

Wpłynęło 23.01.2014 r.
Zrecenzowano 30.05.2014 r.
Zaakceptowano 05.09.2014 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

WPŁYW POTENCJAŁU WODY W GLEBIE NA EWAPOTRANSPIRACJĘ I PLONOWANIE UŻYTKÓW ZIELONYCH

Jan SZAJDA^{ABCDEF}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach

Streszczenie

Na podstawie badań polowych na użytkach zielonych określono, dla okresów kwiecień–maj, czerwiec–lipiec i sierpień–wrzesień, współczynniki glebowo-wodne k_{s1} , do oceny wpływu wilgotności gleby na ewapotranspirację rzeczywistą, oraz współczynniki glebowo-wodne k_{s2} , do oceny wpływu wilgotności gleby na plony rzeczywiste, w zależności od bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej w warunkach suszy meteorologicznej umiarkowanej, silnej i ekstremalnej, spowodowanej występowaniem ciągów dni bezopadowych definiowanych wg KOŹMIŃSKIEGO [1983, 1986]. Wpływ wilgotności gleby na ewapotranspirację i plon roślin można określić poprzez redukcję wyznaczonych empirycznie maksymalnych wartości ewapotranspiracji [SZAJDA 1997a, b; 2009] i ilości plonów [SZAJDA 1995a,b; 2011] za pomocą tych współczynników. Są one szczególnie przydatne na etapie projektowania melioracji użytków zielonych.

Słowa kluczowe: ewapotranspiracja rzeczywista i maksymalna użytków zielonych, ewapotranspiracja wskaźnikowa, plon rzeczywisty i maksymalny użytków zielonych, potencjał wody w glebach

WSTĘP

Wilgotność gleb, określana udziałem objętościowym wody w glebie, wartością $pF = \lg F$ [ZAWADZKI 1973] lub jako potencjał wody w glebie F , wyrażony w ujemnych wartościach ciśnienia (w hPa), stanowi zasadniczy czynnik oddziałujący na plonowanie i ewapotranspirację roślin łąkowych. Z badań empirycznych wynika, że w warunkach dostatku wody i składników pokarmowych w glebie plon siana jest maksymalny [SZAJDA 1995a, b], a ewapotranspiracja rzeczywista charakteryzuje największe ekonomicznie uzasadnione zużycie wody, przyjmowane za

Do cytowania For citation: Szajda J. 2014. Wpływ potencjału wody w glebie na ewapotranspirację i plonowanie użytków zielonych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 14. Z. 4(48) s. 95–122.

ewapotranspirację maksymalną [SZAJDA 1997a, b; 2009]. W okresach suszy meteorologicznej, spowodowanej wystąpieniem ciągów dni bezopadowych, pobieranie wody przez korzenie jest utrudnione, ponieważ czynnikiem ograniczającym wzrost roślin, a tym samym plon i ewapotranspirację, jest wilgotność gleby.

Wpływ wilgotności gleby w okresach pierwszego (IV–V), drugiego (VI–VII) i trzeciego (VIII–IX) odrostu runi łąk na ewapotranspirację rzeczywistą użytków zielonych można określić za pomocą redukcji wyznaczonych empirycznie, maksymalnych wartości ewapotranspiracji [SZAJDA 1997a, b; 2009], stosując współczynniki glebowo-wodne k_{s1} , natomiast na plon rzeczywisty – przez redukcję określonych empirycznie maksymalnych ilości plonów [SZAJDA 1995a, b], stosując współczynniki glebowo-wodne k_{s2} , zależne od wartości potencjału wody glebowej.

W literaturze naukowej można spotkać tylko fragmentaryczne dane, dotyczące zależności współczynników glebowo-wodnych k_{s1} i k_{s2} w okresie pierwszego (IV–V), drugiego (VI–VII) i trzeciego (VIII–IX) odrostu traw od potencjału wody w glebie, szczególnie przydatne na etapie projektowania melioracji użytków zielonych do prognozowania rzeczywistych wartości ewapotranspiracji i ilości plonów.

Celem niniejszej pracy jest określenie, dla pierwszego (IV–V), drugiego (VI–VII) i trzeciego (VIII–IX) odrostu traw, zależności współczynników glebowo-wodnych k_{s1} , do oceny wpływu wilgotności gleb na ewapotranspirację rzeczywistą, oraz współczynników glebowo-wodnych k_{s2} , do oceny wpływu wilgotności gleb na plony rzeczywiste, od potencjału wody w glebach torfowo-murszowych i murszowatych, w warunkach suszy meteorologicznej umiarkowanej, silnej i ekstremalnej, spowodowanej występowaniem ciągów dni bezopadowych definiowanych wg KOŹMIŃSKIEGO [1983, 1986], przez określenie redukcji wyznaczonych empirycznie maksymalnych wartości ewapotranspiracji [SZAJDA 1997a, b; 2009] i ilości plonów [SZAJDA 1995a, b]. Zależności takie są szczególnie przydatne na etapie projektowania melioracji użytków zielonych.

PODSTAWY TEORETYCZNE I ZAŁOŻENIA

W reakcji fotosyntezy zachodzącej w liściach roślin, dwutlenek węgla, z udziałem światła i wody, jest przekształcany w węglowodany. Gdy rośliny łąkowe są odpowiednio zaopatrzone w wodę i składniki pokarmowe z gleby, to głównym czynnikiem decydującym o wydatku reakcji fotosyntezy jest natężenie radiacji słonecznej, największe w warunkach bezchmurnych i bezopadowych (charakterystycznych dla suszy meteorologicznej), a najmniejsze – w warunkach dużego zachmurzenia (charakterystycznego dla okresów obfitujących w opady) [KOWALIK 1976]. Tylko niewielka ilość energii promienistej słońca bierze udział w procesie fotosyntezy. Pozostała jej ilość jest zużywana na ewaporację wody z gleby i transpirację z liści, czyli na ewapotranspirację. Dlatego istnieje ścisły związek między

wartością ewapotranspiracji a wydatkiem reakcji fotosyntezy, czyli ilością plonu [KOWALIK 1976; ŁABĘDZKI 1997; SZAJDA 2009].

ŁABĘDZKI i KASPERSKA [1994] ewapotranspirację użytków zielonych przedstawiają jako iloczyn funkcji trzech grup czynników:

$$ET = f_1(S) f_2(P) f_3(M) \quad (1)$$

gdzie:

- ET – ewapotranspiracja rzeczywista;
- S – czynniki glebowe;
- P – czynniki roślinne;
- M – czynniki meteorologiczne.

Funkcja $f_1(S)$ opisuje zazwyczaj wpływ wilgotności gleby na intensywność procesu ewapotranspiracji i wydatku reakcji fotosyntezy, funkcja $f_2(P)$ – wpływ parametrów roślinnych, takich jak faza rozwoju (wyrażona przez współczynniki roślinne charakterystyczne dla kolejnych dekad i pokosów w okresie wegetacyjnym), wielkość powierzchni liści LAI (ang. leaf area index), plon roślin (końcowy lub dynamika jego przyrostu) zależny od poziomu nawożenia i częstotliwości koszenia. Wpływ czynników meteorologicznych – funkcja $f_3(M)$ – opisuje ewapotranspiracja wskaźnikowa ET_0 , obliczona na podstawie danych meteorologicznych.

Ograniczając analizę wpływu czynników glebowych, roślinnych i meteorologicznych na ewapotranspirację i plon użytków zielonych do okresów pierwszego (IV–V), drugiego (VI–VII) i trzeciego (VIII–IX) odrostu runi, zależność (1) można sprowadzić do znanej metody współczynników roślinnych i glebowo-wodnych:

$$ET = k_s k_c ET_0 \quad (2)$$

gdzie:

- ET – ewapotranspiracja rzeczywista w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX;
- k_s – współczynnik glebowo-wodny opisujący wpływ wilgotności gleby na ewapotarnspirację i plon w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX;
- k_c – współczynnik roślinny opisujący wpływ parametrów roślinnych na ewapotarnspirację i plon w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX;
- ET_0 – ewapotranspiracja wskaźnikowa obliczona na podstawie danych meteorologicznych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX.

Wpływ czynników roślinnych i meteorologicznych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX na rzeczywiste wartości ewapotranspiracji i ilość plonów można określić tylko w warunkach optymalnej wilgotności gleby ($k_s = 1$), zapewniającej uzyskanie maksymalnego plonu oraz największego, ekonomicznie uzasadnionego zużycia wody na ewapotranspirację. Określone w takich warunkach wartości ewapotranspiracji maksymalnej i maksymalne ilości plonów łąki 3-kośnej intensywnie, wysoko i nisko nawożonej, łąki 6-kośnej (pastwisko kwaterowe) intensywnie nawożonej

oraz łąki 18-kośnej (ruń łąkowa) nisko nawożonej podaje SZAJDA [1995a, b; 1997a, b]. Autor ten określił współczynniki roślinne k_c , do wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej [SZAJDA, 1997a] i do parowania z lustra wody mierzonego w ewaporometrze, zależne od plonów [SZAJDA 1997b] oraz zależności ewapotranspiracji rzeczywistej od plonów [SZAJDA 2009]. W omawianych warunkach ($k_s = 1$) $ET = ET_{\max}$, a końcowy plon rzeczywisty $Q = Q_{\max}$. Uwzględniając to w równaniu (2) można napisać:

$$ET_{\max} = k_c ET_{\text{Pen}} \quad (3)$$

$$ET_{\max} = k_c E_w \quad (4)$$

$$ET_{\max} = a + bQ_{\max} \quad (5)$$

oraz:

$$ET = k_s ET_{\max} \quad (6)$$

gdzie:

- ET_{\max} – ewapotranspiracja maksymalna w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, określona empirycznie w warunkach $k_s = 1$ [SZAJDA 1997a, b; 2009; 2011], mm;
- k_c – współczynniki roślinne dla okresów IV–V, VI–VII, VIII–IX do wzoru Penmana [SZAJDA 1997a] oraz do parowania z lustra wody mierzonego w ewaporometrze [SZAJDA 1997b], zależne od plonów $Q = Q_{\max}$;
- ET_{Pen} – ewapotranspiracja wskaźnikowa obliczona za pomocą wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX [SZAJDA 1997a, b], mm;
- E_w – parowanie z lustra wody mierzone w ewaporometrze w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX [SZAJDA 1997a, b], mm;
- k_s – współczynnik glebowo-wodny w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, zależny od potencjału wody w glebie F , niezbędny do rozwiązania równań (2) i (6).

Wpływ potencjału wody w glebie F na rzeczywistą wartość ewapotranspiracji ET w okresach odrostów określono z równania:

$$ET = k_{s1}(F) ET_{\max} \quad (7)$$

stąd:

$$k_{s1}(F) = \frac{ET}{ET_{\max}}, \quad 1 \geq k_{s1}(F) \geq 0 \quad (8)$$

gdzie:

- ET – ewapotranspiracja rzeczywista w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX; w warunkach zróżnicowanego potencjału wody glebowej F , $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$;
- $k_{s1}(F)$ – współczynnik glebowo-wodny zależny od wartości F , obliczony w warunkach bezpośredniego oddziaływania potencjału F na wartość ewapotranspiracji;
- ET_{\max} – ewapotranspiracja maksymalna w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$;
- F – najmniejsza wartość potencjału wody glebowej w czasie ciągów dni bezopadowych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, hPa.

Wzrost roślin polega na przetwarzaniu energii promienistej w procesie fotosyntezy na biomasę roślinną. W warunkach niedoboru wody w glebie ($k_s < 1,0$) zmniejsza się zarówno wartość ewapotranspiracji ET , jak i ilość plonu Q [FEDDES 1985; SZAJDA 1997a; 2011; SZAJDA, OLSZTA 2000]. Biorąc za podstawę ścisły związek pomiędzy wartością ewapotranspiracji a ilością plonu oraz zakładając jednakową reakcję ewapotranspiracji i plonu na niedobór wody w glebie, wpływ potencjału wody glebowej F na rzeczywistą wysokość plonu Q w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX można obliczyć z równania:

$$Q = k_{s2}(F) Q_{\max} \quad (9)$$

stąd:

$$k_{s2}(F) = \frac{Q}{Q_{\max}}, \quad 1 \geq k_{s2}(F) \geq 0 \quad (10)$$

gdzie:

- Q – średnia w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX rzeczywista ilość plonu w warunkach zróżnicowanego potencjału wody glebowej F , $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$;
- $k_{s2}(F)$ – współczynnik glebowo-wodny w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, zależny od wartości F , obliczony w warunkach bezpośredniego oddziaływania potencjału F na wysokość plonu;
- Q_{\max} – plon maksymalny w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, określony empirycznie w warunkach $k_s = 1$ [SZAJDA 1995a, b; 1997a, b; 2011] lub prognozowany, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$;
- F – jak w równaniach (7) i (8).

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Podstawę empirycznego rozwiązania równań (7)–(10) stanowiły średnie dla okresów IV–V, VI–VII i VIII–IX dobowe wartości ET , ET_{\max} , Q , Q_{\max} określone w badaniach lizymetrycznych w latach 1977–1994 oraz najmniejsze w tych okre-

sach wartości potencjału wody F i największe głębokości lustra wody h na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w czasie ciągów dni bezopadowych, określone w badaniach polowych w latach 1976–1981 [SZAJDA 2009; 2011].

Okresy 1., 2. i 3. odrostu, w których określano wartości ET i ET_{\max} oraz ilości plonów Q i Q_{\max} różniły się liczbą dni [SZAJDA 2011], dlatego – aby wyniki pomiarów z poszczególnych lat były porównywalne – wartości ET i ET_{\max} wyrażono w $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$, a ilości Q i Q_{\max} w $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Pozwoliło to na odniesienie obliczonych na ich podstawie współczynników k_{s1} i k_{s2} ściśle do okresów IV–V, VI–VII i VIII–IX.

Metody charakterystyki suszy meteorologicznej umiarkowanej, silnej i ekstremalnej, spowodowanej występowaniem ciągów dni bezopadowych definiowanych wg KOŹMIŃSKIEGO [1983, 1986] oraz metody badań:

- potencjału wody glebowej F w lizymetrach;
 - głębokości lustra wody gruntowej h i potencjału wody F na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w warunkach suszy meteorologicznej umiarkowanej, silnej i ekstremalnej;
 - wpływu potencjału wody glebowej F na ewapotranspirację rzeczywistą i plony łąk na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX;
 - zależności współczynników glebowo-wodnych k_{s1} i k_{s2} od potencjału wody F ;
 - oceny istotności uzyskanych zależności $k_{s1}(F)$, $k_{s2}(F)$
- podano w innych pracach SZAJDY [2009; 2011].

WYNIKI BADAŃ

CHARAKTERYSTYKA SUSZY METEOROLOGICZNEJ METODĄ CIĄGÓW DNI BEZOPADOWYCH

Charakterystykę suszy meteorologicznej metodą ciągów dni bezopadowych definiowanych wg KOŹMIŃSKIEGO [1983; 1986] w niniejszej pracy ograniczono do podania dat i długości ciągów dni bezopadowych T (tab. 1). Występowanie ciągów dni bezopadowych wywierało wpływ na kształtowanie się wilgotności badanych gleb torfowo-murszowych i murszowatych w okresie VI–IX. Długość ciągów dni bezopadowych T , powodująca zmniejszenie potencjału wody F w warstwie korzeniowej do wartości -500 (susza umiarkowana), -1000 (susza silna) i < -1000 hPa (susza ekstremalna) różnicowała się w zależności od warunków glebowo-wodnych siedlisk – malała, gdy wzrastał stopień posuszości gleb, waloryzowany przynależnością do prognostycznych kompleksów wilgotnościowo-glebowych (PKWG) i potencjalnych hydrogenicznych siedlisk wilgotnościowych (PHSW) [SZAJDA 2009]. Wykorzystując związki funkcyjne między wilgotnością warstwy korzeniowej gleb torfowo-murszowych i murszowatych a czasem wysychania t równym

Tabela 1. Daty i długość ciągów dni bezopadowych T wg KOŹMIŃSKIEGO [1983, 1986] w okresie IV–IX w północnej (Przegaliny) i centralnej (Sosnowica) części Polesia Lubelskiego**Table 1.** Dates and the length of the rain-free periods T acc. to KOŹMIŃSKI [1983, 1986] between April and September in northern (Przegaliny) and central (Sosnowica) part of Polesie Lubelskie

Długość ciągów dni bezopadowych T , doby		Length of rain-free periods T , days			
Przegaliny					
1976	1977	1978	1979	1980	1981
<u>1–11 IV</u>	<u>26 IV–13 V</u>	<u>13–23 V</u>	<u>10–24 V</u>	<u>5–21 V</u>	<u>1–20 IV</u>
11 dni days	18 dni days	11 dni days	15 dni days	17 dni days	20 dni days
<u>29 IV–12 V</u>	<u>24 VIII–6 IX</u>		<u>29 V–13 VI</u>	<u>2–30 V</u>	<u>28 VI–12 VII</u>
14 dni days	14 dni days		16 dni days	29 dni days	15 dni days
<u>19 VI–8 VII</u>			<u>4–30 IX</u>		<u>30 VII–14 VIII</u>
20 dni days			27 dni days		16 dni days
<u>13–31 VII</u>					<u>29 VIII–10 IX</u>
19 dni days					13 dni days
<u>21 VIII–23 IX</u>					
34 dni days					
Sosnowica					
1976	1977	1978	1979	1980	1981
<u>1–11 IV</u>	<u>27 IV–13 V</u>	<u>30 V–9 VI</u>	<u>8–21 IV</u>	<u>5–21 V</u>	<u>1–20 IV</u>
11 dni days	17 dni days	11 dni days	<u>14 dni</u> days	17 dni days	20 dni days
<u>28 IV–12 V</u>	<u>23 VIII–6 IX</u>	<u>23 VII–2 VIII</u>	<u>10–24 V</u>	<u>2–30 V</u>	<u>28 VI–12 VII</u>
15 dni days	15 dni days	11 dni days	15 dni days	29 dni days	15 dni days
<u>29 V–9 VI</u>			<u>29 V–13 VI</u>		<u>30 VII–14 VIII</u>
12 dni days			16 dni days		16 dni days
<u>20 VI–8 VII</u>			<u>5–22 IX</u>		<u>29 VIII–10 IX</u>
19 dni days			18 dni days		13 dni days
<u>21 VIII–23 IX</u>					
34 dni days					
1986	1987	1988	1989	1990	
<u>19 IV–8 V</u>	<u>9–19 IV</u>	<u>15 IV–9 V</u>	<u>15–25 V</u>	<u>29 IV–10 V</u>	
19 dni days	11 dni days	25 dni days	11 dni days	12 dni days	
<u>13–27 VI</u>	<u>25 VI–8 VII</u>	<u>4–20 VIII</u>	<u>1–11 VII</u>	<u>11–22 VI</u>	
15 dni days	14 dni days	17 dni days	11 dni days	11 dni days	
<u>2–12 IX</u>			<u>14–4 VIII</u>	<u>24 VII–5 VIII</u>	
11 dni days			11 dni days	13 dni days	
			<u>16–27 IX</u>		
			12 dni days		
1991	1992	1993	1994		
<u>6–16 VIII</u>	<u>15 VII–1 VIII</u>	<u>19 IV–14 V</u>	<u>19 VI–7 VII</u>		
12 dni days	18 dni days	26 dni days	19 dni days		
	<u>5–31 VIII</u>	<u>1–11 VI</u>	<u>11 VII–8 VIII</u>		
	27 dni days	11 dni days	29 dni days		
	<u>17–30 IX</u>	<u>11–21 VIII</u>			
	14 dni days	11 dni days			

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

długości ciągu bezopadowego T oraz wyznaczoną na podstawie badań polowych i lizymetrycznych najmniejszą wartością potencjału wody glebowej F w ciągach dni bezopadowych, stwierdzono że w badanych latach, w okresach IV–V, susza umiarkowana pojawiła się 17-krotnie, a susza silna 2-krotnie; w okresach VI–VII susza umiarkowana występowała 23-krotnie, susza silna 1 raz, a susza ekstremalna 6-krotnie, natomiast w okresach VIII–IX susza umiarkowana pojawiła się 17-krotnie, susza silna 3-krotnie, a susza ekstremalna 7-krotnie. Analizę wyników badań ewapotranspiracji, plonów i potencjału wody F w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX ograniczono do odrostów z suszą meteorologiczną umiarkowaną, silną i ekstremalną.

EWAPOTRANSPIRACJA UŻYTKÓW ZIELONYCH NA GLEBACH TORFOWO-MURSZOWYCH I MURSZOWATYCH W ODROSTACH Z SUSZĄ UMIARKOWANĄ, SILNĄ I EKSTREMALNĄ

Wpływ ustalonej głębokości lustra wody gruntowej $h = 40, 50, 60, 70, 90, 100, >100$ cm na wartości ewapotranspiracji rzeczywistej ET zaznaczył się w odrostach z suszą umiarkowaną (lata 1977–1981 i 1986–1988) oraz – szczególnie wyraźnie – z suszą silną i ekstremalną (lata 1989–1994 w lizymetrach z głębokością wody gruntowej 70, 100, >100 cm, w których wyeliminowano opady przez zadaszenie) (tab. 2). W odrostach tych głębokość wody gruntowej $>h_{opt}$ powodowała zmniejszanie się wartości ET . Wartość ET zmniejszała się, gdy wzrastała głębokość lustra wody gruntowej, malała także wartość potencjału wody glebowej F . W warunkach głębokości wody gruntowej $<h_{opt}$ pojawiało się nadmierowe zużycie wody na ewapotranspirację.

Wartości ewapotranspiracji maksymalnej ET_{max} w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX (tab. 2, 3), odpowiadające ewapotranspiracji rzeczywistej ET w warunkach maksymalnej ilości plonu końcowego Q_{max} , wyznaczają optymalny poziom wody gruntowej h_{opt} , w warunkach którego potencjał wody F wynosi od -15 do -379 hPa, a podsiąk kapilarny ze strefy nasyconej całkowicie równoważy rozchody wilgoci na ewapotranspirację. Wartości ET i ET_{max} były największe w drugim (VI–VII), najmniejsze zaś w trzecim (VIII–IX) odroście, podobnie jak wartości czynników meteorologicznych, takich jak temperatura, niedosyt wilgotności powietrza, usłonecznienie [SZAJDA i in. 2007]. Wynika z tego, że ewapotranspiracja maksymalna użytków zielonych w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX w warunkach dostatku wody w glebie jest uzależniona od czynników meteorologicznych i plonów, co potwierdza wyniki innych badań [ŁABĘDZKI 1997; ŁABĘDZKI, KASPERSKA 1994; SZAJDA 1997a, b].

Wartości ET w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w warunkach zmiennej głębokości lustra wody gruntowej (tab. 2, 3) zmniejszały się, gdy wzrastała głębokość lustra wody gruntowej i malała wartość potencjału wody glebowej F . Wynika z tego, że czynnikiem ograniczającym

rozchody na ewapotranspirację rzeczywistą był spadek potencjału wody glebowej F . Wartości ET_{\max} z 1979 r. oraz z lat 1989–1994, wyznaczone w lizymetrach w Sosnowicy w warunkach głębokości lustra wody $h = h_{\text{opt}}$ i potencjału wody F w przedziale od -15 do -379 hPa, przyjęte jako odpowiadające glebom torfowo-murszowym i murszowatym, były znacznie większe od wartości ET uzyskanych w warunkach $h > h_{\text{opt}}$ i potencjału F w przedziale -63 do -15850 hPa (tab. 3). Zróżnicowanie to potwierdza istotny wpływ potencjału wody F na wartości ET .

PLONOWANIE UŻYTKÓW ZIELONYCH NA GLEBACH TORFOWO-MURSZOWYCH I MURSZOWATYCH W ODROSTACH Z SUSZĄ UMIARKOWANĄ, SILNĄ I EKSTREMALNĄ

Z ilości plonów maksymalnych Q_{\max} i rzeczywistych Q w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX w warunkach ustalonej głębokości zwierciadła wody gruntowej $h = 40, 50, 60, 70, 90, 100, >100$ cm (bez wody gruntowej – przerwany podsiąk kapilarny na głębokości 110 cm) (tab. 4) wynika, że maksymalny wydatek reakcji fotosyntezy Q_{\max} występował w warunkach, kiedy czynnik wodny nie wywierał wpływu na jego ilość. W takich warunkach w glebie występował optymalny poziom wody gruntowej h_{opt} , potencjał wody F wynosił od -15 do -379 hPa, a podsiąk kapilarny ze strefy nasyconej całkowicie równoważył rozchody wilgoci na ewapotranspirację. Plony Q_{\max} były największe w drugim (VI–VII), a najmniejsze w trzecim (VIII–IX) odroście (tab. 4), podobnie jak wartości czynników meteorologicznych, takich jak temperatura, prędkość wiatru, niedosyt wilgotności powietrza i usłonecznienie [SZAJDA i in. 2007], wywierających wpływ na wartość ewapotranspiracji wskaźnikowej, plonów maksymalnych i ewapotranspiracji maksymalnej [SZAJDA 1997a].

Wpływ ustalonej głębokości zwierciadła wody gruntowej h na rzeczywiste plony Q zaznaczył się w odrościach z suszą umiarkowaną (lata 1977–1981 i 1986–1988) oraz – szczególnie wyraźnie – w latach 1989–1994 w odroście drugim (VI–VII) i trzecim (VIII–IX) z suszą umiarkowaną, silną i ekstremalną, w lizymetrach z głębokością wody gruntowej 70, 100, >100 cm (w których wyeliminowano opady przez zadaszenie). W odrościach tych głębokość wody gruntowej $> h_{\text{opt}}$ powodowała zmniejszanie się plonu Q na skutek spadku potencjału wody F poniżej wartości krytycznych, natomiast głębokość wody $< h_{\text{opt}}$ powodowała zmniejszanie się Q (tab. 4) oraz nadmiarowe zużycie wody (tab. 2).

Plony rzeczywiste Q w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX na glebach torfowo-murszowych i murszowatych, w warunkach zmiennej głębokości lustra wody gruntowej, zmniejszały się, gdy zwiększała się głębokość lustra wody gruntowej i malała wartość potencjału wody glebowej F (tab. 5). Wynika z tego, że czynnikiem ograniczającym końcowe plony rzeczywiste Q był spadek potencjału wody glebowej F .

Tabela 2. Ewapotranspiracja rzeczywista ET ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX, najmniejszy w ciągach dni bezopadowych potencjał wody glebowej w warstwie korzeniowej F (hPa) oraz współczynniki glebowo-wodne k_{s1} w lizymetrach o ustalonej głębokości lustra wody gruntowej h (cm) w Sosnowicy

Table 2. Actual evapotranspiration ET ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) in April-May, June-July and August-September, the smallest soil water potential in root zone during rain-free periods F (hPa) and soil-water coefficients k_{s1} in lysimeters of fixed depth of ground water table h (cm) in Sosnowica

Okres Period	Rok Year	ET	F	k_{s1}	ET	F	k_{s1}	ET	F	k_{s1}	ET	F	k_{s1}	ET	F	k_{s1}	ET	F	k_{s1}	ET	F	k_{s1}
		$h = 40$ cm			$h = 50$ cm			$h = 60$ cm			$h = 70$ cm			$h = 90$ cm			$h = 100$ cm			$h > 100$ cm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
IV–V	1977	3,06	–	1,00	3,07	–	1,00	3,22	–	1,05	3,07	–	1,00	3,13	–	1,02	–	–	–	–	–	–
	1978	2,32	–	0,88	2,51	–	0,95	2,50	–	0,94	2,65	–	1,00	2,58	–	0,97	–	–	–	–	–	–
	1979	4,23	–35	1,08	3,95	–47	1,00	3,38	–109	0,86	3,26	–535	0,83	2,40	–584	0,61	–	–	–	–	–	–
	1980	2,87	–	1,22	2,07	–	0,88	2,35	–	1,00	2,38	–	1,01	1,99	–	0,85	–	–	–	–	–	–
	1981	2,26	–	1,03	2,19	–	1,00	1,93	–	0,88	2,19	–	1,00	2,39	–	1,09	–	–	–	–	–	–
	1986	–	–	–	3,18	–	1,45	2,63	–	1,20	2,89	–	1,32	2,32	–	1,06	2,19	–	1,00	–	–	–
	1987	–	–	–	2,60	–	1,06	2,25	–	0,91	2,46	–	1,00	2,05	–	0,83	1,54	–	0,63	–	–	–
	1988	–	–	–	2,64	–	1,06	2,44	–	0,98	2,48	–	1,00	1,54	–	0,62	1,61	–	0,65	–	–	–
	1989	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,29	–	1,06	–	–	–	4,03	–	1,00	3,32	–	0,82
	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,89	–	1,00	–	–	–	2,35	–	0,81	2,31	–	0,80
	1991	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,91	–	1,00	–	–	–	2,11	–	0,73	2,23	–	0,77
	1992	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,78	–	1,00	–	–	–	3,09	–	0,82	3,18	–	0,84
	1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,43	–	1,00	–	–	–	1,66	–	0,48	2,23	–	0,65
	1994	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,90	–	1,00	–	–	–	3,02	–	1,04	3,08	–	1,06
	średnia mean	2,98			2,80			2,60			2,95			2,30			2,41			2,72		
VI– VII	1977	5,15	–18	1,06	4,45	–24	1,00	4,79	–41	1,08	4,26	–194	0,96	3,89	–335	0,87	–	–	–	–	–	–
	1978	4,38	–22	1,09	4,00	–23	1,00	3,84	–41	0,96	3,55	–328	0,89	3,25	–330	0,81	–	–	–	–	–	–
	1979	4,31	–28	1,07	4,30	–36	1,06	4,04	–57	1,00	3,35	–292	0,83	2,95	–394	0,73	–	–	–	–	–	–
	1980	4,27	–28	1,11	3,83	–35	0,99	3,86	–46	1,00	3,61	–65	0,94	3,46	–102	0,90	–	–	–	–	–	–
	1981	2,58	–22	0,96	2,70	–53	0,96	2,53	–53	0,90	2,80	–82	1,00	2,39	–166	0,85	–	–	–	–	–	–
	1986	–	–	–	4,03	–122	1,04	3,86	–125	1,00	3,42	–130	0,89	3,30	–307	0,85	2,69	–307	0,70	–	–	–
	1987	–	–	–	4,46	–91	1,00	3,50	–103	0,78	3,60	–116	0,81	2,52	–336	0,57	2,08	–380	0,47	–	–	–
1988	–	–	–	5,11	–147	1,00	4,21	–148	0,82	4,31	–255	0,84	3,19	–513	0,62	3,27	–577	0,64	–	–	–	
1989	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,09	–119	1,00	–	–	–	4,03	–575	0,98	1,84	–656	0,45	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
VI–	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,73	<u>–125</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	3,15	<u>–653</u>	<u>0,67</u>	<u>2,72</u>	<u>–738</u>	<u>0,58</u>
VII	1991	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6,06	<u>–156</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	2,57	<u>–487</u>	<u>0,42</u>	<u>2,08</u>	<u>–614</u>	<u>0,34</u>
	1992	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,06	<u>–143</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	2,96	<u>–484</u>	<u>0,58</u>	<u>1,75</u>	<u>–648</u>	<u>0,35</u>
	1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,94	<u>–89</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	1,68	<u>–494</u>	<u>0,57</u>	<u>1,45</u>	<u>–507</u>	<u>0,49</u>
	1994	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,04	<u>–147</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	3,77	<u>–656</u>	<u>0,75</u>	<u>3,33</u>	<u>–801</u>	<u>0,66</u>
	średnia	4,16			4,12			3,83			4,07			3,12			2,85			1,98		
	mean																					
VIII–	1977	2,47	<u>–15</u>	1,10	2,11	<u>–20</u>	0,94	2,24	<u>–35</u>	1,00	2,19	<u>–129</u>	0,98	2,24	<u>–370</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	–	–	–
IX	1978	1,57	<u>–11</u>	0,97	1,40	<u>–21</u>	0,87	1,35	<u>–30</u>	0,84	1,44	<u>–266</u>	0,89	1,61	<u>–379</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	–	–	–
	1979	2,43	<u>–27</u>	1,10	2,37	<u>–34</u>	1,08	2,36	<u>–50</u>	1,07	2,22	<u>–105</u>	1,01	2,20	<u>–215</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	–	–	–
	1980	1,81	<u>–31</u>	0,98	1,79	<u>–37</u>	0,97	1,89	<u>–54</u>	1,02	1,71	<u>–83</u>	0,92	1,85	<u>–182</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	–	–	–
	1981	1,92	<u>–15</u>	<u>1,00</u>	<u>1,70</u>	<u>–45</u>	0,88	1,81	<u>–52</u>	<u>0,94</u>	<u>1,68</u>	<u>–64</u>	<u>0,87</u>	<u>1,56</u>	<u>–121</u>	<u>0,81</u>	–	–	–	–	–	–
	1986	–	–	–	1,63	<u>–118</u>	1,13	1,16	<u>–121</u>	0,81	1,34	<u>–132</u>	0,93	1,44	<u>–159</u>	<u>1,00</u>	1,03	<u>–163</u>	0,71	–	–	–
	1987	–	–	–	2,02	<u>–84</u>	1,06	1,91	<u>–99</u>	1,00	1,83	<u>–87</u>	0,96	1,56	<u>–167</u>	0,82	1,32	<u>–208</u>	0,69	–	–	–
	1988	–	–	–	2,22	<u>–126</u>	1,09	2,34	<u>–152</u>	1,15	2,06	<u>–190</u>	1,01	2,03	<u>–254</u>	<u>1,00</u>	1,54	<u>–483</u>	0,76	–	–	–
	1989	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,72	<u>–110</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	1,38	<u>–519</u>	<u>0,80</u>	<u>0,77</u>	<u>–572</u>	<u>0,45</u>
	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,78	<u>–125</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	0,75	<u>–653</u>	<u>0,42</u>	<u>0,55</u>	<u>–738</u>	<u>0,31</u>
	1991	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,98	<u>–156</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	1,04	<u>–487</u>	<u>0,35</u>	<u>0,68</u>	<u>–614</u>	<u>0,23</u>
	1992	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,22	<u>–160</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	1,63	<u>–584</u>	<u>0,51</u>	<u>1,25</u>	<u>–594</u>	<u>0,39</u>
	1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,59	<u>–87</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	0,92	<u>–542</u>	<u>0,58</u>	<u>0,57</u>	<u>–649</u>	<u>0,36</u>
	1994	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,57	<u>–135</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	0,74	<u>–792</u>	<u>0,47</u>	<u>0,57</u>	?	<u>0,36</u>
	średnia	2,07			1,92			1,90			1,93			1,82			1,15			1,39		
	mean																					

Objaśnienia: pogrubioną czcionką zaznaczono wartości ET_{max} dla okresów IV–V, VI–VII i VIII–IX, odpowiadające ewapotranspiracji rzeczywistej ET w warunkach maksymalnej ilości plonu końcowego Q_{max} , wskazujące optymalny poziom wody gruntowej h_{opt} , w warunkach którego podsiąk kapilarny ze strefy nasyconej całkowicie równoważy rozchody wilgoci na ewapotranspirację [SZAJDA 1997; 2009; 2011]; zakres potencjału F od -15 do -500 hPa – susza umiarkowana, od -500 do -1000 hPa – susza silna, < -1000 hPa – susza ekstremalna [SZAJDA, 2009]; „–” – brak danych, ? – brak danych z powodu zapowietrzania się tensjometrów; 3,95 – wartości podkreślone uzyskane w okresach z suszą umiarkowaną, silną i ekstremalną.

Explanations: values of ET_{max} corresponding to actual evapotranspiration ET at maximum final yield Q_{max} indicating optimum ground water depth h_{opt} (when capillary rising from saturated zone equilibrates evapotranspiration [SZAJDA 1997; 2009; 2011]) are given in bold; potential F from -15 to -500 hPa – moderate drought, from -500 to -1000 hPa – severe drought, < -1000 hPa – extreme drought [SZAJDA, 2009]; „–” – no data, ? – no data because of air-locked tensiometres; 3,95 – underlined values obtained in periods with moderate, severe and extreme drought.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Tabela 3. Ewapotranspiracja maksymalna ET_{\max} ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) i rzeczywista ET ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, największe głębokości lustra wody gruntowej h (cm) i najmniejsze wartości potencjału wody F (hPa) w warstwie korzeniowej gleb torfowo-murszowych i murszowatych w okresach suszy umiarkowanej, silnej i ekstremalnej oraz obliczone za pomocą równania (8) współczynniki k_{s1} na Polesiu Lubelskim, w latach 1976–1981

Table 3. Maximum ET_{\max} ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) and actual ET ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) evapotranspiration in April–May, June–July, August–September, the deepest ground water tables h (cm) and the lowest values of water potential F (hPa) in the root zone of peat-muck and mucky soils during moderate, severe and extreme drought and coefficients k_{s1} calculated from eq. (8) for Polesie Lubelskie in the years 1976–1981

Okres Period	Rodzaj gleby Type of soil	Rodzaj PKWG Type of PKWG	Rodzaj PHSW Type of PHSW	ET_{\max}	ET	h	F	k_{s1}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
IV–V	MtIba	AB	Pa	3,95 ¹⁾	3,95 ¹⁾	45	-126	1,00
	MtIIbb	B	PB	3,95	3,38	62	-79	0,86
	MtIIbb	B	PB	3,95	3,95	55	-40	1,00
	MtIIb1	C	Zc	3,95	3,95	56	-50	1,00
	MtIIb1	C	Zc	3,95	3,95	53	-63	1,00
	MtIIIcc	CD	Zc	3,95	3,95	49	-50	1,00
	MtIIIcc	CD	Zc	3,95	3,26	66	-63	0,83
	Mi33	BC	Zc	3,95	3,26	79	-158	0,83
	Mi33	BC	Zc	3,95	2,40	83	-501	0,61
	Me21	D	Zd	3,95	2,40	91	-794	0,61
	Me21	D	Zd	3,95	2,40	82	-631	0,61
	Me11	D	Zd	3,95	3,26	78	-251	0,83
	Mr42	C	Zc	3,95	3,38	60	-63	0,86
	Mr42	C	Zc	3,95	3,38	59	-158	0,86
Mr42	C	Zc	3,95	3,38	65	-251	0,86	
VI–VII	MtIba	AB	Pa	3,86 ²⁾	3,46 ²⁾	85	-79	0,90
	MtIIbb	B	PB	4,45	4,26	73	-158	0,96
	MtIbce	BC	Zb	3,86	3,42	79	-100	0,89
	MtIIb1	C	Zc	3,86	3,42	74	-100	0,89
	Me33	BC	Zc	4,46	2,52	75	-251	0,57
	Mi33	BC	Zc	5,11	3,19	85	-316	0,62
	Me11	D	Zd	5,11	3,19	83	-316	0,62
	MtIIb1	C	Zc	2,94	1,68	91	-631	0,57
	Me33	BC	Zc	5,06	2,96	101	-1995	0,58
	Mi33	BC	PC	5,06	2,96	100	-1259	0,58
	Mi33	BC	PC	5,06	1,75	111	-5012	0,35
	Me21	D	Zd	6,06	2,08	102	-10000	0,34
	Me11	D	Zd	5,06	1,75	105	-6310	0,35
	Mr42	C	Zc	5,06	1,75	88	-7944	0,35
III–IX	MtIba	AB	Pa	2,20 ²⁾	2,20 ²⁾	73	-79	1,00
	MtIIbb	B	PB	1,92	1,56	66	-100	0,81
	MtIIb1	C	Zc	2,20	2,20	64	-126	1,00
	Me33	BC	Zc	1,92	1,68	76	-63	0,87

cd. tab. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
III-IX	Mi33	BC	Zc	1,85	1,85	77	-79	1,00
	Mr42	C	Zc	1,91	1,32	64	-158	0,69
	Me11	D	Zd	1,44	1,44	91	-158	1,00
	Mtlbc	BC	Zb	1,72	1,38	93	-631	0,80
	Mtlb1	C	Zc	1,59	0,92	86	-1000	0,58
	MtIIIcc	CD	Zc	3,22	1,63	89	-1585	0,51
	Me33	BC	Zc	1,72	1,38	92	-631	0,80
	Mi33	BC	PC	2,98	0,68	114	-12590	0,23
	Me21	D	Zd	1,78	0,55	111	-6310	0,31
	Me21	D	Zd	1,78	0,55	93	-6310	0,31
	Me11	D	Zd	2,98	0,68	106	-10000	0,23
	Mr42	C	Zc	3,22	1,25	82	-3981	0,39
	Mr42	C	Zc	2,98	0,68	92	-15850	0,23

¹⁾ Wartości ET_{max} i ET z 1979 r. zmierzone w Sosnowicy w okresie IV-V w lizymetrach ze zwierciadłem wody gruntowej $h = 40, 50, 60, 70, 90$ cm w czasie suszy umiarkowanej i silnej, przyjęte jako odpowiadające najmniejszej wartości potencjału F na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w czasie ciągów dni bezopadowych, w warunkach zmiennej głębokości lustra wody gruntowej najbardziej zbliżonej do zmierzonej w lizymetrach.

²⁾ Wartości ET_{max} i ET w okresach VI-VII, VIII-IX zmierzone w Sosnowicy w lizymetrach ze zwierciadłem wody gruntowej $h = 40, 50, 60, 70, 90, 100, >100$ cm w czasie suszy umiarkowanej, silnej i ekstremalnej, przyjęte jako odpowiadające najmniejszej wartości potencjału F na glebach torfowo-murszowych i murszowatych, w czasie ciągów dni bezopadowych, w warunkach zmiennej głębokości lustra wody gruntowej najbardziej zbliżonej do zmierzonej w lizymetrach.

¹⁾ i ²⁾ odnoszą się do całych kolumn.

¹⁾ ET_{max} and ET measured in April-May 1979 in Sosnowica in lysimetres with ground water depths $h = 40, 50, 60, 70, 90$ cm during moderate and severe drought adopted as such that corresponded to the lowest potential F in peat-muck and mucky soils during rain-free periods at variable ground water table depth closest to that measured in lysimetres

²⁾ ET_{max} and ET measured in June-July and August-September in Sosnowica in lysimetres with ground water depths $h = 40, 50, 60, 70, 90, 100, >100$ cm during moderate, severe and extreme drought adopted as such that corresponded to the lowest potential F in peat-muck and mucky soils during rain-free periods at variable ground water table depth closest to that measured in lysimetres

¹⁾ and ²⁾ pertain to the whole columns.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Przyjęte jako odpowiadające glebom torfowo-murszowym i murszowatym plony Q_{max} z 1979 r. oraz z lat 1989-1994, uzyskane w warunkach głębokości lustra wody $h = h_{opt}$ i potencjału wody F w przedziale od -15 do -379 hPa były znacznie większe niż plony rzeczywiste Q uzyskane w warunkach głębokości lustra wody $h > h_{opt}$ i potencjału wody F w przedziale -63 do -15850 hPa. Zróżnicowanie to potwierdza istotny wpływ zmiennej głębokości lustra wody gruntowej h i potencjału wody glebowej F na ilość plonów Q (tab. 5).

Tabela 4. Plony siana Q ($t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$) w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, najmniejsze wartości potencjału wody glebowej w warstwie korzeniowej F (hPa) oraz współczynniki glebowo-wodne k_{s2} w lizymetrach o ustalonej głębokości lustra wody gruntowej h (cm) w Sosnowicy

Table 4. Hay yields Q ($t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$) in April-May, June-July, August-September, the lowest value of soil water potential F (hPa) in the root zone and soil-water coefficients k_{s2} in lysimeters with fixed depth of ground water h (cm) in Sosnowica

Okres Period	Rok Year	Q	F	k_{s2}	Q	F	k_{s2}	Q	F	k_{s2}	Q	F	k_{s2}	Q	F	k_{s2}	Q	F	k_{s2}	Q	F	k_{s2}	
		$h = 40$ cm			$h = 50$ cm			$h = 60$ cm			$h = 70$ cm			$h = 90$ cm			$h = 100$ cm			$h = >100$ cm			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
IV–V	1977	0,081	–	0,65	0,094	–	0,75	0,108	–	0,86	0,125	–	1,00	0,125	–	1,00	–	–	–	–	–	–	–
	1978	0,056	–	0,45	0,072	–	0,95	0,073	–	0,96	0,076	–	1,00	0,068	–	0,89	–	–	–	–	–	–	–
	1979	0,092	–35	1,00	0,092	–47	1,00	0,089	–109	0,97	0,085	–535	0,92	0,072	–584	0,78	–	–	–	–	–	–	–
	1980	0,082	–	0,87	0,056	–	0,60	0,094	–	1,00	0,088	–	0,94	0,060	–	0,64	–	–	–	–	–	–	–
	1981	0,030	–	0,52	0,040	–	0,69	0,039	–	0,67	0,058	–	1,00	0,055	–	0,95	–	–	–	–	–	–	–
	1986	–	–	–	0,040	–	0,73	0,051	–	0,93	0,053	–	–	0,047	–	0,85	0,055	–	1,00	–	–	–	–
	1987	–	–	–	0,070	–	0,85	0,073	–	0,89	0,082	–	1,00	0,069	–	0,84	0,061	–	0,74	–	–	–	–
	1988	–	–	–	0,061	–	0,64	0,076	–	0,80	0,095	–	1,00	0,056	–	0,59	0,071	–	0,75	–	–	–	–
	1989	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,109	–	–	–	–	–	0,136	–	1,00	0,108	–	0,79	–
	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,069	–	1,00	–	–	–	0,060	–	0,87	0,067	–	0,97	–
	1991	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,094	–	1,00	–	–	–	0,053	–	0,56	0,059	–	0,63	–
	1992	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,082	–	1,00	–	–	–	0,058	–	0,71	0,057	–	0,69	–
	1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,085	–	1,00	–	–	–	0,036	–	0,42	0,036	–	0,42	–
	1994	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,121	–	1,00	–	–	–	0,086	–	0,71	0,079	–	0,65	–
	średnia mean	0,068	–	–	0,066	–	–	0,075	–	–	0,086	–	–	0,069	–	–	0,069	–	–	0,069	–	–	–
VI–	1977	0,114	–18	0,92	0,124	–24	1,00	0,121	–41	0,98	0,117	–194	0,94	0,115	–335	0,93	–	–	–	–	–	–	–
VII	1978	0,065	–22	0,92	0,071	–23	1,00	0,071	–41	1,00	0,065	–328	0,91	0,054	–330	0,76	–	–	–	–	–	–	–
	1979	0,089	–28	0,89	0,089	–36	0,89	0,100	–57	1,00	0,093	–292	0,93	0,080	–394	0,80	–	–	–	–	–	–	–
	1980	0,093	–28	0,92	0,093	–35	0,92	0,101	–46	1,00	0,095	–65	0,94	0,093	–102	0,92	–	–	–	–	–	–	–
	1981	0,043	–22	0,68	0,052	–53	0,82	0,054	–53	0,86	0,063	–82	1,00	0,048	–166	0,76	–	–	–	–	–	–	–
	1986	–	–	–	0,072	–122	0,86	0,084	–125	1,00	0,073	–130	0,87	0,065	–307	0,77	0,052	–307	0,62	–	–	–	–
	1987	–	–	–	0,101	–91	1,00	0,092	–103	0,91	0,081	–116	0,80	0,042	–336	0,42	0,048	–380	0,47	–	–	–	–
	1988	–	–	–	0,179	–147	1,00	0,127	–148	0,71	0,148	–255	0,83	0,087	–513	0,49	0,074	–577	0,41	–	–	–	–
	1989	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,061	–119	1,00	–	–	–	0,060	–575	0,98	0,031	–656	0,51	–
	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,114	–125	1,00	–	–	–	0,082	–653	0,72	0,034	–738	0,30	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
VI–	1991	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,095	<u>–156</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,059</u>	<u>–487</u>	<u>0,62</u>	<u>0,040</u>	<u>–614</u>	<u>0,42</u>
VII	1992	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,071	<u>–143</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,047</u>	<u>–484</u>	<u>0,66</u>	<u>0,023</u>	<u>–648</u>	<u>0,32</u>
	1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,055	<u>–89</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,042</u>	<u>–494</u>	<u>0,76</u>	<u>0,032</u>	<u>–507</u>	<u>0,58</u>
	1994	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,068	<u>–147</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,061</u>	<u>–656</u>	<u>0,90</u>	<u>0,047</u>	<u>–801</u>	<u>0,69</u>
	średnia mean	0,081			0,097				0,093		0,086			0,073			0,058			0,034		
VIII–	1977	0,035	–15	0,70	0,045	–20	0,90	0,048	–35	0,96	0,049	–129	0,98	0,050	<u>–370</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	–	–	–
IX	1978	0,034	–11	0,74	0,035	–21	0,76	0,034	–30	0,74	0,037	–266	0,80	0,046	<u>–379</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	–	–	–
	1979	0,045	–27	0,78	0,045	–34	0,78	0,051	–50	0,88	0,055	–105	0,95	0,058	<u>–215</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	–	–	–
	1980	0,039	–31	0,56	0,046	–37	0,67	0,046	–54	0,67	0,054	–83	0,78	0,069	<u>–182</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	–	–	–
	1981	0,045	<u>–15</u>	<u>1,00</u>	<u>0,032</u>	<u>–45</u>	<u>0,71</u>	<u>0,042</u>	<u>–52</u>	<u>0,93</u>	<u>0,033</u>	<u>–64</u>	<u>0,73</u>	<u>0,041</u>	<u>–121</u>	<u>0,91</u>	–	–	–	–	–	–
	1986	–	–	–	0,030	–118	0,94	0,029	–121	0,91	0,026	–132	0,81	0,032	<u>–159</u>	<u>1,00</u>	0,026	–163	0,81	–	–	–
	1987	–	–	–	0,031	–84	0,72	0,043	–99	1,00	0,033	–87	0,77	0,029	–167	0,67	0,030	–208	0,70	–	–	–
	1988	–	–	–	0,041	–126	0,58	0,048	–152	0,68	0,040	–190	0,56	0,071	<u>–254</u>	<u>1,00</u>	0,034	–483	0,48	–	–	–
	1989	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,027	<u>–110</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,026</u>	<u>–519</u>	<u>0,96</u>	<u>0,014</u>	<u>–572</u>	<u>0,52</u>
	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,039	<u>–125</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,021</u>	<u>–653</u>	<u>0,54</u>	<u>0,010</u>	<u>–738</u>	<u>0,26</u>
	1991	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,045	<u>–156</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,017</u>	<u>–487</u>	<u>0,38</u>	<u>0,008</u>	<u>–614</u>	<u>0,18</u>
	1992	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,036	<u>–160</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,011</u>	<u>–584</u>	<u>0,31</u>	<u>0,009</u>	<u>–594</u>	<u>0,25</u>
	1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,025	<u>–87</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,023</u>	<u>–542</u>	<u>0,92</u>	<u>0,014</u>	<u>–649</u>	<u>0,56</u>
	1994	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,025	<u>–135</u>	<u>1,00</u>	–	–	–	<u>0,018</u>	<u>–792</u>	<u>0,72</u>	<u>0,011</u>	?	<u>0,44</u>
	średnia mean	0,040			0,38				0,043		0,037			0,050			0,023			0,011		

Objaśnienia: pogrubioną czcionką zaznaczono plony Q_{\max} w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, wskazujące optymalny poziom wody gruntowej h_{opt} , w warunkach którego podsiątek kapilarny ze strefy nasyconej całkowicie równowagi rozchody wilgoci na ewapotranspirację i zapewnia optymalną wilgotność warstwy korzeniowej [SZAJDA 1997; 2009; 2011]; zakres potencjału F od –15 do –500 hPa – susza umiarkowana, od –500 do –1000 hPa – susza silna, <–1000 hPa – susza ekstremalna [SZAJDA 2009]; „–” – brak danych, ? – brak danych z powodu zapowietrzania się tensjometrów; 0,092 – wartości podkreślone uzyskane w okresach z suszą umiarkowaną, silną i ekstremalną.

Explanations: yields Q_{\max} indicating optimum ground water depth h_{opt} (when capillary rising from saturated zone equilibrates evapotranspiration and provides optimum moisture of the root zone [SZAJDA 1997; 2009; 2011]) are given in bold; potential F from –15 to –500 hPa – moderate drought, from –500 to –1000 hPa – severe drought, <–1000 hPa – extreme drought [SZAJDA 2009]; „–” – no data, ? – no data because of air-locked tensiometres; 0,092 – underlined values obtained in periods with moderate, severe and extreme drought.

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

Tabela 5. Plony maksymalne Q_{\max} ($t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$) i rzeczywiste Q ($t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$), największe głębokości lustra wody gruntowej h (cm) i najmniejsze wartości potencjału wody F (hPa) w warstwie korzeniowej gleb torfowo-murszowych i murszowatych w okresach suszy umiarkowanej, silnej i ekstremalnej oraz obliczone za pomocą równania (10) współczynniki k_{s2} na Polesiu Lubelskim, w latach 1976–1981

Table 5. Maximum Q_{\max} ($t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$) and actual Q ($t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$) yields, the deepest ground water tables h (cm) and the lowest values of water potential F (hPa) in the root zone of peat-muck and mucky soils during moderate, severe and extreme droughts and coefficients k_{s2} calculated from eq. (10) for Polesie Lubelskie in the years 1976–1981

Okres Period	Rodzaj gleby Type of soil	Rodzaj PKWG Type of PKWG	Rodzaj PHSW Type of PHSW	Q_{\max}	Q	h	F	k_{s2}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
IV–V	MtIba	AB	Pa	0,092 ¹⁾	0,092 ¹⁾	45	–126	1,00
	MtIIbb	B	PB	0,092	0,089	62	–79	0,97
	MtIIbb	B	PB	0,092	0,092	55	–40	1,00
	MtIIb1	C	Zc	0,092	0,092	56	–50	1,00
	MtIIb1	C	Zc	0,092	0,092	53	–63	1,00
	MtIIcc	CD	Zc	0,092	0,092	49	–50	1,00
	MtIIIcc	CD	Zc	0,092	0,085	66	–63	0,97
	Mi33	BC	Zc	0,092	0,085	79	–158	0,92
	Mi33	BC	Zc	0,092	0,072	83	–501	0,78
	Me21	D	Zd	0,092	0,072	91	–794	0,78
	Me21	D	Zd	0,092	0,072	82	–631	0,78
	Me11	D	Zd	0,092	0,085	78	–251	0,92
	Mr42	C	Zc	0,092	0,089	60	–63	0,97
	Mr42	C	Zc	0,092	0,089	59	–158	0,97
VI–VII	MtIba	AB	Pa	0,101 ²⁾	0,093 ²⁾	85	–79	0,90
	MtIIbb	B	PB	0,124	0,117	73	–158	0,96
	MtIbc	BC	Zb	0,084	0,073	79	–100	0,89
	MtIIb1	C	Zc	0,084	0,073	74	–100	0,89
	Me33	BC	Zc	0,101	0,042	75	–251	0,57
	Mi33	BC	Zc	0,179	0,087	85	–316	0,62
	Me11	D	Zd	0,179	0,087	83	–316	0,62
	MtIIb1	C	Zc	0,055	0,042	91	–631	0,76
	Me33	BC	Zc	0,095	0,059	101	–1995	0,62
	Mi33	BC	PC	0,071	0,047	100	–1259	0,66
	Mi33	BC	PC	0,095	0,040	111	–5012	0,42
	Me21	D	Zd	0,114	0,034	103	–10000	0,30
	Me11	D	Zd	0,095	0,040	108	–6310	0,42
	Mr42	C	Zc	0,071	0,023	88	–7944	0,32
VIII–IX	MtIba	AB	Pa	0,058 ²⁾	0,058 ²⁾	73	–79	1,00
	MtIIbb	B	PB	0,045	0,041	66	–100	0,91
	MtIIb1	C	Zc	0,058	0,058	64	–126	1,00
	Me33	BC	Zc	0,045	0,033	76	–63	0,87
	Mi33	BC	Zc	0,069	0,069	77	–79	1,00

cd. tab. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
VIII-IX	Mr42	C	Zc	0,032	0,032	64	-158	1,00
	Me11	D	Zd	0,043	0,030	91	-158	0,70
	MtIbc	BC	Zb	0,025	0,018	93	-631	0,72
	MtIb1	C	Zc	0,025	0,018	86	-1000	0,72
	MtIIIcc	CD	Zc	0,039	0,021	89	-1585	0,54
	Me33	BC	Zc	0,025	0,018	93	-631	0,72
	Mi33	BC	PC	0,045	0,008	110	-12590	0,18
	Me21	D	Zd	0,039	0,010	111	-6310	0,26
	Me21	D	Zd	0,036	0,011	93	-6310	0,31
	Me11	D	Zd	0,036	0,009	107	-10000	0,25
	Mr42	C	Zc	0,039	0,021	84	-3981	0,54
	Mr42	C	Zc	0,045	0,008	92	-15850	0,18

¹⁾ Plony Q_{\max} i Q z 1979 r. zmierzone w Sosnowicy w okresie IV-V w lizymetrach ze zwierciadłem wody gruntowej $h = 40, 50, 60, 70, 90$ cm, w okresie suszy umiarkowanej i silnej, przyjęte jako odpowiadające najmniejszej wartości potencjału F na glebach torfowo-murszowych i murszowatych, w czasie ciągów dni bezopadowych, w warunkach zmiennej głębokości lustra wody gruntowej, najbardziej zbliżonej do zmierzonej w lizymetrach.

²⁾ Plony Q_{\max} i Q w okresach VI-VII, VIII-IX zmierzone w Sosnowicy w lizymetrach ze zwierciadłem wody gruntowej $h = 40, 50, 60, 70, 90, 100, >100$ cm, w okresie suszy umiarkowanej, silnej i ekstremalnej, przyjęte jako odpowiadające najmniejszej wartości potencjału F na glebach torfowo-murszowych i murszowatych, w czasie ciągów dni bezopadowych, w warunkach zmiennej głębokości lustra wody gruntowej, najbardziej zbliżonej do zmierzonej w lizymetrach.

¹⁾ i ²⁾ odnoszą się do całych kolumn.

¹⁾ Yields Q_{\max} and Q measured in April-May 1979 in Sosnowica in lysimeters with ground water depth $h = 40, 50, 60, 70, 90$ cm during moderate and severe drought adopted as such that corresponded to the lowest potential F in peat-muck and mucky soils during rain-free periods at variable ground water table depth closest to that measured in lysimeters.

²⁾ Yields Q_{\max} and Q measured in June-July and August-September in Sosnowica in lysimeters with ground water depth $h = 40, 50, 60, 70, 90, 100, >100$ cm during moderate, severe and extreme drought adopted as such that corresponded to the lowest potential F in peat-muck and mucky soils during rain-free periods at variable ground water table depth closest to that measured in lysimeters.

¹⁾ and ²⁾ pertain to the whole columns.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

POTENCJAŁ WODY GLEBOWEJ W WARSTWIE KORZENIOWEJ GLEB TORFOWO-MURSZOWYCH I MURSZOWATYCH W ODROSTACH Z SUSZĄ UMIARKOWANĄ, SILNĄ I EKSTREMALNĄ

Charakterystyka najmniejszych w odrostach wartości potencjału wody F na glebach torfowo-murszowych i murszowatych, w czasie suszy umiarkowanej, silnej i ekstremalnej (tab. 2-5), dotyczy warstwy korzeniowej (0-30 cm). Przyjmuje się bowiem, że w tej warstwie mieści się zasadnicza masa korzeni traw, pobór wody przez korzenie jest tu bardzo intensywny i występują największe zmiany wilgotności gleby.

W warunkach ustalonej głębokości zwierciadła wody gruntowej w odrostach z suszą umiarkowaną, silną i ekstremalną w Sosnowicy (tab. 2 i 4) potencjał wody

glebowej F był największy, gdy głębokość lustra wody wynosiła 40 cm i zmniejszał się wraz ze zwiększaniem się tej głębokości, osiągając wartości najmniejsze w lizymetrach zadaszonych ze stanem wody gruntowej 100 i >100 cm. Najmniejsza w odrostach wartość potencjału wody glebowej F w badaniach lizymetrycznych wynosiła -801 hPa (zapowietrzanie się tensjometrów), a w badaniach polowych -15850 hPa. Była to już zatem susza ekstremalna.

W warunkach zmiennej głębokości zwierciadła wody gruntowej (tab. 3 i 5) pojawiało się nadmierne przesuszenie ($F < -501$ hPa) gleb torfowo-murszowych: Mtlbc (siedlisko zalewowe wilgotne Zb), MtlIb1, MtlIcc, Mr42, Me33 (siedliska zalewowe posuszne Zc), Mi33 (siedlisko podsiąkowe posuszne PC) oraz Me11 i Me21 (siedliska zalewowe suche Zd). Przesuszenie to intensyfikuje nieodwracalne, niekorzystne przemiany tych gleb – ubytek masy organicznej [GAWLIK, SZAJDA 2002], pogarszanie się zdolności retencyjnych i przewodzących, zwiększenie ich posuszności [OKRUSZKO 1976; 1992; ZAWADZKI 1973; 1979] oraz emisję gazów cieplarnianych [STĘPNIEWSKA i in. 2002]. Wynika stąd potrzeba przeciwdziałania negatywnym skutkom suszy meteorologicznej, powodowanym występowaniem ciągów dni bezopadowych. Jednym ze sposobów jest utrzymywanie, za pomocą systemów melioracyjnych, optymalnych poziomów wody gruntowej h_{opt} , zapewniających wysokie uwilgotnienie gleb i maksymalne plonowanie użytków zielonych oraz skuteczną ochronę gleb przed niekorzystnymi przemianami po odwodnieniu, określonych przez SZAJDĘ [2009].

Zapewnienie wysokiego uwilgotnienia zmeliorowanych użytków zielonych wymusza wdrażanie kompleksowych metod gospodarowania całością zasobów wodnych oraz poszukiwania bliższych naturze metod ograniczania strat gospodarczych, powodowanych nadmiarem lub niedoborem wody [MIODUSZEWSKI 2009], umożliwia przeciwdziałanie negatywnym skutkom zmian klimatu poprzez podniesienie rangi odwodnień i nawodnień [ŁABĘDZKI 2009] oraz zwiększa korzystny wpływ obszarów podmokłych w dolinach rzek na kształtowanie ilości i jakości wód [TURCZYŃSKI i in. 2009].

Występowanie ciągów dni bezopadowych na Polesiu Lubelskim (tab. 1) skutkowało pojawianiem się suszy umiarkowanej, silnej i ekstremalnej oraz kształtowaniem się potencjału wody glebowej F w warstwie korzeniowej gleb torfowo-murszowych i murszowatych w zakresach: od -40 do -794 hPa w okresie IV–V, od -23 do -10000 hPa w okresie VI–VII i od -15 do -15850 hPa w okresie VIII–IX. Podane wyżej zmiany wartości potencjału wody glebowej F w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX wywierały wpływ na wartości ET_{max} , ET i k_{s1} (tab. 2, 3) oraz na ilości plonów Q_{max} , Q i wartości współczynników k_{s2} (tab. 4, 5). Wartości ET_{max} , ET i k_{s1} oraz Q_{max} , Q i k_{s2} malały wraz z potencjałem wody glebowej F .

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

WSPÓŁCZYNNIKI k_{s1} DLA GLEB TORFOWO-MURSZOWYCH I MURSZOWATYCH W ZALEŻNOŚCI OD POTENCJAŁU WODY GLEBOWEJ

Zależności współczynników glebowo-wodnych k_{s1} od potencjału wody glebowej w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX wyznaczono na podstawie obliczonych za pomocą równania (8) współczynników k_{s1} i odpowiadających im wartości potencjału wody glebowej F (tab. 2 i 3). Z obliczeń wynika, że wartości k_{s1} w okresach suszy silnej i ekstremalnej (tab. 2) były mniejsze od podanych przez ŁABĘDZKIEGO i KASPERSKĄ [1994] dla $F < -15\ 850$ hPa ($pF > 4,2$) na skutek dłuższej niż w Bydgoszczy suszy meteorologicznej.

Obliczone współczynniki k_{s1} i odpowiadające im bezwzględne wartości potencjału wody glebowej $|F|$ naniesiono na układ współrzędnych oraz wyrównano statystyczne (rys. 1). Uzyskana w ten sposób zależność współczynników k_{s1} w okresie pierwszego odrostu (IV–V), z suszą umiarkowaną i silną, od bezwzględnych wartości potencjału wody glebowej $|F|$ ma następującą postać (rys. 1a):

$$k_{s1} = -0,0005 (|F|) + 0,9695 \quad r = 0,8514 \quad (11)$$

gdzie:

k_{s1} – współczynniki glebowo-wodne w okresie IV–V;

F – największe w ciągach dni bezopadowych bezwzględne wartości potencjału wody glebowej, wyznaczone w badaniach lizymetrycznych i polowych w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresie IV–V, hPa.

Współczynnik korelacji r zależności (11) wynosi 0,8514. Wartość krytyczna współczynnika korelacji $r_{0,01}$ na poziomie istotności $\alpha = 0,01$ wynosi 0,5614 [ELANDT 1964] Wyznaczona zależność jest istotna ponieważ $r > r_{0,01}$. Zależność ta może być stosowana do oceny wpływu potencjału wody glebowej F z zakresu od -40 do -794 hPa na wartość współczynników k_{s1} na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresie pierwszego (IV–V) odrostu łąk.

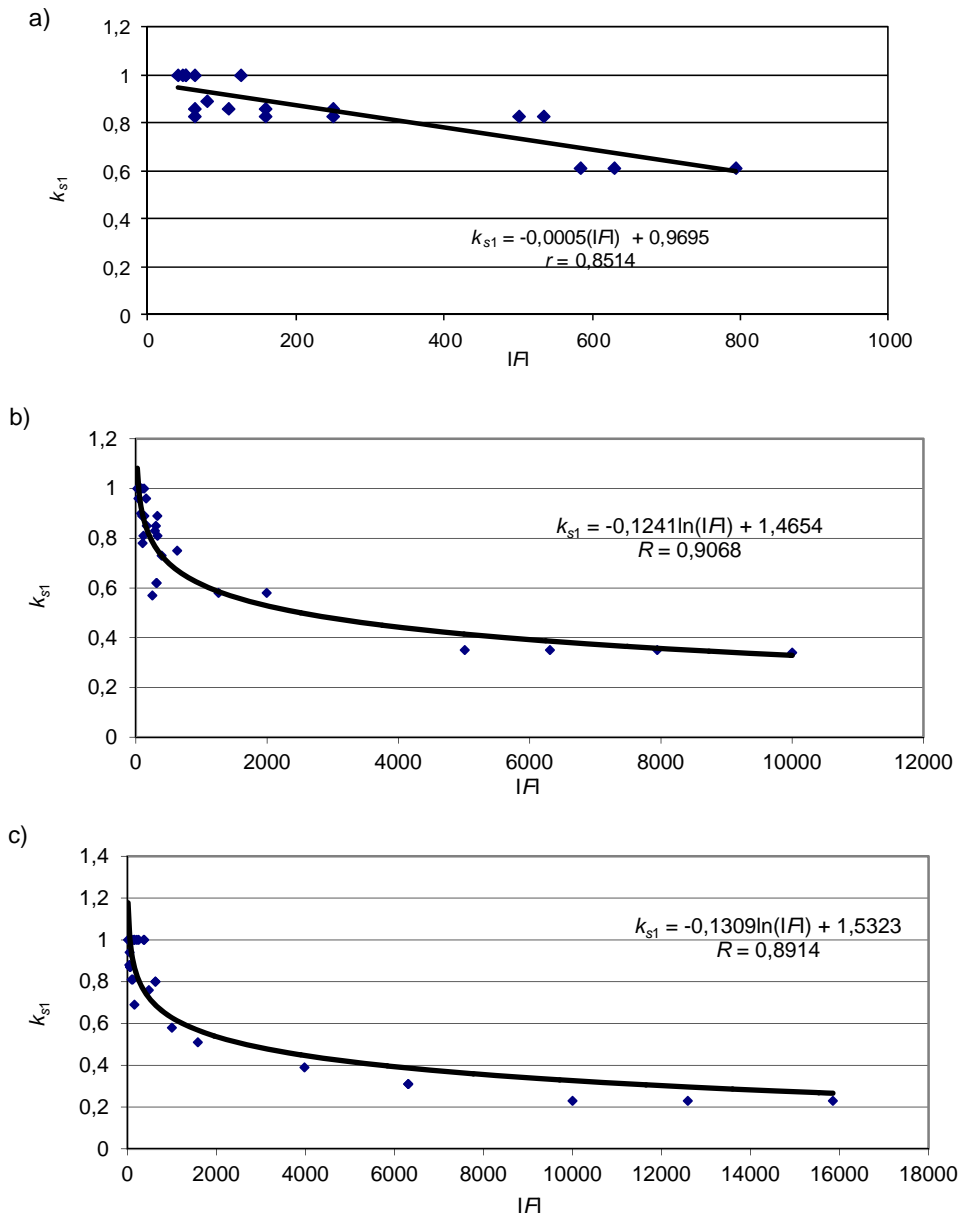
Zależność $k_{s1}(|F|)$ w okresach drugiego (VI–VII) odrostu z suszą umiarkowaną, silną i ekstremalną (rys. 1b) przedstawia następujące równanie:

$$k_{s1} = -0,1241 \ln(|F|) + 1,4654 \quad R = 0,9068 \quad (12)$$

gdzie:

k_{s1} – współczynniki glebowo-wodne w okresie VI–VII;

F – największe w ciągach dni bezopadowych bezwzględne wartości potencjału wody glebowej, wyznaczone w badaniach lizymetrycznych i polowych w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresie VI–VII, hPa.



Rys. 1. Zależność współczynnika glebowo-wodnego k_{s1} od bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej $|F|$ (hPa) w okresach: a) IV–V, b) VI–VII, c) VIII–IX; gleby torfowo-murszowe i murszowate; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Relationship between soil-water coefficient k_{s1} and absolute soil water potential $|F|$ (hPa) in: a) April–May, b) June–July, c) August–September; peat-muck and mucky soils; source: own elaboration

Wskaźnik korelacji R zależności (12) wynosi 0,9068, zależność ta jest zatem istotna, ponieważ wskaźnik korelacji $R > 0,7$ przyjętej jako wartość krytyczna. Może być ona stosowana do oceny wpływu potencjału wody glebowej F z zakresu od -23 do -10000 hPa na wartości współczynników k_{s1} na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresie drugiego (VI–VII) odrostu łąk.

Zależność $k_{s1}(|F|)$ w okresie trzeciego odrostu (VIII–IX) z suszą umiarkowaną, silną i ekstremalną (rys. 1c) ma następującą postać:

$$k_{s1} = -0,1309 \ln(|F|) + 1,5323 \quad R = 0,8914 \quad (13)$$

gdzie:

k_{s1} – współczynniki glebowo-wodne w okresie VIII–IX;

F – największe w ciągach dni bezopadowych bezwzględne wartości potencjału wody glebowej, wyznaczone w badaniach lizymetrycznych i polowych w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresie VIII–IX, hPa.

Wskaźnik korelacji R zależności (13) wynosi 0,8914. Zależność ta jest zatem istotna, ponieważ wartość $R > 0,7$. Może być ona stosowana do oceny wpływu potencjału wody glebowej F z zakresu od -15 do $-15\ 850$ hPa na wartości współczynników k_{s1} na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w trzecim (VIII–IX) odroście łąk.

Współczynniki glebowo-wodne k_{s1} w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX, obliczone za pomocą równań (11), (12), (13) dla bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej $|F| = 100, 500, 1000, 8000$ hPa, maleją gdy wzrasta bezwzględna wartość potencjału wody w glebie $|F|$ (tab. 6), co potwierdza wyniki badań ŁĄBĘDZKIEGO i KASPERSKIEJ [1994], ŁĄBĘDZKIEGO [1997], SZAJDY [1997a] oraz SZAJDY i OLSZTY [2000]. Wartości k_{s1} nie zależą od ET_{\max} (tab. 6), co jest sprzeczne z poglądem FEDDESA i in. [1978].

Tabela 6. Wartość współczynników glebowo-wodnych k_{s1} w zależności od bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej $|F|$ (hPa)

Table 6. Soil-water coefficients k_{s1} in relation to absolute soil water potential $|F|$ (hPa)

Okres Period	ET_{\max} mm·d ⁻¹	Wartości współczynnika k_{s1} , gdy Coefficient k_{s1} at			
		$ F =100$ hPa	$ F =500$ hPa	$ F =1000$ hPa	$ F =8000$ hPa
IV–V	3,95	0,92	0,72	–	–
VI–VII	4,60	0,89	0,69	0,61	0,35
VIII–IX	2,18	0,93	0,72	0,63	0,36

Objaśnienie: ET_{\max} – średnie w odrostach wartości ewapotranspiracji maksymalnej wyznaczone empirycznie w badaniach lizymetrycznych (tab. 2) i polowych (tab. 3).

Explanation: ET_{\max} – mean values of maximum evapotranspiration for regrowth determined empirically in lysimetric (Tab. 2) and field (Tab. 3) studies

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Współczynniki glebowo-wodne k_{s1} zależne od bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej $|F|$, opisane równaniami (11), (12), (13), są szczególnie przydatne na etapie projektowania melioracji użytków zielonych. Mogą być wykorzystane, zgodnie z równaniem (7), do oceny wpływu wilgotności gleby na ewapotranspirację rzeczywistą użytków zielonych w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX poprzez redukcję ewapotranspiracji maksymalnej, obliczonej za pomocą równań (3), (4) lub (5), z wykorzystaniem ewapotranspiracji wskaźnikowej wg wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej (ET_{Pen}) lub parowania z lustra wody mierzonego w ewaporometrze (E_w) i współczynników roślinnych k_c do wzoru Penmana [SZAJDA 1997a] i do parowania z lustra wody [SZAJDA 1997b], zależnych od plonów $Q = Q_{max}$ oraz zależności ET_{max} od plonów Q_{max} [SZAJDA 2009].

Zależności (11), (12) i (13) odnoszą się do gleb torfowo-murszowych i murszowatych, reprezentatywnych dla siedlisk podsiąkowych mokrych Pa, wilgotnych PB i posusznych PC oraz siedlisk zalewowych wilgotnych Zb, posusznych Zc i suchych Zd.

WSPÓŁCZYNNIKI k_{s2} DLA GLEB TORFOWO-MURSZOWYCH I MURSZOWATYCH W ZALEŻNOŚCI OD POTENCJAŁU WODY GLEBOWEJ

Zależności $k_{s2}(F)$ w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX wyznaczono na podstawie współczynników k_{s2} obliczonych za pomocą równania (10) i odpowiadających im wartości potencjału wody glebowej F (tab. 4 i 5). Obliczone współczynniki k_{s2} i odpowiadające im bezwzględne wartości potencjału wody glebowej $|F|$ naniesiono na układ współrzędnych oraz wyrównano statystyczne (rys. 2). Uzyskana w ten sposób zależność $k_{s2}(|F|)$ w okresie pierwszego odrostu (IV–V), z suszą umiarkowaną i silną (rys. 2a), ma następującą postać:

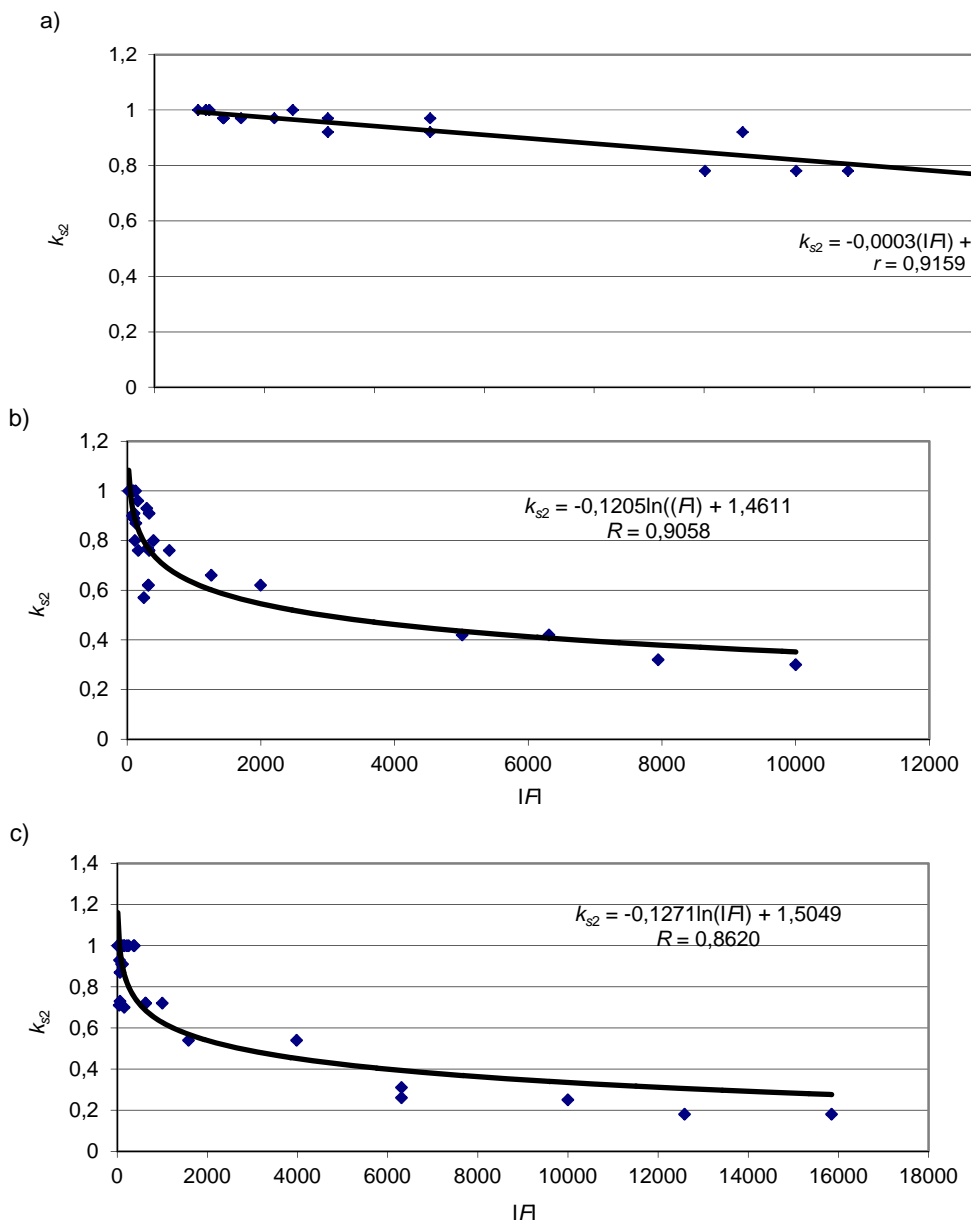
$$k_{s2} = -0,0003 (|F|) + 1,0062 \quad r = 0,9159 \quad (14)$$

gdzie:

k_{s2} – współczynniki glebowo-wodne w okresie IV–V;

F – największe w ciągach dni bezopadowych bezwzględne wartości potencjału wody, wyznaczone w badaniach lizymetrycznych i polowych, w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresie IV–V, hPa.

Współczynnik korelacji r zależności (14) wynosi 0,9159. Wartość krytyczna współczynnika korelacji $r_{0,01}$ na poziomie istotności $\alpha = 0,01$ wynosi 0,5614 [ELANDT 1964]. Wyznaczona zależność jest istotna ponieważ $r > r_{0,01}$. Może być ona stosowana do oceny wpływu potencjału wody glebowej F z zakresu od -40 do -794 hPa na wartość współczynników k_{s2} na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w pierwszym odroście łąk.



Rys. 2. Zależność współczynnika glebowo-wodnego k_{s2} od bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej $|F|$ (hPa) w okresach: a) IV–V, b) VI–VII, c) VIII–IX; gleby torfowo-murszowe i murszowate; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Relationship between soil-water coefficient k_{s2} and absolute soil water potential $|F|$ (hPa) in: a) April–May, b) June–July, c) August–September; peat-muck and mucky soils; source: own elaboration

Zależność $k_{s2}(|F|)$ w okresie VI–VII w odrostach z suszą umiarkowaną, silną i ekstremalną (rys. 2b) przedstawia następujące równanie:

$$k_{s2} = -0,1205 \ln(|F|) + 1,4611 \quad R = 0,9058 \quad (15)$$

gdzie:

k_{s2} – współczynniki glebowo-wodne w okresie VI–VII;

F – największe w ciągach dni bezopadowych bezwzględne wartości potencjału wody, wyznaczone w badaniach lizymetrycznych i polowych, w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresie VI–VII, hPa.

Wskaźnik korelacji R zależności (15) wynosi 0,9058. Zależność ta jest istotna, ponieważ $R > 0,7$. Może być ona stosowana do oceny wpływu potencjału wody glebowej F z zakresu od -23 do -10000 hPa na wartości współczynników k_{s2} na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w drugim odroście łąk.

Zależność $k_{s2}(|F|)$ w okresie VIII–IX dla odrostów z suszą umiarkowaną, silną i ekstremalną (rys. 2c) ma następującą postać:

$$k_{s2} = -0,1271 \ln(|F|) + 1,5049 \quad R = 0,8620 \quad (16)$$

gdzie:

k_{s2} – współczynniki glebowo-wodne w okresie VIII–IX;

F – największe w ciągach dni bezopadowych bezwzględne wartości potencjału wody, wyznaczone w badaniach lizymetrycznych i polowych, w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresie VIII–IX, hPa.

Wskaźnik korelacji R zależności (16) wynosi 0,8620. Zależność ta jest istotna, ponieważ $R > 0,7$. Może być ona stosowana do oceny wpływu potencjału wody glebowej F z zakresu od -15 do -15850 hPa na wartość współczynników k_{s2} na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w trzecim odroście łąk.

Wpływ potencjału wody glebowej F na współczynniki glebowo-wodne k_{s2} obrazują ich wartości w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX, obliczone za pomocą równań (14), (15), (16), dla potencjału wody glebowej $F = 100, 500, 1000, 8000$ hPa, odnoszone do określonych empirycznie (tab. 4 i 5) końcowych plonów maksymalnych Q_{\max} (tab. 7).

Z obliczeń wynika, że plon Q_{\max} w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX nie wywiera wpływu na wartość współczynników k_{s2} (tab. 7). Wartości k_{s2} w kolejnych odrostach, podobnie jak wartości k_{s1} (tab. 6), różnicują się w zależności od potencjału wody w glebie F – maleją, gdy wzrasta bezwzględna wartość potencjału wody glebowej $|F|$, co potwierdza wyniki badań SZAJDY i OLSZTY [2000].

Z porównania wartości współczynników k_{s1} (tab. 6) i k_{s2} (tab. 7), obliczonych dla bezwzględnych wartości potencjału wody glebowej $|F| = 100, 500, 1000, 8000$ hPa, wynika, że w okresach IV–V i VI–VII współczynniki k_{s1} są mniejsze niż k_{s2} , natomiast w okresie VIII–IX – zbliżone. Oznacza to, że wpływ potencjału wody

Tabela 7. Wartości współczynników glebowo-wodnych k_{s2} w zależności od bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej $|F|$ (hPa)**Table 7.** Soil-water coefficients k_{s2} in relation to absolute soil water potential $|F|$ (hPa)

Okres Period	Q_{\max} $t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$	Wartości współczynników k_{s2} , gdy Coefficient k_{s2} at			
		$ F = 100$ hPa	$ F = 500$ hPa	$ F = 1000$ hPa	$ F = 8000$ hPa
IV–V	0,091	0,98	0,86	–	–
VI–VII	0,092	0,91	0,71	0,63	0,38
VIII–IX	0,044	0,92	0,72	0,63	0,36

Objaśnienie: Q_{\max} – określone empirycznie w badaniach lizymetrycznych (tab. 4) i polowych (tab. 5) końcowe plony maksymalne Q_{\max} .

Explanation: Q_{\max} – final maximum yields determined empirically in lysimetric (tab. 4) and field (tab. 5) studies.

Źródło: opracowanie własne.

w glebie na wartość ewapotranspiracji i ilość plonu jest różny i powinien być oceniany odrębnie, co jest zgodne z wynikami badań SZAJDY i OLSZTY [2000] oraz SZAJDY [2011] dla okresów dekadowych. Konieczne jest zatem kontynuowanie analizy istniejących wyników badań [SZAJDA 1995 a, b; 1997a, b; 2011] pod kątem określenia roślinnych i meteorologicznych wskaźników maksymalnego plonowania użytków zielonych.

Współczynniki glebowo-wodne k_{s2} w zależności od bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej F , opisane równaniami (14), (15), (16), są szczególnie przydatne na etapie projektowania melioracji użytków zielonych. Mogą być one wykorzystane zgodnie z równaniem (9) do oceny wpływu wilgotności gleby na plony rzeczywiste w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX poprzez redukcję plonów maksymalnych prognozowanych lub określonych empirycznie [SZAJDA 1995a, b; 1997a, b; 2011].

Zależności (14), (15) i (16) odnoszą się do gleb torfowo-murszowych i murszowatych, reprezentujących siedliska podsiąkowe: mokre Pa, wilgotne PB i posuszne PC oraz siedliska zalewowe: wilgotne Zb, posuszne Zc i suche Zd.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Celem niniejszej pracy było empiryczne określenie, dla pierwszego (IV–V), drugiego (VI–VII) i trzeciego (VIII–IX) odrostu łąk, zależności współczynników glebowo-wodnych k_{s1} , do oceny wpływu wilgotności gleby na ewapotranspirację rzeczywistą, oraz współczynników glebowo-wodnych k_{s2} , do oceny wpływu wilgotności gleby na plony rzeczywiste, od potencjału wody glebowej w warunkach suszy meteorologicznej umiarkowanej, silnej i ekstremalnej, spowodowanej występowaniem ciągów dni bezopadowych definiowanych wg KOŹMIŃSKIEGO [1983, 1986]. Zależności te są szczególnie przydatne na etapie projektowania melioracji użytków zielonych

Zakresem badań objęto 17 okresów z suszą umiarkowaną i 2 okresy z suszą silną w pierwszym odroście; 23 okresy z suszą umiarkowaną, 1 okres z suszą silną i 6 okresów z suszą ekstremalną w drugim odroście oraz w 17 okresów z suszą umiarkowaną, 3 okresy z suszą silną i 7 okresów z suszą ekstremalną w trzecim odroście, spowodowanych występowaniem ciągów dni bezopadowych. Na podstawie analizy zebranych wyników badań stwierdzono, co następuje:

1. Wpływ potencjału wody glebowej na średnie w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX rzeczywiste wartości ewapotranspiracji i rzeczywiste ilości plonów ujawniał się w redukcji maksymalnych wartości ewapotranspiracji i ilości plonów, wyrażonej wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s1} i k_{s2} . Wartości tych współczynników malały, gdy zwiększały się bezwzględne wartości potencjału wody glebowej. Podane w pracy zależności współczynników glebowo-wodnych k_{s1} i k_{s2} od potencjału wody glebowej potwierdzają jego istotny wpływ na średnie wartości ewapotranspiracji rzeczywistej i rzeczywiste ilości plonów.

2. Wartości współczynników k_{s1} i k_{s2} w odrostach z suszą umiarkowaną, silną i ekstremalną, obliczone w zależności od bezwzględnych wartości potencjału wody glebowej, są różne. Świadczy to o istotnie różnym wpływie potencjału wody glebowej na średnie wartości ewapotranspiracji rzeczywistej i ilości plonów. Konieczne jest zatem kontynuowanie analizy istniejących wyników badań pod kątem określenia roślinnych i meteorologicznych wskaźników maksymalnego plonowania użytków zielonych.

3. Zależności współczynników glebowo-wodnych k_{s1} i k_{s2} od bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej są szczególnie przydatne na etapie projektowania melioracji użytków zielonych. Współczynniki obliczone na podstawie tych zależności mogą być wykorzystane do oceny wpływu wilgotności gleby na ewapotranspirację rzeczywistą i plony rzeczywiste użytków zielonych w okresach IV–V, VI–VII i VIII–IX poprzez redukcję ewapotranspiracji maksymalnej, obliczonej za pomocą równań (3), (4) i (5) oraz plonów maksymalnych prognozowanych lub określonych empirycznie.

4. Wyznaczone w pracy zależności współczynników glebowo-wodnych k_{s1} i k_{s2} od bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej $|F|$ odnoszą się do gleb torfowo-murszowych i murszowatych, reprezentujących siedliska podsiąkowe: mokre Pa, wilgotne PB i posuszne PC oraz siedliska zalewowe: wilgotne Zb, posuszne Zc i suche Zd.

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. Technical Bulletin. No. 63 s. 221–234.

- FEDDES R.A., KOWALIK P.J., ZARADNY H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs. Wageningen. PUDOC ss. 189.
- GAWLIK J., SZAJDA J. 2002. Evaluation of changes in soil conditions on peatlands of the Lublin Polesie due to drainage. *Acta Agrophysica*. Vol. 67 s. 67–76.
- KOWALIK P. 1976. Podstawy teoretyczne agrohydrologii Żuław. *Acta Technica Gedanensia*. No. 11 ss. 97.
- KOŹMIŃSKI Cz. 1983. Agroklimat województwa szczecińskiego. T. 1. Szczecin. Szczecińskie Towarzystwo Naukowe Wydziału Nauk Przyrodniczo-Rolniczych ss. 194.
- KOŹMIŃSKI Cz. 1986. Przestrzenny i czasowy rozkład okresów bezopadowych trwających ponad 15 dni na terenie Polski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 268 s. 37–52.
- ŁABĘDZKI L. 1997. Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. *Rozprawy habilitacyjne. Falenty*. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-85735-51-8 ss. 147.
- ŁABĘDZKI L. 2009. Expected development of irrigation in Poland in the context of climate change. *Journal of Water and Land Development*. No. 13b s. 17–29
- ŁABĘDZKI L., KASPERSKA W. 1994. Ewapotranspiracja i plonowanie użytków zielonych w warunkach suszy meteorologicznej i glebowej. W: *Materiały Konferencyjne 25 Zjazdu Agrometeorologów*. Olsztyn-Mierki, 27–29.09.1994. Olsztyn. Wydaw. ART s. 99–107.
- MIODUSZEWSKI W. 2009. Water for agriculture and natural environment. *Journal of Water and Land Development*. No. 13b s. 3–16.
- OKRUSZKO H. 1976. Zasady rozpoznawania i podziału gleb hydrogenicznych z punktu widzenia potrzeb melioracji. W: *Materiały pomocnicze do badań gleboznawczych przy projektowaniu melioracji*. Biblioteczka Wiadomości IMUZ. Nr 52 s.7–54.
- OKRUSZKO H. 1992. Siedliska hydrogeniczne, ich specyfika i zróżnicowanie. W: *Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe*. Biblioteczka Wiadomości IMUZ. Nr 79 s. 5–14.
- STĘPNIĘWSKA Z., KOTOWSKA U., OSTROWSKA A. 2002. Emisja gazów z jezior naturalnych, zbiorników antropogenicznych oraz z torfowisk Polesia Lubelskiego. *Acta Agrophysica*. Vol. 68 s. 215–233.
- SZAJDA J. 1995a. Klimatyczne i roślinne wskaźniki plonowania łąki 3 i 6-końskiej (pastwisko kwaterowe) w warunkach wysokiego nawożenia i dobrego uwilgotnienia. *Annales UMCS. Sec. E. Vol. 50 s. 105–108*.
- SZAJDA J. 1995b. Klimatyczne i roślinne wskaźniki plonowania łąki 3-końskiej wysoko i średnio nawożonej oraz darni w warunkach dobrego uwilgotnienia. *Annales UMCS. Sec. E. Vol. 50 s. 109–112*.
- SZAJDA J. 1997a. Roślinne i glebowo-wodne wskaźniki ewapotranspiracji łąki na glebie torfowo-murszowej. *Rozprawy habilitacyjne. Falenty*. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-85735-62-3 ss. 62.
- SZAJDA J. 1997b. Sezonowe współczynniki roślinne do parowania z lustra wody dla łąki na glebie torfowo-murszowej, jako funkcja plonów końcowych. *Materiały Seminaryjne*. Nr 39. Falenty. Wydaw. IMUZ s. 111–120.
- SZAJDA J. 2009. Przeciwdziałanie skutkom suszy meteorologicznej na glebach torfowo-murszowych i murszowatych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie*. Nr 26. ISBN 978-83-61875-05-5 ss. 75.
- SZAJDA J. 2011. Wpływ potencjału wody w glebie na ewapotranspirację i plonowanie użytków zielonych na glebach torfowo-murszowych i murszowatych w warunkach suszy meteorologicznej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie*. Nr 32. ISBN 978-83-62416-31-8 ss. 62.
- 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 Agrophysica*. Vol. 35 s.183–190.

- SZAJDA J., CZERWIŃSKI M., JAKIMIUK S. 2007. Ocena suszy meteorologicznej w okresie wegetacyjnym na Polesiu Lubelskim za pomocą wybranych wskaźników. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 7. Z. 2a(20) s. 313–326.
- TURCZYŃSKI M., MICHALCZYK Z., CHMIEL S., MIĘSIĄK-WÓJCIK K., GŁOWACKI S. 2009. Evaluation of the hydrological role of wetlands in the Włodawka River catchment (Polesie Lubelskie). Journal of Water and Land Development. No. 13b s. 109–123.
- ZAWADZKI S. 1973. Laboratoryjne oznaczanie zdolności retencyjnych utworów glebowych. Wiadomości IMUZ. T. 11. Z. 2 s. 11–31.
- ZAWADZKI S. 1979. Zasady określania jednostek gleb mineralnych, w nawiązaniu do koncepcji kompleksów wilgotnościowo-glebowych. W: Kompleksy wilgotnościowo-glebowe w siedliskach hydrogenicznych i ich interpretacja przy projektowaniu melioracji i zagospodarowania. Biblioteczka Wiadomości IMUZ. Nr 58 s. 21–28.

Jan SZAJDA

THE EFFECT OF WATER POTENTIAL IN SOIL ON GRASSLAND EVAPOTRANSPIRATION AND YIELDING

Key words: *actual and maximum grassland evapotranspiration, actual and maximum yield from grasslands, index evapotranspiration, soil water potential*

S u m m a r y

Soil-water coefficients k_{s1} were determined during field studies in grasslands in April-May, June-July and August-September to assess the effect of soil moisture on actual evapotranspiration. Moreover, coefficients k_{s2} were determined to assess the effect of soil moisture on actual yields in relation to absolute soil water potential at moderate, severe and extreme drought caused by a set of rain-free periods defined acc. to KOŹMIŃSKI [1983, 1986]. The effect of soil moisture on evapotranspiration and plant yield may be estimated by the reduction of empirically determined values of evapotranspiration [SZAJDA 1997a,b; 2009] and yield [SZAJDA 1995a,b; 2011] using these coefficients. They are particularly useful when designing grassland reclamation.

Adres do korespondencji: dr habil. inż. J. Szajda, ul. Romantyczna 12/5, 20-533 Lublin; tel. 514 030 693, 81 479 84 03, e-mail: asz@natan.pl