

Edward Gąsiorek, Elżbieta Musiał

**SUSZE METEOROLOGICZNE
WE WROCŁAWIU-SWOJCU W PÓŁROCZU CIEPŁYM
(IV–IX) W WIELOLECIU 1964–2006**

***METEOROLOGICAL DROUGHTS IN WROCŁAW-SWOJEC
DURING THE WARM (APRIL–SEPTEMBER) PERIOD
OF THE YEARS 1964–2006***

Streszczenie

Suszę meteorologiczną można opisać za pomocą opadów. Wskaźnik, który klasyfikuje rodzaje suszy meteorologicznej, to wskaźnik opadu (SPI – *Standardized Precipitation Index*). W prezentowanej pracy autorzy klasyfikują i charakteryzują susze występujące w miesiącach półrocza (IV–IX) w wieloleciu 1964–2006 we Wrocławiu-Swojcu.

Słowa kluczowe: susza meteorologiczna, wskaźnik suszy, rozkład prawdopodobieństwa

Summary

Meteorological drought can be described with the use of precipitation. The index, in aid of which different kinds of meteorological drought are classified, is the standardized precipitation index (SPI). In this study, the authors classify and characterize the droughts in the IV–IX period of the years 1964–2006 in Wrocław-Swojec.

Key words: meteorological drought, drought index, probability distribution

WSTĘP

W literaturze polskiej i światowej coraz częściej pojawiają się standaryzowane wskaźniki do oceny intensywności suszy (standaryzowany opad, standaryzowana ewapotranspiracja rzeczywista, standaryzowany klimatyczny bilans wodny). Wymienione wskaźniki umożliwiają porównywalną ocenę intensywności suszy w różnych warunkach klimatycznych i różnych skalach czasowych. Ponieważ susza jest zwykle oceniana na podstawie historycznych materiałów pomiarowych po zakończeniu tego zjawiska, w prezentowanej pracy autorzy identyfikują i klasyfikują susze meteorologiczne występujące w poszczególnych miesiącach półrocza ciepłego wielolecia 1964–2006. Dane, które zostały poddane kwantyfikacji pochodzą ze stacji Wrocław-Swojec.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W niniejszej pracy identyfikuje się poszczególne miesiące półrocza ciepłego (IV–IX) wielolecia 1964–2006 za pomocą wskaźnika SPI (*Standardized Precipitation Index*). (McKee i in. 1993), jako miesiące o zdefiniowanej intensywności suszy. Wyznaczenie wskaźnika SPI dla miesięcznych sum opadowych wymaga założenia, że miesięczne sumy opadów podlegają rozkładowi normalnemu. Ponieważ okresowe sumy opadów (w tym miesięczne) podlegają rozkładowi Gamma [Kaczmarek 1970], do wieloletnich homogenicznych ciągów miesięcznych sum opadowych zastosowano różne transformacje, które dają dobre dopasowanie do rozkładu normalnego. Weryfikację hipotezy o zgodności wieloletnich homogenicznych ciągów sum opadowych z rozkładem normalnym przeprowadzono za pomocą testu χ^2 . Wybrane transformacje miesięcznych sum opadowych dające najlepszą zgodność z rozkładem normalnym oraz wyniki weryfikacji hipotezy o zgodności z rozkładem normalnym znajdują się w tabeli 1.

Transformowaną wartość opadu atmosferycznego standaryzuje się z reguły [McKee i in. 1993], według wzoru:

$$SPI = \frac{Y - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}$$

gdzie:

$\hat{\mu}$ – estymator parametru μ (średnia wartość znormalizowanego ciągu sum opadowych)

$\hat{\sigma}$ – estymator parametru σ (odchylenie standardowe znormalizowanego ciągu sum opadowych).

Wprowadzony system klasyfikacji intensywności suszy za pomocą SPI znajduje się w tabeli 2. [McKee i in. 1993,1995; Łabędzki i in. 2002, 2006; Paulo, Pereira 2006; Gąsiorek, Musiał 2009].

Tabela 1. Wybrane transformacje dopasowujące rozkłady miesięcznych sum opadowych w wieloletniu 1964-2006 do rozkładu normalnego
Table 1. Selected transformations fitting distributions of monthly precipitation sums in the years 1964-2006 to the normal distribution

Miesiąc Month	Transformacja miesięcznych sum opadowych (P) Transformation of monthly precipitation sums (P)	$Y \sim N(\mu; \sigma)$		
		p-value	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$
kwiecień April	$Y = \sqrt[3]{P+10}$	0,65	3,57	0,44
maj May	$Y = \ln P$	0,33	3,83	0,74
czerwiec June	$Y = \sqrt[3]{P+10}$	0,27	4,25	0,52
lipiec July	$Y = \sqrt[3]{P+10}$	0,45	4,40	0,84
sierpień August	$Y = \sqrt[3]{P}$	0,23	4,00	0,85
wrzesień September	$Y = \sqrt[3]{P+10}$	0,67	3,69	0,62

gdzie: P – miesięczne sumy opadowe w wieloletniu 1964–2006, natomiast p – value jest najniższym poziomem istotności α , przy którym hipoteza zerowa mogłaby być odrzucona przy otrzymanej wartości statystyki testowej χ^2 . μ , σ – parametry rozkładu normalnego otrzymanego po zastosowaniu transformacji.

Tabela 2. Klasyfikacja susz wg wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) i odpowiadające im prawdopodobieństwa
Table 2. Drought classification according to the standardized precipitation index (SPI) and corresponding probabilities

Wartość SPI Value of SPI	Rodzaj Suszy Drought Category	Prawdopodobieństwa Probabilities
$SPI \leq -2,0$	ekstremalna extreme	$P(SPI \leq -2) = 0,0228$
$-2,00 < SPI \leq -1,50$	silna severe	$P(-2 < SPI \leq -1,5) = 0,0440$
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	umiarkowana moderate	$P(-1,5 < SPI \leq -1) = 0,0919$
$-1,00 < SPI \leq -0,5$	łagodna mild	$P(-1 < SPI \leq -0,5) = 0,1498$
$-0,5 < SPI < 0,0$	warunki normalne normal conditions	$P(-0,5 < SPI < 0,0) = 0,1915$

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Przyporządkowanie danemu opadowi P odpowiadającego mu współczynnika SPI jest różnowartościowe, tzn. danej wartości SPI odpowiada dokładnie jeden opad. Opad ten jest kwantylem tego samego rzędu w rozkładzie miesięcznych sum opadowych co odpowiadający mu wskaźnik SPI w standaryzowanym rozkładzie normalnym.

Stąd wprowadzonej za pomocą wskaźnika SPI klasyfikacji odpowiada klasyfikacja wyrażona za pomocą opadów przedstawiona w tabelach 3–8, które charakteryzują kolejny miesiąc w półroczu ciepłym. Przeprowadzona dalej charakterystyka poszczególnych miesięcy półrocza ciepłego za pomocą kwantyli miesięcznych sum opadowych zawiera także graficzną prezentację identyfikacji susz w poszczególnych miesiącach ciepłego półrocza w wieloleciu 1964–2006, za pomocą wskaźnika SPI (rys. 1–6).

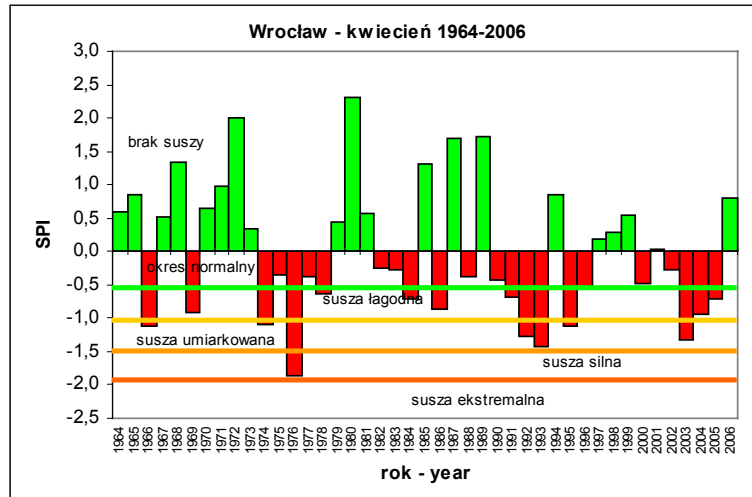
Kwiecień. Hipoteza o zgodności rozkładu miesięcznych sum opadowych w kwietniu po zastosowaniu transformacji $Y = \frac{P}{\sqrt{P+10}}$ w wieloleciu 1964–2006 z rozkładem normalnym została przyjęta na poziomie $\alpha = 0,05$ przy wartości $p = 0,65$.

Tabela 3. Kwantyle miesięcznych sum opadowych (P) w kwietniu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojec

Table 3. Quantiles of the monthly precipitation sums (P) in April in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Klasyfikacja wg SPI Classification after SPI	Rodzaj suszy Drought category	Kwantyle-Quantiles [mm] Klasyfikacja wg opadów P [mm] Classification after precipitation [mm]
$SPI \leq -2,0$	ekstremalna extreme	$P \leq 9,5$
$-2,00 < SPI \leq -1,50$	silna / severe	$9,5 < P \leq 14,6$
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	umiarkowana moderate	$14,6 < P \leq 20,7$
$-1,00 < SPI \leq -0,5$	łagodna / mild	$20,7 < P \leq 27,7$
$-0,5 < SPI < 0,0$	warunki normalne normal conditions	$27,7 < P < 37,5$

Wyznaczone wartości kwantyli miesięcznych sum opadowych w kwietniu w wieloleciu 1964–2006 można interpretować następująco: susza ekstremalna we Wrocławiu-Swojcu wystąpiła w tym miesiącu kwietniu, w którym suma opadów była mniejsza lub równa 9,5 mm. Susza silna wystąpiła w tym kwietniu, w którym suma opadów była zawarta w przedziale (9,5;14,6] mm. Jako warunki normalne przyjmuje się te, w których opad był zawarty w przedziale (27,7;37,5] mm. Intensywność susz w kwietniu we Wrocławiu-Swojcu jest przedstawiona na rysunku 1.



Rysunek 1. Wskaźnik SPI w kwietniu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojce

Figure 1. SPI in April in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojce

Maj. Hipoteza o zgodności rozkładu miesięcznych sum opadowych w maju po zastosowaniu transformacji $Y = \ln P$ w wieloleciu 1964–2006 z rozkładem normalnym została przyjęta na poziomie $\alpha = 0,05$ przy wartości $p = 0,74$.

Tabela 4. Kwantyle miesięcznych sum opadowych (P) w maju w wieloleciu 1964-2006 we Wrocławiu-Swojcu

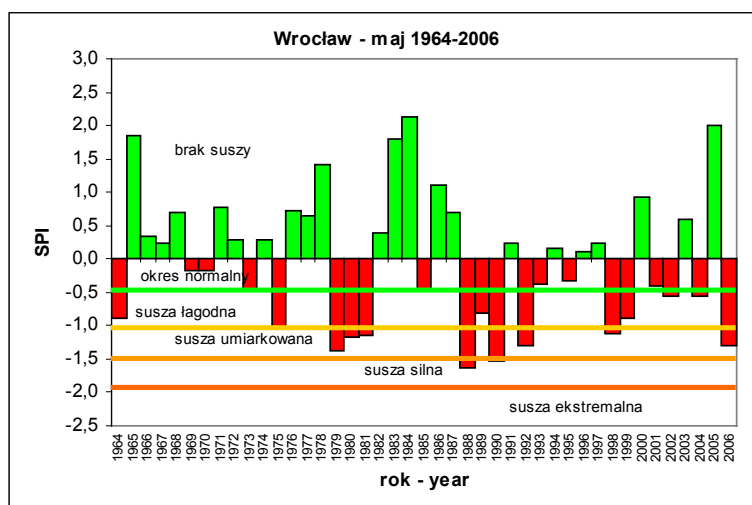
Table 4. Quantiles of the monthly precipitation sums (P) in May in the years 1964-2006 in Wrocław-Swojce

Klasyfikacja wg SPI Classification after SPI	Rodzaj suszy Drought category	Kwantyle / Quantiles [mm] Klasyfikacja wg opadów (P) [mm] Classification after precipitation [mm]
$SPI \leq -2,0$	ekstremalna extreme	$P \leq 10,5$
$-2,00 < SPI \leq -1,50$	silna / severe	$10,5 < P \leq 15,2$
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	umiarkowana moderate	$15,2 < P \leq 22,0$
$-1,00 < SPI \leq -0,5$	łagodna / mild	$22,0 < P \leq 32,0$
$-0,5 < SPI < 0,0$	warunki normalne normal conditions	$32,0 < P < 57,0$

Wyznaczone wartości kwantyli miesięcznych sum opadowych w maju dają podstawę do następujących interpretacji: susza ekstremalna w maju mogłaby wystąpić w stacji Wrocław-Swojce wtedy, gdyby suma opadów w tym okresie

była mniejsza lub równa 10,5 mm. Susza silna miałaby miejsce w maju w wieloleciu 1964–2006, gdyby suma opadów była zawarta w przedziale (10,5; 15,2] mm. Jako warunki normalne w maju przyjmuje się te, w których opad był zawarty w przedziale (32,0; 57,0] mm.

Intensywność susz w maju w wieloleciu 1964–2006 we Wrocławiu-Swojcu znajduje się na rysunku 2.



Rysunek 2. Wskaźnik SPI w maju w wieloleciu 1964–2006 we Wrocławiu-Swojcu
Figure 2. SPI in May in the years 1964–2006 in Wrocław-Swojec

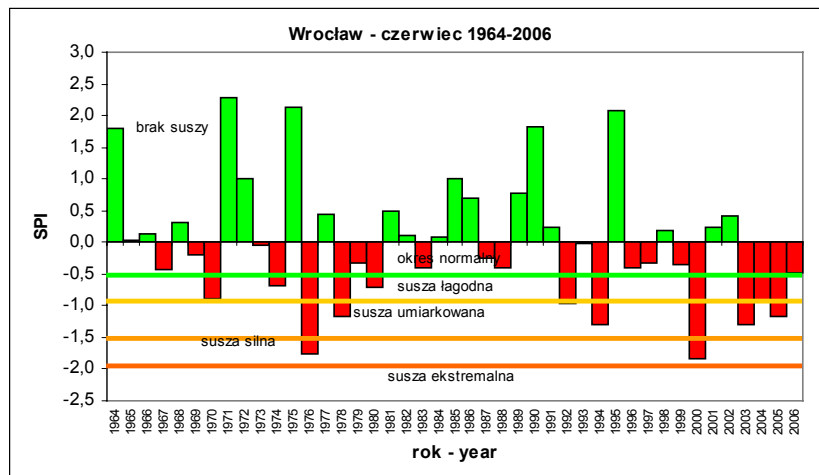
Czerwiec. Hipoteza o zgodności rozkładu miesięcznych sum opadowych w wieloleciu 1964–2006 w czerwcu po zastosowaniu transformacji $Y = \sqrt[3]{P+10}$ z rozkładem normalnym została przyjęta na poziomie $\alpha = 0,05$ przy wartości $p = 0,27$.

Wyznaczone wartości kwantyli miesięcznych sum opadowych w czerwcu dają podstawę do następujących interpretacji: czerwiec o suszy ekstremalnej w wieloleciu 1964–2006 to te, w których suma opadów w tym okresie była mniejsza lub równa 23,1 mm. Susza silna miałaby miejsce w tym czerwcu w wieloleciu 1964–2006, w którym suma opadów była zawarta w przedziale (23,1; 31,8] mm. Jako warunki normalne w czerwcu w wieloleciu 1964–2006 przyjmuje się te, w których opad był zawarty w przedziale (53,5; 66,8] mm.

Intensywność susz w czerwcu w poszczególnych latach wielolecia 1964–2006 we Wrocławiu-Swojcu wyrażona za pomocą SPI jest graficznie przedstawiona na rysunku 3.

Tabela 5. Kwantyle miesięcznych sum opadowych (P) w czerwcu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojec
Table 5. Quantiles of the monthly precipitation sums (P) in June in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Klasyfikacja wg SPI Classification after SPI	rodzaj suszy drought category	Kwantyle-Quantiles [mm] Klasyfikacja wg opadów P [mm] Classification after precipitation [mm]
$SPI \leq -2,0$	ekstremalna extreme	$P \leq 23,1$
$-2,00 < SPI \leq -1,50$	silna-severe	$23,1 < P \leq 31,8$
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	umiarkowana moderate	$31,8 < P \leq 41,9$
$-1,00 < SPI \leq -0,5$	łagodna-mild	$41,9 < P \leq 53,5$
$-0,5 < SPI < 0,0$	warunki normalne normal conditions	$53,5 < P < 66,8$



Rysunek 3. Wskaźnik SPI w czerwcu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojec

Figure 3. SPI in June in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

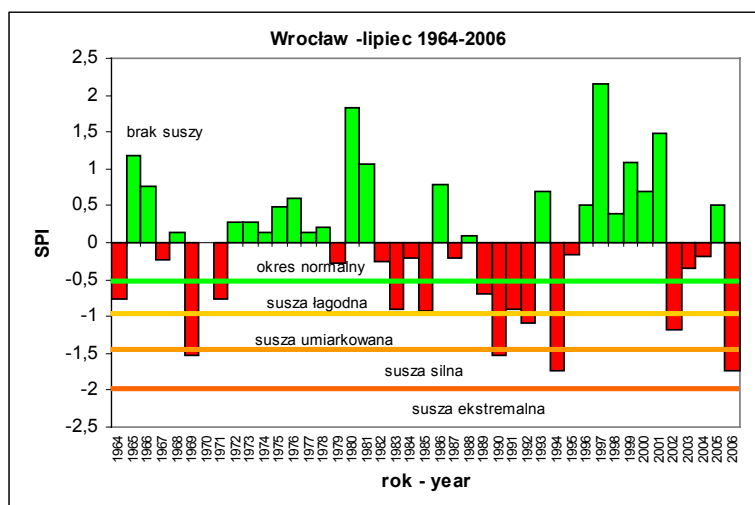
Lipiec. Hipoteza o zgodności rozkładu miesięcznych sum opadowych w wieloleciu 1964–2006 w lipcu po zastosowaniu transformacji $Y = \sqrt[3]{P+10}$ z rozkładem normalnym została przyjęta na poziomie $\alpha=0,05$ przy wartości $p = 0,45$.

Wyznaczone wartości kwantyli miesięcznych sum opadowych w lipcu można interpretować następująco: susza ekstremalna w lipcu we Wrocławiu-Swojcu wystąpiła wtedy, gdy suma opadów w tym okresie była mniejsza lub równa 10,1 mm. Podobnie, susza silna w lipcu w wieloleciu 1964–2006 wystąpiła w tych miesiącach, w których suma opadów była zawarta w przedziale (10,1; 21,0] mm. Jako warunki normalne w lipcu przyjmuje się te, w których opad był zawarty w przedziale (53,0; 75,2] mm.

Intensywność susz w lipcu w poszczególnych latach wielolecia 1964–2006 we Wrocławiu-Swojcu wyrażona za pomocą SPI jest graficznie przedstawiona na rysunku 4.

Tabela 6. Kwantyle miesięcznych sum opadowych (P) w lipcu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojec
Table 6. Quantiles of the monthly precipitation sums (P) in July in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Klasyfikacja wg SPI Classification after SPI	Rodzaj suszy Drought category	Kwantyle-Quantiles [mm] Klasyfikacja wg opadów P [mm] Classification after precipitation [mm]
$SPI \leq -2,0$	ekstremalna extreme	$P \leq 10,1$
$-2,00 < SPI \leq -1,50$	silna / severe	$10,1 < P \leq 21,0$
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	umiarkowana moderate	$21,0 < P \leq 35,1$
$-1,00 < SPI \leq -0,5$	łagodna / mild	$35,1 < P \leq 53,0$
$-0,5 < SPI < 0,0$	warunki normalne normal conditions	$53,0 < P < 75,2$



Rysunek 4. Wskaźnik SPI w lipcu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojec
Figure 4. SPI in July in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

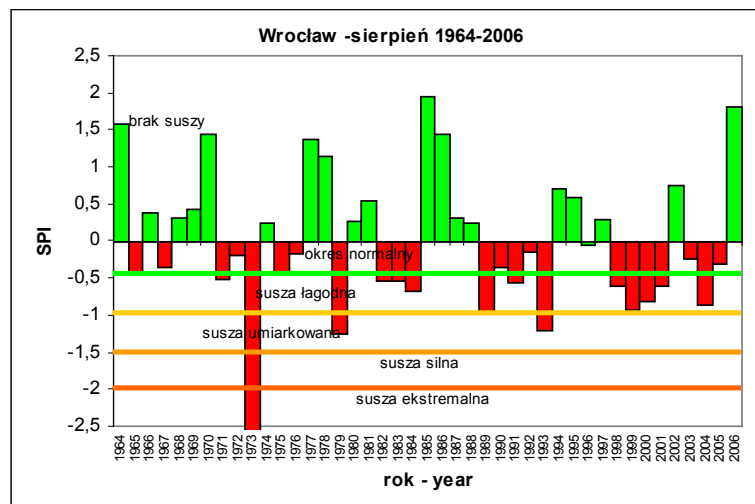
Sierpień. Hipoteza o zgodności rozkładu miesięcznych sum opadowych w wieloleciu 1964–2006 w sierpniu po zastosowaniu transformacji $Y = \sqrt[3]{P}$ z rozkładem normalnym została przyjęta na poziomie $\alpha = 0,05$ przy wartości $p = 0,23$.

Wyznaczone wartości kwantyli miesięcznych sum opadowych w sierpniu można interpretować następująco: susza ekstremalna w sierpniu we Wrocławiu-Swojcu wystąpiła wtedy, gdy suma opadów w tym okresie była mniejsza lub równa 12,2 mm. Podobnie, susza silna w wieloleciu 1964–2006 wystąpiła w tych sierpniach, w których suma opadów była zawarta w przedziale (12,2; 20,2] mm. Jako warunki normalne w sierpniu przyjmuje się te, w których opad był zawarty w przedziale (45,7; 64] mm.

Tabela 7. Kwantyle miesięcznych sum opadowych (P) w sierpniu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojec
Table 7. Quantiles of the monthly precipitation sums (P) in August in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Klasyfikacja wg SPI Classification after SPI	Rodzaj suszy Drought category	Kwantyle-Quantiles [mm] Klasyfikacja wg opadów (P) [mm] Classification after precipitation [mm]
$SPI \leq -2,0$	ekstremalna / extreme	$P \leq 12,2$
$-2,00 < SPI \leq -1,50$	silna / severe	$12,2 < P \leq 20,2$
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	umiarkowana / moderate	$20,2 < P \leq 31,3$
$-1,00 < SPI \leq -0,5$	łagodna / mild	$31,3 < P \leq 45,7$
$-0,5 < SPI < 0,0$	warunki normalne / normal conditions	$45,7 < P < 64$

Intensywność susz w sierpniu w poszczególnych latach wielolecia 1964–2006 we Wrocławiu-Swojcu wyrażona za pomocą SPI jest graficznie przedstawiona na rysunku 5.



Rysunek 5. Wskaźnik SPI w sierpniu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojec

Figure 5. SPI in August in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Wrzesień. Hipoteza o zgodności rozkładu miesięcznych sum opadowych w wieloleciu 1964–2006 we wrześniu, po zastosowaniu transformacji $Y = \sqrt[3]{P+10}$ z rozkładem normalnym, została przyjęta na poziomie $\alpha = 0,05$ przy wartości $p = 0,67$.

Tabela 8. Kwantyle miesięcznych sum opadowych (P) we wrześniu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojec

Table 8. Quantiles of the monthly precipitation sums (P) in September in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

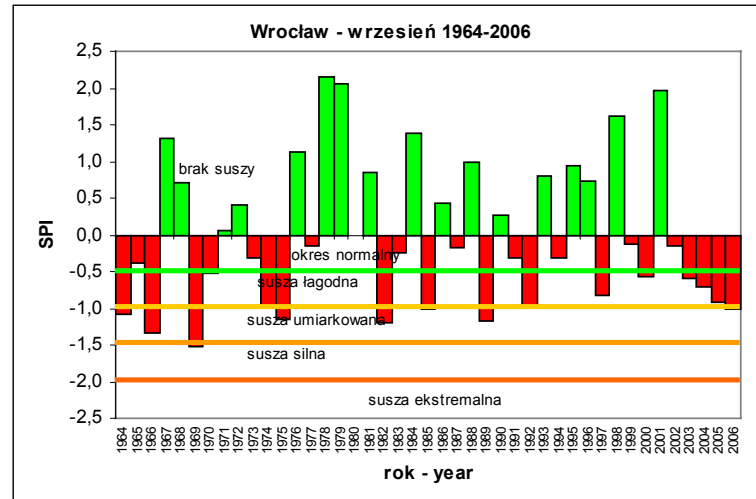
Klasyfikacja wg SPI Classification after SPI	Rodzaj suszy Drought category	Kwantyle-Quantiles [mm] Klasyfikacja wg opadów (P) [mm] Classification after precipitation [mm]
$SPI \leq -2,0$	ekstremalna extreme	$P \leq 4,7$
$-2,00 < SPI \leq -1,50$	silna / severe	$4,7 < P \leq 11,0$
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	umiarkowana moderate	$11,0 < P \leq 18,9$
$-1,00 < SPI \leq -0,5$	łagodna / mild	$18,9 < P \leq 28,6$
$-0,5 < SPI < 0,0$	warunki normalne normal conditions	$28,6 < P < 40,2$

Wyznaczone wartości kwantyli miesięcznych sum opadowych we wrześniu można interpretować następująco: susza ekstremalna we wrześniu we Wrocławiu-Swojcu wystąpiła wtedy, gdy suma opadów w tym okresie była mniejsza lub równa 4,7 mm. Podobnie susza silna w wieloleciu 1964–2006 wystąpiła w tych wrześniach, w których suma opadów była zawarta w przedziale od 4,7 do 11,0 mm. Jako warunki normalne we wrześniu przyjmuje się te, w których opad był zawarty w przedziale (28,6; 40,2] mm.

Intensywność suszy we wrześniu w poszczególnych latach wielolecia 1964–2006 we Wrocławiu-Swojcu wyrażona za pomocą SPI jest graficznie przedstawiona na rysunku 6.

Klasyfikacja susz otrzymana wg SPI skłania autorów do porównania warunków opadowych charakteryzujących każdy rodzaj suszy z istniejącą klasyfikacją wg Kaczorowskiej cytowaną w pracy: [Bac i in. 1993]. Klasyfikacja wg SPI umożliwia charakterystykę każdego miesiąca oddzielnie, w przeciwieństwie do klasyfikacji, jaką proponuje Kaczorowska [Bac i in. 1993].

Klasyfikacja wg SPI umożliwia charakterystykę każdego miesiąca oddzielnie, w przeciwieństwie do klasyfikacji, jaką proponuje Kaczorowska [Bac i in. 1993]. Wg SPI susza ekstremalna w miesiącach półrocza ciepłego występuje wtedy, gdy suma opadu w danym miesiącu jest mniejsza od średniej sumy opadowej z wielolecia: od 12% dla lipca i września, 19% dla sierpnia, 23% dla maja, 26% dla kwietnia i 35% dla czerwca.



Rysunek 6. Wskaźnik SPI we wrześniu w wieloleciu 1964–2006 w stacji Wrocław-Swojec

Figure 6. SPI in October in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Tabela 9. Charakterystyka suszy ekstremalnej dla miesięcznych sum opadowych w półroczu (IV–IX) w wieloleciu 1964–2009 w stacji Wrocław-Swojec
Table 9. Characteristics of meteorological extreme drought in half-year in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Wartość SPI Value of SPI	Miesiąc Month	$P \leq u_{0,02}$	$P\% \leq \frac{u_{0,02}}{\hat{\mu}} \%$	Klasyfikacja wg Kaczorowskiej dla okresów miesięcznych
SPI ≤ -2,0 susza ekstremalna	Kwiecień	$P \leq 9,5$	$P\% < 26\%$	Jeżeli miesięczna suma opadowa jest mniejsza od 25% średniej sumy opadowej z wielolecia, to taki miesiąc klasyfikujemy jako skrajnie suchy.
	Maj	$P \leq 10,5$	$P\% < 23\%$	
	Czerwiec	$P \leq 23,1$	$P\% < 35\%$	
	Lipiec	$P \leq 10,1$	$P\% < 12\%$	
	Sierpień	$P \leq 12,2$	$P\% < 19\%$	
	Wrzesień	$P \leq 4,7$	$P\% < 12\%$	

Gdzie: P% – procentowym udział sumy opadowej w danym miesiącu w stosunku do średniej sumy opadowej z wielolecia,

P – miesięczna suma opadowa, w danym miesiącu

$u_{0,02}$ – kwantyl rozkładu miesięcznych sum opadowych rzędu 0,02;

$\hat{\mu}$ – estymator wartości oczekiwanej rozkładu miesięcznych sum opadowych z wielolecia 1964–2006

Tabela 10. Charakterystyka suszy silnej dla miesięcznych sum opadowych w półroczu (IV–IX) w wieloleciu 1964–2009 w stacji Wrocław-Swojec**Table 10.** Characteristics of meteorological severe drought in half-year (IV–IX) in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Wartość SPI Value of SPI	Miesiąc month	$u_{0,02} < P \leq u_{0,07}$	$\frac{u_{0,02}}{\hat{\mu}} \% < P \% \leq \frac{u_{0,07}}{\hat{\mu}} \%$	Klasyfikacja wg Kaczorowskiej dla okresów miesięcznych
-2,00 < SPI ≤ -1,50 susza silna	Kwiecień	9,5 < P ≤ 14,6	26% < P% ≤ 41%	Jeżeli miesięczna suma opadowa jest zawarta w przedziale od 25% do 49% średniej sumy opadowej z wielolecia, to taki miesiąc klasyfikujemy jako bardzo suchy
	Maj	10,5 < P ≤ 15,2	23% < P% ≤ 33%	
	Czerwiec	23,1 < P ≤ 31,8	35% < P% ≤ 47%	
	Lipiec	10,1 < P ≤ 21,0	12% < P% ≤ 28%	
	Sierpień	12,2 < P ≤ 20,2	19% < P% ≤ 32%	
	Wrzesień	4,7 < P ≤ 11,0	12% < P% ≤ 27%	

Gdzie:

- P% – procentowy udział sumy opadu w danym miesiącu w stosunku do średniej sumy opadowej z wielolecia,
P – miesięczna suma opadowa w danym miesiącu,
 $u_{0,02}$ – kwantyl rozkładu miesięcznych sum opadowych rzędu 0,02;
 $u_{0,07}$ – kwantyl rozkładu miesięcznych sum opadowych rzędu 0,07;
 $\hat{\mu}$ – estymator wartości oczekiwanej rozkładu miesięcznych sum opadowych z wielolecia 1964–2006

Tabela 11. Charakterystyka suszy umiarkowanej dla miesięcznych sum opadowych w półroczu (IV–IX) w wieloleciu 1964–2009 w stacji Wrocław-Swojec**Table 11.** Characteristics of meteorological moderate drought in half-year (IV–IX) in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Wartość SPI Value of SPI	Miesiąc Month	$u_{0,07} < P \leq u_{0,16}$	$\frac{u_{0,07}}{\hat{\mu}} \% < P \% \leq \frac{u_{0,16}}{\hat{\mu}} \%$	Klasyfikacja wg Kaczorowskiej dla okresów miesięcznych
-1,50 < SPI ≤ -1,00 susza umiarkowana	Kwiecień	14,6 < P ≤ 20,7	41% < P% ≤ 58%	Jeżeli miesięczna suma opadowa jest zawarta w przedziale od 50% do 75% średniej sumy opadowej z wielolecia, to taki miesiąc klasyfikujemy jako suchy
	Maj	15,2 < P ≤ 22,0	33% < P% ≤ 48%	
	Czerwiec	31,8 < P ≤ 41,9	47% < P% ≤ 63%	
	Lipiec	21,0 < P ≤ 35,1	28% < P% ≤ 47%	
	Sierpień	20,2 < P ≤ 31,3	32% < P% ≤ 49%	
	Wrzesień	11,0 < P ≤ 18,9	27% < P% ≤ 47%	

Gdzie:

- P% – procentowy udział sumy opadu w danym miesiącu w stosunku do średniej sumy opadowej z wielolecia,
P – miesięczna suma opadowa w danym miesiącu,
 $u_{0,07}$ – kwantyl rozkładu miesięcznych sum opadowych rzędu 0,07;
 $u_{0,16}$ – kwantyl rozkładu miesięcznych sum opadowych rzędu 0,16;
 $\hat{\mu}$ – estymator wartości oczekiwanej rozkładu miesięcznych sum opadowych z wielolecia 1964–2006

Tabela 12. Charakterystyka suszy łagodnej dla miesięcznych sum opadowych w półroczu (IV–IX) w wieloleciu 1964–2009 w stacji Wrocław-Swojec**Table 12.** Characteristics of meteorological mild drought in half-year (IV–IX) in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

wartość SPI value of SPI	miesiąc month	$u_{0,16} < P \leq u_{0,31}$	$\frac{u_{0,16}}{\hat{\mu}} \% < P \% \leq \frac{u_{0,31}}{\hat{\mu}} \%$	klasyfikacja wg Kaczorowskiej dla okresów miesięcznych
-1,00 < SPI ≤ -0,5 susza łagodna	Kwiecień	14,6 < P ≤ 20,7	58% < P% ≤ 78%	Dla tego okresu Kaczorowska nie podaje klasyfikacji
	Maj	15,2 < P ≤ 22,0	48% < P% ≤ 70%	
	Czerwiec	31,8 < P ≤ 41,9	63% < P% ≤ 80%	
	Lipiec	21,0 < P ≤ 35,1	47% < P% ≤ 70%	
	Sierpień	20,2 < P ≤ 31,3	49% < P% ≤ 71%	
	Wrzesień	11,0 < P ≤ 18,9	47% < P% ≤ 71%	

Gdzie:

- P% – procentowy udział sumy opadu w danym miesiącu w stosunku do średniej sumy opadowej z wielolecia,
P – miesięczna suma opadowa w danym miesiącu,
 $u_{0,16}$ – kwantyl rozkładu miesięcznych sum opadowych rzędu 0,16;
 $u_{0,50}$ – kwantyl rozkładu miesięcznych sum opadowych rzędu 0,5;
 $\hat{\mu}$ – estymator wartości oczekiwanej rozkładu miesięcznych sum opadowych z wielolecia 1964–2006

Tabela 13. Charakterystyka warunków normalnych dla miesięcznych sum opadowych w półroczu (IV–IX) w wieloleciu 1964–2009 w stacji Wrocław-Swojec**Table 13.** Characteristics of normal condition in half-year (IV–IX) in the years 1964–2006 in the station Wrocław-Swojec

Wartość SPI Value of SPI	Miesiąc Month	$u_{0,31} < P \leq u_{0,5}$	$\frac{u_{0,31}}{\hat{\mu}} \% < P \% < \frac{u_{0,5}}{\hat{\mu}} \%$	Klasyfikacja wg Kaczorowskiej dla okresów miesięcznych
-0,5 < SPI < 0,0 warunki normalne	Kwiecień	27,7 < P < 37,5	78% < P% < 100%	Jeżeli miesięczna suma opadowa jest zawarta w przedziale od 76% do 125% średniej sumy opadowej z wielolecia, to taki miesiąc klasyfikujemy jako normalny
	Maj	32,0 < P < 46,1	70% < P% < 100%	
	Czerwiec	53,5 < P < 66,8	80% < P% < 100%	
	Lipiec	53,0 < P < 75,2	70% < P% < 100%	
	Sierpień	45,7 < P < 64	71% < P% < 100%	
	Wrzesień	28,6 < P < 40,2	71% < P% < 100%	

gdzie:

- P% – procentowy udział sumy opadu w danym miesiącu w stosunku do średniej sumy opadowej z wielolecia,
P – miesięczna suma opadowa w danym miesiącu,
 $u_{0,31}$ – kwantyl rozkładu miesięcznych sum opadowych rzędu 0,31;
 $u_{0,50}$ – kwantyl rozkładu miesięcznych sum opadowych rzędu 0,50;
 $\hat{\mu}$ – estymator wartości oczekiwanej rozkładu miesięcznych sum opadowych z wielolecia 1964–2006

PODSUMOWANIE

Biorąc pod uwagę klasyfikację za pomocą wskaźnika SPI, można stwierdzić, że:

1. Warunki normalne to te, w których miesięczna suma opadowa jest zawarta w przedziale od 70% do 100% średniej miesięcznej sumy opadowej z wielolecia.

2. Susza łagodna występuje w tych miesiącach, w których miesięczna suma opadowa jest zawarta w przedziale od 47% do 80% średniej miesięcznej sumy opadowej z wielolecia.

3. Susza umiarkowana występuje w tych miesiącach, w których miesięczna suma opadowa jest zawarta w przedziale od 27% do 63% średniej miesięcznej sumy opadowej z wielolecia.

4. Susza silna występuje w tych miesiącach, w których miesięczna suma opadowa jest zawarta w przedziale od 12% do 47% średniej miesięcznej sumy opadowej z wielolecia.

5. Susza ekstremalna występuje w tych miesiącach, w których miesięczna suma opadowa jest poniżej 12% średniej miesięcznej sumy opadowej z wielolecia.

BIBLIOGRAFIA

- Bac S., Koźmiński Cz., Rojek M. *Agrometeorologia*. PWN, 1993, s. 210.
- Gąsiorek E., Musiał E. *Susze meteorologiczne w wieloleciu 1964–2000 we Wrocławiu-Swojcu*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN vol.56, 2009, s. 94–105
- Kaczmarek Z. *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii*. Warszawa 1970, WKiŁ s. 312.
- Łabędzki L., Bąk B. *Monitoring suszy za pomocą wskaźnika standaryzowanego opadu*. Woda Środowisko Obszary Wiejskie, t. 2, z. 5, 2002, s. 9–19.
- Łabędzki L. *Susze rolnicze*. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie nr 17, 2006, s. 107.
- McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Proc. 8th Conf. Applied Climatology, Anaheim, California 1993, s. 179–184.
- McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. *Drought monitoring with multiple time scales*. Preprints 9th Conf. Applied Climatology, Dallas, Texas, 1995, s. 233–236.
- Paulo A.A., Pereira L. S. *Drought Concepts and Characterization*. Comparing Drought Indices Applied at Local and Regional Scales. Water Intern. Vol. 31 no. 1, 2006, s. 37–49.

Dr Edward Gąsiorek
Dr hab. Elżbieta Musiał prof. nadzw.
Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław
e-mail: elzbieta.musial@up.wroc.pl
Department of Mathematics
Wrocław University of Environmental and Life Sciences
Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, Poland
e-mail: elzbieta.musial@up.wroc.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Włodzimierz Parzonka