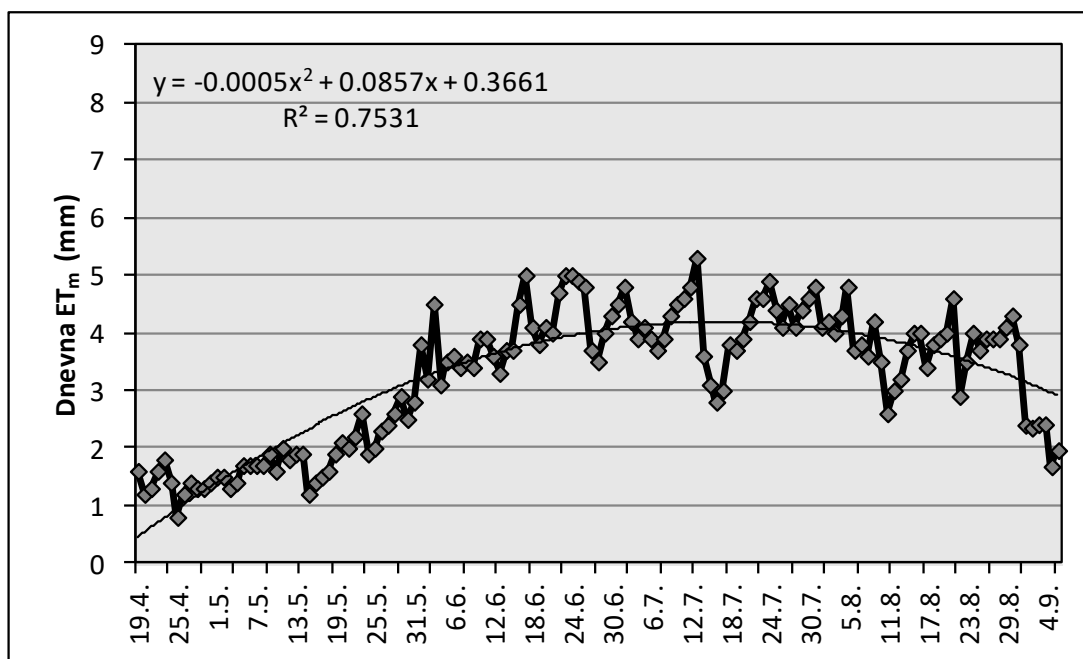
Dnevne vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza su posebno važne jer od njih zavisi broj i raspored zalivanja, a takođe govore i o uslovima godine, pre svega o klimatskim ekstremima, odnosno maksimalnim temperaturama. Maksimalni dnevni utrošak vode utvrđen je u julu i početkom avgusta. Maksimalne vrednosti obračunate metodom Bošnjaka u 2016. godini bile su 5,3 mm (Grafikon 6), a u toploj 2017. godini 5,7 mm (Grafikon 7). Obračun primenom metode Dragovića dao je vrednosti 5,9 mm (Grafikon 8), odnosno 6,6 mm (Grafikon 9). Značajno veće vrednosti, u intervalu 8,2-8,3 mm (Grafikon 10, 11), odnosno 7,7-8,8 mm (Grafikon 12, 13) dale su metode Hargreaves i Penman-Monteith. U uslovima promenljive klime Vojvodine i činjenice da je navodnjavanje dopunskog karaktera, odnosno da padavine utiču na broj i raspored zalivanja teško je proveriti koje su stvarne vrednosti potreba kukuruza za vodom. Jedino prave i merodavne vrednosti bi se mogle dobiti ogledima u poljskim uslovima kontrolisanjem uticaja padavina na vodni režim zemljišta. Postavljanjem zaštitne konstrukcije iznad biljaka, u periodu od jula do sredine avgusta, eliminisao bi se uticaj padavina, a snabdevanje biljaka vodom bilo bi isključivo navodnjavanjem. Na varijantama zalivanja sa obračunatim dnevnim vrednostima utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza metodama Hargreaves i Penman-Monteith obavilo bi se jedno do dva zalivanja više u odnosu na metode Bošnjak i Dragović. Na kraju vegetacije utvrđen prinos kukuruza dao bi odgovor na postavljeno pitanje koje su potrebe kukuruza za vodom u promenljivim klimatskim uslovima Vojvodine. Ako razlike u prinosu kukuruza između ispitivanih varijanti ne budu statistički značajne zaključak će biti da metode Bošnjaka i Dragovića i ranije utvrđene vrednosti hidrofitornermičkih indeksa i dalje treba koristiti u obračunima i da ranije utvrđene potrebe kukuruza za vodom u intervalu od 470 do 540 mm treba prihvatiti za klimatske uslove Vojvodine. U suprotnom, ako prinos kukuruza bude statistički značajno veći na varijantama obračuna metodama Hargreaves i Penman-Monteith treba prihvatiti realnost i uticaj klimatskih ekstrema, pre svega visokih temperatura vazduha na utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza u klimatskim uslovima Vojvodine. Mora se istaći da su klimatski uslovi u prethodnom periodu, kada su obavljena istraživanja potreba kukuruza za vodom (Vučić, 1971; Bošnjak, 1982; Dragović i sar., 1991; Pejić, 2000) bili drugačiji i da je bilo nezamislivo da srednje dnevne temperature vazduha prelaze 30 °C. Nije retkost, u poslednje vreme, da srednje dnevne temperature vazduha prelaze i 30 °C i to je osnovni razlog budućih istraživanja potreba kukuruza i drugih biljaka za vodom jer je evapotranspiracija biljaka podatak koji je osnova za pravilno projektovanje i kasnije racionalno korišćenje sistema za navodnjavanje.



Grafikon 4. Mesečne vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza u 2016. godini
Figure 4. Monthly water consumption on maize evapotranspiration in 2016

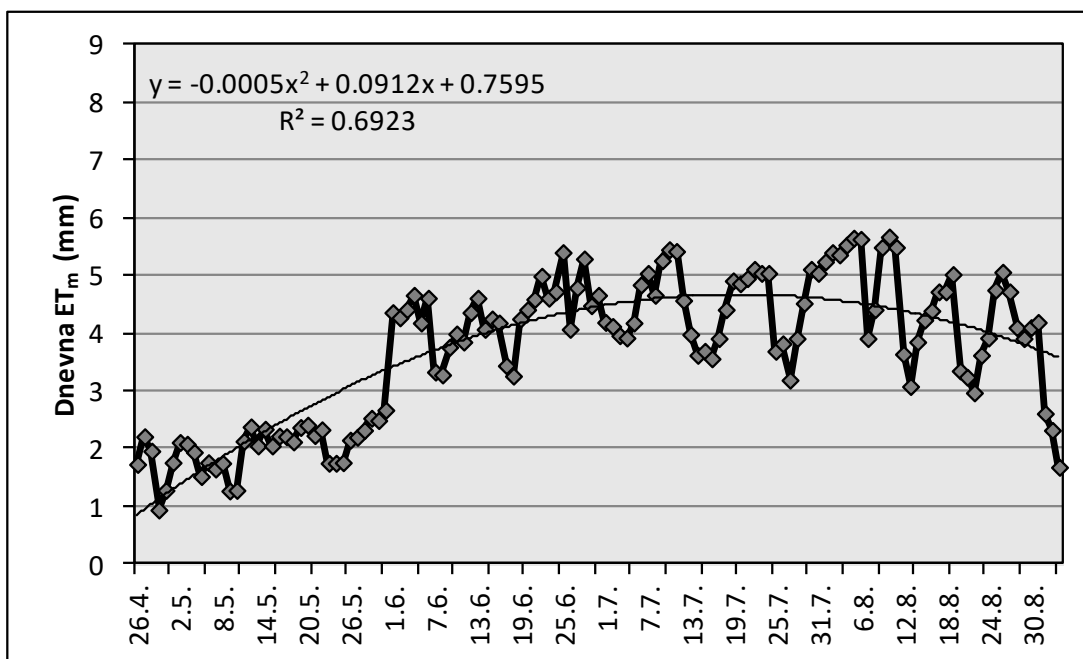


Grafikon 5. Mesečne vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza u 2017. godini
Figure 5. Monthly water consumption on maize evapotranspiration in 2017



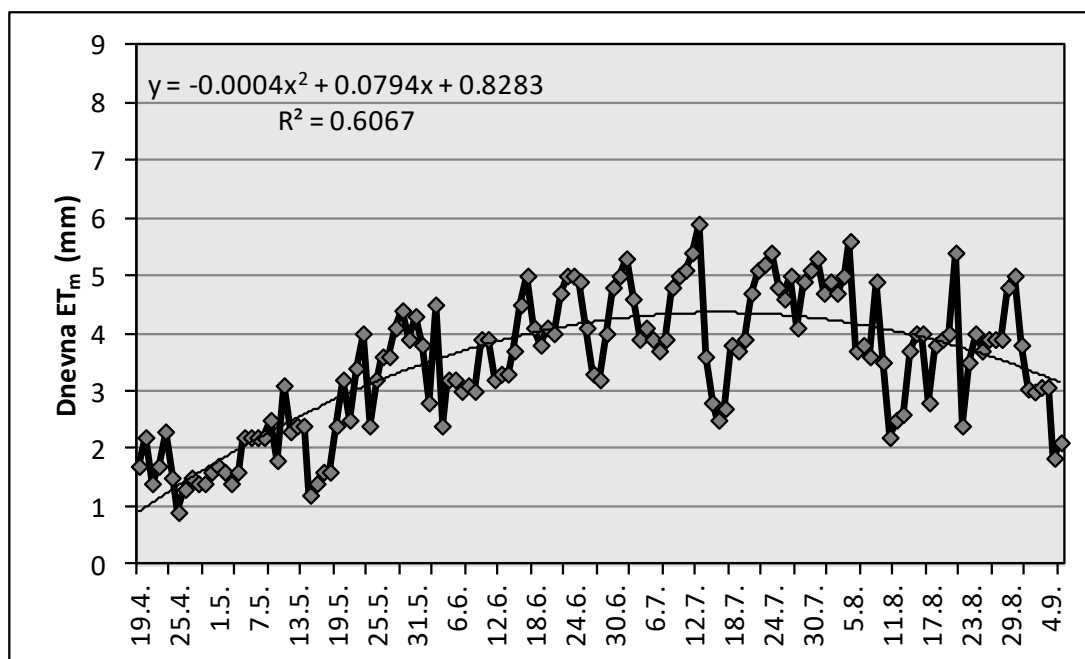
Grafikon 6. Dnevne vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate primenom hidrofototermičkih indeksa prema Bošnjaku, u 2016. godini

Figure 6. Daily water consumption on maize evapotranspiration calculated using the hydrophytothermic indices according to Bošnjak, in 2016



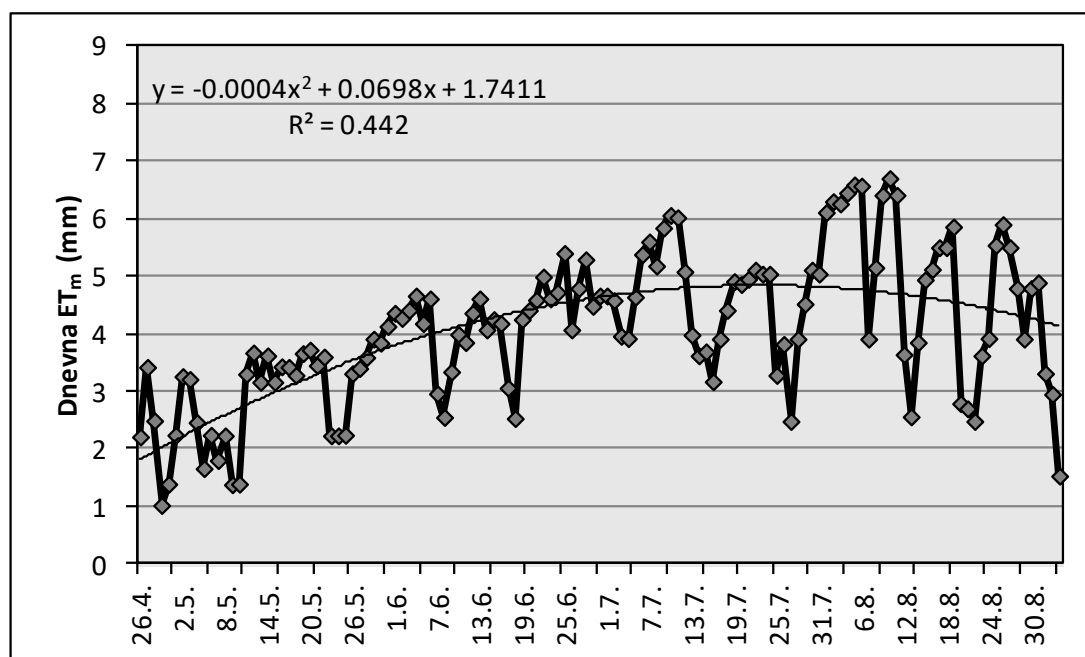
Grafikon 7. Dnevne vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate primenom hidrofototermičkih indeksa prema Bošnjaku, u 2017. godini

Figure 7. Daily water consumption on maize evapotranspiration calculated using the hydrophytothermic indices according to Bošnjak, in 2017



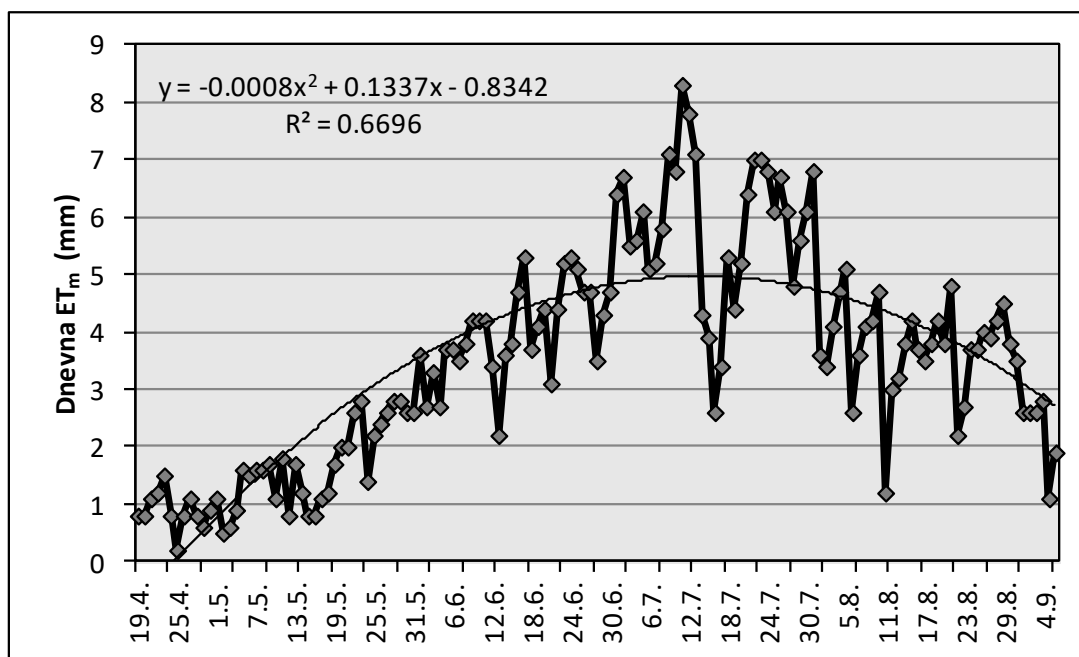
Grafikon 8. Dnevne vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate primenom hidrofitornermičkih indeksa prema Dragoviću, u 2016. godini

Figure 8. Daily water consumption on maize evapotranspiration calculated using the hydrophytothermic indices according to Dragović, in 2016



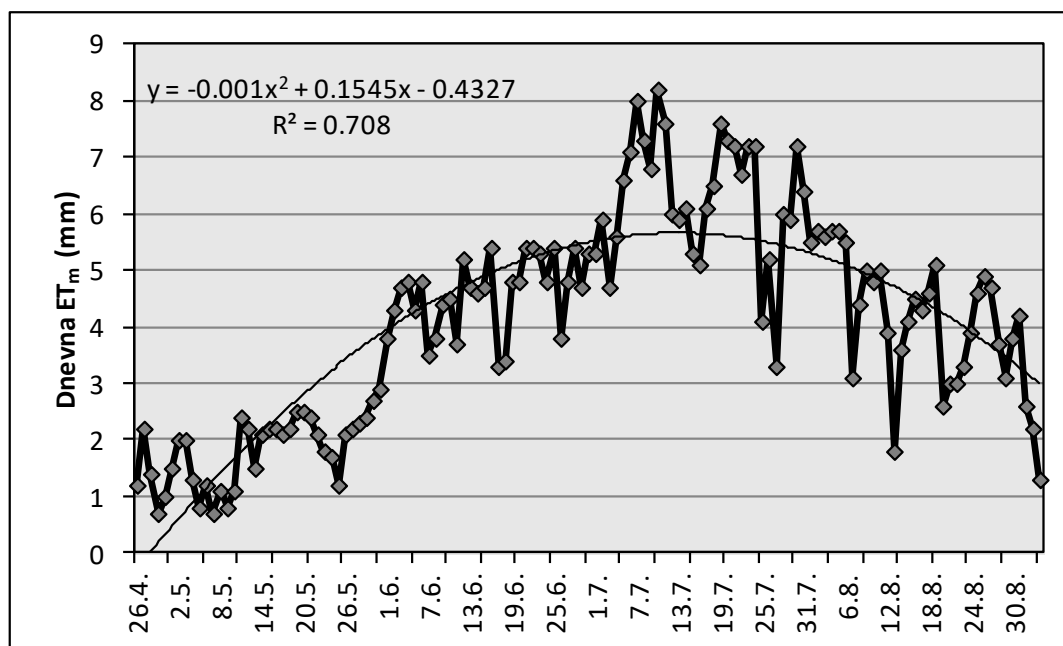
Grafikon 9. Dnevne vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate primenom hidrofitornermičkih indeksa prema Dragoviću, u 2017. godini

Figure 9. Daily water consumption on maize evapotranspiration calculated using the hydrophytothermic indices according to Dragović, in 2017



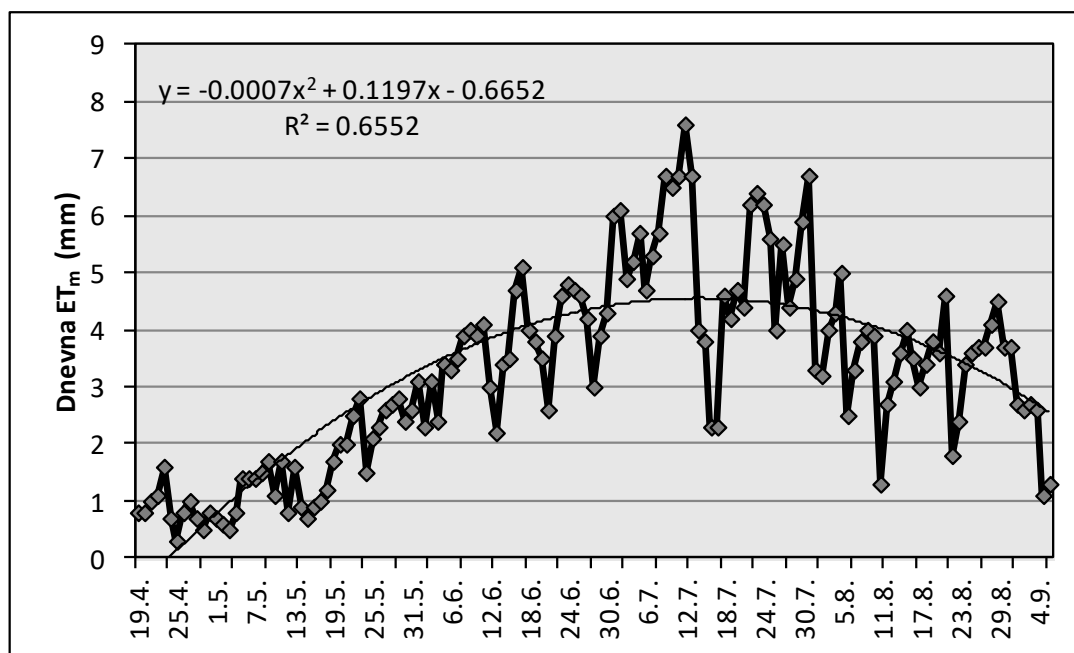
Grafikon 10. Dnevne vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate metodom Hargreaves-a, u 2016. godini

Figure 10. Daily water consumption on maize evapotranspiration calculated by Hargreaves method, in 2016



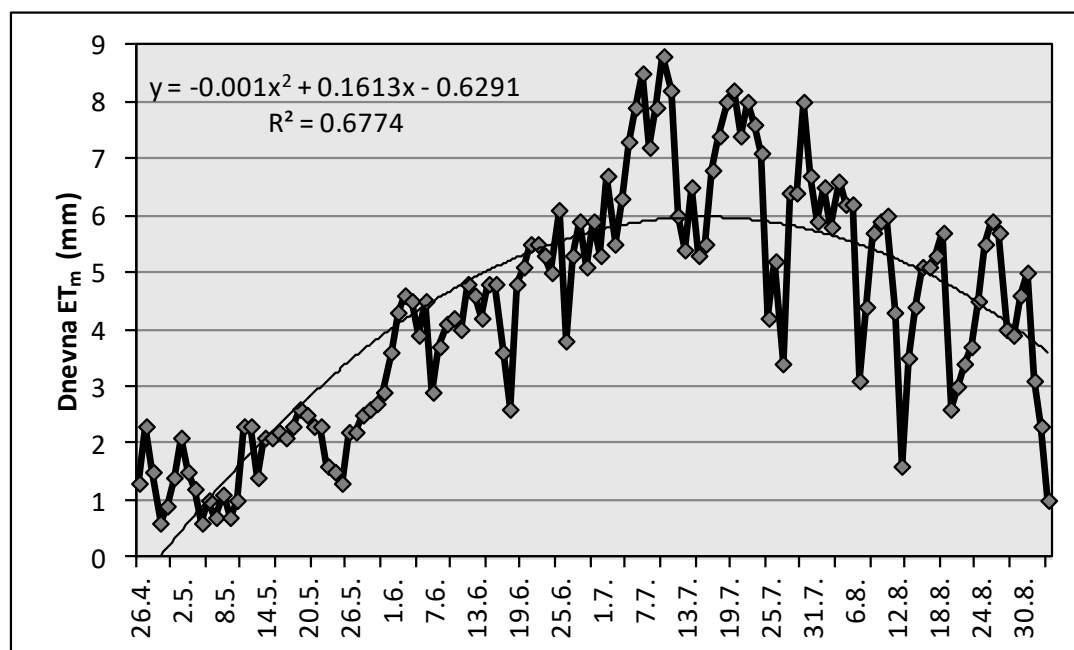
Grafikon 11. Dnevne vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate metodom Hargreaves-a, u 2017. godini

Figure 11. Daily water consumption on maize evapotranspiration calculated by Hargreaves method, in 2017



Grafikon 12. Dnevne vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate metodom Penman-Monteith, u 2016. godini

Figure 12. Daily water consumption on maize evapotranspiration calculated by Penman-Monteith method, in 2016



Grafikon 13. Dnevne vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate metodom Penman-Monteith, u 2017. godini

Figure 13. Daily water consumption on maize evapotranspiration calculated by Penman-Monteith method, in 2017

Zaključci

Primenom indirektnih metoda za obračun utroška vode na evapotranspiraciju može se zaključiti da u umerenim godinama, sa temperaturama vazduha na nivou višegodišnjeg proseka, sve metode obračuna daju ujednačene vrednosti u periodu vegetacije kukuruza, a u ekstremno toplim godinama vrednosti obračunate metodama Dragović, Hargreaves i Penman-Monteith su veće u odnosu na vrednosti obračunate postupkom Bošnjaka. U julu kada biljke kukuruza troše najviše vode, a i evapotranspiracioni uslovi sredine dostižu maksimalne vrednosti, metode Hargreaves i Penman-Monteith u obe godine istraživanja daju značajno veće vrednosti u odnosu na metode Bošnjak i Dragović. Potpuno ista situacija je kada se analiziraju dnevne vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza. Imajući u vidu nastupajuće klimatske promene, da srednje dnevne temperature vazduha često prelaze 30 °C javlja se potreba da se provere vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza. Jedino prave i merodavne vrednosti bi se mogle dobiti ogledima u poljskim uslovima kontrolisanjem uticaja padavina na vodni režim zemljišta postavljanjem zaštitne konstrukcije iznad biljaka. U zavisnosti od uslova godine, pre svega temperature vazduha, broj zalivanja će biti različit jer su dnevne vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate metodama Hargreaves i Penman-Monteith veće u odnosu na vrednosti obračunate primenom hidrofitermičkih indeksa Bošnjaka i Dragovića. Na kraju vegetacije utvrđen prinos kukuruza na različitim varijantama obračuna daće odgovor na postavljeno pitanje koje su potrebe kukuruza za vodom u promenljivim klimatskim uslovima Vojvodine.

Zahvalnica

Ovo istraživanje je deo projekta „Unapređenje tehnologije gajenja krmnih biljaka na oranicama i travnjacima“ (projekat TR31016) koji podržava Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper 56. United Nations FAO, Rome, Italy.
- Bošnjak, Dj. 1982. Evaporacija sa slobodne vodene površine kao osnova zalivnog režima i njen odnos prema ETP kukuruza i soje. (Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet).
- Djaman, K., O'Neill, M., Curtis, K., Oven, C.K., Smeal, D., Koudahe, K., West, M., Allen, S., Lombard, K., Irmak, S. 2018. Crop Evapotranspiration, Irrigation Water Requirement and Water Productivity of Maize from Meteorological Data under Semiarid Climate. *Water* 10(4), 405, <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/405> Pristupljeno 1. oktobra 2019.
- Doorenbos, J., Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. United Nations FAO, Rome, Italy.
- Dragović, S. 1973. Navodnjavanje šećerne repe u uslovima različitog nivoa mineralne ishrane na černozeru. (Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet).
- Dragović, S., Verešbaranji, I., Maksimović, L., Labat, A. 1991. Određivanje zalivnog režima analizom vodnog bilansa zemljišta. Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, 19:83-96.
- Ertek, A. 2011. Importance of pan evaporation for irrigation scheduling and proper use of crop-pan coefficient (Kcp), crop coefficient (Kc) and pan coefficient (Kp). *Afr. J. Agric. Res.* 6(32):6706-6717.
- Hargreaves, G.H., Allen, R.G. 2003. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *J Irrig Drain Eng.* 129(1):53.
- Kišgeci, J. 1974. Vodni režim biljaka hmelja u različitim uslovima navodnjavanja i mineralne ishrane. (Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet).
- Montgomery, E.G. 1911. Methods of determining the water requirements of crops. *Proc. Am. Soc. Agron.*
- Pejić, B. 2000. Evapotranspiracija i morfološke karakteristike kukuruza u zavisnosti u dubine navlaženog zemljišta i njihov odnos prema prinosu. (Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet).
- Pejić, B., Gvozdanović-Varga, J., Milić, S., Ignjatović-Čupina A., Krstić, Dj, Čupina, B. 2011a. Effect of irrigation schedules on yield and water use of onion (*Allium cepa* L.). *Afr. J. Biotechnol.* 10(14):2644-2652
- Pejić, B., Rajić, M., Bošnjak, Dj., Mačkić, K., Jaćimović, G., Jug, D., Stričević, R. 2011b. Primena referentne evapotranspiracije za obračun utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza u klimatskim uslovima Vojvodine. *Letopis naučnih radova*, 35(1):32-46.
- Vasić, G., Kresović, B., Tolimir, M. 1997. Effects of drought on maize production. *Acta Biologica Iugoslavica - Series A: Plant and Soil*, 46(2):117-125.
- Vučić, N. 1971. Bioklimatski koeficijenti i zalivni režim, teorija i praktična primena. *Vodoprivreda*, 6-8:463-467.
- Vučić, N. 1973. Vodni bilans kao osnova za zalivni režim. *Vodoprivreda*, 26:424-427.
- Vučić, N. 1976. Navodnjavanje poljoprivrednih kultura. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Woodward, J. 1699. Some thoughts and experiments concerning vegetation. *Phil. Trans. R. Soc.* 21:193-227.

CALCULATION OF MAIZE EVAPOTRANSPIRATION BY USING INDIRECT METHODS

Borivoj Pejić^a, Ksenija Mačkić^{a*}, Predrag Ranđelović^b, Stanko Milić^b, Vladimir Sikora^b, Goran Bekavac^b, Ivana Bajić^b, Dejan Simić^c

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Serbia

^bInstitute of field and vegetable crops, Novi Sad, Srbija

^cAgricultural Institute of Republic of Srpska, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

*Autor za kontakt: ksenija@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

Bearing in mind that the determination of the plant water requirements in field conditions at experimental fields by monitoring soil moisture is very demanding, a number of indirect, calculation methods have been proposed. Despite numerous measurements and comparisons it could be said that there is no such indirect method that would have universal application, but each of them is of local or regional character. In the analysis of maize water use on evapotranspiration (ET_m) reference evapotranspiration methods (ET_o) and plant coefficients (k_c) were compared with the bioclimatic method using hydrophytothermic indices. Penman-Monteith method, which is reported by the FAO organization as a standard for the ET_o calculation and the method of Hargreaves which is used by the Republic Hydrometeorological Service of Serbia, (RHMZS) were used for ET_o calculation. Meteorological data for the calculation were taken from a meteorological station located on the experimental field of the Institute of Field and Vegetable Crops from Novi Sad in the Alternative Crops Department in Bački Petrovac. Differences in the values of water used on evapotranspiration of maize (ET_m), calculated by the mentioned methods, for the growing period were not particularly great. However, higher values of the ET_m in July calculated by Hargreaves and Penman-Monteith methods in relation to the bioclimatic method using hydrophytothermic indices of Bošnjak and Dragović point to the need to check those differences in a following investigation period. The statistical significance in maize yields obtained on different variants will recommend the most suitable method for the ET_m maize calculation in agroecological conditions of the Vojvodina region.

KEY WORDS: Maize, evapotranspiration, indirect methods

Primljen: 03.10.2019.

Prihvaćen: 21.11.2019.