

OCENA UWILGOTNIENIA GLEB W SIEDLISKACH TRWAŁYCH UŻYTKÓW ZIELONYCH W DOLINIE GÓRNEJ NOTECI NA PODSTAWIE WSKAŹNIKA WILGOTNOŚCI GLEBY

Leszek Łabędzki¹, Bogdan Bąk¹

¹ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy, ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz, e-mail: l.labedzki@itp.edu.pl, b.bak@itp.edu.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono ocenę warunków uwilgotnienia gleby w siedliskach trwałych użytków zielonych w dolinie górnej Noteci na podstawie wartości wskaźnika uwilgotnienia gleby (ang. Soil Moisture Index – SMI), obliczanego na koniec dekady okresu wegetacyjnego kwiecień-wrzesień w latach 2013–2014 i autorskiej 5-stopniowej klasyfikacji uwilgotnienia. Wskaźnik umożliwia porównanie warunków uwilgotnienia w glebach o różnych zdolnościach retencyjnych i obiektywną ocenę intensywności suszy glebowej oraz stanów nadmiernego uwilgotnienia. Badaniami objęto siedlisko mokre, wilgotne, posuszne i suche. W przeciętnych warunkach opadowych, jakie wystąpiły w okresach wegetacyjnych w 2013 i 2014 r. w dolinie górnej Noteci, we wszystkich siedliskach dominowało optymalne uwilgotnienie gleby. Susza glebowa umiarkowana i silna wystąpiła tylko w siedlisku posuszonym i suchym. Stwierdzono słabą zależność wskaźnika SMI od czynników agrometeorologicznych w okresach dekad kalendarzowych, natomiast silną zależność zmian wartości wskaźnika SMI z dekady na dekadę od parametrów agrometeorologicznych. Największą korelację stwierdzono dla zależności od rolniczoklimatycznego bilansu wodnego (różnicy opadu i ewapotranspiracji potencjalnej). Wskaźnikowa metoda oceny warunków uwilgotnienia gleb trwałych użytków zielonych z zastosowaniem modelowania matematycznego bilansu wodnego gleby może być użytecznym narzędziem badawczym i monitoringowym w sytuacji braku polowych pomiarów wilgotności gleby.

Słowa kluczowe: wilgotność gleby, wskaźnik uwilgotnienia gleby SMI, trwałe użytki zielone, dolina górnej Noteci.

ASSESSMENT OF SOIL MOISTURE ON PERMANENT GRASSLAND IN UPPER NOTEĆ VALLEY BASED ON SOIL MOISTURE INDEX

ABSTRACT

Assessment of soil moisture conditions on permanent grassland in the upper Noteć valley is made using soil moisture index (SMI). To categorize soil moisture in the end of each 10-day period (decade) during the vegetation period (April–September) an original classification proposed by the authors is used. SMI enables the comparison of moisture conditions in soils with different water retention and the objective evaluation of soil drought and water excess. Assessment is made for grassland in wet, moist, periodically dry and dry habitats in 2013–2014. Optimal soil moisture class dominated in all habitats under mean precipitation conditions. Moderate and severe soil droughts occurred only in periodically dry and dry habitats. There is a weak relationship between SMI and agrometeorological parameters in decades, while a strong correlation has been found between the decade-by-decade changes of SMI and agrometeorological parameters. The highest correlation was found between SMI changes and agroclimatic water balance (subtraction of precipitation and potential evapotranspiration). Indicator-based evaluation method of soil moisture conditions on permanent grassland using mathematical modeling of soil water balance can be a useful research and monitoring tool in the absence of field measurements of soil moisture.

Keywords: soil moisture, soil moisture index SMI, permanent grassland, upper Noteć valley.

WSTĘP

Powierzchnia trwałych użytków zielonych wynosiła w 2013 r. w Polsce 3207 tys. ha, z tego 2565 tys. ha trwałych łąk i 642 tys. ha trwałych pastwisk [Rocznik ... 2014]. Trwałe użytki zielone występują i są uprawiane przede wszystkim w dolinach rzecznych na hydrogenicznych glebach torfowo-murszowych i mineralno-murszowych. W dolinie górnej Noteci trwałe użytki zielone stanowią dominującą formę gospodarowania na użytkach rolnych.

Badania wilgotności gleby w siedliskach trwałych użytków zielonych w dolinie górnej Noteci były prowadzone od wielu dziesięcioleci i do końca lat 90. XX wieku miały głównie charakter badań polowych [Bieńkiewicz i in. 1983; Kaca i in. 2003; Konopko 1992; Łabędzki 1997]. Stan uwilgotnienia gleby opisywało się zazwyczaj wilgotnością gleby, potencjałem wody glebowej lub zapasem wody w profilu glebowym. W następnych latach, dzięki postępowi wiedzy o fizycznych i fizjologicznych procesach w środowisku gleba-roślina-atmosfera oraz rozwojowi technik komputerowych, pojawiły się liczne modele matematyczne symulujące zmiany wilgotności gleby, których przegląd jest zawarty w pracach Łabędzkiego [1997, 2006]. Jednocześnie do oceny warunków uwilgotnienia gleby zaczęto stosować wskaźniki wilgotności gleby i odpowiednie klasyfikacje tych warunków, np. PDSI (Palmer Drought Severity Index) [Alley 1984; Guttman 1998], CMI (Crop Moisture Index) [Maracchi 2000], PAI (Palfai Aridity Index) [Palfai i in. 1995], SMI (Soil Moisture Index) [Hunt i in. 2008; Sridhar i in. 2008]. Aktualnie badania polowe służą najczęściej do weryfikacji wyników uzyskanych w modelach symulujących zmiany wilgotności gleby lub do oceny stanu uwilgotnienia gleb metodami teledetekcji z wykorzystaniem techniki satelitarnej i technologii GIS [Ciołkosz i in. 2004; Dąbrowska i in. 2010; Usowicz i in. 2012].

W dolinowych siedliskach trwałych użytków zielonych wysokie stany wód gruntowych i duża wilgotność gleby w okresie wiosennym stwarzają korzystne warunki do wegetacji. W późniejszych okresach, zwłaszcza w siedliskach suchych i w latach o małych opadach atmosferycznych, pojawiają się susze glebowe, a długotrwałej suszy glebowej towarzyszy często susza hydrologiczna [Łabędzki 2004]. Problem jednoczesnego występowania obu rodzajów susz na trwałych użytkach zielonych jest szczególnie istotny. Są to obszary

w znacznej części zmeliorowane, głównie wyposażone w odwadniające systemy melioracyjne, na których w tym okresie gleby ulegają przesuszeniu z powodu braku wody w rowach i kanałach melioracyjnych. Bezpośrednim skutkiem suszy glebowej i hydrologicznej jest zakłócenie naturalnego bilansu wodnego danego obszaru i redukcja plonu siana.

Na intensywność suszy glebowej mają również wpływ warunki meteorologiczne determinujące wielkość ewapotranspiracji, takie jak temperatura i wilgotność powietrza, promieniowanie słoneczne, zachmurzenie i prędkość wiatru. W okresach wysokiej temperatury powietrza znacznie szybciej zmniejsza się wilgotność gleby w wierzchnich warstwach niż wynikałoby to z małych opadów. Zjawisko to jest niekiedy obserwowane na znacznych obszarach najczęściej wiosną i w literaturze określa się je jako *flash drought* [Mo, Lettenmaier 2013]. Duża zmienność przestrzenna i czasowa warunków meteorologicznych w Polsce powoduje powstawanie podobnego zjawiska na obszarze Polski, chociaż w mniejszej skali przestrzennej. Przykładem może być trwający prawie 3 miesiące okres wysokiej temperatury powietrza na wiosnę 2002 r. i jednocześnie niedostatecznych opadów, który spowodował w wielu regionach Polski silną i ekstremalną suszę glebową [Lorenc i in. 2000].

W Polsce od niedawna stosowany jest wskaźnik uwilgotnienia gleby SMI, który został zaadaptowany do warunków krajowych przez Łabędzkiego i Bąka [2013, 2015]. Ocena wilgotności gleby na trwałych użytkach zielonych w siedlisku mokrym, wilgotnym, posuszonym i suchym, a także dla różnych upraw rolniczych dla 4 kategorii ciężkości gleb jest jednym z elementów ogólnopolskiego monitoringu niedoboru i nadmiaru wody prowadzonego przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy od 2013 r. Aktualizowane co dekadę w miesiącach kwiecień-wrzesień bieżące oceny warunków wilgotności gleby w Polsce oraz 10- i 20-dniowe prognozy są dostępne na stronach internetowych Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego: <http://agrometeo.itp.edu.pl> lub www.itp.edu.pl, zakładka: Monitoring Agrometeo.

Celem pracy jest analiza stanów uwilgotnienia gleb trwałych użytków zielonych w okresach wegetacji wielolecia 2013–2014 w dolinie Noteci na podstawie statystyk wskaźnika wilgotności gleby SMI oraz zbadanie wpływu warunków agrometeorologicznych na bieżącą wartość SMI i jego zmiany.

METODY I MATERIAŁ BADAWCZY

Ocena warunków uwilgotnienia gleby dokonywana jest na podstawie wartości wskaźnika uwilgotnienia gleby *SMI* (Soil Moisture Index) [Hunt i in. 2008], obliczanego na koniec kolejnej dekady okresu wegetacji według wzoru:

$$SMI = -5 + 10 \frac{ZWU_k^t}{ZWU} \quad (1)$$

gdzie: ZWU_k^t – zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej gleby na końcu doby t , mm;

ZWU – zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej gleby, mm, obliczany jako różnica zapasu wody w stanie polowej pojemności wodnej ($pF = 2,0$) i w punkcie trwałego wędnięcia ($pF = 4,2$).

Metoda ta bazuje na założeniu, że ewapotranspiracja zmniejsza się, kiedy zapas wody w glebie będzie mniejszy od 50% zapasu wody użytecznej. Po przekroczeniu tego progu redukcja ewapotranspiracji jest liniowa. Wartość $SMI = 0,0$ dzieli zakres wilgotności gleby na warunki braku stresu wodnego ($SMI \geq 0$; brak suszy) i warunki stresu wodnego ($SMI < 0$; susza). SMI zmienia się od -5 do 5, chociaż może również przyjmować wartości większe od 5,0 i mniejsze od -5,0. W pierwszym przypadku występuje duże uwilgotnienie gleby, kiedy wilgotność gleby jest powyżej stanu polowej pojemności wodnej. W drugim przypad-

ku występują warunki wyjątkowo suche, kiedy został wyczerpany całkowicie zapas wody użytecznej i wilgotność gleby zmniejszyła się poniżej punktu trwałego wędnięcia. Tak zdefiniowany wskaźnik umożliwia porównanie warunków uwilgotnienia w glebach o różnych zdolnościach retencyjnych i obiektywną ocenę intensywności suszy glebowej oraz stanów optymalnego i nadmiernego uwilgotnienia.

Aktualny zapas wody użytecznej w glebie obliczany jest z zastosowaniem modelu matematycznego, w którym symuluje się bilans wodny gleby z krokiem czasowym jednej doby [Łabędzki 1997, 2006; Łabędzki i in. 2008]. Szczegółowa metodyka podana jest w pracy Łabędzkiego i Bąka [2015]. Danymi wejściowymi do modelu są mierzone podstawowe parametry meteorologiczne (opad, temperatura i wilgotność powietrza, promieniowanie słoneczne, prędkość wiatru) oraz stałe dla danej rośliny i gleby parametry roślinno-glebowe (współczynniki roślinne do obliczenia ewapotranspiracji, zapas wody użytecznej w glebie).

W celu skategoryzowania warunków uwilgotnienia gleby, w pracy zastosowano autorską 5-stopniową klasyfikację uwilgotnienia gleby (tab. 1).

Symulacje zapasu wody w glebie oraz obliczenie wskaźnika SMI przeprowadzono dla warstwy gleby 0-30 cm, w której znajduje się główna masa korzeniowa roślinności użytków zielonych oraz dla okresów wegetacji (kwiecień-wrzesień) lat 2013 i 2014. Badaniami objęto trwałe użytki zielone położone w dolinie górnej Noteci w kompleksie Łąk Łabiszyńskich, w czterech hydrogeicznych siedliskach wilgotnościowych (mokrym A, wilgotnym B, posuszonym C i suchym D), różniących się glebami, charakterem użytkowania (łąka 3- i 2-kośna), plonem siana i warunkami zasilania gruntowego q (topogeniczne i soligeniczne) (tab. 2) [Kaca i in. 2003]. Dane meteorologiczne pochodziły ze stacji Bydgoszcz-ITP, oddległej od obiektu badawczego o 13 km.

Tabela 1. Klasyfikacja uwilgotnienia gleby na podstawie SMI

Table 1. Classification of soil moisture according to SMI

Wartość SMI	Klasa uwilgotnienia gleby
$\geq 5,00$	nadmierne uwilgotnienie
(0,00; 5,00)	optymalne uwilgotnienie
(-2,00; 0,00)	susza glebowa umiarkowana
(-5,00; -2,00)	susza glebowa silna
$< -5,0$	susza glebowa ekstremalna

Tabela 2. Charakterystyka badanych siedlisk użytków zielonych

Table 2. Characteristics of the studied grassland sites

Siedlisko	Gleba	ZWŁD [mm]	q [mm×d ⁻¹]	Użytkowanie	Y [Mg×ha ⁻¹]
Mokre A	torfowo-murszowa Mtlaa	150	1	łąka 3-kośna	10
Wilgotne B	torfowo-murszowa Mtlbb	100	0,5	łąka 3-kośna	8
Posuszne C	torfowo-murszowa Mtlbb	80	0,5	łąka 2-kośna	7
Suche D	torfowo-murszowa Mr21	50	0	łąka 2-kośna	5

ZWŁD – zapas wody łatwo dostępnej w warstwie 0–30 cm, readily available soil water in the layer 0–30 cm.

q – zasilanie wodą gruntową, groundwater feeding. Y – plon siana, hay yield.

W wyniku przeprowadzonych symulacji określono częstotliwość występowania stanów uwilgotnienia gleby w poszczególnych klasach według przyjętych kryteriów. Obliczono ją jako stosunek liczby dekad (okresów 10/11-dniowych), w których wartości SMI znajdowały się w przedziałach poszczególnych klas (tab. 1) do liczby wszystkich dekad (36). Zbadano wpływ warunków agrometeorologicznych w latach 2013–2014 na wskaźnik SMI , wyznaczając współczynniki korelacji liniowej. Parametrami opisującymi warunki agrometeorologiczne były dekadowe sumy opadów P (mm), klimatycznego bilansu wodnego $P-ET_0$ (mm) i rolniczo-klimatycznego bilansu wodnego $P-ET_p$ (mm). Parametrami zależnymi były: bieżąca wartość SMI na koniec dekady oraz jego zmiana z dekady na dekadę $\Delta SMI = SMI_t - SMI_{t-1}$ (gdzie t – bieżąca dekada). Klimatyczny bilans wodny jest to różnica między opadem i ewapotranspiracją wskaźnikową liczoną wzorem Penmana-Monteitha [Allen i in. 1998; Łabędzki i in. 2014]. Rolniczo-klimatyczny bilans wodny jest to różnica między opadem i ewapotranspiracją potencjalną danej rośliny, to jest ewapotranspiracją w warunkach dostatecznego zaopatrzenia roślin w wodę. Ewapotranspiracja potencjalna jest miarą zapotrzebowania roślin na wodę w danych warunkach meteorologicznych i jest obliczana jako iloczyn ewapotranspiracji wskaźnikowej wyznaczonej przy użyciu wzoru Penmana-Monteitha i współczynnika roślinnego.

WYNIKI

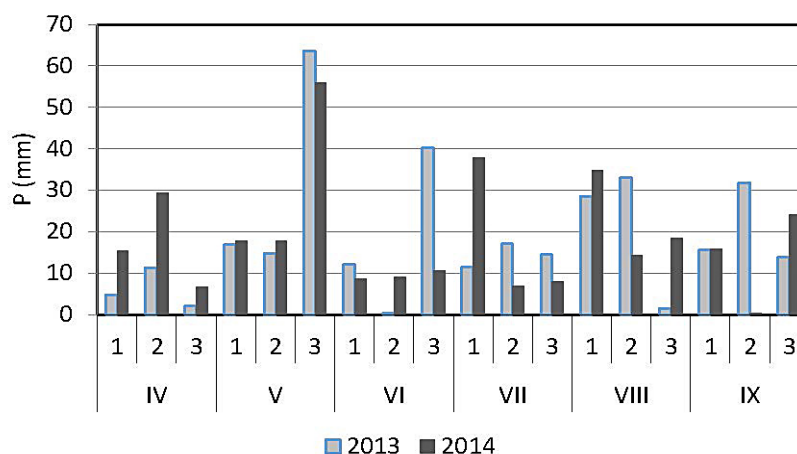
W 2013 r. suma opadów w okresie wegetacyjnym wynosiła 332,2 mm, a w roku 2014

– 331,7 mm. W pierwszym roku udział dni bezopadowych wynosił 50,5%, w drugim – 62,2%. Najmniejsza dekadowa suma opadów w 2013 r. wynosiła 0,3 mm, a w 2014 r. – 0,4 mm; odpowiednio w najbardziej wilgotnych dekadach spadło 63,6 mm i 55,9 mm. W pierwszym analizowanym roku stwierdzono 11 dni z sumą opadu powyżej 10 mm, w tym 3 dni z opadami powyżej 20 mm; w drugim roku takich dni było 6 i 4. Rozkład dekadowych sum opadów w obu analizowanych latach przedstawiono na rysunku 1.

Wartość 6-miesięcznego wskaźnika standaryzowanego opadu $SPI-6$, obliczonego na koniec września, w obu latach wynosiła 0,16, co klasyfikuje te okresy wegetacyjne jako przeciętne. $SPI-6$ pokazuje standaryzowane odchylenie sumy opadów w okresie kwiecień-wrzesień od wartości mediany takiej sumy w wieloletnim ciągu opadów w latach 1945–2014.

Statystyki wartości wskaźnika SMI w analizowanych siedliskach zestawiono w tabeli 3. W siedliskach mokrym i wilgotnym (A i B) uwilgotnienie gleb zmieniało się w mniejszym zakresie niż w siedliskach posusznych i suchym (C i D). W siedliskach mokrym i wilgotnym nie stwierdzono wystąpienia suszy glebowej. W siedlisku posuszonym występowała susza glebowa umiarkowana, a w suchym – susza umiarkowana i silna. W każdym badanym siedlisku występowały stany optymalnego uwilgotnienia oraz stany nadmiernego uwilgotnienia.

Analiza częstotliwości przyjętych klas wskaźnika SMI wykazała, że w analizowanych siedliskach dominowało optymalne uwilgotnienie gleby (tab. 4). W siedlisku mokrym i wilgotnym nie stwierdzono przypadków wystąpienia suszy glebowej – wilgotność gleby utrzymywała



Rys. 1. Dekadowe sumy opadów P w latach 2013 i 2014
Fig. 1. The 10-day sums of precipitation P in 2013–2014

Tabela 3. Statystyki wartości wskaźnika *SMI* w siedliskach trwałych użytków zielonych**Tabel 3.** Statistical parameters of *SMI* in permanent grassland habitats

Statystyka	Siedlisko			
	mokre A	wilgotne B	posuszne C	suche D
Min.	2,48	1,30	-1,00	-2,50
Max.	5,76	6,05	6,30	6,83
Średnia	4,31	3,87	2,87	1,45

się w przedziale optymalnego (z częstotliwością 78%) i nadmiernego uwilgotnienia (z częstotliwością 22%). Susza glebowa umiarkowana i silna pojawiła się w siedlisku posuszonym oraz suchym. W tych siedliskach łączna częstotliwość wynosiła 11% (siedlisko posuszne) i 34% (siedlisko suche). Nie stwierdzono w żadnym okresie i w żadnym regionie suszy glebowej ekstremalnej ($SMI < -5,0$). Wyniki te potwierdzają zależność, że w miarę zmniejszania się zdolności retencyjnych gleby i zapasów wody dostępnej dla roślin, wzrasta częstotliwość okresów suszy glebowej i zagrożenie jej ujemnymi skutkami. Świadczy to o prawidłowości przyjętych założeń metodycznych i procedur obliczeniowych.

Analiza współczynników korelacji (tab. 5) pokazuje, że związek między *SMI* na koniec dekady i dekadową sumą opadów we wszystkich siedliskach był słaby. Silniejsze związki, ale jeszcze słabe stwierdzono z dekadową sumą klimatycznego bilansu wodnego $P-ET_0$ i rolniczo-kli-

matycznego bilansu wodnego $P-ET_p$. O ile parametry meteorologiczne wymienione powyżej nie miały wpływu na *SMI* w danej dekadzie, to silnie wpływały one na zmianę wartości tego wskaźnika z dekady na dekadę. Potwierdzają to uzyskane współczynniki korelacji między parametrami meteorologicznymi i ΔSMI , które są większe od 0,8 we wszystkich siedliskach i osiągają największe wartości dla zależności ΔSMI od rolniczo-klimatycznego bilansu wodnego w siedlisku wilgotnym, posuszonym i suchym.

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono ocenę warunków uwilgotnienia gleby w siedliskach trwałych użytków zielonych w dolinie górnej Noteci w latach 2013–2014, na podstawie wskaźnika uwilgotnienia gleby *SMI* (Soil Moisture Index) i autorskiej 5-stopniowej klasyfikacji uwilgotnienia.

Tabela 4. Częstotliwość (%) klas wskaźnika *SMI* w siedliskach trwałych użytków zielonych**Tabel 4.** Frequency (%) of *SMI* classes in permanent grassland habitats

Siedlisko	$SMI \geq 5$	$0 \leq SMI < 5$	$-2 \leq SMI < 0$	$-5 \leq SMI < -2$
Mokre A	22	78	0	0
Wilgotne B	22	78	0	0
Posuszne C	17	72	11	0
Suche D	8	58	28	6

Tabela 5. Współczynniki korelacji między parametrami agrometeorologicznymi i wskaźnikiem uwilgotnienia gleby *SMI***Tabel 5.** Correlation coefficients between agrometeorological parameters and soil moisture index *SMI*

Relacja	Siedlisko			
	mokre A	wilgotne B	posuszne C	suche D
$P \rightarrow SMI$	0,328	0,314	0,266	0,283
$P-ET_0 \rightarrow SMI$	0,435	0,324	0,270	0,357
$P-ET_p \rightarrow SMI$	0,544	0,460	0,365	0,462
$P \rightarrow \Delta SMI$	0,841	0,855	0,804	0,850
$P-ET_0 \rightarrow \Delta SMI$	0,954	0,928	0,897	0,899
$P-ET_p \rightarrow \Delta SMI$	0,929	0,957	0,965	0,942

Oznaczenia: P – opad; $P-ET_0$ – klimatyczny bilans wodny; $P-ET_p$ – rolniczo-klimatyczny bilans wodny; ΔSMI – zmiana *SMI* z dekady na dekadę;

W przeciętnych warunkach opadowych, jakie wystąpiły w okresach wegetacji w 2013 i 2014 r. w dolinie górnej Noteci, obserwowano zróżnicowanie wilgotności gleby w badanych siedliskach trwałych użytków zielonych. We wszystkich siedliskach dominowało optymalne uwilgotnienie gleby. Susza glebowa umiarkowana i silna wystąpiła tylko w siedlisku posuszonym i suchym. Stwierdzono słabą zależność wskaźnika *SMI* od czynników agrometeorologicznych w okresach dekad kalendarzowych. Zaobserwowano natomiast silne zależności między zmianami wartości wskaźnika *SMI* z dekady na dekadę i parametrami agrometeorologicznymi. Największą korelację stwierdzono dla zależności od rolniczo-klimatycznego bilansu wodnego.

Uzyskane wyniki wskazują, że przedstawiona wskaźnikowa metoda oceny warunków uwilgotnienia gleb trwałych użytków zielonych z zastosowaniem modelowania matematycznego bilansu wodnego gleby, może być użytecznym narzędziem badawczym i monitoringowym w sytuacji braku polowych pomiarów wilgotności gleby.

LITERATURA

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56. pp. 300.
- Alley W. M. 1984. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. J. of Clim. and Appl. Meteo. 23(7), 1100–1109.
- Bieńkiewicz P., Roguski W., Łabędzki L. 1983. Wilgotność krytyczna dla traw w profilach gleb hydrogenicznych. Wiad. IMUZ t. 15 z. 1, 59–73.
- Ciołkosz A., Podlacha K., Ostrowski J. 2004. Zastosowania teledetekcji i kartografii w badaniach obszarów wiejskich. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, tom 4, zesz. nr. 2a (11), 157–173.
- Dąbrowska-Zielińska K., Budzyńska M., Kowalik W., Malek I., Turlej K., Bochenek Z. 2010. Soil moisture and evapotranspiration of wetlands vegetation habitats retrieved from satellite images. Hydrol. Earth Syst. Sci. 2010, 7, 5929–5955.
- Guttman N.B. 1998. Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index. Jour. Amer. Water Resours. Assoc., 34(1), 113–121.
- Hunt E.D., Hubbard K.D., Wilhite D.A., Arkebauer T.M., Dutcher A.L. 2008. The development and evaluation of a soil moisture index. International Journal of Climatology. http://www.hprcc.unl.edu/publications/files/SMI_Paper.pdf. DOI: 10.1002/joc.1749 (dostęp: 10.03.2014).
- Kaca E., Łabędzki L., Chrzanowski S., Czaplak I., Kasperska-Wołowicz W. 2003. Gospodarowanie zapasami wody użytecznej gleb torfowo-murszowych w warunkach regulowanego odpływu w różnych regionach agroklimatycznych Polski. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie nr 9, ss. 118.
- Konopko S. 1992. Zróżnicowanie klimatu lokalnego siedlisk łąkowych w dolinach na przykładzie badań w dolinie Noteci. Wiad. IMUZ t. 17 z. 2, 59–79.
- Lorenc H., Gąsiorowska E., Laskowska A., Strzelczak A., Żórawska K. 2000. Initial assessment of the drought in 2000. Mater. Konf. "Present and future requirements for agrometeorological information". Poznań, 14–27.
- Łabędzki L. 1997. Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. Rozpr. Habil. Falenty: IMUZ, 121.
- Łabędzki L. 2004. Analiza występowania suszy glebowej w dolinie Noteci na podstawie eksperymentu komputerowego. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska. t. 13 z. 2 (29), 41–47.
- Łabędzki L. 2006. Susze rolnicze - zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie nr 17, ss. 107.
- Łabędzki L., Bąk B. 2013. Monitoring i prognozowanie przebiegu i skutków deficytu wody na obszarach wiejskich. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, I/2, 65–76.
- Łabędzki L., Bąk B. 2015. Metoda wskaźnikowej oceny i klasyfikacji gleb trwałych użytków zielonych w Polsce. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, III/1, 515–531.
- Łabędzki L., Bąk B., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K. 2008. Związek między suszą meteorologiczną i rolniczą w różnych regionach agroklimatycznych Polski. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie nr 25 ss. 137.
- Łabędzki L., Bąk B., Smarzyńska K. 2014. Spatio-temporal variability and trends of Penman-Monteith reference evapotranspiration (FAO-56) in 1971–2010 under climatic conditions of Poland. Polish Journal of Environmental Studies, 23(6), 2083–2091.
- Maracchi G. 2000. Agricultural drought – a practical approach to definition, assessment and mitigation strategies. Kluwer Academic Publishers. Natural Hazards 25, 247–252.
- Mo K.C., Lettenmaier D.P. 2013. Flash Drought

- over the United States. <http://cpo.noaa.gov/sites/cpo/MAPP/Webinars/2014/04-08-14/Mo.pdf> (dostęp 3.01.2015)
20. Palfai I., Petrasovits I., Vermes L. 1995. Some methodological questions of the European drought sensitivity map. Proceedings of the ICID International Workshop on Drought in the Carpatians' Region, 3-5 May 1995, Budapest, Hungary, 131–142.
21. Rocznik statystyczny rolnictwa. 2014. GŁÓWNY URZĄD STATYSTYCZNY. Roczniki branżowe. Warszawa 2014, ss.445. www.stat.gov.pl. (dostęp 2.03.2015).
22. Sridhar V., Hubbard K. G., You J., Hunt E. D. 2008. Development of the soil moisture index to quantify agricultural drought and its “user friendliness” in severity-area-duration assessment. *Journal of Hydrometeorology*, vol. 9, 660–676.
23. Usowicz B., Marczewski W., Lipiec J., Usowicz J.B., Sokołowska Z., Dąbkowska-Naskręt H., Hajnos M., Łukowski M.I. 2012. Soil moisture spatial distribution at the SMOS Cal/Val Campaign POLESIE (AO-3275) in Poland. http://earth.esa.int/workshops/smos09/posters/3275_Usowicz_2_of_2.pdf (dostęp 2.03.2015).