

Đukić V., Mihailović V. 2012. *Critical analysis of the contemporary methods for estimating reference evapotranspiration*. Bulletin of the Faculty of Forestry 106: 57-70.

Весна Ђукић  
Владислава Михаиловић

UDK: 556.13+551.573  
Оригинални научни рад  
DOI: 10.2298/GSF1206057D

## КРИТИЧКА АНАЛИЗА САВРЕМЕНИХ МЕТОДА ЗА ПРО- РАЧУН РЕФЕРЕНТНЕ ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ

**Извод:** Евапотранспирација је један од најзначајнијих процеса унутар хидролошког циклуса, чија поуздана процена је од суштинске важности при планирању и управљању земљишним и водним ресурсима и, од чије величине директно зависе потребе биљака за водом. У раду је извршено поређење прорачунатих вредности референтне евапотранспирације применом методе FAO Blaney-Criddle-a, FAO Радијационе методе, методе FAO Пенмана и FAO 56 Пенман-Монтејеве методе са резултатима лизиметарских мерења у Кошутњаку током вегетационих сезона у 2004., 2005. и 2006. години. Показано је да се применом FAO 56 Пенман-Монтејеве једначине добијају резултати најприближнији резултатима лизиметарских мерења, због чега се препоручује примена ове методе при оцени референтне евапотранспирације.

**Кључне речи:** референтна евапотранспирација, FAO 56 Пенман-Монтејева метода, климатски и вегетациони фактори, површински и аеродинамички отпор.

### CRITICAL ANALYSIS OF THE CONTEMPORARY METHODS FOR ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

**Abstract:** Evapotranspiration is one of the most important processes within the hydrological cycle whose reliable assessment is essential in the planning and managing of land and water resources. Besides that, the water needs of plants depend directly on the size of evapotranspiration. This paper presents a comparison of reference evapotranspiration values calculated using the FAO Blaney-Criddle method, the FAO Radiation methods, the FAO Penman and the FAO 56 Penman-Monteith method with the results of measurements of evapotranspiration at the meteorological station in Košutnjak during the growing seasons of 2004, 2005 and 2006. It is shown that the application of the FAO 56 Penman-Monteith equation provides the

др Весна Ђукић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд (e-mail: vesna.djukic@sfb.bg.ac.rs)

др Владислава Михаиловић, стручни сарадник, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд

calculated values of evapotranspiration that are closest to the results of measurement and it is recommended to apply this method for the estimation of reference evapotranspiration.

**Key words:** reference evapotranspiration, the FAO 56 Penman-Monteith method, climatic and vegetation factors, bulk surface resistance, aerodynamic resistance.

## 1. УВОД

Евапотранспирација представља губитак воде у атмосферу кроз процесе испаравања са водених површина и са земљишта (евапорација) и преко вегетације (транспирација). У пракси се, на основу расположивих метеоролошких елемената, евапотранспирација најпре одређује за референтну површину (или културу), а након тога у зависности од типа површине (преко карте намене површина и распореда култура и вегетације) врши корекција. У хидролошким анализама постоји јасно разграничење термина потенцијална евапотранспирација и стварна евапотранспирација. Потенцијална евапотранспирација представља идеализовану, теоријски максимално могућу евапотранспирацију, док је стварна евапотранспирација она која се ефективно оствари у датим (реалним) условима.

Евапотранспирација је један од најзначајнијих процеса унутар хидролошког циклуса, чија поуздана процена је од суштинске важности при планирању и управљању земљишним и водним ресурсима. Основни захтев који се поставља при пројектовању система за наводњавање јесте оптимално снабдевање биљака водом у току вегетације. Потребне биљака за водом, у великој мери, зависе од величине евапотранспирације. Једини извор воде, непосредно доступан биљкама, јесте вода која се налази у активном слоју земљишта. У делима се често претпоставља да се вода која испуњава активни слој земљишта налази унутар резервоара одређене запремине, при чему од његове величине, односно од његовог попуњавања падавинама и потрошње на евапотранспирацију зависи и количина воде која је доступна биљкама. Повећана потрошња воде на евапотранспирацију у односу на количину падавина може довести до смањења количине воде у активном слоју земљишта и исушивања земљишта, услед чега на њему страда и вегетација. Пошумљавање у умереним зонама довело је до значајног смањења количине расположиве воде у земљишту за развој вегетације (Buttle, J.M., 2008). У разумевању климатских промена, информације о величини евапотранспирације са површина различитих намена су веома значајне. Смањење евапотранспирације заједно са уклањањем вегетације у неким крајевима света довело је до смањења падавина. Потреба за поузданим моделима евапотранспирације је све већа због њеног утицаја на климу, утицаја на количину расположивих водних ресурса и због потребе да се одржава продукција биљака.

Величине евапотранспирације могу се одредити на различите начине. Директно мерење евапотранспирације применом лизиметара заснива се на гајењу референтне културе у већим судовима у пољским условима. Лизиметри

се пуне земљиштем које има исте карактеристике као и пољска парцела која га окружује. Референтна култура се гаји у лизиметрима под условима који у потпуности одговарају условима раста те културе на пољској парцели, а ти услови подразумевају да у земљишту увек постоји лако приступачна вода, као и да се примењују све потребне мелиоративне и агротехничке мере. У нашој земљи оваква мерења се примењују од 1990. године, при чему је неопходно пажљиво калибрисати и одржавати лизиметре.

Евапотранспирација се, углавном, одређује применом једноставнијих прорачунских метода у којима се успоставља веза између евапотранспирације и појединих климатских параметара. Применом различитих постојећих регионалних метода често се добијају различите вредности евапотранспирације. Да би се ослободила великих разноликости у оцени евапотранспирације, ФАО је, најпре, усвојио концепт референтне евапотранспирације. Под референтном евапотранспирацијом ( $ET_0$ ) подразумева се она евапотранспирација према којој би се у поступку поређења одређивале остале. Референтна евапотранспирација је дефинисана као она количина воде која се губи са земљишта покривеног хипотетичком референтном културом висине 8-15 cm, која потпуно прекрива земљиште, за одређено место и за климатске услове тога места. При томе, претпоставља се да је земљиште оптимално обезбеђено водом и да биљке имају на располагању сву потребну количину воде.

Увођење појма референтне евапотранспирације довело је до посебних накнадних проучавања, која су омогућила Консултативној групи да неке од постојећих признатих метода коригује. Предложене су следеће методе за прорачун евапотранспирације: метода ФАО Blaney-Criddle, ФАО Радијациона, ФАО Пенманова метода, ФАО Пан и ФАО 56 Пенман-Монтејева метода, које су добијене тако што је ФАО најпре модификовала првобитне верзије ових метода. На основу резултата истраживања и поређења вредности добијених прорачуном и измерених вредности, ФАО је предложио ФАО 56 Пенман-Монтејеву методу као основну методу за одређивање референтне евапотранспирације. У многим истраживањима (Avakumović, D., 2005, Trajković, S. *et al.*, 2005, Trajković, S., 2010, Ventura *et al.*, 1999, Lecina *et al.*, 2003, Gavilan *et al.*, 2007) ФАО 56 Пенман-Монтејева метода показала се као најприхватљивија за различите климатске услове.

## 2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

У овом раду су, поређењем са резултатима лизиметарских мерења у Кошутњаку током вегетационих сезона у 2004., 2005. и 2006. години, тестиране следеће методе за прорачун референтне евапотранспирације: метода ФАО Blaney-Criddle-a, ФАО Радијациона метода, ФАО Пенманова метода и ФАО 56 Пенман-Монтејева метода. Експериментална истраживања су извршена у Кошутњаку, у близини зграде Републичког Хидрометеоролошког Завода Србије (ПХМЗС), где се налази лизиметријска станица.

Мерења евапотранспирације су вршена помоћу великог тежинског лизиметра, површине 3,14 m<sup>2</sup> и дубине 1,5 m, испуњеног земљиштем типа чернозем. Применом овог типа лизиметра одређена је потенцијална референтна евапотранспирација на месечном нивоу, мерењем компоненти водног биланса и применом једначине водног биланса лизиметра:

$$ET_0 = P + I - D \pm \Delta W, \dots \dots \dots (1)$$

где је:  $ET_0$  - месечна потрошња воде на референтну евапотранспирацију [mm];  $P$  - месечна сума падавина [mm];  $I$  - количина воде која се додаје заливањем у току месеца [mm];  $D$  - количина сувишне (процеђене) воде у току месеца [mm];  $\Delta W$  - промена садржаја воде [mm] у изолованој маси земљишта у току месеца.

Током вегетационих сезона (од априла до октобра) у току 2004., 2005. и 2006. године вршена су мерења параметара водног биланса. Почетком сваке сезоне, у априлу, вршена је сетва смеше трава (енглески љуљ - 45%, црвени вијук - 30%, права ливадарка - 20% и бела детелина - 5%) у лизиметарским контејнерима. Ницање је наступало 10-15 дана након почетка сејања, тако да су до краја априла лизиметри били скоро у потпуности прекривени зеленим травнатим покривачем, као и околно земљиште. Промене масе лизиметра регистроване су помоћу одређених мерних процесора, који примају електричне сигнале са тежинских сензора на које належу контејнери лизиметара. На тај начин је омогућено да се, у сваком моменту, може очитати тренутна бруто маса лизиметра, а за потребе ових истраживања очитавња су вршена у 7h.

Из климатских годишњака добијени су сви метеоролошки подаци потребни за примену методе FAO Blaney-Criddle-a, FAO Радијационе методе, FAO Пенманове методе и FAO 56 Пенман-Монтејеве методе: температура ваздуха ( $T$ ), просечна и минимална релативна влажност ваздуха ( $RH_{pr}$ ,  $RH_{min}$ ), инсолација или стварно трајање сијања сунца ( $n$ ), брзина ветра ( $v$ ) и напон водене паре ( $e$ ). Напомиње се да је, с обзиром да РХМЗС врши мерења напона водене паре, овај податак добијен из климатских годишњака, иако је њега могуће одредити и применом емпиријске формуле на основу познате температуре (Allen, 1998). Поређење мерених и прорачунатих вредности референтне евапотранспирације вршено је на бази средње месечних вредности потребних параметара. У табелама 1, 2 и 3 приказане су средње месечне вредности метеоролошких података потребних за прорачун  $ET_0$  у току 2004., 2005. и 2006. године.

Поређење мерених и прорачунатих вредности  $ET_0$  вршено је на основу визуелних (графичких) техника и квантитативно (на основу статистичких критеријума). За оцену слагања мерених и прорачунатих вредности  $ET_0$  коришћени су следећи статистички критеријуми: релативна средња квадратна грешка (RMSE), релативни корен средње квадратне грешке (RRMSE), средња апсолутна грешка (MAE) и коефицијент корелације ( $R$ ) (Gupta i dr., 1998; Legates and McCabe, 1999; Ђукић, V., 2011).

**Табела 1.** Метеоролошки подаци у току 2004. год. потребни за прорачун референтне евапотранспирације

**Table 1.** Meteorological data for the year 2004 required for the calculation of reference evapotranspiration

Месец / Month	T (°C)	RH <sub>pr</sub> (%)	RH <sub>min</sub> (%)	n (h)	v (m/s)	e (mb)
IV	11,7	64	20	6,26	2,54	8,5
V	17,7	56	25	8,25	2,19	11,3
VI	20,1	62	30	8,92	1,85	14,3
VII	21,7	53	23	9,69	2,02	13,2
VIII	22,7	48	21	10,06	2,02	12,6
IX	16,4	61	22	6,36	2,19	10,8
X	14,0	61	28	6,16	3,9	9,9

**Табела 2.** Метеоролошки подаци у току 2005. год. потребни за прорачун референтне евапотранспирације

**Table 2.** Meteorological data for the year 2005 required for the calculation of reference evapotranspiration

Месец / Month	T (°C)	RH <sub>pr</sub> (%)	RH <sub>min</sub> (%)	n (h)	v (m/s)	e (mb)
IV	10,3	62,3	25	6,93	2,49	7,5
V	12,9	71,4	28	4,51	3,02	10,3
VI	20,6	60,7	33	10,1	2,48	14,5
VII	22,2	69,9	30	7,42	1,98	18,0
VIII	20,7	73,4	31	7,24	1,89	17,6
IX	19,2	62,7	30	7,99	2,31	13,7
X	11,1	74,0	37	5,01	3,27	10,3

**Табела 3.** Метеоролошки подаци у току 2006. год. потребни за прорачун референтне евапотранспирације

**Table 3.** Meteorological data for the year 2006 required for the calculation of reference evapotranspiration

Месец / Month	T (°C)	RH <sub>pr</sub> (%)	RH <sub>min</sub> (%)	n (h)	v (m/s)	e (mb)
IV	13,0	57	38	6,12	2,7	6,03
V	17,6	52	32	8,75	2,5	6,91
VI	20,4	70	44	6,84	2,0	13,57
VII	22,7	60	38	10,09	2,0	13,39
VIII	26,8	48	29	10,92	1,8	9,8
IX	18,6	54	34	8,94	2,4	9,44
X	13,1	73	50	4,39	2,7	6,41

### 3. ПРИКАЗ РАЧУНСКИХ МЕТОДА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ВРЕДНОСТИ РЕФЕРЕНТНЕ ЕВАПОТРАНСПИРАЦИЈЕ

#### 3.1. Метода ФАО Blaney-Criddle-a

Референтна евапотранспирација применом методе FAO Blaney-Criddle-a (Dorenbos and Pruitt, 1977) одређује се применом следеће једначине:

$$ET_0 = c \cdot p \cdot (0,46 \cdot T + 8,13), \dots \dots \dots (2)$$

где је: T - средња дневна температура (°C); c - фактор зависан од просечне дневне минималне релативне влажности ваздуха, просечне дневне брзине ветра и просечне дневне релативне осунчаности (инсолације) n/N, за дати месец, који је приказан у (Avakumović, D., 2005); n-стварно трајање сунчевог сјаја (h); N-потенцијално (астрономско) трајање сунчевог сјаја, које зависи од географске ширине и даје се табеларно (h); p- просечно дневно (астрономско) трајање дневног светла у % од годишње суме, које зависи од географске ширине и доба године и може се видети у (Avakumović, D., 2005).

За прорачун вредности  $ET_0$  разрађена је графичка метода, која је детаљно објашњена у литератури (Avakumović, D., 2005), у којој је успостављена зависност између минималне релативне влажности ваздуха, брзине ветра, релативне осунчаности и евапотранспирације. Ови дијаграми дају оријентационе, недовољно прецизне вредности евапотранспирације које не важе у свим климатским условима.

#### 3.2 ФАО Пенманова метода

Пенман је у својој методи повезао законитости енергетског биланса сунчевог зрачења са законитостима процеса аеродинамичког карактера, који се јављају приликом испаравања воде у слободну атмосферу (Penman, 1948). Модификацијом првобитне Пенманове једначине (Dorenbos and Pruitt, 1977) добијена је ФАО Пенманова једначина референтне евапотранспирације:

$$ET_0 = \frac{\Delta R_n + 0,27 \gamma (a_w + b_w U_2)(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma}, \dots \dots \dots (3)$$

где је:  $\Delta$  - нагиб криве притиска водене паре [ $mb^\circ C^{-1}$ ];  $R_n$  –нето радијација [ $mm\text{-}dan^{-1}$ ];  $\gamma$  - психрометријска константа [ $mb^\circ C^{-1}$ ];  $a_w$ ,  $b_w$ –коэффициенти функције ветра ( $a_w=1.0$ ,  $b_w=0.864$ );  $U_2$  – брзина ветра на висини од 2m [ $ms^{-1}$ ];  $(e_s - e_a)$  – дефицит сатурације [mb];

Учено је да, упркос томе што ова једначина узима у обзир велики број климатских фактора који утичу на евапотранспирацију, вредност  $ET_0$  добијена њеном применом често премашује вредност добијену лизиметријским мерењима. Научници су указали на недостатке у прорачуну функције ветра, дефицита сатурације, нето дуготаласне радијације и корекционом коефицијенту с.

### 3.3 ФАО радијациона метода (Pristley- Taylorova метода)

Израз за прорачун  $ET_0$ , по ФАО Радијационој методи (Doorenbos и Pruitt, 1977), који је погодан за практичне прорачуне је:

$$ET_0 = cWRs, \dots\dots\dots (4)$$

где је:  $R_s$  -глобално (сумарно) сунчево зрачење изражено еквивалентом испарене воде у mm/dan;  $W$ -тежински фактор који зависи од средње температуре и надморске висине, који је детаљно приказан у литератури (Avakumović, D., 2005);  $c$  -фактор зависан од дневне брзине ветра и релативне просечне влажности ваздуха, који се даје у облику дијаграма (Avakumović, D., 2005).

### 3.4 ФАО 56 Пенман-Монтејева метода

ФАО 56 Пенман-Монтејева једначина (Allen, 1998) може се изразити на следећи начин:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}, \dots\dots\dots (5)$$

где је:  $\Delta$  -нагиб криве сатурације [ $kPa^\circ C^{-1}$ ];  $R_n$  -нето радијација са површине биљке [ $MJm^{-2}d^{-1}$ ];  $G$  -топлотни флуks подлоге [ $MJm^{-2}d^{-1}$ ];  $\gamma$ -психрометријска константа [ $kPa^\circ C^{-1}$ ]; 900- коефицијент референтне биљке [ $kJ^{-1}kgd^{-1}$ ];  $T$  -средња температура ваздуха на висини од 2m [ $^\circ C$ ]; 0,34- коефицијент ветра за референтну биљку [ $sm^{-1}$ ].

Монтеј је извео израз за прорачун евапотранспирације полазећи од основних принципа које је и Пенман користио. Равнотежа топлоте зависи и од аеродинамичког, исто као и од термодинамичког понашања система који обухвата и површину. Монтеј је у израз за прорачун евапотранспирације увео и вегетационе факторе. Вегетациони фактори обухватају аеродинамички и површински отпор биљке. Зато се ова метода назива Пенман-Монтејева метода.

Површински отпор биљног покривача симулира контролу тока водене паре из лишћа у околни ваздух помоћу стоминог апарата. Највећи отпор стома јавља се када је повећан захтев за транспирацијом нпр. излагањем лишћа сувљем ваздуху. Отпор стома је минималан када се ради о влажној вегетацији након кише. Величина површинског отпора зависи од врсте вегетације, висине вегетације, режима влажности, количине задржане воде унутар стома, доба године, лизиметарских мерења и сл.

Аеродинамички отпор представља отпор струјању топлоте између површине тла и неке референтне висине, који пружа гранични слој површине тла и ваздуха.

## 4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У табелама 4, 5 и 6 приказани су резултати мерења параметара водног биланса унутар лизиметара, на месечном нивоу, и, на основу њих, прорачунате

(мерене) вредности  $ET_0$  са којима су поређене вредности  $ET_0$  добијене применом рачунских метода.

**Табела 4.** Лизиметарска мерења током вегетационе сезоне у 2004. години

**Table 4.** Lysimeter measurements obtained during the growing season of 2004

Месец / Month	$\Delta w$ (mm)	P (mm)	I (mm)	D (mm)	$ET_0$ (mm/mes)
IV	-17,2	60,4	6,9	2,2	47,9
V	43,9	13,1	13,1	6,7	68,8
VI	10,0	0	0	0	117,8
VII	99,8	0	0	0	134,7
VIII	62,1	38,9	38,9	0	117,0
IX	0,5	32,2	32,2	0	60,8
X	-34,6	27,5	27,5	0	51,6

**Табела 5.** Лизиметарска мерења током вегетационе сезоне у 2005. години

**Table 5.** Lysimeter measurements obtained during the growing season of 2005

Месец / Month	$\Delta w$ (mm)	P (mm)	I (mm)	D (mm)	$ET_0$ (mm/mes)
IV	22,0	50,4	0	17,3	55,1
V	-12,4	84,8	0	0	72,4
VI	52,5	47,3	0	0	99,8
VII	-47,8	161,6	0	0	113,8
VIII	70,7	48,0	0	0	118,7
IX	52,8	17,2	0	0	70,0
X	-53,3	95,2	0	0	41,9

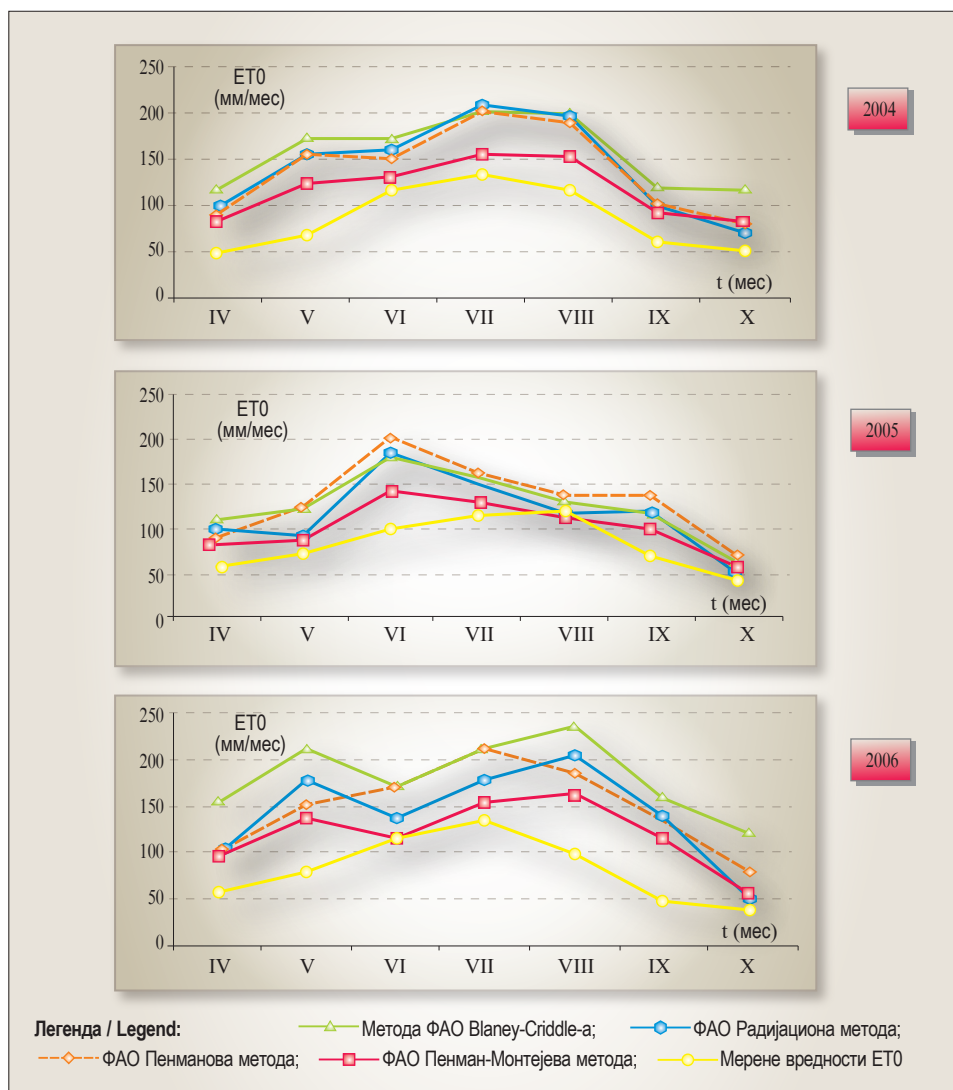
**Табела 6.** Лизиметарска мерења током вегетационе сезоне у 2006. години

**Table 6.** Lysimeter measurements obtained during the growing season of 2006

Месец / Month	$\Delta w$ (mm)	P (mm)	I (mm)	D (mm)	$ET_0$ (mm/mes)
IV	-6,4	63,7	0	0	57,3
V	60,4	19,5	0	0	79,9
VI	-26,8	143,1	0	0	116,3
VII	95,5	39,4	0	0	134,9
VIII	68,1	31,0	0	0	99,1
IX	17,4	31,4	0	0	48,8
X	-46,3	84,4	0	0	38,1



Резултати прорачуна  $ET_0$  применом методе FAO Blaney-Criddle-a, FAO Радијационе методе, FAO Пенманове методе и FAO Пенман-Монтејеве методе приказани су на графикону 1, заједно са мереним вредностима евапотранспирације применом лизиметра.



**Графикон 1.** Промене референтне евапотранспирације  $ET_0$  (mm/mes) у току вегетационих сезона 2004.год., 2005. и 2006. године

**Diagram 1.** The change in reference evapotranspiration  $ET_0$  (mm/mes) during the growing seasons of 2004, 2005 and 2006.

## 5. ДИСКУСИЈА О РЕЗУЛТАТИМА ИСТРАЖИВАЊА

На основу слике 1 види се да су у току целог периода истраживања од 2004. до 2006. године прорачунате вредности  $ET_0$  применом FAO 56 Пенман-Монтејеве методе најприближније резултатима мерења  $ET_0$ , иако се ни применом ове методе не добијају вредности које у потпуности одговарају мереним вредностима. Просечне прорачунате вредности  $ET_0$  применом методе FAO Blaney-Criddle-a, FAO Радијационе, FAO Пенманове и FAO 56 Пенман-Монтејеве методе за период од 2004. до 2006. године биле су 973,1 mm, 928,5 mm, 1078 mm и 790 mm, док је просечна измерена вредност  $ET_0$  у истом периоду била 581.6mm. Вредности  $ET_0$  добијене применом FAO 56 Пенман-Монтејеве једначине веће су од мерених вредности 1,35 до 1,46 пута на годишњем нивоу. Један од разлога због кога се применом FAO 56 Пенман-Монтејеве једначине добијају значајно ниже вредности  $ET_0$  у односу на резултате добијене применом других метода јесте то што је једино FAO 56 Пенман-Монтејева једначина у себи обухватила и аеродинамички и површински отпор биљке који утичу на смањење евапотранспирације.

Највеће одступање између мерених и прорачунатих вредности  $ET_0$  јавља се у случају FAO Пенманове методе, при чему су вредности  $ET_0$  добијене применом FAO Пенманове методе веће у односу на мерене вредности од 1,8 до 2,3 пута на годишњем нивоу. Разлог због кога се јављају ова одступања могу бити уочени недостаци ове методе у прорачуну функције ветра, дефицита сатурације, нето дуготаласне радијације и корекционом коефицијенту  $c$ .

У табели 7 су приказане оцене слагања мерених и прорачунатих вредности  $ET_0$  на основу прорачунатих вредности неколико статистичких показатеља (RMSE, RRMSE, SAG и R), а на слици 2 су приказане корелационе зависности између мерених и прорачунатих вредности  $ET_0$ .

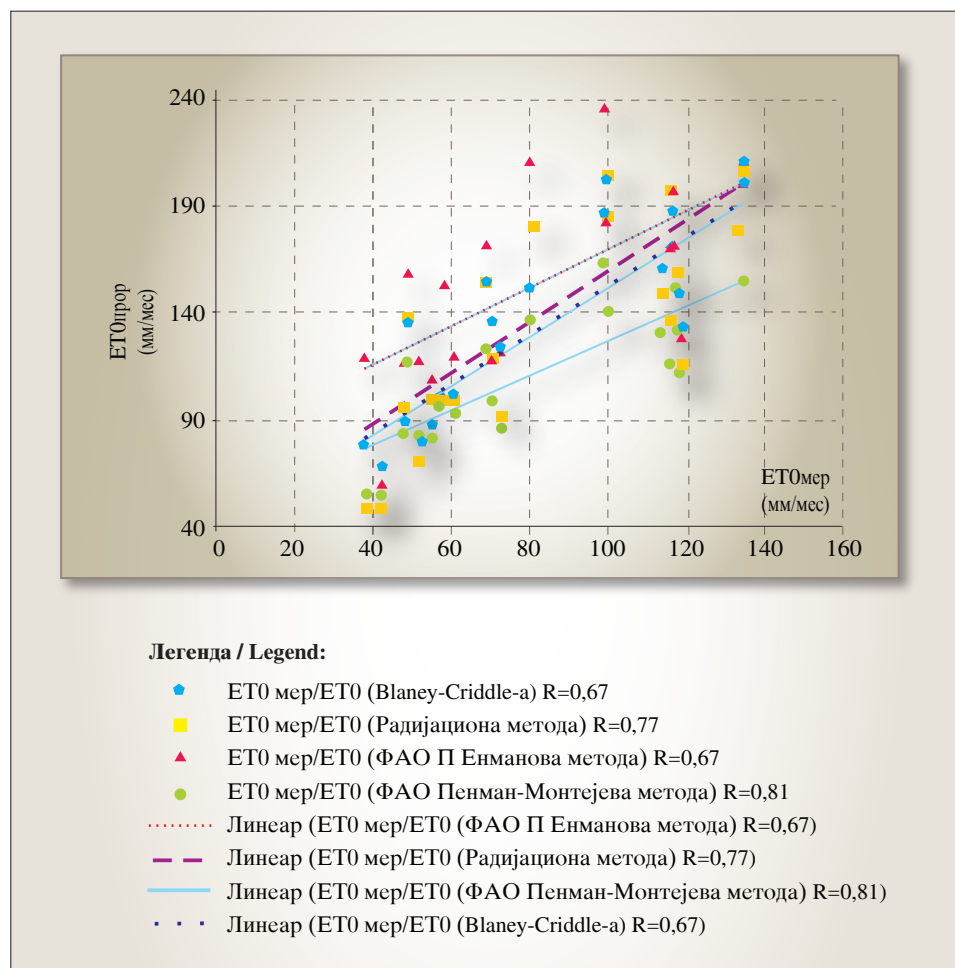
**Табела 7.** Оцене слагања мерених и прорачунатих вредности  $ET_0$  на основу вредности статистичких показатеља

**Table 7.** Assessment of measured  $ET_0$  values weighed against calculated  $ET_0$  values on the basis of statistical indicators

Метода	RRMSE	RMSE	SAG	R
FAO Blaney-Criddle-a	44.02455	308.5538	14.13971	0.67335
FAO Радијациона	41.11931	274.5266	12.58039	0.765833
FAO Пенманова	72.60482	391.5561	17.94335	0.67335
FAO 56 Пенман-Монтејева	15.18224	168.1005	7.703335	0.812404

На основу табеле 7 може се закључити да метода FAO 56 Пенман-Монтејева има значајно боље вредности свих посматраних статистичких показатеља у односу на методу FAO Blaney-Criddle-a, FAO Радијациону и FAO Пенманову методу.

Прорачуната вредност статистике RRMSE за FAO 56 Пенман-Монтејеву методу је од 2,7 до 4,8 пута мања у односу на добијене вредности ове статистике у случају других метода, док су вредности статистика RMSE и SAG од 1,6 до 2,3 пута мање у односу на њихове вредности у случају других метода. Такође, применом FAO 56 Пенман-Монтејеве методе успостављена је најјача повезаност са мереним вредностима  $ET_0$ , јер су добијене вредности коефицијента корелације за ову методу од 1,1 до 1,2 пута веће у односу на вредности овог коефицијента у случају других метода. Најслабије вредности статистичких показатеља има FAO Пенманова метода.



**Графикон 2.** Корелационе зависности између мерених и прорачунатих вредности  $ET_0$   
**Diagram 2.** Correlations between the measured and calculated  $ET_0$  values

## 6. ЗАКЉУЧЦИ

На основу резултата поређења различитих метода за прорачун референтне евапотранспирације (метода ФАО Blaney-Criddle-а, метода ФАО Радијациона, метода ФАО Пенман-а и метода ФАО 56 Пенман-Монтејева) са подацима лизиметарских мерења која су вршена у Кошутњаку, у близини РХМЗС, може се закључити да су применом ФАО 56 Пенман-Монтејевог методе добијени резултати најприближнији резултатима лизиметарских мерења. Један од разлога за добро слагање ове методе са резултатима лизиметарских мерења је то што су у ФАО 56 Пенман-Монтејевој методи уведени, поред термодинамичких и аеродинамичких фактора, и вегетациони фактори биљке. Вегетациони фактори биљке, изражени преко површинског отпора биљке, утичу на смањење прорачунатих вредности референтне евапотранспирације. При томе, за њено решавање потребни су исти улазни подаци, који су потребни и за примену других метода (температура, влажност ваздуха, брзина ветра и трајање сијања сунца).

До малих одступања између мерених и прорачунатих вредности  $ET_0$  применом ФАО 56 Пенман-Монтејевог методе долази због тога што услови унутар лизиметра не одговарају у потпуности природним условима евапотранспирације. Ипак, с обзиром да уочена одступања нису велика, може се закључити да је ФАО 56 Пенман-Монтејева метода најбоља до сада примењивана метода за прорачун евапотранспирације и да је треба и у будућности користити.

## ЛИТЕРАТУРА

- Allen R.G., Smith M., Perrier A., Pereira L.S. (1994): *An Update for the Definition of Reference Evapotranspiration*, ICID Bulletin 43 (2), (1-34)
- Allen R.G., Smith M., Pereira L.S., Pruitt W.O. (1997): *Proposed revision to the FAO procedure for estimating crop water requirements*, Proc.2nd Int.Sym. on Irrigation of Horticultural Crops, ISHS, ActaHort. 449, Vol. 1 (17-33)
- Avakumović D. (2005): *Hidrotehničkemelioracije-odvodnjavanje*, Građevinski fakultet, Beograd
- Buttle J.M. (2008): *Hydrological response to reforestation in the Ganaraska river basin, southern Ontario*, Canadian Geographer 38 (2), (240-253)
- Dorenbos J., Pruitt W.O. (1977): *Guidelines for predicting crop water requirements*, *Irrigation and Drainage Paper 24*, 2nd ed., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, (156)
- Ђукић V. (2011) *Hidrauličko-hidrološki model geneze i transporta nanosa u slivu*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd
- Gavilan P., Berengena J., 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)

- Gupta H.V., Sorooshian S., Yapo P.O. (1998): *Toward improved calibration of hydrologic models: Multiple and non-commensurable measures of information*. Wat. Resour. Res. 34 (4), (751-763)
- Lecina S., Martinez-Cob A., Perez P.J., Villalobos F.J., 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)
- Legates D.R., McCabe G.J. (1999): *Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimate model validation*. Wat. Resour. Res. 35, (233-241)
- Penman H.L. (1948): *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proc. Roy. Soc. London, A193, (120-146)
- Trajkovic S., Todorovic B., Stankovic M. (2005) *Closure to forecasting of reference evapotranspiration by artificial neural networks*. J. Irrig. Drain. Eng. J. Irrig. Drain Eng., 131(4), (391-392)
- Trajković S., Gocić M. (2010) *Comparison of some empirical equations for estimating daily reference evapotranspiration*. FACTA UNIVERSITATIS Series: Architecture and Civil Engineering 8 (2), (163-168)
- Trajković S. (2010) *Testing hourly reference evapotranspiration approaches using lysimeter measurements in a semiarid climate*, Hydrology Research 41 (1), (38-49)
- Ventura F., Spano D., Duce P., Snyder R. L. (1999): *An evaluation of common evapotranspiration equations*, Irrigation Science 18, (163-170)

**Напомена:** Истраживања презентована у овом раду финансирана су од стране Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије, у оквиру пројекта "Развој хидроинформационог система за праћење и рану најаву суша", ев. број ТР37003.

Vesna Đukić  
Vladilava Mihailović

## CRITICAL ANALYSIS OF THE CONTEMPORARY METHODS FOR ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

### Summary

Evapotranspiration is an important component of the hydrological cycle. The size of evapotranspiration directly affects water needs of plants, and the amount of water needed for irrigation. Different regional methods were in use for a long time for determining the size of evapotranspiration of an area. These methods established the correlations between evapotranspiration and some climatic parameters, which could be used only under the conditions for which such models were derived. As a result, it is impossible to compare the results obtained by different methods.

In order to unify the great diversity in the evaluation of evapotranspiration FAO (Food Agriculture Organization) first adopted the concept of reference evapotranspiration, and then, on the basis of a large number of research studies, the FAO56 Penman Monteith method was proposed as a universal method that can be used in all climate conditions and all calculation periods.

The reference evapotranspiration is the evapotranspiration used as the reference value in the process of comparison and the other values are determined according to that value. This value is defined as the amount of water that is lost from the soil covered with a hypothetical reference culture of 8-15cm height, which completely covers the soil in a specific place under the climatic conditions of that place. In addition, it is assumed that the water supply of that soil is optimal and that the plants have the needed water supply at disposal.

This paper presents a comparison of results obtained using different methods for estimating reference evapotranspiration (the FAO method Blaney-Criddle, the FAO Radiation method the FAO Penman method and, the FAO Penman Monteith method) with the data of lysimeter measurements performed in Kosutnjak near the RHMS of Serbia.

It was shown that the results obtained using the FAO 56 Penman Monteith method were the closest to the lysimeter measurement results, which is a recommendation for the use of this method in the estimation of reference evapotranspiration. In addition, the same input data are required for its solving, as the ones that are necessary for the application of other methods (temperature, humidity, wind speed and insolation).