

Wpłynęło 13.11.2015 r.
Zrecenzowano 28.01.2016 r.
Zaakceptowano 01.02.2016 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

SZACOWANIE PLONÓW RZECZYWISTYCH Z UŻYTKÓW ZIELONYCH NA PODSTAWIE PLONÓW MAKSYMALNYCH I POTENCJAŁU WODY W GLEBIE

Jan SZAJDA¹⁾ ABCDEF, Leszek ŁABĘDZKI²⁾ DEF

¹⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach

²⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy

Streszczenie

W pracy przedstawiono syntetyczną analizę wyników badań lizymetrycznych plonowania i ewapotranspiracji użytków zielonych w naturalnych warunkach dostatku wody w glebie oraz w warunkach zróżnicowanego potencjału wody w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresach suszy meteorologicznej umiarkowanej, silnej i ekstremalnej na Polesiu Lubelskim. Stwierdzono, że optymalna wilgotność gleby na użytkach zielonych zapewnia maksymalne plony siana. Plony te w dekadach i okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX są uzależnione od czynników meteorologicznych i ewapotranspiracji maksymalnej. W pracy oszacowano aktualne i końcowe maksymalne plony siana w dekadach i okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX w zależności od prognozowanych średnich dobowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej. Określono wpływ wilgotności gleby na aktualne i końcowe rzeczywiste plony siana za pomocą współczynników glebowo-wodnych k_{s2} dla dekad i okresów IV–V, VI–VII, VIII–IX w zależności od prognozowanych bezwzględnych wartości potencjału wody glebowej. Oszacowano aktualne i końcowe rzeczywiste plony siana w dekadach i okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX na podstawie zmniejszania plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} . Oszacowane aktualne i końcowe rzeczywiste plony siana odnieszone do plonów maksymalnych ilustrują wpływ potencjału wody w glebie na dynamikę przyrostu plonu aktualnego i końcowego. Dowodzą one, jak istotne znaczenie dla optymalnego plonowania użytków zielonych ma utrzymywanie optymalnego uwilgotnienia gleby.

Słowa kluczowe: plon, potencjał wody w glebie, użytki zielone

Do cytowania For citation: Szajda J., Łabędzki L. 2016. Szacowanie plonów rzeczywistych z użytków zielonych na podstawie plonów maksymalnych i potencjału wody w glebie. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 16. Z. 1 (53) s. 93–114.

WSTĘP

Plon rzeczywisty siana na użytkach zielonych stanowi efekt wydajności reakcji fotosyntezy zachodzącej w liściach, w wyniku której dwutlenek węgla z udziałem światła słonecznego i wody przekształcany jest w węglowodany. 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. W przypadku całkowitego osłonięcia gleby roślinnością transpirację liści można przyjmować jako równą ewapotranspiracji. W warunkach dostatku wody w glebie i dwutlenku węgla w powietrzu wydajność reakcji fotosyntezy uzależniona jest od natężenia radiacji i wielkości ewapotranspiracji [KOWALIK 1976] oraz zasobności gleby w składniki mineralne [SZAJDA 1997]. W warunkach niedoboru wody w glebie, najczęściej w okresach suszy meteorologicznej spowodowanej występowaniem ciągów dni bezopadowych, czynnikiem ograniczającym wydajność reakcji fotosyntezy oraz ewapotranspirację jest zbyt niski potencjał wody w glebie. Do oceny wpływu potencjału wody w glebie na wydajność reakcji fotosyntezy na użytkach zielonych konieczne jest szacowanie plonów rzeczywistych.

W niniejszej pracy przedstawiono syntetyczną analizę wyników badań lizymetrycznych ewapotranspiracji i plonowania użytków zielonych (łąki, pastwiska i runi łąkowej) na Polesiu Lubelskim w naturalnych warunkach dostatku wody w glebie oraz w warunkach zróżnicowanego potencjału wody w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresach suszy meteorologicznej umiarkowanej, silnej i ekstremalnej pod kątem szacowania rzeczywistych plonów siana aktualnych w dekadach i końcowych w okresach charakterystycznych (IV–V, VI–VII, VIII–IX). Okresy te wyraźnie różnią się pod względem warunków meteorologicznych. Przyjąć można również, że na każdy z tych okresów przypada 1 odrost łąki, 2 odrosty pastwiska i 6 odrostów runi łąkowej. Rzeczywiste plony siana odnoszone do plonów maksymalnych ilustrują wpływ potencjału wody w glebie na dynamikę przyrostu plonu aktualnego i plonu końcowego.

Z badań wynika, że optymalna wilgotność gleby na użytkach zielonych w aktualnym układzie czynników meteorologicznych (natężenia radiacji słonecznej, usłonecznienia, długości astronomicznej dnia, temperatury i niedosytu wilgotności powietrza, prędkości wiatru), poziomie nawożenia mineralnego i sposobie użytkowania zapewnia maksymalne plony siana. Maksymalne plony siana stanowią wskaźnik ewapotranspiracji maksymalnej zależny od czynników meteorologicznych [SZAJDA, ŁABĘDZKI 2016]. Na podstawie tych badań określono związki funkcyjne średnich dobowych dla dekad i odrostów wartości ewapotranspiracji maksymalnej oraz aktualnych i końcowych maksymalnych plonów siana [SZAJDA 2006; 2009]. Wpływ wilgotności gleby na plony rzeczywiste użytków zielonych określono wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} dla dekad i okresów

charakterystycznych oraz zależnością wartości tych współczynników od bezwzględnych wartości potencjału wody w glebie [SZAJDA 2011; 2014].

Celem niniejszej pracy jest synteza wyników tych badań pod kątem:

- szacowania aktualnych i końcowych maksymalnych plonów siana z użytków zielonych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX w zależności od prognozowanych wartości ewapotranspiracji maksymalnej;
- określenia dla dekad i okresów IV–V, VI–VII, VIII–IX współczynników glebowo-wodnych k_{s2} w zależności od prognozowanych bezwzględnych wartości potencjału wody glebowej;
- szacowania aktualnych i końcowych rzeczywistych plonów siana z użytków zielonych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX na podstawie zmniejszania plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} .

ZAKRES I METODY BADAŃ

Zakres badań lizymetrycznych plonowania i ewapotranspiracji użytków zielonych w naturalnych warunkach dostatku wody w glebie oraz w warunkach zróżnicowanego potencjału wody w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w okresach suszy meteorologicznej umiarkowanej, silnej i ekstremalnej na Polesiu Lubelskim podano w zamieszczonej w niniejszym zeszycie pracy autorów [SZAJDA, ŁABĘDZKI 2016].

Metody charakterystyki suszy meteorologicznej umiarkowanej, silnej i ekstremalnej, spowodowanej występowaniem ciągów dni bezopadowych, badań ewapotranspiracji, plonów i potencjału wody w glebach, oceny istotności różnic plonów i ewapotranspiracji łąki nawożonej na poziomie 3NPK, pastwiska nawożonego na poziomie 3NPK oraz łąki 2NPK, 1NPK i runi łąkowej nawożonej na poziomie 1NPK, charakterystyki związków funkcyjnych pomiędzy ewapotranspiracją i plonowaniem a potencjałem wody w glebach oraz oceny istotności tych związków podano w innych pracach [SZAJDA 1987; 1997; 2006; 2009; 2011; 2014].

WYNIKI BADAŃ I ICH SYNTETYCZNA ANALIZA

ZALEŻNOŚĆ AKTUALNYCH MAKSYMALNYCH PLONÓW SIANA OD EWAPOTRANSPIRACJI MAKSYMALNEJ UŻYTKÓW ZIELONYCH W OKRESACH IV–V, VI–VII, VIII–IX

Podstawę określenia zależności aktualnych maksymalnych plonów siana od ewapotranspiracji maksymalnej użytków zielonych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX stanowiły przedstawione w innych pracach [SZAJDA 1987; 1997; 2006; 2009; 2011; 2014] wyniki badań lizymetrycznych dekadowych wartości ewapo-

transpiracji maksymalnej ET_{\max} oraz końcowych plonów maksymalnych Q_{\max} łąki i pastwiska 3NPK w latach 1974–1981, łąki 2NPK i 1NPK oraz runi łąkowej 1NPK w latach 1982–1990. Syntetyczną analizę wyników tych badań pod kątem określenia zależności średnich w dekadach dobowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej użytków zielonych ET_{\max} od aktualnych maksymalnych plonów siana q_{\max} przedstawiono w zamieszczonej w niniejszym zeszycie pracy autorów [SZAJDA, ŁABĘDZKI 2016]. Zależności średnich w dekadzie dobowych wartości ET_{\max} ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) od aktualnych maksymalnych plonów siana q_{\max} ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) opisują równania regresji [SZAJDA 2006]:

– w okresie IV–V i w zakresie $q_{\max} = 0,01\text{--}8,41 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$

$$ET_{\max} = 1,1319 + 0,7642q_{\max} \quad r = 0,8283 \quad (1)$$

– w okresie VI–VII i w zakresie $q_{\max} = 0,18\text{--}8,54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$

$$ET_{\max} = 1,9305 + 0,5819q_{\max} \quad r = 0,7864 \quad (2)$$

– w okresie VIII–IX i w zakresie $q_{\max} = 0,22\text{--}6,72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$

$$ET_{\max} = 0,3777 + 0,5160q_{\max} \quad r = 0,7583 \quad (3)$$

Równania te wykorzystano do obliczenia dla użytków zielonych (łąki, pastwiska, runi łąkowej) aktualnych maksymalnych plonów siana q_{\max} na podstawie prognozowanych wartości ET_{\max} . Przekształcając bowiem równania (1), (2), (3), uzyskuje się:

– w okresie IV–V i w zakresie $ET_{\max} = 1,14\text{--}7,56 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$

$$q_{\max} = \frac{ET_{\max} - 1,1319}{0,7642} \quad (4)$$

– w okresie VI–VII i w zakresie $ET_{\max} = 2,03\text{--}6,90 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$

$$q_{\max} = \frac{ET_{\max} - 1,9305}{0,5819} \quad (5)$$

– w okresie VIII–IX i w zakresie $ET_{\max} = 0,49\text{--}3,84 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$

$$q_{\max} = \frac{ET_{\max} - 0,3777}{0,5160} \quad (6)$$

**ZALEŻNOŚĆ KOŃCOWYCH MAKSYMALNYCH PLONÓW SIANA
OD EWAPOTRANSPIRACJI MAKSYMALNEJ UŻYTKÓW ZIELONYCH
W OKRESACH IV–V, VI–VII, VIII–IX**

Podstawę określenia zależności końcowych maksymalnych plonów siana od ewapotranspiracji maksymalnej użytków zielonych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX stanowiły wyniki badań lizymetrycznych plonów końcowych Q_{\max} łąki 3-kośnej 3NPK, 2NPK, 1NPK, pastwiska 3NPK i runi łąkowej 1NPK oraz sumy dekadowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej ET_{\max} podane w innych pracach [SZAJDA 1987; 1997; 2006; 2009; 2011; 2014]. Syntetyczną analizę wyników tych badań pod kątem określenia zależności średnich dobowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej użytków zielonych ET_{\max} w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX od końcowych maksymalnych plonów siana Q_{\max} przedstawiono w zamieszczonej w niniejszym zeszycie pracy autorów [SZAJDA, ŁABĘDZKI 2016]. Zależności średnich dobowych wartości ET_{\max} ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) w tych okresach od końcowych maksymalnych plonów siana Q_{\max} ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) opisują równania regresji [SZAJDA 2009]:

– w okresie IV–V i w zakresie $Q_{\max} = 1,38\text{--}12,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$

$$ET_{\max} = 0,2869Q_{\max} + 1,2385 \quad r = 0,8155 \quad (7)$$

– w okresie VI–VII i w zakresie $Q_{\max} = 1,69\text{--}8,54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$

$$ET_{\max} = 1,5441Q_{\max}^{0,5467} \quad R = 0,7287 \quad (8)$$

– w okresie VIII–IX i w zakresie $Q_{\max} = 1,31\text{--}6,72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$

$$ET_{\max} = 0,6068Q_{\max} + 0,6233 \quad r = 0,8015 \quad (9)$$

Równania te wykorzystano do obliczenia dla użytków zielonych (łąki, pastwiska, runi łąkowej) końcowych maksymalnych plonów siana Q_{\max} na podstawie prognozowanych wartości ET_{\max} . Przekształcając bowiem równania (7), (8), (9), uzyskuje się:

– w okresie IV–V i w zakresie $ET_{\max} = 1,63\text{--}4,75 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$

$$Q_{\max} = \frac{ET_{\max} - 1,2385}{0,2869} \quad (10)$$

– w okresie VI–VII i w zakresie $ET_{\max} = 2,06\text{--}4,78 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$

$$\log Q_{\max} = \frac{\log ET_{\max} - \log 1,5441}{0,5467} \quad (11)$$

– w okresie VIII–IX i w zakresie $ET_{\max} = 1,42\text{--}4,70 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$

$$Q_{\max} = \frac{ET_{\max} - 0,6233}{0,6068} \quad (12)$$

WPLYW POTENCJAŁU WODY W GLEBIE NA AKTUALNE RZECZYWISTE PŁONY SIANA

Na badanych użytkach zielonych w aktualnym układzie czynników meteorologicznych, poziomu zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe i sposobu użytkowania plon siana (końcowy oraz dynamika jego przyrostu) jest maksymalny, gdy w warstwie korzeniowej występuje optymalna wilgotność gleby, a podsiąk kapilarny ze zwierciadła wody gruntowej całkowicie równoważy rozchody wody na ewapotranspirację. W warunkach wilgotności większej od optymalnej notowano zmniejszanie się plonów siana oraz nadmiarowe (luksusowe) zużycie wody na ewapotranspirację. Plon maksymalny siana zmierzony w warunkach optymalnej wilgotności gleby stanowi wskaźnik największego, ekonomicznie uzasadnionego zużycia wody, przyjmowanego za ewapotranspirację maksymalną ET_{\max} [SZAJDA, ŁABĘDZKI 2016]. W okresach suszy meteorologicznej pobieranie wody przez korzenie jest utrudnione, ponieważ czynnikiem ograniczającym wzrost roślin, a tym samym plon i ewapotranspirację jest wilgotność gleby [FEDDES 1985; GASCA-TUCKER i in. 2007; KACA, KASPERSKA 2000; KUŹNIAR i in. 2011; ŁABĘDZKI 1997; ŁABĘDZKI, KASPERSKA 1994; MORAN i in. 2009; SZAJDA 1997; 2011; 2014; SZAJDA, OLSZTA 2000], określana udziałem objętościowym wody w glebie lub jako potencjał wody w glebie F , wyrażony w ujemnych wartościach ciśnienia (hPa) lub w wartościach $pF = \log F$ [ZAWADZKI 1973].

Wpływ potencjału wody glebowej F na aktualny rzeczywisty plon siana q w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX obliczono wg równania:

$$q = k_{s2}(F) q_{\max} \quad (13)$$

stąd:

$$k_{s2}(F) = \frac{q}{q_{\max}}, \quad 1 \geq k_{s2}(F) \geq 0, \quad (14)$$

gdzie:

q = aktualny rzeczywisty plon siana, będący różnicą plonu między końcowym w danej dekadzie a początkowym w danym okresie w warunkach zróżnicowanego potencjału wody glebowej F , $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$;

$k_{s2}(F)$ = współczynnik glebowo-wodny dla dekad, zależny od potencjału wody w glebie F ;

- q_{\max} = aktualny maksymalny plon siana, będący różnicą plonu między końcowym w danej dekadzie a początkowym w danym okresie w warunkach, gdy $k_{s2} = 1$, $q = q_{\max}$, $ET = ET_{\max}$, $t \cdot ha^{-1}$;
- F = największa bezwzględna wartość potencjału wody glebowej w czasie ciągów dni bezopadowych wyznaczona w badaniach lizymetrycznych i polowych w glebach torfowo-murszowych i murszowatych w dekadach z suszą meteorologiczną umiarkowaną, silną i ekstremalną, hPa.

Dla wartości współczynników glebowo-wodnych k_{s2} obliczonych za pomocą równania (14) oraz odpowiadających im bezwzględnych wartości potencjału wody glebowej F wyznaczono równania regresji [SZAJDA 2011]:

- w okresie IV–V i w zakresie $F = (-586) \div (-32)$ hPa

$$k_{s2} = -0,0009 |F| + 0,9624 \quad r = 0,7368 \quad (15)$$

- w okresie VI–VII i w zakresie $F = (-8\ 000) \div (-13)$ hPa

$$k_{s2} = -0,1705 \ln |F| + 1,5191 \quad R = 0,8255 \quad (16)$$

- w okresie VIII–IX i w zakresie $F = (-15\ 850) \div (-15)$ hPa

$$k_{s2} = -0,1167 \ln |F| + 1,3326 \quad R = 0,8892 \quad (17)$$

Wpływ bezwzględnej wartości potencjału wody w glebie w podanych przedziałach wartości F na średnie w dekadzie dobowe wartości ewapotranspiracji rzeczywistej ET w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX określono, wprowadzając do równania (13) zależności (15), (16), (17). Uzyskano w ten sposób równania:

- w okresie IV–V i w zakresie $F = (-586) \div (-32)$ hPa oraz $q_{\max} 0,01\text{--}8,41 t \cdot ha^{-1}$

$$q = (-0,0009 |F| + 0,9624) q_{\max} \quad (18)$$

- w okresie VI–VII i w zakresie $F = (-8\ 000) \div (-13)$ hPa oraz $q_{\max} 0,18\text{--}8,54 t \cdot ha^{-1}$

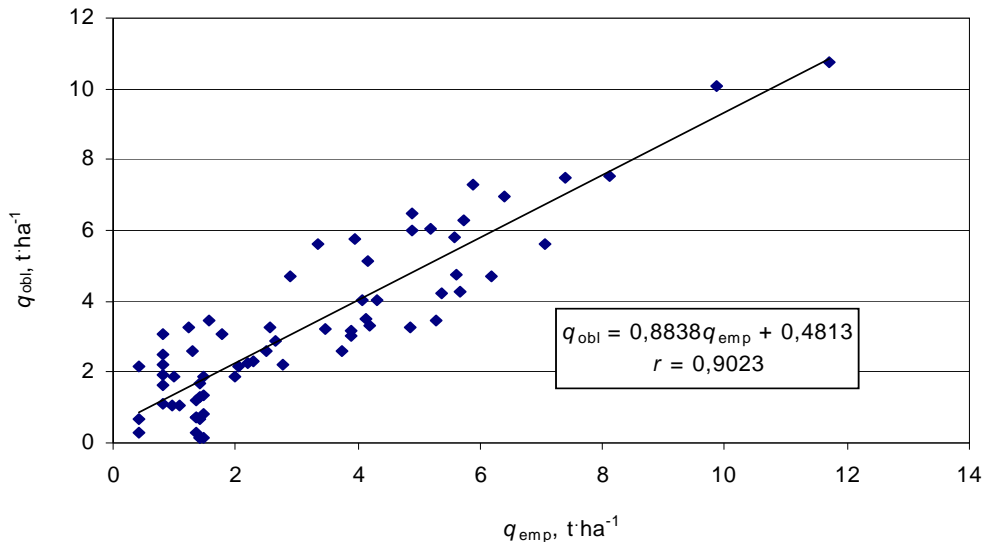
$$q = (-0,1705 \ln |F| + 1,5191) q_{\max} \quad (19)$$

- w okresie VIII–IX i w zakresie $F = (-15\ 850) \div (-15)$ hPa oraz $q_{\max} 0,22\text{--}6,72 t \cdot ha^{-1}$

$$q = (-0,1167 \ln |F| + 1,3326) q_{\max} \quad (20)$$

Dokonano również weryfikacji empirycznej zależności (18), (19), (20) pod kątem dokładności wyników obliczeń aktualnych rzeczywistych plonów siana q w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX. Do obliczeń q za pomocą tych równań wyko-

rzystano określone empirycznie wartości q_{\max} oraz F w latach 1977–1994. Dla każdej z dekad z suszą meteorologiczną umiarkowaną, silną i ekstremalną obliczono plony aktualne q_{obl} oraz porównano je z plonami wyznaczonymi empirycznie q_{emp} (rys. 1).



Rys. 1. Związek aktualnych plonów rzeczywistych obliczonych (q_{obl}) i określonych empirycznie (q_{emp}) w okresie wegetacyjnym (IV–IX); źródło: wyniki własne

Fig. 1. Relationship between current actual yield calculated (q_{obl}) and measured (q_{emp}) in the period April–September; source: own study

Współczynnik korelacji wartości q_{emp} i q_{obl} ($r = 0,9033$) w okresie IV–IX wskazuje na dużą zgodność kierunku zmian aktualnych w danej dekadzie plonów pomierzonych i obliczonych. Zależności (18), (19), (20) są zatem przydatne do obliczeń aktualnych plonów q . Zależności te mogą być wykorzystane do obliczeń aktualnych plonów rzeczywistych w warunkach suszy meteorologicznej umiarkowanej silnej i ekstremalnej na podstawie ograniczenia plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników glebowo wodnych k_{s2} .

WPLYW POTENCJAŁU WODY W GLEBIE NA KOŃCOWE RZECZYWISTE PLONY SIANA

Wpływ potencjału wody glebowej F na końcowe plony rzeczywiste siana Q w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX obliczono wg równania:

$$Q = k_{s2}(F) Q_{\max} \quad (21)$$

stąd:

$$k_{s2}(F) = \frac{Q}{Q_{\max}}, 1 \geq k_{s2}(F) \geq 0 \quad (22)$$

gdzie:

Q = końcowy plon rzeczywisty siana w warunkach zróżnicowanego potencjału wody glebowej, $t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$ [SZAJDA 2014];

$k_{s2}(F)$ = współczynnik glebowo-wodny zależny od wielkości F ;

Q_{\max} = końcowy plon maksymalny siana określony w warunkach, gdy $k_{s2} = 1$, $Q = Q_{\max}$, $ET = ET_{\max}$, $t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$ [SZAJDA 2014];

F = największa bezwzględna wartość potencjału wody glebowej w czasie ciągów dni bezopadowych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX z suszą meteorologiczną umiarkowaną, silną i ekstremalną, wyznaczona w badaniach lizymetrycznych i polowych w glebach torfowo-murszowych i murszowatych, hPa.

Dla wartości współczynników glebowo-wodnych k_{s2} obliczonych za pomocą równania (22) oraz odpowiadających im wartości F w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX wyznaczono równania regresji:

– w okresie IV–V i w zakresie $F = (-794) \div (-40)$ hPa

$$k_{s2} = -0,0003 |F| + 1,0062 \quad r = 0,9159 \quad (23)$$

– w okresie VI–VII i w zakresie $F = (-10\ 000) \div (-23)$ hPa

$$k_{s2} = -0,1205 \ln |F| + 1,4611 \quad R = 0,9058 \quad (24)$$

– w okresie VIII–IX i w zakresie $F = (-15\ 850) \div (-15)$ hPa

$$k_{s2} = -0,1271 \ln |F| + 1,5049 \quad R = 0,8620 \quad (25)$$

Wpływ bezwzględnej wartości potencjału wody w glebie w podanych przedziałach wartości F na końcowe plony rzeczywiste siana Q w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX określono wprowadzając do równania (21) zależności (23), (24), (25). Uzyskano wówczas:

– w okresie IV–V i w zakresie $F = (-794) \div (-40)$ hPa oraz $Q_{\max} = 0,055 \div 0,136 t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$

$$Q = (-0,0003 |F| + 1,0062) Q_{\max} \quad (26)$$

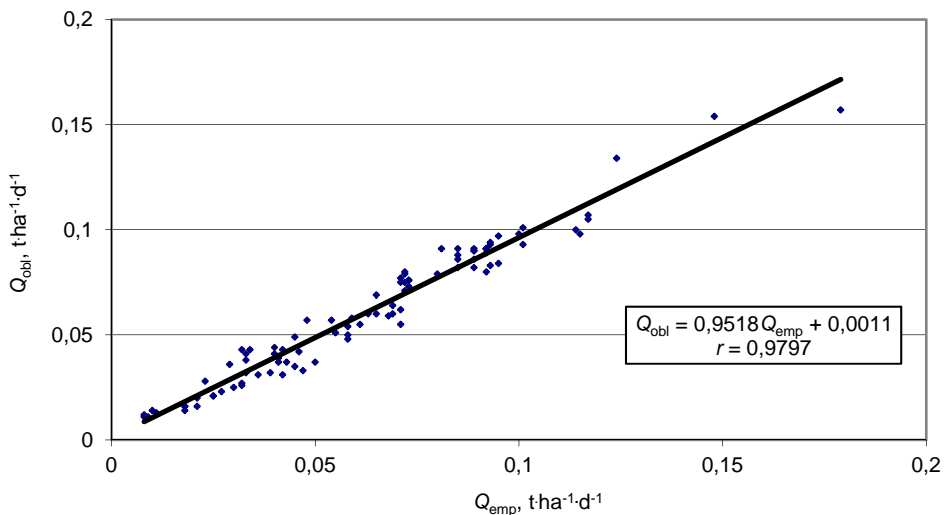
– w okresie VI–VII i w zakresie $F = (-10\ 000) \div (-23)$ hPa oraz $Q_{\max} = 0,061 \div 0,179 t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}$

$$Q = (-0,1135 \ln |F| + 1,4234) Q_{\max} \quad (27)$$

– w okresie VIII–IX i w zakresie $F = (-15\ 850) \div (-15)$ hPa oraz $Q_{\max} = 0,025 - 0,071 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$

$$Q = (-0,1192 \ln |F| + 1,4) Q_{\max} \quad (28)$$

Dokonano również weryfikacji empirycznej zależności (26), (27), (28) pod kątem dokładności wyników obliczeń końcowych plonów rzeczywistych Q w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX. Do obliczeń Q za pomocą tych równań wykorzystano określone empirycznie wartości Q_{\max} oraz F w latach 1977–1994. Dla każdego z okresów z suszą meteorologiczną umiarkowaną, silną i ekstremalną obliczono średnie dobowe wartości Q_{obl} oraz porównano je z wartościami Q_{emp} określonymi empirycznie (rys. 2). Współczynnik korelacji wartości Q_{emp} i Q_{obl} ($r = 0,9797$) w okresie IV–IX świadczy o dużej zgodności kierunku zmian końcowych plonów empirycznych i obliczonych. Wartości Q_{emp} i Q_{obl} nieznacznie się różnią. Równania (26), (27), (28) są zatem przydatne do obliczeń średniej dobowej wartości Q w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX. Umożliwiają one ilościową ocenę wpływu potencjału wody glebowej na końcowy rzeczywisty plon siana na podstawie ograniczenia plonu maksymalnego, wyrażonego wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} dla okresów charakterystycznych (IV–V, VI–VII, VIII–IX).



Rys. 2. Związek końcowych rzeczywistych plonów siana obliczonych Q_{obl} i określonych empirycznie Q_{emp} w okresie wegetacyjnym (IV–IX); źródło: wyniki własne

Fig. 2. Relationship between final actual yield calculated Q_{obl} and measured Q_{emp} in the period April–September; source: own study

SZACOWANIE AKTUALNYCH RZECZYWISTYCH PLONÓW SIANA Z UŻYTKÓW ZIELONYCH W OKRESACH IV–V, VI–VII, VIII–IX

SZACOWANIE AKTUALNYCH MAKSYMALNYCH PLONÓW SIANA Z UŻYTKÓW ZIELONYCH W OKRESACH IV–V, VI–VII, VIII–IX NA PODSTAWIE PROGNOZOWANYCH ŚREDNICH W DEKADACH DOBOWYCH WARTOŚCI EWAPOTRANSPIRACJI MAKSYMALNEJ

Obliczone za pomocą równania (4) w okresie IV–V, równania (5) w okresie VI–VII, równania (6) w okresie VIII–IX aktualne maksymalne plony siana z użytków zielonych q_{\max} w zależności od prognozowanych średnich w dekadach dobowych wartości ET_{\max} zestawiono w tabeli 1. Wskazują one, że plony q_{\max} w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX różnicują się w zależności od czynników meteorologicznych i średnich w dekadach dobowych wartości ET_{\max} . Zakres zmienności plonów w okresie VI–VII w stosunku do okresu VIII–IX był większy, podobnie jak wielkości natężenia radiacji słonecznej na górnej granicy atmosfery i usłonecznienia astronomicznie możliwego [KOWALIK 1976; ROGUSKI i in. 1988] oraz temperatury i niedosytu wilgotności powietrza [SZAJDA i in. 2007] w tych okresach. Aktualne maksymalne plony siana q_{\max} w poszczególnych okresach zwiększają się, gdy średnia w dekadach dobowych wartość ET_{\max} się zwiększa. Gdy zwiększa się zużycie wody na ewapotranspirację, zwiększa się też ilość składników mineralnych pobranych z gleby i dostarczanych roślinom z wodą. Zasobność gleby w składniki mineralne kształtowana przez poziom nawożenia 1NPK, 2NPK i 3NPK była największa w okresie IV–V po wiosennym wysiewie nawozów mineralnych. Dlatego zakres zmienności plonów q_{\max} był największy w okresie IV–V, mniejszy w okresie VI–VII, a najmniejszy w okresie VIII–IX.

Tabela 1. Aktualne maksymalne plony siana z użytków zielonych q_{\max} w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX w zależności od prognozowanych średnich w dekadach dobowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej ET_{\max}

Table 1. Current maximum hay yield q_{\max} in the periods IV–V, VI–VII, VIII–IX in dependence on predicted daily 10-day mean maximum evapotranspiration ET_{\max}

Okres Period	Plon q_{\max} ($t \cdot ha^{-1}$), gdy ET_{\max} ($mm \cdot d^{-1}$) Yield q_{\max} ($t \cdot ha^{-1}$) for ET_{\max} ($mm \cdot d^{-1}$)							
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
IV–V	–	0,01	1,14	2,44	3,75	5,06	6,37	7,68
VI–VII	–	–	0,12	1,83	3,56	5,27	6,99	–
VIII–IX	0,24	1,21	3,14	5,08	–	–	–	–

Objaśnienia: „–” – wartości ET_{\max} nie notowane w okresie badań.

Explanations: „–” – ET_{\max} values did not occur during measurements.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Aktualne maksymalne plony siana q_{\max} na użytkach zielonych stanowią wskaźnik dynamiki przyrostu plonów w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby. Odnoszą się one do warunków zrównoważonego bilansu wodnego, w których rozchody wody na ewapotranspirację są całkowicie zrównoważone przez podsiąk kapilarny [KOWALIK 1976; KOWALIK, ZARADNY 1978; ŁABĘDZKI 1997; ZARADNY 1993], a w glebie utrzymuje się charakterystyczna wilgotność warstwy korzeniowej, odpowiadająca $pF = 1,9$ w okresie IV–V, $pF 1,7$ w okresie VI–VII i $pF 2,1$ w okresie VIII–IX [SZAJDA 1997; 2009; 2011; 2014; SZAJDA i in. 2006; SZAJDA, OLSZTA 2005].

Z powyższych rozważań wynika, że aktualne maksymalne plony siana różnicują się w zależności od czynników meteorologicznych i ewapotranspiracji maksymalnej. Podana w pracy charakterystyka liczbowa tego zróżnicowania (tab. 1) umożliwi szacowanie aktualnych rzeczywistych plonów siana na podstawie zmniejszania aktualnych plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} dla dekad [SZAJDA 2011].

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW GLEBOWO-WODNYCH k_{s2} DLA DEKAD NA PODSTAWIE PROGNOZOWANEJ BEZWZGLĘDNEJ WARTOŚCI POTENCJAŁU WODY W GLEBIE

Wartości współczynników glebowo-wodnych k_{s2} obliczono za pomocą równania (15) w okresie IV–V dla bezwzględnych wartości F równych 100, 300, 500 hPa, równania (16) w okresie VI–VII, gdy $F = 100, 300, 500, 700, 1\ 000, 4\ 000, 8\ 000$ hPa i równania (17) w okresie VIII–IX, gdy $F = 100, 300, 500, 700, 1\ 000, 4\ 000, 8\ 000, 10\ 000, 15\ 000$ hPa (tab. 2). Do obliczeń współczynników glebowo-wodnych k_{s2} za pomocą równań (15), (16), (17) można wykorzystać bezpośrednie pomiary potencjału wody w glebie F . Do tego celu należy przyjąć największe bezwzględne wartości F zmierzone w czasie ciągów dni bezopadowych w danej dekadzie.

Tabela 2. Współczynniki glebowo-wodne k_{s2} dla dekad w zależności od prognozowanych bezwzględnych wartości potencjału wody F

Table 2. Soil-water coefficients k_{s2} for 10-days periods in dependence on predicted absolute values of soil water potential F

Okres Period	Współczynnik k_{s2} , gdy $ F $ (hPa)					Coefficient k_{s2} for $ F $ (hPa)			
	100	300	500	700	1 000	4 000	8 000	10 000	15 000
IV–V	0,87	0,69	0,51	–	–	–	–	–	–
VI–VII	0,73	0,55	0,46	0,40	0,34	0,10	0,01	–	–
VIII–IX	0,79	0,67	0,61	0,57	0,53	0,36	0,28	0,26	0,21

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as under Table 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Z obliczeń wynika (tab. 2), że bezwzględne wartości potencjału wody w glebie F w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX wywierają istotny wpływ na dekadowe wartości współczynników glebowo-wodnych k_{s2} . Dekadowe wartości k_{s2} maleją, gdy bezwzględne wartości potencjału wody F się zwiększają. Podana w pracy charakterystyka liczbowa tego zróżnicowania potwierdza istotny wpływ bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej F na aktualne rzeczywiste plony siana. Charakterystyka ta jest niezbędna do szacowania aktualnych rzeczywistych plonów siana na podstawie zmniejszania aktualnych plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} [SZAJDA 2011].

**SZACOWANIE AKTUALNYCH RZECZYWISTYCH PLONÓW SIANA
W OKRESACH IV–V, VI–VII, VIII–IX
NA PODSTAWIE ZMNIEJSZANIA AKTUALNYCH PLONÓW MAKSYMALNYCH
WYRAŻONEGO WARTOŚCIĄ WSPÓŁCZYNNIKÓW k_{s2}**

Zgodnie z równaniami (13), (18), (19), (20) aktualne rzeczywiste plony siana q z użytków zielonych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX oszacowano na podstawie zmniejszania plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} w funkcji potencjału wody w glebie F . Oszacowane plony q na podstawie zmniejszania plonów q_{\max} zestawionych w tabeli 1., wyrażonego wartością współczynników k_{s2} w funkcji potencjału wody w glebie F (tab. 2), gdy prognozowane bezwzględne wartości potencjału wody F są równe 100, 300, 500 hPa w okresie IV–V, wartością współczynników k_{s2} , gdy $F = 100, 300, 500, 700, 1000, 4000, 8000$ hPa w okresie VI–VII, wartością współczynników k_{s2} , gdy $F = 100, 300, 500, 700, 1000, 4000, 8000, 10000, 15000$ hPa w okresie VIII–IX, zestawiono w tabeli 3.

Aktualne rzeczywiste plony siana q na użytkach zielonych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX oszacowane na podstawie zmniejszania plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} (tab. 3), są silnie skorelowane z wartościami zmierzonymi w lizymetrach (rys. 1). Różnicują się one w zależności od aktualnych maksymalnych plonów siana q_{\max} oraz bezwzględnej wartości potencjału wody w glebie F . Aktualne rzeczywiste plony siana q w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX zwiększają się wraz z wielkością plonów maksymalnych oraz maleją, gdy zwiększa się bezwzględna wartość potencjału wody w glebie. Ilustrują one wpływ potencjału wody w glebie na plonowanie użytków zielonych oraz dowodzą, jak istotne znaczenie dla optymalnego ich plonowania ma utrzymywanie dużego uwilgotnienia gleby. Problem ten znajduje swoje odbicie w badaniach innych autorów.

Tabela 3. Aktualne rzeczywiste plony siana q w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX w zależności od aktualnych plonów maksymalnych q_{\max} i prognozowanych bezwzględnych wartości potencjału wody w glebie F

Table 3. Current actual hay yield q in the periods IV–V, VI–VII, VIII–IX in dependence on maximum yield q_{\max} and predicted absolute values of soil water potential F

Okres Period	q_{\max} $t \cdot ha^{-1}$	Plon q ($t \cdot ha^{-1}$), gdy $ F $ (hPa) Yield q ($t \cdot ha^{-1}$) for $ F $ (hPa)								
		100	300	500	700	1 000	4 000	8 000	10 000	15 000
IV–V	0,01	0,009	0,007	0,006	–	–	–	–	–	–
	1,14	0,99	0,79	0,58	–	–	–	–	–	–
	2,44	2,12	1,68	1,24	–	–	–	–	–	–
	3,75	3,26	2,59	1,91	–	–	–	–	–	–
	5,06	4,40	3,49	2,58	–	–	–	–	–	–
	6,37	5,54	4,39	3,25	–	–	–	–	–	–
	7,68	6,68	4,61	3,92	–	–	–	–	–	–
VI–VII	0,12	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	0,01	0,001	–	–
	1,83	1,34	1,01	0,82	0,73	0,62	0,18	0,02	–	–
	3,56	2,60	1,96	1,60	1,42	1,21	0,36	0,04	–	–
	5,27	3,85	2,90	2,37	2,11	1,79	0,53	0,05	–	–
	6,99	5,10	3,84	3,14	2,80	2,38	0,70	0,07	–	–
VIII–IX	0,24	0,19	0,16	0,15	0,14	0,13	0,09	0,07	0,06	0,05
	1,21	0,96	0,81	0,74	0,69	0,64	0,44	0,34	0,31	0,25
	3,14	2,48	2,48	1,91	1,79	1,66	1,13	0,88	0,81	0,66
	5,08	4,01	3,40	3,10	2,90	2,69	1,83	1,42	1,32	1,07

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as under Table 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

BARYŁA i KULIK [2011] badali w latach 1970–2010 skład runi łąkowej i warunki wilgotnościowe łąk w rejonie Kanału Wieprz–Krzna. Stwierdzili, że optymalna głębokość zwierciadła wody gruntowej w warunkach gleb łąkowych w Sosnowicy powinna wynosić 60 cm. GRZYWNA [2013] stwierdził na podstawie badań prowadzonych w Sosnowicy, że najbardziej racjonalnym sposobem gospodarowania wodą na obiekcie Sosnowica jest zastosowanie melioracji z regulowanym odpływem. Trwałe użytki zielone są bowiem istotnym elementem środowiska [JANKOWSKA-HUFLEJT i in. 2011]. 90% trwałych użytków zielonych w Polsce (w tym i w Sosnowicy) położonych jest w dolinach rzek. Są one głównym źródłem paszy dla przeżuwaczy. Nawet jeśli są użytkowane ekstensywnie, dostarczają naturalnej, taniej i wartościowej paszy.

SZACOWANIE KOŃCOWYCH RZECZYWISTYCH PLONÓW SIANA Z UŻYTKÓW ZIELONYCH W OKRESACH IV–V, VI–VII, VIII–IX

SZACOWANIE KOŃCOWYCH MAKSYMALNYCH PLONÓW SIANA W OKRESACH IV–V, VI–VII, VIII–IX NA PODSTAWIE PROGNOZOWANYCH ŚREDNICH W OKRESACH CHARAKTERYSTYCZNYCH DOBOWYCH WARTOŚCI EWAPOTRANSPIRACJI MAKSYMALNEJ

Końcowe maksymalne plony siana Q_{\max} na użytkach zielonych w zależności od prognozowanych średnich w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX dobowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej ET_{\max} , obliczone za pomocą równania (10) w okresie IV–V, równania (11) w okresie VI–VII, równania (12) w okresie VIII–IX, zestawiono w tabeli 4. Z tego zestawienia wynika, że plony Q_{\max} w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX różnicują się w zależności od czynników meteorologicznych i średnich w okresach charakterystycznych (IV–V, VI–VII, VIII–IX) dobowych wartości ET_{\max} .

Tabela 4. Końcowe maksymalne plony siana Q_{\max} w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX w zależności od prognozowanych średnich w odrostach dobowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej ET_{\max}

Table 4. Final maximum hay yield Q_{\max} in the periods IV–V, VI–VII, VIII–IX in dependence on predicted daily re-growth mean maximum evapotranspiration ET_{\max}

Okres Period	Plon Q_{\max} ($t \cdot ha^{-1}$), gdy ET_{\max} ($mm \cdot d^{-1}$) Yield Q_{\max} ($t \cdot ha^{-1}$) for ET_{\max} ($mm \cdot d^{-1}$)							
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
IV–V	–	–	2,65	4,40	6,14	7,88	9,62	11,40
VI–VII	–	–	–	2,43	3,87	4,47	5,70	7,07
VIII–IX	–	1,44	2,27	3,09	3,92	4,74	5,56	6,39

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as under Table 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Zakres zmienności plonów w okresie VI–VII w stosunku do plonu w okresie VIII–IX jest większy, podobnie jak wartości natężenia radiacji słonecznej na górnej granicy atmosfery i usłonecznienia astronomicznie możliwego [KOWALIK 1976; ROGUSKI i in. 1988] oraz temperatury i niedosytu wilgotności powietrza [SZAJDA i in. 2007] w tych okresach. Końcowe maksymalne plony siana Q_{\max} w poszczególnych odrostach zwiększają się, gdy zwiększa się średnia w dekadach dobowo wartość ET_{\max} .

Gdy zwiększa się zużycie wody na ewapotranspirację, zwiększa się też ilość składników mineralnych pobranych z gleby i dostarczonych roślinom z wodą. Zasobność gleby w składniki mineralne kształtowana przez nawożenie na różnym poziomie (1NPK, 2NPK, 3NPK) była największa w okresie IV–V po wiosennym wysiewie nawozów mineralnych. Dlatego też zakres zmienności plonów Q_{\max} był

największy w okresie IV–V, mniejszy w okresie VI–VII, a najmniejszy w okresie VIII–IX.

Końcowe maksymalne plony siana Q_{\max} na użytkach zielonych stanowią wskaźnik plonowania w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby. Odnoszą się one do warunków zrównoważonego bilansu wodnego, w których rozchody wody na ewapotranspirację są całkowicie zrównoważone przez podsiąk kapilarny [KOWALIK 1976; KOWALIK, ZARADNY 1978; ŁABĘDZKI 1997; ZARADNY 1993], a w glebie utrzymuje się charakterystyczna wilgotność warstwy korzeniowej, odpowiadająca $pF = 1,9$ w okresie IV–V, $pF = 1,7$ w okresie VI–VII i $pF = 2,1$ w okresie VIII–IX [SZAJDA 1997; 2009; 2011; 2014; SZAJDA i in. 2006; SZAJDA, OLSZTA 2005].

Z powyższych rozważań wynika, że końcowe maksymalne plony siana różnią się w zależności od czynników meteorologicznych i ewapotranspiracji maksymalnej. Podana w pracy charakterystyka liczbowa tego zróżnicowania (tab. 4) umożliwia szacowanie końcowych rzeczywistych plonów siana na podstawie zmniejszania aktualnych plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} dla okresów IV–V, VI–VII, VIII–IX [SZAJDA 2014].

**SZACOWANIE WSPÓLCZYNNIKÓW GLEBOWO-WODNYCH k_{s2}
DLA OKRESÓW IV–V, VI–VII, VIII–IX
NA PODSTAWIE PROGNOZOWANEJ BEZWZGLĘDNEJ WARTOŚCI
POTENCJAŁU WODY W GLEBIE F**

Wartości współczynników glebowo-wodnych k_{s2} w zależności od prognozowanej bezwzględnej wartości potencjału wody w glebie w podanych przedziałach wartości F obliczono za pomocą równania (23) w okresie IV–V, równania (24) w okresie VI–VII, równania (25) w okresie VIII–IX. Do obliczeń współczynników glebowo-wodnych k_{s2} za pomocą równań (23), (24), (25) można wykorzystać bezpośrednie pomiary potencjału wody w glebie F . Do tego celu należy przyjąć największe bezwzględne wartości F zmierzone w czasie ciągów dni bezopadowych w danym okresie.

Wartości k_{s2} obliczone za pomocą równania (23), gdy bezwzględne wartości F są równe 100, 300, 500, 700 hPa, za pomocą równania (24), gdy $|F| = 100, 300, 500, 700, 1\ 000, 4\ 000, 8\ 000, 10\ 000$ hPa, za pomocą równania (25), gdy $|F| = 100, 300, 500, 700, 1\ 000, 4\ 000, 8\ 000, 10\ 000, 15\ 000$ hPa (tab. 5) wskazują, że bezwzględna wartość potencjału wody w glebie F wywiera istotny wpływ na wartość współczynników glebowo-wodnych k_{s2} w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX. Wpływ ten ujawnia się w istotnym zróżnicowaniu wartości k_{s2} w zależności od bezwzględnej wartości potencjału wody F . Wartości k_{s2} maleją, gdy zwiększają się bezwzględne wartości potencjału wody w glebie. Podana w pracy charakterystyka

Tabela 5. Współczynniki glebowo-wodne k_{s2} dla okresów IV–V, VI–VII, VIII–IX w zależności od prognozowanych bezwzględnych wartości potencjału wody F

Table 5. Soil-water coefficients k_{s2} in periods IV–V, VI–VII, VIII–IX in dependence on predicted absolute values of soil water potential F

Okres Period	Współczynnik k_{s2} , gdy $ F $ (hPa) Coefficient k_{s2} for $ F $ (hPa)								
	100	300	500	700	1 000	4 000	8 000	10 000	15 000
IV–V	0,98	0,92	0,86	0,80	–	–	–	–	–
VI–VII	0,91	0,77	0,71	0,67	0,63	0,46	0,38	0,35	–
VIII–IX	0,92	0,78	0,71	0,67	0,63	0,45	0,36	0,33	0,28

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as under Table 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

liczbowa tego zróżnicowania (tab. 5) potwierdza istotny wpływ bezwzględnej wartości potencjału wody glebowej F na końcowe rzeczywiste plony siana na użytkach zielonych. Jest ona niezbędna do szacowania końcowych rzeczywistych plonów siana na podstawie zmniejszania końcowych plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników k_{s2} .

SZACOWANIE KOŃCOWYCH RZECZYWISTYCH PLONÓW SIANA W OKRESACH IV–V, VI–VII, VIII–IX NA PODSTAWIE ZMNIEJSZANIA KOŃCOWYCH PLONÓW MAKSYMALNYCH, WYRAŻONEGO WARTOŚCIĄ WSPÓŁCZYNNIKÓW k_{s2}

Zgodnie z równaniami (21), (26), (27), (28) końcowe rzeczywiste plony siana Q na użytkach zielonych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX oszacowano na podstawie zmniejszania końcowych plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników glebowo-wodnych k_{s2} w funkcji potencjału wody w glebie F . Wyniki obliczeń końcowych plonów rzeczywistych Q na podstawie zmniejszania plonów maksymalnych Q_{\max} zestawionych w tabeli 4, wyrażonego wartością współczynników k_{s2} w funkcji potencjału wody w glebie F (tab. 5), gdy bezwzględne wartości potencjału wody F są równe 100, 300, 500, 700 hPa w okresie IV–V, wartością współczynników k_{s2} , gdy $|F| = 100, 300, 500, 700, 1\ 000, 4\ 000, 8\ 000, 10\ 000$ hPa w okresie VI–VII, wartością współczynników k_{s2} , gdy $|F| = 100, 300, 500, 700, 1\ 000, 4\ 000, 8\ 000, 10\ 000, 15\ 000$ hPa w okresie VIII–IX, zestawiono w tabeli 6.

Końcowe rzeczywiste plony siana Q na użytkach zielonych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX oszacowane na podstawie zmniejszania końcowych plonów maksymalnych, wyrażonego wartością współczynników k_{s2} (tab. 6) są silnie skorelowane z wartościami zmierzonymi w lizymetrach (rys. 2). Różnicują się one w zależności od wielkości plonów maksymalnych i bezwzględnej wartości potencjału wody w glebie – zwiększają się wraz z wielkością plonów maksymalnych

Tabela 6. Końcowe rzeczywiste plony siana Q na użytkach zielonych w okresach IV–V, VI–VII, VIII–IX w zależności od plonów maksymalnych Q_{\max} i prognozowanych bezwzględnych wartości potencjału wody w glebie F

Table 6. Final actual hay yield Q on grassland in the periods IV–V, VI–VII, VIII–IX in dependence on maximum yield Q_{\max} and predicted absolute values of soil water potential F

Okres Period	Q_{\max} t·ha ⁻¹	Plon Q (t·ha ⁻¹), gdy $ F $ (hPa) Yield Q (t·ha ⁻¹) for $ F $ (hPa)								
		100	300	500	700	1 000	4 000	8 000	10 000	15 000
IV–V	2,65	2,60	2,43	2,28	2,12	–	–	–	–	–
	4,40	4,31	4,05	3,78	3,52	–	–	–	–	–
	6,14	6,02	5,65	5,28	4,91	–	–	–	–	–
	7,88	7,72	7,25	6,78	6,30	–	–	–	–	–
	9,62	9,42	8,85	8,27	7,70	–	–	–	–	–
	11,40	11,20	10,49	9,80	9,12	–	–	–	–	–
VI–VII	2,43	2,21	1,87	1,72	1,63	1,53	1,12	0,92	0,85	–
	3,87	3,52	2,98	2,75	2,75	2,44	1,78	1,47	1,35	–
	4,47	4,07	3,44	3,17	2,99	2,82	2,06	1,70	1,56	–
	5,70	5,19	4,39	4,05	3,82	3,59	2,62	2,17	1,99	–
	7,07	6,43	5,44	5,02	4,74	4,45	3,25	2,69	2,47	–
VIII–IX	1,44	1,32	1,12	1,02	0,96	0,91	0,65	0,52	0,47	0,40
	2,27	2,09	1,77	1,62	1,52	1,43	1,02	0,82	0,75	0,64
	3,09	2,84	2,41	2,19	2,07	1,95	1,39	1,11	1,02	1,09
	3,92	3,61	3,06	2,78	2,63	2,47	1,76	1,41	1,29	1,10
	4,74	4,36	3,70	3,36	3,17	2,99	2,01	1,70	1,56	1,33
	5,56	5,11	4,34	3,95	3,73	3,50	2,50	2,00	1,83	1,56
	6,39	5,88	4,98	4,54	4,28	4,02	2,87	2,30	2,11	1,79

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as under Table 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

oraz maleją, gdy zwiększa się bezwzględna wartość potencjału wody w glebie. Oszacowane ilości końcowych plonów rzeczywistych (tab. 6) ilustrują wpływ potencjału wody w glebie na plonowanie użytków zielonych. Dowodzą one, jak duże znaczenie dla optymalnego ich plonowania ma utrzymywanie dużego uwilgotnienia gleby. Problem ten znajduje również swoje odbicie w badaniach innych autorów [BARYŁA, KULIK 2011; GRZYWNA 2013; JANKOWSKA-HUFLEJT i in. 2011; SZAJDA, ŁABĘDZKI 2016].

WNIOSKI

1. Na użytkach zielonych w aktualnym układzie czynników meteorologicznych, poziomu zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe i sposobu użytkowania optymalna wilgotność gleby zapewnia maksymalne plony siana, uzależnione od czynników meteorologicznych i ewapotranspiracji maksymalnej.

2. Wpływ czynników meteorologicznych i ewapotranspiracji maksymalnej na dynamikę plonowania użytków zielonych charakteryzują aktualne maksymalne plony siana oszacowane w zależności od prognozowanych średnich w dekadach dobowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej (tab. 1).

3. Wpływ wilgotności gleby na aktualne rzeczywiste plony siana na użytkach zielonych charakteryzują wartości współczynników glebowo-wodnych k_{s2} dla dekad, określone w zależności od prognozowanych bezwzględnych wartości potencjału wody glebowej (tab. 2).

4. Wpływ czynników meteorologicznych, ewapotranspiracji maksymalnej i wilgotności gleby na dynamikę aktualnych rzeczywistych plonów siana na użytkach zielonych oszacowano na podstawie zmniejszania plonów maksymalnych za pomocą współczynników glebowo-wodnych k_{s2} (tab. 3). Oszacowane aktualne rzeczywiste plony siana są ściśle skorelowane z plonami zmierzonymi w lizymetrach (rys. 1). Aktualne rzeczywiste plony siana odnoszone do plonów maksymalnych ilustrują wpływ potencjału wody w glebie na dynamikę przyrostu plonów. Dowodzą one, jak duże znaczenie dla optymalnego plonowania użytków zielonych ma utrzymywanie dużego uwilgotnienia gleby.

5. Wpływ czynników meteorologicznych i ewapotranspiracji maksymalnej na końcowe rzeczywiste plony siana na użytkach zielonych charakteryzują końcowe maksymalne plony siana oszacowane w zależności od prognozowanych średnich w okresach charakterystycznych (IV–V, VI–VII, VIII–IX) dobowych wartości ewapotranspiracji maksymalnej (tab. 4).

6. Wpływ wilgotności gleby na końcowe rzeczywiste plony siana na użytkach zielonych charakteryzują wartości współczynników glebowo-wodnych k_{s2} dla odrostów, określone w zależności od prognozowanych bezwzględnych wartości potencjału wody glebowej (tab. 5).

7. Wpływ czynników meteorologicznych, ewapotranspiracji maksymalnej i wilgotności gleby na końcowe rzeczywiste plony siana na użytkach zielonych oszacowano na podstawie zmniejszania końcowych plonów maksymalnych za pomocą współczynników glebowo-wodnych k_{s2} (tab. 6). Oszacowane końcowe rzeczywiste plony siana są ściśle skorelowane z plonami zmierzonymi w lizymetrach (rys. 2). Końcowe plony rzeczywiste odnoszone do końcowych plonów maksymalnych ilustrują wpływ potencjału wody w glebie na dynamikę plonów siana. Potwierdzają one również, jak duże znaczenie dla optymalnego plonowania użytków zielonych ma utrzymywanie dużego uwilgotnienia gleby.

BIBLIGRAFIA

- BARYŁA R., KULIK M. 2011. Zmiany składu gatunkowego runi w warunkach wieloletniego użytkowania łąk pobagiennych w rejonie Kanału Wieprz–Krzna [Changes species composition of the sward in long used postbog meadows in the Wieprz–Krzna channel region]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 11. Z. 4 (36) s. 7–18.

- FEDDES R.A. 1985. Crop water use and dry matter production: state of the art. Technical Bulletin. No 63 ss. 15.
- GASCA-TUCKER D.L., ACREMAN M.C., AGNEW C.T., THOMPSON J.R. 2007. Estimating evaporation from a wet grassland. *Hydrology and Earth System Sciences*. Vol. 11(1) s. 270–282.
- GRZYWNA A. 2013. Głębokość odwodnienia w Sosnowicy w warunkach regulowanego odpływu [Drainage depth in Sosnowica at regulated water outflow]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 13. Z. 3 (43) s. 55–62.
- JANKOWSKA-HUFLEJT H., WRÓBEL B., TWARDY S. 2011. Current role of grasslands in development of agriculture and rural areas in Poland – An example of mountain voivodships Małopolskie and Podkarpackie. *Journal of Water and Land Development*. No. 15 s. 3–18.
- KACA E., KASPERSKA W. 2000. A method of calculating the value of crop-soil coefficient in a formula describing evapotranspiration of a 3-cut meadow. *Journal of Water and Land Development*. No. 4 s. 193–208.
- KOWALIK P. 1976. Podstawy teoretyczne agrohydrologii Żuław [Theoretical principles of Żuławy agrohydrology]. *Acta Technica Gedanensia*. No 11. ISSN 0065-1664 ss. 97.
- KOWALIK P., ZARADNY H. 1978. Simulation model of the soil water dynamics for layered soil profile with fluctuating water table and water uptake by roots. *Journal of Hydrology Science*. Vol. 5. No 2. s. 133-142.
- KOŹMIŃSKI Cz. 1986. Przestrzenny i czasowy rozkład okresów bezopadowych trwających ponad 15 dni na terenie Polski [Spatial and temporal distribution of above 15 day long period without rain-falls in the territory of Poland]. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 268 s. 37–52.
- KUŹNIAR A., TWARDY S., KOWALCZYK A., KOSTUCH M. 2011. An assessment of water requirements of the mountain pasture swards in the Polish Western Carpathians. *Journal of Water and Land Development*. No. 15 s. 193–208.
- ŁABĘDZKI L. 1997. Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie [Needs for grassland irrigation - natural determinants and forecasting]. *Rozprawy Habilitacyjne*. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-85735-51-8 ss. 147.
- ŁABĘDZKI L., KASPERSKA W. 1994. Ewapotranspiracja i plonowanie użytków zielonych w warunkach suszy meteorologicznej i glebowej [Grassland evapotranspiration and yielding under atmosphere and soil drought conditions]. *Materiały XXV Zjazdu Agrometeorologów*. Olsztyn–Mierki, 27–29.09.1994. Olsztyn. Wydaw. ART s. 99–107.
- MORAN M.S., SCOTT R.L., KEEFER T.O., EMMERICH W.E., HERNANDEZ M., NEARING G.S., PAIGE G.B., COSH M.H., O'NEILL P.E. 2009. Partitioning evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems using time series of soil surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. No 149 s. 59–72.
- ROGUSKI W., SARNACKA S., DRUPKA S. 1988. Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów roślin uprawnych i użytków zielonych [Instruction for calculating water requirements and deficits of field crops and grassland]. *Materiały Instruktażowe*. Nr 66. Falenty. IMUZ ss. 52.
- SZAJDA J. 1987. Udział dopływu gruntowego w pokrywaniu ewapotranspiracji łąki i pastwiska na glebie torfowo-murszowej w pobliżu Kanału Wieprz-Krzna [Share of groundwater inflow in covering evapotranspiration of meadows and pastures on peat-muck soil near Wieprz-Krzna Chanel]. *Prace Komitetu Naukowego PTG*. Nr 100 s. 55–68.
- SZAJDA J. 1997. Roślinne i glebowo-wodne wskaźniki ewapotranspiracji łąki na glebie torfowo-murszowej [Crop and soil-water indices of meadow evapotranspiration on peat-muck soil]. *Rozprawy Habilitacyjne*. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 88-85735-62-3 ss. 62.
- SZAJDA J. 2006. Ocena ewapotranspiracji rzeczywistej użytków zielonych na podstawie plonu aktualnego [Evaluation of actual grassland evapotranspiration based on current yield]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 6. Z. 1 (16) s. 403–412.

- SZAJDA J. 2009. Przeciwdziałanie skutkom suszy meteorologicznej na glebach torfowo-murszowych i murszowatych [Counteracting the effects of meteorological drought in peat-muck and mucky soils]. 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 [The effect of water potential in soil on evapotranspiration and grassland yielding on peat-muck and mucky soils under meteorological drought]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie. Nr 32. ISBN 978-83-62416-31-8 ss. 62.
- SZAJDA J. 2014. Wpływ potencjału wody w glebie na ewapotranspirację i plonowanie użytków zielonych [The effect water potential in soil on grassland evapotranspiration and yielding]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 14. Z. 4 (48) s. 95–122.
- SZAJDA J., CZERWIŃSKI M., JAKIMIUK S. 2007. Ocena suszy meteorologicznej w okresie wegetacyjnym na Polesiu Lubelskim na podstawie wybranych wskaźników [An assessment of meteorological drought in the growing season in Lublin Polesie with selected indices]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 7. Z. 2a (20) s. 316–326.
- SZAJDA J., ŁABĘDZKI L. 2016. Wyznaczanie ewapotranspiracji rzeczywistej użytków zielonych na podstawie ewapotranspiracji maksymalnej i potencjału wody w glebie [Determination of actual evapotranspiration of grassland on the basis of maximum evapotranspiration and soil water potential]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 16. Z. 1 (53) s. 71–92.
- SZAJDA J., OLSZTA W. 2000. Influence of sucking pressure of soil water on evapotranspiration and meadow yielding [The role of physical and physicochemical properties of soils in functioning of ecosystems]. Acta Agrophysica. No 35 s. 183–190.
- SZAJDA J., OLSZTA W. 2005. Optymalny poziom wody gruntowej jako czynnik skutecznej ochrony zmeliorowanych ekosystemów torfowiskowych w okresach posusznych [Optimum ground water level as a factor in the effective protection of meliorated peat ecosystems in dry periods]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 5. Z. specj. (14) s. 301–313.
- SZAJDA J., OLSZTA W., GRZYWNA A. 2006. Optymalna głębokość wody gruntowej w glebach murszowatych zapewniająca duże uwilgotnienie warstwy korzeniowej łąki [The optimum ground water depth in mucky soils providing high moisture of the meadow rhizosphere]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 6. Z. 2 (18) s. 359–372.
- ZARADNY H. 1993. Groundwater flow in saturated and unsaturated soil. Rotterdam. A. A. Balkema ss. 279.
- ZAWADZKI S. 1973. Laboratoryjne oznaczanie zdolności retencyjnych utworów glebowych [Laboratory determination of retentional properties of soils]. Wiadomości IMUZ. T. 11. Z. 2 s. 11–31.

Jan SZAJDA, Leszek ŁABĘDZKI

ESTIMATION OF ACTUAL YIELD OF GRASSLAND ON THE BASIS OF MAXIMUM YIELD AND SOIL WATER POTENTIAL

Key words: *crop yield, grasslands, soil water potential*

S u m m a r y

The paper presents a synthetic analysis of the results of lysimeter investigations on grassland yield and evapotranspiration under natural soil water supply and different soil water potential in peat-moorsh and moorsh soils, in periods of moderate, severe and extreme meteorological droughts, led in Polesie Lubelskie. It has been proved that the optimum soil moisture ensures the maximum hay field

from grassland. Yields are dependent on meteorological factors and the maximum evapotranspiration. In the study current and final maximum hay yields are estimated in dependence on predicted maximum mean in 10-day and periods IV–V, VI–VII, VIII–IX evapotranspiration. Effect of soil moisture on current and final actual hay yield is quantified using soil-water coefficients k_{s2} for decades and periods IV–V, VI–VII, VIII–IX depending on soil water potential. Current and final actual hay yield is estimated by reduction of maximum yield by soil-water coefficients k_{s2} . These yields related to maximum yield show the effect of soil water potential on the actual and final growth dynamics. They prove as important for optimal yield of grassland is maintaining high soil moisture.

Adres do korespondencji: prof. dr hab. Leszek Łabędzki, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy ITP, ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz; tel. +48 52 375-01-45, e-mail: l.labedzki@itp.edu.pl