

WIELKOŚCI EWAPOTRANSPIRACJI WSKAŹNIKOWEJ
W ZALEŻNOŚCI OD WARUNKÓW SIEDLISKOWYCH

Jan Szajda¹, Dariusz Kowalski², Wenanty Olszta²

¹Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, ul. Głęboka 29, 20-612 Lublin
e-mail: kajtek@resetnet.pl

²Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki obliczeń ewapotranspiracji wskaźnikowej za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej na podstawie wartości elementów meteorologicznych mierzonych równolegle w siedlisku wilgotnym (zmeliorowane torfowisko) i posuszonym (grunty orne na obrzeżu torfowiska) oraz charakterystykę liczbową związku funkcyjnego dekadowych wartości tej ewapotranspiracji. Charakterystyka ta może być wykorzystana do oceny dekadowych wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej w siedliskach wilgotnych na podstawie analogicznych wartości obliczonych za pomocą wzoru Penmana dla siedlisk posuszonych.

Słowa kluczowe: ewapotranspiracja wskaźnikowa, warunki siedliskowe

WSTĘP

Ewapotranspiracja wskaźnikowa stanowi ekwiwalent wodny bilansu radiacji, obliczany za pomocą zalecanego do stosowania w Polsce wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej [5]. Ekwiwalent ten niezbędny do oceny potrzeb wodnych roślin uzależniony jest od czynników meteorologicznych. Wartość tych czynników różnicuje się w zależności od warunków siedliskowych [2,3], a w szczególności od uwilgotnienia gleb [6,7]. Brak danych o klimacie lokalnym zróżnicowanych pod względem uwilgotnienia siedlisk erodowanych i pobagiennych powoduje, że jego wpływ na wartość czynników meteorologicznych i wielkość ewapotranspiracji wskaźnikowej w tych siedliskach jest z konieczności pomijany. Zachodzi zatem potrzeba oceny wielkości ewapotranspiracji wskaźnikowej w siedliskach wilgotnych w oparciu o dane meteorologiczne, ze stacji zlokalizowanych w sąsiedztwie siedlisk, głównie okresowo posusznych i posusznych.

W pracy przedstawiono wyniki obliczeń ewapotranspiracji wskaźnikowej za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej na podstawie wartości elementów meteorologicznych mierzonych równolegle w siedlisku wilgotnym (zmeliorowane torfowisko) i posuszonym (grunty orne na obrzeżu torfowiska) oraz charakterystykę liczbową związku funkcyjnego dekadowych wartości tej ewapotranspiracji. Charakterystyka ta może być wykorzystana do oceny dekadowych wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej w siedliskach wilgotnych na podstawie analogicznych wartości obliczonych za pomocą wzoru Penmana dla siedlisk posuszonych.

MATERIAŁ I METODY

Podstawę pracy stanowiły wyniki badań w centralnej części Polesia Lubelskiego i regionu Kanału Wieprz-Krzna, prowadzonych w latach 1974 i 1975 równolegle w stacji meteorologicznej i w stacji lizymetrycznej w Sosnowicy [6]. Stacja meteorologiczna o współrzędnych $\Psi = 51^{\circ}31'30''$, $\lambda = 23^{\circ}04'48''$ oraz wysokości 164,73 m n.p.m., zlokalizowana jest na obrzeżu torfowiska w siedlisku posuszonym [4,6,8]. W stacji tej prowadzono pomiary temperatur powietrza, ciśnienia pary wodnej, wilgotności względnej i niedosytów wilgotności powietrza, kierunków i prędkości wiatru oraz zachmurzenia zgodnie z metodyką zalecaną przez IMGW. Stacja lizymetryczna położona jest na zmeliorowanym torfowisku, użytkowanym jako łąka. Charakter gleb występujących na tym torfowisku wskazuje, że jest to siedlisko wilgotne [4,6,8]. W stacji tej analogicznie jak w stacji meteorologicznej prowadzono pomiary temperatur powietrza, ciśnienia pary wodnej, wilgotności względnej i niedosytów wilgotności powietrza. Pomiary te oraz usłonecznienie w stacji IMGW we Włodawie wykorzystano do obliczeń ewapotranspiracji wskaźnikowej w siedlisku wilgotnym i posuszonym za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej [5]:

$$ET_0 = N \cdot \left\{ \left[G_o (1-a) \left(0,209 + 0,565 \cdot \frac{S}{S_0} \right) - \sigma T^4 (0,560 - 0,8 \sqrt{e}) \left(0,10 + \frac{S}{S_0} \cdot 0,90 \right) \right] \right. \\ \left. \frac{1}{59} \frac{F'_T}{F'_T + 0,65} + 0,26(e_w - e)(1 + 0,4v) \frac{0,65}{F'_T + 0,65} \right\} \quad (1)$$

gdzie: N – liczba dni w dekadzie,

ET_0 – ewapotranspiracja wskaźnikowa ($\text{mm} \cdot \text{dekada}^{-1}$),

G_o – średnia suma dzienna promieniowania słonecznego na górnej granicy atmosfery ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$),

a – albedo równe 0,20 (średnie w okresie wegetacyjnym),

S – suma dekadowa wartości usłonecznienia (h),

S_o – suma dekadowa wartości usłonecznienia astronomicznie możliwego (h),
 σ – stała Stefana – Boltzmana równa $1,18 \cdot 10^{-7}$ ($\text{cal} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{doba}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),
 T – temperatura powietrza (K),
 e – średnie w danym okresie ciśnienie pary wodnej (hPa),
 e_w – średnie w danym okresie ciśnienie nasyconej pary wodnej przy temperaturze powietrza T (hPa),
 F'_T – współczynnik równy średniemu nachyleniu krzywej związku $e_w = f(T)$,
 v – średnia w badanym okresie czasu (N – dekad) prędkość wiatru mierzona na wysokości 10 m ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Do obliczeń wykorzystano podane w formie tabelaryzowanej [5] wartości promieniowania całkowitego na górnej granicy atmosfery G_o oraz astronomicznej długości dnia S_o w zależności od szerokości geograficznej $\Psi = 51^{\circ}31'30''$, wyrażenia $(0,56 - 0,08 \sqrt{e})$ w zależności od prężności pary wodnej e , wyrażen σT^4 ; $e_w = f(T)$ oraz członów $\frac{1}{59} \frac{F'_T}{F'_T + 0,65}$ i $\frac{0,65}{F'_T + 0,65}$ 0,26 w zależności od temperatury T .

Podstawę oceny wpływu warunków siedliskowych na wielkość ewapotranspiracji wskaźnikowej stanowiła określona statystycznie charakterystyka liczbowa związku funkcyjnego dekadowych wartości tej ewapotranspiracji w siedlisku wilgotnym i posuszonym [1]. Związek funkcyjny wyrażony zależnością tych wartości badano za pomocą analizy wielokrotnej. Do określenia zależności wykorzystano program STATISTICA 5.0. Program ten oblicza równoległe równania regresji krzywoliniowej ($1/y = a + bx$), logarytmicznej ($y = \log(a + bx)$), wykładniczej ($y = ab^x$) i prostoliniowej ($y = a + bx$), współczynniki korelacji (r) oraz wartości testu istotności F . Jako ostateczną postać zależności przyjęto równanie prostoliniowe, którego parametry, takie jak wartość współczynnika korelacji i testu istotności F najdokładniej przedstawiały związek funkcyjny tych wartości w obydwu siedliskach.

WYNIKI I DYSKUSJA

Charakterystykę warunków meteorologicznych w okresie badań w siedlisku wilgotnym (sw) i posuszonym (sp) ograniczono do wartości dekadowych tych czynników, które są niezbędne do obliczeń ewapotranspiracji wskaźnikowej za pomocą wzoru (1). Wartości tych czynników zestawiono w tabeli 1. Wskazują one, że uwilgotnienie siedlisk wywiera wpływ na wielkość temperatury powietrza oraz ciśnienia pary wodnej. Wpływ ten w siedlisku wilgotnym w stosunku do siedliska posusznego uwidacznia się na ogół niższą temperaturą powietrza oraz na ogół wyższą wartością ciśnienia pary wodnej, co potwierdza wyniki badań przedstawionych w innej pracy [7]. Przyczyną tego jest większe zużycia ciepła na parowanie wody w siedlisku wilgotnym, co jest zgodne z wynikami badań innych autorów [2,3,6].

Tabela 1. Promieniowanie słoneczne (G_0), usłonecznienie (S), temperatura powietrza (T), ciśnienie pary wodnej (e) oraz prędkość wiatru (v) w siedlisku posuszonym (sp) i wilgotnym (sw) w latach 1974 i 1975 w Sosnowicy

Table 1. The solar radiation (G_0), sunshine (S), air temperature (T), vapour pressure (e) and wind velocity (v) in dry (sp) and moist (sw) sites, during 1974 and 1975 in Sosnowica

Rok Year	Miesiąc Month	Dekada Decade	G_0	S	T		E		v
					sp	sw	sp	sw	
1974	IV	1	685	7,5	6,8	6,7	6,7	6,3	4,9
		2	755	8,6	4,3	4,6	4,6	4,8	5,2
		3	817	4,4	6,4	6,4	7,7	7,9	5,0
	V	1	875	2,1	9,3	9,2	9,8	10,3	3,6
		2	924	8,9	13,0	12,6	8,8	9,6	3,6
		3	964	6,7	11,7	11,6	10,2	10,8	3,6
	VI	1	992	6,4	12,6	12,3	11,7	11,7	4,2
		2	1005	6,1	14,4	14,2	13,6	13,4	3,6
		3	1005	7,4	16,7	16,3	14,6	14,8	3,4
	VII	1	993	6,0	14,6	14,6	13,4	13,8	5,0
		2	969	6,6	17,3	16,9	16,5	16,2	3,7
		3	929	5,9	16,3	16,6	15,4	15,9	4,0
	VIII	1	880	8,2	17,2	17,4	16,1	16,4	2,9
		2	824	8,1	18,5	18,6	18,3	18,5	2,2
		3	759	7,8	16,6	16,7	16,8	16,1	2,9
	IX	1	686	6,6	16,6	16,4	15,3	15,3	3,7
		2	616	8,1	12,5	12,3	12,2	12,2	2,6
		3	546	1,9	11,1	11,8	12,2	12,8	3,3
1975	IV	1	685	3,8	8,1	8,1	8,0	9,4	4,2
		2	755	3,0	5,0	5,5	7,2	7,5	8,5
		3	817	5,4	7,5	7,8	8,2	9,2	3,4
	V	1	875	6,6	13,8	13,8	13,2	13,2	3,3
		2	924	9,2	18,5	18,6	15,2	15,4	3,3
		3	964	5,7	12,5	11,4	11,1	10,3	3,1
	VI	1	992	3,3	12,0	12,3	11,8	12,1	4,3
		2	1005	9,3	17,8	17,6	16,3	16,3	3,2
		3	1005	8,8	18,8	18,8	16,9	17,4	3,8
	VII	1	993	11,6	19,3	18,9	15,3	15,6	1,4
		2	969	8,3	21,3	20,8	17,0	18,2	3,2
		3	929	4,9	17,2	16,7	16,4	16,4	4,1
	VIII	1	880	10,6	19,6	18,7	17,8	17,9	2,8
		2	824	9,3	16,2	15,8	14,8	14,8	3,5
		3	759	11,2	17,9	17,5	15,0	15,6	2,8
	IX	1	686	8,8	15,2	14,3	12,8	13,3	2,4
		2	616	8,5	15,2	14,4	13,2	13,9	3,4
		3	546	6,8	15,0	14,6	13,3	13,9	3,5

Wyniki obliczeń ewapotranspiracji wskaźnikowej ET_o za pomocą wzoru (1) w siedlisku posuszonym ET_{osp} i wilgotnym ET_{osw} wskazują (tab. 2), że jej sumy dekadowe są najmniejsze w kwietniu i wrześniu a największe w czerwcu i lipcu, podobnie jak wartości temperatury, ciśnienia pary wodnej i innych elementów meteorologicznych (tab. 1).

Zróżnicowanie to potwierdza istnienie ścisłego związku pomiędzy wielkością ewapotranspiracji wskaźnikowej a wartością czynników meteorologicznych [5,6].

Ewapotranspiracja wskaźnikowa w siedlisku posuszonym ET_{osp} i wilgotnym ET_{osw} różni się wielkością. Dekadowe wartości ET_{osp} są na ogół wyższe, zarówno w roku 1974, jak i w roku 1975, a jej sumy dla okresu wegetacji (IV-IX) są większe odpowiednio 10 i 20 mm. Przyczyną tego jest zróżnicowanie wartości czynników meteorologicznych w tych siedliskach (tab. 2), spowodowane ich odmiennym uwilgotnieniem [7]. Wynika stąd, że warunki siedliskowe wywierają znaczący wpływ na wielkość ewapotranspiracji wskaźnikowej.

Tabela 2. Dekadowe wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej w latach 1974 i 1975 w siedliska posuszonym (ET_{osp}) i wilgotnym (ET_{osw}) obliczone z równania (1)

Table 2. Decade values of index evapotranspiration in 1974 and 1975 in dry (ET_{osp}) and moist (ET_{osw}) sites, calculated by equation (1)

Miesiąc Month	Dekada Decade	1974		1975	
		ET_{osp}	ET_{osw}	ET_{osp}	ET_{osw}
IV	1	24,1	25,1	19,6	15,3
	2	28,3	28,4	19,2	19,2
	3	21,6	20,8	21,5	19,4
V	1	20,3	17,3	34,1	34,1
	2	39,4	37,0	43,9	43,8
	3	35,8	33,9	33,1	32,5
VI	1	32,0	31,2	25,7	25,8
	2	33,7	33,3	38,0	40,6
	3	38,7	37,5	45,6	44,5
VII	1	35,4	34,6	48,0	47,8
	2	34,2	33,9	47,1	44,5
	3	35,1	35,0	33,5	32,2
VIII	1	33,4	33,3	43,0	41,1
	2	32,6	32,5	33,9	33,0
	3	29,0	30,2	38,6	37,4
IX	1	25,1	24,7	26,7	24,3
	2	18,0	17,8	24,0	21,4
	3	10,4	10,5	19,4	17,6
Suma – Sum		527,2	517,0	594,9	574,5

WIELKOŚCI EWAPOTRANSPIRACJI WSKAŹNIKOWEJ W ZALEŻNOŚCI
OD WARUNKÓW SIEDLISKOWYCH

Jako podstawę oceny wpływu warunków siedliskowych na wielkość ewapotranspiracji wskaźnikowej przyjęto dekadowe jej wartości w siedlisku posuszonym ET_{osp} i wilgotnym ET_{osw} (tab. 2) oraz obliczoną statystycznie zależność tych wartości, wyrażoną równaniem:

$$ET_{osw} = -1,152 + 1,0097 \cdot ET_{osp} \quad (2)$$

gdzie: ET_{osw} – dekadowa wartość ewapotranspiracji wskaźnikowej w siedlisku wilgotnym (mm),

ET_{osp} – dekadowa wartość ewapotranspiracji wskaźnikowej w siedlisku posuszonym (mm).

Zależność (2) uzyskano przy 34 stopniach swobody. Charakteryzują ją bardzo wysoka wartość współczynnika korelacji $r = 0,990$ i testu istotności $F = 1680,5$ oraz błąd standardowy estymacji $S = 1,326$. Graniczne wartości r_α i F_α odczytane z tablic Elandt [1] wynoszą $r_\alpha = 0,418$ oraz $F_\alpha = 7,44$ i są mniejsze od uzyskanych z obliczeń. Omawiana zależność jest zatem wysoce istotna.

Tabela 3. Dekadowe wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej w latach 1974 i 1975 w siedliska wilgotnym (ET_{osw}) obliczone z równania (1) oraz z równania (2)

Table 3. Decade values of index evapotranspiration in 1974 and 1975 in moist site (ET_{osw}), calculated by equations (1) and (2)

Miesiąc Month	Dekada Decade	1974		1975	
		$ET_{osw}(1)$	$ET_{osw}(2)$	$ET_{osw}(1)$	$ET_{osw}(2)$
IV	1	25,1	23,2	15,3	18,6
	2	28,4	27,4	19,2	18,2
	3	20,8	20,7	19,4	20,6
V	1	17,3	19,3	34,1	33,3
	2	37,0	38,6	43,8	43,2
	3	33,9	35,0	32,5	32,3
VI	1	31,2	31,2	25,8	24,8
	2	33,3	32,9	40,6	37,2
	3	37,5	32,9	44,5	44,9
VII	1	34,6	34,6	47,8	47,3
	2	33,9	33,4	44,5	46,4
	3	35,0	34,3	32,2	32,7
VIII	1	33,3	32,6	41,1	42,3
	2	32,5	31,8	33,0	33,1
	3	30,2	28,1	37,4	37,8
IX	1	24,7	24,2	24,3	25,8
	2	17,8	17,1	21,4	23,1
	3	10,5	9,3	17,6	18,4

W tabeli 3 zestawiono dekadowe wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczone dla siedliska wilgotnego na podstawie czynników meteorologicznych zmierzonych w tym siedlisku (równanie 1) oraz w siedlisku posuszonym (równanie 2). Obliczone na podstawie tych danych odchylenie przeciętne oraz średni błąd standardowy [1] wartości obliczonych z równań (1) i (2) okazało się bardzo małe. Odchylenie to wyniosło 0,136, natomiast średni błąd standardowy 1,496.

Zależność (2) może być zatem wykorzystana do oceny dekadowych wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej w siedlisku wilgotnym na podstawie analogicznych wartości obliczonych z równania (1) dla siedliska posusznego. Umożliwia ona wykorzystanie ogólnie dostępnych danych meteorologicznych w siedliskach posusznych do oceny ewapotranspiracji wskaźnikowej w braku tych danych dla siedliskach wilgotnych.

WNIOSKI

1. Wyniki równoległych badań przeprowadzonych w latach 1974 i 1975 w Sosnowicy w siedlisku wilgotnym (zmeliorowane torfowisko) i posuszonym (grunty orne na obrzeżu torfowiska), wskazują na istotny wpływ warunków siedliskowych na wielkość ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonej za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej. Wpływ ten uwidacznia się mniejszą o 10-20 mm ewapotranspiracją wskaźnikową w siedlisku wilgotnym w stosunku do siedliska posusznego.

2. W pracy podano charakterystykę liczbową związku funkcyjnego dekadowych wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonych za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej dla siedliska wilgotnego i posusznego. Charakterystyka ta może być wykorzystana do oceny dekadowych wartości tej ewapotranspiracji w siedliskach wilgotnych na podstawie analogicznych wartości obliczonych dla siedlisk posusznych.

PIŚMIENNICTWO

1. **Elandt R.:** Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego. PWN, 536- 55, 1964.
2. **Konopko S.:** Wpływ gładowienia na zróżnicowanie klimatu lokalnego w dolinie górnej Noteci. Wiadomości IMUZ, XV, 2, 299-310, 1985.
3. **Molga M.:** Meteorologia rolnicza. PWRiL, Warszawa, 1958.
4. **Okruszko H.:** Zasady rozpoznawania i podziału gleb hydrogenicznych z punktu widzenia potrzeb melioracji. Bibl. Wiad. IMUZ, 56, 1976.
5. **Roguski W., Sarnacka S., Drupka S.:** Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. IMUZ Falenty, Mater. Instr. 56, 1988
6. **Szajda J.:** Roślinne i glebowo-wodne wskaźniki ewapotranspiracji łąki na glebie torfowo-murszowej. Falenty IMUZ, Rozprawa habilitacyjna, 1997.

7. **Szajda J., Kowalski D., Olszta W.:** Ocena wpływu warunków siedliskowych na zmiany mikroklimatu. *Acta Agrophysica*, 5(2), 455-462, 2005.
8. **Szuniewicz J., Churska Cz., Churski T.:** Potencjalne hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe i ich zróżnicowanie pod względem dyspozycyjnych zapasów wody użytecznej. *Bibl. Wiad. IMUZ*, 79, 69- 0, 1992.

THE VALUES OF INDEX EVAPOTRANSPIRATION IN DEPENDENCE ON SITE CONDITIONS

Jan Szajda¹, Dariusz Kowalski², Wenanty Olszta²

¹Institute of Land Reclamation and Grassland Farming, ul. Głęboka 29, 20-612 Lublin
e-mail: kajtek@resetnet.pl

²Institute of Environment Protection Engineering, Lublin University of Technology
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin

Abstract. The paper presents the results of calculations of index evapotranspiration basing on Penmann formula with French modification. The calculations were made basing on investigations of meteorological elements, realized in parallel in a moist (peat-land with land reclamation system) and a dry site (arable zone at the periphery of peat-land). The authors present also numerical characteristics of functional relations of decade values of evapotranspiration. These characteristics can be used for the estimation of decade values of index evapotranspiration in moist sites, basing on analogous values calculated by Penmann formula for dry sites.

Key words: index evapotranspiration, site conditions