

Wpłynęło 10.07.2012 r.
Zrecenzowano 28.11.2012 r.
Zaakceptowano 19.12.2012 r.

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

TYPY CYRKULACJI ATMOSFERY W REGIONIE BYDGOSKO-TORUŃSKIM PODCZAS DŁUGOTRWALEJ SUSZY METEOROLOGICZNEJ W LATACH 1989–1998

Bogdan BĄK¹⁾ ABCDEF, **Rafał MASZEWSKI**²⁾ ABCDF

¹⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy

²⁾ Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Zakład Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi

Streszczenie

W pracy przeanalizowano rozkład typów cyrkulacji atmosfery w regionie bydgosko-toruńskim, w czasie występowania długotrwałej suszy meteorologicznej, w okresie od VIII 1989 r. do IX 1998 r. Termin wystąpienia suszy określono na podstawie miesięcznych wartości standaryzowanego wskaźnika opadów *SPI-48*, obliczonych na podstawie znormalizowanych 48-miesięcznych sum opadów zmierzonych w Bydgoszczy w latach 1896–2000. Typy cyrkulacji dla regionu bydgosko-toruńskiego zdefiniowano na podstawie katalogu 21 typów sytuacji synoptycznych, według klasyfikacji Niedźwiedzia. Częstość poszczególnych typów cyrkulacji powietrza w okresie badanej suszy meteorologicznej, określono na podstawie kalendarza typów cyrkulacji, sporządzonego na podstawie codziennych dolnych map synoptycznych, publikowanych przez niemiecką służbę meteorologiczną Deutscher Wetterdienst. Klasyfikacje typów cyrkulacji dla poszczególnych dób dokonano na podstawie kierunku adwekcji, rodzaju układu barycznego i kształtu linii izobarycznych. Dla każdego miesiąca w okresie VII 1989–IX 1998 określono sumaryczny rozkład częstości poszczególnych typów cyrkulacji, który obejmował bieżący miesiąc suszy i 47 poprzedzających miesięcy.

Stwierdzono, że średnia wartość *SPI-48* w okresie VIII 1989–IX 1998 wynosiła $-1,5$ i była to najbardziej intensywna susza meteorologiczna w XX w. Wydzielono w niej trzy wielomiesięczne okresy najbardziej intensywnej suszy: ekstremalnej i silnej. W czasie trwania suszy najczęściej występowały typy cyrkulacji powietrza: Ka (klin antycyklonalny, rozmyty obszar podwyższonego ciśnienia, oś wału wysokiego ciśnienia) – 18%, Bc (bruzda cyklonalna, rozmyty obszar niskiego ciśnienia lub oś bruzdy niżowej) – 15% i Wc (cyklonalne sytuacje z adwekcją powietrza z zachodu) – 12%. Najrzadziej (w ok. 1%) występowały cyrkulacje z adwekcją powietrza ze wschodu. Stwierdzono istotną zależność między wartościami wskaźnika *SPI-48* i wskaźnikami cyrkulacji strefowej *W* ($r = -0,71$), cyrkulacji południkowej *S* ($r = 0,79$) oraz między *SPI-48* i wskaźnikiem cykloniczności *C* ($r = 0,68$).

Do cytowania For citation: Bąk B., Maszewski R. 2012. Typy cyrkulacji atmosfery w regionie bydgosko-toruńskim podczas długotrwałej suszy meteorologicznej w latach 1989–1998. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 4(40) s. 17–29.

Słowa kluczowe: cyrkulacja atmosfery, susza meteorologiczna, wskaźniki cyrkulacji, wskaźnik SPI

WSTĘP

Jednym z najważniejszych czynników sprzyjających powstawaniu zjawiska suszy meteorologicznej jest cyrkulacja atmosferyczna, która określa zmienność czasową i przestrzenną warunków pogody na danym obszarze [JUCUNDUS i in. 2006; PREZERAKOS, FLOCAS 2002; PRZYBYŁAK, MASZEWSKI 2009a; SAMANIEGO, BA'RDOSY 2007]. Związki warunków opadowych w Polsce oraz w różnych regionach kraju z typami cyrkulacji atmosferycznej były przedmiotem wielu prac [MRUGAŁA 2001; NIEDŹWIEDŹ 2000; NIEDŹWIEDŹ i in. 2009; WIBIG 1999]. W regionie bydgosko-toruńskim, który częściowo położony jest na Kujawach, jednym z najbardziej suchych regionów w Polsce [BAK, ŁABĘDZKI 2002; KASPERSKA-WOŁOWICZ i in. 2003; ŁABĘDZKI, BAK 2004], były one analizowane między innymi przez KEJNĘ i USCKĄ-KOWALKOWSKĄ [2011], KOZUCHOWSKIEGO i MARCINIĄKA [1988], PRZYBYŁAKA i MASZEWSKIEGO [2009b], ŻARSKIEGO [2011] oraz ŻARSKIEGO i in. [2001]. W literaturze można spotkać różne klasyfikacje typów cyrkulacji powietrza, np. klasyfikację europejskich cyrkulacji zaproponowaną przez HESSA i BREZOWSKY'EGO [1969], stosowaną obecnie w niemieckiej służbie meteorologicznej lub klasyfikację BA'RDOSY i FILIZA [2005 za SAMANIEGO, BA'RDOSY 2007]. W polskiej literaturze autorzy często posługują się klasyfikacjami typów cyrkulacji zaproponowanymi przez LITYŃSKIEGO [1969] i przez OSUCHOWSKĄ-KLEIN [1978]. Z późniejszych prac warto wspomnieć o pracach NIEDŹWIEDZIA [1981], KASZEWSKIEGO [1992] i PIANKO-KLUCZYŃSKIEJ [2007]. Cechą wspólną wszystkich wspomnianych klasyfikacji jest to, że bazują one na wielkoskalowych zmianach ciśnienia na poziomie morza (Sea Level Pressure – SLP) lub zmianach geopotencjału na poziomie 500 hPa (500 hPa geopotential height anomaly).

Susza narasta stopniowo, jej efekty kumulują się i mogą jeszcze długo ujawniać się po jej zakończeniu. Im dłuższy jest okres suszy meteorologicznej, tym większe są straty i trudniejsze jest przeciwdziałanie jej skutkom. Szczególnie uwiadcza się to w przypadku długotrwałych susz, które stanowią szczególne zagrożenie dla ciągłej dostępności do źródeł wód powierzchniowych i gruntowych [BOBIŃSKI, MEYER 1992; BORDI i in. 2009; ŁABĘDZKI 2008]. Jednym ze wskaźników suszy, często cytowanym w literaturze ze względu na przydatność do wykrywania okresów suszy meteorologicznej w różnych skalach czasowych i możliwość oceny intensywności zjawiska według przyjętej skali intensywności, jest wskaźnik standaryzowanego opadu *SPI* (Standardized Precipitation Index) [BAK, ŁABĘDZKI 2002; ŁABĘDZKI 2000, 2007, 2008; ŁABĘDZKI, BAK 2004]. Wskaźnik ten jest wykorzystywany w wielu krajach do operacyjnego monitorowania zagrożenia suszą [IMGW 2011; National Drought Mitigation Centre 2011; VERMES 1998].

Aktualnie brak jest prac, które szczegółowo pokazują wpływ poszczególnych typów cyrkulacji powietrza na powstawanie susz meteorologicznych i siłę związków korelacyjnych. W pracy podjęto próbę dokonania takiej analizy na przykładzie długotrwałej suszy meteorologicznej w regionie bydgosko-toruńskim w okresie od sierpnia 1989 r. do września 1998 r.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano miesięczne sumy opadów zmierzonych w Bydgoszczy w latach 1896–2000. Dane opadowe były niezbędne do obliczenia wartości standaryzowanego wskaźnika opadów *SPI*-48 i do zidentyfikowania okresów występowania długotrwałej suszy meteorologicznej w latach 1901–2000. Na podstawie prac HOHENDORFA [1970], ROGUSKIEGO [2001], ROGUSKIEGO i in. [1996] można przyjąć, że placówka naukowa w Bydgoszczy, która w swojej historii kilkakrotnie zmieniała zarówno przynależność państwową, jak i nazwę, przez cały czas utrzymywała wysokie standardy wykonywanych pomiarów, w tym także pomiarów opadów atmosferycznych, których jakość danych nie budziła obaw autorów licznych prac naukowych. Nie bez znaczenia jest również fakt, że pomiary wykonywano w tym samym miejscu od 1848 r. do 2005 r.

Wskaźnik *SPI* jest standaryzowaną wartością opadu i pokazuje standaryzowane odchylenie opadu od mediany opadu w wieloleciu, co pozwala na przyjęcie tej samej klasyfikacji susz dla różnych przedziałów czasowych. Do obliczenia wskaźnika *SPI* wykorzystuje się wieloletnie ciągi opadu *P* w określonym przedziale czasu. Ciąg opadowy poddaje się normalizacji, stosując funkcję przekształcającą $f(P)$, a następnie – standaryzacji [BĄK, ŁABĘDZKI, 2002]. Wartości *SPI* dla danej wartości *P* obliczane są na podstawie równania:

$$SPI = \frac{f(P) - \mu}{\delta} \quad (1)$$

gdzie:

SPI – wskaźnik standaryzowanego opadu;

$f(P)$ – przekształcona suma opadów, mm;

μ – średnia wartość znormalizowanego ciągu opadów, mm;

δ – średnie odchylenie standardowe znormalizowanego ciągu sum opadów, mm.

Wartości *SPI*-48 obliczono dla 48-miesięcznych sum opadów. Każda z nich obejmowała kolejny miesiąc wielolecia 1900–2000 i 47 poprzedzających go miesięcy. Susza wystąpiła w okresie kiedy *SPI*-48 było ujemne w sposób ciągły (w kolejnych okresach) i osiągnęło wartość $-1,0$ i mniejszą, a kończyła się, kiedy *SPI*-48 przyjmowało wartość dodatnią.

SPI obliczany dla okresów 48-miesięcznych pokazuje znacznie mniej susz niż wskaźniki obliczane dla krótszych okresów czasowych np. 24, 12, 6 miesięcy, ale

jednocześnie lepiej pokazuje potencjalne zagrożenia związane z długookresowymi skutkami suszy np. suszą hydrologiczną, czy obniżeniem się poziomu wód gruntowych [LABĘDZKI 2007].

Analizę typów cyrkulacji powietrza w wieloleciu 1896–2000 przeprowadzono wykorzystując katalog 21 typów cyrkulacji powietrza, przyjęty na podstawie klasyfikacji NIEDŹWIEDZIA [1981] [PRZYBYŁAK, MASZEWSKI 2009b; PANFIL, MASZEWSKI 2010] (tab. 1).

Tabela 1. Typy cyrkulacji powietrza

Table 1. Types of air circulation

Typ cyrkulacji powietrza Type of air circulation	Objaśnienia Descriptions
Na, Nc	sytuacje z adwekcją powietrza z północy synoptic situations with air advection from the north
NEa, NEc	sytuacje z adwekcją powietrza z północnego wschodu synoptic situations with air advection from the north-east
Ea, Ec	sytuacje z adwekcją powietrza ze wschodu synoptic situations with air advection from the east
SEa, SEc	sytuacje z adwekcją powietrza z południowego wschodu synoptic situations with air advection from the south-east
Sa, Sc	sytuacje z adwekcją powietrza z południa synoptic situations with air advection from the south
SWa, SWc	sytuacje z adwekcją powietrza z południowego zachodu synoptic situations with air advection from the south-west
Wa, Wc	sytuacje z adwekcją powietrza z zachodu synoptic situations with air advection from the south-west
NWa, NWc	sytuacje z adwekcją powietrza z północnego zachodu synoptic situations with air advection from the north-west
Ca	sytuacja centralna antycyklonalna, brak adwekcji, centrum wyżu central anticyclonic situation, no advection, anticyclonic centre over the Bydgoszcz-Toruń region
Ka	klin antycyklonalny, kilka niewyraźnych ośrodków lub rozmyty obszar podwyższonego ciśnienia, oś wału wysokiego ciśnienia anticyclonic wedge, sometimes a few unclear centres or a blur area of high pressure, axis of ridge of high pressure
Cc	sytuacja centralna cyklonalna, centrum niżu central cyclonic situation, cyclonic centre over the Bydgoszcz-Toruń region
Bc	bruzda cyklonalna, rozmyty obszar niskiego ciśnienia lub oś bruzdy niżowej cyclonic trough, blur area of low pressure or axis of cyclonic trough with different direction of air advection and front systems dividing different air masses
X	sytuacje nie dające się zaklasyfikować lub siodło baryczne synoptic situations which cannot be classified or baric saddle (col)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: NIEDŹWIEDŹ [1981].

Source: own studies according NIEDŹWIEDŹ [1981].

Typy cyrkulacji powietrza i ich częstość występowania w regionie bydgosko-toruńskim w okresie badanej suszy meteorologicznej, określono na podstawie kalendarza codziennych dolnych map synoptycznych, publikowanych przez niemiecką służbę meteorologiczną (Deutscher Wetterdienst) z wielolecia 1897–2000. Klasyfikacje typów cyrkulacji dla poszczególnych dób dokonano na podstawie kierunku adwekcji, rodzaju układu barycznego i kształtu linii izobarycznych.

W celu uogólnienia cyrkulacji atmosferycznej posłużono się zaproponowanymi przez NIEDŹWIEDZIA [1997] wskaźnikami cyrkulacji, które pozwalają określić stopień dominacji cyrkulacji strefowej W , południkowej S lub wyżowej/nizowej C (tab. 2). Wskaźnik W określa intensywność cyrkulacji strefowej zachodniej (wartości dodatnie) lub wschodniej (wartości ujemne), wskaźnik S – cyrkulacji południkowej. Dodatnie wartości S świadczą o przewadze napływu powietrza z sektora południowego, a ujemne z sektora północnego. Wskaźnik C (cykloniczności) informuje o stopniu aktywności cyklonalnej (wartości dodatnie) lub antycyklonalnej (wartości ujemne) [NIEDŹWIEDŹ 2007; PRZYBYŁAK, MASZEWSKI 2009b].

Uzyskane wartości wskaźników W , S i C w kolejnych 48-miesięcznych okresach w czasie trwania analizowanej suszy meteorologicznej, posłużyły do obliczenia związków korelacyjnych między wartościami omawianych wskaźników cyrkulacji i intensywności suszy (wartość $SPI-48$).

Tabela 2. Kierunki adwekcji mas powietrza charakterystyczne dla wskaźników cyrkulacji powietrza W i S oraz rodzaje układów ciśnienia charakterystyczne dla wskaźnika C .

Table 2. Directions of advection of air masses characteristic for the types of air circulation W and S and types of air atmospheric systems characteristic for the type C .

Kierunki adwekcji mas powietrza Directions of advection of air masses				Typ układu ciśnienia Type of air atmospheric system	
wskaźnik, index znak, signage					
W		S		C	
W	+	S	+	Cc i Bc	+
NW i SW	+	SW i SE	+	pozostałe typy cyklonalne remain cyclonic types of circulation	+
E	–	N	–	Ca i Ka	–
NE i SE	–	NW i NE	–	pozostałe typy antycyklonalne remain anticyclonic types of circulation	–

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Na podstawie wartości wskaźnika *SPI-48* stwierdzono w regionie bydgosko-toruńskim w latach 1901–2000 wystąpienie 7 długotrwałych susz meteorologicznych. Zjawiska te odnotowano na początku XX w., w latach 20., 40., 50., 80., 90. Najkrótsza długotrwała susza trwała 34 miesiące (od VII 1964 do IV 1967); najdłuższa, będąca przedmiotem szczegółowej analizy w niniejszej pracy, 110 miesięcy (od VIII 1989 do IX 1998). W sumie 48-miesięczne okresy z suszą meteorologiczną stanowiły 37% badanego wielolecia.

Badana susza była jednocześnie najbardziej intensywną suszą w XX w., w czasie jej trwania zanotowano 40 48-miesięcznych okresów z umiarkowaną suszą ($-1 < SPI-48 \leq -1,5$), 18–z silną suszą ($-1,5 < SPI-48 \leq -2,0$) i 23–z ekstremalną suszą ($SPI-48 < -2,0$) (tab. 3).

Tabela 3. Przebieg suszy meteorologicznej *SPI-48* w Bydgoszczy (VIII 1989–X 1998)

Table 3. The course of meteorological drought *SPI-48* in Bydgoszcz (VIII 1989–X 1998)

Rok Year	Miesiąc Month												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1989									-0,9	-1,0	-0,8	-0,9	-0,9
1990	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,2	-1,0	-0,9	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2
1991	-1,3	-1,4	-1,3	-1,4	-1,3	-1,2	-1,5	-1,5	-1,8	-1,9	-2,2	-2,2	-2,2
1992	-2,4	-2,6	-2,6	-2,5	-2,3	-2,8	-3,2	-3,4	-3,7	-3,5	-3,4	-3,5	-3,5
1993	-3,3	-3,2	-3,2	-3,3	-3,1	-2,9	-2,4	-2,4	-1,9	-2,1	-1,9	-1,7	-1,7
1994	-1,4	-1,5	-1,3	-1,5	-1,2	-1,4	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7
1995	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,8	-1,8	-1,7	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3	-1,3
1996	-1,3	-1,2	-1,4	-1,4	-1,0	-1,0	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5
1997	-0,7	-0,6	-0,6	-0,50	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,5	-0,3	-0,4	-0,7	-0,7
1998	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,9	-0,8	-0,4	-0,2	-0,1				

– susza umiarkowana moderate drought

– susza silna severe drought

– susza ekstremalna extreme drought

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Rozkład miesięcznych sum opadów w okresie IX 1985–X 1998, które stanowiły tło analizowanej suszy i decydowały o wartościach wskaźnika *SPI-48* w okresie od VIII 1989 do IX 1998 przedstawiono w tabeli 4.

Najmniejszą wartość *SPI-48*, wynoszącą $-3,7$, zanotowano w okresie (X 1989–IX 1992); średnia wartość *SPI-48* w czasie trwania suszy wyniosła $-1,5$. Susza była silna lub ekstremalna, niekiedy przedzielona krótkimi okresami suszy umiarkowanej, w następujących okresach: IX 1991–XII 1993, VII 1994–II 1995, VI 1995–VIII 1995. Okresy tak wyraźnie zmniejszonych opadów utrzymywały się przez około 1/3 czasu trwania suszy.

Tabela 4. Miesięczne sumy opadów (mm) w Bydgoszczy (IX 1985–X 1998) w trakcie przebiegu suszy meteorologicznej *SPI-48* (VIII 1989–X 1998)**Table 4.** Monthly sum precipitation (mm) in Bydgoszcz (VIII 1989–X 1998) in the course of meteorological drought *SPI-48* (VIII.1989–X.1998).

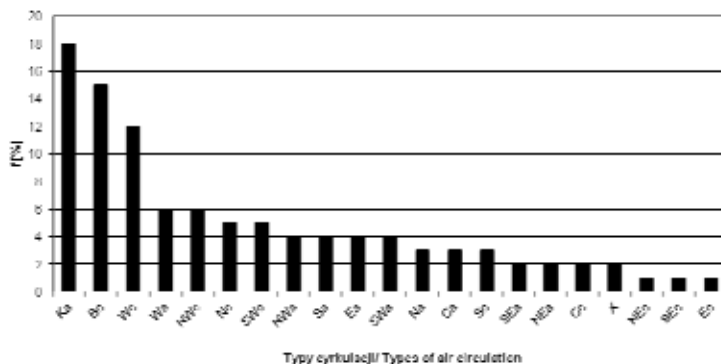
Rok Year	Miesiąc Month											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1985									33	5	28	50
1986	52	10	33	47	41	34	40	93	59	27	32	48
1987	35	32	11	36	30	75	66	52	64	44	75	24
1988	48	53	54	7	7	97	88	63	52	6	46	50
1989	11	17	27	17	9	18	20	17	27	17	9	18
1990	16	24	25	48	17	59	72	55	50	32	36	26
1991	18	15	22	28	43	91	27	47	17	16	25	27
1992	11	19	57	22	39	31	28	22	20	29	44	37
1993	40	31	27	9	36	63	91	47	86	3	38	86
1994	61	21	52	20	68	32	29	35	58	34	18	47
1995	30	24	30	28	35	45	26	73	98	14	9	17
1996	14	42	20	22	109	23	88	86	40	30	20	8
1997	3	44	33	28	86	47	135	39	21	32	21	37
1998	22	24	50	30	49	56	100	78	80			
Średni Mean 1896–1998	31	25	29	34	51	57	75	61	44	36	37	35

Objaśnienia, jak w tabeli 3. Explanations as in Table 3.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

W opinii ŁABĘDZKIEGO [2008] susza, będąca skutkiem niedoboru opadów w okresie 48 miesięcy pojawia się w okresie 100 lat osiem razy, przy czym obliczenia autora były przeprowadzone na 145-letnim ciągu opadów. W przebiegu analizowanej przez Łabędzkiego suszy meteorologicznej w Bydgoszczy w latach 1861–2005 widać na przełomie lat 80. i 90. najbardziej znaczący spadek wskaźnika *SPI-48* w całym badanym wieloleciu.

W okresie IX 1985–IX 1998, obejmującym okres pomiarowy (VIII 1989–X 1998) i poprzedzające go 47 miesięcy, najczęściej występowały typy sytuacji synoptycznych: Ka – 18%, Bc – 15% i Wc – 12%, gdzie Ka oznacza klin antycyklonalny, kilka niewyraźnych ośrodków lub rozmyty obszar podwyższonego ciśnienia, oś wału wysokiego ciśnienia; Bc – bruzdę cyklonalną, rozmyty obszar niskiego ciśnienia lub oś bruzdy niżowej; Wc – cyklonalne sytuacje z adwekcją powietrza z zachodu. Najrzadziej, w ok. 1%, występowały cyrkulacje związane z adwekcją powietrza ze wschodu (rys. 1). Sytuacje synoptyczne Ka były głównie generowane przez kliny wyżowe Wyżu Azorskiego (latem) i wyżów rozwijających się nad Skandynawią i wschodnią Europą, zwłaszcza zimą.



Rys. 1. Częstość występowania typów sytuacji synoptycznych w okresie IX.1985–IX.1998; źródło: wyniki własne

Fig. 1. Frequency of types synoptic situation in the time IX.1985–IX.1998; source: own studies

Uzyskane wyniki rozkładu poszczególnych typów cyrkulacji potwierdziły wcześniejsze analizy, które przeprowadzili PRZYBYŁAK i MASZEWSKI [2009b]. Stwierdzili oni, że w regionie bydgosko-toruńskim w latach 1881–2005 najczęściej występowały sytuacje: Ka (15,7%), Wc (12,2%) i Bc (11,8%), a najrzadziej obserwowano sytuacje cyklonalne z kierunku NE (1,6%), E (1,8%) i SE (1,6%). Badania przeprowadzone w Koniczynie k. Torunia również potwierdziły fakt, że większa frekwencja układów antycyklonalnych sprzyja ujemnym anomalii opadów atmosferycznych. Stwierdzono, że w latach 1994–2009 średni dobowy opad dla sytuacji cyklonalnych wyniósł 2,2 mm, a dla sytuacji antycyklonalnych był znacznie mniejszy i wynosił 0,9 mm. Najmniejsze opady występowały w sytuacjach antycyklonalnych Na (0,6 mm) [KEJNA, USCKA-KOWALKOWSKA 2011].

Obliczone wartości wskaźników: cyrkulacji strefowej W , południkowej S i cykloniczności C , w okresie występowania suszy w Bydgoszczy w analizowanym wieloleciu, przedstawiono w tabeli 5.

W okresie analizowanej suszy dominowała cyrkulacja zachodnia; średnia wartość wskaźnika W wynosiła około 11. Największe wartości wskaźnika W , powyżej 35, stwierdzono w miesiącach zimowych. W okresie ciągłej suszy silnej i ekstremalnej (IX 1991–XII 1993), stwierdzono tylko 6 okresów (48-miesięcznych), kiedy dominowała cyrkulacja powietrza ze wschodu. W czasie suszy największą aktywność cyrkulacji zachodniej ($W = 40$) stwierdzono na koniec lutego 1998 r., a cyrkulacji wschodniej na koniec czerwca 1992 r. ($W = -15$).

Obliczone wartości wskaźnika S pokazały, że w czasie suszy dominowały cyrkulacje północne NW, N i NE (84% okresu). Od początku 1992 r. do września 1993 r. szczególnie zaznaczyła się cyrkulacja północna N. W późniejszych miesiącach jej aktywność stopniowo zmalała i przez kolejnych kilkanaście miesięcy dominowała cyrkulacja południowa (SW i SE). Od września 1997 r. ponownie zaznaczyła się cyrkulacja z kierunków północnych (NW i NE).

Tabela 5. Wartości miesięczne wskaźników cyrkulacji *W*, *S*, *C* w okresie VIII 1989–X 1998**Table 5.** Monthly values of indices of circulation *W*, *S*, *C* in the time VIII 1989–X 1998

Rok Year	Miesiąc Month											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wskaźnik <i>W</i> Index <i>W</i>												
1989								14	8	30	4	11
1990	36	34	33	3	2	5	18	15	18	16	25	17
1991	29	-4	-3	-3	2	13	1	16	20	6	18	25
1992	26	36	22	17	-3	-15	13	14	8	4	27	11
1993	36	13	10	-2	-13	13	24	18	-2	7	-19	29
1994	31	-8	39	3	-2	33	0	8	15	13	22	25
1995	23	34	22	4	-1	7	6	7	5	9	7	-6
1996	-21	-4	-25	-13	-4	17	24	-15	-6	9	22	2
1997	9	33	18	17	10	-2	-8	-14	20	22	-1	5
1998	27	40	13	-7	-2	10	24	26	1			
Wskaźnik <i>S</i> Index <i>S</i>												
1989								-8	0	2	-6	7
1990	12	16	-1	-3	-18	-11	-28	-13	-14	18	1	7
1991	-5	2	5	-1	-16	-1	-13	-12	-6	-2	12	-11
1992	-12	-2	8	-7	-7	-9	-5	4	-2	-6	3	19
1993	0	-7	-4	-4	-3	-21	-6	-8	6	15	31	15
1994	9	6	-1	5	-12	-5	-14	-2	5	-3	2	7
1995	3	8	-4	-10	-11	-13	-8	-11	-1	9	3	2
1996	19	14	1	7	0	-9	-10	1	-20	11	20	4
1997	5	1	-12	-19	-8	-8	-14	-4	-12	-10	13	15
1998	-1	2	-11	15	-12	-6	-6	-10	3			
Wskaźnik <i>C</i> Index <i>C</i>												
1989								6	-20	2	-3	13
1990	-4	7	-9	-6	-6	14	9	-26	21	-10	15	-1
1991	-12	-2	-22	8	20	10	-16	-26	-9	-9	7	-13
1992	-10	-7	9	16	-23	-25	-23	-15	-3	18	9	-16
1993	5	-4	-3	0	2	5	25	-1	16	4	-13	28
1994	19	-2	11	4	-1	-14	-45	-13	12	-4	-5	6
1995	5	22	14	5	8	12	-30	-24	22	-39	-10	-19
1996	-25	-2	-7	-4	11	-19	-2	-15	13	-3	27	-8
1997	-25	10	-14	3	6	8	-1	-29	-14	6	10	18
1998	9	-1	-7	21	6	7	6	-9	0			

Objaśnienia, jak w tabeli 3. Explanations as in Table 3.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Dominacja układów antycyklonalnych ma potwierdzenie w rozkładzie wskaźnika C . W okresie suszy średnia wartość wskaźnika C wynosiła $-1,4$, a suma wszystkich wskaźników wynosiła -158 . Układy antycyklonalne uaktywniały się najczęściej w okresie od wiosny do jesieni, rzadziej zimą w okresach 3–4 miesięcznych. W 95% wszystkich okresów z cyrkulacją antycyklonalną były to typy Ca (centrum wyżu nad regionem bydgosko-toruńskim) i Ka (np. klin antycyklonalny), w pozostałych 5% – inne sytuacje antycyklonalne.

Zbadano również związki korelacyjne między wartościami omawianych wskaźników cyrkulacji i intensywności suszy (wartość $SPI-48$). Stwierdzono istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$ następujące relacje:

$$W \rightarrow SPI-48 \quad r = -0,71$$

$$S \rightarrow SPI-48 \quad r = 0,79$$

$$C \rightarrow SPI-48 \quad r = 0,68$$

Powyższe wartości wskazują, że największy wpływ na rozwój analizowanej suszy meteorologicznej miał wskaźnik cyrkulacji południkowej, podczas napływu powietrza z północy, a najsłabszy wskaźnik cykloniczności.

WNIOSKI

1. Długotrwałe susze meteorologiczne są spowodowane dominacją tych typów cyrkulacji powietrza, które powodują okresy bezopadowe lub okresy z niedoborem opadów. Susze te powodują obniżenie się poziomu wód gruntowych, przesuszenie gleby i straty w plonach, a także problemy z gospodarowaniem wodą w rzekach i w jeziorach.

2. W regionie bydgosko-toruńskim największy udział w powstawaniu susz meteorologicznych mają układy antycyklonalne z adwekcją powietrza z północy i z zachodu, znacznie mniejszy z adwekcją ze wschodu. Przewaga występowania sytuacji Ka, głównie w cieplej porze roku, zwiększa ryzyko pojawienia się suszy meteorologicznej.

3. Dzięki wprowadzeniu wartości wskaźnika $SPI-48$ możliwe było wyznaczenie siły związków korelacyjnych między wskaźnikami cyrkulacji i intensywnością suszy meteorologicznej w analizowanym wieloleciu.

4. Obliczone związki były istotne statystycznie, zaś wartości współczynników korelacji $|r|$ od 0,68 do 0,79 świadczą o istotnym wpływie typów cyrkulacji powietrza na kształtowanie się długotrwałej suszy meteorologicznej.

LITERATURA

BAK B., ŁABĘDZKI L., 2002. Assessing drought severity with the relative precipitation index (RPI) and the standardized precipitation index (SPI). Journal of Water and Land Development. No. 6 s. 89–105.

- BOBIŃSKI E., MEYER W. 1992. Susza w Polsce w latach 1982–1992. Ocena hydrologiczna. Wiadomości IMGW. T. 15. Z. 4. s. 3–23.
- BORDI I., FRAEDRICH K., SUTERA A. 2009. Observed drought and wetness trends in Europe: an update [online]. Hydrology and Earth System Sciences. Vol. 13. No. 8 [Dostęp 15.10.2011]. Dostępny w Internecie: www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/1519/2009/
- IMGW. 2011. Posucha [online]. [Dostęp 15.10.2011]. Dostępny w Internecie: <http://posucha.imgw.pl>
- JUCUNDUS J., PHILIPP A., NONNENMACHER M. 2006. Atmospheric circulation dynamics linked with prominent discharge events in Central Europe. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques. Vol. 51(5) s. 946–964.
- HESS P., BREZOWSKY H. 1969. Katalog der Grosswetterlagen Europas. Bericht des Deutschen Wetterdienstes. Offenbach am Main. Nr 113 ss. 70.
- HOHENDORF E. 1970. Zmienność opadów atmosferycznych w ostatnim stuleciu w Bydgoszczy (1861–1966). Prace Studyjne Komitetu Gospodarki Wodnej. T. 10 s. 221–237.
- KASZEWSKI B. M. 1992. Typy cyrkulacji a typy pogody w Polsce. Lublin. Wydaw. UMCS.
- KASPERSKA-WOŁOWICZ W., ŁABĘDZKI L., BĄK B. 2003. Okresy posuszne w rejonie Bydgoszczy. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 3. Z. specj. (9) s. 39–56.
- KEJNA M., USCKA-KOWALKOWSKA J. 2011. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na opady atmosferyczne w Stacji ZMŚP w Koniczynie w latach 1994–2009. Biblioteka Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biała Góra. Vol. 28 s. 109–120.
- KOZUCHOWSKI K., MARCINIAK K. 1988. Variability of mean monthly temperatures and semi-annual precipitation totals in Europe in relation to hemispheric circulation patterns. International Journal of Climatology. Vol. 8. Iss. 2 s. 191–199.
- LITYŃSKI J., 1969. Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski. Prace PIHM. Nr 97 s. 3–14.
- ŁABĘDZKI L. 2000. Ocena zagrożenia suszą w regionie bydgosko-kujawskim przy użyciu wskaźnika standaryzowanego opadu (*SPI*). Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie. T. 43. Nr 3 s. 102–103.
- ŁABĘDZKI L. 2007. Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index *SPI*. Irrigation and Drainage. Vol. 56. Iss. 1 s. 67–77.
- ŁABĘDZKI L. 2008. Ocena częstotliwości susz o różnym czasie trwania przy użyciu wskaźnika standaryzowanego opadu *SPI*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 526 s.105–112.
- ŁABĘDZKI L., BĄK B. 2004. Zróżnicowanie wskaźnika suszy *SPI* w okresie wegetacji w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 4. Z. 2a (11) s. 111–122.
- MRUGAŁA S. 2000/2001. Częstość występowania typów cyrkulacji atmosferycznej a anomalie opadowe w Polsce. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Vol. 55/56 s. 251–257.
- NIEDŹWIEDŹ T. 1981. Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły. Rozprawy habilitacyjne UJ Kraków ss. 165.
- NIEDŹWIEDŹ T. 1997. Wieloletnia zmienność wskaźników cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem i ich rola w kształtowaniu temperatury powietrza. Problemy Klimatologii Polarnej. Gdynia. T. 7 s. 19–39.
- NIEDŹWIEDŹ T. 2000. Variability of the atmospheric circulation above the central Europe in the light of selected indices. Prace Geograficzne Instytutu Geografii. UJ Kraków. Z. 107 s. 379–389.
- NIEDŹWIEDŹ T. 2007. Catalogue of synoptic situations and circulation indices in the upper Vistula river basin (1873–2007). Zbiór komputerowy online [online]. Sosnowiec. Uniwersytet Śląski. [Dostęp 15.10.2011]. Dostępny w Internecie: niedzwie@ultra.cto.us.edu.pl
- NIEDŹWIEDŹ T., TWARDOSZ R., WALANUS A. 2009. Long-term variability of precipitation series in east central Europe in relation to circulation patterns. Theoretical and Applied Climatology. Vol. 98. No 3–4 s. 337–350.
- OSUCHOWSKA-KLEIN B. 1978. Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej. Warszawa. WKiŁ ss. 192.

- PANFIL M., MASZEWSKI R. 2010. Rozkład sytuacji synoptycznych w Polsce północno-wschodniej. Seria: Studia i Prace z Geografii i Geologii. Pr. zbior. Red. L. Kolendowicz. Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki cyrkulacyjne i radiacyjne. Poznań. Wydaw. Nauk. Bogucki. Nr 14 s. 51–60.
- PIANKO-KLUCZYŃSKA K. 2007. Nowy kalendarz typów cyrkulacji atmosfery według Lityńskiego. Wiadomości Meteorologii Hydrologii Gospodarki Wodnej. Nr 4 s. 65–85.
- PREZERAKOS N.G., FLOCAS H.A. 2002. Regional and global large-scale dynamics associated with a prolonged drought event in Greece. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial. Vol. 64 s. 1841–1854.
- PRZYBYŁAK R., MASZEWSKI R. 2009a. Influence of atmospheric circulation on air temperature and precipitation in the Bydgoszcz–Toruń region in the period from 1921–2000. Bulletin of Geography: Physical Geography Series Toruń. Nicolaus Copernicus University. No 1 s. 19–37.
- PRZYBYŁAK R., MASZEWSKI R. 2009b. Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w regionie bydgosko-toruńskim w latach 1881–2005. Acta Agrophysica. Vol. 14(2) s. 427–447.
- ROGUSKI W. 2001. Historia melioracyjnej placówki naukowej w Bydgoszczy – Oddziału Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych (1922–2001). Falenty Bydgoszcz. Wydaw. IMUZ ss. 16.
- ROGUSKI W., KASPERSKA W., ŁABĘDZKI L. 1996. Warunki termiczne i opadowe w Bydgoszczy w latach 1945–1994 na tle lat 1848–1930. Wiadomości IMUZ. T. 19. Z. 1 s. 7–20.
- SAMANIEGO L., BA'RDOSSY A. 2007. Relating macroclimatic circulation patterns with characteristics of floods and droughts at the mesoscale. Journal of Hydrology. Vol. 335 s. 109–123.
- National Drought Mitigation Center 2011 [online]. University of Nebraska-Lincoln. [Dostęp 20.02.2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.drought.unl.edu/>
- VERMES L. 1998. How to work out a drought mitigation strategy. An ICID Guide. Guidelines for Water Management. Bonn. DVWK. Nr 309 ss. 29.
- WIBIG J. 1999. Precipitation in Europe in reaction to circulation patterns at the 500 hPa level. International Journal of Climatology. Vol. 19. Iss. 3 s. 253–269.
- ŻARSKI J. 2011. Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 5 s. 29–37.
- ŻARSKI J., DUDEK S., KUŚMIEREK R. 2001. Zmienność warunków agrometeorologicznych okolic Bydgoszczy w latach 1951–2000 na przykładzie Mochełka. Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska. Z. 21 s. 67–73.

Bogdan BĄK, Rafał MASZEWSKI

TYPES OF ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE REGION BYDGOSZCZ–TORUŃ DURING LONG-TIME METEOROLOGICAL DROUGHT IN THE YEARS 1989–1998

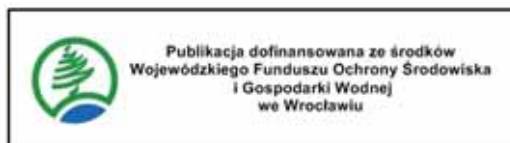
Key words: *atmospheric circulation, circulation indicates, meteorological drought, SPI*

S u m m a r y

In the article was examined the distribution of types of air circulation in the region of Bydgoszcz–Toruń, during the occurrence of long-term meteorological drought in the period until VIII 1989 to IX 1998. The term of drought was based on monthly values of the standardized precipitation index *SPI-48*, which were calculated on the base of standardized 48-month total precipitation measured in Bydgoszcz in the years 1896–2000. Types of circulation for the region of Bydgoszcz–Toruń were defined on the basis of a catalog of 21 types of synoptic situation, which was adopted on the basis of classification proposed by NIEDŹWIEDŹ [1981]. The frequency of each type of air circulation in the period examined meteorological drought, was defined on the basis of the calendar of circulation

types, done on the basis of lower daily weather chart, published by Deutsche Wetter Dienst. Classification of circulation types for individual day was based on the direction of advection, the type and shape of barometric isobaric lines. For each month during the VII 1989–IX 1998 specified cumulative frequency distribution of various types of circulation, which included the current month drought and 47 preceding months.

It was found that the average value of the *SPI*-48 in the period VIII 1989–IX 1998 was -1.5 and it was the most intense meteorological drought in the twentieth century. During the time of drought it was isolated three the periods of the most intense drought: extreme and strong. The most frequent types of air circulation were: Ka – 18% (anticyclonic wedge, sometimes a few unclear centres or a blur area of high pressure, axis of ridge of high pressure), Bc – 15% (cyclonic trough, blur area of low pressure or axis of cyclonic trough with different direction of air advection and front systems dividing different air masses) and Wc – 12% (synoptic situations with air advection from the west). There was a significant correlation between the values of *SPI*-48 and the index of the zonal westerly circulation *W* ($r = -0.71$), index of southerly circulation *S* ($r = 0.79$) and between the *SPI*-48 and cyclonicity index *C* ($r = 0.68$).



Adres do korespondencji: dr inż. B. Bąk, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy ITP, ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz; tel. +48 (52) 375-01-07, +48 (52) 375-01-45, e-mail: bogbak@onet.pl; B.Bak@itp.edu.pl