

PORÓWNANIE METODY PENMANA I PENMANA-MONTEITHA
ZA POMOCĄ ROZKŁADÓW PRAWDOPODOBIENSTWA
EWAPOTRANSPIRACJI WSKAŹNIKOWEJ

Edward Gąsiorek, Joanna Kamińska, Elżbieta Musiał

Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław
e-mail: elzbieta.musial@up.wroc.pl

Streszczenie. Do końca lat 90-tych XX wieku metoda Penmana była powszechnie stosowaną metodą obliczania ewapotranspiracji wskaźnikowej. Obecnie najczęściej stosowaną metodą wyznaczania ewapotranspiracji wskaźnikowej jest metoda Penmana-Monteitha w modyfikacji Allena i współautorów. Nowa modyfikacja metody Penmana-Monteitha weryfikowana przez wielu badaczy w różnych regionach Polski i na świecie umożliwia dokładniejszą ocenę zdolności ewaporacyjnej atmosfery, dlatego jest metodą preferowaną. W pracy przeprowadzono badania na danych pochodzących z trzech stacji doświadczalnych Bydgoszcz (1945-2003), Łódź (1954-1995) oraz Wrocław (1964-2000). Do wyznaczonych sum ewapotranspiracji wskaźnikowej w okresie wegetacyjnym za pomocą metody Penmana i Penmana-Monteitha dopasowano funkcje rozkładu prawdopodobieństwa. Weryfikację hipotezy o zgodności rozkładów empirycznych z rozkładem gamma przeprowadzono za pomocą testu chi-kwadrat. Następnie używając rozkładów gamma przeprowadzono podział okresów wegetacyjnych na: mokre, średnio-mokre, suche i bardzo suche w badanych regionach i wieloletniach. W wymienionych okresach wegetacyjnych porównano wyniki uzyskane za pomocą obu metod: Penmana i Penmana-Monteitha. Przeprowadzone porównania wskazują na to, że metoda Penmana daje zawyżone wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej w wybranych regionach.

Słowa kluczowe: ewapotranspiracja wskaźnikowa, rozkład gamma

WSTĘP

Ewapotranspiracja, jako jedna ze składowych bilansu wodnego jest bardzo ważnym czynnikiem przy projektowaniu i eksploatacji systemów melioracyjnych. Stanowi ona ważny element badań hydrologicznych. Dokładność oszacowania ewapotranspiracji ma wpływ na ocenę zapasów wody glebowej, niedoborów wodnych roślin, a także zapotrzebowania na wodę do nawodnień. Powszechnie

stosowaną metodą obliczania ewapotranspiracji jest sposób pośredni polegający na ocenie ewapotranspiracji wskaźnikowej ze standardowej pokrywy roślinnej, jaką jest trawa o stałej jednakowej wysokości dobrze zaopatrzonej w wodę. Równanie Penmana opublikowane w 1948 roku (Penman 1948) było przełomem w modelowaniu procesu ewapotranspiracji wskaźnikowej. W literaturze można spotkać wiele innych propozycji dotyczących wyznaczania wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej. Można wyznaczać tę wielkość na podstawie formuł empirycznych (np. wzór Baca, Turca, Matula, i innych), a także jako wielkość mierzoną (parowanie z wolnej powierzchni wodnej, lub ewapotranspiracja standardowej pokrywy roślinnej). Do końca lat 90-tych XX wieku zalecaną i powszechnie stosowaną metodą obliczania ewapotranspiracji wskaźnikowej był wzór Penmana, za granicą stosowany w modyfikacji FAO (Doorenbos i Pruitt 1977), natomiast w Polsce w modyfikacji francuskiej (Sarnacka i in. 1983) z wielkością promieniowania słonecznego obliczanego według Podogrockiego (Podogrocki 1977).

Obecnie powszechnie stosowaną metodą wyznaczania ewapotranspiracji wskaźnikowej jest metoda Penmana-Monteitha. Metoda Penmana-Monteitha (Allen i in. 1994a, 1994b), (Feddes i Lenselink 1994), umożliwia dokładniejszą ocenę zdolności ewaporacyjnej atmosfery, dlatego jest metodą preferowaną przez wielu badaczy. Celem pracy jest porównanie metody Penmana i metody Penmana-Monteitha w okresach wegetacyjnych mokrych, średnio-mokrych, suchych i bardzo suchych, wyznaczonych za pomocą rozkładów prawdopodobieństwa ewapotranspiracji wskaźnikowej w następujących regionach Polski: w Bydgoszczy (1945-2003), Łodzi (1954-1995) oraz Wrocławiu (1964-2000).

MATERIAŁ I METODY

Pierwszy etap badań, to wyznaczenie ewapotranspiracji wskaźnikowej za pomocą metody Penmana. Wg wzoru Penmana wartość ewapotranspiracji wskaźnikowej wyraża się następującym wzorem:

$$ET_0 = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \left[\frac{\Delta}{\gamma} (R_n + G) + E_a \right] = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} (R_n + G) + E_a}{\left(1 + \frac{\Delta}{\gamma} \right)} \frac{n}{28,34} \quad (1)$$

gdzie: R_n – promieniowanie netto ($W m^{-2}$); G – ciepło odprowadzone do gleby ($W m^{-2}$); E_a – zdolność ewaporacyjna powietrza ($W m^{-2}$); Δ – nachylenie krzywej opisującej ciśnienie nasyconej pary wodnej jako funkcję temperatury, $hPa K^{-1}$; γ – stała psychrometryczna równa $0,655 hPa K^{-1}$; n – liczba dni w okresie, dla którego wykonywano obliczenia (dekada, miesiąc). W równaniu Penmana należy uwzględnić następujący fakt: Wszystkie strumienie energii płynące od powierzch-

ni czynnej mają umownie znak ujemny (są rozchodowymi składnikami bilansu cieplnego) i są generowane przez powierzchnię czynną, natomiast wszystkie strumienie energii płynące do powierzchni czynnej mają znak dodatni.

Drugi etap badań, to wyznaczenie wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej metodą Penmana-Monteitha w modyfikacji Allena i współautorów (Allen i in. 1994a, 1994b), (Feddes i Lenselink 1994). Monteith (Monteith 1973) wprowadził do wzoru Penmana (1) opór, jaki stawia szata roślinna parze wodnej wędrującej z gleby do atmosfery. Opór ten łączy następujące opory: opór gleby (opór przy przepływie wody z gleby do otoczenia korzenia), opór korzeniowy (opór przy wnikaniu wody do korzeni), opór naczyniowy (opór przepływu wody w wiązce naczyniowej), opór liściowy (opór przepływu wody w tkankach liścia), opór szparkowy (opór przejścia pary wodnej z wnętrza liścia do atmosfery) i nazwał ten opór oporem sklepienia szaty roślinnej (r_c). Wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej wg wzoru Penmana-Monteitha są następujące:

$$ET_o = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot (R_n + G) + \rho \cdot c_p \cdot d / \gamma \cdot r_a}{\left(1 + \frac{\Delta}{\gamma}\right) \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \cdot \frac{n}{28,34} \quad (2)$$

W prezentowanej w pracy metodzie Penmana-Monteitha przyjęto za (Allen i in. 1994a, 1994b), że ewapotranspiracja wskaźnikowa jest to ewapotranspiracja hipotetycznej rośliny, jaką jest trawa o stałej jednakowej wysokości równej 12cm, w pełni zakrywająca glebę w warunkach aktywnego rozwoju i nieograniczonego dostępu wody, stałym albedo wynoszącym 0,23, i stałej oporności stomatycznej równej 70 s m^{-1} . Opór aerodynamiczny r_a zwany inaczej oporem dyfuzji turbulencyjnej definiuje się jako opór w obszarze ograniczonym poziomem $z = d + z_0$ oraz poziomem w atmosferze na wysokości pomiarowej x . Opór aerodynamiczny wyznacza się następująco:

$$r_a = \int_{d+z_0}^x \frac{dz}{K_M} \quad (3)$$

$$K_M = \frac{k^2 v (z - d)}{\ln \frac{x - d}{z_h}} \quad (4)$$

gdzie: x – wysokość pomiarowa (m), z – wysokość zmienna (m), r_a – opór aerodynamiczny (s m^{-1}), k – stała von Karmana = 0,41 (-), v – prędkość wiatru na wysokości z (m s^{-1}), z_0 – parametr szorstkości przy transporcie ciepła i pary wodnej

(m), z_h – parametr szorstkości przy wymianie pędu (m), d – warstwa przesunięcia płaszczyzny zerowej (m).

$$r_a = \ln \frac{x-d}{z_h} \int_{d+z_0}^x \frac{dz}{k^2 v z - k^2 v d} =$$

$$= \ln \left(\frac{x-d}{z_h} \right) \frac{1}{k^2 v} \int_{d+z_0}^x \frac{k^2 v}{k^2 v z - k^2 v d} dz = \frac{\ln \frac{x-d}{z_h} \ln \frac{x-d}{z_0}}{k^2 v} \quad (5)$$

Przy obliczeniach oporu aerodynamicznego dla hipotetycznej rośliny, jaką jest trawa o stałej wysokości h równej 12 cm uwzględniono następujące warunki:

$$d = 2/3h; \quad z_0 = 0,123h; \quad z_h = 0,1z_0.$$

Uwzględnienie wymienionych zależności pozwala wyznaczyć wartość oporu aerodynamicznego $r_a = \frac{208}{v}$, który jest funkcją zmiennej prędkości wiatru v mierzonej na wysokości 2 m.

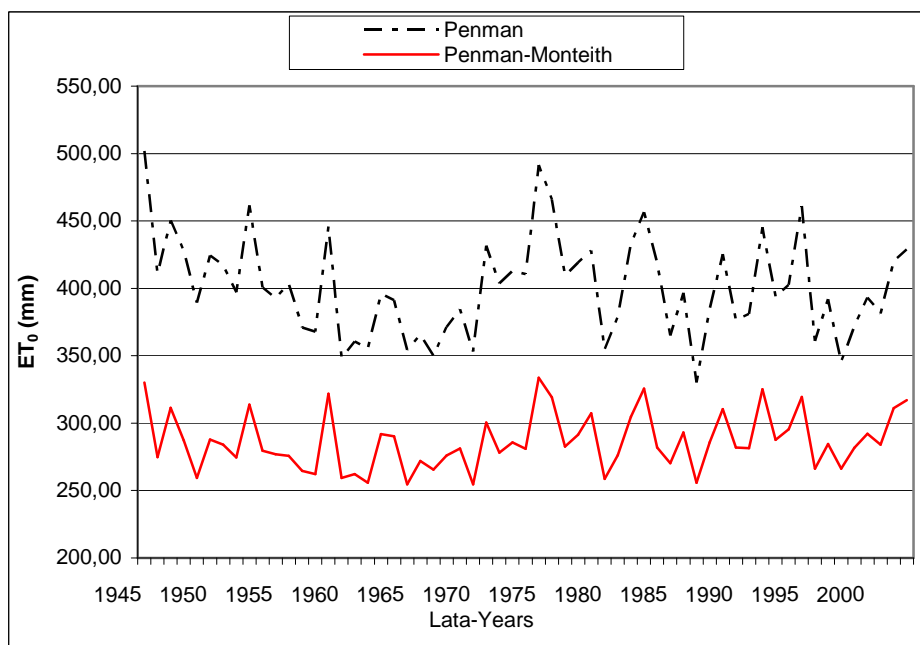
W proponowanej metodzie wyznaczania ewapotranspiracji wskaźnikowej pomija się strumień ciepła glebowego, gdyż w warunkach zdefiniowanych jako standardowe ma on niewielki udział w bilansie cieplnym runi trawiastej (Łabędzki 1999, Kasperska-Wołowicz i Łabędzki 2004, Roguski i in. 2002, Musiał 2001).

WYNIKI I DYSKUSJA

Do badań wykorzystano dane pochodzące z trzech stacji doświadczalnych: Bydgoszcz (1945-2003), Łódź (1954-1995) oraz Wrocław-Swojec (1964-2000).

Porównanie ewapotranspiracji wskaźnikowej wyznaczonej metodą Penmana i Penmana-Monteitha dla stacji Bydgoszcz przedstawia rysunek 1.

Analiza wykresu pozwala wyciągnąć następujący wniosek: zdecydowanie mniejsze wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej otrzymano stosując metodę Penmana-Monteitha w modyfikacji Allena i współautorów (Allen i in. 1994a, 1994b, Fedder i Lenselink 1994), zalecaną przez FAO i ICID i powszechnie stosowaną na świecie od 1990 roku (Allen i in. 1994b, 1998), (Fedder i Lenselink 1994, Smith 1992).



Rys. 1. Ewapotranspiracja wskaźnikowa w okresie wegetacyjnym (IV-IX) w wieloleciu 1945-2003 na stacji Bydgoszcz

Fig.1. Reference evapotranspiration in the growing season (IV-IX) in the years 1945-2003 at the Bydgoszcz observatory

Następnie do sum ewapotranspiracji wskaźnikowej w okresie wegetacyjnym wg Penmana, i Penmana-Monteitha dopasowano funkcję rozkładu prawdopodobieństwa. Przy dopasowywaniu funkcji rozkładu prawdopodobieństwa wykorzystano rozkład gamma. Zmienna losowa X podlega rozkładowi gamma o parametrach $p, \lambda > 0$, jeżeli jej gęstość prawdopodobieństwa jest określona wzorem:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda^p \Gamma(p)} x^{p-1} \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right) & \text{dla } x > 0 \\ 0 & \text{dla } x \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Weryfikację hipotezy o zgodności rozkładów empirycznych z rozkładem gamma przeprowadzono za pomocą testu zgodności χ^2 – Pearsona.

Następnie wyznaczono parametry skali i kształtu rozkładu gamma oraz wyznaczono kwantyle rzędu 0,2; 0,5 i 0,8 oznaczone odpowiednio przez $x_{0,2}$, $x_{0,5}$ i $x_{0,8}$ tego rozkładu, przyjmując następującą klasyfikację: okres wegetacyjny w danym roku uważa się za mokry, jeżeli suma ewapotranspiracji wskaźnikowej

w tym okresie nie przekracza $x_{0,2}$, za średni jeżeli suma ewapotranspiracji w okresie wegetacyjnym jest większa niż $x_{0,2}$ lecz nie przekracza $x_{0,5}$, za suchy jeżeli suma ewapotranspiracji w okresie wegetacyjnym jest większa niż $x_{0,5}$ lecz nie przekracza $x_{0,8}$ i za bardzo suchy jeżeli suma ewapotranspiracji w okresie wegetacyjnym jest większa niż $x_{0,8}$. W tabelach 1-4 zostały zamieszczone wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej klasyfikujące okresy wegetacyjne jako mokre, średnio-mokre, suche oraz bardzo suche dla trzech stacji badawczych.

Tabela 1. Weryfikacja hipotezy o zgodności rozkładu gamma z rozkładem empirycznym dla sumy ewapotranspiracji wskaźnikowej w okresie wegetacyjnym wyznaczonej metodą: Penmana i Penmana-Monteitha

Table 1. Verification of the hypothesis on consistency of gamma distribution to empirical distribution in case of reference evapotranspiration using in the growing season obtained by Penman and Penman-Monteith methods

Stacja Observatory	Wielolecie Period	Penman		Penman-Monteith	
		χ_{obl}^2	p-wartość p-value	χ_{obl}^2	p-wartość p-value
Wrocław-Swojec	1964-2000	0,88	0,645	3,5	0,17
Bydgoszcz	1945-2003	2,04	0,57	6,37	0,17
Łódź	1954-1995	2,03	0,15	1,67	0,64

χ_{obl}^2 jest wartością statystyki χ^2 , natomiast p jest najniższym poziomem istotności α , przy którym hipoteza zerowa mogłaby być odrzucona przy otrzymanej wartości statystyki χ^2 .

Tabela 2. Parametry skali i kształtu rozkładu gamma dla stacji Wrocław-Swojec (1964-2000)

Table 2. Parameters of scale and shape for gamma distribution at the Wrocław-Swojec observatory (1964-2000)

Ewapotranspiracja wskaźnikowa Reference evapotranspiration	Rozkład Γ Γ distribution		Rząd kwantyla Quantile rank		
	Parametr – Parameter		0,2	0,5	0,8
	Skali- β Scale- β	Kształtu- α Shape- α			
Penman	3,39	156,79	496	530	567
Penman-Monteith	2,97	100,93	307	334	362

Tabela 3. Parametry skali i kształtu rozkładu gamma dla stacji Bydgoszcz (1945-2003)**Table 3.** Parameters of scale and shape for gamma distribution at the Bydgoszcz observatory (1945-2003)

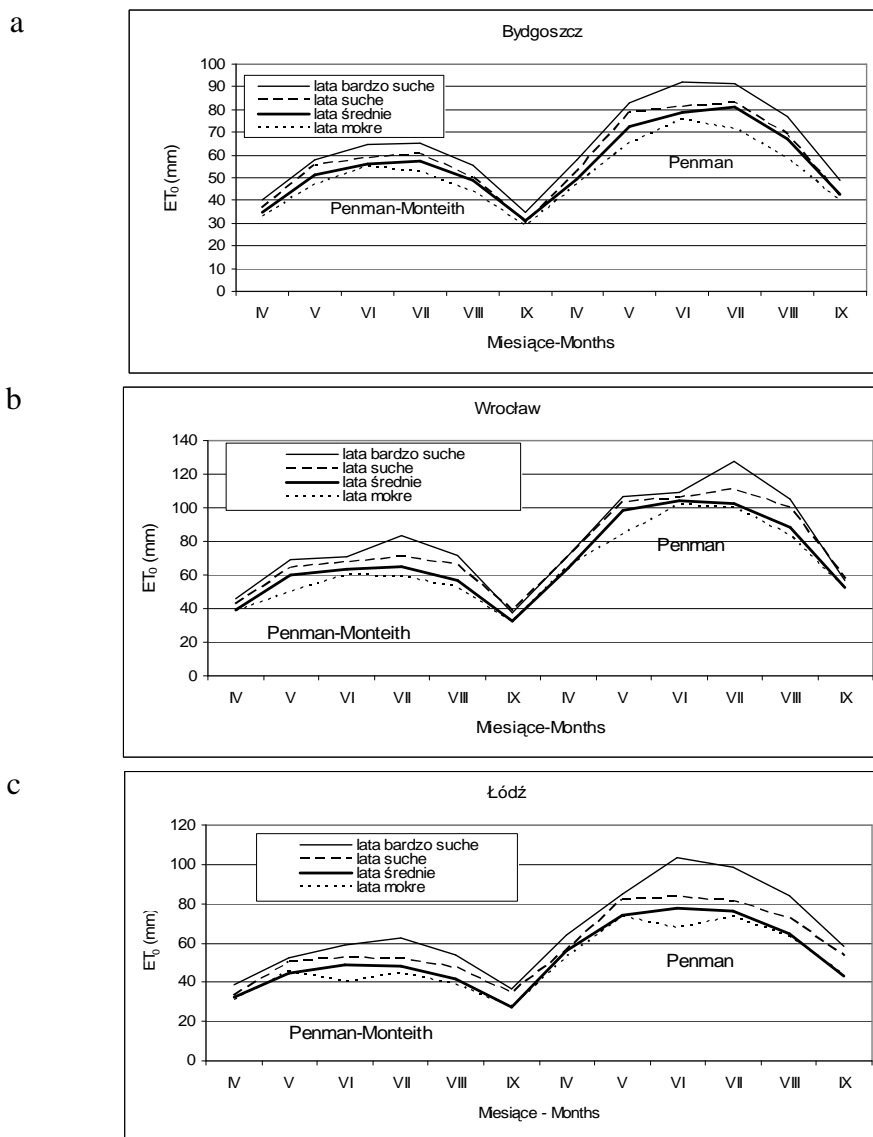
Ewapotranspiracja wskaźnikowa Reference evapo- transpiration	Rozkład Γ Γ distribution		Rząd kwantyla Quantile rank		
	Parametr – Parameter		0,2	0,5	0,8
	Skali- β Scale- β	Kształtu- α Shape- α			
Penman	3,42	114,8	370	400	432
Penman-Monteith	1,73	147,79	268	285	303

Tabela 4. Parametry skali i kształtu rozkładu gamma dla stacji Łódź (1954-1995)**Table 4.** Parameters of scale and shape for gamma distribution at the Łódź observatory (1954-1995)

Ewapotranspiracja wskaźnikowa Reference evapo- transpiration	Rozkład Γ Γ distribution		Rząd kwantyla Quantile rank		
	Parametr – Parameter		0,2	0,5	0,8
	skali- β scale- β	kształtu- α Shape- α			
Penman	6,59	68,15	403	447	494
Penman-Monteith	2,96	86,98	256	278	302

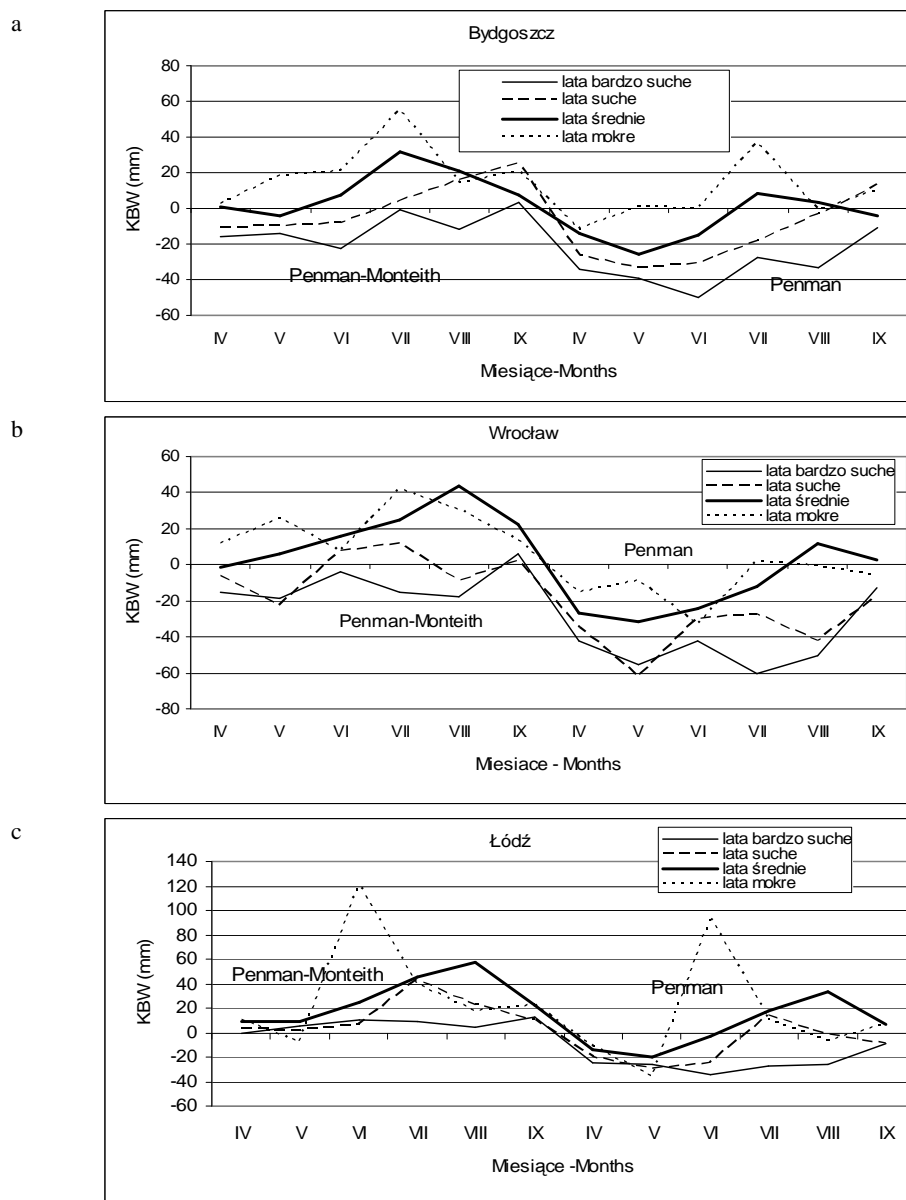
Szczegółowa analiza okresów wegetacyjnych mokrych, średnio-mokrych, suchych i bardzo suchych na wszystkich stacjach przedstawiona jest na rysunkach 2 i 3. Na rysunku 2 przedstawione są wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej wyznaczone metodą Penmana i Penmana-Monteitha kolejno dla stacji: a) Bydgoszcz, b) Wrocław oraz c) Łódź. Rysunki te umożliwiają porównanie wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej wyznaczonej dwiema metodami w okresach wegetacyjnych mokrych, średnio-mokrych, suchych i bardzo suchych. Na rysunku 3 graficznie przedstawiono zmiany klimatycznego bilansu wodnego wyznaczonego metodą Penmana i Penmana-Monteitha w okresach wegetacyjnych mokrych, średnio-mokrych, suchych i bardzo suchych na wszystkich badanych stacjach.

Analiza rysunku 2 skłania do następujących wniosków: Metodą Penmana otrzymuje się zdecydowanie większe wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej niż metodą Penmana-Monteitha. W rejonie Wrocławia wartości ET_0 wyznaczone metodami Penmana i Penmana-Monteitha w okresach wegetacyjnych mokrych, średnio-mokrych, suchych i bardzo suchych rozkładają się mniej więcej tak samo. Taką samą prawidłowość możemy obserwować w przypadku Bydgoszczy i Łodzi. Różnice polegają na tym, że w badanych okresach wegetacyjnych możliwości wchłaniania pary wodnej przez warstwę atmosfery leżącą nad powierzchnią parującą są największe we Wrocławiu a najmniejsze w Bydgoszczy i Łodzi.



Rys. 2. Ewapotranspiracja wskaźnikowa w okresie wegetacyjnym (IV-IX) wyznaczona metodą Penmana i Penmana-Monteitha dla: a) Bydgoszczy (1945-2003), b) Wrocławia (1964-2000), c) Łodzi (1954-1995)

Fig. 2. Reference evapotranspiration in the growing season (IV-IX) obtained using Penman and Penman-Monteith methods for: a) Bydgoszcz (1945-2003), b) Wrocław (1964-2000), c) Łódź (1954-1995)



Rys. 3. Średnie miesięczne sumy klimatycznego bilansu wodnego (KBW) w okresie wegetacyjnym (IV-IX) dla: a) Bydgoszczy (1945-2003), b) Wrocławia (1964-2000), i c) Łodzi (1954-1995)
Fig. 3. Mean monthly sums of climatic water balance (CWB) in the growing season (IV-IX) for: a) Bydgoszcz (1945-2003), b) Wrocław (1964-2000), c) Łódź (1954-1995)

Analizując rysunek 3 można stwierdzić, że klimatyczny bilans wodny wyznaczony na podstawie metody Penmana jest dla Wrocławia w zasadzie ujemny, (dodatni jest tylko od lipca w okresie wegetacyjnym średnio-mokrym). W Bydgoszczy i Łodzi jest dodatni tylko w okresie wegetacyjnym mokrym. Taka sytuacja związana jest z przewagą ewapotranspiracji wskaźnikowej wyznaczonej metodą Penmana nad opadami.

Klimatyczny bilans wodny wyznaczony na podstawie ewapotranspiracji wskaźnikowej wg Penmana-Monteitha w Łodzi jest dodatni we wszystkich okresach wegetacyjnych. W Bydgoszczy i we Wrocławiu jest dodatni w okresach wegetacyjnych mokrych, średnio-mokrych i suchych, natomiast w okresach bardzo suchych jest ujemny.

WNIOSKI

1. Rozkład sum ewapotranspiracji wskaźnikowej wyznaczonej metodą Penmana oraz Penmana-Monteitha w okresie wegetacyjnym (IV-IX) można przybliżyć rozkładem gamma. Za pomocą rozkładu gamma wyznaczono graniczne wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej określające okresy wegetacyjne jako mokre, średnio-mokre, suche oraz bardzo suche we wszystkich badanych rejonach.

2. Przeestymowane wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej wyznaczone metodą Penmana określają klimatyczny bilans wodny w zasadzie jako ujemny, co oznacza w przypadku tej metody wyznaczania ewapotranspiracji wskaźnikowej przewagę parowania nad opadem.

3. Metoda Penmana-Monteitha okazała się metodą lepiej charakteryzującą okresy wegetacyjne bardzo suche i częściowo suche jako te, dla których klimatyczny bilans wodny jest ujemny, co oznacza deficyty wody jedynie w tych okresach.

PIŚMIENNICTWO

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrig. Drain. Paper no. 56, Rome: FAO.
- Allen R.G., Smith M., Pereira L.S., Perrier A., 1994a. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bulletin, 43(2), 35-92.
- Allen R.G., Smith M., Perrier A., Pereira L.S., 1994b. An update for the definition of reference evapotranspiration. ICID Bulletin, 43(2), 1-34.
- Feddes R.A., Lenselink K.J., 1994. Evapotranspiration. ILRI Publication 16. Drainage Principles and Applications. Wageningen, 145-173.
- Doorenbos J., Pruitt W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrig. Drain. Paper, no. 24 Rome: FAO.
- Kasperska-Wołowicz W., Łabędzki L., 2004. Porównanie ewapotranspiracji wskaźnikowej według Penmana i Penmana-Monteitha w różnych regionach Polski. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 4, z. 2a (11), 123-136.

- Łabędzki L., 1999. Przydatność wzoru Penmana-Monteitha do obliczania ewapotranspiracji wskaźnikowej i rzeczywistej użytków zielonych. *Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych*, T. XX, z. 2, 89-101.
- Monteith J., 1973. *Principles of environmental physics*. American Elsevier Publ. Co., N.Y. 241.
- Musiał E., 2001. Modelowanie procesu ewapotranspiracji rzeczywistej i prognozowanie jego tendencji. *ZNAR we Wrocławiu*, nr 412, Rozprawy CLXXXII. 116.
- Podogrocki J., 1977. Zmienność czasowa promieniowania całkowitego w Polsce. *Zesz. Nauk. ART. W Olsztynie. Rolnictwo*, 21. 87
- Roguski W., Łabędzki L., Kasperska W., 2002. Analiza wybranych wzorów do obliczania parowania wskaźnikowego na potrzeby nawadniania użytków zielonych. *IMUZ, Fałety*, t.2, z. 1 (4), 197-209.
- Penman H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London A*, 193, 120-145.
- Sarnacka S., Brzeska J., Świerczyńska H., 1983. Wybrane metody wyznaczania ewapotranspiracji potencjalnej. *Materiały Badawcze*, Warszawa: IMGW.
- Smith M., 1992. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Land and Water Development Division, Rome: FAO.

COMPARISON OF THE PENMAN AND PENMAN-MONTEITH METHODS
BY MEANS OF PROBABILITY DISTRIBUTIONS
OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

Edward Gąsiorek, Joanna Kamińska, Elżbieta Musiał

Department of Mathematics, Wrocław University of Environmental and Life Sciences
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław
e-mail: elzbieta.musial@up.wroc.pl

Abstract. Till the late 90-ties of the 20th century the Penman method had been used widely to evaluate the reference evapotranspiration. Nowadays, the most frequently used method is that of Penman-Monteith, modified by Allen and co-authors. A new modification of the Penman-Monteith method, verified by many researchers worldwide and in different regions of Poland, enables more accurate evaluation of the atmospheric evaporation ability, therefore it is preferred. In this study, data from stations in Bydgoszcz (1945-2003), Łódź (1954-1995) and Wrocław (1964-2000) were analysed. The sums of reference evapotranspiration in the growing season, calculated by means of the Penman and Penman-Monteith methods, were fitted to the function of probability distribution. The verification of hypothesis on consistency of empirical distribution to gamma distribution was performed using the Chi square test. Then, by means of gamma distribution, the growing seasons in the examined regions and multi-year periods were classified as: wet, medium wet, dry and very dry. In the above mentioned seasons, the results obtained by the use of Penman and Penman-Monteith methods were compared. Those comparisons revealed that the values of reference evapotranspiration, calculated by the Penman method, are overestimated in the selected regions.

Key words: reference evapotranspiration, gamma distribution