

STANDARYZOWANY KLIMATYCZNY BILANS WODNY JAKO WSKAŹNIK SUSZY

Leszek Łabędzki¹, Bogdan Bąk²

¹Institut Melioracji i Użytków Zielonych, Wielkopolsko-Pomorski Ośrodek Badawczy
Al. Ossolińskich 12, 85-093 Bydgoszcz
e-mail: imuzbyd@by.onet.pl

²Bydgoskie Biuro Pogody, ul. Bołtucia 10/20, 85-791 Bydgoszcz

Streszczenie. Jednym z elementów monitorowania suszy jest ocena jej intensywności. Ocena ta, jak również częstość występowania okresów suchych w danej klasie intensywności, zależy od przyjętych kryteriów suszy, czyli od wybranego wskaźnika suszy. Na podstawie ciągów opadowych okresu wegetacyjnego z lat 1972-2002, ze stacji pomiarowej Frydrychowo-IMUZ leżącej w dolinie górnej Noteci, obliczono standaryzowany klimatyczny bilans wodny *SB*. W zakresie ujemnych jego wartości przyjęto trzy klasy okresów suszy: umiarkowanie suchy, bardzo suchy, ekstremalnie suchy. Wyznaczono częstości występowania miesięcy i okresów wegetacyjnych w poszczególnych klasach. Uzyskane wyniki porównano z klasyfikacją tych okresów według wskaźnika standaryzowanego opadu *SPI* i wskaźnika względnego opadu *RPI* według kryteriów Kaczorowskiej. Według wskaźnika *SB* odnotowano łącznie w trzech klasach suszy 69 miesięcy, podczas gdy według *SPI* – 60 miesięcy i według *RPI* - 82 miesiące. Uwzględnienie we wskaźniku *SB* meteorologicznych warunków parowania spowodowało złagodzenie oceny intensywności suszy (przesunięcie okresów do niższej klasy suszy) w stosunku do wskaźników wykorzystujących tylko opad.

Słowa kluczowe: susza, klimatyczny bilans wodny, *SPI*

WSTĘP

Aby móc skutecznie przeciwdziałać negatywnym skutkom susz i podejmować odpowiednie działania prewencyjne, należy dysponować odpowiednimi, sprawdzonymi i wiarygodnymi wskaźnikami niedoborów opadu i intensywności suszy, przydatnymi w jej operacyjnym monitorowaniu. W literaturze opisanych jest wiele takich wskaźników [5,6,8,9,14,15,16,17], stosowanych w różnych regionach świata w praktycznym monitorowaniu suszy, z których znaczna część jest oparta na wielkości opadu atmosferycznego. Monitoring suszy na obszarach upraw

rolniczych powinien uwzględniać – oprócz opadu atmosferycznego – również ewapotranspirację wskaźnikową. Wielkością, która uwzględnia oba te elementy agrometeorologiczne, jest klimatyczny bilans wodny obliczany jako różnica między sumą opadów i sumą ewapotranspiracji wskaźnikowej $P - ET_o$. Ewapotranspiracja wskaźnikowa charakteryzuje meteorologiczne warunki procesu ewapotranspiracji i określa zdolność parowania wody. Jest to ewapotranspiracja standardowej pokrywy roślinnej.

W zróżnicowanych pod względem wielkości opadów i ewapotranspiracji regionach, wartości klimatycznego bilansu wodnego nie odzwierciedlają porównywalnej skali niedoborów opadu. Dlatego też w pracy zaproponowano metodę obiektywnego ustalania wskaźników niedoborów, które byłyby jednoznaczne w różnych regionach. Metodą tą jest standaryzowany klimatyczny bilans wodny.

METODY I MATERIAŁ

Zakładając, że klimatyczny bilans wodny traktowany jako zmienna losowa podlega rozkładowi normalnemu, w oparciu o własności tego rozkładu, przyjęto standaryzowany klimatyczny bilans wodny jako wskaźnik suszy, obliczany na podstawie równania:

$$SB = \frac{B - \bar{B}}{d(B)} \quad (1)$$

gdzie: SB – standaryzowany klimatyczny bilans wodny w danym okresie, B – klimatyczny bilans wodny w danym okresie (mm), liczony jako:

$$B = P - ET_o \quad (2)$$

\bar{B} – średni wieloletni klimatyczny bilans wodny w danym okresie (mm), $d(B)$ – średnie odchylenie standardowe klimatycznego bilansu wodnego w danym okresie (mm), P – opad atmosferyczny w danym okresie (mm), ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa w danym okresie (mm), liczona ze wzoru Penmana-Monteitha [1,2,7,10,11].

Ewapotranspirację wskaźnikową według wzoru Penmana-Monteitha definiuje się jako ewapotranspirację hipotetycznej rośliny, jaką jest trawa o stałej, jednakowej wysokości równej 12 cm, stałej oporności stomatycznej równej 70 s·m⁻¹, stałym albedo wynoszącym 0,23, w pełni zakrywająca glebę, w warunkach aktywnego rozwoju i nieograniczonego dostępu wody.

W zakresie ujemnych wartości standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego przyjęto trzy klasy okresów suszy: umiarkowanie suchy, bardzo suchy, ekstremalnie suchy (tab. 1). Wartości graniczne poszczególnych klas dobrano doświadczalnie, analizując wartości $(P - ET_o)$ o różnym prawdopodobieństwie nieosiągnięcia i odpowiadające im skumulowane prawdopodobieństwo.

Tabela 1. Klasy suszy według standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego *SB*
Table 1. Drought classes according to standardized climatic water balance *SB*

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

Wskaźnik *SB* obliczono dla miesięcy okresów wegetacyjnych (kwiecień-wrzesień) i całych okresów wegetacyjnych w latach 1972-2002, na stacji meteorologicznej Frydrychowo-IMUZ w dolinie górnej Noteci. Wyznaczono częstości występowania miesięcy i okresów wegetacyjnych w poszczególnych klasach suszy. Uzyskane wyniki porównano z klasyfikacją tych okresów według wskaźnika standaryzowanego opadu *SPI* i wskaźnika względnego opadu *RPI* według kryteriów Kaczorowskiej [9].

Wskaźnik względnego opadu *RPI* (Relative Precipitation Index) jest wyrażonym w procentach stosunkiem sumy opadu *P* w danym okresie do wartości średniej wieloletniej \bar{P} w tym samym okresie:

$$RPI = \frac{P}{\bar{P}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Klasyfikację okresów na podstawie wartości *RPI* przeprowadzono według kryteriów Kaczorowskiej [9] (tab. 2).

Wskaźnik standaryzowanego opadu *SPI* (Standardized Precipitation Index) został zaproponowany przez McKee [15] i aktualnie jest stosowany do operacyjnego monitorowania suszy w USA przez Narodowe Centrum Zapobiegania Suszy [17]. W Europie wykorzystywany jest m.in. na Węgrzech, we Włoszech oraz w Hiszpanii, jak również w Polsce na Kujawach [12,13]. W literaturze coraz częściej spotyka się informacje o dokonywanych próbach monitorowania suszy za pomocą tego wskaźnika również w innych krajach (np. w RPA, Izraelu, Argentynie). Podobnie jak wskaźnik *RPI*, obliczanie wskaźnika *SPI* opiera się na wieloletnich ciągach opadu w określonym przedziale czasu. Ciąg opadowy poddaje się normalizacji stosując funkcję przekształcającą $f(P)$, a następnie standaryzacji. Wartości *SPI* dla danej wartości *P* obliczane są z równania:

$$SPI = \frac{f(P) - \mu}{\delta} \quad (4)$$

gdzie: SPI – wskaźnik standaryzowanego opadu, $f(P)$ – przekształcona suma opadów, μ – średnia wartość znormalizowanego ciągu opadów, δ – średnie odchylenie standardowe znormalizowanego ciągu opadów.

Tabela 2. Klasy suszy według wskaźnika względnego opadu RPI

Table 2. Drought classes according to relative precipitation index RPI

Rodzaj okresu Type of period	Symbol	RPI w – RPI in	
		miesiącu month	roku, kwartale year, quarter
Skrajnie suchy Extremely dry	ss	0-24,9%	0-49,9%
Bardzo suchy Very dry	bs	25,0-49,9%	50,0-74,9%
Suchy Dry	s	50,0-74,9%	75,0-89,9%
Przeciętny Average	p	75,0-125,9%	90,0-110,9%

Klasyfikację okresów ze względu na niedobór opadu przeprowadzono na podstawie wartości SPI według kryteriów stosowanych przez U.S. National Drought Mitigation Center [17] i zalecanych przez International Commission of Irrigation and Drainage [8], zmodyfikowanych przez Bąka i Łabędzkiego [3,4] (tab. 3).

Tabela 3. Klasy suszy według wskaźnika standaryzowanego opadu SPI

Table 3. Drought classes according to standardized precipitation index SPI

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

WYNIKI

Częstości występowania miesięcy i okresów wegetacyjnych w poszczególnych klasach suszy według wskaźników *SB*, *RPI* i *SPI* przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Częstość występowania okresów suszy według wskaźnika *RPI*, *SPI* i *SB* w latach 1972-2002 na stacji meteorologicznej Frydrychowo-IMUZ

Table 4. Frequency of occurrence of drought periods according to *RPI*, *SPI* and *SB* in the years 1972-2002 at the Frydrychowo-IMUZ meteorological station

Okres Period	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX	Σ (IV-IX)
<i>RPI</i>								
ss	1	2	1	2	2	2	2	10
bs	5	3	5	5	5	4	3	27
s	9	12	7	3	6	8	7	45
Σ	15	17	13	10	13	14	12	82
<i>SPI</i>								
es	0	1	0	0	0	1	1	2
bs	1	1	2	3	3	1	1	11
us	9	10	9	6	6	7	5	47
Σ	10	12	11	9	9	9	7	60
<i>SB</i>								
es	0	0	0	0	0	0	0	0
bs	0	1	0	2	0	0	3	3
us	12	11	12	9	11	11	7	66
Σ	12	12	12	11	11	11	10	69

ss – skrajnie suchy, bs – bardzo suchy, s – suchy, es – ekstremalnie suchy, us – umiarkowanie suchy
ss, es – extremely dry, bs – very dry, s – dry, us – moderately dry.

Stwierdzono brak zgodności w częstościach występowania miesięcy i okresów wegetacyjnych (IV-IX), zakwalifikowanych do poszczególnych klas suchości według wskaźnika *RPI* oraz wskaźników *SPI* i *SB*. Według analizowanego wskaźnika *SB* odnotowano łącznie w trzech klasach suszy 69 miesięcy, podczas gdy według *SPI* – 60 miesięcy i według *RPI* – 82 miesiące. Częstości wszystkich okresów (miesiące i okresów wegetacyjnych) według wskaźników *SPI* i *SB* są zbliżone do siebie. Wyraźnie większą częstość występowania okresów suchych wykazuje wskaźnik *RPI*, zwłaszcza w drugiej (okres bardzo suchy) i trzeciej (okres skrajnie suchy) klasie suszy. W rozpatrywanych latach nie stwierdzono wystąpienia okresu, w którym zarówno wskaźniki opadowe suszy, jak i wskaźnik klimatycznego bilansu wodnego sygnalizowałyby łącznie wystąpienie skrajnie suchych warunków. Różnice te mają przyczynę w sposobach zaliczania poszcze-

gólnych miesięcy lub sezonów wegetacji do poszczególnych klas suszy. Kryteria Kaczorowskiej oparte na wskaźniku *RPI* są łagodniejsze w ocenie okresów suszy i dlatego też częstość występowania okresów suchych badanych tym wskaźnikiem jest większa niż w przypadku wskaźników *SPI* i *SB*, które opierają się na ostrzejszych kryteriach zaliczania okresów niedoboru opadu do określonych klas suszy. Niedobór opadu musi być większy, aby zakwalifikować go do odpowiedniej klasy suszy według wskaźników *SPI* i *SB*.

Porównanie wskaźników *SPI* i *SB* oraz szczegółowa analiza ich wartości w poszczególnych latach wielolecia 1972-2002 wykazuje, że uwzględnienie meteorologicznych warunków parowania w postaci ewapotranspiracji wskaźnikowej spowodowało w większości miesięcy i całych okresów wegetacyjnych złagodzenie oceny intensywności suszy według wskaźnika *SB* w stosunku do oceny według wskaźnika *SPI*. Nastąpiło przesunięcie okresów do niższej klasy suszy. Z drugiej strony w rozpatrywanym wieloleciu wystąpiły lata (1986, 1996, 2002), w których duże wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej spowodowały, że okresy wegetacyjne w tych latach zostały zakwalifikowane do pierwszej, najłagodniejszej klasy suszy według *SB*, podczas gdy sam opad (*SPI*) takiej kwalifikacji nie dawał. Wskaźnik *SB* wnosi więc dodatkową informację o kształtowaniu się warunków wodnych danego obszaru w stosunku do oceny wynikającej tylko z opadu, uwzględniając obok opadu również ewapotranspirację wskaźnikową jako wskaźnik możliwości parowania wody w danym okresie.

PODSUMOWANIE

Zaproponowany w pracy i poddany wstępnej analizie wskaźnik klimatycznego bilansu wodnego *SB*, pod względem metodycznym należy uznać za wskaźnik obiektywny, co wynika ze standaryzacji klimatycznego bilansu wodnego, traktowanego jako zmienna losowa. Zaletą tego wskaźnika, wynikającą również ze standaryzacji, jest niezależność jego wartości od metody obliczania ewapotranspiracji wskaźnikowej oraz sposobu określania opadu. Wartość klimatycznego bilansu wodnego zależy bowiem od wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej (zależnej z kolei od metody jej obliczania) oraz od wielkości opadu (opad pomierzony na wysokości 1 m, opad na powierzchni gruntu, opad skorygowany, opad efektywny). Standaryzacja klimatycznego bilansu wodnego usuwa te zależności. W związku z tym można porównywać niedobory opadów w różnych regionach i okresach czasu, różniących się wartością bilansu. Wskaźnik *SB*, w zależności od wielkości ewapotranspiracji wskaźnikowej, może łagodzić ocenę suszy bądź ją zaostrzyć, w stosunku do wskaźników opartych tylko na opadzie.

Pełną ocenę przydatności analizowanego wskaźnika do monitorowania suszy na obszarach rolniczych można dokonać w odniesieniu do skutków suszy, czyli

odpowiedzieć na pytanie, czy i jak koreluje z suszą glebową. Dalszej ocenie należy poddać podział wskaźnika na klasy. Należy również zbadać jego przydatność dla operacyjnej, bieżącej oceny suszy w krótszych okresach czasu (dekada, tydzień).

PIŚMIENNICTWO

1. **Allen R. G., Jensen M. E., Wright J. L., Burman R. D.:** Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agron. J.*, 81, 650-662, 1989.
2. **Allen R. G., Smith M., Perrier A., Pereira L. S.:** An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bull.*, 43, 2, 1-34, 1994.
3. **Bąk B., Łabędzki L.:** Assessing drought severity with the relative precipitation index (*RPI*) and the standardised precipitation index (*SPI*). *Journal of Water and Land Development*, 6, 89-105, 2002.
4. **Bąk B., Łabędzki L.:** Modification of standardized precipitation index *SPI* for drought monitoring in Poland. Proc. V International Symposium on Military Meteorology "METOC services' tasks in NATO operations, missions and exercise". 29.09 - 2.10 2003. Poznań, 15-22, 2003.
5. **Byczkowski A., Meyer W.:** Objective criteria of hydrological droughts evaluation. *Rocz. AR. Poznań, CCCX*, 369-381, 1999.
6. **Byczkowski A., Meyer W.:** Hydrological drought: objective criteria of its evaluation. Proc. 19th Regional Conference of ICID. Brno-Prague, 4-8 June 2001
7. **Feddes R. A., Lenselink K. J.:** 1994. Evapotranspiration. In: Drainage principles and applications (Ed. H. P. Ritzema). ILRI Publication no. 16 Wageningen, 145-173, 1994.
8. How to work out a drought mitigation strategy. An ICID Guide. DVWK Guidelines nr 309. DVWK, Bonn, ss. 29, 1998.
9. **Kaczorowska Z.:** Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Polska Akademia Nauk. Instytut Geografii. Prace Geograficzne Nr 33. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa*, ss. 109, 1962.
10. **Łabędzki L.:** Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. *Rozpr. Habil. Falenty: Wydaw. IMUZ*, ss. 121, 1997.
11. **Łabędzki L.:** Przydatność wzoru Penmana-Monteitha do obliczania ewapotranspiracji wskaźnikowej i rzeczywistej użytków zielonych. *Wiad. IMUZ*, 20, 2, 89-101, 1999.
12. **Łabędzki L.:** Drought risk estimation in the Bydgoszcz-Kujawy region using the standardized precipitation index (*SPI*). Proc. Inter. Conference of ICID on Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification. Bled, Slovenia, April 21-25, 2002
13. **Łabędzki L., Bąk B.:** Monitoring suszy za pomocą wskaźnika standaryzowanego opadu. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2, 2(5), 9-19, 2002.
14. **Łykowski B.:** Wskaźnik suchości klimatu P-E w nowym ujęciu. *Problematyka melioracji w nauczaniu i badaniach naukowych. Wyd. SGGW-AR Warszawa*, 59-68, 1986.
15. **McKee T. B., Doesken N.J., Kleist J.:** Drought monitoring with multiple time scales. Preprints of the 9th Conference of Applied Climatology, 15-20 January 1995, Dallas, Texas, 233-236, 1995.
16. **Olechnowicz-Bobrowska B.:** Charakterystyka wskaźnika suchości w okresie wegetacyjnym w Polsce. *Zesz. Nauk. AR Kraków nr 153 Melioracje*, 10, 3-17, 1979.
17. What is Drought? Drought indices. U.S. National Drought Mitigation Center. <http://drought.unl.edu/whatis/indices>

STANDARDIZED CLIMATIC WATER BALANCE AS DROUGHT INDEX

Leszek Łabędzki¹, Bogdan Bąk²

¹Institute for Land Reclamation and Grassland Farming, Regional Research Centre
Al. Ossolińskich 12, 85-093 Bydgoszcz
e-mail: imuzbyd@by.onet.pl

²Bydgoszcz Weather Bureau, ul. Bołtucia 10/20, 85-791 Bydgoszcz

Abstract. Assessing drought severity is an element of drought monitoring. The assessment of severity and frequency of dry periods in a given severity class depends on the assumed criteria of drought. Using the series of precipitation records in the growing seasons of 1972-2002 from the meteorological station Frydrychowo-IMUZ located in the upper Notec river valley, the standardized climatic water balance *SB* is calculated. Three classes of drought have been distinguished in the range of negative values of *SB*: moderately dry, very dry and extremely dry. Frequencies of months and growing seasons in a given class have been determined. The results are compared with the classification based on the relative precipitation index *RPI* and the standardized precipitation index *SPI*. According to *SB*, 69 months occurred in three classes of drought altogether, according to *SPI* – 60 months and according to *RPI* – 82 months. Taking into account meteorological conditions of evaporation in the *SB* index, diminished the assessment of drought severity (periods were classified in the lower class of drought) in comparison with the indices based only on precipitation.

Key words: drought, climatic water balance, *SPI*