

WSKAŹNIKI SUSZY METEOROLOGICZNEJ NA POLESIU LUBELSKIM W OKRESIE WEGETACYJNYM

Jan Szajda¹, Ewa Kanecka-Geszke²

¹ Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Lublinie

² Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach,
Wielkopolsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy

Streszczenie. Na podstawie porównania obliczonych miesięcznych wartości standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego (KBW_s) i wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) w okresie wegetacyjnym (IV–IX) w latach 1970–1995 na Polesiu Lubelskim oraz ocenienia na ich podstawie intensywności i długości suszy meteorologicznej stwierdzono, że wartości tych wskaźników są ze sobą ściśle związane. Związek ten wyraża się statystycznie istotną zależnością funkcyjną $KBW_s(SPI)$. Podana w pracy charakterystyka liczbowa tej zależności może służyć do szacowania miesięcznych wartości wskaźnika KBW_s na podstawie miesięcznych wartości wskaźnika SPI , gdyż określone w ten sposób wartości KBW_s są tylko nieznacznie mniejsze od wartości SPI . Wyniki badań wskazują, że kompleksowy układ czynników meteorologicznych, wyrażony przez standaryzowany klimatyczny bilans wodny, oraz zmienność opadów, wyrażona przez wskaźnik standaryzowanego opadu, wywierają zbliżony wpływ na intensywność i długość suszy meteorologicznej w okresie wegetacji. Wynika stąd, że wskaźniki KBW_s i SPI są w pełni przydatne do badania związków między suszą meteorologiczną a suszą rolniczą w takim okresie.

Słowa kluczowe: susza meteorologiczna, wskaźniki suszy, klasy suszy

WSTĘP

Susza meteorologiczna to ekstremalne zjawisko pogodowe mające charakter anomalii atmosferycznej, wywołane okresem bezopadowym. Zakłócenie bilansu wodnego danego obszaru wskutek niedoboru opadów i silnej ewapotranspiracji (susza meteorologiczna) powoduje w konsekwencji nadmierne przesuszanie gleb (suszę glebową) oraz obniżanie się poziomu wód gruntowych i zmniejszanie przepływów wody w rzekach (suszę hydro-

logiczną). Podstawowymi charakterystykami susz są: intensywność, czas trwania i zasięg przestrzenny. Charakterystyki te wykorzystuje się do badania związków między suszą meteorologiczną a suszą rolniczą (glebową dla danej uprawy). Susze określa się najczęściej na podstawie standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego (KBW_s) [Łabędzki i Bąk 2003] i wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) [Bąk i Łabędzki 2002, 2003b]. Należy podkreślić, że wskaźnik KBW_s uwzględnia kompleksowy wpływ czynników meteorologicznych na kształtowanie się składowych bilansu wodnego, a w szczególności rozchodów wody na ewapotranspirację [Roguski i in. 1988]. Wskaźnik ten można wykorzystywać tylko w odniesieniu do okresu wegetacji. Drugi ze wskaźników, SPI , uwzględnia jedynie wpływ zmienności opadu na kształtowanie się bilansu wodnego, ale nadaje się do wyróżniania klas suszy meteorologicznej w okresie całego roku.

Praca miała na celu obliczenie miesięcznych wartości standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego i wskaźnika standaryzowanego opadu w okresie wegetacyjnym (IV–IX) w latach 1970–1995 na Polesiu Lubelskim, porównanie wartości obu wskaźników oraz określenie za ich pomocą intensywności i długości suszy meteorologicznej. Na tej podstawie oceniono przydatność tych wskaźników do badania związków między suszą meteorologiczną a suszą rolniczą.

MATERIAŁ I METODY

Miesięczne wartości standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego i wskaźnika standaryzowanego opadu dla okresu wegetacyjnego (IV–IX) w latach 1970–1995 na Polesiu Lubelskim określono na podstawie ciągów sum opadów miesięcznych mierzonych na stacji meteorologicznej w Sosnowicy położonej w środkowej części Polesia oraz ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonej w oparciu o notowania czynników meteorologicznych na tej stacji [Szajda 1997, 2004].

Standaryzowany klimatyczny bilans wodny (KBW_s) – wskaźnik opracowany w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach [Łabędzki i Bąk 2003] – obliczano ze wzoru:

$$KBW_s = \frac{KBW - \overline{KBW}}{d(KBW)} \quad (1)$$

gdzie:

- KBW – klimatyczny bilans wodny w danym miesiącu (mm), liczony jako różnica sumy opadów atmosferycznych (P , mm) i ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o , mm) w tym miesiącu: $KBW = P - ET_o$,
- \overline{KBW} – średni wieloletni klimatyczny bilans wodny w danym miesiącu (mm),
- $d(KBW)$ – średnie odchylenie standardowe klimatycznego bilansu wodnego w danym miesiącu (mm).

Do wyliczenia ewapotranspiracji wskaźnikowej użyto wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej [Roguski i in. 1988].

Klasyfikację okresów suszy według wartości wskaźnika KBW_s przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Klasy suszy według standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego (KBW_s)
 Table 1. Drought classes according to standardised climatic water balance (KBW_s)

Rodzaj okresu Type of period	Symbol	KBW_s
Ekstremalnie suchy – Extremely dry	<i>es</i>	$\leq -2,00$
Bardzo suchy – Very dry	<i>bs</i>	$-1,99 \div -1,50$
Umiarkowanie suchy – Moderately dry	<i>us</i>	$-1,49 \div -0,50$
Normalny – Normal	<i>n</i>	$-0,49 \div 0,49$

Drugim wskaźnikiem przyjętym do detekcji okresów suszy i oceniania jej nasilenia był wskaźnik standaryzowanego opadu (SPI) [Bąk i Łabędzki 2002, 2003b]. Obliczanie tego wskaźnika opiera się na wieloletnich ciągach opadu w określonym przedziale czasu. Wskaźnik SPI dla okresów miesięcznych obliczono ze wzoru:

$$SPI = \frac{f(P) - \mu}{\delta} \quad (2)$$

gdzie:

$f(P)$ – przekształcona miesięczna suma opadów,

μ – wartość średnia znormalizowanego ciągu opadów,

δ – średnie odchylenie standardowe znormalizowanego ciągu opadów.

W oryginalnej wersji klasyfikacji susz według wskaźnika standaryzowanego opadu jej autorzy, McKee i inni [1993], zaproponowali trzy wartości SPI rozgraniczające klasy suszy: $-2,0$, $-1,5$ i $-1,0$. Badania nad suszą w Wielkopolsce i na Kujawach w latach 1954–1998 [Bąk i Łabędzki 2003a] zasugerowały możliwość i potrzebę zmodyfikowania tej klasyfikacji, tak aby uwzględnić warunki dużej zmienności opadów, przez podwyższenie dolnej wartości progowej SPI dla klasy *us* (okres umiarkowanie suchy) z $-1,0$ na $-0,5$ (tab. 2). Zmodyfikowana klasyfikacja pozwala na detekcję okresów łagodnych susz, w których niedobór opadów może mieć istotne znaczenie dla rozwoju roślin.

Tabela 2. Klasy suszy według wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI)
 Table 2. Drought classes according to standardised precipitation index (SPI)

Rodzaj okresu Type of period	Symbol	SPI
Ekstremalnie suchy – Extremely dry	<i>es</i>	$\leq -2,00$
Bardzo suchy – Very dry	<i>bs</i>	$-1,99 \div -1,50$
Umiarkowanie suchy – Moderately dry	<i>us</i>	$-1,49 \div -0,50$
Normalny – Normal	<i>n</i>	$-0,49 \div 0,49$

Miesięczne wartości wskaźników KBW_s obliczone ze wzoru (1) porównano z miesięcznymi wartościami wskaźników SPI obliczonymi ze wzoru (2) dla okresu wegetacyjnego (IV–IX) w latach 1970–1995, stosując określoną statystycznie zależność funkcyjną

KBW_s (SPI), przedstawioną równaniem regresji liniowej. Istotność uzyskanej zależności oceniono, porównując obliczoną wartość współczynnika korelacji z jego wartością graniczną określoną przez Elandt [1964].

Opierając się na obliczonych miesięcznych wartościach wskaźników KBW_s i SPI w całym okresie badań, wyróżniono klasy i okresy suszy meteorologicznej, określono częstość klas tej suszy oraz wyznaczono długość jej ciągów. Za podstawę oceny przydatności wskaźników KBW_s i SPI do badania związków między suszą meteorologiczną a suszą rolniczą w okresie wegetacyjnym przyjęto poziom istotności zależności KBW_s (SPI) w tym okresie oraz podobieństwo określonej za pomocą tych wskaźników intensywności i długości suszy meteorologicznej.

WYNIKI

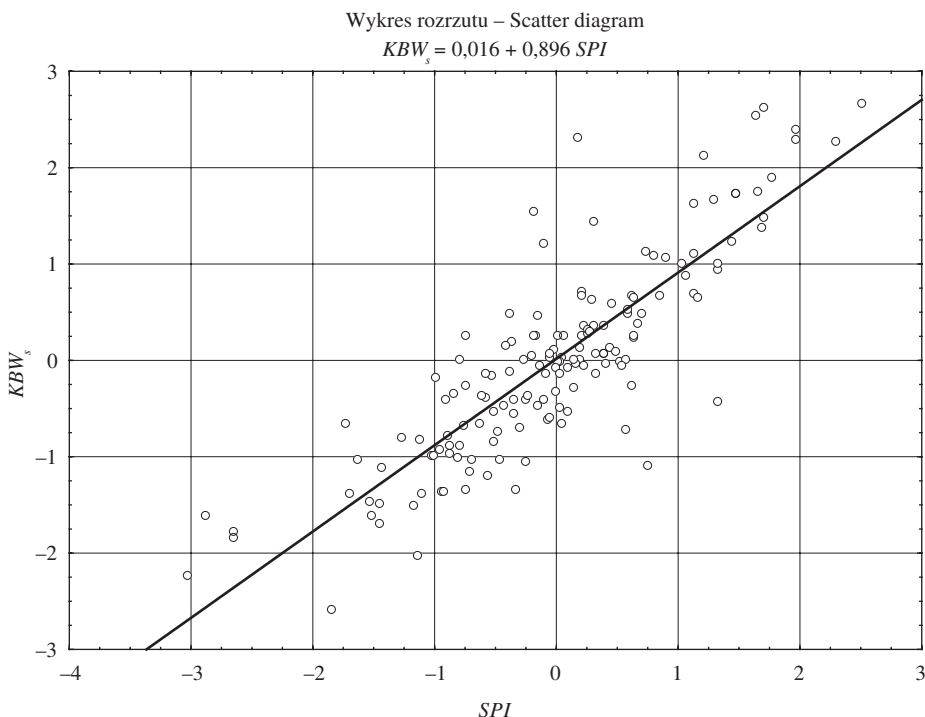
Szczegółową charakterystykę czynników meteorologicznych w latach 1970–1995 w Sosnowicy przedstawiono w innych pracach [Szajda i Gajda 1993, Szajda i in. 1995, Szajda 2004].

Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej, prędkości wiatru oraz usłonecznienia użyto do obliczenia ewapotranspiracji wskaźnikowej [Szajda 1997, 2004], niezbędnej do określenia standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego (KBW_s) ze wzoru (1). Miesięczne sumy opadów w poszczególnych latach okresu badań wykorzystano do obliczenia wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) ze wzoru (2).

Obliczone miesięczne wartości wskaźników KBW_s i SPI dla okresu wegetacyjnego (IV–IX) w latach 1970–1995 przedstawiono w układzie współrzędnych (rys.), a ich zależność funkcyjną opisano równaniem:

$$KBW_s = 0,016 + 0,896SPI \quad (3)$$

Zależność (3) określono statystycznie przy 148 stopniach swobody. Charakteryzuje ją bardzo wysoki współczynnik korelacji: $r = 0,8581$. Odczytana dla tej zależności z tablic [Elandt 1964] graniczna wartość współczynnika korelacji przy poziomie istotności $\alpha = 0,01$ ($r_{0,01}$) wynosi 0,2540 jest znacznie mniejsza od wartości r uzyskanej z obliczeń. A zatem, otrzymana zależność jest wysoce istotna, co dowodzi, że istnieje ścisły związek między miesięcznymi wartościami obu wskaźników. Związek ten wyraża się w istotnym zróżnicowaniu wartości wskaźników KBW_s w zależności od wartości wskaźników SPI . Charakterystykę liczbową tej zależności (równanie (3), rys.) można wykorzystywać do szacowania miesięcznych wartości wskaźnika KBW_s na podstawie wartości wskaźnika SPI , ponieważ obliczone w ten sposób wartości KBW_s są nieznacznie mniejsze od wartości SPI . Wynika stąd, że kompleksowy układ czynników meteorologicznych, wyrażony standaryzowanym klimatycznym bilansem wodnym, oraz zmienność opadów, wyrażona wskaźnikiem standaryzowanego opadu, wywierają zblizony wpływ na kształtowanie się bilansu wodnego. Wskaźniki KBW_s i SPI są zatem w pełni przydatne do badania związków między suszą meteorologiczną a suszą rolniczą w okresie wegetacyjnym.



Rys. Związek funkcyjny miesięcznych wartości standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego (KBW_s) i wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) w okresie wegetacyjnym w latach 1970–1995 (Sosnowica, Polesie Lubelskie)

Fig. Functional relationship between monthly values of standardised climatic water balance (KBW_s) and standardised precipitation index (SPI) in vegetation periods of 1970–1995 (Sosnowica, Polesie Lubelskie)

W tabeli 3 przedstawiono występowanie susz meteorologicznych: ekstremalnej (*es*), bardzo silnej (*bs*) i umiarkowanej (*us*), sklasyfikowanych według wartości wskaźników KBW_s i SPI (tab. 1 i 2), od kwietnia do września w latach 1970–1995 na Polesiu Lubelskim. Na podstawie tych danych obliczono, ile razy w każdym miesiącu okresu wegetacyjnego w całym wieloleciu występowały susze poszczególnych klas oraz susza meteorologiczna klas *es*, *bs* i *us* traktowanych łącznie. Częstość tych klas oraz suszy meteorologicznej obliczano w procentach, dzieląc liczbę miesięcy z danym rodzajem suszy przez liczbę lat okresu badań i mnożąc iloraz przez 100. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 4.

Tabela 3. Występowanie susz ekstremalnych (*es*), bardzo silnych (*bs*) i umiarkowanych (*us*), określonych za pomocą wskaźników KBW_s i SPI , w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego w latach 1970–1995 (Sosnowica, Polesie Lubelskie)

Table 3. Occurrence of extreme (*es*), very strong (*bs*) and moderate (*us*) droughts, determined by means of KBW_s and SPI indices, in individual months of vegetation period during 1970–1995 (Sosnowica, Polesie Lubelskie)

Rok Year	KBW_s					
	IV A	V M	VI J	VII J	VIII A	IX S
1970						
1971		<i>us</i>		<i>us</i>	<i>us</i>	
1972						
1973					<i>us</i>	
1974	<i>es</i>					
1975					<i>us</i>	<i>us</i>
1976	<i>us</i>	<i>us</i>	<i>us</i>	<i>us</i>		
1977		<i>bs</i>				
1978			<i>us</i>			
1979		<i>us</i>	<i>us</i>			<i>us</i>
1980		<i>us</i>				
1981	<i>us</i>				<i>us</i>	
1982		<i>bs</i>	<i>us</i>	<i>us</i>	<i>us</i>	<i>bs</i>
1983			<i>us</i>		<i>us</i>	
1984					<i>bs</i>	
1985						
1986						
1987				<i>us</i>		
1988	<i>es</i>	<i>us</i>		<i>us</i>		
1989	<i>us</i>			<i>us</i>		
1990		<i>us</i>	<i>us</i>			
1991	<i>us</i>				<i>us</i>	
1992			<i>us</i>	<i>us</i>	<i>bs</i>	
1993	<i>us</i>	<i>us</i>			<i>us</i>	
1994			<i>bs</i>	<i>es</i>		
1995		<i>us</i>		<i>us</i>	<i>us</i>	

Rok Year	SPI					
	IV A	V M	VI J	VII J	VIII A	IX S
1970						
1971		<i>us</i>	<i>us</i>	<i>us</i>	<i>us</i>	<i>us</i>
1972			<i>us</i>	<i>us</i>		
1973						
1974	<i>bs</i>					
1975					<i>us</i>	<i>us</i>
1976	<i>us</i>	<i>us</i>				
1977		<i>us</i>				
1978						
1979						<i>us</i>
1980		<i>bs</i>				
1981	<i>us</i>				<i>us</i>	
1982	<i>us</i>	<i>us</i>	<i>us</i>	<i>us</i>		<i>es</i>
1983			<i>us</i>			
1984					<i>es</i>	
1985	<i>us</i>					
1986	<i>us</i>					<i>us</i>
1987	<i>us</i>					<i>us</i>
1988	<i>us</i>	<i>us</i>		<i>us</i>		
1989				<i>us</i>		
1990			<i>us</i>			
1991	<i>us</i>				<i>us</i>	
1992			<i>us</i>	<i>us</i>	<i>bs</i>	
1993	<i>bs</i>	<i>us</i>			<i>us</i>	
1994			<i>es</i>	<i>es</i>		
1995		<i>bs</i>		<i>bs</i>		

Tabela 4. Częstość (w %) susz ekstremalnych (*es*), bardzo silnych (*bs*) i umiarkowanych (*us*), określonych za pomocą wskaźników KBW_s i *SPI*, oraz susz klas *es*, *bs* i *us* łącznie w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego w latach 1970–1995 (Sosnowica, Polesie Lubelskie)

Table 4. Frequency (in %) of extreme (*es*), very strong (*bs*) and moderate (*us*) droughts, determined by means of KBW_s and *SPI* indices, and of total *es*, *bs* and *us* droughts in individual months of vegetation period during 1970–1995 (Sosnowica, Polesie Lubelskie)

Klasa suszy Drought class	KBW_s							<i>SPI</i>						
	IV A	V M	VI J	VII J	VIII A	IX S	IV–X A–S	IV A	V M	VI J	VII J	VIII A	IX S	IV–X A–S
<i>es</i>	7,7	–	–	3,8	–	–	1,9	–	–	3,8	3,8	3,8	3,9	2,6
<i>bs</i>	–	7,7	3,8	–	7,7	3,8	3,8	7,7	7,7	–	3,8	3,8	–	3,8
<i>us</i>	19,2	30,8	23,1	30,8	34,6	7,7	24,4	30,8	23,1	23,1	23,1	19,2	19,2	23,1
<i>es, bs, us</i> razem total	26,9	38,5	26,9	34,6	42,3	11,5	30,1	38,5	30,8	26,9	30,8	26,9	23,1	29,5

W sezonie wegetacyjnym okresu badań częstość suszy ekstremalnej (*es*) określona za pomocą wskaźnika KBW_s wyniosła 1,9%, suszy bardzo silnej (*bs*) – 3,8%, suszy umiarkowanej (*us*) – 24,4%, a częstość suszy meteorologicznej (*es*, *bs* i *us* razem) – 30,1%. Odpowiednie częstości określone z użyciem *SPI* wynosiły: 2,6, 3,8, 23,1 i 29,5%. Wynika stąd, że określona tymi dwoma sposobami intensywność suszy meteorologicznej, znajdująca odbicie w tych częstościach, była zbliżona. Oznacza to, że kompleksowy układ czynników meteorologicznych, wyrażony przez KBW_s , oraz zmienność opadów, wyrażona przez *SPI*, wywierają podobny wpływ na nasilenie suszy meteorologicznej. A zatem, wskaźniki KBW_s i *SPI* w pełni się nadają do badania związków między suszą meteorologiczną a suszą rolniczą w okresie wegetacyjnym.

W okresach wegetacyjnych badanego 26-lecia występowały ciągi miesięcznych susz meteorologicznych (tab. 3) obejmujących niemal cały okres wegetacji (1982 r.), 4 miesiące (lata 1971 i 1976), 3 miesiące (1992 r.) oraz 2 miesiące (1994 r.). Wynika stąd, że kompleksowy układ czynników meteorologicznych, wyrażony przez standaryzowany klimatyczny bilans wodny, oraz zmienność opadów, wyrażona przez wskaźnik standaryzowanego opadu, wywierają podobny wpływ na długość ciągów suszy meteorologicznej.

WNIOSKI

1. Porównanie obliczonych wartości miesięcznych standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego (KBW_s) i wskaźnika standaryzowanego opadu (*SPI*) w okresie wegetacyjnym (IV–IX) w latach 1970–1995 na Polesiu Lubelskim wskazuje, że wartości wskaźnika KBW_s istotnie zależą od wartości wskaźnika *SPI*. Podana w pracy charakterystyka liczbowa tej zależności może być przydatna do szacowania miesięcznych wartości KBW_s na podstawie wartości *SPI*, gdyż obliczone z tej zależności wartości wskaźnika KBW_s są nieznacznie mniejsze od wartości wskaźnika *SPI*.

2. Kompleksowy układ czynników meteorologicznych, wyrażony przez KBW_s , oraz zmienność opadów, wyrażona przez SPI , wywierają zblizony wpływ na intensywność i długość suszy meteorologicznej w okresie wegetacji. Oba wskaźniki są zatem w pełni przydatne do badania związków między suszą meteorologiczną a suszą rolniczą w tym okresie.

PIŚMIENNICTWO

- Bąk B., Łabędzki L., 2002. Assessing drought severity with the relative precipitation index (RPI) and the standardized precipitation index (SPI). *J. Water Land Develop.* 6, 89–105.
- Bąk B., Łabędzki L., 2003a. Modification of standardized precipitation index SPI for drought monitoring in Poland. [W:] Meteorological services' tasks in NATO operations, missions and exercises. V Int. Symp. on Military Meteorology, 29.09–2.10.2003, Poznań, 15–22.
- Bąk B., Łabędzki L., 2003b. Monitorowanie suszy w okresie dekadowym metodą wskaźnika SPI i prognozowanie dalszego jej rozwoju. XIV Ogólnopol. Symp. Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego „Funkcjonowanie i monitoring geoeosystemów w warunkach narastającej antropopresji”, 3–5.09.2003, Toruń, 27–29.
- Elandt R., 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczałnictwa rolniczego. PWRiL Warszawa.
- Łabędzki L., Bąk B., 2004. Standaryzowany klimatyczny bilans wodny jako wskaźnik suszy. *Acta Agrophys.* 3 (1), 117–124.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proc. 8th Conf. of Applied Climatology*, 17–22.01.1993, Anaheim, California, 179–184.
- Roguski W., Sarnacka S., Drupka S., 1988. Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. *Mater. Instr.* nr 56, IMUZ Falenty.
- Szajda J., 1997. Roślinne i glebowo-wodne wskaźniki ewapotranspiracji łąki na glebie torfowo-murszowej. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. IMUZ Falenty.
- Szajda J., 2004. Analiza występowania zjawisk suszy meteorologicznej, glebowej i hydrologicznej. [W:] Aktualizacja programu małej retencji dla nowego województwa lubelskiego. Cz. I. Przyrodnicze uwarunkowania i możliwości retencjonowania wód powierzchniowych na obszarze województwa lubelskiego. WZMiUW Lublin.
- Szajda J., Gajda J., 1993. Warunki klimatyczne centralnej części regionu Kanału Wieprz–Krzna. *Ann. UMCS, sect. E, XLVIII*, 11, 77–92.
- Szajda J., Olszta W., Babkiewicz Z., 1995. Warunki klimatyczne centralnej części Polesia Lubelskiego. Gleby i klimat Lubelszczyzny. *Mat. konf. nauk.*, 25.04.1994, Lublin. Wyd. LTN Lublin, 187–192.

METEOROLOGICAL DROUGHT INDICES IN POLESIE LUBELSKIE DURING VEGETATION PERIOD

Abstract. The monthly values of standardised climatic water balance (KBW) and standardised precipitation index (SPI) during the vegetation periods (April to September) of the years 1970–1995 in Polesie Lubelskie were calculated, compared and used to assess the intensity and length of meteorological droughts. The results showed that the values of both

indices are closely related: there is a statistically significant functional relationship between KBW_s and SPI . The quantification of this relationship, provided in the study, may be useful in estimating the monthly values of KBW_s on the basis of those of SPI , as the former values determined in such a way are only slightly lower than the latter. The results of the study indicate that the complex system of meteorological conditions, expressed as standardised climatic water balance, and the variation in precipitation, expressed as standardised precipitation index, have a similar effect on the intensity and length of meteorological drought in the vegetation period. Hence, the KBW_s and SPI indices are really useful for research into the relationships between meteorological drought and agricultural drought in such periods.

Key words: meteorological drought, drought indices, drought classes

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 8.02.2007