

Janusz Filipiak

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii,
Instytut Geografii
Katedra Meteorologii i Klimatologii
80–261 Gdańsk, ul. Bażyńskiego 4
e-mail: filipiak@ug.edu.pl

**DLUGOOKRESOWA ZMIENNOŚĆ OPADÓW
ATMOSFERYCZNYCH W GDAŃSKU W OKRESIE 1880–2008**

**Variability of precipitation totals in Gdansk
in the period 1880–2008**

Summary. The paper reports the reconstruction of monthly precipitation series in northern Poland. The source database comprised series from 12 stations, with data ranging from 1880 to 2008. Firstly, a reconstruction of the series was performed. Then the reconstructed series was subjected to a check of the homogeneity using the Standard Normal Homogeneity Test, which allowed detection of some inconsistencies present in the original data and introduced by the reconstruction process. In the last stage, the analysis of the long-term variability were presented. No significant negative trend was detected in the annual precipitation totals in the period 1880–2008.

Słowa kluczowe: opady atmosferyczne, zmienność długookresowa elementów klimatu, rekonstrukcja serii pomiarowej, homogenizacja danych

Key words: atmospheric precipitation, the long-term variability of climatic elements, reconstruction of climatic series, data homogenization

WSTĘP

W efekcie nieustannych wysiłków klimatologów na całym świecie rośnie liczba długich serii klimatologicznych, o kluczowej wartości w procesie analiz długoterminowej zmienności i zmian klimatu. Od 2006 r. również w zespole gdańskich klimatologów prowadzone są prace, które zmierzają do zrekonstruowania instrumentalnej serii pomiarów meteorologicznych w Gdańsku w okresie od roku 1739 (m.in. Filipiak 2007a, Filipiak, Miętus 2010). Zakres

dostępnych do analizy zbiorów jest sukcesywnie powiększany dzięki digitalizacji rezultatów prowadzonych na terenie miasta pomiarów i obserwacji meteorologicznych, zawartych w wielu pracach z okresu od XVII wieku, jak też danych znajdujących się w sukcesywnie przekazywanych przez niemiecką służbę pogody (DWD) archiwalnych materiałach meteorologicznych, pochodzących sprzed II wojny światowej.

Celem opracowania jest rekonstrukcja serii opadów atmosferycznych w Gdańsku w możliwie jak najdłuższym okresie, na podstawie dostępnych ciągów pomiarów tego elementu, realizowanych od 1876 r. w różnych lokalizacjach na obszarze miasta.

PRZEDSTAWIENIE OBIEKTU BADAŃ

Gdańsk jest jednym z nielicznych miast w Polsce, w których pomiary opadów atmosferycznych rozpoczęte przed początkiem XX wieku są kontynuowane nieprzerwanie do dzisiaj. Pierwsza, ponad 30-letnia, izolowana seria pomiarowa pochodzi z okresu 1739–1772 i była dziełem wybitnego gdańskiego fizyka i matematyka Michaela C. Hanowa. Wyniki jej analizy zostały przedstawione przez autora w jednej z wcześniejszych prac (Filipiak 2007). Druga, krótsza i również izolowana seria pomiarowa pochodzi z drugiej dekady XIX wieku i przedstawia wyniki pomiarów sum opadów prowadzonej przez Johanna G. Klefelda.

Kolejny z okresów prowadzenia pomiarów opadów, trwający nieprzerwanie do czasów współczesnych, rozpoczął się wraz z chwilą uruchomienia w 1876 r. w dzielnicy Neufahrwasser (obecnie Nowy Port) stacji meteorologicznej działającej według zasad Deutsche Seewarte. W kolejnych dekadach działało na terenie Gdańska wiele stacji pomiarowych różnej rangi, począwszy od posterunków opadowych, jak Pumpstation (Stacja Pomp w dzielnicy Wrzeszcz) i Sandgrube (posterunek przy ulicy Rogaczewskiego w centrum Gdańska, w dzielnicy Główne Miasto) na przełomie XIX i XX wieku, poprzez duże i nowoczesne obserwatorium meteorologiczne na lotnisku w dzielnicy Langfuhr (Wrzeszcz), pełniące funkcję centralnej stacji tzw. Miejskiego Obserwatorium Meteorologicznego Wolnego Miasta Gdańska i działające niemal do końca II wojny światowej do obecnie funkcjonującej stacji synoptycznej w Porcie Północnym. Łącznie od 1876 r. na terenie Gdańska działało kilkanaście posterunków pomiaru opadów atmosferycznych. Większość zgromadzonych do analizy serii cechuje się dużą przydatnością ze względu na długość okresu pomiarowego oraz jakość i kompletność danych.

METODY BADAŃ

Podczas prac nad rekonstrukcją gdańskiej serii opadowej posłużono się metodą średniej ważonej wartości referencyjnej (Miętus 1996 za Alexandersson 1986):

$$P_s = \frac{\sum_{i=1}^4 P_i e^{-0,005L_i}}{\sum_i e^{-0,005L_i}} \quad (1)$$

gdzie: P_s – wartość referencyjnej serii opadu w miejscu lokalizacji stacji, P_i – wartość opadu w i -tej stacji, L_i – dystans (w km) między i -tą stacją a punktem, dla którego obliczane są wartości referencyjne.

Obliczeń dokonywano w odniesieniu do Głównego Miasta, historycznego centrum Gdańska. Ze względu na braki nie odtworzono danych z okresu 1876–1879. Rzeźba terenu Gdańska jest bardzo urozmaicona, silnie różnicująca warunki klimatyczne na obszarze poszczególnych części miasta. Dlatego podczas rekonstrukcji serii zdecydowano się na wykorzystanie danych ze stacji położonych jedynie na tzw. dolnym tarasie Gdańska, z pominięciem stacji znajdujących się w strefie krawędziowej Wysoczyzny Kaszubskiej (Siedlce) i na niej samej (lotnisko Rębiechowo). W analizie wykorzystano więc dane z 11 gdańskich stacji (tab. 1), skorzystano też z danych ze stacji w Gdyni, działającej od 1922 r.; szczególnie cenne były niemal kompletne dane z tej stacji z okresu od czerwca 1945 do grudnia 1947.

Tabela 1. Wykaz serii pomiarów opadów atmosferycznych na obszarze Gdańska od 1876 r. (nazwy oryginalne). Wyróżniono serie wykorzystane podczas analizy

Table 1. The list of precipitation stations in Gdansk active since 1876 (original names). Series analyzed in the paper are in bold

Lokalizacja stacji (dzielnica)	Okres obserwacji	Uwagi
Neufahrwasser	1876–1918	Stacja klimatologiczna
Nowy Port I	1919–1929	Stacja klimatologiczna
Pumpstation (Wrzeszcz)	1892–1911	Posterunek opadowy
Kampe (Wrzeszcz)	1898–1919	Posterunek opadowy
Kokoschken (Kokoszki)	1889–1909	Posterunek opadowy
Sandgrube (Główne Miasto)	1889–1925	Posterunek opadowy
Technische Hochschule (Politechnika, Wrzeszcz)	1905–do dzisiaj	Posterunek opadowy, po 1934 dane niedostępne

Lokalizacja stacji (dzielnica)	Okres obserwacji	Uwagi
Naturforschende Gesellschaft Danzig (Główne Miasto)	1920–1921	Stacja działająca przejściowo
Langfuhr Flughafen (lotnisko, Wrzeszcz)	1921–1944	Stacja synoptyczna
Neufahrwasser II	1940–1944	Posterunek opadowy
Schiewenhorst (Świbno)	1913–1917, 1939–1944	Posterunek opadowy
Siedlce	1947–1965	Stacja klimatologiczna (synoptyczna do 1948)
Świbno	1948–do dzisiaj	Stacja klimatologiczna (synoptyczna w okresie 1982–1992)
Wrzeszcz Lotnisko	1948–1985	Stacja synoptyczna do 1974, po 1980 stacja położona skrajnie niereprezentatywnie
Nowy Port II	1952–1977	Stacja klimatologiczna
Port Lotniczy Rębiechowo	1974–do dzisiaj	Stacja klimatologiczna (synoptyczna w okresie 1974–1982)
Port Północny	1987–do dzisiaj	Stacja synoptyczna

Podczas homogenizacji serii sum opadów w Gdańsku wykorzystano metodę stałych stosunków między danymi z Gdańska a serią referencyjną utworzoną z dostępnych m.in. na portalach ECA czy Climate Explorer serii sum opadów z Berlina, Schwerina, Lund, Uppsali i Sztokholmu, jak również dane z Koszalina (Miętus 1996). Odrzucono w tym przypadku dane z kilku dostępnych, stosunkowo blisko położonych stacji, np. w Wilnie, z uwagi na niehomogeniczność serii. Jednorodność serii zweryfikowano metodą uznawaną za najbardziej uniwersalną (rekomendacje COST E0601 HOME, m.in. Vicente-Serano i in. 2010), tj. testem Alexanderssona, o sposobie konstrukcji i zastosowaniu wielokrotnie opisywanych w literaturze (m.in. Alexandersson 1986, Miętus 1996, Wibig, Rzepa 2007).

WYNIKI BADAŃ

Wykryte zerwania serii dotyczyły okresu od 1880 do 1925 r. Jedną z przyczyn zidentyfikowanych błędów okazał się różny na poszczególnych stacjach sposób przypisywania danych o sumie opadu do konkretnej doby opadowej. Ostatecznie korekty wprowadzono w seriach opadów ze stycznia, lutego, maja i czerwca.

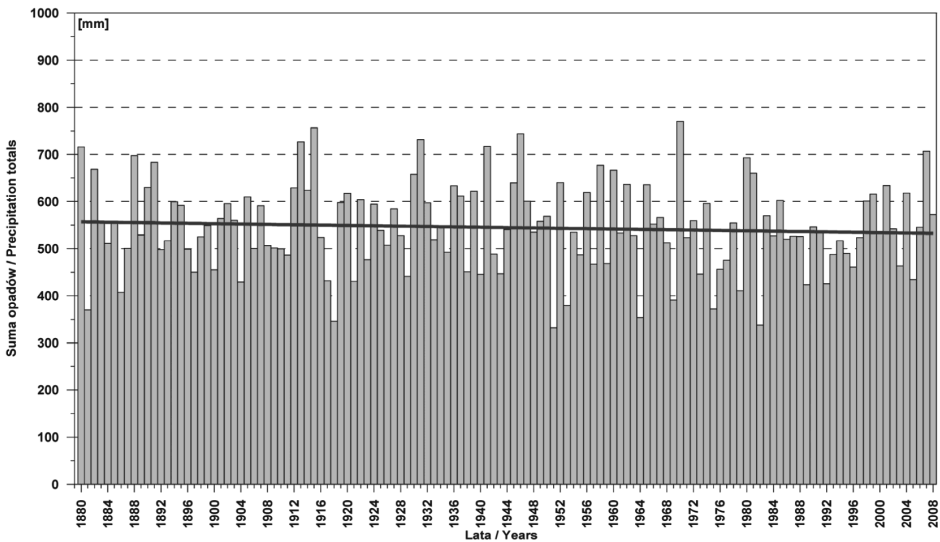
Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w Gdańsku w okresie 1880–2008 wyniosła około 545 mm (tab. 2). Międzyroczne wahania tej sumy w bada-

Tabela 2. Wartości podstawowych charakterystyk statystycznych miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych sum opadów atmosferycznych w Gdańsku (1880–2008)**Table 2.** Statistical characteristics of monthly, half-year and annual precipitation totals in Gdańsk (1880–2008)

Okres	Sumy opadów		Współczynnik zmienności	Odchylenie standardowe	Kwantyl			
	Średnie	Maksymalne			10%	30%	70%	90%
Styczeń	30,4	73,2	4,6	15,19	12,06	22,35	37,02	51,45
Luty	24,0	77,1	1,8	13,60	7,92	16,71	27,72	39,48
Marzec	27,3	75,0	6,1	15,14	9,64	17,24	32,36	49,48
Kwiecień	33,6	78,7	6,2	17,13	15,75	22,06	40,34	58,70
Maj	47,3	120,9	3,1	26,21	17,38	31,19	57,90	85,26
Czerwiec	56,8	136,3	3,0	26,51	26,00	41,77	68,74	91,16
Lipiec	71,5	189,2	3,6	36,25	33,48	49,29	86,12	114,87
Sierpień	68,8	160,7	2,0	32,89	32,39	47,15	81,80	115,83
Wrzesień	55,4	157,4	4,0	26,92	23,96	38,40	69,26	96,31
Październik	47,2	150,1	0,6	27,95	15,47	30,18	56,86	89,35
Listopad	43,0	126,2	4,5	21,55	19,57	29,77	49,53	65,85
Grudzień	36,9	91,9	3,7	18,87	15,61	25,90	43,83	62,07
Wiosna	108,1	198,9	22,9	33,93	63,99	89,18	125,46	145,80
Lato	197,1	373,2	18,9	61,36	124,09	159,58	236,79	276,62
Jesień	145,7	270,4	14,9	44,82	90,48	118,56	165,24	201,02
Zima	91,3	239,1	14,3	30,38	56,69	71,84	104,25	126,09
P. ciepłe	347,0	503,7	30,9	81,65	235,22	304,86	392,63	452,65
P. chłodne	195,4	340,7	29,8	42,70	144,57	175,66	211,49	253,68
Rok	544,6	769,9	43,2	93,37	430,27	499,82	596,65	666,89

nym wieloleciu były znaczne (ryc. 1). Współczynnik zmienności opadu, wyrażony stosunkiem minimum do maksimum wskazuje, że najniższa roczna suma opadów stanowiła niespełna 45% najwyższych rocznych opadów w rozpatrywanym okresie. Najwilgotniejsze okazały się lata 1880, 1913, 1915, 1931, 1941, 1946, 1970 i 2007, z sumami przekraczającymi 700 mm. Absolutnie najwyższa suma roczna równa 769,9 mm przypadła na rok 1970. Najsuchsze w Gdańsku były natomiast lata 1918, 1951 i 1982, w których sumy opadów nie przekraczały 350 mm. Absolutnie najniższa roczna suma opadów wystąpiła w roku 1951, wyniosła 332,4 mm.

Charakterystyczną cechą wieloletniego przebiegu rocznych sum opadów atmosferycznych w Gdańsku w okresie ostatnich blisko 130 lat jest brak jakich-



Ryc. 1. Przebieg wieloletni rocznych sum opadów atmosferycznych w Gdańsku (1880–2008); prosta przedstawia linię trendu

Fig. 1. Long-term variation of the annual precipitation totals in Gdańsk (1880–2008); the line represents linear trend

kolwiek statystycznie istotnych zmian ich wartości. Wartość współczynnika trendu liniowego opisującego zmiany opadów w Gdańsku jest ujemna i wynosi blisko $-0,2 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$ (tab. 3).

W rocznym przebiegu sum opadów najwilgotniejszymi miesiącami są lipiec i sierpień (tab. 2). W tych miesiącach spada w Gdańsku przeciętnie ok. 70 mm opadu. Najsuchsze są natomiast luty i marzec, z sumami opadów odpowiednio 24 i 27 mm. Opady letnie dominują w przebiegu rocznym, cechą charakterystyczną jest też duża przewaga sum opadów jesiennych nad wiosennymi. W przypadku półroczy (ciepłe od maja do października i chłodne od listopada do kwietnia, określone na podstawie kryterium prawdopodobieństwa wystąpienia opadów o charakterze przelotnym, charakterystycznych dla miesięcy ciepłych), stwierdzono, że sumy opadów półrocza ciepłego przewyższają te z półrocza chłodnego co najmniej o połowę.

Wartość odchylenia standardowego średnich rocznych sum opadów wynosi $\pm 93,37 \text{ mm}$ (tab. 2). Za rok suchy, w świetle założeń kwantylowej klasyfikacji opadowej (Miętus i in. 2005), można przyjąć taki z sumą nieprzekraczającą 430 mm (poniżej wartości kwantyla 10%), za rok wilgotny zaś taki, w którym suma opadów wyniesie co najmniej 667 mm (powyżej kwantyla 90%).

Duża zmienność międzysezonowa cechuje również sumy miesięczne. Wartości współczynnika zmienności jedynie w przypadku marca i kwietnia prze-

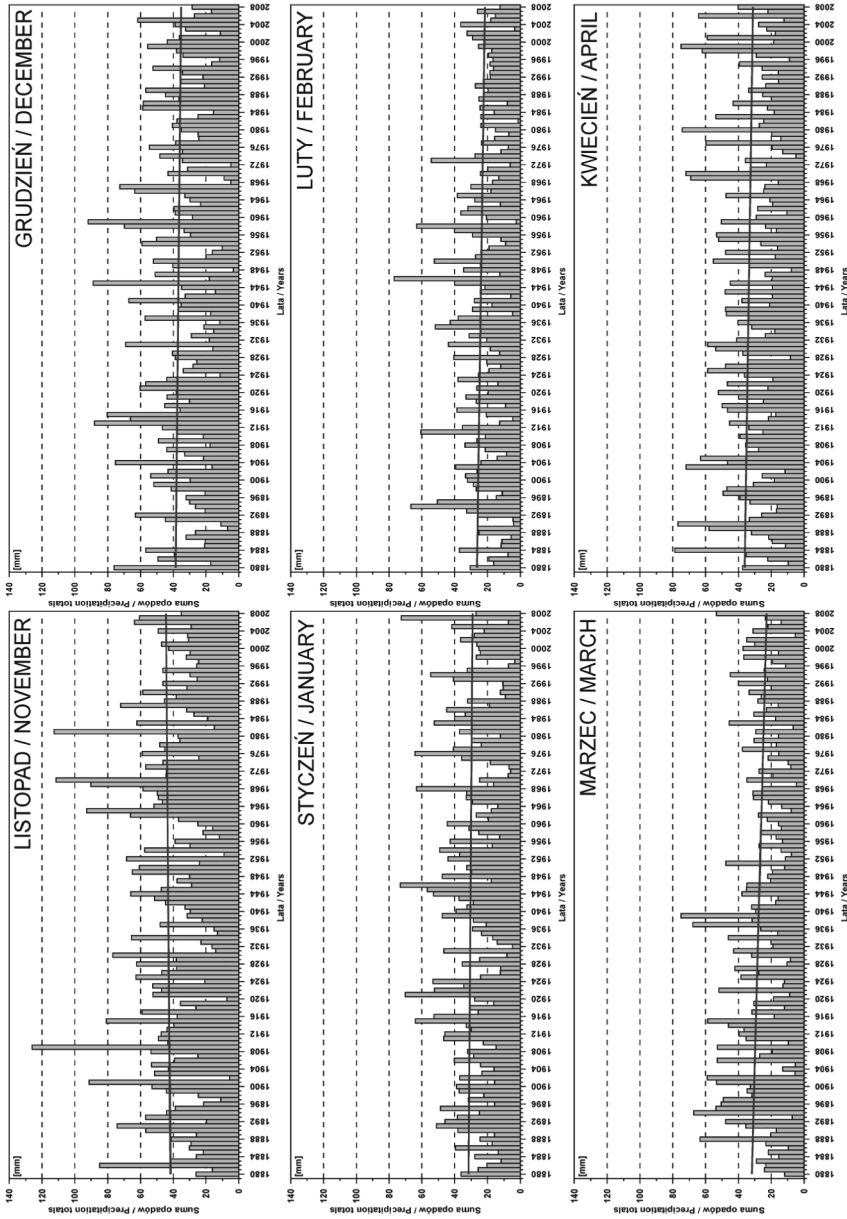
Tabela 3. Równania regresji liniowej miesięcznych, sezonowych, półrocznych i rocznych sum opadów atmosferycznych w Gdańsku (1880–2008); wartości istotne statystycznie na poziomie istotności $1-\alpha = 0,95$ pogrubiono

Table 3 Linear regression coefficients of monthly, half-year and annual precipitation totals in Gdańsk (1880–2008); statistically significant values $1-\alpha = 0.95$ are in bold

Okres	Równanie regresji
Styczeń	$Y = -0,019 (t-1880) + 31,7$
Luty	$Y = -0,038 (t-1880) + 26,5$
Marzec	$Y = -0,069 (t-1880) + 31,8$
Kwiecień	$Y = -0,039 (t-1880) + 36,1$
Maj	$Y = 0,016 (t-1880) + 46,2$
Czerwiec	$Y = 0,024 (t-1880) + 55,2$
Lipiec	$Y = -0,030 (t-1880) + 73,4$
Sierpień	$Y = -0,027 (t-1880) + 70,6$
Wrzesień	$Y = 0,033 (t-1880) + 53,2$
Październik	$Y = -0,028 (t-1880) + 49,1$
Listopad	$Y = 0,021 (t-1880) + 41,6$
Grudzień	$Y = -0,026 (t-1880) + 38,6$
Wiosna	$Y = -0,092 (t-1880) + 114,1$
Lato	$Y = -0,033 (t-1880) + 199,2$
Jesień	$Y = 0,026 (t-1880) + 143,9$
Zima	$Y = -0,077 (t-1880) + 96,3$
Półrocze ciepłe	$Y = -0,010 (t-1880) + 347,7$
Półrocze chłodne	$Y = -0,168 (t-1880) + 206,2$
Rok	$Y = -0,192 (t-1880) + 557,1$

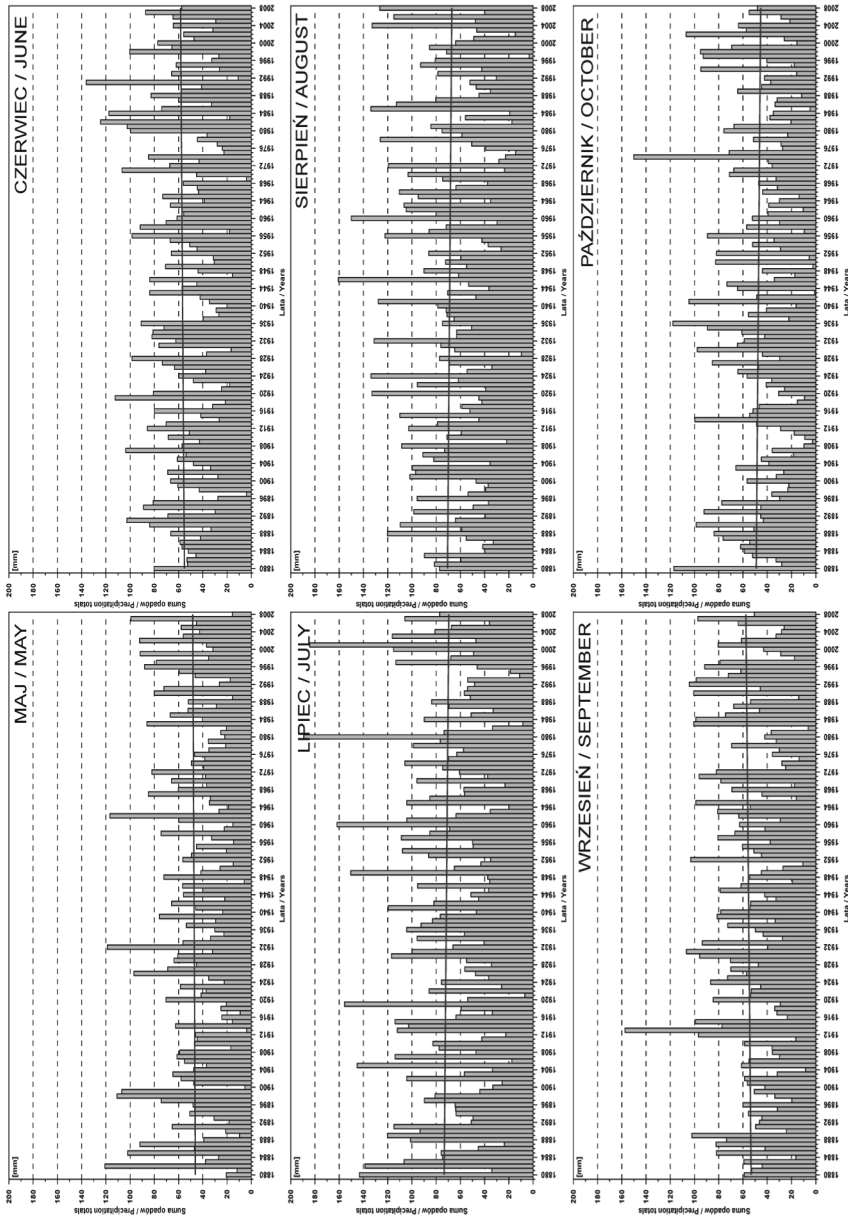
kraczącą 6%, w pozostałych miesiącach są mniejsze od 5%. Poszczególne pory roku cechują się wartościami tego współczynnika na poziomie od 14% (zima i jesień) do 22% (wiosna), w półroczach ciepłym i chłodnym wartości te wynoszą ok. 30%. Tak duża zmienność potwierdza jedną z charakterystycznych cech klimatu Polski, tj. ścieranie się wpływów oceanicznych i kontynentalnych (kontynentalne – letnie maksima opadowe i minima zimowe, oceaniczna – przewaga opadów jesiennych nad wiosennymi), w Gdańsku ponadto zaznacza się wpływ Morza Bałtyckiego.

W przypadku sum miesięcznych, sezonowych i półrocznych jedynie w marcu występuje statystycznie istotny, ujemny trend zmian długookresowych opadów. Ujemna tendencja zmian jest typowa dla większości miesięcy, cechuje ponadto długookresowe zmiany sum obydwu półroczy oraz większości sezonów. Dodatnia tendencja jest zauważalna jedynie w przypadku sum opadów atmosferycznych w maju, czerwcu, wrześniu i listopadzie oraz w jesieni (ryc. 2 i 3).



Ryc. 2. Przebieg miesięcznych sum opadów atmosferycznych w półroczu chłodnym w Gdańsku (1880–2008); prosta przedstawia linię trendu

Fig. 2. Cold half-year monthly precipitation totals in Gdańsk (1880–2008); the line represents linear trend



Ryc. 3. Przebieg miesięcznych sum opadów atmosferycznych w półroczu ciepym w Gdańsku (1880–2008); prosta przedstawia linię trendu
 Fig. 3. Warm half-year monthly precipitation totals in Gdańsk (1880–2008); the line represents linear trend

PODSUMOWANIE

Dokonano rekonstrukcji serii opadowej z Gdańska z okresu 1880–2008 metodą średnią ważoną wartością referencyjną oraz przetestowano jej jednorodność za pomocą testu homogeniczności względnej Alexanderssona. Uznając serię za jednorodną, obliczono podstawowe charakterystyki statystyczno-klimatologiczne. Dalsza analiza będzie zmierzać do odtworzenia zmienności dobowych sum opadów w Gdańsku, co istotne będzie również w kontekście analizy opadów ekstremalnych.

Literatura

- Alexandersson H., 1986, *A homogeneity test applied to precipitation data*. Int. Jour. Climat., 6, 661–675.
- Filipiak J., 2007, *Obserwacje i pomiary opadów atmosferycznych w Gdańsku w XVIII wieku*. [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*. IGiGP UJ, 365–375.
- Filipiak J., Miętus M., 2010, *History of the Gdansk Pre-instrumental and Instrumental Record of Meteorological Observations and Analysis of Selected Air Pressure Observations*. [w:] R. Przybylak, J. Majorowicz, R. Brázdil, M. Kejna (red.), *The Polish Climate in the European Context: An Historical Overview*. Springer-Verlag, 267–294.
- Miętus M., 1996, *Zmienność temperatury i opadów w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego i jej spodziewany przebieg do roku 2030*. Mat. Bad. IMGW, seria Meteorologia, 26, ss. 72.
- Miętus M., Filipiak J., Owczarek M., Jakusik E., 2005, *Zmienność warunków opadowych w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego w świetle kwantylowej klasyfikacji opadowej*. Mat. Bad. IMGW, seria Meteorologia, 37, ss. 58.
- Wibig J., Rzepa M., 2007, *Rekonstrukcja serii dobowych sum opadu w Łodzi w latach 1904–2000*. [w:] M. Miętus, J. Filipiak, A. Wyszowski (red.), *200 lat regularnych pomiarów i obserwacji meteorologicznych w Gdańsku*. Monografie IMGW, UG, IMGW, GTN, 92–99.
- Vicente-Serrano S., Begueria S., Lopez-Moreno J.I., Garcia-Verac M.A., Stepanek, P., 2010, *A complete daily precipitation database for northeast Spain: reconstruction, quality control, and homogeneity*. Int. Jour. Climat., 30, 1146–1163.