

DEKADOWE WSPÓLCZYNNIKI ROŚLINNE DO OCENY EWAPOTRANSPIRACJI MAKSYMALNEJ UŻYTKÓW ZIELONYCH NA PODSTAWIE WZORU PENMANA I PLONU AKTUALNEGO

Jan SZAJDA

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Ochrony Przyrody

Słowa kluczowe: ewapotranspiracja maksymalna, plon maksymalny, współczynniki roślinne

Streszczenie

Wyniki badań lizymetrycznych wykonywanych w warunkach wilgotności gleby zbliżonej do polowej pojemności wodnej dowodzą, że na kształtowanie się ewapotranspiracji maksymalnej łąki nawożonej NPK w ilości 270, 540, 660 kg·ha⁻¹, pastwiska (660 kg NPK·ha⁻¹) i systematycznie ciętej runi (270 kg NPK·ha⁻¹) w sezonach wegetacyjnych, pokosach, odrostach i dekadach, wyrażone wartością dekadowych współczynników roślinnych k_c obliczonych na podstawie wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej wpływ ma maksymalny plon aktualny q_{max} . Podane w pracy zależności $k_c(q_{max})$ dla badanych użytków zielonych mogą być wykorzystane do oceny dekadowych wartości współczynników k_c w pokosach i odrostach na podstawie zmierzonego, obliczonego lub szacowanego maksymalnego plonu aktualnego w podanych przedziałach wartości q_{max} . Zależności te są niezbędne do obliczeń dekadowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej użytków zielonych na podstawie wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej oraz dekadowych wartości ewapotranspiracji rzeczywistej na podstawie ciśnienia ssącego gleby F i ewapotranspiracji maksymalnej.

WSTĘP

Ewapotranspiracja maksymalna użytków zielonych jest definiowana jako ilość wody zużytej na ewaporację z powierzchni gleby oraz transpirację roślin w danych warunkach klimatycznych i glebowych, danym sposobie użytkowania i poziomie zaopatrzenia w składniki pokarmowe w celu uzyskania maksymalnego plonu, kie-

Adres do korespondencji: doc. dr hab. inż. Jan Szajda, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Ochrony Przyrody, ul. Głęboka 29/2, 20-612 Lublin; tel. +48 (81) 532-92-51, e-mail: szagness@wp.pl

dy zużycie to nie jest ograniczane przez uwilgotnienie gleby [SZAJDA, 1997; 2001]. Charakteryzuje ona zatem maksymalne zapotrzebowanie roślin łąkowych na wodę, zależne tylko od czynników meteorologicznych oraz stanu pokrywy roślinnej [FEDDES, 1985; FEDDES i in., 1988; ROGUSKI, 1979; SZAJDA, 1997]. Zapotrzebowanie to stanowi podstawę do oceny ewapotranspiracji rzeczywistej w zależności od uwilgotnienia gleby [FEDDES, 1985; FEDDES i in., 1988; SZAJDA, 1997; SZAJDA, OLSZTA, 2000].

Wpływ czynników meteorologicznych na wartość ewapotranspiracji maksymalnej określa się za pomocą ewapotranspiracji wskaźnikowej, obliczanej za pomocą różnych wzorów. Jednym z nich jest wzór Penmana w modyfikacji francuskiej [ŁABĘDZKI, SZAJDA, SZUNIEWICZ, 1995; ROGUSKI, SARNACKA, DRUPKA, 1988; SARNACKA, 1983].

Wpływ stanu pokrywy roślinnej na wartość ewapotranspiracji maksymalnej można określić wartością dekadowych współczynników roślinnych k_c i biologicznych k , obliczanych na podstawie ewapotranspiracji wskaźnikowej według wzoru Penmana. W literaturze naukowej wiele miejsca poświęcono określeniu zależności współczynników k_c i k od fazy rozwojowej roślin, wysokości traw, masy części nadziemnych i podziemnych oraz końcowej ilości plonu [KACA, KASPERSKA, 1995; ŁABĘDZKI, 1997; MISZTAŁ, 1985, 2000; ROGUSKI, ŁABĘDZKI, WEYNA, 1990; SARNACKA, 1983; SZAJDA, 1997; 2001; SZUNIEWICZ, JAROS, RADOMSKA, 1990], brakuje natomiast zależności tych współczynników od plonu aktualnego.

Celem niniejszej pracy jest określenie zależności współczynników roślinnych k_c do oceny ewapotranspiracji maksymalnej użytków zielonych na podstawie ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonej za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej od plonów aktualnych jako podstawy do obliczeń dekadowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej. Zależności te określono dla łąki 3-kośnej nawożonej 270 kg NPK·ha⁻¹ w czystym składniku (120 kg N, 60 kg P, 90 kg K); 540 kg NPK·ha⁻¹ (240 kg N, 120 kg P, 180 kg K); 660 kg NPK·ha⁻¹ (240 kg N, 180 kg P, 240 kg K; runi z symulowanym użytkowaniem pastwiskowym – 6 odrostów, pastwisko kwaterowe nawożone 660 kg NPK·ha⁻¹; runi 18-kośnej (270 kg NPK·ha⁻¹) symulującej pastwisko intensywnie wypasane.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Podstawę pracy stanowią wyniki badań ewapotranspiracji i plonów z lat 1974–1990, ze stacji lizymetrycznej w Sosnowicy na glebie torfowo-murszowej, położonej w rejonie Kanału Wieprz-Krzna. W okresie badań występowała duża zmienność opadów, temperatury, niedosytu wilgotności powietrza, ciśnienia pary wodnej i prędkości wiatru. Zmienność ta przyczyniała się do występowania lat suchych i mokrych oraz wywarła wpływ na kształtowanie się wartości plonu i ewapotranspiracji rzeczywistej. Wpływ ten ujawnił się także w zróżnicowaniu wartości ewa-

potranspiracji wskaźnikowej obliczonej za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej podczas lat suchych i mokrych [SZAJDA, 1997].

Badana łąka została założona na głębokiej glebie torfowo-murszowej, wytworzonej ze średnio rozłożonego torfu turzycowiskowego na torfie szuwarowym, podścielonym torfem mechowiskowym i gytą detrytusowo-glonową. Budowa stratygraficzna profilu glebowego, stan zaawansowania procesu murszenia oraz właściwości fizyczno-wodne dają podstawy do określenia badanej gleby jako MIIIb oraz zaliczenia jej do prognostycznego kompleksu wilgotnościowo-glebowego B – wilgotnego [OKRUSZKO, 1988].

Dynamika głębokości zwierciadła wody gruntowej na łące i stanów wody w Kanale Wieprz-Krzna w latach ekstremalnych wskazuje, że łąka jest zasilana dopływem gruntowym. Dodatkowo występuje zasilanie boczne z Kanału. Zasilanie to powoduje, że poziom wody gruntowej na łące zawiera się w przedziale 6–92 cm. Zasilanie to pokrywało ewapotranspirację w roku suchym (1975) w 622 mm. Pokrywa ono zatem w całości niedobory wody, liczone jako różnica między ewapotranspiracją a opadem. W takich warunkach wilgotność gleby w warstwie korzeniowej była zbliżona do połowej pojemności wodnej oraz zapewniała maksymalne plonowanie badanych użytków zielonych bez nadmiernego zużycia wody na ewapotranspirację. Dlatego też plonowanie tych użytków oraz zużycie wody na ewapotranspirację, konieczne do uzyskania tych plonów, przyjęto za maksymalne [SZAJDA, 1997].

W celu obliczenia dekadowych wartości ewapotranspiracji rzeczywistej ET użytków zielonych najczęściej określa się najpierw klimatyczną ewapotranspirację wskaźnikową ET_o , a następnie stosuje odpowiednie empiryczne współczynniki roślinne k_c i glebowo-wodne k_s [KACA, KASPERSKA, 1995; ŁABĘDZKI, 1997; ŁABĘDZKI, SZAJDA, SZUNIEWICZ, 1995; SZAJDA, 1997], zgodnie z równaniem:

$$ET = k_c(Q) k_s(F) ET_o \quad (1)$$

gdzie:

- ET – dekadowe wartości ewapotranspiracji rzeczywistej, mm;
- $k_c(Q)$ – dekadowy współczynnik roślinny, zależny od plonu końcowego Q [ŁABĘDZKI, 1997; MISZTAŁ, 1985; 2000; ROGUSKI, ŁABĘDZKI, WEYNA, 1990; SZAJDA, 1997; SZUNIEWICZ, JAROS, RADOMSKA, 1990], obliczany na podstawie ET_o ;
- $k_s(F)$ – współczynnik glebowo-wodny, zależny od ciśnienia ssącego gleby F [FEDDES, 1985; FEDDES i in., 1988; ŁABĘDZKI, 1997; OLSZTA, SZAJDA, ZAWADZKI, 1990; SZAJDA, 1997; SZAJDA, OLSZTA, 2000];
- ET_o – dekadowe wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczone za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej [ŁABĘDZKI, SZAJDA, SZUNIEWICZ, 1995; ROGUSKI, SARNACKA, DRUPKA, 1988; SARNACKA, 1983], mm.

W warunkach dostatku wody w glebie ciśnienie ssące F nie wywiera wpływu na wartość plonu i ewapotranspiracji. Wówczas plon końcowy $Q = Q_{\max}$, ewapotranspiracja rzeczywista $ET = ET(Q_{\max})$, natomiast współczynnik $k_s(F) = 1$ [SZAJDA, 1997]. Uwzględniając powyższe w równaniu (1), uzyskuje się:

$$ET(Q_{\max}) = k_c(Q_{\max}) ET_o \quad (2)$$

gdzie:

$ET(Q_{\max})$ – dekadowa wartość ewapotranspiracji maksymalnej, mm;

Q_{\max} – maksymalny plon końcowy, $t \cdot ha^{-1}$.

Plon końcowy Q i maksymalny Q_{\max} nie odzwierciedlają zmienności aktualnej masy roślin od początku przyrastania do końca danej dekady (q , q_{\max}) w czasie t [KOWALIK, 1976; DE WITT, 1969] oraz wpływu tej zmienności na wartość współczynników k_c (wyraźnie różną, gdy czas przyrastania t wynosił 1 dekadę (systematycznie cięta ruń), 3 dekady (pastwisko) i 6 dekad (łąka) [SZAJDA, 1997; 2001]. Konieczne jest zatem określenie związków funkcyjnych między wartością współczynników k_c i plonu aktualnego q i q_{\max} . Plon aktualny q i q_{\max} może być mierzony (wycinanie prób), obliczany [KOWALIK, 1976; OLSZTA, 1981; SZAJDA, OLSZTA, 2000; DE WIT, 1969] lub szacowany. W badaniach lizymetrycznych wpływ plonów na wartość dekadowych współczynników roślinnych k_c , zróżnicowano nawożeniem (270, 540, 660 kg NPK $\cdot ha^{-1}$) i częstością koszenia (łąka 3-kośna, ruń z symulowanym użytkowaniem pastwiskowym, ruń 18-kośna symulująca pastwisko intensywnie wypasane). Umożliwiło to przyjęcie plonu końcowego Q_{\max} jako plonu aktualnego q_{\max} w dekadach poprzedzających koszenie lub wypas oraz plonu końcowego Q_{\max} runi za wskaźnik plonu aktualnego q_{\max} wiosną po ruszeniu wegetacji, po wypasie pastwiska i skoszeniu łąki, jak również wykorzystanie wartości współczynników k_c w tych dekadach do określenia zależności $k_c(q_{\max})$. Uwzględniając powyższe w równaniu (2), można napisać:

$$ET(q_{\max}) = k_c(q_{\max}) ET_o \quad (3)$$

gdzie:

$ET(q_{\max})$ – dekadowa wartość ewapotranspiracji rzeczywistej jako funkcja maksymalnego plonu aktualnego q_{\max} , mm;

q_{\max} – maksymalny plon aktualny, czyli masa roślin, która przyrosła od początku odrostu do końca danej dekady (w czasie t), $t \cdot ha^{-1}$.

Podstawiając równanie (3) do równania (1), uzyskuje się

$$ET = k_s(F) ET(q_{\max}) \quad (4)$$

Znając wartość $ET(q_{\max})$ oraz aktualne ciśnienie ssące gleby F w rozpatrywanej dekadzie, na podstawie równania (4) można obliczyć ewapotranspirację rzeczywistą ET w tej dekadzie.

Do określenia zależności statystycznych $k_c(q_{\max})$ wykorzystano program STAT-GRAPHICS 5.0. Dla każdego z rozpatrywanych okresów określono równania regresji prostoliniowej ($y = a + bx$), krzywoliniowej ($1/y = a + bx$), logarytmicznej ($y = \lg(a + bx)$), wykładniczej ($y = ab^x$), współczynniki korelacji (r), wartości statystycznego testu istotności F oraz błąd standardowy oceny S . Oceny istotności uzyskanych zależności dokonywano przez porównanie współczynników korelacji r z wartościami krytycznymi $r_{0,01}$ na poziomie istotności $\alpha = 0,01$ [ELANDT, 1964] oraz wartości testu F z wartościami $F_{0,01}$ odczytanymi z tablic [ELANDT, 1964]. Przyjmowano, że zależność jest istotna, gdy: $r > r_{0,01}$, a $F > F_{0,01}$. W pracy podano zależności, w których uzyskano największe wartości r i F . Podano dla nich również wartości $r_{0,01}$, $F_{0,01}$ odczytane z tablic oraz obliczone wartości S .

WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Szczegółową charakterystykę ewapotranspiracji wskaźnikowej ET_o , plonów maksymalnych Q_{\max} , ewapotranspiracji maksymalnej $ET(Q_{\max})$ podano w innych pracach [SZAJDA, 1997; 2001]. W niniejszej pracy ograniczono się do wartości średnich z lat 1974–1981 oraz z roku suchego (1975) i mokrego (1980) dla łąki 3-kośnej (a) i pastwiska kwaterowego (b), nawożonych $660 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 1) oraz wartości średnich z lat 1982–1990, z roku suchego (1983) i mokrego (1985) dla łąki 3-kośnej nawożonej $540 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ (c), $270 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ (d) i runi systematycznie ciętej nawożonej $270 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ (e) (tab. 2). Na podstawie powyższych danych można stwierdzić, że obliczone za pomocą wzoru Penmana wartości ET_o w okresach pokosów, odrostów i sezonów wegetacyjnych różnią się w zależności od czynników meteorologicznych. Są one najmniejsze podczas lat mokrych, a największe – podczas suchych (mniejsze zachmurzenie, większe promieniowanie [KOWALIK, 1976], wyższa temperatura, niedosyt wilgotności powietrza, ciśnienie pary wodnej i prędkość wiatru podczas lat suchych [SZAJDA, 1997; SZAJDA, OLSZTA, BABKIEWICZ, 1995]). Wartość ET_o w omawianych okresach różni się w stosunku do $ET(Q_{\max})$ łąki 3-kośnej, pastwiska i runi. We wzorze Penmana nie uwzględnia się bowiem wpływu plonów na wartość $ET(Q_{\max})$. Do obliczeń dekadowych wartości $ET(Q_{\max})$ łąki 3-kośnej, pastwiska i systematycznie ciętej runi konieczne jest zatem stosowanie dekadowych współczynników roślinnych k_c zgodnie z równaniem (2).

Plonowanie i ewapotranspiracja pastwiska w stosunku do łąki nawożonej $660 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 1) oraz systematycznie ciętej runi w stosunku do łąki nawożonej $270 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ (tab. 2) są znacznie mniejsze na skutek większej częstości koszenia i mniejszej masy nadziemnej. Zróżnicowanie to potwierdza ścisły związek między wartością plonu a wartością ewapotranspiracji, co wykazano w badaniach KOWALIKA [1976], ŁABĘDZKIEGO [1997], MISZTAŁA [2000], OLSZTY [1981] i DE WITA [1969].

Tabela 1. Ewapotranspiracja wskaźnikowa obliczona za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej ET_o (mm), maksymalny plon końcowy Q_{max} ($t \cdot ha^{-1}$) i ewapotranspiracja maksymalna $ET(Q_{max})$ (mm) użytków zielonych (Sosnowica, lata 1974–1981)

Table 1. Index evapotranspiration calculated with Penman's equation in French modification ET_o (mm), maximum final yield Q_{max} ($t \cdot ha^{-1}$) and maximum evapotranspiration $ET(Q_{max})$ (mm) for grasslands (Sosnowica, years 1974–1981)

Okres Period	Pokos Swath	Odrost Regrowth	ET_o	Q_{max}		$ET(Q_{max})$	
				a	b	a	b
1974–1981	I	I	97,6		0,93		52,5
		II	109,4	4,78	1,80	172,0	69,9
		III	132,1		2,17		82,0
	II	IV	134,1	5,68	2,37	269,0	89,5
		V	113,5		2,33		92,1
		VI	60,4	3,35	0,76	198,8	44,3
Razem Total		647,1	13,81	10,36	639,8	430,3	
Rok suchy Dry year (1975)	I	I	87,4		0,91		65,4
II		II	92,9	5,35	1,74	239,5	71,6
		III	80,6		1,67		53,3
		IV	185,8	7,07	2,71	344,3	141,4
III		V	154,8		3,71		138,3
		VI	78,4	6,11	1,19	391,9	81,2
Razem Total		679,9	18,53	11,93	975,7	551,2	
Rok mokry Wet year (1980)	I	I	56,5		0,31		31,7
II		II	130,8	4,25	2,21	147,7	84,5
		III	111,8		1,61		66,3
		IV	93,2	5,82	1,62	215,0	68,5
III		V	80,5		0,98		47,4
		VI	35,9	1,92	0,46	99,8	25,3
Razem Total		508,7	11,99	7,19	462,5	323,7	

Objaśnienia: a – łąka 3-kośna nawożona $660 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$, b – pastwisko kwaterowe nawożone $660 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Explanations: a – 3-cut meadow fertilised with $660 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$, b – paddock's pasture fertilised with $660 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Plonowanie i ewapotranspiracja maksymalna łąki 3-kośnej nawożonej w ilości 270, 540, $660 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$ i pastwiska nawożonego $660 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$, określone w warunkach, kiedy uwilgotnienie gleby nie ogranicza zużycia wody na ewapotranspirację, różnicują się w zależności od warunków meteorologicznych i stanu pokrywy roślinnej. W odniesieniu do łąki i pastwiska są one największe w latach suchych, a najmniejsze – w mokrych. Przyczyną tego jest mniejsze zachmurzenie nieba podczas lat suchych, a tym samym większe promieniowanie słoneczne [KOWALIK, 1976]. Plonowanie i ewapotranspiracja systematycznie ciętej runi przyjmują zbliżone wartości zarówno podczas lat suchych, jak i mokrych, a także

Tabela 2. Ewapotranspiracja wskaźnikowa obliczona za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej ET_o (mm), maksymalny plon końcowy Q_{max} ($t \cdot ha^{-1}$) i ewapotranspiracja maksymalna $ET(Q_{max})$ (mm) użytków zielonych (Sosnowica, lata 1982–1990)

Table 2. Index evapotranspiration calculated with Penman's equation in French modification ET_o (mm), maximum final yield Q_{max} ($t \cdot ha^{-1}$) and maximum evapotranspiration $ET(Q_{max})$ (mm) for grasslands (Sosnowica, years 1982–1990)

Okres Period	Pokos Swath	ET_o	Q_{max}			$ET(Q_{max})$		
			c	d	e	c	d	e
1982–1990	I	183,5	4,90	4,03	2,25	154,8	149,0	107,0
	II	257,5	5,03	4,18	2,91	232,3	226,0	162,2
	III	162,4	3,18	2,68	2,02	171,2	164,2	122,8
Razem Total		603,4	13,11	10,89	7,18	558,3	539,2	392,0
Rok suchy Dry year (1983)	I	205,0	7,91	6,08	2,06	229,9	185,1	86,0
	II	299,7	5,75	3,80	3,17	319,4	272,1	197,1
	III	151,2	4,09	2,62	1,97	212,5	185,0	117,0
Razem Total		655,9	17,75	12,5	7,20	761,8	642,2	400,1
Rok mokry Wet year (1985)	I	178,3	5,47	3,97	3,42	155,7	158,9	133,0
	II	200,9	4,33	2,91	1,73	175,3	177,0	139,6
	III	142,8	2,40	2,80	1,88	145,9	162,6	130,0
Razem Total		522,0	12,20	9,68	7,03	476,9	498,5	402,9

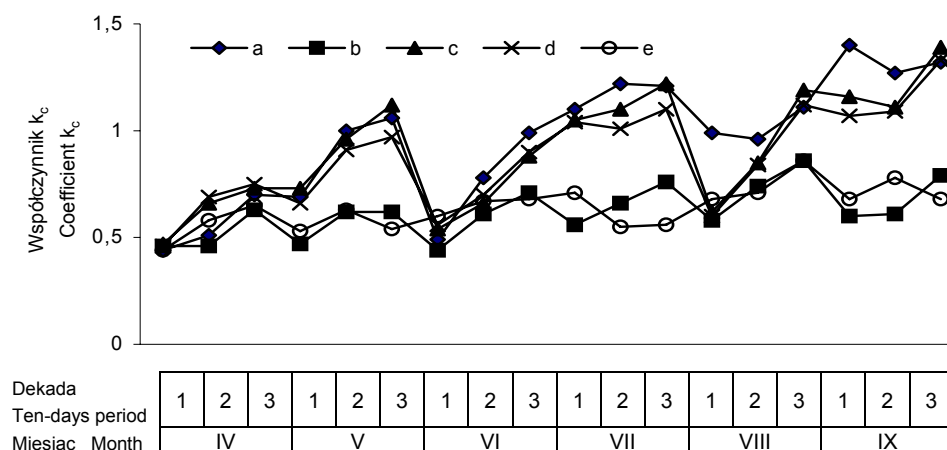
Objaśnienia: c – łąka 3-kośna nawożona 540 kg NPK·ha⁻¹, d – łąka 3-kośna nawożona 270 kg NPK·ha⁻¹, e – ruń 18-kośna (suma 6 cięć w każdym pokosie) nawożona 270 kg NPK·ha⁻¹.

Explanations: c – 3-cut meadow fertilised with 540 kg NPK·ha⁻¹, d – 3-cut meadow fertilised with 270 kg NPK·ha⁻¹, e – sward growth (18-cuts) (a sum of 6 cuts in each swath) fertilised with 270 kg NPK·ha⁻¹.

w całym okresie badań (tab. 2). Dzieje się tak na skutek wyeliminowania wpływu plonu na ewapotranspirację rzeczywistą runi przez systematyczne cięcie.

Współczynniki roślinne k_c do oceny ewapotranspiracji maksymalnej różnych użytków zielonych określone na podstawie ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonej za pomocą wzoru Penmana, zgodnie z równaniem (2), przedstawiono graficznie (rys. 1). Dekadowe wartości współczynników roślinnych k_c dla systematycznie ciętej runi są zbliżone do k_c łąki w pierwszych dekadach kwietnia, czerwca i sierpnia oraz do k_c pastwiska w pierwszych dekadach miesiący IV–IX. Współczynniki k_c dla runi w stosunku do łąki są ponad dwukrotnie mniejsze w trzecich dekadach maja, lipca i września, a w stosunku do pastwiska znacznie mniejsze w trzecich dekadach miesiący IV–IX. Należy to tłumaczyć zbliżoną ilością masy nadziemnej łąki, pastwiska i systematycznie ciętej runi w początkowym okresie wzrostu traw w pokosach i odrostach oraz jej wyraźnym zróżnicowaniem przed zbiorem.

Wartości współczynników roślinnych k_c dla łąki i pastwiska są wyższe od współczynników K określonych przez ROGUSKIEGO i WEYNE [1985] na madach lekkich w Leszkowicach. Współczynniki k_c określono bowiem w warunkach do-



Rys. 1. Średnie wartości dekadowych współczynników roślinnych k_c obliczonych za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej dla różnych użytków zielonych (Sosnowica, lata 1974–1981 – a, b, 1982–1990 – c–e; a–e jak pod tabelą 1. i 2.)

Fig. 1. Mean decade values of plant coefficients calculated with Penman's formula in French modification for various grasslands (Sosnowica, years 1974–1981 – a, b, 1982–1990 – c–e; a–e as in Tables 1 and 2)

statku wody w glebie, natomiast współczynniki K w warunkach okresowych jej niedoborów.

Za podstawę określenia zależności $k_c(q_{\max})$ przyjęto następujące wartości współczynników k_c :

- łąka – trzecie dekady maja, lipca i września;
- pastwisko – trzecie dekady kwietnia, maja, czerwca, lipca, sierpnia i września;
- ruń systematycznie cięta – wiosną po ruszeniu wegetacji, po każdym wypasie pastwiska, po każdym skoszeniu łąki oraz określone w końcu tych dekad plony aktualne q_{\max} .

Na podstawie wyników badań z lat 1974–1990 określono zależności $k_c(q_{\max})$ dla sezonu wegetacyjnego, poszczególnych pokosów (łąka), odrostów (pastwisko) i dekad (systematycznie cięta ruń) – tabela 3. Zależności uzyskane dla łąki zarówno w całym sezonie wegetacyjnym, jak i poszczególnych pokosach, są istotne, gdyż $r > r_{0,01}$ oraz $F > F_{0,01}$, natomiast błąd standardowy oceny kształtuje się w granicach 0,23–0,34 i jest stosunkowo mały. W odniesieniu do pastwiska zależność $k_c(q_{\max})$ jest nieistotna w pierwszym odroście ze względu na dużą zmienność plonów w trzeciej dekadzie kwietnia, spowodowaną zróżnicowaniem początku sezonu wegetacyjnego [SZAJDA, OLSZTA, BABKIEWICZ, 1995]. W odrostach od drugiego do piątego zależności te są istotne, natomiast średni błąd standardowy oceny S kształtuje się w granicach 0,13–0,28. Omawiana zależność dla szóstego odrostu jest nieistotna z uwagi na malejący wpływ czynnika roślinnego na ewapotranspirację maksymalną, spowodowany wyleganiem traw, obserwowanym w trze-

cim pokosie łąki i szóstym odroście pastwiska. Zależność $k_c(q_{\max})$ dla systematycznie ciętej runi jest nieistotna na skutek ograniczenia wpływu plonu na wartość ewapotranspiracji maksymalnej w wyniku częstego koszenia. W konsekwencji wartości ewapotranspiracji maksymalnej runi są najściślej skorelowane bezpośrednio z ewapotranspiracją wskaźnikową [SZAJDA, 1997].

Zależności $k_c(q_{\max})$ do oceny ewapotranspiracji maksymalnej łąki, pastwiska i systematycznie ciętej runi na podstawie ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonej za pomocą wzoru Penmana w stosunku do zależności $k_c(q_{\max})$ do oceny ewapotranspiracji maksymalnej badanych użytków zielonych na podstawie parowania wody w ewaporometrze [SZAJDA, 1997] cechują: większe współczynniki korelacji r dla pokosów łąki oraz mniejsze dla sezonu wegetacyjnego, odrostów pastwiska i dekad systematycznie ciętej runi. Charakterystyczny jest natomiast mniejszy błąd standardowy S dla każdego z rozpatrywanych okresów. Wynika z tego, że ewapotranspiracja wskaźnikowa obliczona według wzoru Penmana z uwzględnieniem niedosytu wilgotności powietrza określanego metodą IMGW [SZAJDA, 1997] jest dobrym wskaźnikiem klimatycznym ewapotranspiracji maksymalnej łąki.

Uzyskane zależności $k_c(q_{\max})$ dla łąki, pastwiska i systematycznie ciętej runi (tab. 3) mogą być wykorzystane do prognozowania dekadowych wartości współczynników k_c na podstawie zmierzonego, obliczonego lub szacowanego plonu aktualnego w podanych przedziałach wartości q_{\max} . Zależności te są niezbędne do obliczenia dekadowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej na podstawie ewapotranspiracji wskaźnikowej według wzoru Penmana zgodnie z równaniem (3) oraz do określenia dekadowych wartości ewapotranspiracji rzeczywistej na podstawie ciśnienia ssącego gleby i ewapotranspiracji maksymalnej zgodnie z równaniem (4).

WNIOSKI

1. W warunkach wilgotności gleby zbliżonej do połowej pojemności wodnej ilość stosowanych nawozów oraz częstość koszenia wywiera wpływ na plon masy nadziemnej traw i ewapotranspirację maksymalną użytków zielonych. Wpływ ten ujawnia się w zróżnicowaniu wartości ewapotranspiracji maksymalnej łąki, pastwiska i systematycznie ciętej runi w stosunku do ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonej za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej.

2. Wpływ masy nadziemnej traw na kształtowanie się ewapotranspiracji maksymalnej łąki nawożonej na poziomie 270, 540, 660 kg NPK·ha⁻¹; pastwiska (660 kg NPK·ha⁻¹) i systematycznie ciętej runi (270 kg NPK·ha⁻¹) w okresach sezonu wegetacyjnego, pokosów, odrostów i dekad, wyrażony za pomocą dekadowych współczynników roślinnych k_c , obliczonych na podstawie wzoru Penmana, ujawnia się w istotnym zróżnicowaniu ich wartości w zależności od maksymalnego plonu aktualnego q_{\max} .

3. Uzyskane zależności $k_c(q_{\max})$ dla łąki, pastwiska i systematycznie ciętej runi mogą być wykorzystane do oceny dekadowych wartości współczynników k_c w pokosach i odrostach na podstawie zmierzonego, obliczonego lub szacowanego maksymalnego plonu aktualnego w podanych przedziałach wartości q_{\max} . Zależności te są niezbędne do obliczeń dekadowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej na podstawie wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej oraz dekadowych wartości ewapotranspiracji rzeczywistej na podstawie ciśnienia ssącego gleby F i ewapotranspiracji maksymalnej.

LITERATURA

- ELANDT R., 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego. Warszawa: PWRiL ss. 588.
- FEDDES R.A., 1985. Crop water use and dry matter production: state of the art. Tech. Bull. Les Besions en eau des Cultures. Paris: INRA s. 221–234.
- FEDDES R.A., KABAT P., VAN BAKEL P.J.T., BRONSWIJK J.J.B., HOLBERTSMA J.M., 1988. Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone – state of the art. Tech. Bull. Hydrol. no 100 s. 69–111.
- KACA E., KASPERSKA W., 1995. Model matematyczny ewapotranspiracji rzeczywistej użytków zielonych na glebie torfowo-murszowej. W: Torfoznawstwo w badaniach naukowych i praktyce. Sesja naukowa z okazji jubileuszu 45-lecia działalności naukowej i 70. rocznicy urodzin prof. dra hab. Henryka Okruszko. Falenty 6–7 XI 1995. Mater. Semin. nr 34. Falenty: Wydaw. IMUZ s. 315–321.
- KOWALIK P., 1976. Podstawy teoretyczne agrohydrologii Żuław. Acta Tech. Gedan. nr 11 ss. 94.
- ŁABĘDZKI L., 1997. Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. Rozpr. Habil. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 120.
- ŁABĘDZKI L., SZAJDA J., SZUNIEWICZ J., 1995. Ewapotranspiracja upraw rolniczych – terminologia, definicje i metody obliczeń. Mater. Instr. nr 33. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 15.
- MISZTAŁ A., 1985. Zależności ewapotranspiracji górskich użytków zielonych od wybranych czynników klimatycznych i plonu (na podstawie badań lizymetrycznych). Wiad. IMUZ t. 15 z. 2 s. 213–229.
- MISZTAŁ A., 2000. Odpływ wody i ewapotranspiracja w warunkach zróżnicowanego rolniczego użytkowania gleby górskiej w rejonie Małych Pienin. Rozpr. Habil. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 113.
- OKRUSZKO H., 1988. Zasady podziału gleb hydrogenicznych na rodzaje oraz łączenia rodzajów w kompleksy. Rocz. Gleb. t. 39 nr 1 s. 127–152.
- OLSZTA W., 1981. Badania dynamiki uwilgotnienia gleb, wzrostu traw i prognozowanie nawodnień metodą modelowania matematycznego. Falenty: IMUZ rozpr. habil. ss. 147.
- OLSZTA W., SZAJDA J., ZAWADZKI S., 1990. Wpływ ciśnienia ssącego gleby na wielkość ewapotranspiracji. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 390 s. 151–163.
- ROGUSKI W., 1979. Wstępne propozycje terminologii z zakresu ewapotranspiracji. Wiad. Melior. nr 2 s. 54–55.
- ROGUSKI W., ŁABĘDZKI L., WEYNA A., 1990. Zależność ewapotranspiracji użytków zielonych od wskaźnika klimatycznego (ETp), poziomu wody gruntowej, opadu i plonowania. Zesz. Nauk. AR Wroc. nr 191 s. 9–14.
- ROGUSKI W., WEYNA A., 1985. Ewapotranspiracja użytków zielonych na madach lekkich. Wiad. IMUZ t. 15 z. 2 s. 180–193.

- ROGUSKI W., SARNACKA S., DRUPKA S., 1988. Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów roślin uprawnych i użytków zielonych. Mater. Instr. nr Falenty: IMUZ 66 ss. 90.
- SARNACKA S., 1983. Wyznaczanie ewapotranspiracji rzeczywistej na podstawie ewapotranspiracji potencjalnej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 277 s. 219–227.
- SZAJDA J., 1997. Roślinne i glebowo-wodne wskaźniki ewapotranspiracji łąki na glebie torfowo-murszowej. Rozpr. Habil. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 62.
- SZAJDA J., 2001. Sezonowe współczynniki roślinne do oceny ewapotranspiracji maksymalnej użytków zielonych na podstawie parowania z lustra wody. Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 1 z. 1(1) s. 147–158.
- SZAJDA J., OLSZTA W., 2000. Influence of sucking pressure of soil water on evapotranspiration and meadow yielding. W: The role of physical and physicochemical properties of soils in functioning of ecosystems. Acta Agroph. nr 35 s. 183–190
- SZAJDA J., OLSZTA W., BABKIEWICZ Z., 1995. Warunki klimatyczne centralnej części Polesia Lubelskiego. W: Gleby i klimat Lubelszczyzny. Mater. konfer. nauk. Lublin 25 kwietnia 1994. Lublin: Wydaw. LTN s. 187–192.
- SZUNIEWICZ J., JAROS H., RADOMSKA A., 1990. Dekadowe współczynniki biologiczne do obliczania ewapotranspiracji łąki trzykośnej na glebie torfowo-murszowej w rejonie Biebrzy. Zesz. Nauk. AR Wroc. Melior. 35 no 191 s. 41–50.
- WIT DE C. T., 1969. On water and crop. Syllabus Int. Course Soil Sci. Wageningen: IAC.

Jan SZAJDA

**DECADE PLANT COEFFICIENTS
FOR THE EVALUATION OF THE MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION
OF GRASSLANDS FURTHER TO PENMAN'S EQUATION AND ACTUAL YIELD**

Key words: maximum evapotranspiration, maximum yield, plant coefficients

S u m m a r y

Results of lysimetric studies carried out in soil moisture conditions close to the field water capacity proved that the influence of the over-ground grass mass on the formation of the maximum evapotranspiration of meadows fertilized at a level of 270, 540, 660 kg NPK·ha⁻¹; pasture (660 kg NPK·ha⁻¹) and the greenness growth (270 kg NPK·ha⁻¹) in the periods of vegetative seasons, swathes, outgrowths and decades, expressed as decade values of plant coefficients k_c , calculated further to Penman's equation as modified in France which varied in relation to the size of the actual maximum yield q_{max} . The relations given in the present study $k_c(q_{max})$ for meadows, pasture and greenness growth can be used for the evaluation of decade values of k_c coefficients in swathes and outgrowths on the basis of measured, calculated or assessed maximum actual yield in the intervals of the q_{max} values given. The above relations are indispensable for the calculations of decade values of the maximum evapotranspiration levels of grasslands further to Penman's equation as modified in France on the basis of soil suction pressure F and maximum evapotranspiration.

Recenzenci:

prof. dr hab. Piotr Kowalik

doc. dr hab. Leszek Łabędzki

Praca wpłynęła do Redakcji 16.01.2004 r.

Tabela 3. Współczynniki roślinne k_c do oceny dekadowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej łąki, pastwiska i runi na podstawie ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonej za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej jako funkcja maksymalnego plonu aktualnego (q_{\max} , w $t \cdot ha^{-1}$)

Table 3. Plant coefficients k_c for the evaluation of decade maximum evapotranspiration of a meadow, pasture and sward based upon indicative evapotranspiration calculated with Penman's formula in French modification as a function of the current maximum yield (q_{\max} , in $t \cdot ha^{-1}$)

Rodzaj użytku Type of land use	Okres Period	Postać zależności Formula of the relationship	Przedział wartości q_{\max} Range of values q_{\max}	Df	r	$r_{0,01}$	F_{obl}	$F_{0,01}$	S
Łąka Meadow	sezon wegetacyjny vegetation season	$k_c = \exp(-0,4227 + 0,1297q_{\max})$	0,08–8,54	290	0,6000	0,2540 ^x	163,15	6,73	0,34
Łąka 3-kośna 3-cut meadow	I pokos cut	$k_c = \exp(-0,6244 + 0,1386q_{\max})$	0,08–8,41	90	0,7844	0,2673	143,96	6,93	0,24
	II pokos cut	$k_c = \exp(-0,5400 + 0,1355q_{\max})$	0,18–8,54	99	0,7662	0,2553	140,73	6,90	0,23
	III pokos cut	$k_c = 0,9022q_{\max}^{0,4207}$	0,22–6,72	97	0,7264	0,2580	108,38	6,89	0,33
Pastwisko kwaterowe Paddock's pasture	I odrost regrowth	$k_c = 0,5429q_{\max}^{-0,0798}$	0,01–2,14	39	0,2221	0,3982	2,02	7,33	0,42
	II odrost regrowth	$k_c = 0,5044 + 0,1138q_{\max}$	0,12–3,51	41	0,5981	0,3896	22,84	7,29	0,13
	III odrost regrowth	$k_c = 0,6015 + 0,0884q_{\max}$	0,17–3,75	41	0,5487	0,3896	17,66	7,29	0,14
	IV odrost regrowth	$k_c = 0,6698 q_{\max}^{0,1782}$	0,14–3,92	41	0,5179	0,3896	15,02	7,29	0,28
	V odrost regrowth	$k_c = 0,6891 + 0,1495q_{\max}$	0,17–4,88	38	0,5797	0,4032	19,23	7,35	0,21
	VI odrost regrowth	$k_c = \exp(-0,3824 + 0,2870q_{\max})$	0,04–1,26	49	0,2396	0,3577	2,98	7,18	0,37
Ruń 18-kośna Sward growth	dekada ten-day period	$k_c = 0,6136q_{\max}^{-0,0401}$	0,01–1,29	165	0,0811	0,2540	1,09	6,79	0,34

Objaśnienia: Df – liczba stopnia swobody, r – współczynnik korelacji, $r_{0,01}$ – wartość krytyczna r , gdy $\alpha = 0,01$, F_{obl} – wartość testu istotności, $F_{0,01}$ – wartość F , gdy $\alpha = 0,01$, S – błąd standardowy oceny.

Explanations: Df – degrees of freedom, r – correlation coefficient, $r_{0,01}$ – critical value r at a level of significance $\alpha = 0.01$, F_{obl} – value F_{obl} , $F_{0,01}$ – value $F_{0,01}$ at a level of significance $\alpha = 0.01$, S – standard error of evaluation.