

Prądnik. Prace Muz. Szafera	19	67–74	2009
-----------------------------	----	-------	------

ELIGIUSZ BRZEŹNIAK

Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Instytut Geografii
ul. Podchorążych 2, 30–084 Kraków

ZRÓŻNICOWANIE SUM DOBOWYCH OPADÓW W OJCOWIE

Variability of daily precipitation totals in the Ojców

ABSTRACT. The study of multiannual variability of daily precipitation totals was based on a twenty-year observation series (1990–2009) made in Ojców. The investigations were conducted using descriptive statistics methods, i.e. average values, including 5-year and 5-day consecutive averages, and extreme values and dispersion indexes. The frequency of precipitation for fixed amount intervals and precipitation sequences of daily totals ≥ 0.1 mm were also determined.

KEY WORDS: variability, daily precipitation, topoclimate, Ojców National Park

WSTĘP

W klimatologii minione dziesięciolecie znaczone są wzrastającym zainteresowaniem uwarunkowań zwiększonej chwiejności klimatu, w różnej skali przestrzennej. Dotyczy to także opadów atmosferycznych. Przedmiotem analiz były głównie miesięczne, sezonowe i roczne sumy opadów; dopiero w ostatnich latach pojawiły się opracowania poświęcone opadom dobowym, a zwłaszcza te bazujące na wieloletnich seriach pomiarowych (Twardosz 2000, 2005). Spostrzeżenia te dotyczą także Ojcowskiego Parku Narodowego (OPN), na terenie którego mimo wielu badań nad klimatem, w tym także opadów atmosferycznych (m.in. Brzeźniak 2009, Brzeźniak, Partyka 2008, Klein 1974, 1977, 1992) nie podjęto prób określenia zmienności ich sum dobowych.

METODA BADAŃ

Celem opracowania była próba ustalenia jakościowych i ilościowych cech zróżnicowania dobowych sum opadów atmosferycznych, w tym także sum maksymalnych. Analizę zmienności sum dobowych wykonano dla serii 1990–2009 ze stacji meteorologicznej usytuowanej w Dolinie Prądnika, w Parku Zamkowym (PZ). Fluktuacje dobowych opadów w aspekcie chronologicznym wyrażono wykorzystując miary statystyczne: wartości średnie, skrajne, zakres zmienności, odchylenie standardowe, współczynniki zmienności.

WIELOLETNI PRZEBIEG SUM DOBOWYCH OPADÓW

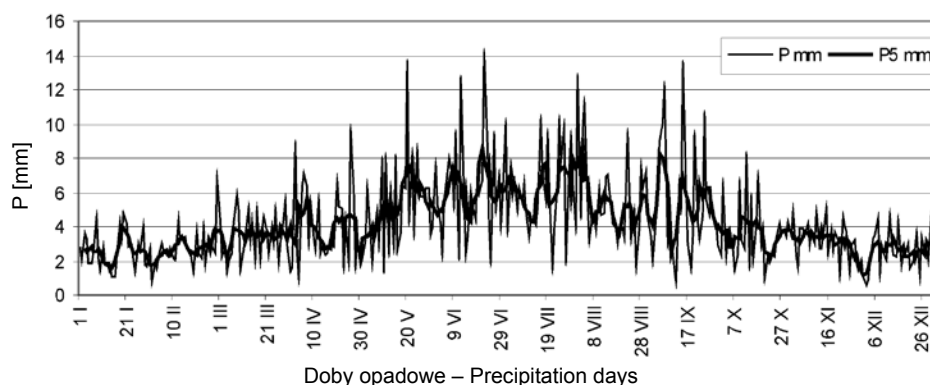
Opad atmosferyczny jest rezultatem złożonych procesów fizycznych występujących w dolnych warstwach atmosfery oraz warunków środowiskowych. W efekcie ich wielkość podlega znaczącym wahaniom w skali czasowej. W urozmaiconej morfometrycznie Dolinie Prądnika średnia dwudziestoletnia (1990–2009) dobową sumą opadów wyniosła 4,2 mm. W kolejnych 5-letniach średnie wielkości te nie podlegały istotnym zmianom, wahając się w zakresie 0,6 mm, tj. od 4,0 mm w okresie 1990–1994 do 4,1 mm w kolejnych pentadach: 1995–1999 i 2000–2004. Jedynie w ostatnim pięcioleciu (2006–2009) suma dobową opadów wzrosła i wyniosła przeciętnie 4,6 mm. Przeciętna zmiana z roku na rok, wyznaczona jako średnia z bezwzględnych wartości różnic między sumami opadów w kolejnych latach (Kozuchowski 1985) wynosiła 0,5 mm. Wartości wyższe od średniej z wielolecia notowano w 1995 r. (o 0,4 mm), w latach 1997–2002 z największą różnicą w 2001 r. (0,9 mm) oraz w 2007 r. (wyższe o 0,2 mm). Ustalony zakres zmian potwierdza wielkość odchylenia standardowego (σ), które dla szeregu sum w PZ z okresu 1990–2009 wynosiło $\pm 2,4$ mm. Największą dyspersją opadów odznaczał się rok 2001 ($\sigma = \pm 6,7$ mm), najmniejszą 1992 r. ($\sigma = \pm 3,8$ mm), tj. lata o skrajnych rocznych sumach opadów.

W układzie pór roku najwyższe średnie sumy dobowe przypadały na lato (5,9 mm), a ich dominację w stosunku do pozostałych sezonów należy wiązać z intensywną wówczas konwekcją swobodną, która obok procesów frontogenezy, sprzyja tworzeniu się chmur o budowie pionowej, dających opady o charakterze ulew lub deszcze nawalne. Dla okresu letniego typowe były także największe odchylenia od wartości średniej ($\sigma = \pm 2,6$ mm). Najmniejsze średnie sumy dobowe wystąpiły w okresie zimy (2,6 mm), która cechuje się także największą stabilnością opadów; $\sigma = \pm 1,1$ mm. W okresie wiosny przeciętna suma dobową wynosiła 4,2 mm i była o 0,2 mm wyższa od średniej wyznaczonej dla jesieni. Sezony te odznaczały się porównywalną zmiennością opadów; odchylenie standardowe wynosiło odpowiednio $\pm 2,2$ i $\pm 2,3$ mm.

Zmiany dwudziestoletnie średnich dobowych sum w kolejnych miesiącach przyjmowały postać krzywej wygładzonej, wznoszącej się od stycznia (2,6 mm) do czerwca (5,9 mm), a następnie opadającej w drugiej połowie roku aż do grudnia (2,6 mm). Wartości wyższe od 5,0 mm właściwe były dla okresu od maja do września.

Kontrast opadowy podkreśla roczny przebieg sum dobowych opadów. Najwyższy średni opad (14,1 mm) dotyczył 22 czerwca; wartości zbliżone (13,7 mm) osiągnęły sumy dobowe 20 maja oraz 15 września (13,6 mm). Najniższa średnia (0,6 mm) wystąpiła 2 grudnia, sumy nieco wyższe (0,8 mm) były 1 lutego, 12 września i 3 grudnia (ryc. 1). Taki rozkład jest odmienny od normalnego; w stosunku do niego krzywa liczebności jest bardziej spłaszczona, co oznacza, że zbiorowość dobowych sum opadów odznacza się słabszym skupieniem od normalnego (współczynnik skupienia $K=2,14$). Charakteryzuje się także różną strukturą, którą określa współczynnik asymetrii równy 1,4 wskazujący silną asymetrię prawostronną. Przy średniej z 20-lecia sumie dobowej równej 4,2 mm świadczy to o przewadze – w badanym okresie – dób opadowych o sumach znacznie niższych od przeciętnej.

Dynamikę zmian sum dobowych podkreślają średnie konsekwentne pięciodobowe, prezentowane przez krzywe wygładzone, krótkotrwałych fluktuacji opadów. W przebiegu rocznym wystąpiły 3 cykle wahań opadów, zaznaczone kilkudobowymi spadkami i wzrostami oraz wyraźnymi maksimami i minimami. Pierwsze miesiące odznaczały się tendencją



Ryc. 1. Roczny przebieg średnich dobowych sum opadów w Parku Zamkowym w Ojcowie (1990–2009): P – wartości dobowe, P5 – średnie konsekwtywne 5-dobowe

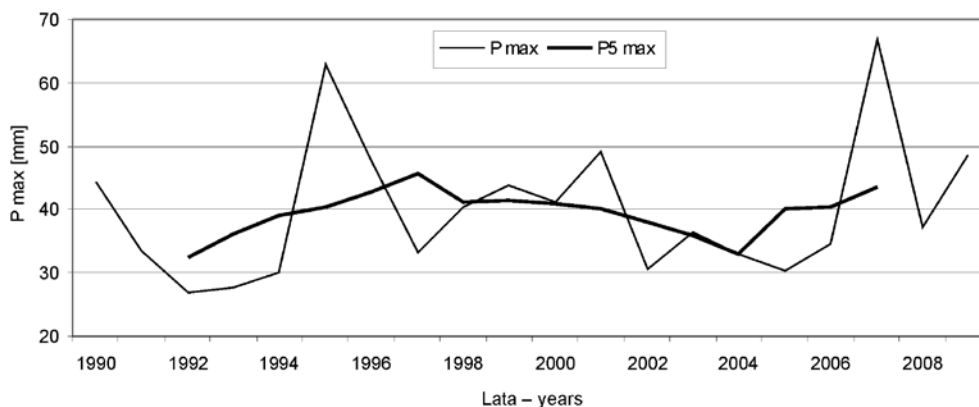
Fig. 1. Annual course of average daily precipitation totals in the Park Zamkowy in Ojców (1990–2009): P – daily values; P5 – 5-day consecutive averages

wzrostową; opady zwiększały się od 1,5 mm (14 I) do 5,6 mm (7 IV). W kolejnym cyklu wahań zaznaczył się silny wzrost sum dobowych od 2,4 mm (30 IV) do 8,7 mm (3 VIII), a następnie spadek do 4,3 mm (7 VIII). Ostatnie miesiące roku cechowały się tendencją spadkową i zmieniały się od 4,0 mm (30 X) do 1,2 mm (1 XII). W rezultacie amplitudy wahań zmieniały się i nie przekraczały 4,1 mm w pierwszym okresie i 6,3 mm w półroczu maj-październik oraz 2,8 mm w miesiącach kończących rok.

MAKSYMALNE SUMY OPADÓW DOBOWYCH

Różnorodność warunków pogodowych odzwierciedlały zmiany opadów, wyrażone okresowymi nadmiarami, a mogącymi nawet przybierać charakter zdarzeń ekstremalnych. Wielkością określającą opady o dużej wydajności były maksymalne opady dobowe. W przebiegu wieloletnim najwyższych opadów dobowych zaznaczyły się wyraźne fluktuacje, wyrażone trzema maksimami: w 2007 r. (66,8 mm), 1995 r. (62,9 mm) oraz drugorzędne w 2001 r. (49,0 mm), przedzielone okresami spadków z najniższymi wartościami 1992 r. (26,8 mm), 1997 r. (33,1 mm), 2002 r. (30,5 mm) oraz w 2005 r. (30,2 mm). W rezultacie krzywa średniej konsekwtywnej 5-letniej ujawniła zwiększone maksymalne sumy opadów dobowych w drugiej połowie ostatniej dekady XX w. oraz drugiej połowie pierwszego dziesięciolecia bieżącego stulecia (ryc. 2).

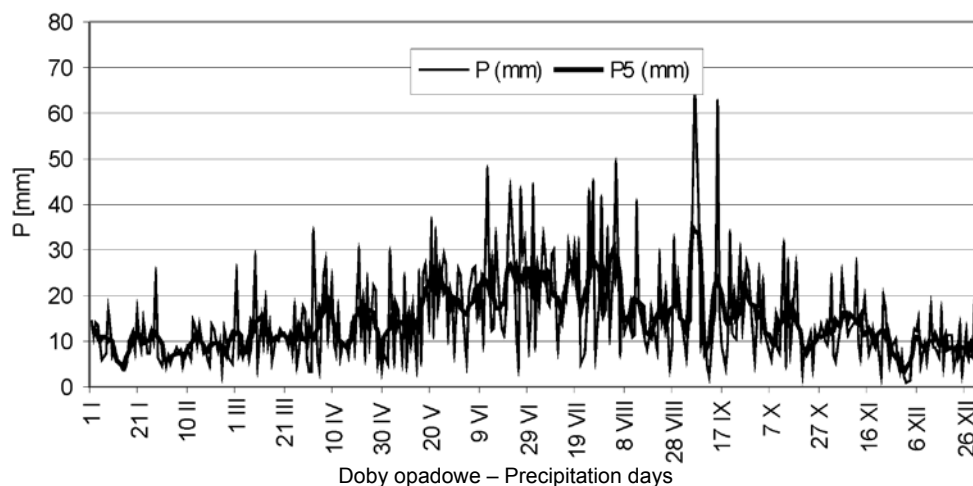
Przebieg roczny maksymalnych opadów dobowych wykazywał bardzo duże wahania (ryc. 3). Obrazuje je krzywa średniej konsekwtywnej pięciodobowej, która dokumentuje wystąpienie kilku faz zmienności. Względnie małe zmiany tych opadów wystąpiły w okresie pomiędzy 1 grudnia (3,0 mm) a 30 kwietnia (6,0 mm) z maksimum 7 kwietnia (20,3 mm). Począwszy od 1 maja zaznaczył się wyraźny wzrost maksymalnych opadów dobowych aż do osiągnięcia maksimum 6 września (34,1 mm). W tym czasie pojawił się kilkunastodobowy spadek wartości tych sum, do 10,8 mm 19 sierpnia. W miesiącach jesiennych (wrzesień-listopad) obserwowano tendencję spadkową najwyższych opadów, z maksimum 26 września (22,8 mm) oraz drugorzędnym 7 listopada (16,4 mm).



Ryc. 2. Wieloletni przebieg maksymalnych dobowych opadów w Parku Zamkowym w Ojcowie (1990–2009): P max – wartości z poszczególnych lat, P5 max – średnie konsekwentne 5-letnie

Fig. 2. Multiannual course of maximum daily precipitation in the Park Zamkowy in Ojców (1990–2009): P max – values for each year; P5 max – 5-year consecutive averages

Na stacji PZ w analizowanym 20-leciu, najwyższy opad dobowy równy 66,8 mm zmierzono 6 września 2007. Silne opady, jakie wówczas wystąpiły w tej części kraju były wynikiem adwekcji powietrza polarno-morskiego, wywołanej obecnością bruzdy cyklonalnej nad Polską południową (Niedźwiedź 2009). Równie ekstremalny opad wystąpił 15 września 1995 r., kiedy w czasie ulewy, która pojawiła się w godzinach wieczornych, w punkcie pomiarowym PZ zanotowano 62,9 mm opadu.



Ryc. 3. Roczny przebieg maksymalnych dobowych opadów w Parku Zamkowym w Ojcowie (1990–2009): P - wartości dobowe, P5 – średnie konsekwentne 5-dobowe

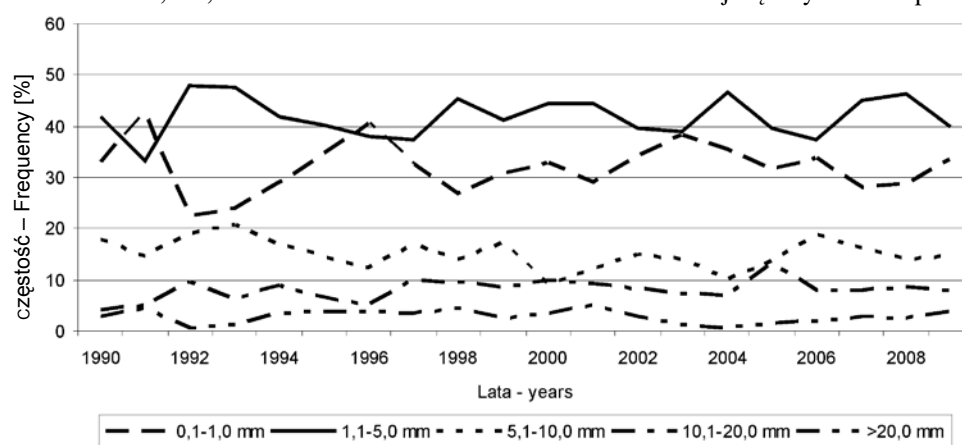
Fig. 3. Annual course of maximum daily precipitation in Park Zamkowy in Ojców (1990–2009): P – daily values; P5 – 5-day consecutive averages

CZĘSTOŚĆ I CIĄGI SUM DOBOWYCH OPADÓW

Zróznicowanie opadów dobrze ilustruje częstość sum dobowych o ustalonych przedziałach wielkości. W analizie uwzględniono pięć przedziałów, wykorzystanych w badaniach zmienności sum dobowych opadów w Krakowie (Twardosz 2000), tj. klasy: 0,1–1,0 mm czyli opady bardzo słabe, 1,1–5,0 mm określane jako opady słabe, 5,1–10,0 mm – inaczej opady umiarkowane, 10,1–20,0 mm, zwane opadami silnymi oraz opady o sumach > 20,0 mm formułowane jako opady bardzo silne. Ostatni, przedział jednostronnie zamknięty, charakteryzował się dużą rozpiętością wartości (aż do 66,8 mm), ale ze względu na małą częstość opadów bardzo silnych, zdecydowano się na przyjęcie do analizy rozszerzonego przedziału.

Zgodnie z ogólnym kierunkiem zmian, wyrażonym w tej części kraju dominacją opadów bardzo słabych i słabych (Twardosz 2000), w Ojcowie przeciętnie w roku najsilniej były reprezentowane opady dobowe o sumach 1,1–5,0 mm (41,8%) oraz opady o sumach dobowych zawartych w przedziale 0,1–1,0 mm (32,2%), zaś udział opadów umiarkowanych wynosił 15,0%. Najmniejsza częstość dotyczyła opadów bardzo silnych (2,9%) i silnych (8,1%).

W przebiegu wieloletnim zaznaczały się wyraźne wahania w postaci okresowych wzrostów i spadków częstości opadów dobowych z kolejnych przedziałów (ryc. 4). Zmiany te nie były rytmiczne i synchroniczne w skali wszystkich klas. Zwiększona częstość (powyżej 30%) sum opadów 0,1–1,0 mm wystąpiła w latach 1990–1991 (maksimum w 1991 r. – 42,3%) oraz 1995–1997, 1990–2000, 2002–2006 i w 2009 r. Największy spadek frekwencji opadów z tego przedziału (do 22,8%) zanotowano w 1993 r. W pierwszej połowie i pod koniec lat 90. oraz pod koniec pierwszej dekady XXI w. znacząco wzrosła – w stosunku do opadów bardzo słabych – częstość opadów słabych, z maksimum w 1992 r. (47,8%) oraz 1993 r. (47,4%). Za wyjątkiem dwóch lat 1991 i 1996, frekwencja opadów w tej klasie była większa niż w klasie 0,1–1,0 mm. W latach 1992–1993 obserwowano największy udział opadów



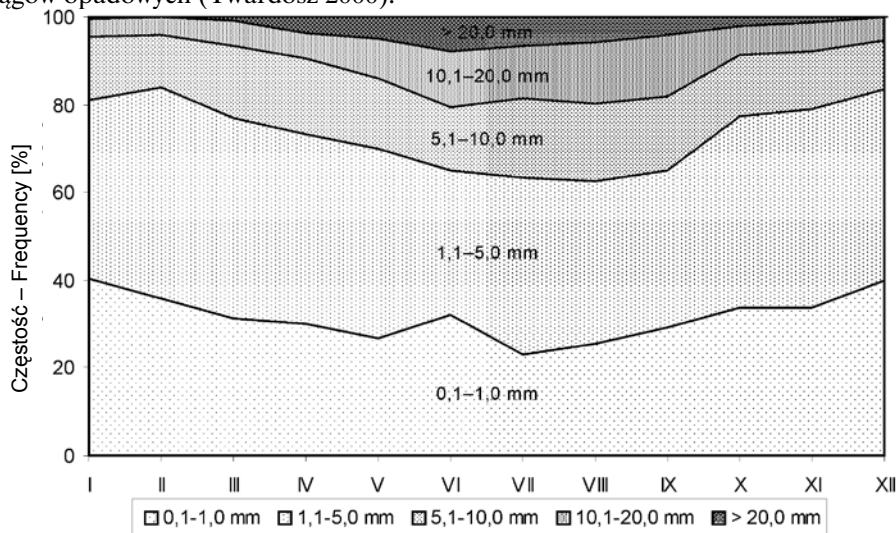
Ryc. 4. Wieloletni przebieg częstości (w %) dobowych opadów z poszczególnych przedziałów sum w Parku Zamkowym w Ojcowie (1990–2009)

Fig. 4. Multiannual course of daily precipitation frequency (in %) for particular total intervals in the Park Zamkowy in Ojców (1990–2009)

umiarkowanych, zaś w roku 2000 najmniejszy (9,2%). Częstość opadów silnych i bardzo silnych uległa wyraźnemu zmniejszeniu. Największy udział opadów silnych notowano w 2005 r. (13,2%), w pozostałych latach analizowanego okresu, nie przekraczał 10%. Frekwencja opadów bardzo silnych zamykała się w granicach od 0,5% w 2004 r. do 5,2% w 2001 r. Cytowane wartości najwyższych i najniższych częstości sum dobowych opadów w 20-leciu 1990–2009 wskazywały na zmienny zakres ich wahań, który zmniejszał się wraz ze wzrostem wielkości sum dobowych: od 19,5% w przypadku opadów bardzo słabych, 14,1% opadów słabych, 11,6% opadów umiarkowanych do 9,0% w klasie opadów silnych i 4,7% opadów bardzo silnych.

Fluktuacje opadów dobowych w badanym dwudziestolecu widoczne były w przebiegu rocznym częstości wydzielonych przedziałów wartości. Największe frekwencje osiągały opady słabe i bardzo słabe, odznaczające się równocześnie synchronizacją kierunków zmian (ryc. 5). Największe przyrosty uzyskiwały w I i IV kwartale roku, najmniejsze w miesiącach letnich. Opady z obu tych przedziałów wyróżniały się równocześnie największym zakresem zmian tj. różnicą między największymi i najmniejszymi miesięcznymi wielkościami frekwencji. Opady umiarkowane (5,1–10,0 mm) miały wyrównany przebieg, spośród ustalonych klas, zakres wahań ich częstości wynosił 6,8%. Z kolei opady silne (10,1–20,0 mm) koncentrowały się w miesiącach letnich, z częstością powyżej 10% oraz maksymalną we wrześniu (14,0%). Podobny typ przebiegu cechował opady bardzo silne (>20,0 mm), a ich częstość przekraczała 6,0% jedynie w okresie czerwiec–sierpień, osiągając maksimum w czerwcu (7,7%)

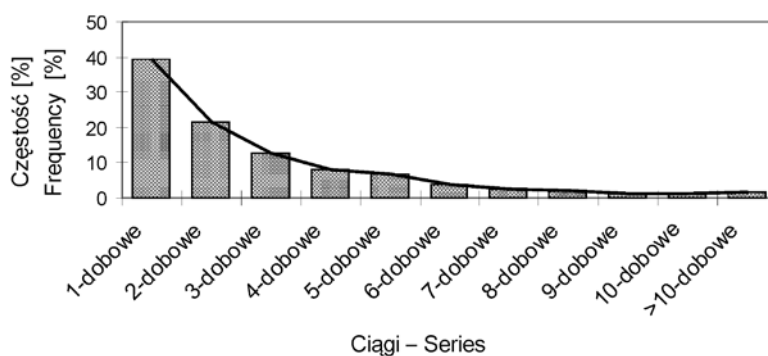
Strukturę opadów atmosferycznych dobrze ilustruje analiza ciągów, rozumianych jako sekwencje sum dobowych $\geq 0,1$ mm. Dla pełniejszego obrazu w opracowaniu uwzględniono także opady jednodobowe, które – zdaniem wielu autorów – można zaliczać do ciągów opadowych (Twardosz 2000).



Ryc. 5. Roczny przebieg częstości dobowych opadów z poszczególnych przedziałów sum w Parku Zamkowym w Ojcowie (1990–2009)

Fig. 5. Annual course of daily precipitation frequency (in %) for particular total intervals in the Park Zamkowy in Ojców (1990–2009)

W badanym 20-leciu liczba ciągów opadowych podlegała wyraźnym zmianom i zmniejszała się wraz ze wzrostem ich długości (ryc. 6). W Ojcowie notowano przeciętnie 60,1 ciągu rocznie, a ich liczba wahała się od 69 w 1990 r. do 47 w 2005 r. Dominowały ciągi 1-dobowe, które stanowiły 39,4% ogólnej liczby sekwencji opadowych. Nieco mniejszy udział miały ciągi 2-dobowe (21,5%) oraz 3-dobowe (12,6%). Oznacza to, że tylko 26,5% ogólnej liczby ciągów opadowych trwa dłużej niż 3 doby. Frekwencja ciągów 4-dobowych i 5-dobowych wynosiła odpowiednio 7,9% oraz 6,6%, pozostałych nie przekraczała 4,0%. W tym przedziale mieściły się także ciągi dłuższe od 10-dobowych, wśród których wyróżniały się ciągi 11-dobowe (6 przypadków) oraz 13-dobowe (5 przypadków). Pozostałe zdarzyły się co najwyżej 2-krotnie. Do najdłuższych zanotowanych były ciągi 24-dniowy od 15 grudnia 2001 r. do 7 stycznia 2002 r. i 19-dobowy, od 12 do 30 grudnia 2005 r. kiedy codziennie wystąpił opad. W tym czasie Ojcow otrzymał 74% miesięcznej sumy opadów (tj. 12,1% sumy rocznej). Ciągi 1-, 2-, 3-, 4- i 5-dobowe wystąpiły w każdym roku, ciągów 6-dobowe nie notowano w 1991 r., pozostałe im dłuższe, tym rzadziej się pojawiały.



Ryc. 6. Histogramy częstości ciągów opadowych w Ojcowie (1990–2009)

Fig. 6. Histograms of the frequency of precipitation sequences in Ojców (1990–2009)

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Badania dotyczące zróźnicowania opadów atmosferycznych zmierzały do poznania i określenia podstawowej ich cechy jaką jest zmienność. Podjęta próba ujawniła dużą różnorodność kierunków tych zmian, także w skali lokalnej. Szczególnie dużą zmiennością odznaczały się maksymalne opady dobowe, udokumentowane występującymi przemiennie wartościami wysokimi i niskimi. Ekstremalnie wysokie opady (> 60 mm) były związane z synoptycznymi sytuacjami cyklonalnymi (Bc+Cc).

Na stacji PZ w Ojcowie opady dobowe były najczęściej bardzo słabe (0,1–1,0 mm) i słabe (1,1–5,0 mm), a występowały głównie w pierwszych i ostatnich miesiącach roku. Dominowały opady jednodobowe, rzadziej pojawiały się w sekwencjach 2-dobowych. W jednostkowych przypadkach opady układały się w ciągi dłuższe od 10-dobowych. Ze względu na niewielką odległość, opady dobowe w Ojcowie podlegały identycznym uwarunkowaniom cyrkulacyjnym jak w Krakowie. Za R. Twardoszem (2005) z dużym prawdopodobieństwem można zatem przyjąć, że o zmienności opadów w Dolinie Prądnika decydowała intensywność cyrkulacji cyklonalnej, a zwłaszcza bruzdy cyklonalnej (Bc) i centralnej cyklonalnej (Cc) oraz spływ powietrza z północy (Nc).

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr N306 044 32/3178.

PIŚMIENNICTWO

- Brzeźniak E. 2009. *Struktura czasowa opadów atmosferycznych w Ojcowie*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **19**: 53–66.
- Brzeźniak E., Partyka J. 2008. *Warunki klimatyczne Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] A. Klasa, J. Partyka (red.). *Monografia Ojcowskiego Parku Narodowego. Przyroda*. Wyd. OPN. Ojców, s. 121–136.
- Klein J. 1974. *Mezo- i mikroklimat Ojcowskiego Parku Narodowego*. „Studia Naturae”, Ser. A, **8**: 1–105.
- Klein J. 1977. *Klimat*, [w:] K. Zabierowski (red.). *Przyroda Ojcowskiego Parku Narodowego*, „Studia Naturae”, Ser. B, **28**: 91–119.
- Klein J. 1992. *Stosunki termiczno-wilgotnościowe w Dolinie Sąspsowskiej w Ojcowskim Parku Narodowym*. „Prądnik. Prace Muz. Szafera”, **5**: 29–34.
- Koźuchowski K. 1985. *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w stuleciu 1881–1980*. „Acta Geographica Lodziensia”, **48**: 1–158.
- Niedźwiedz T. 2009. *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy*, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii. Sosnowiec.
- Twardosz R. 2000. *Wieloletnia zmienność sum dobowych opadów w Krakowie w powiązaniu z sytuacjami synoptycznymi*, [w:] Obrębska-Starkłowa B. (red.), *Studies in Physical Geography*, „Prace Geograficzne Instytutu Geografii UJ”, **105**: 19–71.
- Twardosz R. 2005. *Dobowy przebieg opadów atmosferycznych w ujęciu synoptycznym i probalistycznym na przykładzie Krakowa (1886–2002)*. Wyd. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ. Kraków, ss. 76.

SUMMARY

The study contains the analysis of variability of daily atmospheric precipitation totals based on data collected during the twenty-year period of 1990–2009 at the Ojców National Park measurement point Park Zamkowy in Ojców situated in the Prądnik Valley. Time variation in daily precipitation totals (Fig. 1) and daily maximum precipitation (Fig. 2, 3) were considered. These findings suggest that the variability of precipitation in Ojców has individual characteristics determined by circulation processes and local conditions.

The results of studies of precipitation class frequency for five intervals: 0.1–1.0 mm, 1.1–5.0 mm, 5.1–10.0 mm, 10.1–20.0 mm, and above 20.0 mm, show the presence of non periodical fluctuations. Very light and light precipitation occurred with the greatest frequency, and very heavy precipitation was the least frequent (Fig. 3, 4).

The structure of precipitation is also documented by the analysis of precipitation sequences. Their number decreased with the growth of duration (Fig. 6). Twenty-four hour sequences prevailed in the area, while the longer ones, lasting up to ten days, occurred only sporadically. The longest recorded sequence was the 19-day wet spell that started on 12.12.2005 and continued to 30.12.2005.