

Prądnik. Prace Muz. Szafera	19	53–66	2009
-----------------------------	----	-------	------

ELIGIUSZ BRZEŹNIAK

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

## STRUKTURA CZASOWA OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W OJCOWIE

### Times structure of precipitation in Ojców

**ABSTRACT.** The article comprises the analysis of annual, seasonal and monthly precipitation in the years 1956–2005 in Ojców. Indicated features of changeability of precipitation were of a continental character. The time differentiations are underlined by multi-annual precipitation totals trends as well as structural varieties, especially between summer and winter rainfalls. In summer months, an increased frequency of high precipitation (over 150 mm) is expressed by a large share of precipitation with a positive anomaly, occurring even in several months' sequences.

**KEY WORDS:** precipitation totals, long-term changes, times structure, Prądnik Valley, ONP

### WSTĘP

Opad atmosferyczny jest rezultatem złożonych procesów zachodzących w dolnych warstwach atmosfery, a jego atrybutem jest zmienność, wyrażona wahaniami w różnych skalach czasowych. Chwiejność opadów także w skali regionalnej, była przedmiotem wielu analiz, w tym także obejmujących silnie urozmaicony pod względem warunków środowiskowych, fragment Doliny Prądnika w Ojcowskim Parku Narodowym (OPN).

Pierwsze dane o opadach w Dolinie Prądnika pochodzą jeszcze z końca XIX w. (Stronczyński i in. 1855). Po upływie 80 lat J. Kondracki (1937) podjął próbę ustalenia podstawowych cech ulewy, która wystąpiła w tym rejonie w maju 1937 r. Dopiero w latach 60. ubiegłego stulecia badania nad klimatem OPN, w tym także opadami wykonali studenci Koła Geografów UJ (Klein i in. 1965) oraz J. Klein, który wyniki przeprowadzonych analiz zaprezentował w wielu opracowaniach (m.in. Klein 1974, 1977). Stosunki pluwialne w skali Płaskowyżu Ojcowskiego były także przedmiotem rozważań w ramach zespołowego studium nad rozmieszczeniem i strukturą leśnych pasów ochronnych wokół OPN (Brzeźniak 1974). Z kolei anomalie opadowe, często o znamionach katastrof, w odniesieniu do OPN były dokumentowane przez wielu autorów m.in. E. Cebulak (1991, 2005), E. Cebulak, T. Niedźwiedzia (1998), oraz E. Cebulak, W. Niedbałę (2001). Najnowsze studium klimatu, w tym opadów atmosferycznych, zostało wykonane w ramach monografii OPN (Brzeźniak, Partyka 2008).

## METODA BADAŃ

Prezentowane opracowanie ma na celu przedstawienie podstawowych cech zmienności i strukturę opadów atmosferycznych w Dolinie Prądnika. Analizę oparto na materiale pochodzącym z punktu pomiarowego IMGW, obejmującym okres 1956–2005. Posterunek opadowy jest usytuowany w Dolinie Prądnika, na wysokości 370 m n.p.m., w odległości około 1 km od stacji meteorologicznej Park Zamkowy w Ojcowie, pracującej od 1990 r. na potrzeby OPN. Taka lokalizacja punktów pomiarowych umożliwiła przeprowadzenie procesu weryfikacji ciągów sum miesięcznych i rocznych opadów, dla wspólnego dla obu punktów okresu 1990–2005.

Główne cechy zmienności opadów ustalono dla okresów rocznych, półrocznych, sezonowych i miesięcznych, wykorzystując metody statystyki matematycznej stosowane w opracowaniach klimatologicznych. Wyznaczono zatem podstawowe charakterystyki rozkładu tj. wartości średnie, w tym także średnie ruchome 5-letnie i skrajne oraz miary dyspersji, reprezentowane przez odchylenie standardowe i współczynnik zmienności. Opady normalne i odchylenia od nich wyznaczono stosując podział trójklasowy równoprawdopodobny, oparty na wielkości odchylenia ( $\sigma$ ) od wartości średniej wieloletniej, a zaproponowany przez U. Kossowską-Cezak (2000/2001). Przedział wartości normalnych opadów wyznacza średnia  $\pm 0,5 \sigma$ , wartości o odchyleniu od średniej o  $0,5-1,5 \sigma$  uznano za anomalne, a za rzeczywiste anomalie dopiero wartości o odchyleniu większym niż  $1,5 \sigma$ .

## WIELOLETNIA ZMIENNOŚĆ OPADÓW

Opady atmosferyczne, w tym burze czy szadź, są powszechnie uznawane za najbardziej niestabilny element klimatu. Symptodem tej ich cechy są wahania w skali czasu (doby, miesiąca, sezonu, roku), a ujawniają je okresowe nadmiary bądź niedobory, stanowiące losowo występujące anomalie.

### Sumy roczne

Średnia roczna suma opadów z okresu 1956–2005 wynosiła 706,2 mm i była niższa o 25,5 mm od wyznaczonej dla stacji Park Zamkowy z okresu 1990–2007 (Brzeźniak, Partyka 2008), 67,5 mm od wartości podawanej przez J. Kleina (1974), oraz o 80,8 mm niższa od średniej sumy rocznej z 10-lecia 1949–1958 (Klein i in. 1965). W związku z położeniem w „cieniu opadowym” Doliny Prądnika, Ojcow otrzymywał w ciągu roku mniej nawet o około 70 mm opadów niż wierzchowina (Brzeźniak, Partyka 2008). Podstawową cechą wieloletniej zmienności opadów w Ojcowie były fluktuacje, przyjmujące charakter zbliżony do wahań cyklicznych. Najniższa zanotowana w 1957 r. suma wynosiła 498,8 mm, najwyższa 1018,0 mm w 1970 r. (tab. 1). Odzwierciedleniem zakresu zmian średnich sum rocznych były ich wartości ekstremalne, wyrażone w procentach średniej sumy 50-letniej. Najwyższe sumy notowano w latach 1991–2000, kiedy aż 7-krotnie sumy roczne były wyższe od średniej z wielolecia. Zbliżoną częstością najwyższych sum rocznych charakteryzowały się dwie dekady: 1961–1970 oraz 1971–1980, z liczbą po sześć lat z sumami wyższymi od średniej 50-letniej. Największymi niedoborami opadów odznaczały się trzyletnie sekwencje: 1957–1959 oraz 1982–1984, w których sumy roczne wahały się w granicach 70,6–77,9% sumy wieloletniej.

Tabela 1. Wybrane statystyki sum miesięcznych opadów atmosferycznych w Ojcowie (1956–2005)  
 Table 1. Selected statistics monthly precipitation totals in Ojcow (1956–2005)

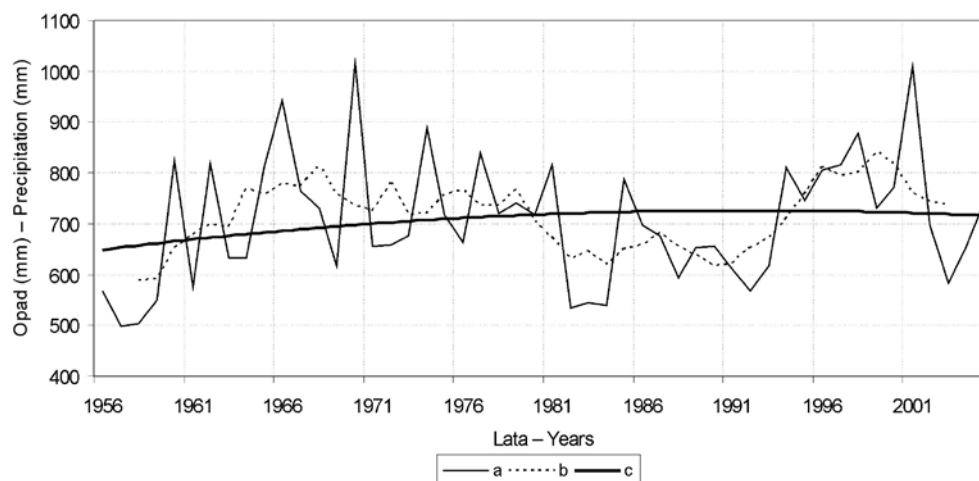
Miesiące i sezony Months and seasons	Średnia Mean (mm)	Max. (mm)	Min. (mm)	Udział w sumie rocznej % Percentage in annual total precipitation	$\sigma$	v
I	44,1	115,5	10,9	6,3	24,7	56,1
II	38,2	114,7	2,5	5,2	22,0	57,5
III	41,1	114,6	2,3	5,8	22,9	55,7
IV	50,1	125,8	13,5	7,0	24,3	48,5
V	69,6	134,7	20,7	9,9	26,1	37,5
VI	90,5	173,4	5,6	12,9	40,4	44,6
VII	94,0	258,7	22,2	13,2	51,0	54,2
VIII	81,5	181,2	8,2	11,5	36,3	44,6
IX	55,5	134,5	4,6	8,0	28,2	50,8
X	46,0	154,6	0,7	6,5	32,1	69,8
XI	47,2	92,5	11,2	6,9	16,5	34,9
XII	48,5	121,8	1,9	6,8	23,9	49,3
Rok	706,2	1018,0	498,8	–	123,0	17,4
V – X	437,1	665,2	258,4	62,0	1008	60,7
XI – IV	269,1	396,8	152,5	38,0	23,1	22,6
III – V	160,8	283,5	78,1	22,8	43,8	27,3
VI – VIII	265,9	479,1	63,1	37,6	78,6	29,6
IX – XI	148,7	272,1	52,8	21,1	49,1	33,0
XII – II	130,8	273,1	51,9	18,5	44,2	33,8

$\sigma$  – odchylenie standardowe – standard deviation

v – współczynnik zmienności – coefficient of variability

Wyrazem tych zmian były okresy wzrostów i spadków średnich ruchomych 5-letnich: od najniższych na początku drugiej połowy XX w. (588,7 mm w 1958 r.) do wysokich pod koniec lat 60. XX w. (814,5 mm w 1968 r.). Po tym okresie nastąpił spadek do kolejnego minimum w 1990 r. (617 mm) i ponowny wzrost do końca lat 90. (841 mm w 1999 r.) oraz spadek w pierwszych latach XXI w. (ryc. 1). Dzięki temu rozproszenie sum rocznych określone za pomocą odchylenia standardowego  $\sigma$  wynosiło  $\pm 123,0$  mm, a współczynnik zmienności  $v = 17,4\%$ ; dyspersja opadów była zatem względnie niska.

Zmienność sum rocznych dobrze ilustrują średnie z okresów 5-letnich, 10-letnich oraz standardowych 30-letnich (tab. 2). Zwiększone opady roczne (powyżej 800 mm) wystąpiły w 5-leciu 1966–1970 oraz 1996–2000, zaś najbardziej sucha była pentada 1956–1960 (poniżej 600 mm rocznie). Z kolei najbardziej deszczowa była dekada lat 1961–1970, a najuboższe w opady było dziesięciolecie 1981–1990. W zalecanym przez Światową Organizację Meteorologiczną (WMO) 30-letnim okresie analiz, przedział czasowy 1971–2000 był nieco mniej zasobny w opady od okresu 1961–1990. Stwierdzona dynamika zmian opadów była pochodną procesów cyrkulacyjnych nad Polską południową: największą



Ryc. 1. Wieloletni przebieg sum rocznych opadów w Ojcowie w latach 1956–2005: a – sumy roczne opadów, b – średnia ruchoma 5-letnia, c – trend wielomianowy opadów

Fig. 1. Multi-annual course of precipitation totals in Ojców in the years 1956–2005: a – annual precipitation sums, b – 5-year consecutive mean, c – multi-index trend of precipitation totals

aktywnością typów cyklonalnych w kolejnych dwóch dziesięcioleciach 1961–1970 oraz 1971–1980, oraz zwiększonym udziałem sytuacji antycyklonalnych w dwóch ostatnich dekadach XX stulecia (Brzeźniak 2005).

#### Półroczne i sezonowe sumy opadów

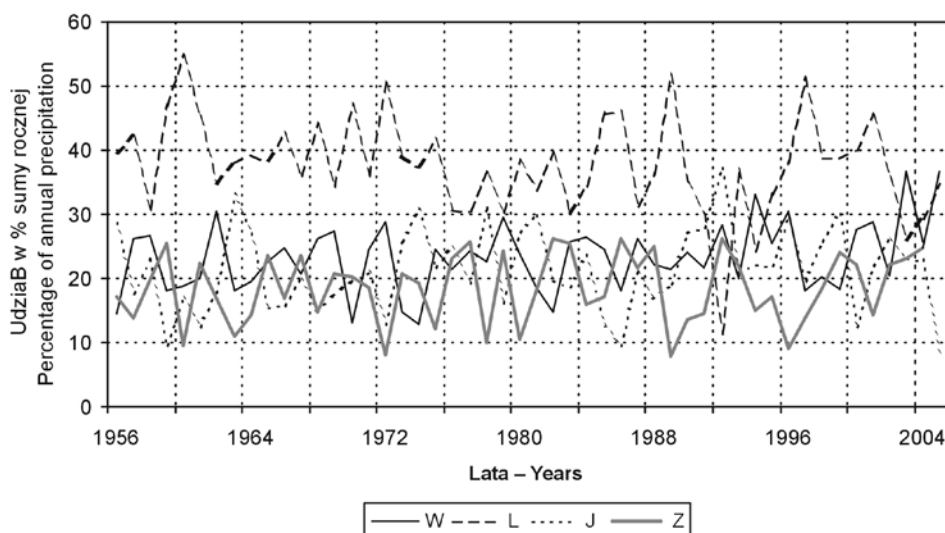
Ogólną, ale bardzo istotną informacją o zmienności opadów były dane dotyczące ich sum półrocznych i sezonowych. Za półrocze ciepłe przyjęto okres od maja do października (V–X), za półrocze chłodne okres od listopada do kwietnia (XI–IV). Kolejne sezony wyróżniono stosując podział na 3-miesięczne okresy – kalendarzowe pory roku (wiosna: III–V, lato: VI–VIII, jesień: IX–XI i zima: XII–II).

W 50-letniej historii pomiarów meteorologicznych w Ojcowie, opady półrocza chłodnego były przeciętnie o 168,0 mm niższe od sum półrocza letniego. Jedynie dwukrotnie tj. w 1992 r. i 2004 r. przeważały sumy opadów półrocza chłodnego. Udział opadów półrocza ciepłego w rocznej sumie opadów zamykał się w granicach od 45,1% w 1992 r. do 76,4% w 1960 r. Dominacja opadów półrocza ciepłego była wyrazem kontynentalizmu pluwialnego, cechy typowej dla Polski, zwłaszcza dla jej części południowej (Kozuchowski, Wibig 1988). Podkreśla ją także wielkość ilorazu opadów półrocza chłodnego i półrocza letniego. Dla okresu badawczego jego wartość średnia wynosiła 0,6, najniższy iloraz (poniżej 0,5) wystąpił 12-krotnie (minimalny w 1960 r. – 0,31), najwyższy (powyżej 1,0) uzyskano tylko dla dwóch lat: 1992 r. (maksymalny – 1,22) i 2004 r. (1,05). Zmienność opadów półroczy była prawie dwukrotnie większa od zmienności sum rocznych. Jednakże zmiany opadów półrocza ciepłego i chłodnego miały podobny charakter; współczynniki zmienności dla opadów obu tych okresów były zbliżone, a zmienność opadów półrocza chłodnego była zaledwie o 0,8% wyższa.

Tabela 2. Średnie miesięczne, roczne i sezonowe sumy opadów atmosferycznych [mm] w Ojcowie (1956–2005)  
 Table 2. Long-period averages of monthly, annual and seasonal precipitation totals [mm] in Ojcow (1956–2005)

Okres Period	Miesiące – Months												Rok Year	Sezony – Seasons				
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		W	L	J	Z	
1956–1960	29,6	25,4	31,9	53,3	35,6	84,2	107,3	68,3	49,3	28,3	33,8	41,8	<b>588,7</b>	120,7	259,9	111,5	96,7	
1961–1965	43,7	37,4	41,4	31,2	84,8	94,7	90,4	84,5	45,4	33,4	65,7	42,2	<b>694,8</b>	157,4	269,6	144,5	123,4	
1966–1970	43,6	52,5	39,6	48,0	89,2	116,8	114,8	106,5	33,9	51,9	57,5	60,3	<b>814,5</b>	176,8	338,1	143,2	156,4	
1971–1975	35,9	32,5	29,2	48,1	70,5	106,9	111,1	74,3	58,1	63,8	42,6	45,9	<b>719,0</b>	147,8	292,3	164,4	114,4	
1976–1980	57,7	38,3	41,2	64,1	74,6	76,6	71,7	96,0	72,8	54,2	45,8	43,0	<b>736,1</b>	179,9	244,4	172,9	139,0	
1981–1985	38,9	31,0	39,9	32,5	68,4	79,7	84,5	74,7	48,8	46,7	39,5	49,1	<b>644,2</b>	140,8	238,9	135,0	129,5	
1986–1990	49,4	29,9	29,1	50,6	66,8	94,0	70,5	98,5	51,3	27,5	43,7	55,0	<b>656,0</b>	146,6	263,1	122,5	123,8	
1991–1995	41,3	32,0	58,2	59,0	62,6	70,2	57,6	61,4	73,5	55,0	6,3	53,5	<b>670,8</b>	179,8	189,3	174,8	126,9	
1996–2000	40,1	51,2	51,9	54,5	69,0	117,2	125,6	73,4	68,0	57,1	52,6	40,2	<b>800,8</b>	175,4	316,2	177,6	131,5	
2001–2005	60,5	52,1	48,3	59,5	74,8	64,0	106,1	77,3	54,4	42,1	44,0	53,9	<b>737,0</b>	182,7	247,4	140,5	166,4	
Średnie 5-letnie – Mean 5-years																		
1961–1970	43,7	44,9	40,5	39,6	87,0	105,8	102,6	95,5	39,6	42,6	61,6	51,3	<b>754,7</b>	167,1	303,8	143,9	139,9	
1971–1980	46,8	35,4	35,2	56,1	72,6	91,8	91,4	85,2	65,5	59,0	44,2	44,5	<b>727,6</b>	163,9	268,3	168,7	126,7	
1981–1990	44,2	30,5	34,5	41,6	67,6	86,9	77,5	86,6	50,1	37,1	41,6	52,0	<b>650,1</b>	143,7	251,0	128,8	126,7	
1991–2000	40,7	41,6	55,0	56,8	65,8	93,7	91,6	67,4	70,7	56,1	49,4	46,8	<b>735,8</b>	177,6	252,7	176,2	129,2	
Średnie 10-letnie – Mean 10-years																		
1961–1990	44,9	36,9	36,7	45,8	75,7	94,8	90,5	89,1	51,7	46,2	49,1	49,2	<b>710,8</b>	158,2	274,4	147,1	131,1	
1971–2000	43,9	35,8	41,6	51,5	68,7	90,8	86,8	79,7	62,1	50,7	45,1	47,8	<b>704,5</b>	161,7	257,4	157,9	127,5	
Średnie 30-letnie – Mean 30-years																		

W – Wiosna – Spring, L – Lato – Summer, J – Jesień – Autumn, Z – Zima – Winter



Ryc. 2. Wieloletni przebieg udziałów sezonowych sum opadów w sumie rocznej w Ojcowie w latach 1956–2005: W – wiosna, L – lato, J – jesień, Z – zima

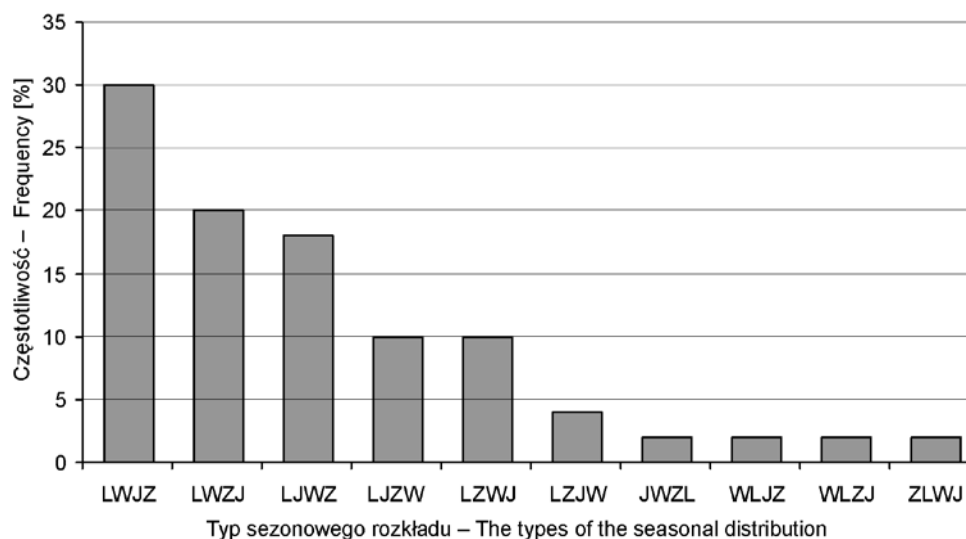
Fig. 2. Multi-annual course of percentage of seasonal precipitation totals in the total annual precipitation in Ojców in the years 1956–2005: W – spring, L – summer, J – autumn, Z – winter

Zróżnicowanie czasowe opadów podkreślały także wieloletnie przebiegi sum sezonowych (ryc. 2). Opady wiosny (III–V) stanowiły od 12,8% (1974 r.) do 36,6% sumy rocznej. Najbardziej wilgotne (>200 mm) okresy wiosenne zanotowano 8-krotnie, w latach: 1962, 1966, 1977, 1979, 1994 (maksimum 50-letnie: 283,5 mm), 1996, 2000 i 2001 r. Największe niedobory opadów (<100 mm) zanotowano wiosną 1959 r., 1973 r. oraz 1982 r. (najniższe w wieloleciu – 78,1 mm).

W okresie letnim (VI–VIII) następowało kumulowanie opadów, wyrażone największym (34,0–40,8%) ich udziałem i największym zróżnicowaniem (od 11,5% w 1992 r. do 54,9% w 1960 r.) tegoż udziału w sumie rocznej. Najbardziej zasobne w opady (>400 mm) były sezony letnie 1960 r., 1966 r., 1970 r. (najwyższe sumy w wieloleciu – 479,1 mm), oraz 1997 r. i 2001 r. Najbardziej ubogie w opady (<100 mm) było tylko lato 1992 r. (63,1 mm). Stwierdzone niedobory opadów spowodowały wystąpienie wówczas letniej suszy atmosferycznej, która pojawiła się na przeważającej części Polski (Lorenc i in. 2008).

Opady jesieni (IX–XI) były niższe od opadów wiosny, ale ich udział w sumie rocznej miał nieco większy zakres, wynoszący 8,0%–37,2%. Najwięcej opadów (>200 mm) zanotowano w jesieni 1974 r. (272,1 mm), a najniższe sumy (<100 mm) wystąpiły 9-krotnie tj. w 1957 r., 1959 r. (najniższe w wieloleciu), 1961 r., 1972 r., 1985 r., 1986 r., 1988 r., 2000 r. i 2005 r. Zastanawiająca była wyraźna koncentracja najniższych sum opadów jesieni w dekadzie lat 80. XX w. (3-krotnie) i ich brak w dziesięcioleciu 1991–2000.

Najmniej opadów przypada na okres zimy (XII–II); ich udział w sumie rocznej wynosił od 7,9% w 1989 r. do 36,7% w 2005 r. Sporadycznie, bo tylko 3-krotnie zanotowano sumy >200 mm: w 1970 r., 1977 r. oraz w 2005 r. (najwyższe – 273,1 mm). Zmniejszone opady w zimie – w stosunku do pozostałych pór roku – podkreślała notowana największa liczba sezonowych sum opadów <100 mm. W badanym 50-leciu opady takie wystąpiły 14-krotnie, a najmniejsze (51,9 mm) w zimie 1989 r.



Ryc. 3. Typy sezonowego rozkładu opadów w Ojcowie w latach 1956–2005: W – wiosna, L – lato, J – jesień, Z – zima

Fig. 3. Types of seasonal precipitation distribution in Ojców in the years 1956–2005: W – spring, L – summer, J – autumn, Z – winter

Obrazem zróżnicowania w czasie opadów była wielkość współczynnika zmienności  $v$ . Okres wiosny cechowała zmniejszona – w stosunku do pozostałych pór roku – zmienność opadów; współczynnik  $v$  wynosił 27,3%. W okresie letnim dyspersja opadów miała podobny do poprzedzającego je sezonu wiosennego charakter (wartość  $v$  była o 2,3% wyższa). Dla miesięcy jesiennych charakterystyczne było zwiększone rozproszenie opadów, potwierdzone współczynnikiem równym 33,0%. Sezon zimowy cechował się największą zmiennością opadów; współczynnik  $v$  wynosił 33,8%.

Średnie wieloletnie sumy opadów poszczególnych pór roku wykazywały wyraźną synchroniczność (tab. 2). Cecha ta dotyczyła najwyższych średnich sum 5-letnich sezonu letniego i jesieni, z pentady 1996–2000 oraz wiosny i jesieni, obejmujących okres 2001–2005. Z kolei najbardziej ubogie w opady były: wiosna, jesień i zima 1956–1960, a sezon letni w pięcioleciu 1991–1995. Podobna zgodność dotyczyła najwyższych opadów w okresach 10-letnich: wiosny i jesieni w latach 1991–2000 oraz lata i zimy w dekadzie 1961–1970. Najbardziej suche były sezony wiosenne i jesienne w dziesięcioleciu 1981–1990 oraz lata i zimy w okresie 1961–1970.

Zmienne udziały opadów sezonowych w sumie rocznej dokumentują różne typy ich rozkładu w roku. W świetle ustaleń dokonanych przez K. Kożuchowskiego, J. Wibig (1988) Ojców lokuje się w typie Polski południowej, w którym dominują opady lata, następnie wiosny, jesieni a najmniejszy udział mają opady zimy (LWJZ). Ten typ dominował w Ojcowie w badanym 50-leciu (30% lat). Łącznie wyróżniono 10 typów sezonowego rozkładu opadów (ryc. 3). Wśród nich opady pory letniej znajdowały się na pierwszej pozycji

w 6 typach (88% lat badanego okresu), w 2 typach sumy wiosny; 2-krotnie zdarzyły się nawet pojedyncze lata, w których największy udział w sumie rocznej miały opady jesieni (1992 r.) oraz zimy (2005 r.).

Wskaźnikiem rozkładu sezonowego sum opadów, przyjmowanym także za miarę oceanizmu pluwiального jest iloraz opadów zimy i lata (Kožuchowski, Wibig 1988). W Ojcowie jego wartość wahała się od 2,3 w 1992 r. do 0,2 w latach: 1960, 1971, 1989, i 1996 r., przy średniej równej 0,5. Najwyższe wartości wskaźnika (1,1 w 2005 i 2,3 w 1992 r.) wskazywały możliwość wystąpienia wybitnie cech oceanicznych, które należy określić znanym terminem „nadoceanizm”.

Jedną z cech kontynentalizmu pluwiального była przewaga opadów wiosennych nad jesiennymi, a miarą go określającą, iloraz sum opadów tych pór roku. W badanym 50-leciu, w Ojcowie 29 lat wyróżniało się przewagą opadów wiosennych, a najniższa wartość tego wskaźnika wynosiła 0,4 (w 1972 r. i 2005 r.). Natomiast wyraźnie bogatsza w opady była jesień 1956 r. i 1974 r., kiedy iloraz osiągnął najwyższe wartości, odpowiednio 2,0 i 2,4.

#### **Miesięczne sumy opadów**

Kontrast opadowy wywołany przez wysokość bezwzględną i rzeźbę terenu podkreślał roczny przebieg opadów. Jego podstawową cechą była nierównomierność w układzie wieloletnim. W badanym 50-leciu najbardziej obfite w opady były miesiące letnie, z maksimum w lipcu (94,0 mm). Najwyższe sumy w okresie letnim były przejawem kontynentalnych cech przebiegu opadów, gdyż ich wystąpieniu sprzyjały największe częstości kierunków napływu wilgotnego powietrza z zachodu i północnego-zachodu (Brzeźniak 2005) oraz optymalne warunki do tworzenia się opadów konwekcyjnych. Dla okresu letniego charakterystyczne było największe rozproszenie opadów; w lipcu odchylenie standardowe wynosiło  $\pm 51,0$  mm. Nieznaczne drugorzędne maksimum opadowe pojawiło się w grudniu (48,5 mm). Najniższe opady występowały w lutym (38,2 mm); niskie były także w marcu i styczniu. Słabo zaznaczone drugorzędne minimum opadowe przypało na październik (46,0 mm).

Bardzo obfite opady, dające wysokie sumy, lub znaczące niedobory opadów zdarzały się sporadycznie także w innych miesiącach. W analizowanym półwieczu rekordowo wysokie opady zanotowano w lipcu 1997 r., kiedy suma miesięczna wyniosła 258,7 mm (tj. 275% średniej sumy 50-letniej). W poszczególnych latach maksimum opadów pojawiało się w różnych miesiącach (za wyjątkiem listopada i grudnia): najczęściej w czerwcu (36% lat), oraz w lipcu (26% lat) i sierpniu (18% lat), w pojedynczych latach także w styczniu (1983 r.), lutym (1977 r.), marcu (1958 r.), kwietniu (1994 r.) i wrześniu (1996 r.).

Znaczące niedobory opadów wystąpiły w październiku 1961 r. z sumą miesięczną równą 0,7 mm (tj. zaledwie 1,5% średniej wieloletniej normy października), oraz w grudniu 1972 r. (1,9 mm), marcu 1974 r. (2,3 mm) i lutym 1976 r. (2,5 mm). Sumy miesięczne niższe od 10,0 mm zanotowano także w czerwcu 1992 r., sierpniu 1992 r. oraz wrześniu 1969 r. Minimum roczne opadów podlegało bardzo dużym zmianom w poszczególnych latach, a występowało (za wyjątkiem lipca) we wszystkich miesiącach roku. Poza październikiem (20%) najniższe miesięczne sumy opadów pojawiały się często w styczniu (18%) i lutym (18%), nieco rzadziej w marcu (14%) i grudniu (12%), sporadycznie w maju, czerwcu i sierpniu (po 2%).



Różnica między maksymalnymi i minimalnymi sumami miesięcznymi opadów została przyjęta za ważny wskaźnik rocznego przebiegu opadów. Średnia wieloletnia jej wartość, wyrażona w procentach sumy rocznej wynosiła w Ojcowie 16,0%, najmniejsza w 1979 r. (9,4%), największa w 1997 r. (29,6%). W świetle tych danych, przyjmując za K. Chomiczem (1971) amplitudę roczną opadów za kryterium typologii, Dolinę Prądnika w Ojcowie zaliczono do typu wybitnie kontynentalnego z wartością amplitudy z wielolecia równą 16%. Tylko cztery lata (1958 r., 1979 r., 1981 r. i 1987 r.) można zakwalifikować do typu kontynentalno-morskiego z amplitudą około 10%, a kolejne pięć lat do typu quasikontynentalnego, z amplitudą około 11%. Pozostałe 41 lat charakteryzowało się wybitnie kontynentalnym typem rocznego przebiegu opadów, z czego w 12 latach amplituda wahała się w granicach 12–15%, kolejnych 21 latach 15,1–20,0% a w 8 latach 20,0–29,6%. Stwierdzono, że w rocznym przebiegu opadów w Ojcowie dominowały cechy kontynentalne.

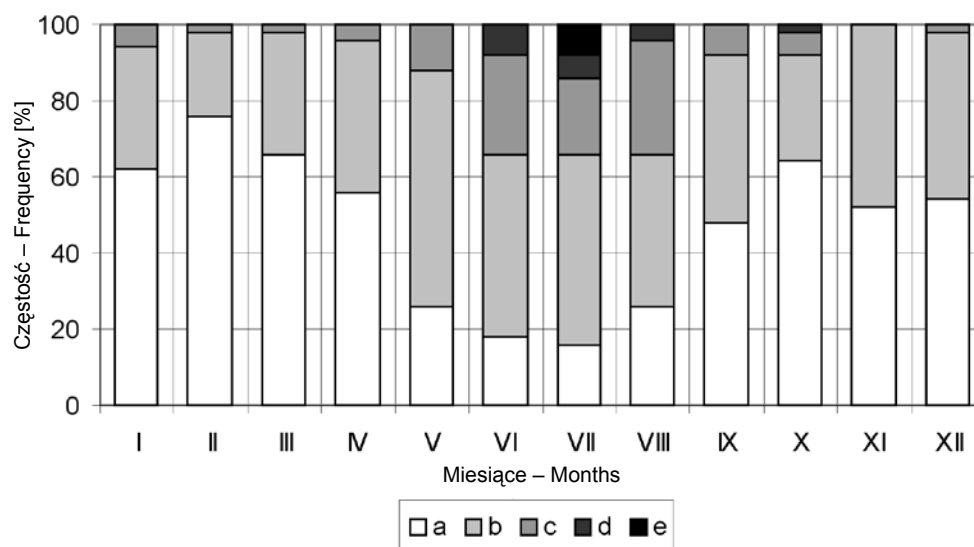
## STRUKTURA OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH

Opady atmosferyczne w wieloleciu 1956–2005 w Ojcowie wykazały dużą zmienność czasową. Pełniejszy jej obraz ujawniło poznanie struktury, zwłaszcza liczebności i częstości występowania klas opadów w określonych przedziałach wielkości (Kozuchowski 1985).

Na badanym obszarze, w ciągu roku najsilniej były reprezentowane opady o sumach miesięcznych  $\leq 50$  mm (47,0%) oraz sumach zamkniętych w przedziale 51–100 mm (40,8%). Najniższa frekwencja dotyczyła opadów wysokich, o sumach miesięcznych  $> 200$  mm (0,7%). W półroczu ciepłym w stosunku do półrocza chłodnego aż o 28% zmniejszyła się częstość występowania niskich sum opadów ( $\leq 50$  mm), ale o 9,0% zwiększyła się częstość sum opadów w klasie 51–100 mm. Opady najwyższe występowały tylko w półroczu ciepłym.

Wyraźna odrębność częstości występowania sum opadów zaznaczała się w kolejnych porach roku. Frekwencja miesięcznych sum opadów niższych od 50 mm przyjmowała charakterystyczny przebieg: od najniższych wartości w lecie (5,0%) do najwyższych w zimie (16,0%). Ten ostatni sezon – podobnie jak wiosna – cechował się brakiem opadów o sumach miesięcznych wyższych już od 150 mm. Okres letni – w porównaniu z pozostałymi porami – odznaczał się zmniejszoną częstością opadów niskich, największą (11,5%) opadów w przedziale 50,1–100,0 mm oraz spadkiem częstości w kolejnych klasach, aż do największych opadów o sumach miesięcznych powyżej 200 mm (0,7%). Wiosna, jesień i zima są okresami, w których następowało zmniejszanie frekwencji sum miesięcznych od opadów niskich ( $\leq 50$  mm) do opadów wysokich ( $> 200$  mm); różnicowała je częstość opadów w poszczególnych klasach.

W przebiegu rocznym udział opadów o sumach miesięcznych mniejszych od 50 mm przyjmował najwyższe wartości w okresie od października do kwietnia i przewyższał 50%, osiągając maksimum (76%) w lutym (ryc. 4). W miesiącach od kwietnia do grudnia (za wyjątkiem października) znacząco wzrastała częstość opadów w klasie 51–100 mm, od 40% w kwietniu i sierpniu do 62% w maju. Z kolei w miesiącach letnich zaznaczała się największa frekwencja sum opadów w przedziale 101–150 mm (20–30%). Dominację opadów w okresie lata potwierdzały również największe częstości w klasie 151–200 mm (4–8%), a także – notowane jedynie w lipcu – sumy miesięczne powyżej 200 mm (8%).



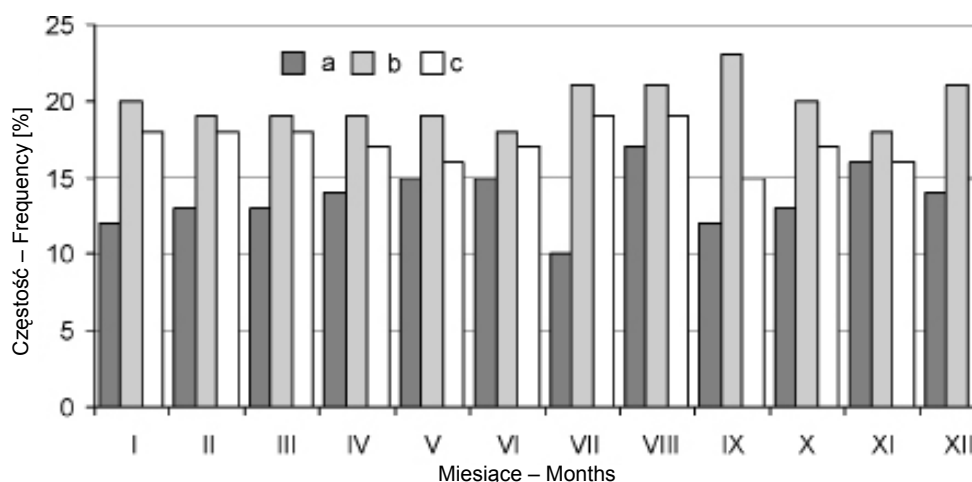
Ryc. 4. Histogramy częstości miesięcznych sum opadów w Ojcowie w latach 1956–2005; sumy miesięczne opadów: a – < 50 mm, b – 50–100 mm, c – 100–150 mm, d – 150–200 mm, e – > 200 mm

Fig. 4. Histograms of frequency of monthly precipitation totals in Ojców in the years 1956–2005; monthly precipitation totals: a – < 50 mm, b – 50–100 mm, c – 100–150 mm, d – 150–200 mm, e – > 200 mm

Miesięczne sumy opadów w poszczególnych klasach występowały pojedynczo lub jako ciągi opadów. Największa liczba sekwencji wielomiesięcznych dotyczyła klasy opadów  $\leq 50$  mm. W badanym wieloleciu wyznaczono dziewięć ciągów 4-miesięcznych, sześć 5-miesięcznych, dwa 6-miesięczne oraz najdłuższy 7-miesięczny, który obejmował okres od października 1960 r. do kwietnia 1961 r. Opady o sumach miesięcznych w granicach 51–100 mm były notowane najczęściej jako jednomiesięczne lub w ciągach 2- i 3-miesięcznych, dziesięciokrotnie w 4-miesięcznych, dwukrotnie 5-miesięcznych, a najdłuższa sekwencja obejmowała okres od marca do września 1977 r. Opady w przedziale 101–150 mm grupowały się co najwyżej w ciągi 2-miesięczne (dziesięciokrotnie) i to jedynie w okresie późnej wiosny, lata i wczesnej jesieni. Klasy opadów: 151–200 mm i >200 mm dotyczyły tylko pojedynczych miesięcy.

## OPADY NORMALNE I ANOMALIE OPADOWE

Różnokierunkowe wahania sum opadów, zarówno rocznych, sezonowych jak i miesięcznych wykazywały na występowanie okresowych nadmiarów i niedoborów opadów. W Ojcowie w 50-letniej serii sum rocznych opady normalne wyznaczone metodą odchylenia standardowego ( $\pm 0,5 \sigma$ ) stanowiły 38% lat. Udział lat o ponadnormatywnych opadach (nadmiarach) wynosił 30% i był zaledwie o 2% niższy od opadów poniżej normy (niedoborów). Z punktu widzenia warunków środowiskowych istotny był udział lat o najwyższych sumach rocznych opadów, które zgodnie z przyjętą metodą, wyznaczały sumy średnie równe i wyższe od  $+2,5 \delta$ . Do tej grupy zakwalifikowano sumy roczne



Ryc. 5. Częstość występowania miesięcy o dodatniej anomalii opadowej (a), opadach normalnych (b) i ujemnej anomalii opadowej (c) w Ojcowie w latach 1956–2005

Fig. 5. Frequency of occurrence of months with a positive precipitation anomaly (a), months with normal precipitation (b), and months with a negative precipitation anomaly (c) in Ojców in the years 1956–2005

z czterech lat, zanotowane w roku 1966, 1970, 1974 i 2001. Lata o ujemnej anomalii opadów wyznaczały okresy suche, pojawiały się głównie jako anomalie o wartości odchyień w granicach  $0,5 \delta - 1,5 \delta$ . Jedynie lata 1957 i 1958 zapisały się jako lata o skrajnym deficycie opadów (suma roczna  $< -2,5 \delta$ ).

W układzie pór roku, frekwencja lat o sumach opadów w granicach normy i anomalnych była zbliżona do wartości dotyczących sum rocznych. Udział opadów normalnych wahał się od 38% jesienią, 40% wiosną i zimą do 42% latem. Częstość lat o anomalii dodatniej zmieniała się w granicach od 26% w sezonie letnim, 28% w zimie i wiosną do 30% w okresie jesieni. Frekwencja lat o niedoborach opadów była jednakowa dla wszystkich sezonów i wynosiła 16%.

Typową dla Ojcowa zmienność klimatu podkreślała mniejsza częstość miesięcy normalnych (od 36% w czerwcu i listopadzie do 46% we wrześniu) niż anomalnych (ryc. 5). Frekwencja opadów miesięcznych większych od normy miała bardzo nieregularny przebieg roczny i zmieniała się od 20% w lipcu do 34% w sierpniu. W pierwszych miesiącach roku oraz we wrześniu i październiku sięgała 24–26%, a w listopadzie 32%. Największe zróżnicowanie zaznaczyło się w częstości miesięcy o sumach w przedziale o wartościach niższych od opadów normalnych. Udział miesięcy o największym deficycie opadów wahał się od 30% we wrześniu i grudniu do 38% w lipcu i sierpniu, miesiącach o największych różnicach skrajnych sum opadów (236,5 mm w lipcu, 173,0 mm w sierpniu).

Anomalie dodatnie opadów najczęściej występowały w pojedynczych miesiącach, rzadziej w ciągach 2-miesięcznych. Sekwencje 3-miesięczne zdarzyły się 8-krotnie, zaś ciągi 4-miesięczne wystąpiły 2-krotnie: od czerwca do września 1960 r. oraz od stycznia do kwietnia 1998 r. Najdłuższą była seria 5-miesięczna, która pojawiała się w okresie od kwietnia do sierpnia 1966 r. Miesiące o anomaliami ujemnymi występowały głównie jed-

nostkowo. Najdłuższe ciągi 4-miesięczne zanotowano 6-krotnie, pojedynczy przypadek 5-miesięczny wystąpił w okresie styczeń–maj 1956 r., a rekordową serię 6-miesięczną zanotowano od kwietnia do września 1983 r.

Okresowe nadmiary opadów, wyrażone wysokimi sumami miesięcznymi były najczęściej efektem krótkotrwałych ulew, połączonych z burzami pochodzenia termicznego (Cebulak, Niedźwiedź 1998). Na Wyżynie Małopolskiej występowały szczególnie często deszcze nawalne (Cebulak 1991). W Dolinie Prądnika katastrofalne skutki miał opad nawalny w dniu 22 maja 1937 r. (Kondracki 1937). Znamienne konsekwencje miały opady w lipcu 1970 r., kiedy w ciągu doby 18 lipca w Ojcowie spadło 120,3 mm deszczu. Gwałtowne opady burzowe wystąpiły w maju 1996 r., dwukrotnie powodując w Dolinie Prądnika katastrofalne powodzie tj. 15 maja i 18 maja (Cebulak, Niedbała 2001). W zimie 2009/2010 wystąpiło zjawisko szadzi, które spowodowało szkody w drzewostanach OPN i liniach energetycznych oraz utrudniło komunikację (ryc. 6).

#### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Opady atmosferyczne w 50-leciu 1956–2005 w Ojcowie wykazały dużą zmienność czasową, będącą w znacznym stopniu wynikiem oddziaływania różnych form cyrkulacji atmosferycznej. Charakterystyczne dla Doliny Prądnika było wystąpienie kulminacji opadów w latach 60., zwłaszcza w pięcioleciu 1965–1970 oraz 70. XX w., przede wszystkim w okresie 1974–1980, synchroniczne z przewagą cyklonalnych sytuacji barycznych



Ryc. 6. Zjawisko szadzi w Ojcowie zima 2009/2010. Fot. J. Partyka

Fig. 6. Hoar-frost phenomena at Ojców in winter 2009/2010. Photo by J. Partyka

nad Polską południową. Podwyższone sumy opadów tj. wyższe od średniej wieloletniej notowano także w dekadzie lat 90. oraz w pierwszych latach XXI w. Okresy suche przypadły na drugą połowę lat 50. oraz lata 80. Cechy te odpowiadały właściwościom reżimu opadowego Polski (Ziernicka-Wojtaszek 2006).

Wieloletnią zmienność opadów w Ojcowie podkreślały charakterystyki ich przebiegu rocznego: typy rozkładu w ciągu roku, ilorazy opadów zimy i lata oraz wiosny i jesieni, ciągi opadów o sumach o określonych przedziałach wartości, częstości opadów normalnych i anomalnych. Analizowane cechy reżimu opadowego nawiązywały do tendencji wyznaczonych dla całego kraju lub jego południowych fragmentów, np. współczynniki zmienności ( $v$ ) były największe w październiku (69,8%), najmniejsze w listopadzie (34,9%) i maju (37,5%). Równocześnie położenie Ojcowia w „cieniu opadowym” Doliny Prądnika skutkowało określonymi „osobliwościami” pluwialnymi zaznaczonymi w strukturze czasowej opadów, zwłaszcza długości sekwencji opadowych. Na tle innych punktów pomiarowych usytuowanych na podobnych wysokościach bezwzględnych w Polsce południowej, w Ojcowie częściej występowały opady o sumach miesięcznych  $\leq 50$  mm, ale mniejszy był udział opadów miesięcznych większych od 100 mm. Różnice te wynikały zapewne z warunków położenia stacji na dnie kanionu krasowego.

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. 1974. *Ogólna charakterystyka warunków klimatycznych w okolicy Ojcowskiego Parku Narodowego* [w:] K. Zabierowski (red.), *Rozmieszczenie przestrzenne i struktura leśnych pasów ochronnych wokół Ojcowskiego Parku Narodowego*. Kraków, Zakład Ochrony Przyrody PAN, maszynopis, ss. 35.

Brzeźniak E. 2005. *Cyrkulacja atmosferyczna nad Polskimi Karpatami Zachodnimi w drugiej połowie XX wieku*. „Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich”, **51**: 81–89.

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.

Cebulak E. 1991. *Najwyższe zanotowane maksymalne opady dobowe w dorzeczu górnej Wisły i ich geneza*. „Acta Universitatis Wratislaviensis”, *Prace Instytutu Geografii*, **1213**: 167–171.

Cebulak E. 2005. *Ekstremalne zjawiska opadowe w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej* [w:] J. Partyka (red.), *Zróźnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, t. 3 – suplement. Ojców, s. 25–34.

Cebulak E., Niedbała J. 2001. *Katastrofalne wezbranie we wsi Sułoszowa w dniu 18 maja 1996 roku – przyczyny, przebieg, skutki* [w:] J. Partyka (red.), *Badania naukowe w południowej Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej*. Ojców, s. 31–34.

Cebulak E., Niedźwiedz T. 1998. *Ekstremalne zjawiska opadowe w dorzeczu górnej Wisły w latach 1995–1996*. „Dokumentacja Geograficzna”, **11**: 11–30.

Chomicz K. 1971. *Struktura opadów w Polsce*. „Prace PIHM”, **101**: 25–66.

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., Niedźwiedź T., Sztyler A. 1965. *Badania mikroklimatyczne na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego*, „Ochrona Przyrody”, **31**: 189–201.
- Kondracki J. 1937. Skutki ulewy w dniu 22 maja 1937 r. w dolinie Prądnika. „Przegląd Geograficzny”, **16**: 161–165.
- Kossowska-Cezak U. 2000/2001. *Miesięczne i sezonowe anomalie temperatury i opadów – metody wyznaczania i częstość występowania*. „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska”, Sec. B, **55/56**: 189–194.
- Kożuchowski K. 1985. *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w stuleciu 1881–1980*, „Acta Geographica Lodzienia”, **48**: 1–158.
- Kożuchowski K., Wibig J. 1988. *Kontynentalizm pluwialny w Polsce: różnicowanie geograficzne i zmiany wieloletnie*, „Acta Geographica Lodzienia”, **55**, 1–102.
- Lorenc H., Mierkiewicz M., Sasim M. 2008. *Susze w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem roku 2006 (historia, przyczyny, natężenie, zasięg, skutki, wnioski)*. „Wiadomości Meteor. Hydrol. Gospodarki Wodnej”, **2**, 1–2: 3–32.
- [Stronczyński K.]. 1855. [W:] [Stronczyński K., Taczanowski W., Waga A.]. *Sprawozdanie z podróży naturalistów odbytej w r. 1854 do Ojcowa*. „Biblioteka Warszawska”, tom II, ogólnego zbioru XLVIII, kwiecień 1855, s. 142–172.
- Ziarnicka-Wojtaszek A. 2006. *Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971–2000*. [w:] J. Trepiańska, Z. Olecki (red.), *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*. Kraków.

## SUMMARY

In Ojców, a significant factor that influences the shaping of features of precipitation changeability – apart from circulation processes – are local conditions, i.e. its situation in the Prądnik Valley. Thanks to that, a multi-annual trend of annual, seasonal and monthly precipitation (in the years 1956–2005) revealed a considerable diversity of their changes (Tab. 1).

Non-periodical fluctuations of precipitation are underlined by 5-year moving means (Fig. 1), mean totals of five, ten and thirty years (Tab. 2), and the sums of conventionally defined seasons of the year (Fig. 2). The share of the latter in an annual total allowed for distinguishing 10 types of annual distribution, among which the LWZJ type dominated (30% of years under study; Fig. 3).

The time structure is represented by precipitation in defined size intervals. During the year, rainfalls with monthly totals  $\leq 50$  mm (47.0%) and with totals limited within the interval from 51 to 100 mm, were represented most intensively. The lowest frequency concerned high precipitation, with monthly totals exceeding 200 mm (0.7%), which were recorded only in July (Fig. 4).

Anomalies, which also express precipitation changeability, are underlined by periods with the shortage (dry years) and excess (humid years) of rainfalls. In the series under study, 15 dry years, 16 humid years, and 19 years of normal precipitation occurred. Periodical excesses of precipitation, represented by high monthly totals were most often effects of short-term downpours of rain, connected with storms of thermal origin (Cebulak, Niedźwiedź 1998).