

# ◆◆◆ ORYGINALNE PRACE ◆◆◆ I PRZYCZYNNKI

---

Jan DEGIRMENDŽIĆ, Krzysztof KOŻUCHOWSKI

Zakład Dynamiki Środowiska i Bioklimatologii UŁ

Joanna WIBIG

Zakład Meteorologii i Klimatologii UŁ

## EPOKI CYRKULACYJNE XX WIEKU I ZMIENNOŚĆ TYPÓW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W POLSCE

### CIRCULATION EPOCHS IN THE 20<sup>TH</sup> CENTURY AND VARIATION OF THE TYPES OF ATMOSPHERIC CIRCULATION IN POLAND

Koncepcja epok cyrkulacyjnych wywodzi się z prac klimatologów rosyjskich, którzy badali przekształcenia systemu cyrkulacji atmosferycznej w umiarkowanej i polarnej strefie półkuli północnej (Wangenheim, 1938; Girs, 1948; Dzerdzeewskij i in., 1946; Dzerdzeewskij, 1975). O epokowym charakterze zmian warunków cyrkulacyjnych nad Europą w XX w. pisała Osuchowska-Klein (1987). Ostatnio epoki cyrkulacyjne w okresie 1864–1995 wydzielił Marsz (1999). W literaturze polskiej można znaleźć szereg prób wiązania wahań klimatycznych z podziałem okresu zaczynającego się w końcu XIX w. na epoki cyrkulacyjne według A. A. Girs a (Kožuchowski, Marciniak, 1986; Kożuchowski, 1995, 1996; Trepińska, 1988; Ewert, 1984).

Ten tradycyjny już sposób badania dynamiki warunków cyrkulacyjnych pozwala usystematyzować obserwowane zmiany klimatyczne, wyjaśnić „anomalie” klimatu itp. Nasuwa się przypuszczenie, że „epoki” są charakterystyczną cechą zmienności obserwowanej w klimatycznych szeregach czasowych i stanowią źródło przejawów okresowości i trendów, znajdujących w tych szeregach (Gębica i in., 1999).

Pewne zastrzeżenie budzić może określenie mianem „epok” kilkudziesięcio-, a nawet kilkuletnich okresów, niezgodnie z nomenklaturą paleogeograficzną (Maruszczak, 1999). W świetle klasyfikacji zdarzeń klimatycznych, prezentowanej przez Starkla (1999), epoki odpowiadałyby seriom (zgrupowaniom) zdarzeń trwającym „kilka do kilkunastu (kilkudziesięciu) lat” (Starkel, 1999, s. 246).

Odniesienie do zdarzeń, w przypadku dyskutowanych epok cyrkulacyjnych, wydaje się trafne, w ciągu epoki bowiem „zdarzają się” określone typy (formy) cyrkulacji, determinujące charakter epoki.

Z koncepcją epok cyrkulacyjnych związany jest problem metody ich wyróżnienia, w szczególności identyfikacji terminów ich zmiany. Przegląd niektórych podziałów wykazuje pewne zróżnicowanie wyników tego postępowania, zależnych nie tylko od przyjętej procedury wyróżnienia epok, ale przede wszystkim uwzględnionych charakterystyk cyrkulacji: epoki cyrkulacyjne według A. A. Girsy odzwierciedlają częstość występowania środkowotroposferycznych makroform cyrkulacji (W, E, C), epoki B. L. Dzerdzeewskiego — występowanie tzw. elementarnych mechanizmów cyrkulacyjnych (EMC) w dolnej troposferze, epoki A. A. Marsza — zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO). Epoki według A. A. Girsy wydzielono przy użyciu kumulowanych częstości występowania makroform cyrkulacyjnych (Girs, 1977) lub nieliniowych trendów (Gorbačewa, 1986), epoki według B. L. Dzerdzeewskiego wyróżniono według średnich ruchomych częstości południkowych i strefowych typów EMC, epoki A. A. Marsza — „według minimalizacji wielkości trendu NAO i maksymalizacji różnic między średnimi kolejnych kroków czasowych” (Marsz, 1999, s. 223).

Niezależnie od podstawy i sposobu podziału w ciągu XX wieku powtarzają się co najmniej dwa charakterystyczne terminy, z którymi wiążą się podstawowe przemiany warunków cyrkulacyjnych w tzw. europejsko-atlantyckim sektorze półkuli północnej. Występują one około roku 1930 i 1970. Między nimi, generalnie biorąc, mieści się okres rozwoju południkowych form cyrkulacji i osłabienie „przenoszenia zachodniego”. Na 1970 rok przypada według Ustrnula (1997) minimum składowej zachodniej wiatru na 50°N równoleżniku. Bajdał (1986) wskazuje również na ostatnie lata XX wieku jako na początek pierwszej fazy nasilenia cyrkulacji strefowej, natomiast w pierwszej dekadzie XXI wieku przewiduje zakończenie współczesnego szczególnie intensywnego rozwoju strefowości.

Prognozy, jak też wyjaśnienia zmian charakteru cyrkulacji w XIX–XX wieku, wykorzystują teorię, według której cyrkulacja atmosferyczna związana jest z wahaniami prędkości ruchu obrotowego Ziemi i nutacją biegunów. Sidorenko i Svirenko (1983) wykazali m.in. zgodność przebiegu południkowych makroform cyrkulacji C według Girsy z długością doby, która malała do 1872 r., do 1902 — wzrastała, do 1934 — malała, do 1972 — wzrastała, a do ok. 2005 ma ponownie maleć. Zwraca uwagę dobra zgodność tych oscylacji z epokami cyrkulacyjnymi, szczególnie z okresami nasilenia i osłabienia NAO, wydzielonymi przez Marsza (1999) (tab. 1).

Epoki, w czasie których dominują południkowe bądź strefowe formy cyrkulacji, trwają ponad 30 lat; Bajdał (1977) nazywa te okresy „cyklami geoklimatycznymi”. Nawiązują one niewątpliwie do „klasycznej” 35-letniej okresowości klimatycznej — cyklu Brücknera (por. Boryczka, 1998b). Nie można jednak, jak się zdaje, utożsamiać epoki z modelem cyklu, reprezentowanego przez sinusoidę.

Tabela 1. Epoki cyrkulacyjne w XX w. według różnych autorów

Table 1. Circulation epochs in the XXth century according to different authors

| EMC   | Makroformy cyrkulacji Wangenheima-Girsa<br>Wangenheim-Girs's macroforms of circulation |                                   |                              |                     | Zonal index<br>35–65°N            |                          | S <sub>AC</sub>         | NAO             |
|---|--|-----------------------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|
| Borisenkov<br>(1990)                          | Girs<br>(1977)   | Sidorenko,<br>Svirenkov<br>(1983) | Bajdal<br>Chanžina<br>(1985) | Gorbačewa<br>(1985) | Makrogian-<br>nis i in.<br>(1991) | Kożuchow-<br>ski (1993b) | Kożuchow-<br>ski (1995) | Marsz<br>(1999) |
|   | —  | 1881                              |                              | 1891                |                                   |                          |                         | —               |
|   | W + C  | W + C                             |                              | W + C               |                                   |                          |                         | 1899            |
|   | 1899   | 1899                              | 1895                         |                     |                                   |                          |                         | 1899            |
|   |  |                                   | 1901                         | E                   |                                   |                          |                         | 1900            |
| 1899<br>południ-<br>kowa<br>meridional<br>(N) | 1900   | 1900                              | 1902                         | C                   |                                   | 1899                     | =                       |                 |
|   |  |                                   | 1911                         |                     | 1905                              |                          |                         |                 |
|   |  |                                   | 1912                         | W                   | 1906                              |                          |                         | +               |
| 1915  | W  | W                                 | 1921                         |                     |                                   | * +                      |                         |                 |
| 1916  |  |                                   | 1922                         | W                   |                                   | +                        |                         |                 |
|   |  |                                   | 1928                         | W'                  |                                   |                          |                         | 1929            |
|   | 1928   | 1928                              | 1929                         |                     |                                   |                          | 1930                    |                 |
| strefowa<br>zonal                             | 1929   | 1929                              | 1930                         | E                   | 1936                              |                          | 1931                    | 1930            |
|   | E  | E                                 | 1941                         |                     | 1937–40 W + C                     | 1938                     |                         |                 |
|   | 1939   | 1939                              | 1942                         |                     | 1940                              | 1939                     |                         |                 |
|   | 1940   | 1940                              | 1941                         |                     | 1941                              |                          |                         |                 |
|   | 1948   | 1948                              | 1942                         | C + W               |                                   |                          |                         | —               |
|   | 1949   | 1949                              | 1953                         |                     |                                   |                          |                         | —               |
| 1955  |  |                                   | 1954                         | E + C               |                                   | —                        |                         |                 |
| 1956<br>południkowa<br>meridional<br>(S)      | E + C  | E + C                             | 1964                         |                     |                                   |                          |                         |                 |
|   | 1967   |                                   | 1965                         | E + W               | 1969                              | 1971                     | 1970                    | 1970            |
| 1972  | 1968   | 1972                              | 1974                         |                     | 1970                              | 1972                     | 1971                    | 1971            |
|   | E + C  |                                   | 1975                         | E                   |                                   |                          |                         |                 |
|   | 1976   | 1973                              | 1983                         |                     |                                   | +                        | +                       | +               |
|   |  | W + E                             | 1984                         |                     |                                   |                          |                         |                 |
|   |  |                                   |                              | ?                   |                                   | 1990                     | 1990                    |                 |
|   |  |                                   |                              |                     |                                   |                          |                         | 1995            |
|   |  | 2005                              |                              |                     |                                   |                          |                         |                 |

Indeks cyrkulacji strefowej: „+” wysoki, „-” niski, „=” średni.

Zonal index: „+” high, „-” low, „=” moderate.

EMC — elementarne mechanizmy cyrkulacyjne wg Dzerdzeewskiego; basic circulation processes according to Dzerdzeewsky.

S<sub>AC</sub> — wskaźnik cyrkulacji strefowej według liczby antycyklonów i głębokich cyklonów odpowiednio nad pld. i pln. częścią Europy; index of zonal circulation on the basis of anticyclones and deep cyclones frequency over southern and northern part of Europe.

Cytowany wyżej Bajdal prezentuje raczej asymetryczny model narastania i nagłego załamania charakterystycznych cech w ciągu trwania danej epoki (Bajdal, 1977, s. 49).

Wskaźniki cyrkulacji mogą zawierać składowe cykliczne o okresie ok. 30-letnim (np. częstość makrotypu W ma okres 30,5 roku, Boryczka, 1998a), ale pierwszą harmoniką obrazującą obserwowane zmiany cyrkulacji w minionym stuleciu jest sinusoida 90-letnia, którą zaprezentował Emmrich (1991) na podstawie analizy przebiegu indeksu cyrkulacji strefowej (ZI) na półkuli północnej. Odpowiada ona wiekowemu cyklowi klimatycznemu i obejmuje pełną sekwencję epok cyrkulacyjnych.

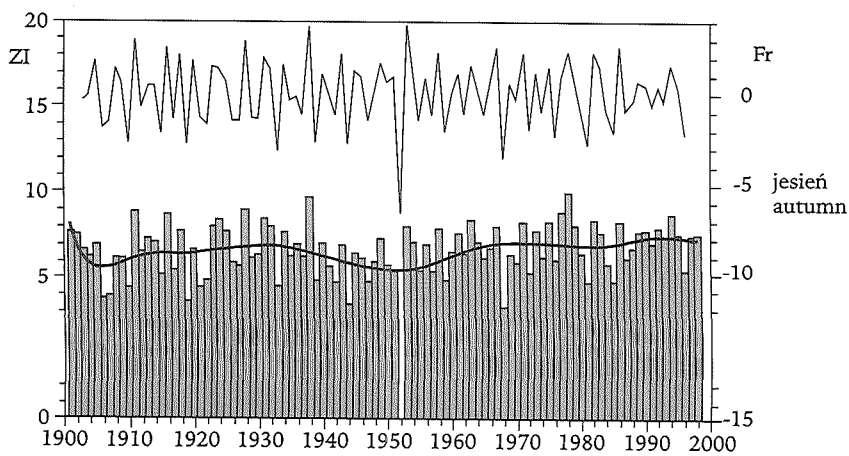
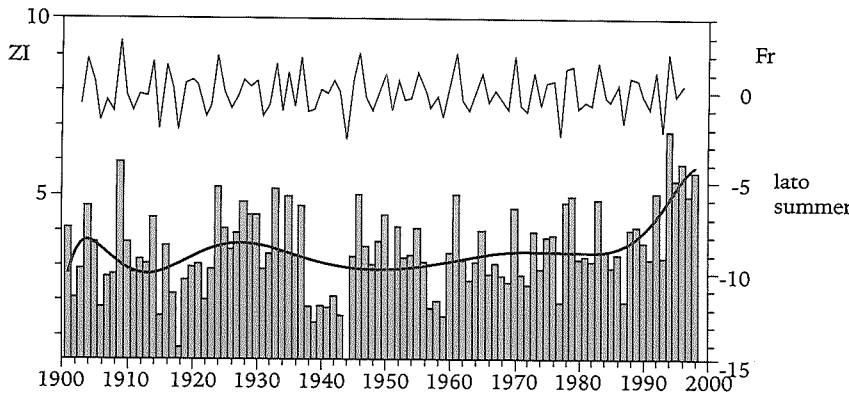
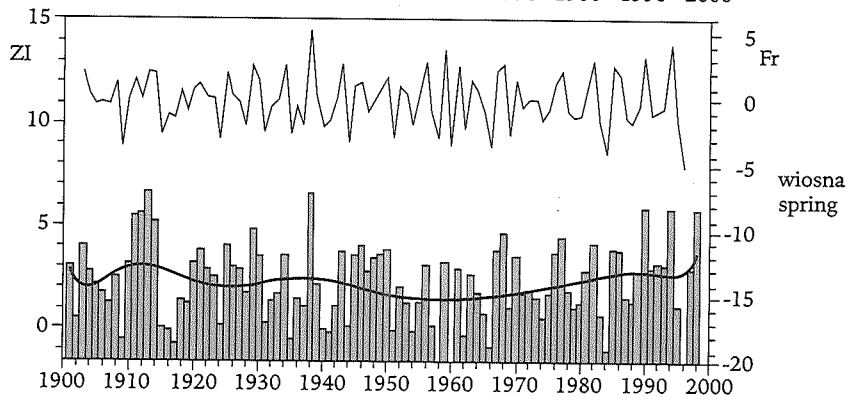
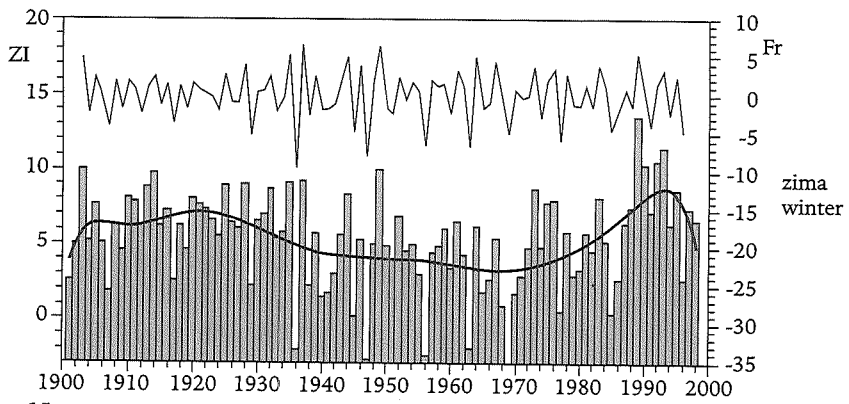
Ustrnul (1997) wyznaczył korelacje między niektórymi wskaźnikami cyrkulacji, w tym NAO, makroform W i składowej zachodniej wiatru geostroficznego. Współczynniki korelacji są istotne, ale nie bardzo wysokie. Istnieją też korelacje typów (form) cyrkulacji różnych skal; stosunkowo dobrą zgodność wykazuje m.in. częstość zachodnich typów cyrkulacji w Polsce i częstości makroform W. Negatywny związek z makroformami W wykazują „blokadowe” typy cyrkulacji wschodniej (Koźuchowski, 1993a). Mniej znane są związki typów cyrkulacji z liczbowymi wskaźnikami cyrkulacji.

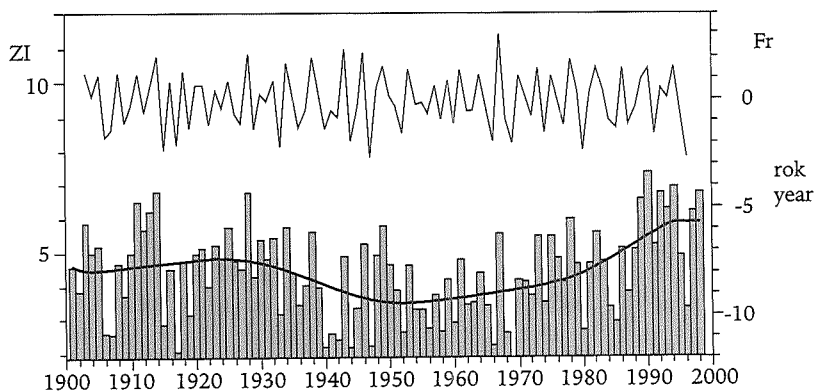
Cyrkulacja ulega okresowym zmianom w cyklu rocznym: indeks cyrkulacji strefowej (ZI) w sezonie jesiennym jest np. trzykrotnie wyższy niż na wiosnę. Również „epokowe” zmiany cyrkulacji wykazują sezonowe zróżnicowanie; interesujące jest, że wspomniana regresja strefowych form cyrkulacji W (od początku XX w. do 1970 r.) zaznaczyła się wyraźniej latem niż zimą (odpowiednie trendy częstości to 3 i 2 dni/10 lat, Bagrov, 1978). Podobnie też strefowe typy cyrkulacji według Dzerdzeewskiego wykazują większą amplitudę zmian wieloletnich w lecie niż w zimie (Čaplygina, 1972). Struktura sezonowa w decydujący sposób wpływa na klimatyczny charakter epoki cyrkulacyjnej, w ciągu roku bowiem zmienia się oddziaływanie cyrkulacji na warunki klimatyczne. I tak np. powodem ocieplenia w środkowej Europie jest zmniejszenie częstości występowania strefowych form cyrkulacji latem i jej wzrost zimą (por. Koźuchowski, Marciniak, 1988, 1990). Wpływ cyrkulacji na temperaturę wzrasta z reguły w sezonie zimowym (Wibig, 2000), w podobny sposób układają się też związki typów i makroform cyrkulacji (Koźuchowski, 1993a).

### Cele, materiały i metoda opracowania

Wykonaliśmy próbę podziału minionego wieku na okresy — epoki cyrkulacyjne, uwzględniające poziom (nasilenie) i sezonowe zróżnicowanie cyrkulacji strefowej. Do podziału wykorzystano dwa liczbowe wskaźniki cyrkulacji: indeks cyrkulacji strefowej między 35° i 65°N (ZI) oraz wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO). Serie ich miesięcznych wartości z lat 1901–1998 pochodzą z publikacji Dinesa (1968), *Grosswetterlagen Europas* (1968–1998) (ZI) oraz z publikacji Jonesa i in. (1997) (NAO). Indeks cyrkulacji strefowej (ZI) sta-







Rys. 1. Przebieg indeksu ZI (dolna krzywa) — krzywa pogrubiona przedstawia przebieg wyrównany wielomianem 10. stopnia; górny wykres (Fr) przedstawia przebieg filtra różnicowego.

Fig. 1. The course of the ZI index (lower curve) — bold line displays polynomial fit of 10 degree; the upper curve (Fr) shows the course of the differential filter.

Wyrazem zróżnicowania warunków cyrkulacyjnych w kolejnych epokach jest zmienność struktury typów lat A, B, C, D oraz różnice średnich „epokowych” wartości ZI i NAO, w porównaniu ze średnimi wieloletnimi (1901–1998) i ze średnimi z epok sąsiednich. Określono istotność statystyczną tych różnic.

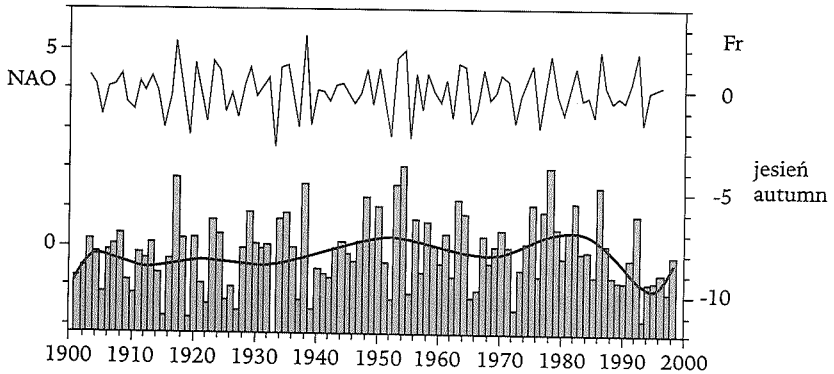
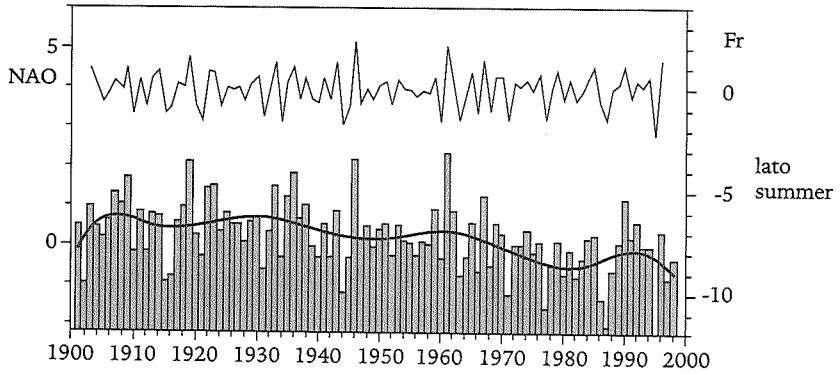
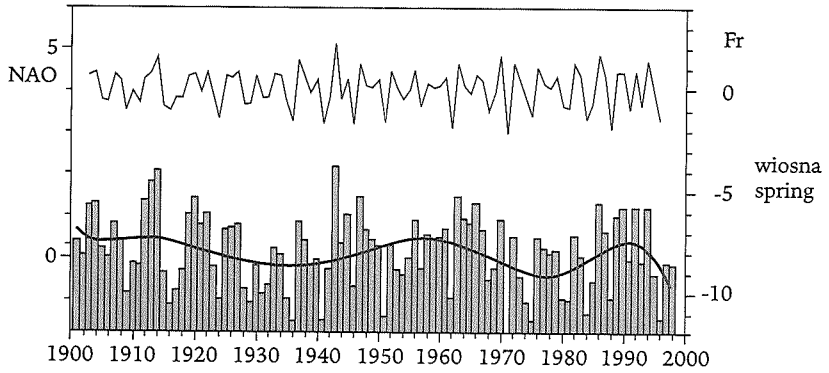
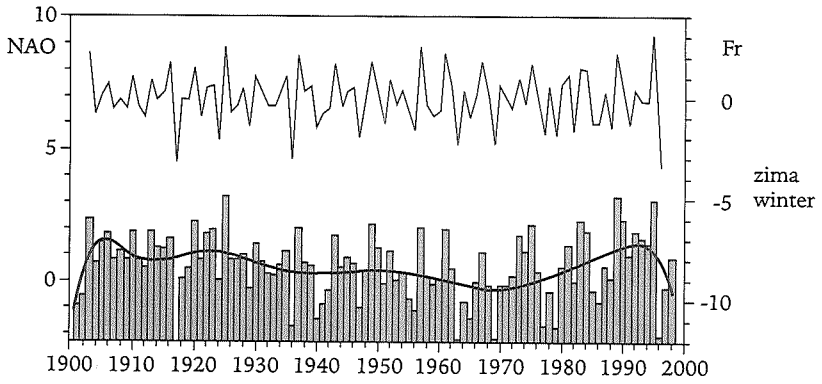
Drugim celem opracowania jest określenie relacji między frekwencją typów cyrkulacji w Polsce a makroskalową cyrkulacją strefową. Wykorzystując kalendarz typów cyrkulacji według Osuchowskiej-Klein (1978, 1991) określono występowanie głównych typów cyrkulacji w kolejnych epokach cyrkulacyjnych oraz w latach o typowym układzie sezonowym wskaźników cyrkulacji strefowej ZI i NAO (grupy A, B, C, D).

Tablica wzajemnych korelacji między cechami, tj. między sezonowymi wartościami ZI i NAO (tab. 2) wykazuje, że tylko między zimowymi średnimi NAO i ZI istnieje dość wysoka, istotna korelacja.

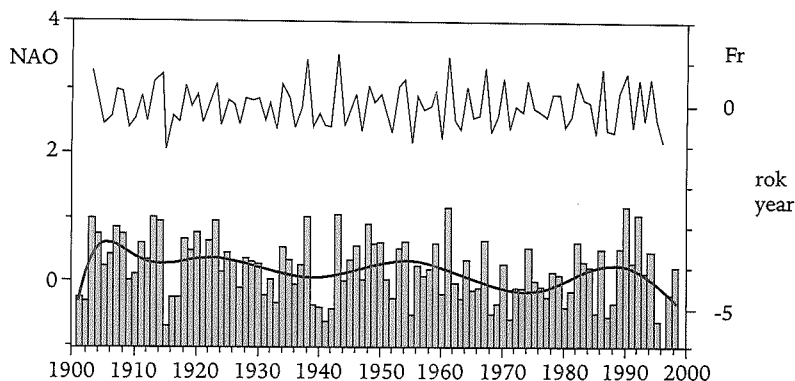
### Zmienność sezonowa i wieloletnia wskaźników cyrkulacji strefowej

Zmienność sezonowych i rocznych wartości ZI i NAO w latach 1901–1998 obrazują rys. 1 i 2. Poza średnimi z kolejnych lat zaznaczono na nich wartości funkcji różniczkowej, wyrażającej dynamikę zmian z roku na rok: wartości tej funkcji odzwierciedlają względną głębokość lokalnych ekstremów (Walanus, 1997). Jak widać, dynamika ta nie wykazuje znaczących, systematycznych zmian.

Wieloletnie trendy zobrazowane są przez wielomiany 10. stopnia. Charakterystyczne są przyrosty wskaźników cyrkulacji strefowej w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych; dotyczy to zwłaszcza indeksu ZI, którego maksimum przypada na rok 1990 (Kozuchowski, 1993b). Widać, że to ostatnie nasilenie cyrkulacji strefowej wystąpiło zarówno zimą, jak i latem. Mniej wyraźne są te ten-







Rys. 2. Przebieg indeksu NAO (dolna krzywa) — krzywa pogrubiona przedstawia przebieg wyrównany wielomianem 10. stopnia; górny wykres (Fr) przedstawia przebieg filtra różnicowego.

Fig. 2. The course of the ZI index (lower curve) — bold line displays polynomial fit of 10 degree; the upper curve (Fr) shows the course of the differential filter.

dencje w przebiegu wskaźnika NAO. Średnie roczne wartości NAO są wprawdzie najwyższe również w latach dziewięćdziesiątych, ale np. dla wartości letnich tego wskaźnika charakterystyczny jest raczej trend malejący w ciągu całego stulecia.

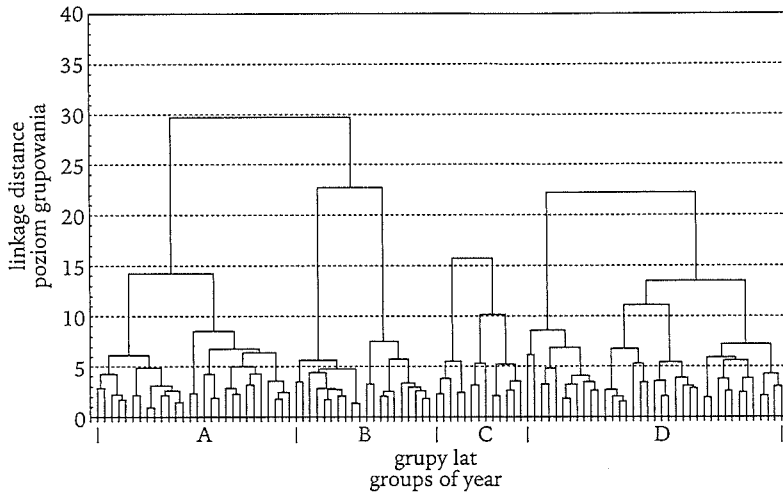
Grupowanie lat podobnych pod względem sezonowych wartości ZI i NAO pozwala wyróżnić 4 główne typy sezonowej struktury cyrkulacji strefowej (rys. 3).

Typ pierwszy (A) reprezentują lata: 1904, 1905, 1908, 1910, 1911, 1912, 1921, 1922, 1923, 1926, 1927, 1930, 1934, 1943, 1946, 1948, 1950, 1959, 1961, 1967, 1976, 1978, 1982, 1988, 1991, 1994, 1997, 1998. W tych latach wszystkie pory roku charakteryzują się umiarkowaną wzmożoną cyrkulacją strefową. Zimą i wiosną wartości ZI znacząco przewyższają średnią wieloletnią (tab. 3). Wskaźnik NAO jest nieznacznie wyższy od średniej.

Typ B wyróżnia się bardzo silną cyrkulacją strefową w zimie. Istotne dodatnie odchylenia dotyczą w tym przypadku zarówno wskaźnika ZI, jak i NAO (tab. 3). Typ B wystąpił w latach 1903, 1913, 1914, 1916, 1920, 1925, 1928, 1931, 1932, 1935, 1937, 1949, 1973, 1975, 1983, 1989, 1990, 1992, 1993, 1995. Zwraca uwagę nieobecność tego typu w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych.

Typ C stanowi jedyny przypadek, w którym występuje wschodnia cyrkulacja w zimie: wartości ZI i NAO są ujemne. Na wiosnę i w jesieni wskaźniki cyrkulacji strefowej przewyższają znacząco średnią (tab. 3). Typ C wystąpił najrzadziej; serię lat reprezentujących ten typ rozpoczyna rok 1929, kończy — 1986; ponadto należą tu lata 1936, 1938, 1945, 1947, 1956, 1963, 1968, 1969, 1970, 1977, 1985.

Typ D charakteryzuje się osłabioną cyrkulacją strefową w ciągu całego roku. Wartości ZI i NAO są niższe od średniej. Grupa lat zakwalifikowanych do typu



Rys. 3. Dendrogram ilustrujący podział na grupy lat typu: A, B, C i D.

Typ A wystąpił w latach: 1904, 1905, 1908, 1910, 1911, 1912, 1921, 1922, 1923, 1926, 1927, 1930, 1934, 1943, 1946, 1948, 1950, 1959, 1961, 1967, 1976, 1978, 1982, 1988, 1991, 1994, 1997, 1998.

Typ B wystąpił w latach: 1903, 1913, 1914, 1916, 1920, 1925, 1928, 1931, 1932, 1935, 1937, 1949, 1973, 1975, 1983, 1989, 1990, 1992, 1993, 1995.

Typ C wystąpił w latach: 1929, 1936, 1938, 1945, 1947, 1956, 1963, 1968, 1969, 1970, 1977, 1985, 1986.

Typ D wystąpił w latach: 1901, 1902, 1906, 1907, 1909, 1915, 1917, 1918, 1919, 1924, 1933, 1939, 1940, 1941, 1942, 1944, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1957, 1958, 1960, 1962, 1964, 1965, 1966, 1971, 1972, 1974, 1979, 1980, 1981, 1984, 1987, 1996.

Fig. 3. Dendrogram illustrating the division into the groups of years classified as: A, B, C and D.

Type A occurred in the following years: 1904, 1905, 1908, 1910, 1911, 1912, 1921, 1922, 1923, 1926, 1927, 1930, 1934, 1943, 1946, 1948, 1950, 1959, 1961, 1967, 1976, 1978, 1982, 1988, 1991, 1994, 1997, 1998.

Type B occurred in the following years: 1903, 1913, 1914, 1916, 1920, 1925, 1928, 1931, 1932, 1935, 1937, 1949, 1973, 1975, 1983, 1989, 1990, 1992, 1993, 1995.

Type C occurred in the following years: 1929, 1936, 1938, 1945, 1947, 1956, 1963, 1968, 1969, 1970, 1977, 1985, 1986.

Type D occurred in the following years: 1901, 1902, 1906, 1907, 1909, 1915, 1917, 1918, 1919, 1924, 1933, 1939, 1940, 1941, 1942, 1944, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1957, 1958, 1960, 1962, 1964, 1965, 1966, 1971, 1972, 1974, 1979, 1980, 1981, 1984, 1987, 1996.

D jest najliczniejsza (1901, 1902, 1906, 1907, 1909, 1915, 1917, 1918, 1919, 1924, 1933, 1939, 1940, 1941, 1942, 1944, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1957, 1958, 1960, 1962, 1964, 1965, 1966, 1971, 1972, 1974, 1979, 1980, 1981, 1984, 1987, 1996).

Rozkład występowania wyróżnionych typów w ciągu analizowanego 98-letnia oraz odpowiadające im wskaźniki cyrkulacji pozwalają uznać, że przypadki A i D są wyrazem typowej zmienności nasilenia cyrkulacji strefowej: wskaźniki jej są w ciągu całego roku wysokie (A) lub niskie (D). Przypadki B i C natomiast, od-

powiednio z nadzwyczajnym rozwojem lub redukcją cyrkulacji strefowej, repre-

zentują „epokowy” charakter zmian warunków cyrkulacyjnych. Można dostrzec wieloletnie okresy nieobecności typów B bądź C.

Table 3. Odchylenia wartości średnich ZI i NAO charakteryzujących daną grupę lat od wartości średniej z okresu 1901–1998

Table 3. Differences between the ZI and NAO indices averaged within group of years and their means from the periode 1901–1998

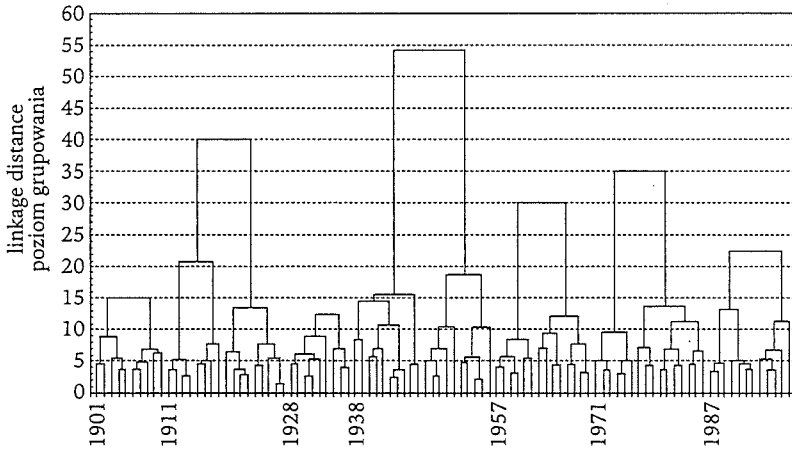
| Grupy lat<br>Groups of<br>years | Odchylenia ZI<br>Deviations of the ZI |                  |                |                  | Odchylenia NAO<br>Deviations of the NAO |                  |                |                  |
|---------------------------------|---------------------------------------|------------------|----------------|------------------|---|------------------|----------------|------------------|
|                                 | Zima<br>Winter                        | Wiosna<br>Spring | Lato<br>Summer | Jesień<br>Autumn | Zima<br>Winter                          | Wiosna<br>Spring | Lato<br>Summer | Jesień<br>Autumn |
| A                               | +1,1*                                 | +1,3**           | +0,3           | +0,2             | +0,3                                    | +0,3             | +0,2           | +0,0             |
| B                               | +3,9**                                | +0,3             | +0,6*          | +1,0**           | +1,4**                                  | +0,1             | -0,0           | -0,1             |
| C                               | -5,4**                                | +1,4*            | -0,3           | +0,1             | -1,4**                                  | +0,2             | -0,2           | +0,7*            |
| D                               | -1,0*                                 | -1,6**           | -0,4*          | -0,7**           | -0,5**                                  | -0,3**           | -0,1           | -0,2             |

\* odchylenie istotne na poziomie 0,05; deviation significant at 0,05 level

\*\* odchylenie istotne na poziomie 0,01; deviation significant at 0,01 level

Spostrzeżenie to potwierdzają wyniki grupowania lat metodą Warda, z wymuszoną sekwencją czasową (rys. 4). Procedura ta prowadzi do wyróżnienia 7 grup — złożonych z kolejnych lat, odpowiadających poszukiwanym epokom cyrkulacyjnym (tab. 4). Epoki te różnią się między sobą frekwencją lat reprezentujących określone typy sezonowej struktury wskaźników cyrkulacji. Za miarę nasilenia cyrkulacji strefowej w poszczególnych epokach można uznać stosunek liczby lat A + B do liczby lat C + D. Tak wyrażona „strefowość” (Q) zmieniała się od 0,26 w epoce 1957–1970 do 4,90 w ostatniej epoce 1987–1998 z wyjątkowo rozwiniętą cyrkulacją strefową. Indywidualne cechy epoki określone przez liczbę lat A, B, C i D wyrażają wartości testu  $\chi^2$  dla różnicy rozkładu częstości tych lat w epoce i w całym analizowanym okresie 1901–1998. Tak określona miara epoki wyróżnia najbardziej okres 1957–1970, odznaczający się wyjątkowo słabą cyrkulacją strefową (tab. 4).

Epoki charakteryzują się zróżnicowanymi średnimi wartościami wskaźników cyrkulacji: średnie te porównano między sobą i porównano ze średnią wieloletnią 1901–1998; odchylenia średnich epokowych od średniej wieloletniej zestawiono w tab. 5. Najwyższymi dodatnimi odchyleniami wskaźników cyrkulacji wyróżniła się zima w epoce 1987–1998. Ujemne odchylenia osiągnęły największe rozmiary zimą w epoce 1957–1970. Epoki te reprezentują skrajne warunki cyrkulacyjne: silną i słabą cyrkulację strefową. Wyrażają to przede wszystkim sezonowe odchylenia wskaźnika ZI. Wskaźnik NAO zachowuje się mniej konsekwentnie; w żadnej z epok nie ma jednakowych znaków odchylenia sezonowych (tab. 5).



Rys. 4. Dendrogram ilustrujący podział na epoki cyrkulacyjne według procedury Warda. Na poziomie 55 zaprzestano dalszego grupowania. Wyszczególnione lata wyznaczają początek epoki.

Fig. 4. Dendrogram illustrating the division into circulation epochs by the Ward's procedure. Distance equal to 55 denotes level at which further clustering was stopped. Specified years determine the beginning of the epoch.

Tabela 4. Udział lat typu A, B, C i D w poszczególnych epokach cyrkulacyjnych  
Table 4. Number of years classified as A, B, C, D during the circulation epochs

| Epoka<br>Epoch | Częstość<br>Relative frequency |      |      |      | Q    | $\chi^2$ |
|----------------|--------------------------------|------|------|------|------|----------|
|                | A                              | B    | C    | D    |      |          |
| 1901-1910      | 0,40                           | 0,10 | 0,00 | 0,50 | 1,00 | 2,85     |
| 1911-1927      | 0,41                           | 0,29 | 0,00 | 0,29 | 2,40 | 3,90     |
| 1928-1937      | 0,20                           | 0,50 | 0,20 | 0,10 | 2,30 | 6,01     |
| 1938-1956      | 0,21                           | 0,50 | 0,21 | 0,53 | 0,35 | 4,80     |
| 1957-1970      | 0,21                           | 0,00 | 0,29 | 0,50 | 0,26 | 6,36     |
| 1971-1986      | 0,19                           | 0,19 | 0,19 | 0,44 | 0,60 | 1,11     |
| 1987-1998      | 0,42                           | 0,42 | 0,00 | 0,17 | 4,90 | 5,77     |

Q — stosunek liczby lat typu (A + B) do (C + D), tzw. „strefowość”; ratio of number of years (A + B) to (C + D), so called „zonality”

$\chi^2$  — wartość testu chi kwadrat, wyrażająca różnicę rozkładów częstości lat typu A, B, C i D w epoce i całym okresie 1901-1998; value of chi square test, expressing the difference between frequency distribution of years A, B, C and D within the epoch and the whole period 1901-1998

Tabela 5. Odchylenia średnich wartości NAO i ZI w danej epoce od średniej z okresu 1901–1998  
 Table 5. Differences between the NAO and the ZI averaged within epochs and their means for the period 1901–1998

| Epoka<br>Epoch                       | Odchylenia ZI<br>Deviations of the ZI |                  |                |                  | Odchylenia NAO<br>Deviations of the NAO |                  |                |                  |
|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------|----------------|------------------|---|------------------|----------------|------------------|
|                                      | Zima<br>Winter                        | Wiosna<br>Spring | Lato<br>Summer | Jesień<br>Autumn | Zima<br>Winter                          | Wiosna<br>Spring | Lato<br>Summer | Jesień<br>Autumn |
| 1901–1910 DA                         | +0,32                                 | -0,15            | +0,05          | -0,59            | +0,38                                   | +0,23            | +0,39          | -0,22            |
| 1911–1927 ABD                        | +1,52 c                               | +0,56            | -0,36          | +0,05            | +0,46                                   | +0,34            | +0,37 c        | -0,29            |
| 1928–1937 BAC                        | +0,77                                 | -0,33            | +0,75 ct       | +0,38            | -0,01                                   | -0,62 ct         | +0,41          | +0,08            |
| 1938–1956 DAC                        | -1,57 c                               | -0,00            | -0,54 ct       | -0,73            | -0,31                                   | +0,04 t          | +0,01          | +0,26            |
| 1957–1970 DCA                        | -2,25 c                               | -0,79            | -0,39          | -0,14            | -0,68                                   | +0,32 c          | +0,10          | +0,10            |
| 1971–1986 DABC                       | -0,58                                 | -0,12            | +0,06          | +0,57            | -0,18                                   | -0,48 ct         | -0,59 ct       | +0,37            |
| 1987–1998 ABD                        | +2,85 ct                              | -0,67            | +1,10 ct       | +0,68 c          | +0,55                                   | +0,03            | -0,54          | -0,48 ct         |
| Średnie 1901–1998<br>Means 1901–1998 | 5,33                                  | 2,19             | 3,37           | 6,50             | 0,53                                    | 0,10             | 0,17           | -0,23            |
| Odchyl. stand.<br>Stand. dev.        | 3,18                                  | 1,91             | 1,21           | 1,59             | 1,24                                    | 0,89             | 0,86           | 0,93             |

t — odchylenie od wartości poprzedniej istotne na poziomie 0,05 (test t-studenta)

t — deviation from the preceding value significant at 0,05 level (t-student's test)

c — odchylenie od średniej 98-letniej istotne na poziomie 0,05 (test Cramera)

c — deviation from the 98-years mean significant at 0,05 level (Cramer's test)

Wyjątkowo wysoka ocena intensywności cyrkulacji strefowej w ostatniej epoce cyrkulacyjnej (1987–1998), której przypisano wartość  $Q = 4,9$ , wynika głównie z wysokiej wartości wskaźnika ZI we wszystkich sezonach. Towarzyszy mu jedynie duża wartość NAO w zimie; jesienią indeks NAO był znacząco niższy od normy. Relacje te potwierdzają m.in. spostrzeżenie, że przyrost NAO w ostatnim okresie był znacznie słabszy od przyrostu indeksu ZI.

### Epoki cyrkulacyjne i zmienność typów cyrkulacji w Polsce

Związek warunków cyrkulacyjnych w Polsce z makroskalowymi wskaźnikami cyrkulacji strefowej ujawnia się dość wyraźnie w relacjach między częstością występowania zachodnich i wschodnich typów cyrkulacji w poszczególnych epokach cyrkulacyjnych. Relacje te określono obliczając stosunki częstości (W/E) typów cyrkulacji  $A + CB + D + C_2D$  (zachodnia, północno-zachodnia i południowo-zachodnia cyrkulacja cyklonalna oraz zachodnia cyrkulacja antycyklonalna) do typów  $E + E_1 + E_0$  (północno-wschodnia, wschodnia i południowo-wschodnia cyrkulacja antycyklonalna oraz południowo-wschodnia i wschodnia cyrkulacja cyklonalna). Wyszczególnione typy zaliczają się do najczęściej występujących, tzw. „głównych” układów cyrkulacyjnych nad Polską (Osuchowska-Klein, 1987),

a ponadto, z wyjątkiem typu  $E_0$ , są to typy cyrkulacji wykazujące istotny związek z makroformami cyrkulacyjnymi W, E, C (Kożuchowski, 1993a).

W latach charakteryzujących się względnie wysokimi wskaźnikami cyrkulacji strefowej we wszystkich porach roku (typ A) iloraz W/E wynosi średnio 1,30, a w latach z wysokimi wskaźnikami w zimie (typ B) — 1,42. Natomiast w latach zakwalifikowanych do typu C (słaba strefowość zimą) i do typu D (słaba strefowość w ciągu roku) częstości zachodnich i wschodnich typów cyrkulacji zrównują się: ilorazy W/E wynoszą odpowiednio 0,99 i 1,10.

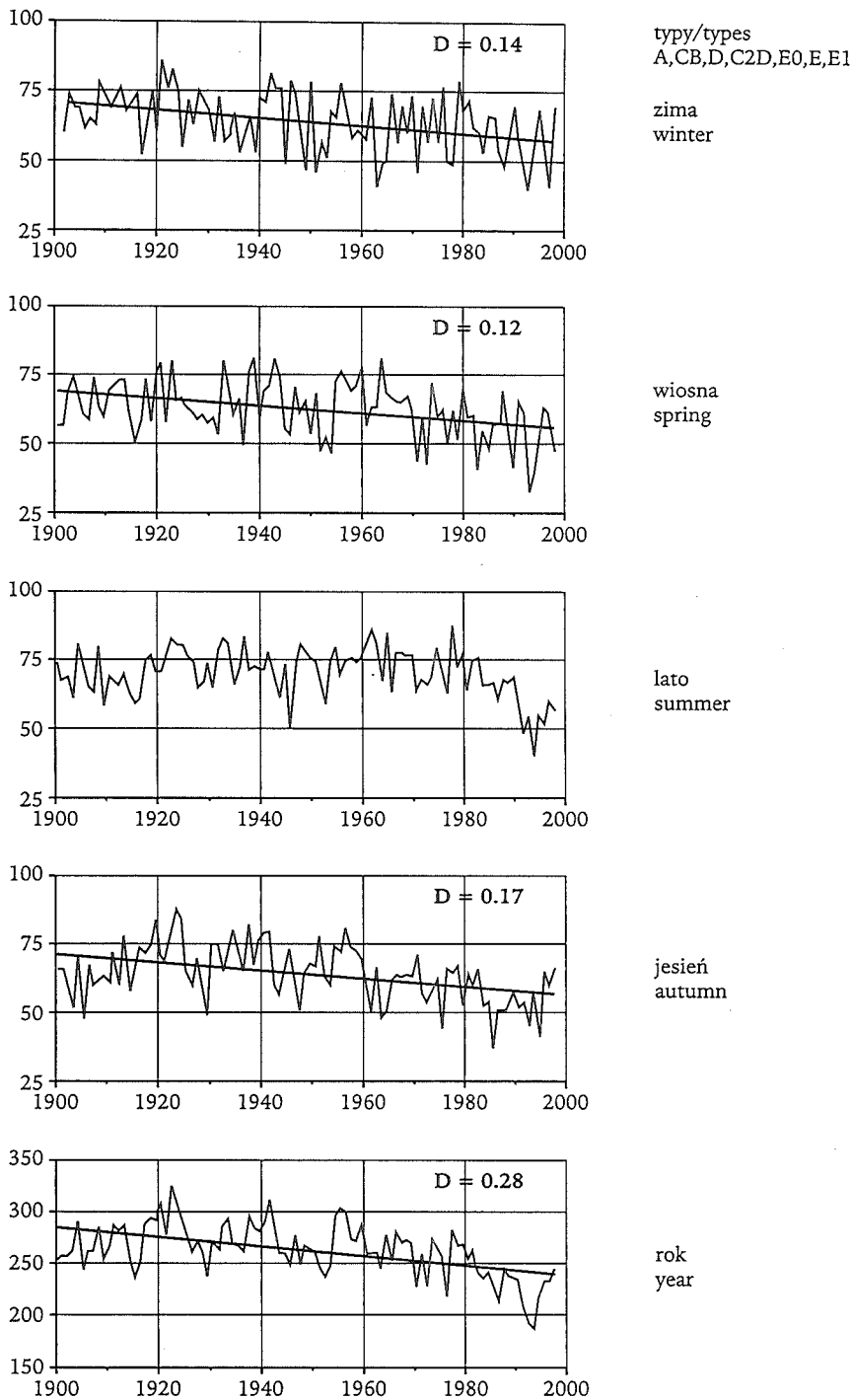
Zmienność relacji między zachodnimi i wschodnimi typami cyrkulacji w Polsce przybiera większe rozmiary w epokach cyrkulacyjnych (tab. 6). Znaczną przewagę zachodnich typów cyrkulacji mamy przede wszystkim w ostatniej epoce (1987–1998). Iloraz W/E w tej epoce jest wyjątkowo duży, zwłaszcza w sezonie zimowym (2,65). Dość duże ilorazy charakterystyczne są też dla epoki 1911–1927 (1,67 zimą, 1,38 w skali całego roku, tab. 6). Oba „epokowe” maksima ilorazu W/E występują zgodnie z maksimami wskaźnika strefowości Q (por. tab. 4) i potwierdzają znaczący rozwój przenoszenia zachodniego w ostatniej epoce cyrkulacyjnej. Mniej „uzasadniony” jest niski iloraz ( $W/E < 1!$ ), przypadający na epokę 1971–1986.

Tab e l a 6. Średnie sezonowe i roczne wartości ilorazu W/E (zachodnie/wschodnie typy cyrkulacji) w epokach cyrkulacyjnych

Tab l e 6. Seasonal and annual mean of W/E ratio (western/eastern types of circulation) within the circulation epochs

| Epoka<br>Epoch | W/E            |                  |                |                  | Rok<br>Year |
|----------------|----------------|------------------|----------------|------------------|-------------|
|                | Zima<br>Winter | Wiosna<br>Spring | Lato<br>Summer | Jesień<br>Autumn |             |
| 1901–1910      | 1,91           | 1,02             | 1,66           | 0,97             | 1,35        |
| 1911–1927      | 1,67           | 1,09             | 1,63           | 1,30             | 1,38        |
| 1928–1937      | 1,21           | 0,66             | 1,27           | 1,33             | 1,10        |
| 1938–1956      | 1,15           | 0,80             | 1,13           | 1,12             | 1,07        |
| 1957–1970      | 1,64           | 0,85             | 1,29           | 1,50             | 1,27        |
| 1971–1986      | 0,99           | 0,57             | 0,74           | 1,55             | 0,89        |
| 1987–1998      | 2,65           | 1,11             | 1,71           | 1,46             | 1,65        |

Charakterystyczną cechą analizowanego wielolecia, w znacznym stopniu związaną z sytuacją w ostatniej epoce cyrkulacyjnej, są malejące trendy wszystkich głównych typów cyrkulacji. Od początku stulecia liczba dni w roku z głównymi typami cyrkulacji zmalała o ponad 20%, przy czym większa część tego ubytku nastąpiła w latach dziewięćdziesiątych (rys. 5). W zamian pojawiły się ze zwiększoną częstością rzadkie dotąd typy cyrkulacji: centralna cyrkulacja antycyklonalna (G), pośrednia cyrkulacja południowa (BE) i południowo-wschodnia cyrkulacja cyklonalna (F). Tendencje rozwojowe tych typów w latach siedem-



Rys. 5. Liczba dni z głównymi typami cyrkulacji według klasyfikacji Osuchowskiej-Klein. Tam, gdzie trend był statystycznie istotny, zaznaczono linię trendu i współczynnik determinacji.

Fig. 5. Frequency of days with main circulation types according to Osuchowska-Klein classification. The line of trend and coefficient of determination are marked if the trend is statistically significant.

Tabela 7. Roczna częstość niektórych typów cyrkulacji w Polsce w epokach cyrkulacyjnych (liczba dni)

Table 7. Annual relative frequency of some circulation types in Poland within circulation epochs (numbers of days)

| Epoka<br>Epoch | G     | BE    | B     | A + CB +<br>+ D |
|----------------|-------|-------|-------|-----------------|
| 1901–1910      | 7,90  | 5,10  | 13,00 | 114,20          |
| 1911–1927      | 5,53  | 2,18  | 14,88 | 121,65          |
| 1928–1937      | 3,10  | 1,20  | 21,40 | 99,80           |
| 1938–1956      | 4,58  | 2,53  | 18,05 | 101,05          |
| 1957–1970      | 12,43 | 2,29  | 19,29 | 103,79          |
| 1971–1986      | 15,38 | 5,63  | 22,31 | 91,56           |
| 1987–1998      | 21,92 | 10,00 | 8,42  | 102,42          |
| 1901–1998      | 9,44  | 3,98  | 17,02 | 104,85          |

G — typ centralny antycyklonalny; central anticyclonic type,

BE — typ pośredni południowy; southern mixed type,

B — typ cyklonalny południowy; southern cyclonic type,

A + CB + D — typy zachodnie cyklonalne; western cyclonic types

dziesiątych i osiemdziesiątych wykryła już Lorenć (1994). W ostatniej epoce cyrkulacyjnej częstość centralnej cyrkulacji antycyklonalnej osiągnęła blisko 22 dni w roku, przy średniej wieloletniej niższej od 10. Do 10 dni w roku wzrosła częstość cyrkulacji południowej BE (średnia 4). Radykalnie zmalała natomiast częstość południowej cyrkulacji cyklonalnej (8 dni w roku, ok. 1/2 średniej) (tab. 7). Zachodnie, w tym i zachodnie cyklonalne typy cyrkulacji, mimo pewnego przyrostu częstości, nie osiągnęły w ostatniej epoce cyrkulacyjnej swego średniego poziomu wieloletniego i były rzadziej reprezentowane niż w dwu epokach na początku stulecia, a nawet w skrajnej epoce 1957–1970, odznaczającej się najsłabszą w badanym okresie cyrkulacją strefową. Relacje te niewątpliwie odzwierciedlają specyficzny charakter warunków cyrkulacyjnych przy końcu XX wieku.

Materiały wpłynęły do redakcji 4 V 2000 r.

#### Literatura

Bagrov N. A., 1978, *Ob ispolzovanii tipov cirkulacii E, W, C dla dolgosročnych prognozov*. Trudy Gidromet. Naučn. Issl. Centra SSSR, t. 195, Leningrad, Gidrometeoizdat.

Bajdal M. Ch., 1977, *Častočno-cikličeski analiz i razčet klimatičeskih karakteristik*. [W:] *Klimatologija*

*i svierchdolgosročnyj prognoz*. Leningrad GGO, s. 39–46.



- Bajdal M. Ch., Chanżina D. G., 1986, *Mnogoletnij chod povtorjaemosti globalnych sinoptičeskich ob'ektov i ich soprjażennost'*. Trudy Wsiech. Nauč. Issl. Inst. Gidromet. Inf., Moskwa, t. 129.
- Bajdal M. Ch., 1986, *Cirkulacionnye parametry klimata do i posle 30-ch godov XX stoletija*. Ibidem.
- Borisenkov E. P., 1992, *Documentary evidence from the USSR* [W:] Bradley R. S., Jones P. D. (red.) *Climate since A. D. 1500*. London — W. Y., Routledge, s. 171–183.
- Boryczka J., 1998a, *Zmiany klimatu Ziemi*. Warszawa, Wyd. Akad. Dialog, s. 166.
- Boryczka J., 1998b, *Postęp badań współczesnych wahań klimatu w drugiej połowie XX wieku*. Prace i Studia Geogr. UW, t. 22, s. 50–63.
- Čaplygina A. S., 1972, *O tipizacji cirkulacyjnych processow w atmosferze severnogo poluśarija i o vozmożnostijach ego obektivizacii s pomoščiju čislennych charakteristik*. [W:] Pogosjan Ch. P. (red.), *Problemy obščej cirkulacii atmosfery*. Leningrad, Gidrometeoizd.
- Dinies E., 1968, *Monatliche und jährliche Breitenkreismittel des Luftdrucks auf der Nordhalbkugel für die Jahre 1899 bis 1967*. Bericht. Deutsch. Wetterdienstes., 15 (109), 18.
- Dziedziewskij B. L., Kurganskaja W. M., Witwickaja Z. M., 1946, *Tipizacija cirkulacyjnych mechanizmov w severnom poluśarii i charakteristika sinoptičeskich sezonov*. Trudy Nauč. Issl. Uprawl. Gław. Uprawl. Gidromet. St., t. 21.
- Dziedziewskij B. L., 1975, *Obščaja cirkulacija atmosfery i klimat*. Moskwa, Izd. Nauka.
- Emmrich P., 1991, *'92 Jahre nordhemisphärischer Zonalindex. Eine Trendbetrachtung*. Meteorol. Rundsch, t. 43, 160–169.
- Ewert A., 1984, *Opady atmosferyczne na obszarze Polski w przekroju rocznym*. Słupsk, Wyd. WSP.
- Gębica P., Kobjek E., Kożuchowski K., Papińska E., Wibig J., 1999, *Badania zmienności czasowej w geografii fizycznej*. [W:] Domański B., Widacki W. (red.), *Geografia polska u progu trzeciego tysiąclecia*. Kraków, Instytut Geografii UJ, s. 123–134.
- Girs A. A., 1948, *K voprosu izučenijsja osnovnych form atmosferyjnoj cirkulacii*. Met. i Gidr., t. 10, nr 3.
- Girs A. A., 1977, *Mnogoletnie preobrazowanija form atmosferyjnoj cirkulacii i kolebanija klimatov različnych rajonov severnogo poluśarija*. [W:] *Klimatologija i sverchdolgosročnyj prognoz*. Leningrad, Gidrometeoizdat.
- Gorbačeva N. A., 1986, *K voprosu ob obiektywnych pokazatelach klassifikacii G. Ja Wangengeima — A. A. Girsy*. Trudy Wsiech. Nauč. Issl. Inst. Gidromet. Inf., t. 129.
- Grosswetterlagen Europas 1968–1998*. Deutsche Wetterdienst Offenbach am Mein.
- Jones P. D., Jonsson T., Wheeler D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland*. Int. J. Climatol., t. 17, s. 1433–1450, <ftp://ftp.cru.uea.ac.uk/data>
- Kożuchowski K., Marciniak K., 1986, *Fluktuacje kontynentalizmu klimatu Polski na tle warunków cyrkulacyjnych i solarnych*. Prz. Geof., t. 31, nr 2, s. 139–152.
- Kożuchowski K., Marciniak K., 1988, *Variability of mean monthly temperatures and semi-annual precipitation totals in Europe in relation to hemisphere circulation patterns*. J. Climatol. t. 8, s. 191–199.
- Kożuchowski K., Marciniak K., 1990, *The influence of global circulation patterns on inter-annual temperature changes in Europe*. Ztsch. Meteorol., t. 40, nr 4, s. 237–240.
- Kożuchowski K., 1993a, *Makrotypy ogólnej cyrkulacji atmosfery a główne typy cyrkulacji nad Polską*. Prz. Geof., t. 38, nr 3–4, s. 241–247.
- Kożuchowski K., 1993b, *Variations of hemispheric zonal index since 1899 and its relationships with air temperature*. Int. J. Climatol., t. 13, s. 853–864.
- Kożuchowski K., 1995, *Głębokie cyklony, antycyklony i cyrkulacja strefowa nad Europą (1900–1990)*. Prz. Geof., t. 40, nr 3, s. 223–246.
- Kożuchowski K., 1996, *Understanding and assessments of some aspects of climate variation in Poland*. Geogr. Polonica, t. 67, s. 39–58.
- Lorenc H., 1994, *Symptomy zmian klimatu w strefach ograniczonych wpływów antropogenicznych*. Mat. Bad. IMGW, ser. Meteorologia, t. 19, Warszawa.
- Makrogiannis T. J., Sahsammonoglou H. S., Flocas A. A., Blautsos A. A., 1991, *Analysis of the monthly zonal index values and long-term changes of circulation over the North Atlantic and Europe*. Int. J. Climatol., t. 11, s. 493–503.

- Marsz A. A., 1999, *Oscylacja Północnoatlantycka a reżim termiczny zim na obszarze północno-zachodniej Polski i na polskim wybrzeżu Bałtyku*. Prz. Geogr., t. 71, nr 3, s. 225–245.
- Marsz A. A., Żmudzka E., 1999, *Oscylacja Północnego Atlantyku a długość okresu wegetacyjnego Polsce*. Prz. Geof., t. 44, nr 4, s. 194–210.
- Maruszczak H., 1999, *Zagadnienie zmienności czasowej w geografii fizycznej*. [W:] Domański B., Widacki W. (red.), *Geografia polska u progu trzeciego tysiąclecia*. Kraków, Instytut Geografii UJ.
- Osuchowska-Klein B., 1978, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej*. Warszawa, WKiŁ.
- Osuchowska-Klein B., 1987, *Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w Europie w bieżącym stuleciu*. Prz. Geof., t. 32, nr 1, s. 49–55.
- Osuchowska-Klein B., 1991, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej 1976–1990*. Warszawa, IMGW.
- Parysek J. J., 1982, *Modele klasyfikacji w geografii*. Wyd. UAM, Poznań, ser. Geogr., nr 31.
- Sidorenkov N. S., Svirenko P. I., 1983, *K voprosu o mnogoletnich kolebanijach atmosfernoj cirkulacii*. Met. i Gidr., t. 11.
- Starkel L., 1999, *Rytmika wahań klimatu w holocenie*. [W:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski*. Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Łódź 4–6 listopada 1999, s. 245–249.
- Trepińska J., 1988, *Wieloletni przebieg ciśnienia i temperatury powietrza w Krakowie na tle ich zmienności w Europie*. UJ, Rozpr. Hab., t. 140.
- Ustrnul Z., 1997, *Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku*. Mat. Bad. IMGW, ser. Meteorologia t. 27, s. 208.
- Walanus A., 1997, *Szeregi czasowe i wnioski statystyczne w badaniach górnego czwartorzędu*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 83, Gliwice.
- Wangenheim G. J., 1938, *K voprosu tipizacii i schematizacii sinoptičeskich processov*. Met. i Gidr., t. 3.
- Wibig J., 2000, *Oscylacje Północnoatlantyckie i ich wpływ na kształtowanie pogody i klimatu*. Prz. Geof., t. 45, nr 2, s. 121–137.

### Summary

A brief survey of classifications of the circulation epochs, ie. periods of time when definite macroforms of circulation prevail over the Northern Hemisphere, were included in this paper. All classifications refer to the period from the end of XIX<sup>th</sup> century to the last decade of XX<sup>th</sup> century (tab. 1).

Authors present conception of such classification procedure for the period 1901–1998 on the basis of mean seasonal values of the Zonal Index (ZI), assessing circulation conditions between the 35° and 65°N and seasonal values of the NAO.

By means of the Ward's clustering method we were able to distinguish four groups of years within which: strong zonal flow prevails during the whole year (A), strong zonal flow dominates only in winter (B), weak zonal circulation affects only winter conditions (C) and weak zonal flow constitutes the characteristic feature of the circulation condition during the whole year (D) (tab. 3). The occurrence of the years classified as type B and C was particularly useful and allowed us to distinguish 7 circulation epochs. Definite seasonal patterns of intensity of the zonal flow expressed by values of the ZI and the NAO were ascribed to this epochs.

During the epoch of 1987–1998 the strongest zonal circulation prevailed, whereas the least intense zonal flow occurred from 1957 to 1970 (tab. 5).

The changes in frequency of circulation types in Poland (according to Osuchowska-Klein, 1978, 1991) with reference to hemispheric circulation epochs were analysed. On the whole, considerable increase in ratio between western and eastern types of circulation during the period of 1987–1998 and 1911–1927 is observed however during the epoch of 1971–1986 eastern types dominate.