

WYSTĘPOWANIE EKSTREMALNYCH WARUNKÓW PLUWIALNYCH W KRAKOWIE I OKOLICY W LATACH 1971-2005

Anita Bokwa¹, Barbara Skowera²

¹Institut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
email: anita.bokwa@uj.edu.pl

²Katedra Meteorologii i Klimatologii Rolniczej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Al. Mickiewicza 24-28, 31-059 Kraków

Streszczenie. Zmienność czasowa i przestrzenna opadów atmosferycznych jest określana poprzez wyznaczanie wartości ekstremalnych i badanie częstości ich występowania. Zmienność ta ma kluczowe znaczenie dla kształtowania się zasobów wodnych danego obszaru. Dane z lat 1971-2005, z trzech stacji meteorologicznych (Garlica Murowana, Kraków-Ogród Botaniczny i Gaik-Brzezowa), położonych w przekroju południkowym w obszarze krakowskim, posłużyły do zbadania zróżnicowania przestrzennego występowania ekstremalnych warunków pluwialnych. Mimo, że stacje te są położone relatywnie blisko siebie to reprezentują różne mezoregiony, w których rzeźba i użytkowanie terenu mają znaczny wpływ na lokalne zróżnicowanie nie tylko warunków opadowych, ale także na częstość występowania pluwialnych ekstremów. W analizie wykorzystano m.in. wskaźniki Kaczorowskiej. Uzyskane wyniki porównano z rezultatami podobnych analiz dla innych części Polski. Stwierdzono duże zróżnicowanie warunków pluwialnych w okolicach Krakowa. Najniższe miesięczne i roczne sumy opadów występowały w Garlicy Murowanej. Tam też najczęściej występowały miesiące bardzo i ekstremalnie suche. Na stacji miejskiej Kraków-Ogród Botaniczny w latach 1971-2005 wystąpiło najwięcej miesięcy przeciętnych opadowo. Zauważono tam tendencję wzrostową liczby miesięcy bardzo i ekstremalnie wilgotnych.

Słowa kluczowe: opady atmosferyczne, ekstremalne warunki pluwialne, Kraków

WSTĘP

Sumy opadów atmosferycznych charakteryzują się dużą zmiennością przestrzenną i czasową. Należą one do głównych czynników kształtujących warunki produkcji rolniczej. W południowej części Polski opady atmosferyczne są stosunkowo wysokie i w skali mezoregionalnej występuje tu ich znacznie zróżnicowane (Lewińska 1967). Widoczne jest to na przykładzie danych z trzech stacji meteorologicznych.

logicznych, położonych w Krakowie i jego okolicach. Są to: stacja w Gaiku-Brzezowej, położona na Pogórzu Wielickim, stacja Kraków-Ogród Botaniczny, położona w dolinie Wisły (mezoregion Brama Krakowska) oraz stacja w Garlicy Murowanej położona na Wyżynie Ojcowskiej (południowy fragment Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej) (Kondracki 2000). Mimo, że stacje te są położone relatywnie blisko siebie to reprezentują różne mezoregiony, w których rzeźba, użytkowanie terenu i obecność aglomeracji krakowskiej mają znaczny wpływ na lokalne zróżnicowanie nie tylko rocznych czy sezonowych sum opadów atmosferycznych, ale także na częstość występowania pluwialnych ekstremów (German 2007, Lewińska 1982). Opady kształtują bilans wodny i bezpośrednio wpływają na przebieg warunków wegetacji roślin uprawnych. Występowanie ekstremalnych sum opadów atmosferycznych pociąga za sobą niekorzystne skutki ekonomiczne dla produkcji rolniczej, związane z pogorszeniem ich jakości lub zniszczeniem zbiorów. Za cel pracy przyjęto określenie zróżnicowania występowania rocznych i miesięcznych ekstremalnych sum opadów w Krakowie i okolicy oraz zbadanie tendencji ich zmian w latach 1971-2005. Pojęcie ekstremalnych sum opadów używane w niniejszej pracy oznacza sumy sklasyfikowane według kryteriów Kaczorowskiej (1962) jako znacznie odbiegające od wartości normalnych.

MATERIAŁ I METODA

W opracowaniu wykorzystano dobowe dane o opadach atmosferycznych z lat 1971-2005 z następujących stacji reprezentujących trzy różne regiony geograficzne obszaru krakowskiego:

1. stacja w Garlicy Murowanej (Wyżyna Ojcowska – południowy fragment Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej), należąca do Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, współrzędne: $\varphi = 50^{\circ}09'N$, $\lambda = 19^{\circ}56'E$, $h = 270$ m n.p.m., teren rolniczy;
2. stacja w Ogrodzie Botanicznym w Krakowie (dolina Wisły), należąca do Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, współrzędne: $\varphi = 50^{\circ}04'N$, $\lambda = 19^{\circ}58'E$, $h = 206$ m n.p.m., centrum miasta;
3. stacja w Gaiku-Brzezowej koło Dobczyc (Pogórze Wielickie), należąca do Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, współrzędne: $\varphi = 49^{\circ}52'N$, $\lambda = 20^{\circ}04'E$, $h = 302$ m n.p.m., teren rolniczy.

Odległość od stacji w Garlicy do stacji w Ogrodzie Botanicznym wynosi w linii prostej około 9 km, a od stacji w Ogrodzie do stacji w Gaiku około 24 km. W przypadku Garlicy brak danych z roku 1980. Stacja w Gaiku-Brzezowej

w latach 1971-1982 znajdowała się na terasie szerokiej doliny Raby koło Dobczyc (259 m n.p.m.), a od 1983 r. działa na pobliskiej wierzcholinie.

Obliczono miesięczne i roczne oraz średnie wieloletnie sumy opadów atmosferycznych dla wymienionych stacji w okresie badawczym 1971-2005. Następnie wyznaczono najwyższe i najniższe sumy dla wszystkich stacji. Sumy roczne opadów sklasyfikowano według kryterium Kaczorowskiej (1962), w którym wyróżnia się siedem typów lat: 1 – skrajnie suchy, <50% opadu normalnego, 2 – bardzo suchy, 50-74%, 3 – suchy, 75-89%, 4 – przeciętny, 90-110%, 5 – wilgotny, 111-125%, 6 – bardzo wilgotny, 126-150%, 7 – skrajnie wilgotny, >150%. Miesięczne sumy opadów także sklasyfikowano wg metody Kaczorowskiej, wyróżniając siedem typów miesięcy: 1 – skrajnie suchy, <25% opadu normalnego, 2 – bardzo suchy, 25-49%, 3 – suchy, 50-74%, 4 – przeciętny, 75-125%, 5 – wilgotny, 126-150%, 6 – bardzo wilgotny, 151-200%, 7 – skrajnie wilgotny, >200%. Wyznaczono również linie trendu dla serii miesięcy ekstremalnych.

WYNIKI

Średnie miesięczne, roczne oraz maksymalne i minimalne sumy opadów zestawiono w tabeli 1. Najwyższe średnie roczne sumy opadów występowały w Gaiku-Brzezowej (747,5 mm), nieco niższe na stacji położonej w centrum Krakowa w Ogrodzie Botanicznym (659,3 mm) i najniższe w Garlicy Murowanej (594,1 mm).

W 2001 r. zanotowano najwyższe roczne sumy opadów w latach 1971-2005 w Garlicy i Krakowie (odpowiednio 865,2 mm (146% normy) i 845,9 mm (128% normy)), natomiast w 1974 r. w Gaiku (1178,7 mm, 158% normy). Najniższe sumy wystąpiły na wszystkich stacjach w 1993 r.: w Garlicy: 446,1 mm (75% normy), w Krakowie: 482,0 mm (73% normy) i w Gaiku: 524,8 mm (70% normy).

Zimą najwyższe miesięczne sumy opadów występują w Krakowie i są one bardzo zbliżone do sum w Gaiku-Brzezowej, zaś opady w Garlicy Murowanej są znacznie niższe (o około 10 mm). Wiosną najwyższe miesięczne sumy opadów występują w Gaiku, a najniższe nadal w Garlicy. Latem opady w Garlicy i Krakowie są bardzo zbliżone i znacznie niższe niż w Gaiku. Zdarza się także, że opady w Garlicy są wyższe niż w Krakowie. Jesienią zróżnicowanie przestrzenne opadów kształtuje się podobnie jak zimą (tab. 1).

Pomimo niewielkich odległości pomiędzy stacjami, ekstremalne sumy miesięcznych opadów atmosferycznych (typ 1 i 2 oraz 6 i 7) nie występowały w tym samym czasie na wszystkich stacjach. Tylko w lutym 1976 r. i listopadzie 1986 r. na wszystkich trzech stacjach zanotowano sumy opadów z typu 1 i 2, zaś w lutym 1977 r., wrześniu 1996 r. i lipcu 1997 r. – z typu 6 i 7. W lipcu 1997 r. wystąpiły najwyższe sumy miesięczne opadów w całym okresie 1971-2005. W Garlicy Mu-

Tabela 1. Średnie, najwyższe i najniższe miesięczne i roczne sumy opadów atmosferycznych w Garlicy Murowanej (a), Krakowie-Ogrodzie Botanicznym (b) i Gaiku-Brzezowej (c) oraz ich stosunek procentowy do norm wieloletnich (1971-2005).

Table 1. Mean, maximum and minimum monthly and annual sums of precipitation in Garlica Murowana (a), Cracow-Botanical Garden (b) and Gaik-Brzezowa (c) together with their percentage share of the multi-annual normal values (1971-2005).

Stacja – Station	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
	Opady Precipitation			Minimum-Minimum			Maksimum-Maximum			
	Średnie – Averages (mm)			mm (%)	mm (%)	mm (%)	mm (%)	mm (%)	mm (%)	
Miesiące – Months	I	28,8	38,6	35,8	0,0 0	11,7 30	10,0 28	72,2 251	89,0 231	94,6 264
	II	24,1	32,5	33,5	1,0 4	10,2 31	1,9 6	110,0 456	104,6 322	116,7 348
	III	31,2	37,5	37,1	1,0 3	3,7 10	3,3 9	79,2 254	83,6 223	87,0 234
	IV	43,5	51,0	60,7	10,3 24	20,9 41	15,1 25	100,8 232	142,9 280	148,6 245
	V	66,0	69,6	83,2	28,3 43	29,9 43	21,5 26	126,6 192	132,8 191	141,2 170
	VI	82,9	85,4	104,7	18,2 22	12,6 15	31,9 30	194,3 234	227,4 266	243,9 233
	VII	84,9	84,6	102,6	33,3 39	30,7 36	17,4 17	278,8 328	265,0 313	255,2 249
	VIII	73,5	75,2	93,9	8,2 11	21,9 29	32,5 35	149,4 203	195,1 259	241,0 257
	IX	57,8	57,2	66,1	21,4 37	18,9 33	23,7 36	117,6 203	140,1 245	176,9 268
	X	39,7	46,1	49,4	3,0 8	13,8 30	6,9 14	124,1 313	113,9 247	151,5 307
	XI	31,6	40,3	42,0	7,6 24	11,8 29	10,2 24	67,3 213	77,4 192	78,1 186
	XII	29,9	41,3	38,4	0,8 3	4,1 10	5,9 15	74,2 248	85,6 207	100,3 261
Rok – Year: mm %	594,1	659,3	747,5	446,1 75	482,0 73	524,8 70	865,2 146	845,9 128	1178,7 158	

rowanej były one najwyższe: 328 mm (278% normy), w Krakowie-Ogrodzie Botanicznym wynosiły 313 mm (265% normy), a w Gaiku-Brzezowej były najniższe – 249 mm (255% normy).

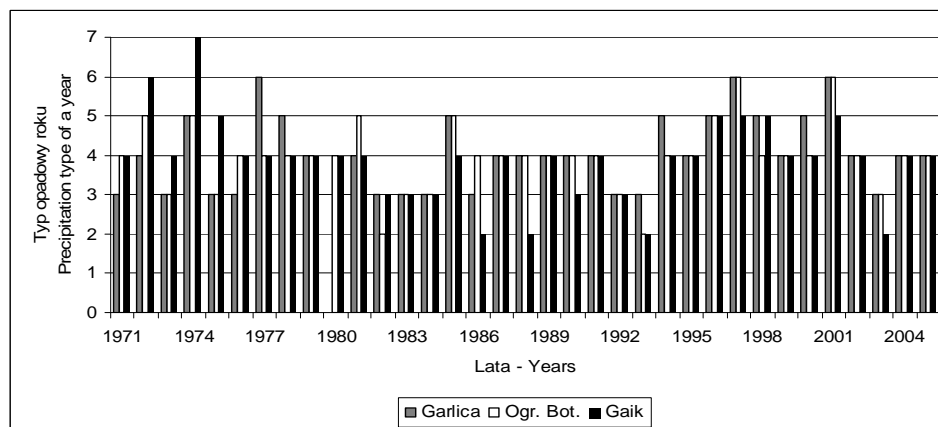
Tabela 2. Liczba lat w poszczególnych typach opadowych wg Kaczorowskiej (objaśnienia oznaczeń typów w tekście) na stacjach w Garlicy Murowanej (a), Krakowie-Ogrodzie Botanicznym (b) i Gaiku-Brzezowej (c) w okresie 1971-2005

Table 2. Number of years in particular precipitation types according to Kaczorowska (explanations of type notations in the text) at the stations in Garlica Murowana (a), Cracow-Botanical Garden (b) and Gaik-Brzezowa (c) in the years 1971-2005

Typ roku Type of year	a	b	c
1	0	0	0
2	0	2	4
3	11	6	5
4	13	20	19
5	7	5	5
6	3	2	1
7	0	0	1

Oceniając sumy roczne opadów według kryterium Kaczorowskiej (1962) stwierdzono, że najczęściej występowały lata z opadami przeciętnymi (typ 4); najwięcej było ich w Krakowie-Ogrodzie Botanicznym (20), nieco mniej w Gaiku-Brzezowej (19) i najmniej w Garlicy Murowanej (13). W Garlicy Murowanej było dwa razy więcej lat suchych niż na pozostałych stacjach, natomiast nie wystąpiły tam wcale lata bardzo suche, które zdarzały się w Krakowie-Ogrodzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej (tab. 2). Rysunek 1 przedstawia klasyfikację kolejnych lat według przyjętych kryteriów Z. Kaczorowskiej. Tylko w 14 przypadkach na wszystkich stacjach zanotowano ten sam typ roku. Na wszystkich stacjach lata

1982-1984 były suche, a lata 1996-2001 wilgotne lub bardzo wilgotne. W pozostałych latach opady były przeciętne lub zróżnicowane między stacjami.



Rys. 1. Typy opadowe kolejnych lat w Garlicy Murowanej, Krakowie-Ogrodzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej (1971-2005)

Fig. 1. Precipitation types of years in Garlica Murowana, Cracow-Botanical Garden and Gaik-Brzezowa (1971-2005)

Biorąc pod uwagę klasyfikację miesięcy według kryterium Kaczorowskiej (1962) największe różnice między stacjami występują w liczbie miesięcy skrajnie suchych (tab. 3). W Garlicy Murowanej było ich 22, w Gaiku-Brzezowej 10, a w Krakowie-Ogrodzie Botanicznym tylko 3. W Garlicy Murowanej miesiące przeciętne (typ 4) stanowiły zaledwie 35% wszystkich miesięcy badanego wielolecia, w Gaiku 39%, a w Krakowie najwięcej – 45%. Miesiące o opadach poniżej normy (typ 1-3) stanowiły 39% wszystkich miesięcy w Garlicy Murowanej, 33% w Krakowie-Ogrodzie Botanicznym i 37% w Gaiku-Brzezowej. Miesiące o opadach powyżej normy (typ 5-7) stanowiły odpowiednio 26%, 22% i 24%. Na wszystkich stacjach było więcej miesięcy z opadami poniżej normy niż z ich nadwyżką.

Tabela 3. Liczba miesięcy w poszczególnych typach opadowych wg Kaczorowskiej (objaśnienia oznaczeń typów w tekście) w Garlicy Murowanej (a), Krakowie-Ogrodzie Botanicznym (b) i Gaiku-Brzezowej (c) w latach 1971-2005

Table 3. Number of months in particular precipitation types according to Kaczorowska (explanations of type notations in the text) in Garlica Murowana (a), Cracow-Botanical Garden (b) and Gaik-Brzezowa (c) in the years 1971-2005

Stacje Stations	Typ miesiąca – Type of month								
	1	2	3	Suma Sum 1-3	4	5	6	7	Suma Sum 5-7
a	22	47	89	158	142	38	43	27	108
b	3	43	95	141	188	34	41	16	91
c	10	52	93	155	164	38	41	22	101

Liczebność miesięcy w poszczególnych typach opadowych w przebiegu rocznym w okresie 1971-2005 prezentuje tabela 4. Na stacjach pozamiejskich miesiące skrajnie suche (typ 1) występują głównie w półroczu chłodnym, w mieście zaś brak takiej zależności. W przypadku pozostałych typów miesięcy nie można stwierdzić, aby ich występowanie koncentrowało się w którejś porze roku.

Szczegółowej analizie poddano występowanie miesięcy o ekstremalnych sumach opadów: bardzo i skrajnie suchych (typ 1 i 2) oraz bardzo i skrajnie wilgotnych (typ 6 i 7) (tab. 5, rys. 2 i 3). Kraków charakteryzuje najmniejsza roczna liczba miesięcy o ekstremalnych sumach opadów, natomiast w Garlicy notuje się najwięcej zarówno miesięcy ekstremalnie suchych, jak też wilgotnych. Jak już wspomniano wcześniej, tylko w Garlicy i tylko dla miesięcy typu 1 i 2 można zauważyć większą częstość ich występowania w półroczu chłodnym niż ciepłym. Przebieg wieloletni występowania ekstremalnych sum opadów wskazuje na tendencję malejącą w przypadku typu 1 i 2 oraz wzrostową dla typu 6 i 7, ale istotny statystycznie (na poziomie istotności $\alpha=0,05$) okazał się tylko trend sum opadów ekstremalnie wysokich (typ 6 i 7) dla stacji Kraków-Ogród Botaniczny.

Tabela 4. Liczba miesięcy w poszczególnych typach opadowych wg Kaczorowskiej (objaśnienia oznaczeń typów w tekście) w Garlicy Murowanej (a), Krakowie-Ogrodzie Botanicznym (b) i Gaiku-Brzezowej (c) w przebiegu rocznym w latach 1971-2005

Table 4. Number of months in particular precipitation types according to Kaczorowska (explanations of type notations in the text) in Garlica Murowana (a), Cracow-Botanical Garden (b) and Gaik-Brzezowa (c) in annual course in the years 1971-2005

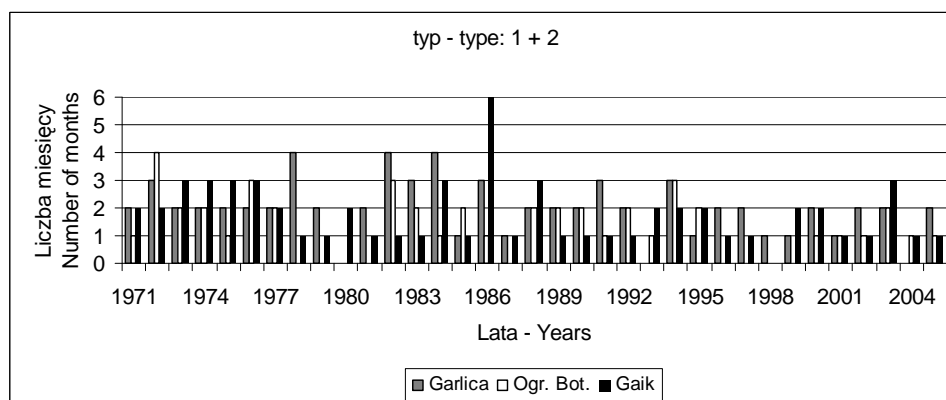
Typ miesiąca Type of month	Stacje Stations	Typy opadów												PZ	PC	Suma Sum
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
1	a	4	2	2	2	0	1	0	2	2	3	1	3	14	8	22
	b	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	1	3
	c	0	1	2	1	0	0	1	0	0	1	1	1	8	2	10
2	a	5	5	8	3	3	4	3	2	2	7	3	2	26	21	47
	b	4	4	4	4	1	4	2	5	2	8	2	3	21	22	43
	c	7	4	4	4	2	3	4	2	2	8	4	3	26	26	52
3	a	4	7	7	10	7	8	8	9	9	9	6	7	42	47	89
	b	6	9	7	7	8	6	11	9	12	8	7	5	41	54	95
	c	7	8	9	9	9	10	8	11	3	9	5	5	43	50	93
4	a	11	8	5	8	16	13	17	12	14	19	16	13	61	91	142
	b	16	18	15	17	19	17	16	12	13	9	17	19	102	86	188
	c	13	16	10	12	15	12	15	14	15	8	17	17	85	79	164
5	a	3	3	6	5	4	4	2	2	2	1	4	2	23	15	38
	b	3	1	3	2	4	2	1	4	3	1	7	3	19	15	34
	c	3	3	3	2	5	4	2	2	5	3	5	1	17	21	38
6	a	3	5	2	3	4	2	1	6	6	4	2	5	20	23	43
	b	5	2	4	1	3	4	3	3	3	8	2	3	17	24	41
	c	2	0	5	4	4	5	2	4	3	4	3	5	19	22	41
7	a	4	2	4	3	0	2	3	1	1	4	1	2	16	11	27
	b	1	1	1	4	0	1	2	2	2	1	0	1	8	8	16
	c	3	3	2	3	0	1	3	2	1	3	0	1	12	10	22

Objaśnienia-Explanations: PZ – półrocze chłodne – cold half-year, PC – półrocze ciepłe – warm half-year.

Tabela 5. Liczba miesięcy o ekstremalnych sumach miesięcznych opadów wg Kaczorowskiej (objaśnienia oznaczeń typów w tekście) w Garlicy Murowanej (a), Krakowie – Ogrodzie Botanicznym (b) i Gaiku-Brzezowej (c) w przebiegu rocznym w latach 1971-2005
Table 5. Number of months with extreme sums of monthly precipitation according to Kaczorowska (explanations of type notations in the text) in Garlica Murowana (a), Cracow-Botanical Garden (b) and Gaik-Brzezowa (c) in the annual course in the years 1971-2005

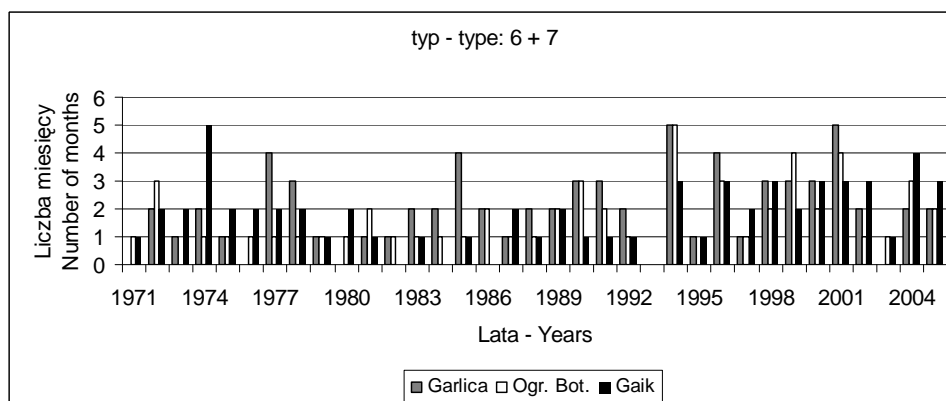
Stacja Station	Typ miesiąca Type of a month	I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII												PZ	PC	Suma Sum
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
a		9	9	10	5	3	5	3	4	7	10	4	5	42	32	74
b	1+2	4	5	6	5	2	3	4	2	8	8	5	6	31	27	58
c		7	5	6	5	2	3	5	2	8	8	5	6	34	28	62
a		7	7	6	6	4	4	4	7	7	8	3	7	36	34	70
b	6+7	6	3	5	5	3	5	5	5	5	9	2	4	25	32	57
c		5	3	7	7	4	6	5	6	4	7	3	6	31	32	63

Objaśnienia – Explanations: PZ – półroczje chłodne – cold half-year; PC – półroczje ciepłe – warm half-year.



Rys. 2. Liczba miesięcy bardzo i skrajnie suchych w Garlicy Murowanej, Krakowie-Ogrodzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej w kolejnych latach w okresie 1971-2005

Fig. 2. Number of very dry and extremely dry months in Garlica Murowana, Cracow-Botanical Garden and Gaik-Brzezowa in particular years in the period 1971-2005



Rys. 3. Liczba miesięcy bardzo i skrajnie wilgotnych w Garlicy Murowanej, Krakowie-Ogrodzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej w kolejnych latach w okresie 1971-2005

Fig. 3. Number of very wet and extremely wet months in Garlica Murowana, Cracow-Botanical Garden and Gaik-Brzezowa in particular years in the period 1971-2005

PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

Na podstawie prezentowanych wyników można stwierdzić duże zróżnicowanie opadów na badanym terenie pomimo stosunkowo niewielkich odległości pomiędzy stacjami. Na uwagę zasługują sumy opadów i ich przebieg roczny w Garlicy Murowanej. Występują tam znacznie niższe opady roczne, a często także miesięczne niż na pozostałych stacjach. W pracy Olechnowicz-Bobrowskiej i in.

(2005) podano, że średnia roczna suma opadów atmosferycznych w latach 1961-2000 w Garlicy Murowanej wynosiła 613 mm. Była zatem wyższa o 9 mm od sumy w latach 1971-2005 i była również niższa niż w Krakowie-Balicach i Krakowie-Ogrodzie Botanicznym. Wpływ na zróżnicowanie wysokości opadów miesięcznych i rocznych ma m.in. użytkowanie terenu (Morawska-Horawska i Lewik 2003, Obrębska-Starkłowa i in. 1997, Niedźwiedz i in. 1984). W centrum Krakowa na wysokość opadów ma ponadto wpływ urbanizacja i związane z tym zanieczyszczenie powietrza, które sprzyja generowaniu opadów atmosferycznych, zwłaszcza śladowych (Twardosz 1996). Bokwa i Skowera (2008) w pracy dotyczącej wpływu rzeźby i użytkowania terenu na strukturę opadów w okolicach Krakowa stwierdziły jednak, że rzeźba terenu jest ważniejszym czynnikiem w modyfikacji struktury opadów niż zanieczyszczenie powietrza związane z urbanizacją.

Zanieczyszczenie powietrza w Krakowie w drugiej połowie badanego okresu znacznie się zmniejszyło, ale sumy opadów pomiędzy stacjami Kraków-Ogród Botaniczny, Garlica Murowana i Gaik-Brzezowa nadal różniły się między sobą w podobnym zakresie wartości. W Krakowie nie występuje ponadto znacząco więcej dni z opadami dobowymi powyżej 5 mm niż na pozostałych stacjach (Bokwa i Skowera 2008). Nie potwierdza to zatem hipotezy o generowaniu wyraźnie wyższych opadów przez obszar zurbanizowany w porównaniu z odległą o 9 km, położoną na terenach użytkowanych rolniczo stacją w Garlicy Murowanej i nie ma to zjawisko dużego znaczenia w kształtowaniu rocznych sum opadów. Istotny trend wzrostowy liczby miesięcy o opadach ekstremalnie wysokich na stacji Kraków-Ogród Botaniczny może jednak świadczyć o wpływie aglomeracji miejskiej na generowanie opadów atmosferycznych, ale może być także statystycznym efektem mniejszej zmienności opadów w mieście niż poza miastem, a zagadnienie to wymaga dalszych badań.

Sumy opadów ekstremalnie wysokich i niskich (tab. 1) oraz liczebność miesięcy ekstremalnie suchych (tab. 2-5) (rys. 1-3) potwierdzają, że największe zagrożenie niedoborem opadów występuje na stacji w Garlicy Murowanej. Jest to niekorzystne ze względu na rolniczy charakter tej miejscowości. Najbardziej występują tam przeciętne warunki opadowe, a najczęściej skrajnie niskie i skrajnie wysokie. Tą dużą zmienność opadów w Garlicy Murowanej potwierdzają najwyższe współczynniki zmienności serii sum opadów miesięcznych i rocznych (Bokwa i Skowera 2008). Dla serii sum miesięcznych współczynniki zmienności w latach 1971-2005 wynoszą: w Garlicy Murowanej – 72,5%, w Krakowie-Ogrodzie Botanicznym – 62,1%, i w Gaiku-Brzezowej – 68,3%. Dla serii sum rocznych współczynniki zmienności dla tych stacji odpowiednio wynoszą: 17,6%, 14,2% i 17,7%. Wartości tego współczynnika wskazują na większe zróżnicowanie miesięcznych i rocznych sum opadów w Garlicy Murowanej i Gaiku-Brzezowej niż w Krakowie. W Garlicy Murowanej i Gaiku-Brzezowej zmienność opadów zimo-

wych jest większa niż letnich, zaś w Krakowie wartości dla obu pór roku są zbliżone. W większości miesięcy największa zmienność charakteryzuje opady w Garlicy Murowanej, a szczególnie w miesiącach półrocza chłodnego wartości współczynnika są większe niż na pozostałych stacjach (Bokwa i Skowera 2008). Wyniki dotyczące częstego występowania w okolicach Krakowa warunków bardzo i skrajnie suchych są zbieżne z uzyskanymi w pracy Koneckiej-Greszke i Smarzyńskiej (2007). Praca ta dotyczy oceny suszy meteorologicznej w wybranych regionach agroklimatycznych Polski reprezentowanych przez stacje: Kraków-Balice, Suwałki, Szczecin, Wrocław i Bydgoszcz, a wykorzystano w niej wskaźnik standaryzowanego opadu i klimatyczny bilansu wodnego. Według obu wskaźników najczęściej miesięcy z suszą w latach 1970-2004 było w Krakowie-Balicach.

WNIOSKI

1. Najwyższe roczne sumy opadów w latach 1971-2005 na badanym terenie występowały w Gaiku-Brzezowej. Najwyższa suma roczna wystąpiła w Gaiku w 1974 r. (1178,7 mm – 158% normy), a w Garlicy Murowanej i Krakowie w 2001 r. (odpowiednio 865,2 mm – 146% normy i 845,9 mm - 128% normy).
2. Najniższe roczne sumy opadów występowały w Garlicy Murowanej. Najczęściej, według klasyfikacji Kaczorowskiej, występowały tam miesiące bardzo i skrajnie suche, a także bardzo i skrajnie wilgotne.
3. Najczęściej na wszystkich stacjach występowały lata i miesiące przeciętne opadowo.
4. Częściej na wszystkich stacjach występowały opady poniżej normy (od 33% do 39% przypadków) niż opady powyżej normy (od 22% do 26%).
5. Na stacji Kraków-Ogród Botaniczny częstość miesięcy z sumami opadów ekstremalnie wysokimi wykazuje tendencję wzrostową.

PIŚMIENNICTWO

- Bokwa A., Skowera B., 2008. Wpływ rzeźby i użytkowania terenu na strukturę opadów atmosferycznych w okolicach Krakowa (1971-2005). *Infr. Ekol. Ter. Wiejskich*, 5, 51-61.
- German K., 2007. Środowisko przyrodnicze Krakowa i jego wpływ na warunki klimatyczne. W: *Klimat Krakowa w XX wieku* (red. D. Matuszko). Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 11-20.
- Kaczorowska Z., 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Geogr. IG PAN*, 33, 1-102.
- Kondracki J., 2000. *Geografia fizyczna Polski*. PWN, Warszawa.
- Konecka-Greszke E., Smarzyńska K., 2007. Ocena suszy meteorologicznej w wybranych regionach agroklimatycznych Polski przy użyciu różnych wskaźników. *Acta Sci. Pol., Formatko Circumictus*, 6 (2), 41-50.
- Lewińska J., 1967. Opady atmosferyczne w Wielkim Krakowie. *Prace PIHM*, 91, 19-28.
- Lewińska J., 1982. Wpływ miasta na klimat lokalny, Warszawa.

- Morawska-Horawska M., Lewik P., 2003. Wpływ wysokości i ukształtowania terenu na zróżnicowanie warunków meteorologicznych w Krakowie. W: *Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji* (red. J. Lach). Instytut Geografii Akademii Pedagogicznej w Krakowie, 85-94.
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., Olecki Z., 1984. Stosunki bioklimatyczne Krakowa. *Probl. Uzdr.*, 1-2, 143-151.
- Obrębska-Starkłowa B., Olecki Z., Trepńska J., 1997. Uwarunkowania klimatyczne w aspekcie rozwoju terytorialnego i przemysłowego Krakowa. W: *Geografia, człowiek, gospodarka* (red. B. Domański, A. Jackowski). Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 232-242.
- Olechnowicz-Bobrowska B., Skowera B., Wojkowski J., Ziemicka-Wojtaszek A., 2005. Warunki opadów na stacji agrometeorologicznej w Garlicy Murowanej. *Acta Agrophysica*, 6 (2), 455-463.
- Twardosz R., 1996. Wpływ obszarów zurbanizowanych na liczbę dni z opadem śladowym na przykładzie Krakowa. *Materiały Konferencji Naukowej „Metody badań wpływu czynników antropogenicznych na warunki klimatyczne i hydrologiczne w obszarach zurbanizowanych”*, 175-183, Katowice 12-14.09.1996.

EXTREME PLUVIAL CONDITIONS IN CRACOW AND ITS SURROUNDINGS IN THE YEARS 1971-2005

Anita Bokwa¹, Barbara Skowera²

¹Institute of Geography and Spatial Management, Jagiellonian University
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
email: anita.bokwa@uj.edu.pl

²Department of Meteorology and Climatology, Agricultural University
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

Abstract. Temporal and spatial variability of atmospheric precipitation is determined by the extreme values and their frequency. That differentiation is very important for the water resources of a given area. Meteorological data from the years 1971-2005 from three stations (Gaik-Brzezowa, Cracow-Botanical Garden and Garlica Murowana) located in Cracow and its surroundings, along a longitudinal profile, were used for the study of spatial differentiation of extreme pluvial conditions. In spite of relatively short distances between the three stations, they represent different mesoregions in which relief and land use have considerable impact not only on local differences in precipitation sums but also on the occurrence of pluvial extremes. The index proposed by Kaczorowska was employed in the analysis. The results obtained were compared to similar analyses results for other parts of Poland. The pluvial conditions in Cracow and its surroundings show large variability. The lowest annual precipitation sums occurred in Garlica Murowana, similar to the highest frequency of extremely dry and wet months. The highest number of months with average precipitation occurred at the urban station Cracow-Botanical Garden. The number of very wet and extremely wet months showed increasing tendency only at the station in Cracow.

Key words: precipitation, extreme pluvial conditions, Cracow