

PRIMENA REFERENTNE EVAPOTRANSPIRACIJE ZA OBRAČUN UTROŠKA VODE NA EVAPOTRANSPIRACIJU KUKURUZA U KLIMATSKIM USLOVIMA VOJVODINE

Borivoj Pejić¹, Milica Rajić¹, Djuro Bošnjak¹, Ksenija Mačkić¹,
Goran Jaćimović², Danijel Jug², Ružica Stričević³

REZIME

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. Primena referentne evapotranspiracije (ET_0) pruža mogućnost indirektnog obračuna potreba biljaka za vodom. Postupak je univerzalnog karaktera i može da se koristi u različitim klimatskim uslovima za potrebe projektovanja i eksploatacije sistema za navodnjavanje. Na osnovu vrednosti ET_0 obračunate metodama Thornthwaite, FAO-24-Blaney-Criddle, FAO-24-Penman i FAO-56-Penman-Monteith i izmerenih vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama utvrđeni su korekcionni indeksi (k) za prevodjenje vrednosti ET_0 u utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza. Najveći stepen korelacije između izmerenih vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju i ET_0 utvrđen je kod metode Thornthwaite ($R^2 = 0,930$) što potvrđuje ranije konstatacije da je ova metoda najprihvatljivija za obračun utroška vode na evapotranspiraciju biljaka u klimatskim uslovima Vojvodine.

Ključne reči: kukuruz, referentna evapotranspiracija (ET_0), korekcionni indeksi (k)

UVOD

Pre nego što se pristupi projektovanju sistema za navodnjavanje potrebno je da se utvrdi koja je količina vode neophodna za zadovoljenje potreba transpiracije pojedinih

1 dr Borivoj Pejić, vanredni profesor, dr Milica Rajić, vanredni profesor, dr Djuro Bošnjak, redovni profesor, mr Ksenija Mačkić, saradnik u nastavi, mr Goran Jaćimović, asistent, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad

2 dr Danijel Jug, vanredni profesor, Poljoprivredni fakultet, Osijek

3 dr Ružica Stričević, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet, Zemun

biljaka i isparavanje iz zemljišta. Pri tome se postavlja kao osnovni zahtev optimalno snabdevanje biljaka vodom u toku vegetacije. Ustvari, 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.

O značaju potencijalne evapotranspiracije govori podatak da je još 1699 godine Woodward pokušao da utvrdi količinu vode koju biljke troše u toku vegetacije. Prvi ozbiljniji pokušaj utvrđivanja korelacije između prinosa pojedinih biljaka, izraženog u vidu ukupno proizvedene suve materije i utrošene vode učinio je Lawes 1847 (cit. Vučić, 1976) godine u Rothamstedu u Engleskoj. Termin potencijalna evapotranspiracija je u upotrebi od 1941 godine (Thorntwaite and Holzman, 1941). Interesovanje za potencijalnu evapotranspiraciju nesmanjeno je do danas što potvrđuje mnogo novih modela sa osnovnim ciljem da se ove vrednosti što preciznije odrede.

Israelsen i Hansen (1962) navode da su vrednosti potencijalne evapotranspiracije dobijene u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama najrealnije, a Vučić (1976) takodje ističe da se potrebe biljaka za vodom moraju najpre odrediti u poljskim uslovima, a tek onda je moguće ustanovljenje korelacija između izmerenih vrednosti i brojnih obračunskih modela koji se koriste za utvrđivanje potreba biljaka za vodom. Na taj način dobijene formule i odnosi imaju regionalni karakter, ali i veliku praktičnu vrednost za određeno područje. Imajući u vidu da merenje potencijalne evapotranspiracije nije jednostavno, zahteva određenu opremu, instalacije (lizimetri, evapotranspirometri), razradjen je čitav niz postupaka za indirektno utvrđivanje njenih vrednosti na bazi energetskog bilansa i klimatskih elemenata. Međutim, brojnim merenjima i uporedjenjima došlo se do zaključka da ne postoji takav indirektni metod koji bi imao univerzalnu primenu, već je svaki od njih lokalnog ili regionalnog karaktera. Početkom 70-ih godina prošlog veka se uvidja da veliki broj metoda za obračun evapotranspiracije dovodi do zabune imajući u vidu njihov lokalni karakter, odnosno ograničenu globalnu primenljivost. Pored toga, javljaju se različite definicije evapotranspiracije za koju se vrši obračun (potencijalna evaporacija, Penman, 1948, potencijalna evapotranspiracija, Turc, 1964). U cilju prevazilaženja uočenih slabosti formirana je FAO (Food Agriculture Organization) grupa eksperata za definisanje potreba biljaka za vodom. Predložena rešenja su prikazana u FAO publikaciji (Doorenbos and Pruitt, 1977) uz preporuku da se potrebe biljaka za vodom odrede indirektnim putem, preko referentne evapotranspiracije (ET_o) koju definiše potrošnja vode od strane zelene travne površine koja kompletno pokriva zemljište, aktivno raste, uniformne je visine od 8-15 cm i razvija se u uslovima optimalne obezbeđenosti vodom. Predložene su četiri metode za obračun ET_o: FAO-24-Penman, FAO-24-Blaney-Criddle, FAO-24-Radijaciona i FAO-24-Pan. Analizirajući pomenute metode za obračun ET_o u različitim klimatskim uslovima došlo se do zaključka o neophodnosti kalibracije istih za lokalne uslove (DehghaniSanij et al., 2004). Imajući u vidu činjenicu da se FAO-56-Penman-Monteith metoda pokazala kao najprihvatljivija za različite klimatske uslove (Ventura et al., 1999, Kashyap and Panda, 2001, Lecina et al., 2003, Irmak et al., 2003, Itenfisu et al., 2003, Dehghani-Sanij et al., 2004, Gavilan et al., 2007) ona je od strane FAO organizacije predložena

kao standardna za obračun ETo. Osnovna verzija Penman-Monteith metode se pojavila 1965 godine, a nova FAO-56-Penman-Monteith modifikovana metoda je u upotrebi od 90-ih godina (Allen et al., 1994, Allen et al., 1998). Modifikacija se odnosila na upotrebu hipotetičke referentne kulture umesto trave, jer se trava kao referentna površina pokazala kao problematična pri upoređenju rezultata dobijenih lizimetrima na različitim područjima. U skladu sa tom izmenom referentna evapotranspiracija je definisana kao evapotranspiracija sa hipotetičke referentne kulture predpostavljene visine 0,12 cm, 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 i u uslovima bez nedostatka lakopristupačne vode (Allen et al. 1998). Utrošak vode na evapotranspiraciju biljaka se određuje na osnovu vrednosti referentne evapotranspiracije (ETo) i koeficijenta kulture (kc). Evapotranspiracija određenog useva se razlikuje od referentne evapotranspiracije u onoj meri u kojoj se pokrivenost zemljišta, površinski i aerodinamički otpori te biljne vrste razlikuju u odnosu na hipotetičku referentnu kulturu. Uticaj karakteristika koje izdvajaju poljoprivredne kulture od hipotetičke referentne kulture integrisani su u koeficijent kulture. Uticaj klimatskih faktora na kc je ograničen i to je omogućilo prihvatljivost ovog pristupa za različite lokacije i klimatske uslove. Potrebe određene biljne vrste se mogu utvrditi i korišćenjem korekcionih indeksa (ki) koji predstavljaju odnos između potreba određene vrste za vodom izmerene u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama i obračunate referentne evapotranspiracije (ETo) različitim metodama. Aksić i sar., (2009) ističu metodu Thornthwait-a kao najprihvatljiviju za utvrđivanje korekcionih indeksa za obračun potreba duvana za vodom u klimatskim uslovima južne Srbije, a Fawzi (1997) za područje Saudijske Arabije ističe metodu Penmana kao najprihvatljiviju za utvrđivanje korekcionih indeksa za obračun potreba lucerke za vodom.

Evapotranspiracija je složen biofizički proces, koji zavisi od kompleksnog delovanja brojnih činilaca, pre svega, od obezbeđenosti biljaka vodom, uslova spoljne sredine, biljne vrste, zemljišta i njegovih vodno-fizičkih svojstava. To je razlog što se u literaturi sreću različite vrednosti potencijalne evapotranspiracije kukuruza u zavisnosti od pedoklimatskih uslova rejona [(375 mm u Minesoti SAD, Morey et al. (1980), do 890 mm u srednje azijskom delu SSSR-a, Zaporoženko (1978)]. Bošnjak 1982, Bošnjak i sar., 1983, Bošnjak i sar. 1983 su za uslove južne Bačke poljskim ogledima utvrdili potrebe kukuruza za vodom od 460-520 mm. Pejić (2000) u istim uslovima, merenjem u poljskim ogledima, ističe nešto veće vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza od 470-540 mm. Razlike u vrednostima izmerenog utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza, u pomenutim istraživačkim ciklusima, su posledica suše i većih evapotranspiracionih zahteva sredine u drugom istraživačkom periodu. Dragović i Ćirović (1994) ukazuju da u ekstremno sušnim godinama utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza može dostići vrednosti od preko 600 mm. Međutim, činjenica da pri ovim vrednostima utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza nisu postignuti veći prinosi kukuruza u odnosu na predhodna istraživanja ukazuje da su te vrednosti veće od realnih. Widtsoe (1926) ukazuje da kod svake biljne vrste prinos raste sa rastućom količinom dodate vode do izvesne granice, a zatim stagnira i opada, jer biljka pri izobilju troši vodu neracionalno i neproduktivno tako da kriva asimilacije ostaje na istom nivou uprkos pojačanom rashodu vode.

Bošnjak (1999) ističe metodu Thornthwaite-a kao dobru osnovu za obračun ET_o u umerenim semiaridnim do semihumidnim uslovima Vojvodine. Metoda Thornthwaite-a je jednostavna za obračun ET_o jer koristi samo temperaturu vazduha korigovanu na geografsku širinu, odnosno dužinu trajanja obdanice. Pored toga, u odnosu na sve druge meteorološke elemente utvrđen je najveći stepen korelacije između temperature vazduha i utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza (Bošnjak, 1982). Metoda FAO-24-Blaney-Criddle je prvenstveno namenjena uslovima aridnijih rejona, ali zbog svoje jednostavnosti može da posluži u svim slučajevima kada se želi analiza potencijalne evapotranspiracije. Dorenbos i Pruitt (1977) predlažu FAO-24-Penman metodu za obračun ET_o , a 1990 godine FAO organizacija predlaže FAO-56-Penman-Monteith metodu (Allen et al., 1986) kao referentnu za obračun ET_o .

Zadatak ovih istraživanja je da se na osnovu izmerenih vrednosti ET kukuruza u poljskim uslovima, na eksperimentalnim parcelama, u klimatskim uslovima Vojvodine i obračunatih vrednosti ET_o metodom Thornthwaite-a, FAO-24-Blaney-Criddle, FAO-24-Penman i FAO-56-Penman-Monteith utvrde korekcionni indeksi i proveriti mogućnost njihove primene u obračunu utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza. Dobijene vrednosti će imati veliku praktičnu vrednost, a pre svega u realizaciji zalivnog režima ove biljne vrste u klimatskim uslovima Vojvodine.

MATERIJAL I METODE RADA

Eksperimentalna istraživanja su obavljena na oglednom polju Instituta za ratarstvo i povrtarstvo iz Novog Sada, na Rimskim Šančevima (N 45° 19', E 19° 50', 84 m nadmorske visine). U periodu od 1992 do 1994 godine su obavljena detaljna istraživanja utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza, kako za period vegetacije tako i za pojedine mesece vegetacionog perioda.

Ogled je postavljen po metodu blok sistema i prilagodjen uslovima navodnjavanja kišenjem. Utrošak vode na evapotranspiraciju je izmeren na navodnjavanoj varijanti sa predzalivnom vlažnošću zemljišta 60-65% od poljskog vodnog kapaciteta (PVK). Predzalivna vlažnost zemljišta 60-65% od PVK predstavlja tehnički minimum vlažnosti zemljišta (TM), odnosno vlažnost zemljišta kada treba početi sa navodnjavanjem kukuruza na zemljištima srednjeg mehaničkog sastava u klimatskim uslovima Vojvodine (Bošnjak, 1987). Vreme zalivanja je određivano praćenjem dinamike vlažnosti zemljišta dekadno, a po potrebi i u kraćem vremenskom periodu po slojevima zemljišta od 0,1-0,2 m do 0,6 m dubine. Utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza, na mesečnom nivou (ET_m), određen je bilansiranjem potrošnje vode iz rezervi zemljišta (r) iz sloja do 2 m dubine, mesečne sume padavina (P) i količine vode dodate navodnjavanjem u toku meseca (N).

$$ET_m = (W_1 - W_2) + P + N,$$

$$r = W_1 - W_2$$

$$ET_m = \text{Mesečni utrošak vode na evapotranspiraciju (mm)}$$

r = Utrošak vode iz rezervi zemljišta (mm)

W_1 = Sadržaj vode u zemljištu do 2 m dubine na početku meseca (mm)

W_2 = Sadržaj vode u zemljištu do 2 m dubine na kraju meseca (mm)

P = Mesečna suma padavina (mm)

N = Količina vode dodate navodnjavanjem u toku meseca (mm)

Za obračun r vrednosti, vlažnost zemljišta je merena na početku i kraju meseca po slojevima od 20 cm do 2 m dubine.

Referentna evapotranspiracija (ET_0) je obračunata metodama Thornthwaite-a, FAO-24- Blaney-Cridde, FAO-24-Penman i FAO-56-Penman-Monteith (Dorenbos and Pruitt, 1977).

Izmerene vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza, eksperimentima u poljskim uslovima, korišćene su za obračun korekcionih indeksa (k_i) za prevodjenje vrednosti ET_0 u utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza.

$$k_i = ETP/ET_0$$

$$ET \text{ kukuruza} = k_i ET_0$$

Uradjena je korelacija izmedju analiziranih metoda za obračun referentne evapotranspiracije i izmerenih vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama (koeficijent korelacije, $P < 0,05$) sa ciljem da se utvrdi koja je od analiziranih metoda najprihvatljivija za obračun potreba kukuruza za vodom u klimatskim uslovima Vojvodine.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

U periodu istraživanja (1992 do 1994 godine) utrošak vode na evapotranspiraciju u vegetacionom periodu kukuruza, izmeren u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama, je bio 549,5 mm, 531,4 mm i 520,4 mm (Tab. 1, 2, 3).

Tab. 1. Utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza (R. Šančevi, 1992 god.)**Tab. 1.** *Water used on evapotranspiration of maize (R. Šančevi, 1992)*

Mesec <i>Month</i>	Padavine <i>Precipitation</i> (P) (mm)	Utrošak vode iz predvege- tacionih rezervi zemljišta <i>Water used from pre- vegetation soil reserve (r)</i> (mm)	Navodnjavanje <i>Irrigation</i> (N) (mm)	Utrošena voda na ET kukuruza <i>Water used on ET of maize</i> (mm)
April	19,0	0,8		19,8
Maj	39,0	40,5		79,5
Jun	88,1	28,1	120	116,2
Jul	21,6	1,0	80	142,6
Avgust	0,2	54,4		134,6
Septembar	23,5	33,3		56,8
Ukupno <i>Total</i>	191,4	158,1	200	549,5

Tab. 2. Utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza (R. Šančevi, 1993 god.)**Tab. 2.** *Water used on evapotranspiration of maize (R. Šančevi, 1993)*

Mesec <i>Month</i>	Padavine <i>Precipitation</i> (P) (mm)	Utrošak vode iz predvege- tacionih rezervi zemljišta <i>Water used from pre- vegetation soil reserve</i> (r) (mm)	Navodnjavanje <i>Irrigation</i> (N) (mm)	Utrošena voda na ET kukuruza <i>Water used on ET if maize</i> (mm)
April	-	17,6		17,6
Maj	39,4	35,0		74,4
Jun	63,6	7,3	60	129,9
Jul	42,8	24,7	60	128,5
Avgust	35,7	29,5	60	125,2
Septembar	38,2	17,6		55,8
Ukupno <i>Total</i>	219,7	131,7	180	531,4

Tab.3. Utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza (R. Šančevi, 1994 god.)
Tab. 3. Water used on evapotranspiration of maize (R. Šančevi, 1994)

Mesec Month	Padavine Precipitation (P) (mm)	Utrošak vode iz predvegetacionih rezervi zemljišta Water used from pre-vegetation soil reserve (r) (mm)	Navodnjavanje Irrigation (N) (mm)	Utrošena voda na ETP kukuruza Water used on ET of maize (mm)
April	8,9	6,8		15,7
Maj	71,7	5,6		77,3
Jun	101,4	18,3		119,7
Jul	31,9	5,2	90	127,1
Avgust	41,0	-	90	131,0
Septembar	42,2	7,4		49,6
Ukupno Total	297,1	43,3	180	520,4

Izmerene vrednosti u periodu istraživanja su saglasne ranije utvrđenim potrebama kukuruza za vodom za uslove južne Bačke koje se kreću u intervalu 460-520 mm (Bošnjak, 1987). Razlike u vrednostima izmerenog utroška vode na evapotranspiraciju, u odnosu na utvrđene potrebe ove biljne vrste za vodom, u predhodnom periodu, u pomenutim klimatskim uslovima su posledica viših temperatura vazduha, pre svega, u letnjim mesecima junu, julu i avgustu, odnosno većih evapotranspiracionih zahteva sredine.

Za praktičnu primenu u navodnjavanju, u realizaciji racionalnog zalivnog režima kukuruza potrebno je poznavati dnevni utrošak vode na evapotranspiraciju u konkretnim klimatskim uslovima. Za obračun mesečnih i dnevnih vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza, Bošnjak (1982) predlaže hidrofitornermičke indekse sa vrednostima 0,11 za maj, 0,18 za jun, jul i avgust i 0,11 za septembar. Hidrofitornermički indeksi pokazuju utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza za svaki stepen srednje dnevne temperature vazduha. Postupak obračuna je proveren u dužem vremenskom periodu kako u naučnim istraživanjima tako i u proizvodnoj praksi (Bošnjak i sar., 1991, Pejić, 1993, Bošnjak i Pejić, 1994, Pejić i sar., 2006, Pejić i sar, 2009). Doorenbos i Pruitt (1977) preporučuju da se potrebe biljaka za vodom odrede indirektnim putem, preko referentne evapotranspiracije (ET_0). Za prevodjenje vrednosti obračunate ET_0 u utrošak vode na evapotranspiraciju mogu se koristiti korekcionni indeksi (k_i) koji predstavljaju odnos između potreba određene vrste za vodom izmerene u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama i obračunate referentne evapotranspiracije (ET_0). Činjenica da se vrednosti ET_0 obračunate različitim formulama u istim klimatskim uslovima bitno razlikuju, ukazuje na potrebu da se za obračun k_i odabere ona koja ima najbolju korelaciju sa utvrđenim potrebama određene biljne za vodom u datim klimatskim uslovima.

Obračunate vrednosti ET_0 metodama Thornthwaite, FAO-24-Blaney-Criddle,

FAO-24-Penman i FAO-56-Penman-Monteith, u periodu april-septembar, u proseku za period 1992 do 1994 godine su bile 599,2 mm, 640,7 mm, 742,2 mm, 655,7 mm (Tab. 4, 5).

Tab. 4. Referentna evapotranspiracija (ET_o , mm)

Tab. 4. Reference evapotranspiration (ET_o , mm)

Mesec <i>Month</i>	Thornthwaite				FAO-24 Blaney-Criddle			
	1992	1993	1994	Prosek <i>Average</i>	1992	1993	1994	Prosek <i>Average</i>
IV	19,1	17,3	17,2	17,9	31,4	30,0	30,5	30,6
V	99,3	116,3	96,8	104,1	123,1	129,3	122,0	124,8
VI	123,8	124,4	122,8	123,7	134,8	134,1	134,5	134,5
VII	142,3	139,7	155,6	145,9	143,1	141,3	148,5	144,3
VIII	164,3	132,9	139,6	145,6	145,3	132,3	135,6	137,7
IX	66,2	52,9	66,9	62,0	67,2	66,1	73,0	68,8
Ukupno <i>Total</i>	615,0	583,5	598,9	599,2	644,9	633,1	644,1	640,7

Tab. 5. Referentna evapotranspiracija (ET_o , mm)

Tab. 5. Reference evapotranspiration (ET_o , mm)

Mesec <i>Month</i>	FAO-24 Penman				FAO-56 Penman-Monteith			
	1992	1993	1994	Prosek <i>Average</i>	1992	1993	1994	Prosek <i>Average</i>
IV	38,6	31,9	28,7	33,1	33,0	27,3	23,7	28,0
V	167,8	151,5	138,7	152,7	145,0	134,0	120,0	133,0
VI	144,7	155,3	149,0	149,7	126,0	137,0	129,0	130,7
VII	177,3	162,2	172,5	170,7	156,0	152,0	155,0	154,3
VIII	183,3	149,9	163,9	165,7	167,0	133,0	147,0	149,0
IX	80,1	59,0	71,9	70,3	69,3	50,0	62,7	60,7
Ukupno <i>Total</i>	791,8	709,8	724,7	742,2	696,3	633,3	637,4	655,7

Obračunati k_i za prevodjenje vrednosti ET_o u utrošak vode na evapotranspiraciju kukuruza, u proseku za period vegetacije, od 1992 do 1994 bile su 0,90, 0,79, 0,70, 0,80 za metode Thornthwaite, FAO-24-Blaney-Criddle, FAO-24-Penman i FAO-56-Penman-Monteith (Tab. 6, 7).

Tab. 6. Korekcionni indeksi za obračun utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza (ET) preko referentne evapotranspiracije (ET_o)

Tab. 6. *Corrective indices for calculation water used on evapotranspiration of maize (ET) using reference evapotranspiration (ET_o)*

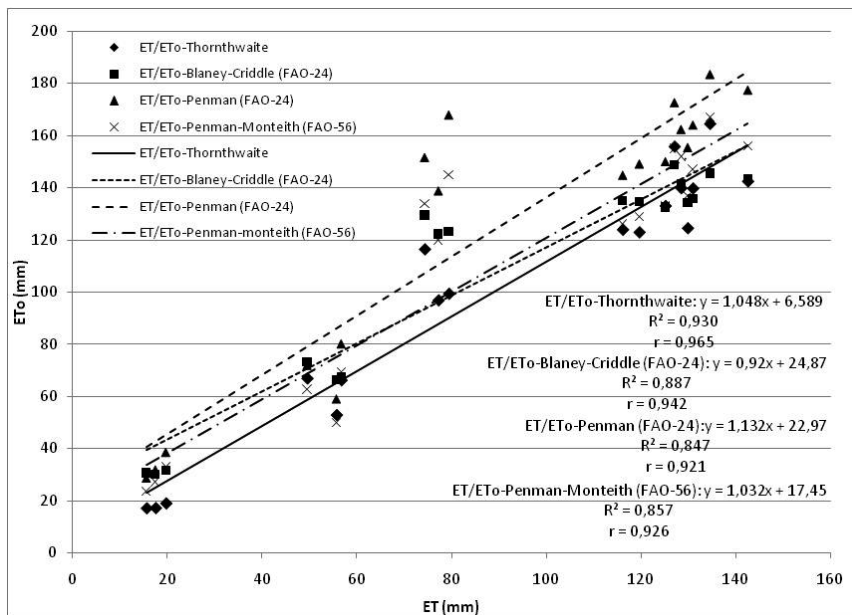
Mesec Month	Thornthwaite				FAO–24 Blaney-Criddle			
	1992	1993	1994	Prosek Average	1992	1993	1994	Prosek Average
IV	1,04	1,00	0,91	0,98	0,63	0,59	0,51	0,58
V	0,80	0,64	0,80	0,75	0,64	0,58	0,63	0,61
VI	0,94	1,04	0,97	0,98	0,86	0,97	0,89	0,91
VII	1,00	0,92	0,82	0,91	1,00	0,91	0,86	0,92
VIII	0,82	0,94	0,94	0,90	0,93	0,95	0,97	0,95
IX	0,86	1,05	0,74	0,88	0,85	0,84	0,68	0,79
Prosek Average	0,91	0,93	0,86	0,90	0,82	0,81	0,76	0,79

Tab. 7. Korekcionni indeksi za obračun utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza (ET) preko referentne evapotranspiracije (ET_o)

Tab. 7. *Corrective indices for calculation water used on evapotranspiration of maize (ET) using reference evapotranspiration (ET_o)*

Mesec Month	FAO–24 Penman				FAO–56 Penman-Monteith			
	1992	1993	1994	Prosek Average	1992	1993	1994	Prosek Average
IV	0,51	0,55	0,55	0,54	0,60	0,64	0,66	0,63
V	0,47	0,49	0,56	0,51	0,55	0,56	0,64	0,58
VI	0,80	0,84	0,80	0,81	0,92	0,95	0,93	0,93
VII	0,80	0,79	0,74	0,78	0,91	0,84	0,82	0,86
VIII	0,73	0,84	0,80	0,79	0,81	0,94	0,89	0,88
IX	0,71	0,95	0,69	0,78	0,82	1,12	0,79	0,91
Prosek Average	0,67	0,74	0,69	0,70	0,77	0,84	0,79	0,80

Činjenica da je utvrđen najveći stepen korelacije (Graf. 1) između utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza utvrđenu u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama i ET_o obračunate metodom Thornthwaite-a ($R^2 = 0,930$) ukazuju da se ova metoda i k_i 0,9 (april 0,98, maj 0,75, jun 0,98, jul 0,91, avgust 0,90, septembar 0,88, Tab. 6) može uspešno primenjivati u obračunima utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza u klimatskim uslovima Vojvodine. U prilog ovog zaključka ide konstatacija da je utvrđeno najveće slaganje između vrednosti evapotranspiracije kukuruza izračunate metodom Thornthwaite-a primenom k_i i izmerenih vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza, u poljskim uslovima, metodom vodnog bilansa u periodu 1995 do 2003 godine (Tab. 8, 9, 10, 11).



Graf. 1. Odnos između izmerenih i obračunatih vrednosti utroška vode na ET kukuruza
Graph 1. Relation between measured and calculated values of water used on ET of maize

Tab. 8. Vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza (ET) obračunate korišćenjem korekcionih indeksa po metodi Thornthwaite-a

Tab. 8. Values of water used on evapotranspiration of maize (ET) using corective indices calculated by Thornthwaite method

Mesec Month	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Prosek Average
IV	17,3	18,5	10,6	20,7	19,7	22,1	16,1	16,1	14,8	17,3
V	69,7	83,4	81,6	70,0	74,5	79,0	78,4	78,1	94,3	78,8
VI	115,9	128,9	130,1	134,5	123,1	128,9	107,2	134,1	154,0	128,5
VII	140,7	117,2	118,3	127,6	124,5	127,5	132,2	141,6	132,6	129,1
VIII	108,5	111,7	108,1	117,3	114,4	132,4	123,7	118,5	137,4	119,1
IX	42,9	35,2	45,8	43,0	54,8	47,8	43,5	45,8	46,9	45,1
Ukuno Total	494,9	494,9	494,5	513,2	510,9	537,6	501,1	534,2	580,0	517,9
Izmerene vrednosti Measured values	523,8	540,7	522,4	537,6	501,3	538,7	507,8	489,4	523,4	520,6

Tab. 9 Vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza (ET) obračunate korišćenjem korekcionih indeksa po metodi Blaney-Criddle-a

Tab. 9. Values of water used on evapotranspiration of maize (ET) using corective indices calculated by Blaney-Criddle method

Mesec Month	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Prosek Average
IV	17,4	17,6	15,0	18,6	18,3	19,6	17,4	17,7	17,2	17,6
V	72,0	77,0	76,1	72,7	74,4	77,8	76,4	77,0	82,4	76,2
VI	119,1	124,3	124,7	127,2	122,7	126,8	116,8	128,2	135,3	125,0
VII	135,6	125,0	125,3	130,3	129,0	131,9	132,7	136,9	133,3	131,1
VIII	120,4	121,6	119,7	124,7	123,5	132,3	127,9	126,4	134,0	125,6
IX	50,4	46,8	51,3	50,8	55,7	54,2	51,4	52,9	52,6	51,9
Ukuno Total	514,9	512,3	512,1	524,2	523,6	542,6	522,6	539,1	554,8	527,5
Izmerene vrednosti Measured values	523,8	540,7	522,4	537,6	501,3	538,7	507,8	489,4	523,4	520,6

Tab. 10. Vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza (ET) obračunate korišćenjem korekcionih indeksa po metodi FAO–24 Penman

Tab. 10. Values of water used on evapotranspiration of maize (ET) using corective indices calculated by FAO–24 Penman method

Mesec Month	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Prosek Average
IV	18,1	17,5	16,6	18,4	16,9	21,4	15,9	16,4	19,1	17,8
V	66,2	69,9	85,7	64,3	67,5	83,8	69,5	71,1	80,6	73,2
VI	108,0	130,2	125,8	128,1	115,5	157,0	106,5	132,4	141,2	126,7
VII	136,4	117,9	112,6	126,1	107,4	148,3	117,5	124,2	128,5	124,3
VIII	103,6	103,0	100,4	113,8	104,8	137,0	112,2	98,9	121,4	110,6
IX	42,9	34,9	51,0	42,2	51,6	48,2	35,5	40,6	45,7	43,6
Ukuno Total	475,2	437,4	492,1	492,9	459,7	595,7	457,1	483,6	536,5	496,2
Izmerene vrednosti Measured values	523,8	540,7	522,4	537,6	501,3	538,7	507,8	489,4	523,4	520,6

Tab. 11 Vrednosti utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza (ET) obračunate korišćenjem korekcionih indeksa po metodi FAO–56 Penman-Monteith

Tab. 11. *Values of water used on evapotranspiration of maize (ET) using corective indices calculated by FAO–56 Penman-Monteith method*

Mesec Month	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Prosek Average
IV	37,7	37,7	24,3	35,3	25,9	42,9	32,7	33,0	38,8	35,9
V	114,8	121,1	146,9	109,9	116,0	146,6	129,4	132,3	152,5	131,5
VI	119,8	144,3	143,0	143,8	124,2	172,1	118,9	151,7	168,3	142,0
VII	159,5	138,6	128,3	148,8	126,1	170,1	142,4	156,0	153,4	150,2
VIII	121,2	117,4	116,5	132,8	125,5	163,3	134,4	124,3	152,5	138,2
IX	56,0	39,9	65,4	49,4	63,8	61,6	43,7	64,4	59,3	58,9
Ukuno Total	609,0	599,0	624,4	620,0	581,5	756,6	601,5	661,7	724,8	656,8
Izmerene vrednosti Measured values	523,8	540,7	522,4	537,6	501,3	538,7	507,8	489,4	523,4	520,6

Aksić i sar. (2009) ističu metodu Thornthwaite-a kao najprihvatljiviju za utvrđivanje k_i i obračun utroška vode na evapotranspiraciju sorte duvana Virginia u klimatskim uslovima južne Srbije. Trajković i Kolaković (2009) ukazuju da je metoda Thornthwaite prihvatljiva za obračun ET_o za područje meteorološke stanice Novi Sad poredeći ovu metodu sa standardizovanom FAO–56-Penman-Monteith metodom. Vučić (1976), Bošnjak (1999) ukazuju da u klimatskim uslovima Vojvodine metoda Thornthwaite-a daje realne vrednosti u obračunima ET_o .

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata istraživanja primene referentne evapotranspiracije (ET_o) u obračunima utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza može se zaključiti da je od korišćenih metoda (Thornthwaite, FAO-24-Blaney-Cridle, FAO-24-Penman i FAO-56-Penman-Monteith) metoda Thornthwaite-a najprihvatljivija za obračun utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza u klimatskim uslovima Vojvodine. Vrednosti utroška vode na evapotranspiraciju kukuruza obračunate ovom metodom primenom korekcionih indeksa (k_i) za april 0,98, maj 0,75, jun 0,98, jul 0,91, avgust 0,90, septembar 0,88 imale su najveći stepen korelacije ($R^2 = 0,930$) sa izmerenim vrednostima utrošene vode na evapotranspiraciju kukuruza u poljskim uslovima na eksperimentalnim parcelama.

Dobijene vrednosti imaju veliki praktični značaj, pre svega u realizaciji zalivnog režima kukuruza u klimatskim uslovima Vojvodine.

LITERATURA

1. Aksić, M., Deletić, N., Gudžić, N., Gudžić, S., Stojković, S., 2009. A model of correction indexes determination for Virginia tobacco on the basis of field measurement ETP. *Journal of Agricultural Sciences* 54 (3): 197-204.
2. Allen, R. G., Pruitt, W. O., 1986. Rational Use of the FAO Blaney-Criddle Formula, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 112 (2): 139-155.
3. Allen, R.G., Smith, M., Pereira, L.S., 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bull.* 43, 1–34.
4. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, FAO, Rome.
5. Bošnjak, Dj., 1982. Evaporacija sa slobodne vodene površine kao osnova zalivnog režima i njen odnos prema ETP kukuruza i soje. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet Novi Sad.
6. Bošnjak, Dj., Dobrenov, V., Panić, Ž., 1983. Potencijalna evapotranspiracija kukuruza u agroekološkim uslovima Južne Bačke. *Savremena poljoprivreda* 11-12: 523-534.
7. Bošnjak, Dj., 1987. Zahtevi za vodom i zalivni režim kukuruza. *Nauka u proizvodnji* 15, 3-4: 29-36.
8. Bošnjak, Dj., Pejić, B., Panić, Ž., Maksimović, L., 1991. Vodni bilans realan pristup zalivnog režima soje. *Zbornik radova instituta za ratarstvo i povrtarstvo*, 19: 107-117.
9. Bošnjak, Dj., Pejić, B., 1994. Water balancing as a functional approach to irrigation scheduling for soybean in the Province of Vojvodina. *Proc. 3rd ESA Congress, Abano-Padova, Italy*, 80-81.
10. Bošnjak, Dj., 1999. Navodnjavanje poljoprivrednih useva. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
11. DehghaniSanij H, Yamamoto T, Rasiah V. 2004. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. *Agricultural Water Management* 64: 91–106.
12. Dragović, S., Čirović, M., 1994. Potrebe semenskog kukuruza za vodom i efekat navodnjavanja. Monografija „Mehanizovana proizvodnja semenskog kukuruza“, 89-98, Novi Sad.
13. Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Food and Agriculture Organization. Rome
14. Fawzi, S. A., 1997. Calibration of reference evapotranspiration equations for alfalfa under arid climatic conditions. *Agric. Sci.* 1: 39-56.
15. Gavilan, P., Berengena, J., and Allen, R.G., 2007. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: Impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. *Agricultural Water Management* 89: 275-286.
16. Irmak S, Allen RG, Whitty EB. 2003. Daily grass and alfalfa-reference evapotranspiration estimates and alfalfa to grass evapotranspiration ratios in Florida. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129 (5): 360–370.
17. Israelsen, O. W., Hansen, V. E., 1962. *Irrigation principles and practices*. New York.
18. Itenfisu D, Elliott RL, Allen RG, Walter IA. 2003. Comparison of reference evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort. *Journal of*

- Irrigation and Drainage Engineering 129 (6): 440–448.
19. Kashyap PS, Panda RK. 2001. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. *Agricultural Water Management* 50: 9–25.
 20. Lecina, S., Martinez-Cob, A., Perez, P. J., Villalobos, F. J., and Baselga, J. J., 2003. Fixed versus variable bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman-Monteith equation under semiarid conditions *Agricultural Water Management* 60 (3): 181-198.
 21. Morey, R. V., Gilley, J. R., Bergsrud, F. G., Dirkzwager, L. R., 1980. Yield response of corn related to soil moisture. *Trans ASAE* 23: 1165-1170.
 22. Pejić, B., 1993. Analiza vodnog bilansa i vlažnosti zemljišta kao osnove zalivnog režima soje. Magistarski rad, Poljoprivredni fakultet Novi Sad.
 23. Pejić, B., 2000. Evapotranspiracija i morfološke karakteristike kukuruza u zavisnosti od dubine navlaženog zemljišta i njihov odnos prema prinosu. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet Novi Sad.
 24. Pejić, B., Maksimović Livija, Karagić, Dj., Milić, S., Čupina, B., 2006. Vodni bilans, bioklimatski postupak kao osnova racionalnog režima zalivanja sudanske trave. *Zbornik radova Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo Novi Sad*, 42: 51-60.
 25. Pejić, B., Jelica Gvozdanić-Varga, Mirjana Vasić, Milić, S., 2009. Water balance, bioclimatic method as a base of rational irrigation regime of onion. *Proc. of IVth Balkan symposium on vegetables and potatoes, 9-12 September 2008, Plovdiv, Bulgaria, Acta Hort.*, Vol: 2, 355-360, 830 ISHS.
 26. Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proceedings of the Royal Society of London* A193:120-146.
 27. Thornthwaite, C. W., Holzman, B., 1941. Evaporation and transpiration. In: *Climate and Man: Yearbook of Agriculture – 1941*. Washington D. C. U. S. Department of Agriculture, 545-550
 28. Trajković, S., Kolaković, S., 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water. Resour. Manage.* DOI 10.1007/s11269-009-9423-4
 29. Turk, L., 1964. Evapotranspiration potentielle mensuelle on decadaiere. *Polsko-Francuskie Simpozijum Gospodarski Wodnej, Warszawa*.
 30. Ventura F, Spano D, Duce P, Snyder RL. 1999. An evaluation of common evapotranspiration equations. *Irrigation Science* 18: 163–170.
 31. Vučić, N., 1976. Navodnjavanje poljoprivrednih kultura. Poljoprivredni fakultet Novi Sad
 32. Запорожченко, А. Л., 1978. Кукуруза на орошаемых землях. Москва
 33. Widtsoe, J. A., 1926. *The principles of irrigation practice*. New York.
 34. Woodward, J., 1699. Some thoughts and experiments concerning vegetation. *Phil. Trans. R. Soc. London*, 21: 193-227

APPLICATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN CALCULATION WATER USE ON MAIZE EVAPOTRANSPIRATION IN CLIMATIC CONDITIONS OF VOJVODINA

by

*Borivoj Pejić, Milica Rajić, Djuro Bošnjak, Ksenija Mačkić, Goran Jaćimović,
Danijel Jug, Ružica Stričević*

SUMMARY

To perform any idea of intensive use of agroecological conditions or to introduce new procedure in irrigation scheduling of growing plants, nothing could be done without the knowledge of plant water requirements. Reference evapotranspiration (ET_0) provide good possibility for the calculation of plant water requirements. The procedure is universal and can be used in different climatic conditions for projecting and exploitation of irrigation systems. The data of ET_0 calculated by using Thornthwaite, FAO-24-Blaney-Criddle, FAO-24-Penman and FAO-56-Penman-Monteith methods and data of maize water requirements determined in field conditions on experimental plots were used to calculate corective indices (k_r) to convert ET_0 values in ET_c of maize. The highest correlation between determined values of maize water requirements in field conditions and ET_0 were obtained using Thornthwaite method ($R^2 = 0,930$) which confirms previous statement that this method fits the best in calculation of maize water requirements in climatic conditions of Vojvodina.

Key words: maize, reference evapotranspiration, (ET_0), corective indices (k_r)

Primljeno: 21. 09. 2011.

Prihvaćeno: 5. 10. 2011.