

JEDNOSTAVNA EMPIRIJSKA FORMULA ZA PRORAČUN REFERENTNE EVAPOTRANSPIRACIJE*

Slaviša TRAJKOVIĆ
Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

REZIME

Međunarodna komisija za navodnjavanje i odvodnjavanje (ICID) i Organizacija Ujedinjenih Nacija za ishranu i poljoprivredu (FAO) predlažu Penman-Monteith metodu za proračun referentne evapotranspiracije. Ova metoda zahteva veliki broj klimatskih podataka koje nisu dostupne na većini meteoroloških stanica. U takvim uslovima često se koristi jednostavna Hargreaves metoda koja traži samo podatke o temperaturi vazduha. Međutim, ova metoda zahteva kalibraciju. Cilj ovog rada je da se pokaže da li Hargreaves formula izmenjena nakon kalibracije može da se koristi kao zamena za FAO-56 Penman-Monteith. Dobijeni rezultati snažno podržavaju korišćenje izmenjene Hargreaves formule za proračun evapotranspiracije.

Ključne reči: Referentna evapotranspiracija, Penman-Monteith, Hargreaves, Temperatura vazduha

1. UVOD

Pouzdana proračun referentne evapotranspiracije od velike je važnosti za projektovanje hidromelioracionih sistema. FAO-56 verzija Penman-Monteith metode predložena je kao standardna metoda za proračun referentne evapotranspiracije i za vrednovanje ostalih metoda [2].

Ova metoda zahteva merenje brojnih klimatskih faktora: temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha, solarna radijacija i brzina vetra. Broj stanica koje raspolazu svim traženim podacima je ograničen.

Nedostatak podataka motivisao je Hargreavesa da razvije jednostavni pristup zasnovan samo na podacima o temperaturi vazduha [3]. U slučaju ograničenog broja

merenih klimatskih parametara, predlaže se korišćenje Hargreaves formule umesto Penman-Monteith [2].

Međutim, mnoge studije su potvrdile slabe rezultate Hargreaves formule u humidnim uslovima [5], [8]. U radu [9] predstavljeni su rezultati za sedam stanica u Srbiji. Prosečna vrednost referentne evapotranspiracije dobijena Hargreaves formulom bila je za 21% veća od odgovarajuće vrednosti Penman-Monteith formule.

U takvim slučajevima, predlaže se korišćenje jednostavne linearne regresije za regionalnu kalibraciju Hargreaves formule [1]. Međutim, tako kalibrisana jednačina i dalje značajno precenjuje vrednosti referentne evapotranspiracije, prosečno za 13% [9].

Dobijeni rezultati su ukazivali da regionalnu kalibraciju Hargreaves formule treba uraditi izmenom Hargreaves eksponenta. Na osnovu podataka sa stanica iz Srbije dobijena je nova izmenjena vrednost Hargreaves eksponenta 0.424 [10]. Cilj ovog rada je da se pokaže da li izmenjena Hargreaves formula može da se koristi kao zamena za FAO-56 Penman-Monteith.

2. MATERIJALI I METODE

Meteorološki podaci

Za potrebe ovog istraživanja odabrana su dva skupa podataka. Prvi skup čine podaci sa pet stanica u Srbiji i to: Novi Sad (1981/84), Negotin (1971/74), Kragujevac (1981/84), Niš (1993/96) i Vranje (1971/74). Stanice su izabrane tako da obuhvate sve klimatske odlike Srbije, da budu raspoređene širom zemlje (od 42 °N do 46 °N) i da obuhvataju sve nadmorske visine na kojima se odvija poljoprivredna proizvodnja u Srbiji (od 42 mnm (Negotin) do 433 mnm (Vranje)). Temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha, brzina vetra i stvarno trajanje sunčevog sjaja svakodnevno su merene na ovim stanicama pod referentnim uslovima.

* Ovaj članak rezultat je rada na projektu 410022 - Model racionalnog gazdovanja i upravljanja vodnim resursima u poljoprivredi

Razlike u prosečnim vrednostima klimatskih parametara nisu značajne. Prosečne godišnje maksimalne i minimalne temperature za sve lokacije variraju između 15.9 i 18.6°C i 5.7 i 6.8°C, respektivno. Prosečna relativna vlažnost se kreće od 68 do 75%. Prosečna brzina vetra na dva metra visine varira od 1.1 do 1.9 m s⁻¹.

Drugi skup čine podaci sa 29 stanica raspoređenih širom Francuske (od 43 °N do 50 °N). Za razliku od stanica u Srbiji, zabeležene su značajne razlike u prosečnim vrednostima klimatskih parametara. Maksimalna temperatura u julu varira od 21.8 °C do 26.8 °C i brzina vetra na dva metra visine kreće se u rasponu od 1.2 do 3.5 m s⁻¹.

Drugi skup podataka dobijen je iz CLIMWAT [7]. Ova baza podataka sastoji se od klimatskih podataka iz 3262 stanice iz 144 zemalja. Podaci predstavljaju višegodišnje mesečne prosečne vrednosti maksimalne i minimalne temperature vazduha, solarne radijacije, relativne vlažnosti, brzine vetra i referentne evapotranspiracije.

Metode proračuna evapotranspiracije

U ovom radu se podaci dobijeni FAO-56 Penman-Monteith metodom koriste kao zamena za merene vrednosti evapotranspiracije, što je standardna procedura kada nema merenih lizimetarskih podataka [4], [6], [11].

FAO-56 Penman-Monteith formula može se predstaviti na sledeći način:

$$ET_{0,pm} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

gde je $ET_{0,pm}$ referentna evapotranspiracija (mm dan⁻¹); Δ je pad napona zasićene vodene pare (kPa °C⁻¹); R_n je neto radijacija (MJ m⁻² dan⁻¹); G je zemljišni fluks toplote (MJ m⁻² dan⁻¹); γ je psihometrijska konstanta; T srednja temperatura vazduha na 2 m visine (°C); U_2 je brzina vetra na 2 m visine (m s⁻¹); $(e_a - e_d)$ je deficit napona vodene para na 2 m visine (kPa).

Izmenjena Hargreaves formula prikazana u [10] izgleda ovako:

$$ET_{0,aharg} = 0.0023 \cdot R_a \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.424} \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} + 17.8 \right)$$

gde je $ET_{0,aharg}$ referentna evapotranspiracija (mm dan⁻¹); R_a = ekstrapolirana radijacija (mm dan⁻¹); T_{max} =

maksimalna temperatura vazduha (°C); T_{min} = minimalna temperatura vazduha (°C).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Vrednosti referentne evapotranspiracije dobijene izmenjenom Hargreaves formulom upoređene su sa FAO-56 Penman-Monteith metodom. Statistički obrađeni podaci za prvi skup podataka prikazani su u Tabeli 1.

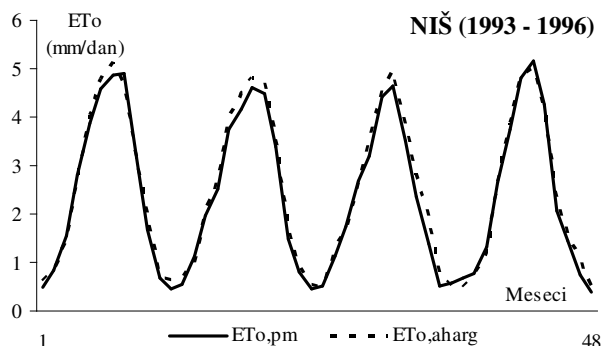
Tabela 1. Statistički pregled vrednosti ET_0 u Srbiji

Stanica	SEE (mm dan ⁻¹)	$ET_{0,aharg}/$ $ET_{0,pm}$	$pET_{0,aharg}/$ $pET_{0,pm}$
Novi Sad	0.19	0.95	0.97
Negotin	0.22	0.98	0.93
Kragujevac	0.21	1.07	1.01
Nis	0.22	1.05	1.03
Vranje	0.24	0.97	0.94
Prosek	0.22	1.00	0.98

$pET_{0,aharg} = ET_{0,aharg}$ u mesecu maksimalne potrošnje vode
 $pET_{0,pm} = ET_{0,pm}$ u mesecu maksimalne potrošnje vode

Izmenjena Hargreaves formula pokazuje veoma dobro slaganje na svim lokacijama sa standardnom FAO-56 Penman-Monteith metodom. U Kragujevcu i Nišu ona konzistentno malo precenjuje standardne vrednosti referentne evapotranspiracije (u mesecu maksimalne potrošnje vode od 1 do 3%). U Novom Sadu, Negotinu i Vranju izmenjena formula svakog meseca malo podcenjuje FAO-56 Penman-Monteith vrednosti, u proseku od 2 do 5%.

Standardna greška procene (SEE) kreće se u intervalu od 0.19 do 0.24 mm dan⁻¹. Upoređenje mesečnih vrednosti referentne evapotranspiracije prema FAO-56 Penman-Monteith i izmenjene Hargreaves metode za Niš prikazano je na slici 1.



Slika 1. Upoređenje mesečnih vrednosti ET_0 za Niš

Statistički obrađeni podaci za drugi skup podataka prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 2. Statistički pregled vrednosti ET_0 u Francuskoj

Stanica	SEE (mm dan ⁻¹)	$ET_{0,aharg}/$ $ET_{0,pm}$	$pET_{0,aharg}/$ $pET_{0,pm}$
Agen	0.12	1.00	0.96
Alencon	0.15	1.04	1.05
Auxerre	0.19	0.93	0.95
Belfort	0.18	0.96	0.95
Bordeaux	0.09	1.00	0.98
Brest-Gui.	0.15	0.92	0.97
Caen	0.19	0.91	0.95
Clermont	0.21	0.92	0.95
Dijon	0.27	0.91	0.90
Gourdon	0.21	1.07	1.05
Grenoble	0.10	0.98	0.96
Le-mans	0.10	0.99	0.98
Lille	0.15	0.97	1.00
Limoges	0.24	0.99	1.04
Lyon	0.29	0.91	0.88
Le Pui Cha.	0.17	0.94	0.93
Millau	0.15	0.96	0.94
Nancy	0.17	1.06	1.06
Nantes	0.16	0.95	0.91
Nevers	0.12	0.96	1.00
Orleans	0.23	0.91	0.92
Paris	0.27	0.89	0.91
Poiters	0.13	0.97	0.93
Reims	0.13	0.98	0.98
Rennes	0.06	1.00	0.99
Rouen	0.17	1.07	1.08
Strasbourg	0.12	1.03	1.04
Toulouse	0.19	0.95	0.94
Tours-st.	0.29	0.90	0.93
Prosek	0.17	0.97	0.97

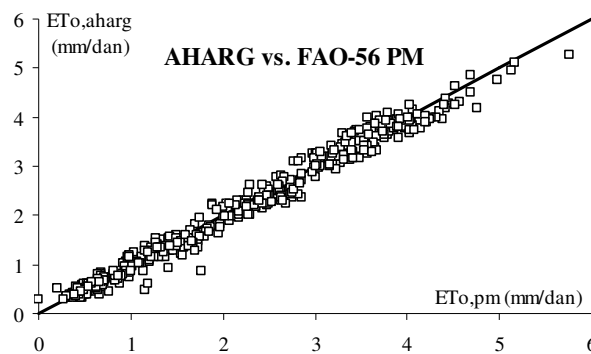
Izmenjena Hargreaves formula pokazuje veoma dobro slaganje sa standardnom FAO-56 Penman-Monteith metodom na većini lokacija u Francuskoj. Standardna greška procene (SEE) kreće se u intervalu od 0.06 do 0.29 mm dan⁻¹. Samo četiri lokacije imaju SEE veće od 0.25 mm dan⁻¹ (Dijon, Lyon, Paris i Tours-st.).

Odnos $ET_{0,aharg}/ET_{0,pm}$ varira od 0.90 do 1.07 za celu godinu i od 0.88 do 1.11 za mesec maksimalne potrošnje vode. U proseku za sve stanice taj odnos je 0.97 kako za celu godinu tako i za mesec maksimalne potrošnje vode.

Stanice na severnijim geografskim širinama i sa većom brzinom vetra od 2.6 m s⁻¹ imaju slabije slaganje sa

Penman-Monteith metodom. To se objašnjava činjenicom da je izmenjena Hargreaves formula razvijena za klimatske uslove Srbije sa prosečnom brzinom vetra na dva metra visine od 1.3 m s⁻¹.

Upoređenje referentne evapotranspiracije prema FAO-56 Penman-Monteith i izmenjene Hargreaves metode za stanice u Francuskoj dato je na slici 2.



Slika 2. Upoređenje mesečnih vrednosti ET_0

4. ZAKLJUČCI

Dobijeni rezultati snažno podržavaju korišćenje izmenjene Hargreaves formule za proračun referentne evapotranspiracije.

Dobijene razlike u odnosu na standardne FAO-56 Penman-Monteith vrednosti su generalno male i u proseku za lokacije u Srbiji iznose manje od 0.3%, a za lokacije u Francuskoj oko 3%.

Izmenjena formula omogućava pouzdan, jednostavan i brzi proračun evapotranspiracije na većini lokacija na kojima postoje makar merenja temperature vazduha. U daljim istraživanjima posebnu pažnju treba obratiti na lokacije sa ekstremnim vrednostima brzine vetra.

LITERATURA

- [1] Allen, R. G., Smith, M., Perrier, A., and Pereira, L. S.: An Update for the Definition of Reference Evapotranspiration, ICID Bulletin, 43(2), 1-34, 1994.
- [2] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M.: Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrig. and Drain. Paper 56, Roma, Italy, 1998.

- [3] Hargreaves, L. G., Hargreaves, G. H., and Riley, J. P.: Irrigation Water Requirements for Senegal River Basin, *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, 111(3), 265-275, 1985.
- [4] Irmak, S., Allen, R. G., and Whitty, E. B.: Daily Grass and Alfalfa-Reference-Evapotranspiration Estimates and Alfalfa-to-Grass Evapotranspiration Ratios in Florida, *J. Irrig. Drain. Eng.*, 129(5), 360-370, 2003.
- [5] Itenfisu, D., Elliot, R. L., Allen, R. G., and Walter, I. A.: Comparison of Reference Evapotranspiration Calculations as part of ASCE Standardization Efforts, *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, 129(6), 440-448, 2003.
- [6] Kisi, O.: Evapotranspiration modelling from climatic data using a neural computing technique, *Hydrological Processes* 21 (14), 1925-1934, 2007.
- [7] Smith, M.: CLIMWAT for CROPWAT: A climatic database for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 49, Rome, Italy, 1993.
- [8] Temesgen, B., Eching, S., Davidoff, B., and Frame, K.: Comparison of Some Reference Evapotranspiration Equations for California, *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, 131(1), 73-84, 2005.
- [9] Trajkovic, S.: Temperature-Based Approaches for Estimating Reference Evapotranspiration, *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, 131(4), 316-323, 2005.
- [10] Trajkovic, S.: Hargreaves versus Penman-Monteith under Humid Conditions, *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, 133(1), 38-42, 2007.
- [11] Utset, A., Farre, I., Martinez-Cob, A and Cavero, J.: Comparing Penman-Monteith and Priestley-Taylor approaches as reference-evapotranspiration inputs for modeling maize water-use under Mediterranean conditions, *Agric. Water Management*, 66(3), 205-219, 2004.

SIMPLE EMPIRICAL FORMULA TO ESTIMATE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

by

Slaviša Trajković
Faculty of Civil Engineering and Architecture Niš

Summary

The International Commission for Irrigation and Drainage (ICID) and Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) have recommended to use the Penman-Monteith equation as the standard for estimating reference evapotranspiration (ET_0), and for evaluating other equations.

The main obstacle for wide use of the FAO-56 Penman-Monteith equation (FAO-56 PM) is that in most cases the required weather data are not available. In such circumstances, the simple empirical Hargreaves

equation (HARG) is often used. However, this equation generally overestimates ET_0 at humid locations, and therefore requires local calibration. The main objective of this study is to investigate whether the adjusted Hargreaves formula can be used as a substitution for FAO-56 Penman-Monteith. The results strongly support the use of the adjusted Hargreaves equation in cases where only temperature data are available.

Key words: Reference evapotranspiration, Penman-Monteith, Hargreaves, Temperature

Redigovano 05.12.2007.