

Agnieszka Podstawczyńska

OKRESY SUCHE I WILGOTNE W ŁODZI W XX WIEKU

*Ech, hałasuje deszcz!
Trawa deszczowi rada.
Szczęśliwy, szczęśliwy deszcz,
bo się może wypadać.*

Konstanty Ildefons Gałczyński, 1950

WSTĘP

Rola, jaką pełnią ekstremalne opady atmosferyczne czy długotrwałe okresy bezopadowe dla funkcjonowania wielu dziedzin gospodarki, m.in. komunalnej, rolnej, leśnej (zagrożenie pożarowe), transportu wodnego oraz dla procesów hydrologicznych i geomorfologicznych stanowi o istotnej wadze problemu w kontekście współczesnych zmian klimatu. Według III Raportu IPCC (Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu) z 2001 r. następuje intensyfikacja zjawisk klimatycznych o charakterze ekstremalnym. Z dokumentu tego wynika, że większość powierzchni lądowych kuli ziemskiej cechuje, w latach 1900–1995, słaby rosnący trend bardzo silnych susz i szczególnie intensywnych okresów wilgotnych, najsilniejszy w ostatnich 2–3 dekadach XX w. Prognozowany jest także wzrost maksymalnych 5-dniowych sum opadów atmosferycznych (Miętus 2005).

Opracowania dotyczące wieloletnich serii opadowych w Polsce wskazują m.in. na niewielki przyrost rocznych sum opadu, na który miały wpływ nadwyżki opadów w końcu XX w., a także na oceanizację reżimu opadowego przejawiającą się nasileniem opadów późnej jesieni i wiosny oraz na malejącą tendencję, w latach 1951–2000, stosunku opadów lata do opadów zimy oraz opadów półroczna ciepłego do chłodnego (Kozuchowski i in. 1999, Kozuchowski 2004a). Ponadto wiele regionów Polski cechuje się wzrostem frekwencji dni z opadem w drugiej połowie XX w. (Kozuchowski, Żmudzka 2003, Wibig 2006).

Celem opracowania jest analiza 97-letniej serii dobowych sum opadów rejestrowanych w Łodzi, m.in. ich wysokości, częstości, intensywności i czasu trwania oraz liczby dni i okresów bezopadowych, a także poszukiwanie trwałych tendencji wymienionych charakterystyk w wieloleciu. Drugim wątkiem badawczym podjętym w pracy jest ocena wieloletniej zmienności warunków termiczno-opadowych.

DANE I METODA OPRACOWANIA

Materiał źródłowy stanowiły dobowe sumy opadów atmosferycznych rejestrowane w Łodzi w latach 1904–2000. Dane pochodzą z dwóch posterunków opadowych. W latach 1904–1930, a dokładnie do końca maja 1930 r., pomiary opadów w Łodzi prowadzone były na Stacji Centralnej Kolei Elektrycznej Łódzkiej (KEŁ). Od 1 czerwca 1930 r. rozpoczęły się natomiast pomiary sum dobowych opadów na wojskowym posterunku meteorologicznym zlokalizowanym na terenie lotniska Lublinek. Braki danych w wieloleciu 1904–2000 wystąpiły w okresie do 31 stycznia 1946 r. (w maju 1907 r. strajk tramwajarzy, w całym 1910 r., w listopadzie 1923 r.). Seria danych z posterunku Łódź-Lublinek ma braki w sierpniu i wrześniu 1930 r., od sierpnia 1939 r. do kwietnia 1940 r. oraz od 1 stycznia 1945 r. do 31 stycznia 1946 r. Wykorzystana w opracowaniu łódzka 97-letnia seria sum dobowych opadów pochodząca z dwóch źródeł obserwacyjnych jest homogeniczna z zachowaniem miesięcznych sum opadu i rocznej dystrybucji funkcji prawdopodobieństwa (Wibig, Rzepa 2007).

W niniejszej pracy za dzień z opadem przyjęto taki, w którym opad był większy lub równy 0,1 mm (wysokość opadu zmierzona między terminami obserwacyjnymi). Pozostałe dni z opadem niemierzalnym lub bez opadów zaklasyfikowano do jednej grupy tzw. dni suchych (bezopadowych). W analizowanym wieloleciu 1904–2000 wyznaczono miesięczne i roczne ekstremalne sumy dobowe opadu. Zbadano też intensywność opadu w mm na dzień z opadem w poszczególnych miesiącach i latach. Analizowano strukturę wielkości opadów w przebiegu rocznym, wyrażoną w 5 klasach wysokości opadów (0,0 mm – bez opadu, 0,1–0,9 mm – opad słaby; 1,0–4,9 mm – opad umiarkowany; 5,0–9,9 mm – opad umiarkowanie silny; ≥ 10 mm – opad silny). Obliczono liczbę dni z opadem, dni bezopadowych oraz dni z sumą dobową opadów: $\geq 5,0$ mm i ≥ 10 mm. Porównano jednocześnie frekwencję ciągłych okresów z opadem i bez opadu w poszczególnych dekadach wielolecia. Dokonano również oceny wielolecia 1904–2000 pod względem warunków termiczno-opadowych na podstawie wskaźnika suchości A , zdefiniowa-

nego jako różnica dwóch wskaźników cząstkowych, tj. standaryzowanych odchyłeń średnich miesięcznych temperatur powietrza i standaryzowanych odchyłeń miesięcznych sum opadów (Ped 1977, Kłysik, Wibig 1992).

$$A = \sum_{i=1}^n \left[\frac{T_i - T}{\sigma_T} - \frac{P_i - P}{\sigma_P} \right] \quad (1)$$

gdzie:

- T_i – średnia miesięczna temperatura powietrza w kolejnych latach,
- P_i – suma miesięczna opadów atmosferycznych w kolejnych latach,
- T – średnia wieloletnia temperatura powietrza,
- P – średnia wieloletnia suma opadów,
- σ_T – odchylenie standardowe średniej miesięcznej temperatury powietrza,
- σ_P – odchylenie standardowe miesięcznej sumy opadów.

Wskaźnik A przyjmuje wartości dodatnie dla okresów suchych. Jest to konsekwencja dodatnich anomalii temperatury powietrza i ujemnych anomalii sum miesięcznych opadów. Analogicznie, ujemne wartości wskaźnika będą konsekwencją ujemnej anomalii średniej miesięcznej temperatury powietrza i dodatniej anomalii sum opadów. Przyjęto, że okres bardzo suchy wyznaczają wartości $A > 2$, a bardzo wilgotny – $A < -2$.

Wszystkie wymienione charakterystyki opadowe badano także w aspekcie czasowej zmienności, poszukując trwałych tendencji w ich przebiegu. W tym celu zastosowano nieparametryczny test Manna–Kendalla, wykrywający trend w szeregach czasowych. Jego istotność sprawdzono na poziomie 0,1; 0,05 i 0,01. Siłę tendencji charakterystyk opadu w wieloleciu wyznaczono nieparametryczną metodą Sena (Salmi i in. 2002). Metoda Sena przyjmuje liniowy model trendu, $f(t) = Qt + B$, gdzie Q to estymator współczynnika regresji liniowej (siła trendu), B to wyraz wolny. Wartość Q jest medianą w rosnącym szeregu wartości estymatorów Q_i obliczonych dla wszystkich par zmiennej x według wzoru:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (2)$$

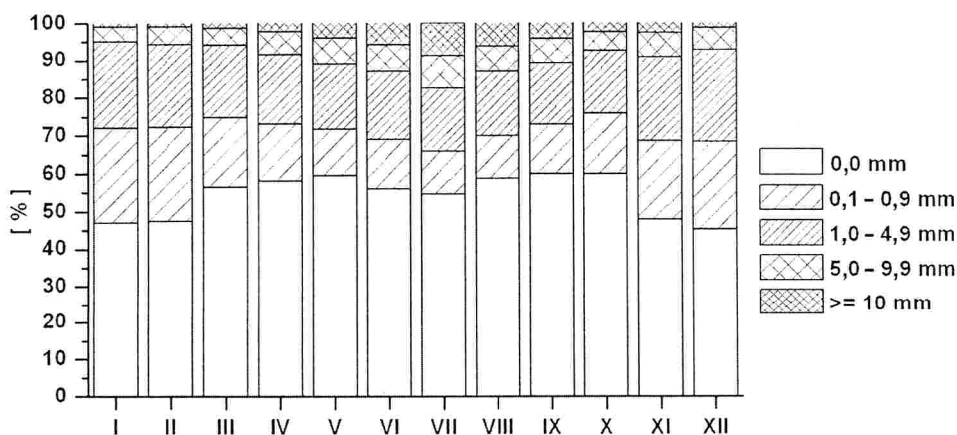
gdzie:

$j > k$, n jest liczebnością x_j , a liczebność całej serii czasowej Q_i wynosi:
 $N = n \cdot (n-1) \cdot 2$.

Rangowa metoda Sena eliminuje silny wpływ wartości ekstremalnych, występujących w szeregu czasowym, na ostateczną postać trendu. Obliczenia wykonano za pomocą aplikacji MAKESENS 1.0 (*freeware*) udostępnionej przez Fiński Instytut Meteorologiczny (Salmi i in. 2002).

STRUKTURA WYSOKOŚCI SUM DOBOWYCH OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W ŁODZI

Pod względem dobowych sum opadu w Łodzi dominuje w roku grupa dni bez opadu, stanowiąca przeciętnie 54,2%. Kolejnymi pod względem frekwencji są klasy dni z opadem umiarkowanym (1,0–4,9 mm) i słabym (0,1–0,9 mm), liczące odpowiednio: 19,3% i 16,8%. Pozostałe dni w roku należą do klasy dni z opadem umiarkowanie silnym (5,0–9,9 mm) – 6,0% i dni z opadem silnym (≥ 10 mm) – 3,6%. W przebiegu rocznym klasa dni bezopadowych cechuje się najniższą frekwencją w miesiącach zimowych, z minimum w grudniu – 45,3%, wzrostem w okresie wiosennym do 59,5% (maj), ponownym spadkiem (o 5%) w czerwcu i lipcu, i kolejnym wzrostem (do rocznego maksimum) we wrześniu i październiku – 59,8% (rys. 1). Dni z opadem słabym najczęściej występują w styczniu i lutym (24,9% i 24,8%), a najrzadziej pojawiają się w maju (12,2%). Częstość dni z opadem umiarkowanym w poszczególnych miesiącach jest mało zróżnicowana, maksimum przypada w grudniu (24,3%), a minimum we wrześniu (16,4%). Frekwencja dni z opadem umiarkowanie silnym zmienia się w roku od 3,9% w styczniu do 8,7% w lipcu. Najbardziej wyraźnym przebiegiem rocznym cechuje się klasa dni z opadem silnym, minimum częstości notowane jest w styczniu (1,1%), a maksimum przypada w lipcu – 8,8% (rys. 1).



Rys. 1. Procentowy udział dni z opadem w wyróżnionych klasach wysokości w Łodzi w latach 1904–2000

Fig. 1. The percentage of days with falling in distinctive level classes in Łódź in 1904–2000

WIELOLETNIA ZMIENNOŚĆ DOBOWEJ WYDAJNOŚCI I EKSTREMALNYCH SUM DOBOWYCH OPADU W ŁODZI

Wydajność opadów jest w pracy rozumiana jako przeciętna intensywność opadu w mm przypadająca na dzień z opadem. Wydajność ta zmienia się w Łodzi od 1,9 mm w styczniu do 6,1 mm w lipcu (tab. 1). Największym zakresem zmienności średniej w wieloleciu cechuje się lipiec (15,3 mm), a najmniejszym marzec (4,1 mm). Wśród wszystkich miesięcy roku tylko listopad i grudzień wyróżniają się niewielkim trendem rosnącym intensywności opadów, a czerwiec brakiem trendu. Największym przeciętnym spadkiem intensywności opadu w latach 1904–2000 cechują się luty i wrzesień, 0,07 mm/10 lat (tab. 1, trendy nieistotne).

Tabela 1

Średnia intensywność opadu w mm/dzień z opadem i jej zmienność w Łodzi w latach 1904–2000

Average falling rate in mm/day with falling and its changeability in Łódź in 1904–2000

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia	1,9	2,0	2,5	3,1	4,1	4,9	6,1	5,3	4,1	2,9	2,7	2,2
Najwyższa średnia	4,7	4,5	4,9	8,7	12,9	10,9	16,0	15,7	7,5	6,9	6,6	4,6
Najniższa średnia	0,5	0,1	0,8	0,5	0,9	1,4	0,7	1,0	0,5	0,5	0,2	0,3
Trend [mm / 10 lat]	-0,03	-0,07*	-0,01	-0,06	-0,04	0,0	-0,02	-0,04	-0,07	-0,01	0,01	0,01

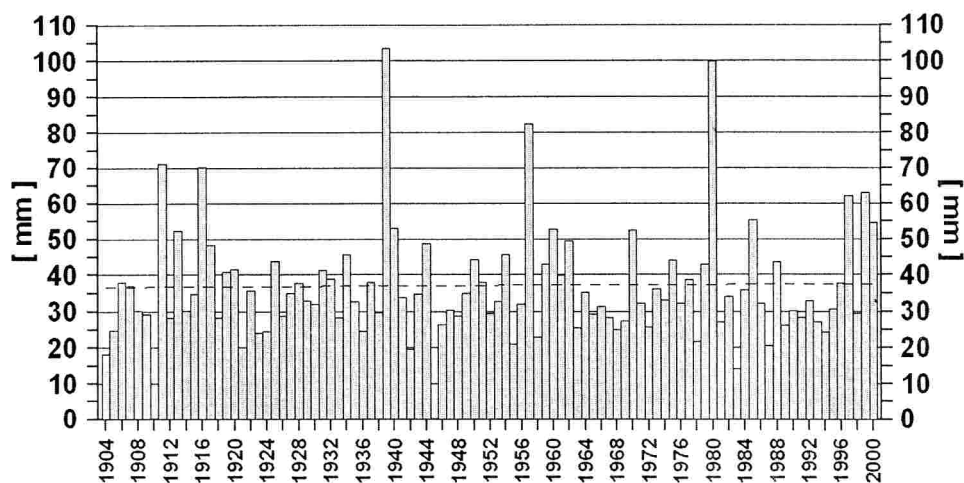
* trend istotny statystycznie na poziomie 0,1.

* statistically significant trend level 0,1.

Badania zmian wydajności dobowej opadów w Łodzi w latach 1951–2000, prowadzone przez Kożuchowskiego (2004a), wykazały wzrost intensywności opadu: w styczniu (0,03 mm/10 lat), marcu (0,31 mm/10 lat), czerwcu (0,38 mm/10 lat) i grudniu (0,25 mm/10 lat) oraz spadek intensywności w sierpniu (-0,52 mm/10 lat). Sierpniowy spadek intensywności opadów odnotowano także w innych regionach Polski, m.in. w Suwałkach, Wrocławiu i Przemyśle (Kożuchowski 2004a). Wymienione wartości trendu liniowego w latach 1951–2000, zostały obliczone klasyczną metodą wyznaczania współczynników regresji w liniowym modelu trendu.

Badania nad ekstremalnymi sumami opadu dobowego w środkowej Polsce w okresie 1957–1989 (dane ze 114 posterunków opadowych), prowadzone przez Kłysika i Fortuniaka (1993), wykazały, że opady o dużej

wydajności, tj. ponad 100 mm na dobę, występują bardzo rzadko i mają niewielki zasięg przestrzenny. W badanym okresie rekordowa dobową sumą opadów w Łodzi, równa 128,6 mm, została zarejestrowana na posterunku Łódź-Widzew 16 VII 1957 r. (Kłysik, Fortuniak 1993). Analiza rocznych ekstremalnych sum dobowych opadu w Łodzi z lat 1904–2000 wykazała ich zmienność: od 14,2 mm (11 V 1983 r.) do 103,5 mm (26 VII 1939 r.) – rys. 2. Druga pod względem wysokości suma dobową opadu, równa 99,8 mm, została zarejestrowana w Łodzi 16 VI 1980 r. Zauważmy również, że 97-letnią serię rocznych ekstremalnych sum dobowych cechuje niewielki trend malejący – 0,02 mm/10 lat (rys. 2, tab. 2).



Rys. 2. Najwyższe sumy dobowe opadu w Łodzi w latach 1904–2000. Linia przerywana – trend liniowy

Fig. 2. The greatest total daily fall in Łódź in 1904–2000. Dotted line – linear trend

Tabela 2

Maksymalne sumy dobowe opadów atmosferycznych i ich zmienność w Łodzi w latach 1904–2000

Maximum total daily fall and its changeability in Łódź in 1904–2000

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Sumy dobowe [mm]	28,7	19,9	24,6	29,7	49,4	99,8	103,5	71,2	37,8	33,1	33,2	29,3	103,5
rok	1948	1916	1981	1938	1962	1980	1939	1911	1928	1975	1915	1998	1939
Trend [mm/10 lat]	0,03	-0,21	0,02	0,04	-0,02	0,32	0,18	-0,46	-0,17	-0,10	0,05	0,06	-0,02

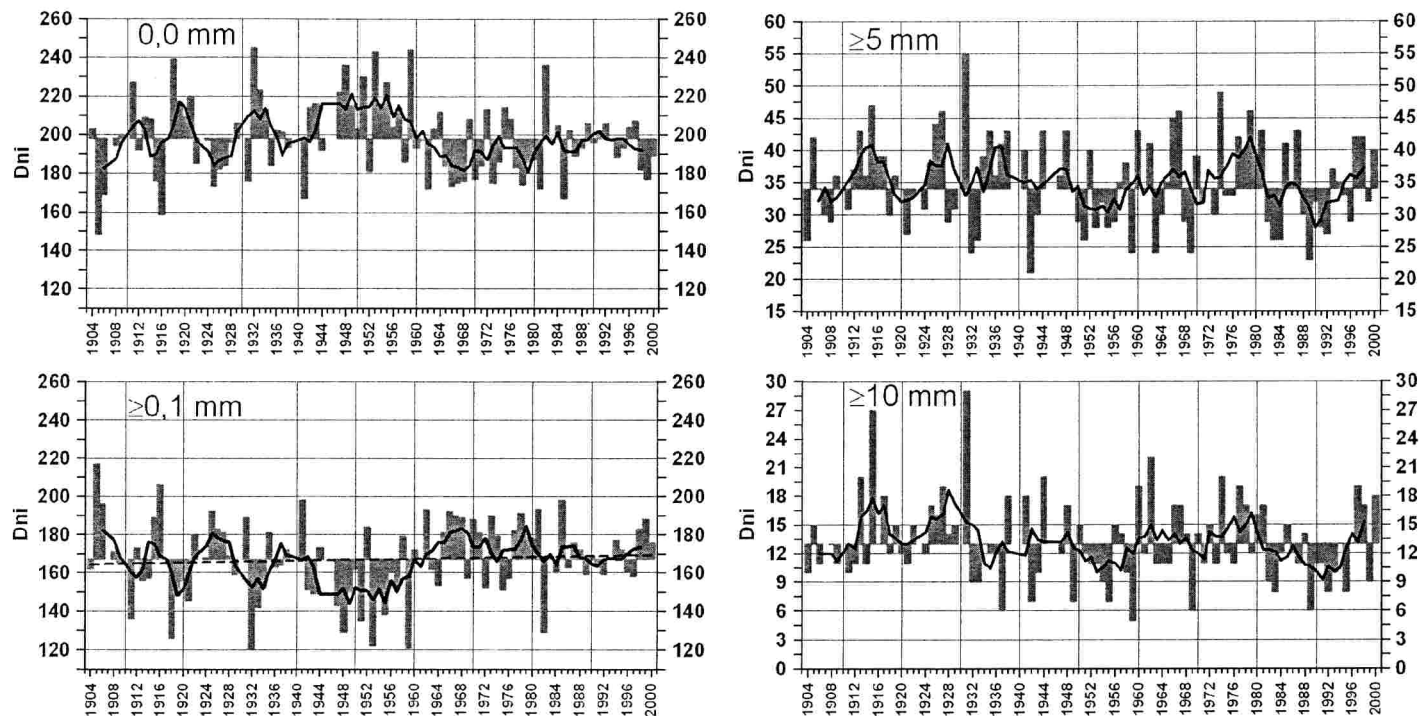
W przebiegu rocznym największe, letnie (VI–VIII), sumy opadów dobowych w Łodzi w latach 1904–2000 przewyższają co najmniej dwukrotnie dobowe opady maksymalne miesięcy wiosennych i jesiennych (tab. 2). Wysokość maksymalnych dobowych opadów cechuje rosnący trend w styczniu, marcu, kwietniu, czerwcu, lipcu, listopadzie i grudniu. Największy przyrost maksymalnych sum dobowych, wśród wymienionych miesięcy, przypada na miesiące letnie, z maksimum w czerwcu. Najbardziej wyraźną tendencją spadkową charakteryzuje się sierpień ($-0,46$ mm/10 lat) – tab. 2. Omawiane tendencje nie są jednak istotne statystycznie.

WIELOLETNIA ZMIENNOŚĆ ROCZNEJ, SEZONOWEJ I MIESIĘCZNEJ LICZBY DNI BEZOPADOWYCH I DNI Z OPADEM $\geq 0,1$ mm, ≥ 5 mm i ≥ 10 mm

Średnia roczna liczba dni bezopadowych w Łodzi w latach 1904–2000 wynosiła 198 i zmieniała się od 148 w 1905 r. do 245 w 1932 r. (rys. 3). Pierwszorzędną cechą wieloletniej zmienności rocznej liczby dni suchych jest duży zakres wahań z roku na rok, szczególnie w pierwszych trzech dekadach XX w., oraz nieistotny statystycznie, malejący trend ($-0,71$ dni/10 lat) – tab. 3. Przebieg średniej ruchomej 5-letniej wskazuje, że najsilniejsza rosnąca tendencja liczby dni suchych przypada na lata 40. i 50. Z początkiem lat 60. rozpoczął się spadek frekwencji dni bezopadowych, który trwał do 1980 r. (rys. 3). Okres od połowy lat 80. i ostatnia dekada XX w. charakteryzują się natomiast małą zmiennością rocznej liczby dni suchych.

Najwięcej dni suchych występuje wiosną (III–V) – 53,3, a najmniej zimą (XII–II) – 41,7. W przebiegu rocznym największa frekwencja dni bezopadowych jest w październiku (18,6 dni) oraz w maju (18,5 dni), a najmniejsza w lutym (13,2 dni). Luty, marzec i grudzień cechują się niewielkim ujemnym trendem liczby dni suchych. W pozostałych miesiącach trendu nie stwierdzono. Lato wyróżnia się tutaj brakiem trendu, a w pozostałych porach roku występuje tendencja spadkowa (tab. 3).

Średnia roczna liczba dni z opadem w Łodzi wynosi 167. Najwięcej takich dni wystąpiło w 1905 r. – 217, a najmniej dni mokrych zarejestrowano w 1932 r. – 120 (rys. 3). Analogicznie jak w przypadku dni suchych, cechą wieloletniej zmienności mokrych są duże wahania z roku na rok – największe w pierwszych trzech dekadach XX w. Stwierdzono także niewielki trend rosnący ($0,69$ dni/10) rocznej liczby dni z opadem w Łodzi w latach 1904–2000. Podobny, rosnący trend rocznej liczby dni opadowych w Łodzi i w innych regionach Polski stwierdzono w latach 1951–2000 (Kožuchowski, Żmudzka 2003, Wibig 2006). Średnia ruchoma (rys. 3) wskazuje na silną tendencję malejącą rocznej liczby dni z opadem w latach 40. i 50. i ich wzrost (ponad przeciętną) w latach 60. i 70. Podobnie jak w przypadku dni



Rys. 3. Roczna liczba dni bez opadu i z opadem w Łodzi w odchyleniach od średniej wieloletniej w latach 1904–2000. Średnia ruchoma 5-dniowa (linia ciągła); linia przerywana – trend liniowy

Fig. 3. Total annual number of days with and without falls in Łódź, expressed in perennial mean square deviations in 1904–2000. 5-days moving average (solid line); dotted line – linear trend

Tabela 3

Średnia miesięczna, sezonowa i roczna liczba dni bezopadowych i z opadem $\geq 0,1$ mm, ≥ 5 mm i ≥ 10 mm oraz jej zmienność w Łodzi w latach 1904–2000

Monthly, seasonal and annual average number of days with and without falling $\geq 0,1$ mm, ≥ 5 mm and ≥ 10 mm and their changeability in Łódź in 1904–2000

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III–V	VI–VIII	IX–XI	XII–II	Rok
Dni 0,0 mm																	
Dni	14,5	13,2	17,5	17,3	18,5	16,7	16,9	18,3	18,1	18,6	14,3	13,9	53,3	52,0	51,0	41,7	198
Trend [dni/10 lat]	0,0	–0,12	–0,13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	–0,11	–0,16	0,0	–0,31	–0,23	–0,71
Dni $\geq 0,1$ mm																	
Dni	16,5	14,8	13,5	12,7	12,5	13,3	14,1	12,7	11,9	12,4	15,7	17,1	38,7	40,0	40,0	48,3	167
Trend [dni/10 lat]	0,0	0,12	0,13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,16	0,0	0,31	0,24	0,69
Dni ≥ 5 mm																	
Dni	1,5	1,6	1,8	2,6	3,4	3,9	5,4	4,0	3,2	2,3	2,8	2,3	7,8	13,4	8,3	5,4	34,9
Trend [dni/10 lat]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dni ≥ 10 mm																	
Dni	0,3	0,3	0,4	0,8	1,2	1,8	2,7	1,9	1,3	0,8	0,8	0,4	2,4	6,4	2,9	1,1	12,8
Trend [dni/10 lat]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

suchych, dni mokre w ostatnich 15 latach XX w. wyróżniają się małym zakresem wahań.

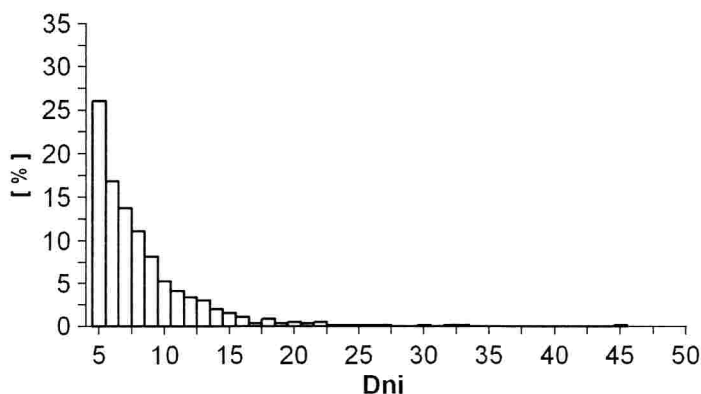
Analiza sezonowej liczby dni z opadem wykazała ich największą częstość zimą (48,3), a najmniejszą wiosną (38,7) – tab. 3. W przebiegu rocznym największą frekwencją dni mokrych cechuje się grudzień (17,1), a najmniejszą wrzesień (11,9). We wszystkich miesiącach, z wyjątkiem lutego i marca (trend rosnący), nie stwierdzono istnienia trendu wieloletniej zmienności liczby dni z opadem. Wszystkie pory roku, z wyjątkiem lata (brak trendu), cechują się dodatnim trendem liczby dni z opadem (tab. 3).

Z punktu widzenia analizy ekstremalnych zdarzeń opadowych największe znaczenie ma liczba dni z opadem ≥ 5 mm, w tym dni z opadem silnym (≥ 10 mm). Frekwencja roczna w okresie 1904–2000 pierwszej grupy nie przekroczyła 55 dni (1931 r.), w tym było 29 dni z opadem silnym. Najmniej dni z opadem ≥ 5 mm wystąpiło w 1942 r. (21), a najmniej dni z opadem silnym (≥ 10 mm) zarejestrowano w 1958 r. (5). Obie grupy cechują znaczne wahania częstości z roku na rok, występujące prawie równomiernie w całym wieloleciu (rys. 3).

Średnia ruchoma wskazuje na rosnące tendencje rocznej liczby dni z opadem ≥ 5 mm w pierwszych 3 dekadach XX w. i w latach 70. Lata 80. i połowa lat 90. przynoszą spadek frekwencji dni z wysokimi opadami. Ponowny wzrost ich liczby, ponad wartość przeciętną, wystąpił w 1997, 1998 i 2000 r. Sezonowe liczby dni z opadem ≥ 5 mm i ≥ 10 mm wskazują na ich największy udział latem (odpowiednio: 13,4 i 6,4), a najmniejszy zimą (odpowiednio: 5,4 i 1,1). W przebiegu rocznym najwięcej tych dni występuje w lipcu (5,4 i 2,7), zaś najrzadziej rejestrowane są w styczniu i lutym (1,5 i 0,3). Wieloletnią zmienność miesięcznej, sezonowej i rocznej liczby dni z opadem umiarkowanie silnym i silnym cechuje brak trendu (tab. 3).

OKRESY SUCHE I OKRESY WILGOTNE ORAZ ICH ZMIENNOŚĆ W POSZCZEGÓLNYCH DEKADACH XX WIEKU

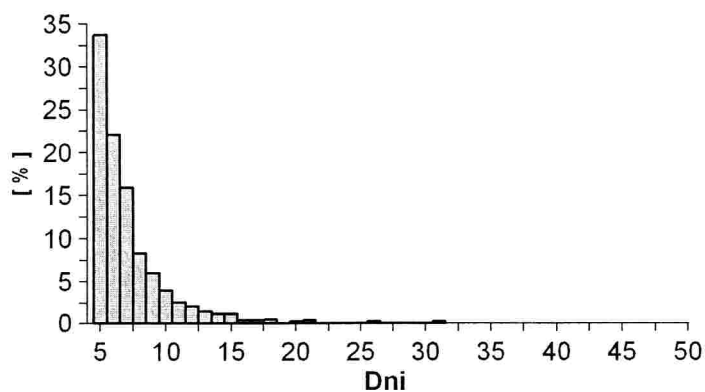
Najdłuższy okres bezopadowy w latach 1904–2000 w Łodzi trwał 45 dni (od 21 IX 1949 r. do 5 X 1949 r.). W grupie ciągłych okresów suchych o długości 5 dni i większej, największą frekwencją wyróżniają się okresy 5-dniowe stanowiące 26% tej grupy, a okresy bezopadowe o długości od 5 dni do 10 dni stanowią 81% omawianej grupy dni (rys. 4). Liczba dni suchych w latach 1904–2000, występująca w ciągłych okresach bezopadowych o długości do 1, 2, 3, 4, 5 dni, stanowi 54,4% ogółu dni suchych. W grupie ciągłych okresów suchych o długości do 10 dni zawiera się 82% wszystkich dni bez opadu. Dni suche, występujące nieprzerwanie przez 20 dni i więcej, stanowią tylko ok. 3% wśród ciągłych okresów suchych.



Rys. 4. Frekwencja (w %) ciągłych okresów suchych w funkcji czasu ich trwania w Łodzi w latach 1904–2000

Fig. 4. Frequency (in %) of continuous dry periods as a function of their duration in Łódź in 1904–2000

Wyjątkowo długi okres nieprzerwanych opadów trwał 31 dni (od 30 X 1931 r. do 29 XI 1931 r.). Suma opadów w tym czasie wyniosła 209,1 mm, podczas gdy średni miesięczny opad w październiku i listopadzie w latach 1904–2000 wyniósł 38,6 mm i 45,1 mm. Podobnie jak w przypadku okresów suchych, największą frekwencją w wieloleciu cechują się 5-dniowe okresy opadowe – 33,8%. Okresy 5–7-dniowe – 71,8%, a 5–10-dniowe stanowią 90% ogółu wszystkich okresów opadowych (rys. 5). Liczba dni z opadem występująca w ciągach 1–5 dni stanowi 67,8%, a 91,8% dni opadowych zawiera się w okresach o długości do 10 dni. Dni z opadem ciągłym, trwającym 20 dni i więcej, było w analizowanym wieloleciu tylko 0,8% (rys. 5).



Rys. 5. Frekwencja (w %) ciągłych okresów z opadem w funkcji czasu ich trwania w Łodzi w latach 1904–2000

Fig. 5. Frequency (in %) of continuous wet periods as a function of their duration in Łódź in 1904–2000

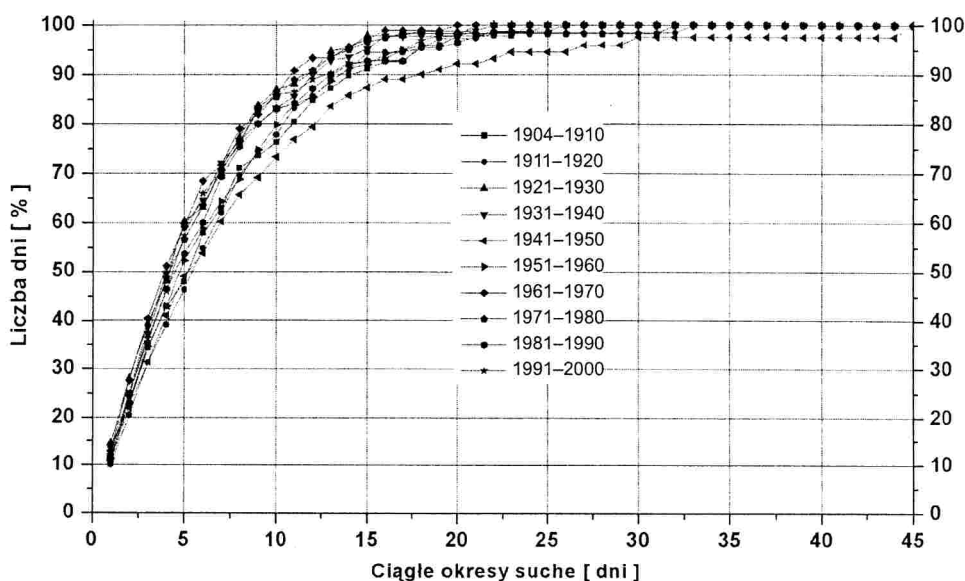
Porównano frekwencję zwartych okresów suchych i mokrych w poszczególnych dekadach wielolecia 1904–2000 (rys. 6, 7). Pod względem największej liczebności długich (ponad 20-dniowych) okresów suchych wyróżnia się dekada V (lata 40.) i II ubiegłego wieku. W dekadzie VII (lata 60.) nie wystąpiły dłuższe niż 20 dni okresy bez opadów, a w ostatniej dekadzie XX w. najdłuższy okres suchy trwał 21 dni. W latach 20. i 60. krótkie okresy bez opadów, tj. 1–5 dni, stanowiły ok. 60% wszystkich okresów suchych, podczas gdy w dekadzie II – tylko 46,3% (rys. 6). W latach 40. i 50. 95% dni suchych zawiera się w ciągłych okresach nie dłuższych niż odpowiednio 27 i 26, podczas gdy w latach 20., 60. i 70. w okresach krótszych niż 14 dni (tab. 4, rys. 6).

Tabela 4

Percentyle ciągłych okresów suchych (liczba dni) w Łodzi w latach 1904–2000

Percentiles of continuous dry periods (number of days) in Łódź in 1904–2000

Percentyle	1904–1910	1911–1920	1921–1930	1931–1940	1941–1950	1951–1960	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000
25	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3
75	10	10	8	8	11	10	8	8	8	9
95	18	18	14	15	27	26	14	14	18	17



Rys. 6. Skumulowana liczba dni w ciągłych okresach suchych poszczególnych dekad wielolecia 1904–2000 w Łodzi

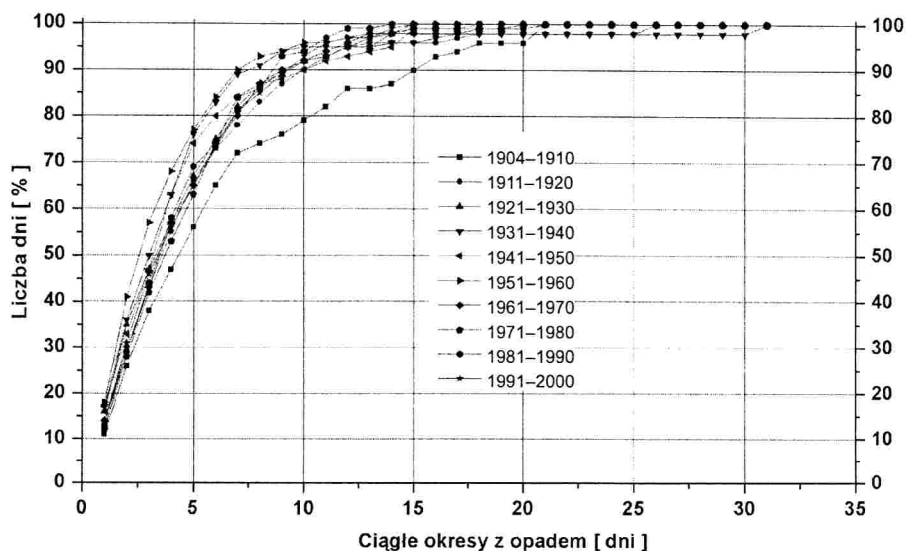
Fig. 6. Cumulative number of days in continuous dry periods of particular decades of 1904–2000 in Łódź

Długie okresy z opadem, trwające powyżej 20 dni, najczęściej występowały w pierwszych czterech dekadach XX w., z maksimum frekwencji w latach 30. Kolejne dwie dekady, lata 40. i 50., wyróżniają się brakiem okresów z opadem dłuższym niż 18 i 15 dni. W latach 60. i 70. maksymalnie długie okresy mokre trwały odpowiednio 21 i 22 dni. Na tle wielolecia ostatnie dwie dekady cechuje wyraźne skrócenie najdłuższych okresów opadowych do 14 (lata 80.) i 15 dni (lata 90.). Lata 50. wyróżniają się natomiast najliczniejszą grupą dni w krótkich okresach z opadem (1–5 dni). Stanowi ona 77% ogólnej liczby dni mokrych (rys. 7). Najmniej dni w krótkich okresach opadowych przypada na lata 70. – 63%. Wartość 95 percentyla ciągłych okresów opadowych nie jest tak zróżnicowana, jak w przypadku okresów suchych. Zmienia się ona od 18 dni w I niepełnej dekadzie i 14 dni w latach 30. i 40. do 10 dni w latach 50. (tab. 5, rys. 7).

Tabela 5

Percentyle ciągłych okresów z opadem (liczba dni) w Łodzi w latach 1904–2000
 Percentile of precipitation continuous period (days number) in Łódź in 1904–2000

Percentyle	1904–1910	1911–1920	1921–1930	1931–1940	1941–1950	1951–1960	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000
25	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
75	9	7	6	5	6	5	7	7	7	7
95	18	13	13	14	14	10	12	13	11	11



Rys. 7. Skumulowana liczba dni w ciągłych okresach z opadem poszczególnych dekad wielolecia 1904–2000 w Łodzi

Fig. 7. Cumulative number of days in continuous wet periods of particular decades of 1904–2000 in Łódź

TERMICZNO-OPADOWY WSKAŹNIK SUCHOŚCI I JEGO ZMIENNOŚĆ W ŁODZI W LATACH 1904–2000

Cechą wieloletniej zmienności warunków wilgotnościowych w Łodzi, ocenionych na podstawie miesięcznych wartości termiczno-opadowego wskaźnika suchości, są duże wahania z miesiąca na miesiąc i z roku na rok (rys. 8). Skrajnie suchym miesiącem w wieloleciu był sierpień 1992 r., kiedy to wartość wskaźnika wyniosła 5,0. Ekstremalnie wilgotnym był zaś listopad 1931 r. – wskaźnik suchości równy $-5,7$ (tab. 6). Najwyższym średnim wskaźnikiem suchości charakteryzuje się luty i sierpień (0,05), a najniższym kwiecień ($-0,05$). W przebiegu wieloletnim przewagą miesiące wilgotnych wyróżnia się okres do połowy lat 40. W tym czasie najbardziej wilgotnymi miesiącami były kwiecień, czerwiec i wrzesień. Wskaźnik suchości przyjmował wówczas wartości $< -2,0$ (bardzo wilgotno). Począwszy od 1945 r. następuje wyraźny wzrost frekwencji dodatnich wartości wskaźnika suchości, największy w ostatniej dekadzie XX w. (rys. 8). Od 1988 r. w styczniu, a od 1989 r. także w sierpniu, wskaźnik suchości jest stale dodatni.

Tabela 6

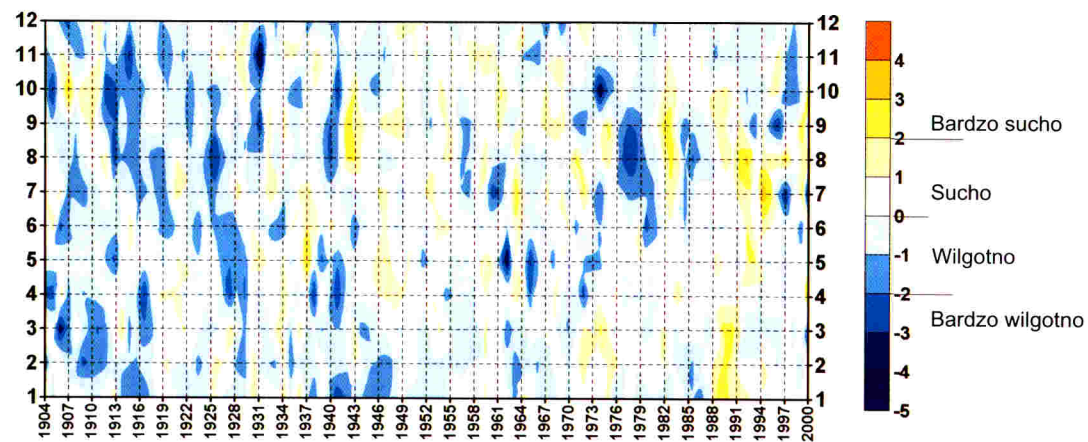
Średnie i ekstremalne wartości wskaźnika suchości i jego zmienność w Łodzi
w latach 1904–2000

Mean and extreme values of arid index and its variability in Łódź in 1904–2000

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia	-0,02	0,05	0,03	-0,05	0,008	0,02	0,04	0,05	-0,004	-0,02	-0,001	0,03
Ekstremalnie sucho, rok	2,4 1930	2,7 1914	2,8 1974	3,9 2000	3,5 1937	2,7 1915	3,8 1994	5,0 1992	3,5 1942	3,6 1907	3,3 1926	2,1 1929
Ekstremalnie wilgotno, rok	-3,4 1941	-3,0 1909	-4,1 1906	-5,0 1917	-5,4 1962	-5,2 1980	-4,4 1913	-3,5 1985	-4,1 1912	-4,9 1974	-5,7 1931	-2,7 1907
Trend/10 lat	0,08 ⁺	0,11 [*]	0,02	0,13 [*]	0,06	0,07	0,03	0,17 ^{**}	0,03	0,10 ⁺	0,02	-0,02

⁺ trend istotny statystycznie na poziomie 0,1, ^{*} na poziomie 0,05, ^{**} na poziomie 0,01.

Analiza wieloletnich tendencji wskaźnika *A* wykazała, że wszystkie miesiące, z wyjątkiem grudnia, cechują się dodatnim trendem, co koresponduje ze wzrostem temperatury powietrza obserwowanym w drugiej połowie XX w. we wszystkich częściach Polski, reprezentowanych przez stacje meteorologiczne w Szczecinie, Wrocławiu, Łodzi, Suwałkach i Przemyśle (Kozuchowski 2004b). Najsilniejszy, istotny statystycznie wzrost wskaźnika suchości występuje w styczniu (poziom istotności 0,1), lutym, kwietniu (poziom istotności 0,05) i sierpniu (poziom istotności 0,01) (tab. 6). Wieloletnia



Rys. 8. Przebieg roczny wskaźnika suchości A w Łodzi w latach 1904–2000

Fig. 8. Annual course of dryness index A in Łódź in 1904–2000

zmiennosc i zarysowane tendencje w przebiegu termiczno-opadowego wskaźnika suchosci w Łodzi w ostatnim 50-leciu cechuje podobienstwo do zmienności skladowych bilansu wodnego środkowej Polski. Wśród charakterystyk bilansu wodnego, m.in. ewapotranspiracji potencjalnej, parowania terenowego, odpływu całkowitego, odpływu podziemnego, deficytu odpływu, uwilgotnienia obszarowego i in. dominowały w wymienionym okresie tendencje wzrostowe; największe zimą i wiosną (Jokiel 2004).

WNIOSKI

W świetle przeprowadzonej analizy serii sum dobowych opadu w Łodzi w latach 1904–2000 można stwierdzić, iż struktura dobowych wartości opadu zdominowana jest przez dni z opadem umiarkowanym (1,0–4,9 mm) i słabym (0,1–0,9 mm), które łącznie stanowią 36,1% dni w roku. Najmniejszą frekwencją w roku cechują się dni z opadem silnym (≥ 10 mm), 3,6% z maksimum w lipcu. Dni bez opadu występują w Łodzi przeciętnie przez 54,2% roku. Dostrzec można również spadek intensywności dobowej opadu (nieistotny statystycznie) we wszystkich miesiącach oprócz czerwca (brak trendu), listopada i grudnia (trend malejący).

Największym spadkiem wydajności dobowej opadu cechuje się luty i wrzesień. Maksymalne sumy dobowe opadu w Łodzi w latach 1904–2000 cechuje niewielki trend malejący, a ich wartości nie przekraczały 103,5 mm (26 VII 1939 r.). Analiza największych sum dobowych opadu w poszczególnych miesiącach wykazała ich największy wzrost w czerwcu i największy spadek w sierpniu (trendy nieistotne statystycznie). Roczna liczba dni bezopadowych w Łodzi maleje w wieloleciu przeciętnie 0,71 dni/10 lat, a ich miesięczna liczba spada w lutym, marcu i grudniu. Natomiast roczna liczba dni z opadem wzrasta, podobnie jak w innych regionach Polski (Kozuchowski, Żmudzka 2003, Wibig 2006). Rośnie również miesięczna frekwencja dni opadowych w lutym i marcu. Nie stwierdzono istnienia trendu w szeregach czasowych rocznej liczby dni z opadem umiarkowanie silnym (≥ 5 mm) i silnym (≥ 10 mm) w Łodzi. Pod względem największej długości ciągłych okresów suchych i ich największej frekwencji wyróżniały się lata 40. i 50. Najdłuższe ciągłe okresy z opadem zmieniły się z 30 dni w latach 30. do odpowiednio 14 i 15 dni w latach 80. i 90. Wszystkie miesiące, z wyjątkiem grudnia, charakteryzują się rosnącym trendem wskaźnika suchości – największym w sierpniu. Wśród miesięcy z najsilniejszymi trendami wśród wszystkich badanych charakterystyk opadowych wyróżnić należy sierpień, w którym w analizowanym 97-leciu maleją m.in. maksymalne sumy dobowe opadów i wzrasta wskaźnik suchości.

LITERATURA

- Jokiel P., 2004, *Zasoby wodne środkowej Polski na progu XXI wieku*, Wyd. UŁ, Łódź: 3–114.
- Kłysik K., Wibig J., 1992, *The analysis of the variability of the aridity index in Poland in the period 1813–1990*, [w:] *I Panhelleńska Konferencja Meteorologii, Klimatologii i Fizyki Atmosfery*, Saloniki 21–23 V 1992: 63–70.
- Kłysik K., Fortuniak K., 1993, *Maksymalne opady dobowe w środkowej Polsce*, *Przegl. Geogr.*, 1–2: 97–110.
- Koźuchowski K., Degirmendźić J., Fortuniak K., Wibig J., 1999, *Tendencje zmian sezonowych aspektów klimatu w Polsce*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka. Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej*, Łódź, 4–6 XI 1999, Łódź: 107–122.
- Koźuchowski K., 2004a, *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w XX i XXI wieku*, [w:] K. Koźuchowski (red.), *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wyd. „Biblioteka”, Łódź: 46–57.
- Koźuchowski K., 2004b, *Skala i tendencje współczesnych zmian temperatury powietrza w Polsce*, [w:] K. Koźuchowski (red.), *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wyd. „Biblioteka”, Łódź: 25–45.
- Koźuchowski K., Żmudzka E., 2003, *100 year series of the areally averaged temperatures and precipitation totals in Poland*, [w:] L. J. Pyka i in. (red.), *Men and Climate in the 20th century*, Acta Univ. Wratislav., 2542, Stud. Geogr., 75: 116–222.
- Miętus M., 2005, *Ekstremalne zjawiska klimatyczne z perspektywy IPCC. Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, PTGeof., IMGW, Ser. Monografie IMGW: 19–31.
- Ped D. A., 1977, *The analysis of two summer seasons with different weather conditions*, *Trudy GNIC*, 171: 3–19.
- Salmi T., Määttä A., Anttila P., Ruoho-Airola T., Amnell T., 2002, *Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the Excel template application MAKESENS*, Finnish Meteorological Inst., Publ. on Air Quality, 31: 1–35.
- Wibig J., 2006, *Daily precipitation totals variability in Poland (1951–2000)*, [w:] *Extreme hydrometeorological events in Poland and their impacts European context (book of abstracts)*, *International Conference, Warszawa 7–9 grudnia 2006*, Warszawa: 86–89.
- Wibig J., Rzepa M., 2007, *Rekonstrukcja serii dobowych sum opadu w Łodzi w latach 1904–2005*, *Ogólnopolska Konferencja Naukowa „200 lat regularnych pomiarów i obserwacji meteorologicznych w Gdańsku”*, Gdańsk 7–8 luty 2007, (w druku).

Katedra Meteorologii i Klimatologii
Uniwersytetu Łódzkiego

Agnieszka Podstawczyńska

DRY AND WET PERIODS IN ŁÓDŹ IN THE XXTH CENTURY

The aim of this work is to present the results of total daily precipitation series, which had been registered in Łódź in 1904–2000. In the structure of daily precipitation conditions the days without falls (54.2%) and with falls of 0.1–4.9 mm (36.1%) were dominant. Total maximum daily precipitation changed perennially from 14.2 mm to 103.5 mm. The longest

continuous periods of dryness in Łódź lasted 45 days, whereas the longest periods of continuous falling lasted 31 days. It was observed that 40's and 50's were the years of the most frequent dry periods. Maximum length of continuous precipitation periods shortened from 30 days in 30's to 14 and 15 days in 80's and 90's. Looking for long lasting tendencies of the time changeability of precipitation characteristics by using non-parametric test by Mann-Kendall and non-parametric Sen's method, which is used for calculating regression coefficients in linear trends equations, shows lack of statistically significant tendencies. This happens in case of daily capacities and extreme total fall, as well as total annual number of days without and with falling being equal or bigger than 5 mm and ≥ 10 mm. Positive trends, statistically significant on a level of 0.05 characterize dryness indices in February and April, while indices on a 0.01 level are characteristic for August.