

Anita Bokwa, Barbara Skowera

**WPLYW RZEŻBY I UŻYTKOWANIA TERENU
NA STRUKTURĘ OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH
W OKOLICACH KRAKOWA (1971–2005)**

***RELIEF AND LAND USE IMPACT ON
THE ATMOSPHERIC PRECIPITATION STRUCTURE
IN CRACOW'S SURROUNDINGS (1971–2005)***

Streszczenie

W pracy zaprezentowano zróżnicowanie czasowe i przestrzenne sum miesięcznych i rocznych opadów atmosferycznych na trzech stacjach położonych w okolicach Krakowa w przekroju południkowym: Garlicy Murowanej, Krakowie – Ogródzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej w latach 1971–2005. Latem opady w Gaiku-Brzezowej były o około 20% wyższe, a zimą opady w Garlicy o ok. 25% niższe niż na pozostałych dwóch stacjach. Najwyższa średnia roczna suma opadów charakteryzowała stację w Gaiku: 747,5 mm (tab. 1). Największa zmienność charakteryzuje opady w Garlicy, szczególnie w miesiącach półrocza chłodnego (rys. 1). Najwyższe roczne sumy opadów zanotowano w 2001 r. w Garlicy (865,2 mm) i Krakowie (845,9 mm) i w 1974 r. w Gaiku (1178,7 mm), natomiast najniższe sumy wystąpiły wszędzie w 1993 r. (odpowiednio 446,1, 482 i 524,8 mm). Stwierdzono znaczne zróżnicowanie opadów z roku na rok i dużą nieregularność ich występowania oraz brak wyraźnej tendencji zmian (tab. 2, rys. 2). Średnia roczna liczba dni z opadem wyniosła 132 dni w Garlicy, 168 w Gaiku i 216,4 w Krakowie, ale w przypadku dni z sumą dobową ≥ 5 mm ich liczba dla Garlicy i Krakowa jest prawie taka sama, natomiast nieco wyższe wartości charakteryzuje Gaik. Najwięcej dni z opadami mało wydajnymi jest w Krakowie, natomiast największa liczba dni z wysokimi sumami opadów charakteryzuje Gaik (tab. 3). Każda z rozpatrywanych stacji ma odrębne warunki opadowe: w Garlicy opady są najniższe i o największej zmienności, stacja miejska w Krakowie charakteryzuje się największą liczbą dni z dobową sumą opadów 1–5 mm, w Gaiku zaś roczne i miesięczne sumy opadów są zazwyczaj największe i występuje najwięcej dni z dobową sumą opadów powyżej 10 mm. Pogórze Wielickie ma znacznie korzyst-

niejsze warunki opadowe niż pd. skłon Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej z uwagi na wyższe sumy miesięczne i roczne opadów oraz mniejszą ich zmienność.

Słowa kluczowe: opady atmosferyczne, okolice Krakowa, zanieczyszczenie powietrza, rzeźba terenu

Summary

The paper presents temporal and spatial differentiation of monthly and annual sums of atmospheric precipitation at three stations located in Cracow's surroundings along a longitudinal profile: Garlica Murowana (representing the Cracow-Częstochowa Upland), Cracow-Botanical Garden (in the Vistula river valley) and Gaik-Brzezowa (in the Wieliczka Foothills, a part of the Carpathian Foothills), in the years 1971-2005. In summer, the precipitation was by 20% higher in Gaik-Brzezowa and in winter by 25% lower in Garlica than at other two stations. The highest mean annual precipitation sum was characteristic for Gaik: 747.5 mm (Table 1). The largest variability is typical for the precipitation in Garlica, especially in cold half-year (Figure 1). The highest annual precipitation sums were noted in 2001 in Garlica (865.2 mm) and Cracow (845.9 mm) and in 1974 in Gaik (1178.7 mm), while the lowest annual sums occurred everywhere in 1993 (446.1, 482 and 524.8 mm, respectively). The precipitation sums show large inter-annual variability, high irregularity and lack of any clear tendency (Table 2, Figure 2). Mean annual number of days with precipitation reached 132 mm in Garlica, 168 mm in Gaik and 216.4 mm in Cracow but in case of the days with daily precipitation sum ≥ 5 mm their number for Garlica and Cracow is almost the same while a bit higher values can be found for Gaik. The highest number of days with low precipitation sums is characteristic for Cracow, while the highest number of days with high precipitation sums occurs in Gaik (Table 3). Each of the stations studied has distinguished precipitation conditions: Garlica is the driest point and with the highest precipitation variability, urban station in Cracow is characterised by the highest number of days with daily precipitation sum 1-5 mm, and in Gaik the annual and monthly precipitation sums are usually the highest and there is the highest number of days with daily precipitation sum above 10 mm. The Wieliczka Foothills has much better precipitation conditions for agriculture than the southern slope of the Cracow-Częstochowa Upland due to higher monthly and annual precipitation sums and their lower variability.

Key words: atmospheric precipitation, Cracow's surroundings, air pollution, relief

WSTĘP

Opady atmosferyczne są niezwykle ważną, przychodową częścią bilansu wodnego. Wielkość opadów oraz ich rozkład w czasie są istotnymi czynnikami kształtującymi warunki agrometeorologiczne i zależą przede wszystkim od procesów związanych z ogólną cyrkulacją atmosfery. Rzeźba i użytkowanie terenu mogą jednak znacząco modyfikować strukturę opadów atmosferycznych w skali

lokalnej, a przez to różnicować warunki uprawy roślin. Okolice Krakowa, rozumiane jako miasto Kraków i tereny do niego przyległe w promieniu około 30 km, charakteryzują się bardzo urozmaiconymi warunkami środowiska przyrodniczego, a z drugiej strony wiele obszarów podmiejskich jest intensywnie uprawianych rolniczo z uwagi na bliski, duży rynek zbytu, czyli miasto Kraków. Określenie zatem wpływu rzeźby i użytkowania terenu na strukturę opadów atmosferycznych na tym obszarze ma istotne znaczenie nie tylko poznawcze, ale także aplikacyjne.

Z badań nad wpływem rzeźby na opad w Krakowie i okolicy warto wspomnieć pracę Lewińskiej [1967], która na podstawie wyników z zagęszczonej sieci pomiarowej, działającej w latach 1951–1960, stwierdziła, że najwyższe średnie roczne sumy opadów (powyżej 800 mm) notowano na Pogórzu Wielickim, nieco niższe (około 700 mm) w centrum miasta i na Garbie Tenczyńskim, zaś w pn.-wsch. części miasta sumy te osiągały wartości zaledwie około 500 mm. Było to, zdaniem autorki, skutkiem znacznego zróżnicowania rzeźby na tym obszarze i położenia tego terenu w cieniu opadowym Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. W latach 1970–1974 prowadzono pomiary opadów atmosferycznych równocześnie na trzech stacjach w obrębie Krakowa: na Bielanych, przy ul. Borowego i w Ogrodzie Botanicznym. Średnia roczna suma opadu była największa na Bielanych (834 mm), najmniejsza przy ul. Borowego (667 mm), zaś w centrum miasta wyniosła 703 mm. Potwierdziło to znaczny wpływ zróżnicowania terenu Krakowa na rozkład przestrzenny opadów; stacja przy ul. Borowego leży w cieniu opadowym, zaś w centrum miasta jest zwiększone parowanie opadów w trakcie ich trwania. Zdarzało się, że opady nie występowały na wszystkich stacjach w tym samym czasie [Morawska-Horawska, Lewik 2003]. Badania porównawcze między Ogrodem Botanicznym i Balicami zostały wykonane na podstawie danych z lat 1966–1975 [Niedźwiedz i in. 1984]. Średnie dobowe opady w porach roku były na obu stacjach takie same z wyjątkiem lata, kiedy w centrum były nieco wyższe, prawdopodobnie wskutek wzmożonej częstości opadów o charakterze burzowym. Obrębska-Starkłowa i in. [1997] stwierdzili, że oddziaływanie miasta na opady latem polega na generowaniu gwałtownych ulew wskutek intensywnego rozwoju chmur konwekcyjnych, zaś zimą zwiększona zawartość jąder kondensacji powoduje silne, krótkotrwałe i lokalne opady śniegu. Średnia roczna suma w latach 1850–1995 wyniosła 670 mm. Twardosz [1996] badał liczbę dni z opadem śladowym w Krakowie i okolicznych stacjach w latach 1863–1995. Średnia liczba dnia z tym opadem w Krakowie wynosiła 22 dni, przy czym w latach 1863–1956 było to 13 dni, a w latach 1957–1995 aż 44 dni. Od 1985 roku zaobserwowano tendencję spadkową liczby dni z opadem śladowym, co może być związane ze zmniejszeniem się zanieczyszczenia atmosfery. Najczęściej opady śladowe występują zimą. W Krakowie jest o 50–300% więcej dni z opadem śladowym niż poza miastem. W 1993 r. roczna suma opadu w Krakowie wyniosła 448 mm i była to wartość najniższa

w okresie 1901–2000. Od 1995 r. opady wykazują tendencję wzrostową [Matuszko i in. 2001]. W Garlicy Murowanej, położonej na pn. od miasta, w pd. części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, średnia roczna suma opadu w wieloleciu 1961–2000 wyniosła 613 mm, a liczba dni z opadem 127. Były to wartości niższe niż w Krakowie, co autorzy tłumaczą wpływem zanieczyszczeń powietrza na tworzenie się dodatkowych opadów w Krakowie [Olechnowicz-Bobrowska i in. 2005].

Za główny cel niniejszej pracy przyjęto ocenę struktury opadów atmosferycznych w okolicach Krakowa w przekroju południkowym na podstawie serii pomiarowych z lat 1971–2005. Podjęto też próbę oceny wpływu rzeźby i użytkowania terenu w mezokali na zróżnicowanie opadów atmosferycznych. Porównano również tendencje wieloletnich zmian charakterystyk opadowych (sum opadów atmosferycznych i liczby dni z opadem) na poszczególnych stacjach uwzględnionych w tej pracy, tj. w Gaiku-Brzezowej, Krakowie –Ogrodzie Botanicznym i Garlicy Murowanej.

OBSZAR BADAŃ, MATERIAŁY I METODY

Kraków i okolice położone są w trzech różnych jednostkach fizyczno-geograficznych, wyróżnionych wg klasyfikacji Kondrackiego [1988]. Część północna należy do południowego krańca Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (wys. do 300 m n.p.m.), zbudowanego z wapieni górnourajskich. Samo miasto, zwłaszcza historyczne centrum, leży głównie w dolinie Wisły (ok. 200 m n.p.m.) o przebiegu równoleżnikowym, urozmaiconej na zach. wapiennymi zrębami tektonicznymi, wypełnionej miąższą warstwą iłów mioceńskich. Część południowa znajduje się na Pogórzu Wielickim (wys. do 370 m n.p.m.), zbudowanym z fliszu [German 2007]. 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 (położona na Wyżynie Ojcowskiej, stanowiącej 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, mezoregion Brama Krakowska), 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 jest danych z roku 1980. Obliczono sumy miesięczne i roczne opadów na poszczególnych stacjach, wskaźniki zmienności i linie trendu dla wszystkich uzyskanych serii danych, a także liczbę dni z opadem dla zakresów zaproponowanych przez Olechnowicz-Bobrowską [1970]: 0,1–1,0 mm, 1,1–5,0 mm, 5,1–10,0 mm, 10,1–20,0 mm, 20,1–30,0 mm, >30,0 mm.

WYNIKI BADAŃ

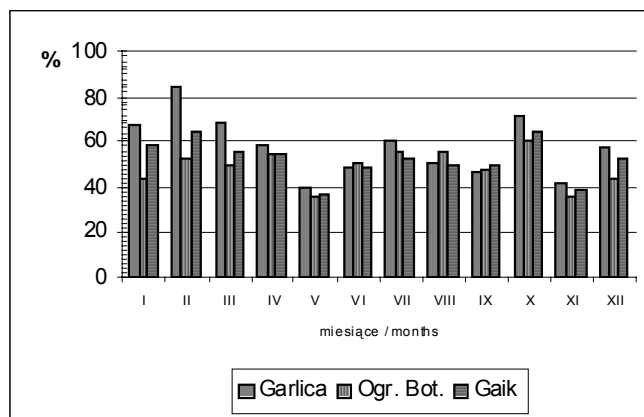
Sumy opadów. Średnie miesięczne i roczne sumy opadów w latach 1971–2005 na badanych stacjach prezentuje tabela 1. W miesiącach letnich opady w Gaiku-Brzezowej były o około 20% wyższe niż na pozostałych stacjach, zaś sumy opadów w Krakowie i Garlicy Murowanej były wtedy prawie jednakowe. Natomiast zimą sumy opadów w Krakowie i Gaiku były podobne, a w Garlicy o ok. 25% niższe. Najwyższa średnia roczna suma opadów charakteryzowała stację w Gaiku, najniższą stację w Garlicy, a różnica między nimi wyniosła 153,4 mm, co oznacza, że opady w Garlicy były o 20,5% niższe, podobnie jak we wspomnianych porach roku.

Tabela 1. Średnie miesięczne i roczne sumy opadów (mm) w Garlicy Murowanej, Krakowie –Ogródzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej (1971–2005).

Table 1. Mean monthly and annual precipitation sums (mm) in Garlica Murowana, Kraków –Botanical Garden and Gaik-Brzezowa (1971–2005).

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Garlica	28,8	24,1	31,2	43,5	66,0	82,9	84,9	73,5	57,8	39,7	31,6	29,9	594,1
Ogr. Bot.	38,6	32,5	37,5	51,0	69,6	85,4	84,6	75,2	57,2	46,1	40,3	41,3	659,3
Gaik	35,8	33,5	37,1	60,7	83,2	104,7	102,6	93,9	66,1	49,4	42,0	38,4	747,5

Dla ciągu sum miesięcznych z lat 1971-2005 obliczono współczynnik zmienności: Garlica Murowana: 72,5%, Ogród Botaniczny: 62,1%, Gaik-Brzezowa: 68,3%. Ten sam współczynnik obliczono także dla serii sum rocznych z lat 1971–2005: Garlica Murowana: 17,6%, Ogród Botaniczny: 14,2%, Gaik-Brzezowa: 17,7%. Wartości współczynnika wskazują na większe zróżnicowanie miesięcznych i rocznych sum opadów w Garlicy i Gaiku niż w Krakowie. W Garlicy i Gaiku zmienność opadów zimowych jest większa niż letnich, zaś w Krakowie wartości dla obu pór roku są zbliżone. W większości miesięcy największa zmienność charakteryzuje opady w Garlicy, a szczególnie w miesiącach półrocza chłodnego wartości współczynnika są znacząco większe niż na pozostałych stacjach (rys. 1).



Rysunek 1. Współczynniki zmienności opadów (w %) w poszczególnych miesiącach w Garlicy Murowanej, Krakowie – Ogrodzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej (1971–2005)
Figure 1. Variability coefficients (in %) for precipitation in particular months in Garlica Murowana, Kraków – Botanical Garden and Gaik-Brzezowa (1971–2005)

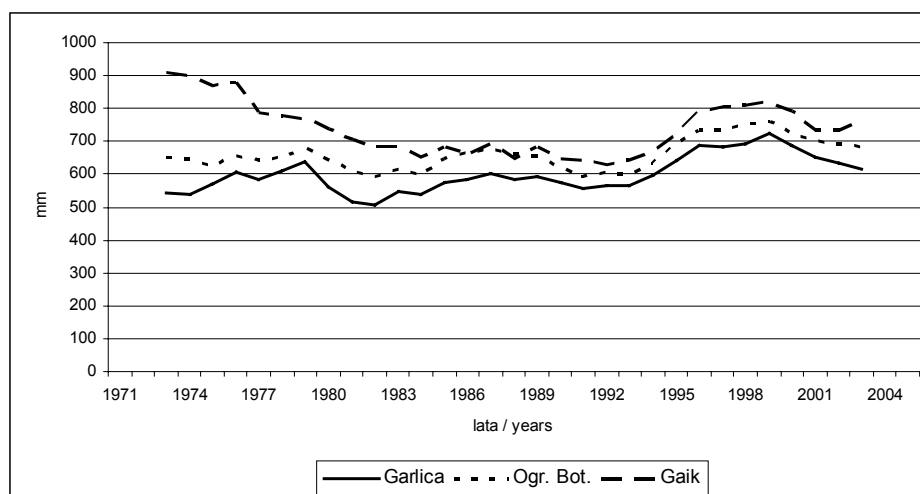
W wyróżnionych w pracy podokresach 1971–1980, 1981–1990 i 1991–2005 średnie miesięczne sumy opadu były zróżnicowane. Wyraźnie wyższe sumy opadu latem w Gaiku-Brzezowej występowały jedynie w pierwszym okresie (1971–1980), co można tłumaczyć tym, że najpierw opady w Gaiku-Brzezowej były mierzone na stacji „Terasa”, w dolinie Raby, a w roku 1983, na skutek budowy Zbiornika Dobczyckiego, rolę stacji głównej przejął punkt „Kopiec”, na pobliskiej wierzchołku. W latach 1981–1990 i 1991–2005 opady miesięcy letnich były zazwyczaj najwyższe w Gaiku, ale różnice między stacjami znacznie zmalały. Opady w Garlicy były zwykle najniższe w porównaniu z pozostałymi stacjami, ale w miesiącach letnich często nieznacznie przewyższały opady w Krakowie. Średnie roczne sumy opadów na poszczególnych stacjach w badanych podokresach przedstawia tabela 2. Najwyższe sumy występowały w Gaiku, a najniższe w Garlicy, jednak w okresie 1971–1980 opady w Gaiku były o 23% wyższe niż w Krakowie i 32% wyższe niż w Garlicy. W pozostałych dwu okresach sumy opadów w Gaiku także były wyższe niż w Krakowie i Garlicy, ale tylko o odpowiednio 6% i 15%. Najwyższe roczne sumy opadów zanotowano w Garlicy i Krakowie w roku 2001 – odpowiednio 865,2 (146% normy) i 845,9 (128% normy) mm), zaś w Gaiku w roku 1974 (1178,7 mm, 158% normy), natomiast najniższe sumy wystąpiły wszędzie w 1993 r.: Garlica: 446,1 mm (75% normy), Kraków: 482 mm (73% normy), Gaik: 524,8 mm (70% normy).

Tabela 2. Średnie roczne sumy opadów (mm) w okresach 1971–1980, 1981–1990 i 1991–2005 w Garlicy Murowanej, Krakowie – Ogrodzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej.

Table 2. Mean annual precipitation sums (mm) in the periods 1971–1980, 1981–1990 and 1991–2005 in Garlica Murowana, Kraków – Botanical Garden and Gaik-Brzezowa.

stacja	1971–1980	1981–1990	1991–2005
Garlica	572,7	565,6	625,8
Ogr. Bot.	650,5	637,7	679,6
Gaik	843,2	665,7	738,1

Rysunek 2 przedstawia średnie konsekwentne 5-letnie roczne sumy opadów na badanych stacjach w latach 1971–2005. Dla każdej serii wyznaczono linię trendu i stwierdzono tendencję wzrostową opadów, ale współczynniki determinacji R^2 wyniosły zaledwie 0,3–0,4, co wskazuje na znaczne zróżnicowanie opadów z roku na rok i dużą nieregularność ich występowania oraz brak wyraźnej tendencji zmian.



Rysunek 2. Średnie konsekwentne 5-letnie roczne sumy opadów (w mm) w latach 1971–2005 w Garlicy Murowanej, Krakowie – Ogrodzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej

Figure 2. Mean 5-year moving averages of annual precipitation sums in the years 1971–2005 in Garlica Murowana, Kraków – Botanical Garden and Gaik-Brzezowa

Liczba dni z opadem. W poszczególnych miesiącach i latach obliczono liczbę dni z opadem wg podziału Olechnowicz-Bobrowskiej [1970]. Średnia roczna liczba dni z opadem (suma dobowa $\geq 0,1$ mm) w okresie 1971–2005

wahała się od 132 dni w Garlicy do 168 w Gaiku i aż 216,4 w Krakowie. W badanym wieloleciu zauważono duże różnice między stacjami w liczbie dni z opadem bardzo słabym i słabym (suma dobową ≤ 5 mm). Różnice te kształtowały się w podobny sposób we wszystkich wydzielonych podokresach: 1971–1980, 1981–1990 i 1991–2005 (tab. 3). Przy wyższych sumach opadu liczba dni w Garlicy i Krakowie była prawie taka sama, ale nieco wyższe wartości charakteryzowały Gaik. Dni z opadem ≤ 5 mm stanowiły w Garlicy 72,8% wszystkich dni z opadem, w Gaiku 73,4% i w Krakowie 82,9%. Na wszystkich stacjach przeważały zatem dni z opadami mało wydajnymi, ale najwięcej było ich w Krakowie. W Gaiku w latach 1971–2005 i w wydzielonych podokresach występowała większa liczba dni z wysokimi sumami opadów niż w Krakowie i Garlicy.

Tabela 3. Średnia roczna liczba dni z opadami wg kryterium Olechnowicz-Bobrowskiej (zakresy w mm) w latach 1971–2005 oraz w podokresach 1971–1980, 1981–1990 i 1991–2005 w Garlicy Murowanej, Krakowie – Ogrodzie Botanicznym i Gaiku-Brzezowej

Table 3. Mean annual number of days with precipitation according to the criteria by Olechnowicz-Bobrowska (value ranges in mm) in the years 1971–2005 and in the sub-periods 1971–1980, 1981–1990 and 1991–2005 in Garlica Murowana, Kraków-Botanical Garden and Gaik-Brzezowa

stacja	0,1–1,0	1,1–5,0	5,1–10,0	10,1–20,0	20,1–30,0	>30,0	Suma
1971–2005							
Garlica	37,6	58,9	20,3	11,6	2,8	1,4	132,6
Ogr. Bot.	63,2	115,6	23,0	10,2	2,5	1,2	215,7
Gaik	55,2	69,0	25,1	13,7	4,1	2,1	169,2
1971–1980							
Garlica	33,8	62,9	20,8	12,7	2,2	1,2	133,6
Ogr. Bot.	62,4	116,0	21,6	10,4	2,6	1,0	214,0
Gaik	53,2	67,4	27,8	16,4	4,6	2,8	172,2
1981–1990							
Garlica	34,0	56,4	18,4	11,6	3,0	1,0	124,4
Ogr. Bot.	61,0	116,3	23,2	9,5	2,1	1,1	213,2
Gaik	55,3	66,6	22,3	12,9	3,4	1,6	162,1
1991–2005							
Garlica	46,4	56,1	22,1	12,3	3,6	2,1	142,6
Ogr. Bot.	68,8	113,6	25,0	11,1	2,8	1,8	223,1
Gaik	57,4	72,1	26,0	13,0	5,0	2,3	175,8

W badanym wieloleciu dla poszczególnych klas liczby dni z opadem wyznaczono linie trendu. Współczynniki determinacji R^2 wyznaczonych linii były jednak statystycznie nieistotne, co oznacza brak wyraźnych tendencji zmian w czasie i dużą zmienność z roku na rok.

DYSKUSJA

Analiza zaprezentowanych danych wskazuje na istotną rolę rzeźby w kształtowaniu lokalnych stosunków opadowych. W przypadku danych z Gaika-Brzezowej, dopóki stacja znajdowała się w dolinie Raby (do 1983 r.), to mierzone sumy opadu były wyraźnie wyższe w porównaniu z pozostałymi stacjami (Garlicą i Ogrodem Botanicznym), zaś potem opady mierzone tam na wierzchołku (po 1983 r.) różniły się od pozostałych stacji znacznie mniej, przy czym tendencje zmian na wszystkich stacjach były podobne. Położenie stacji w Ogrodzie Botanicznym w dolinie Wisły może zatem być jednym z czynników powodujących występowanie tam wyższych sum opadów niż na pobliskiej Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej. W przypadku Krakowa istotnym czynnikiem modyfikującym klimat lokalny jest położenie stacji w obszarze zurbanizowanym. Jak już wspomniano, wyższe opady w Krakowie niż w Garlicy tłumaczono dużą ilością jąder kondensacji w mieście na skutek zapylenia powietrza. W kolejnych latach badanego okresu różnica między opadami w Garlicy i Krakowie jest prawie jednakowa i dlatego wyższych sum w Krakowie niż w Garlicy nie można tłumaczyć głównie zanieczyszczeniem powietrza (rys. 2). We wczesnych latach 70. XX w. zapylenie w Krakowie było znacznie większe niż pod koniec badanego wielolecia. Po roku 1990, warunki aerosanitarne znacznie się polepszyły, ale roczne sumy opadu nadal różniły się w dość szerokim zakresie wartości i brak jest wyraźnej tendencji zmian – podobnie jak w przypadku liczby dni z opadem w poszczególnych przedziałach sum opadów. Można zatem stwierdzić, że w przypadku Krakowa, czyli miasta położonego we wklęsłej formie terenu, rzeźba jest czynnikiem o większym znaczeniu w kształtowaniu rozkładu przestrzennego opadu niż wpływ urbanizacji. Ponadto analiza liczby dni z sumami opadu w wyróżnionych przedziałach (tab. 3) wskazuje, że w Krakowie nie występuje znacząco więcej dni z opadami powyżej 5 mm niż na pozostałych stacjach, nie można zatem potwierdzić hipotezy o częstym generowaniu przez obszar Krakowa dodatkowych, wydajnych opadów burzowych. Nawet jeśli takie zjawisko występuje to nie ma ono dużego znaczenia w kształtowaniu rocznych sum opadów. Wiele charakterystyk opadowych dotyczących Gaika jest odmiennych od charakterystyk dla obu pozostałych stacji. Średnia liczba dni z opadami powyżej 5 mm jest bardzo zbliżona w Krakowie i Garlicy, a wyraźnie wyższa w Gaiku. Średnie konsekwentne 5-letnie roczne sumy opadów także kształtowały się odmiennie w przypadku Gaika, zazwyczaj były najwyższe spośród wszystkich stacji, ale czasem wykazywały odwrotną tendencję zmian niż w Krakowie i Garlicy. Największą zmiennością charakteryzowały się jednak opady w Garlicy. Najwięcej dni z opadem notowano w Krakowie, gdzie najczęściej występowały dni z dobowymi sumami opadów 1–5 mm, ale najwyższe sumy roczne opadu notowano w Gaiku, gdzie najwyższe były liczby dni z sumami powyżej 10 mm.

WNIOSKI

Opady atmosferyczne wykazują znaczne zróżnicowanie przestrzenne w obszarze krakowskim w przekroju południkowym, przede wszystkim na skutek urozmaiconej rzeźby terenu. W przypadku samego Krakowa drugim ważnym czynnikiem modyfikującym warunki opadowe jest obecność terenu zurbanizowanego. Ma to jednak znaczenie drugorzędne i przejawia się głównie większą niż na sąsiednich stacjach liczbą dni z dobowymi sumami opadu 1–5 mm zwłaszcza w zimie, gdy zapylenie powietrza związane z sezonem grzewczym jest największe. Każda z rozpatrywanych stacji, reprezentująca jeden z trzech mezoregionów, ma odrębne warunki opadowe. Garlica, położona na pd. skłonie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, w cieniu opadowym i w terenie rolniczym, jest obszarem najsuchszym i o największej zmienności opadów. Stacja miejska w Krakowie, położona w dolinie Wisły, charakteryzuje się największą liczbą dni z dobową sumą opadów 1–5 mm. W Gaiku zaś, położonym na Pogórzu Wielickim, na obszarze rolniczym i najwyżej spośród wszystkich stacji, roczne i miesięczne sumy opadów są zazwyczaj największe i występuje najwięcej dni z dobową sumą opadów powyżej 10 mm. W niektórych miesiącach półroczna chłodnego to opady w Krakowie są najwyższe, gdyż wtedy jest tam najwięcej dni z sumą dobową opadów 1–5 mm. Oceniając omawiane charakterystyki opadowe pod względem ich wpływu na warunki agrometeorologiczne na terenach rolniczych, można stwierdzić, że Pogórze Wielickie posiada znacznie korzystniejsze warunki opadowe niż pd. skłon Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej z uwagi na wyższe miesięczne i roczne sumy opadów oraz mniejszą ich zmienność.

BIBLIOGRAFIA

- German K. *Środowisko przyrodnicze Krakowa i jego wpływ na warunki klimatyczne* [w:] *Klimat Krakowa w XX wieku*, D. Matuszko (red.), Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, s. 11–20, Kraków 2007.
- Kondracki J. *Geografia fizyczna Polski*. PWN, Warszawa 1988.
- Lewińska J. *Opady atmosferyczne w Wielkim Krakowie*. Prace PIHM, 91, s. 19–28, 1967.
- Matuszko D., Piotrowicz K., Twardosz R. *Związki między zachmurzeniem, opadami i temperaturą powietrza w Krakowie w ostatnim stuleciu*. Prace i Studia Geograficzne WGiSG UW, 29, s. 113–119, 2001.
- Morawska-Horawska M., Lewik P. *Wpływ wysokości i ukształtowania terenu na zróżnicowanie warunków meteorologicznych w Krakowie* [w:] *Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji*, J. Lach (red.), Instytut Geografii Akademii Pedagogicznej w Krakowie, s. 85–94, 2003.
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., Olecki Z. *Stosunki bioklimatyczne Krakowa*. Probl. Uzdr., 1–2, s. 143–151, 1984.
- Obrębska-Starkłowa B., Olecki Z., Trepieńska J. *Uwarunkowania klimatyczne w aspekcie rozwoju terytorialnego i przemysłowego Krakowa* [w:] *Geografia, człowiek, gospodarka*, B. Domański, A. Jackowski (red.). Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, s. 232–242, 1997.

- Olechnowicz-Bobrowska B. *Częstość dni z opadem w Polsce*. Prace Geogr. IG PAN, 86, s. 1–75, 1970.
- Olechnowicz-Bobrowska B., Skowera B., Wojkowski J., Ziernicka-Wojtaszek A. *Warunki opadowe na stacji agrometeorologicznej w Garlicy Murowanej*. Acta Agrophys., 6 (2), 455–463, 2005.
- Twardosz R. *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”, s. 175–183, Katowice 12–14.09.1996.

Dr Anita Bokwa
Uniwersytet Jagielloński
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
30-387 Kraków, ul. Gronostajowa 7
tel. 0-12-664-53-27
email: anita.bokwa@uj.edu.pl

Dr inż. Barbara Skowera
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Meteorologii i Klimatologii Rolniczej
30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 24/28
tel. 0-12-662-40-10
email: rmskower@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Józef Kolodziej*