
ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN – POLONIA

VOL. LXII (1)

SECTIO E

2007

Zakład Meteorologii i Klimatologii, Instytut Nauk o Ziemi,
Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, al. Kraśnicka 2 c, d, 20-718 Lublin, Poland,
email: holica@biotop.umcs.lublin.pl

MAREK NOWOSAD

**Próba wydzielenia sezonów cyrkulacyjnych
nad Europą Środkową**

An attempt of distribution of circulation seasons over Central Europe

Streszczenie. Na podstawie kalendarza cyrkulacji atmosferycznej Grosswetterlagen (GWL) za okres 1881–1998 dokonano podziału cyklu rocznego na sezony cyrkulacyjne. W metodzie zastosowano kilka filtrów dolnoprzepustowych, a następnie metodę analizy skupień. Przy wykorzystaniu poszczególnych filtrów dzielono cykl roczny na 8 części. Po porównaniu wyników, otrzymanych za pomocą szeregu filtrów, podzielono ostatecznie rok na 6 sezonów (najdłuższy z nich podzielono dodatkowo na 3 podsezony).

Większą zmiennością struktury/składu typów cyrkulacji atmosferycznej charakteryzuje się wiosna niż jesień. Od 23 lutego do 28 maja wystąpiły cztery sezony cyrkulacyjne, podczas gdy w czasie pozostałej części roku tylko dwa.

Stosunkowo dużą zmienność struktury typów cyrkulacji notuje się w miesiącach od lutego do marca oraz w listopadzie, natomiast stosunkowo małą od lipca do października (szczególnie w sierpniu).

Słowa kluczowe: cyrkulacja atmosferyczna, Grosswetterlagen, analiza skupień, sezon, podział roku

WSTĘP

W Europie Środkowej o pogodzie decyduje głównie cyrkulacja atmosferyczna (CA). Jest ona uważana za jeden z trzech procesów klimatotwórczych (obok obiegu ciepła i obiegu wilgoci) [Chromow 1972]. Wpływ CA na warunki pogodowe większy jest w półroczu chłodnym niż w półroczu ciepłym. W tym ostatnim nie do pominięcia jest zwiększona rola czynnika radiacyjnego.

Ogromna rola CA, przy jednoczesnym jej skomplikowanym powiązaniu z poszczególnymi komponentami środowiska przyrodniczego powoduje, że od XIX wieku CA jest tematem wielu tysięcy artykułów, setek monografii. Przykładowe monografie (o charakterze ogólnym) to np. prace, które napisali Barry i Perry [1973], Yarnal [1993], Carlson [1994], James [1994] czy Barry i Carleton [2001].

Przy opisywaniu rzeczywistości (tutaj przy opisywaniu sezonowej zmienności cyrkulacji atmosferycznej nad Europą Środkową) niezbędne jest tworzenie uogólnień. Dobór metod stosowanych do otrzymania uogólnień wydaje się praktycznie nieograniczony. Propozycję pogrupowania sposobów, które mogą być stosowane przy charakteryzowaniu rocznej zmienności cyrkulacji atmosferycznej przedstawiono na rysunku 1. Metodę zastosowaną w niniejszej pracy oznaczono na tej rysunku ciemnym tłem.

Początkowo, przy propozycjach podziału roku na sezony skupiano się na kryteriach termicznych, np. Jastrzębowski i Witkowski w XIX wieku [Lewik 2000], Merecki [1914], Jefferson [1938], Hartshorne [1938]. W cyklu rocznym szukano też tzw. *singularities* (brak jest odpowiednika w języku polskim – w *Słowniku meteorologicznym* [2003] określono je jako „osobliwości kalendarzowe klimatu”). Jak napisali Barry i Chorley [1992, s. 193], „zestawiano wiele kalendarzy *singularities* [...], ale wcześniejsze nie okazywały się godne zaufania”. Autorzy Ci podkreślili, że dużym sukcesem zostały natomiast uwieńczone badania na ten temat prowadzone przez Lamba dla Wysp Brytyjskich oraz przez Flohna i Hessa dla centralnej Europy. Pionierska rola naukowców niemieckich (m.in. Flohna i Hessa) w połowie XX w. w analizach zmienności warunków klimatycznych w cyklu rocznym jest nie do przecenienia. Lamb [1950] z uznaniem wyraził się o ich badaniach w zakresie koncepcji *singularities*.

Rozważania nad sezonami klimatycznymi były przedstawiane w literaturze wielokrotnie, m.in. Trenberth [1983], Kalnicky [1987], Kożuchowski [2000], Piotrowicz [2000], Alpert i in. [2004]

Podział roku na sezony cyrkulacyjne, podobnie jak szereg innych badań zmienności przestrzenno-czasowej w klimatologii, można zaliczyć do analiz danych wielowymiarowych (*multivariate data analysis*). Wykorzystywane są często w takich analizach metody składowych głównych (*principal component analysis*), korelacji kanonicznych (*canonic correlation analysis*) czy właśnie, tak jak w niniejszej pracy, analizy skupień (*cluster analysis*). Niekiedy poszczególne metody są stosowane łącznie jako kolejne kroki opracowania. Analiza skupień znalazła zastosowanie m.in. w grupowaniu trajektorii cząstek powietrza pod kątem różnego charakteru sytuacji synoptycznych [Jorba i in. 2004], w grupowaniu cyklonów [Arnott i in. 2004] w procesach grupowania przy prognozowaniu krótkoterminowym [Alhamed i Lakshmiarahan 2002; Yussouf i in. 2004], w klimatycznej regionalizacji Stanów Zjednoczonych [Fovell i Fovell 1993] czy do symulacji zmian cyrkulacji atmosferycznej nad Europą w końcu XXI w. [Terray i in. 2004]. W Polsce stosowali ją m.in. Woś [1977, 1996] do wydzielenia sezonów klimatycznych, Tamulewicz [1981] do wydzielenia typów reżimów opadów atmosferycznych, Kaszewski [1992] do grupowania typów cyrkulacji atmosferycznej oraz do prób regionalizacji klimatycznej. Kolejne przykłady zastosowania analizy skupień w polskiej literaturze klimatologicznej zostały przedstawione w pracy Bednorz i in. [2003].

Sezony cyrkulacyjne z wykorzystaniem niżej zastosowanej metody były wydzielane dla Polski [Nowosad 2004b] oraz dla jej południowej części [Nowosad 1998, 2006].

MATERIAŁ I METODY

Materiałem wyjściowym do niniejszego opracowania jest kalendarz typów Grosswetterlagen (GWL) z lat 1881–1998 udostępniony za pośrednictwem Internetu [Gerstengarbe 1999]. Klasyfikacja Grosswetterlagen (GWL) została opracowana przez Hessa

i Brezowsky'ego [1952] przy wykorzystaniu wcześniejszej klasyfikacji Baura. Określana jest jako typologia w makroskali [Kaszewski 1989], jako klasyfikacja subiektywna w skali kontynentalnej [Barry i Perry 2001]. W tej typologii istotną rolę przypisano kierunkowi napływu powietrza – typy zostały pogrupowane na strefowe, południkowe i mieszane. Na podstawie klasyfikacji GWL charakteryzowano cechy CA nad Europą Środkową [np. Hess i Brezowsky 1952, van Dijk i Jonker 1985, Vysoudil 1987, Bardossi i Caspary 1990, Gerstengarbe i Werner 1993, 1999, Kaszewski i Filipiuk 2003]. Klasyfikacja GWL wykorzystywana jest szeroko do określania powiązań między CA a wybranymi charakterystykami klimatu.

Wybrane kroki metody były już opisywane [Nowosad 1998, 2004b, 2005]. W jednym z artykułów [Nowosad 2004a] szczegółowo porównano obrazy otrzymane po uwzględnieniu kilkudziesięciu filtrów dolno przepustowych (trójkątnych). W niniejszej pracy brano pod uwagę kilka filtrów, m. in. filtr dolno przepustowy zaproponowany do analizy danych dobowych [von Storch i Zwiers 1999, s. 388].

Ważny jest wybór metody podziału cyklu rocznego na części. Każda z metod skupiania zniekształca w pewnym stopniu informacje zawarte w wyjściowej macierzy odległości [Rosemburg za Markiem 1989, s. 106]. Na stopień i charakter zniekształcenia wpływa zarówno metoda, jak i konfiguracja danych [Marek 1989, s. 106]. Zniekształcanie „przestrzeni” w czasie „skupiania” jest ściśle związane ze stosowanymi miarami odległości. Stąd np. metody środków ciężkości powinny być stosowane jedynie przy użyciu normy euklidesowej. Natomiast metody prostych połączeń i uzupełniająca ją metoda pełnych połączeń dają dużą swobodę w doborze miary czy też wskaźnika [Marek 1989, s. 107].

Szereg metod analizy skupień zostało opisanych przez Paryska [1982]. Kalkstein i in. [1987] przedstawili cechy 3 metod analizy skupień pod kątem grupowania dni na podstawie wielkości 7 elementów meteorologicznych.

Marek [1989, s. 118], analizując poszczególne metody hierarchicznej analizy skupień, zaleca stosowanie metody prostych połączeń. Autor ten podkreślił jej zalety, m.in. uniwersalność jeśli chodzi o stosowanie miar odległości bądź podobieństwa. Metoda ta została wprowadzona po raz pierwszy w skali światowej w połowie XX w. przez matematyków z Wrocławia [Ogólna Grupa... 1951, Perkal 1953, Marek 1989, van Cutsem i Ycart 1998, s. 94]. Stosowano ją w klimatologii m.in. do wydzielenia sezonów klimatycznych [Woś 1977, 1996] oraz typów reżimu opadów [Tamulewicz 1981]. Metoda ta jest „podpowiadana” w pierwszej kolejności przez program komputerowy *Statistica* [Analiza... 1997]. Jest wymieniana także jako pierwsza przy charakterystyce poszczególnych metod tworzenia skupień [Parysek 1980, Wilks 1995, s. 421]. Wykorzystano ją też w niniejszej pracy.

Przy wydzieleniu sezonów cyrkulacyjnych ważne jest, by sezon obejmował kolejne dni w roku. Aby podobne warunki były spełnione, wprowadza się [np. Lewik 1996] specjalną dodatkową cechę (kolejny dzień roku). Wykorzystanie filtrów dolno przepustowych pozwoliło rozwiązać to zagadnienie bez wprowadzania tej dodatkowej zmiennej. Po zastosowaniu kilkunastoelementowego lub kilkudziesięcioelementowego filtru otrzymuje się w czasie grupowania połączenia (są to odcinki dendrytu) tylko między sąsiednimi dniami [Nowosad 2004a]. Cecha ta ułatwia i porządkuje dalszą analizę.

Przy podziale roku na sezony powstaje pytanie: na ile części można podzielić cykl roczny? Brak jest tu w pełni obiektywnego kryterium podziału. Na tego typu zagadnienia

zwrócił uwagę D.S. Wilks [1995, s. 424], który napisał, że w praktyce najlepsza liczba grup dla danego problemu rzadko bywa jasna. Uznał, że generalnie wymaga to subiektywnego podejścia. Wyróżniając sezony cyrkulacyjne przyjęto ich liczbę – podobnie jak we wcześniejszych pracach [Nowosad 1998, 2004a, 2004b] jako 8. Na taką liczbę sezonów podzielono rok, stosując poszczególne filtry. Porównując następnie podziały na 8 sezonów, otrzymane za pomocą kilku filtrów (rys. 2), zdecydowano się wyróżnić ostatecznie 6 sezonów cyrkulacyjnych, a jeden z nich podzielić na 3 podsezony.

Przyjęto, że sezon nie może trwać krócej niż 15 dni [Nowosad 2006]. Woś [1977, 1996], wydzielając sezony klimatyczne, przyjmował jako minimalną długość klasy typologicznej 3 pentady (czyli 15 dni). Najkrótsze z sezonów wydzielanych w innych klasyfikacjach na podstawie analizy cyrkulacji atmosferycznej trwały 52 [Kalnicky 1987] bądź 61 [Alpert i in. 2004] dni.

WYNIKI

Podziały roku na 8 sezonów cyrkulacyjnych (w zależności od zastosowanego filtru) przedstawiono na rysunku 3. Szukając końcowego podziału zwrócono uwagę na następującą cechę: otrzymane granice między sezonami mają różną „range” (stosowana metoda analizy skupień jest hierarchiczną). Mianowicie, niektóre z nich zaistniałyby, gdyby cykl roczny dzielić tylko na 2 części, inne np. wtedy, gdyby podzielić na 4, a są takie, które mogą występować dopiero przy podziale cyklu rocznego na 8 części.

Analizując 13 filtrów i dzieląc cykl roczny na 2 części otrzyma się 26 elementowy zbiór granic (b. grube linie na rys. 2). Okazuje się, że 23 elementy (88%) dotyczą okresu od 22/23 lutego do 15/16 czerwca, a pozostałe 3 – okresu od 12/13 września do 3/4 grudnia. Świadczy to o większej zmienności struktury CA nad Europą Środkową wiosną niż jesienią.

Analiza hipotetycznego podziału cyklu rocznego na 4 części prowadzi (przy analizie 13 filtrów) do otrzymania 52 elementowego zbioru granic (grube i b. grube linie na rysunku 2)¹. I tutaj widoczna jest znaczna liczba sezonów w okresie od 22/23 lutego do 15/16 czerwca (67% wyznaczonych granic między sezonami dotyczy tego przedziału czasu). W okresie od 12/13 września do 3/4 grudnia zanotowano 13 elementów zbioru granic (25%), a pozostałe cztery wystąpiły od 24/25 grudnia do 10/11 lutego.

Zauważono, że 6 granic powtarza się przy stosowaniu poszczególnych filtrów. Za najważniejsze z tych granic, pod kątem informowania o największych zmianach struktury występujących typów cyrkulacji, uznano 24/25 kwietnia i 28/29 maja (rys. 3). Wynika z tego, że ostatnie dni kwietnia i maj zdecydowanie wyróżniają się na tle roku pod kątem składu występujących w wieloleciu 1881–1998 typów cyrkulacji GWL. Natomiast podział roku na 6 sezonów cyrkulacyjnych nad Europą Środkową przedstawia się następująco:

- 23 lutego – 15 marca – późna zima (21 (22) dni)
- 16 marca – 7 kwietnia – wczesna wiosna (23 dni)
- 8 kwietnia – 24 kwietnia – wiosna (7 dni)
- 25 kwietnia – 28 maja – późna wiosna (34 dni)
- 29 maja – 12 września – lato (107 dni)
- 13 września – 22 lutego – sezon jesieni i zimy (163 dni).

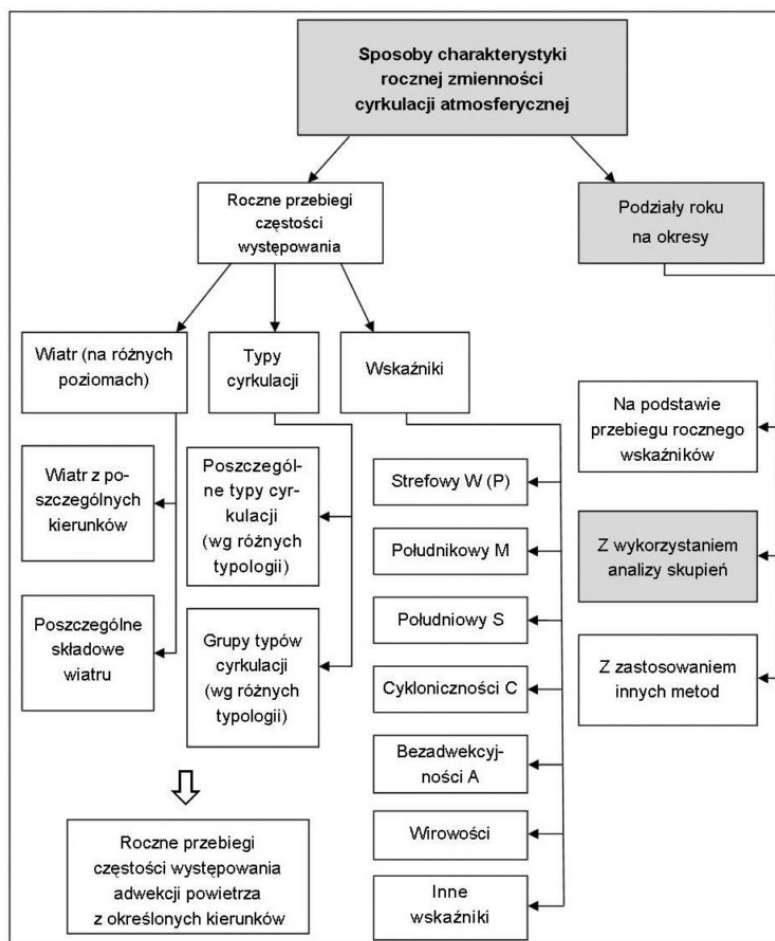
¹ Łącznie linie b. grube, grube i cienkie pokazują podział roku na 8 sezonów cyrkulacyjnych.

Ostatni z sezonów można podzielić na podsezony:²

13 września – 4 listopada – jesień (53 dni)

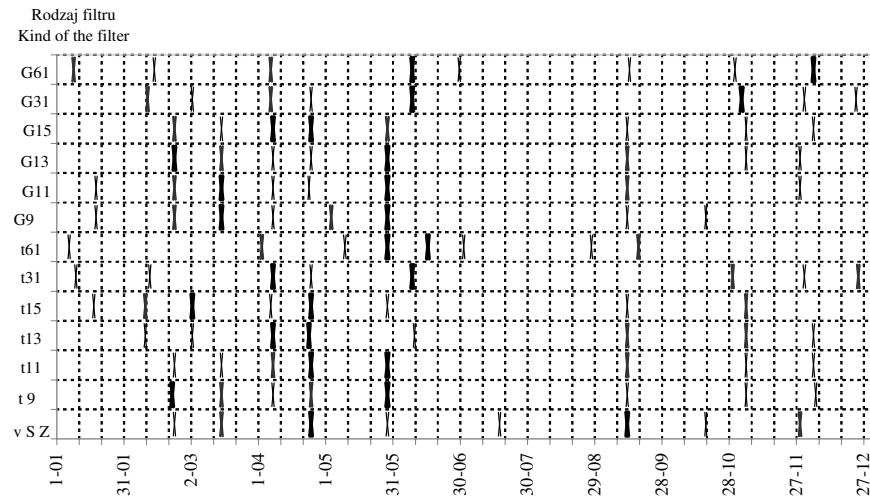
5 listopada – 28 listopada – późna jesień (24 dni)

29 listopada – 22 lutego – zima (86 dni).



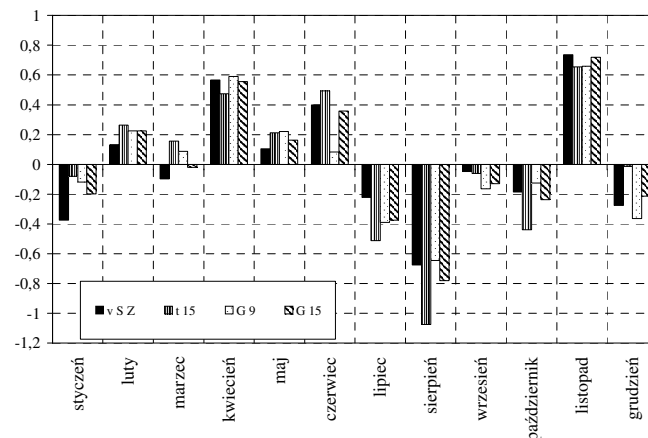
Rys. 1. Wybrane metody charakteryzowania rocznej zmienności cyrkulacji atmosferycznej
Fig. 1. The chosen methods of characterizing the annual changeability of atmospheric circulation

²W tekście przedstawiono ostateczną konkluzję podziału na podsezony. Bardziej wnikliwa analiza wygląda następująco. Podział na podokresy od 13 września do 4 listopada i od 5 listopada do 23 lutego. Następnie ten ostatni można podzielić na 2 części. Granica nie jest jednoznaczna – może występować od 28/29 listopada do 5/6 grudnia



Rys. 2. Podział roku na sezony cyrkulacyjne nad Europą Środkową (1881–1998) wg typologii Grosswetterlagen po zastosowaniu różnych filtrów. Oznaczenia filtrów (liczba oznacza liczbę elementów filtru): v S Z – filtr według von Storcha i Zwiersa [1999], t – filtr trójkątny, G – filtr Gaussa. Im grubsza linia, tym większa „ranga” granicy (wyjaśnienia w tekście)

Fig. 2. The circulation season division of the year over Central Europe (1881–1998) using Grosswetterlagen typology and different filters. The sign of filters (the number marks the number of elements of the filter): v S Z – the filter proposed by von Storch and Zwiers [1999], t – triangular filter, G – Gaussian filter. The more thickness of the lines represents the more important rank of the border (see the text)



Rys. 3. Średnie standaryzowane zróżnicowanie struktury typów cyrkulacji atmosferycznej między sąsiednimi dniami roku (1881–1998) w poszczególnych miesiącach określone przy zastosowaniu wybranych filtrów: v S Z – filtr według von Storcha i Zwiersa [1999], t – filtr trójkątny, G – filtr Gaussa (9 albo 15 – liczba elementów filtru)

Fig. 3. The average standardised differentiation of the structure of atmospheric circulation types between neighbouring days of year (1881–1998) in individual months (some filters were used: v S Z – the filter proposed by von Storch and Zwiers [1999], t – triangular filter, G – Gaussian filter; 9, 15 – number of filter elements)

Tabela 1. Częstość występowania (w %) poszczególnych typów cyrkulacji GWL w czasie poszczególnych sezonów cyrkulacyjnych (1881–1998). Zacięto komórki tabeli przedstawiające sezony o maksymalnej częstości każdego typu

Table 1. The frequency of occurrence (%) of the particular circulation types GWL during the circulation seasons (1881–1998). The cells representing seasons of maximum frequency of every type were shaded

Typ Type	Rok Year	23 II – 15 III	16 III – 7 IV	8 – 24 IV	25 IV – 28 V	29 V – 12 IX	13 IX – 22 II
WA	5,99	5,35	4,46	3,24	3,22	7,70	6,03
WS	3,20	5,15	4,86	2,34	1,17	1,74	4,18
WZ	15,69	10,61	14,81	9,37	11,59	17,97	16,49
WW	2,44	3,11	2,14	2,54	1,10	1,96	2,97
SWA	2,27	2,23	2,58	1,99	1,62	1,53	2,89
SWZ	2,19	1,56	2,10	1,30	2,19	1,09	3,10
NWA	3,81	4,51	2,58	2,64	2,77	6,03	2,79
NWZ	4,58	2,63	5,38	5,48	3,27	5,12	4,55
HM	9,22	9,94	8,44	6,23	6,88	9,31	9,98
BM	7,19	6,15	4,50	8,18	4,71	7,41	7,98
TM	2,55	2,99	3,46	4,04	4,29	1,84	2,31
NA	0,99	1,32	0,33	0,65	2,17	1,64	0,40
NZ	2,91	2,23	4,09	3,39	4,54	3,25	2,21
HNA	3,20	2,08	2,91	5,73	4,81	3,90	2,32
HNZ	1,43	1,00	1,99	2,24	2,84	1,41	1,04
HB	3,29	3,51	2,91	5,18	3,17	3,35	3,10
TRM	4,06	5,71	4,02	5,98	4,11	3,46	4,03
NEA	2,34	2,39	2,36	2,44	3,76	4,03	0,91
NEZ	2,05	1,84	1,51	4,49	3,29	2,53	1,32
HFA	3,68	5,43	3,54	3,39	4,39	2,74	3,98
HFZ	1,11	1,60	1,69	1,10	1,45	0,72	1,15
HNFA	1,35	1,04	1,14	1,05	4,26	1,32	0,86
HNFZ	1,67	3,35	3,06	2,59	3,29	0,92	1,30
SEA	2,18	2,55	3,13	2,49	2,52	0,40	3,06
SEZ	1,46	3,07	3,43	0,95	1,15	0,08	2,00
SA	1,90	2,55	1,25	2,49	1,17	0,49	2,91
SZ	0,82	1,88	0,52	0,70	0,17	0,02	1,40
TB	2,29	0,88	2,32	1,99	4,14	3,07	1,60
TRW	3,20	2,35	3,43	4,54	4,76	3,95	2,31
U	0,96	1,00	1,07	1,25	1,22	1,01	0,82
Suma Sum	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

¹Znaczenie skrótów typów dostępne jest m.in. w pracy Gerstengarbe i in. [1999] (umieszczonej także w Internecie). Nazwy typów cyrkulacji wg Hessa i Brezowsky'ego przedstawili w języku polskim Ustrnul i Czekierda [2002, s. 5, 2003, s. 51] oraz Migąła [2005, s. 36]

Zwraca uwagę znaczne zróżnicowanie struktury CA wiosną, a małe latem. Występuje asymetria między liczbą sezonów określonych dla wiosny i jesieni. Większa liczba sezonów wiosną niż jesienią była przytaczana wcześniej [Kozuchowski 2000, Nowosad 1998, 2006]. Obliczenie średnich wielkości odcinków dendrytu dla poszczególnych

miesiący i dla roku uzupełnia powyższe informacje. Większe przeciętne wielkości odcinków dendrytu informują o większej zmienności. Większymi od średnich rocznych odległościami cechują się średnie miesięczne od lutego do czerwca oraz dla listopada (ryc. 3). Dla pozostałych miesięcy otrzymano wielkości mniejsze od średniej rocznej. Największe średnie długości odcinków dendrytu charakteryzowały listopad, kwiecień i czerwiec, najmniejsze – sierpień.

Najważniejsze cechy wydzielonych sezonów cyrkulacyjnych

Częstość występowania poszczególnych typów CA w poszczególnych sezonach przedstawiono w tabeli 1. W czasie sezonu cyrkulacyjnego „późna zima” (23 lutego – 15 marca) największą częstość (w swoim przebiegu rocznym) osiągnęły m.in. typy HFA i HNFZ (w czasie ich notowania zimą, temperatura i opady atmosferyczne określane są jako poniżej normy [Gerstengarbe i in. 1999]). W czasie tego sezonu występuje roczne minimum częstości typów HNA i HNZ cechujących się adwekcją powietrza z północy.

Wczesną wiosną (16 marca – 7 kwietnia) notowane jest maksimum częstości występowania adwekcji z południowego wschodu (zarówno typu SEA, jak i SEZ) oraz typu HFZ (wyż z centrum nad Fennoskandią).

Wiosną (8–24 kwietnia) zwraca uwagę roczne minimum częstości występowania adwekcji z zachodu. Łączna częstość notowania typów WA, WS i WZ jest minimalnie mniejsza od 15%, podczas gdy w czasie sezonu „późna wiosna” (25 kwietnia – 28 maja) częstość tych typów dochodzi do 16% (średnia roczna jest nieco mniejsza od 25%). W czasie sezonu „wiosna” występuje roczne maksimum adwekcji z północy (suma częstości NA, NZ, HNA, HNZ, HB i TRM).

Późna wiosna, obok stosunkowo niewielkiej (w porównaniu do średniej rocznej) częstości adwekcji z zachodu, cechuje się rocznym minimum częstości występowania typów „mieszanych” (suma SWA, SWZ, NWA, NWZ, HM, BM i TM), a także rocznymi maksimumami częstości adwekcji z południa (suma SA, SZ, TB i TRW), adwekcji ze wschodu (suma HFA, HFZ, HNFA i HNFZ) oraz z północnego wschodu (suma NEA i NEZ).

W czasie sezonu cyrkulacyjnego „lato” (29 maja – 12 września) roczne maksimum osiąga częstość adwekcji z zachodu (suma WA, WS i WZ), roczne minima częstości adwekcji ze wschodu oraz adwekcji z południowego wschodu. Wartości zbliżone do minimum rocznego osiąga częstość adwekcji z południa, a minimum to jest osiągnięte przez częstości typów – zarówno SA, jak też SZ.

W czasie sezonu jesieni i zimy (13 września – 22 lutego) występuje roczne maksimum częstości notowania typów „mieszanych”, stosunkowa duża częstość adwekcji z zachodu oraz roczne minima adwekcji z północy oraz z północnego wschodu.

WNIOSKI

1. Na podstawie kalendarza typów Grosswetterlagen za okres 118 lat (1881–1998) wydzielono 6 sezonów cyrkulacyjnych: od 23 lutego do 15 marca, od 16 marca do 7 kwietnia, od 8 do 24 kwietnia, od 25 kwietnia do 28 maja, od 29 maja do 12 września i od 13 września do 22 lutego. Są to sezony o różnej długości – od 17 do 163 dni. Ostatni z wymienionych sezonów podzielono na 3 podsezony.

2. Cztery z wydzielonych sezonów dotyczą około trzymiesięcznego okresu od 23 lutego do 28 maja, zaś pozostałe dwa sezony – prawie dziewięciu miesięcy. Wskazuje to na wyraźną asymetrię zróżnicowania wieloletniej struktury typów cyrkulacji GWL – wiosną zróżnicowanie to jest większe niż jesienią.

3. Największa odrębność struktury/składu typów cyrkulacji GWL w stosunku do pozostałej części roku występuje w maju (łącznie z ostatnimi dniami kwietnia). Sezon ten, nazwany „późną wiosną”, cechuje się rocznym maksimum częstości występowania adwekcji powietrza zarówno z południa, jak też ze wschodu, a także z północnego wschodu.

4. Duża zmienność struktury typów cyrkulacji (w aspekcie średnich miesięcznych) wystąpiła od lutego do czerwca (zwłaszcza w kwietniu i w czerwcu) oraz w listopadzie, natomiast najmniejsza – od lipca do października (szczególnie w sierpniu).

PIŚMIENNICTWO

- Alhamed A., Lakshmiarahan S., 2002. Cluster Analysis of Multimodel Ensemble Data from SAMEX. *Monthly Weather Rev.* 130, 226–256.
- Alpert P., Osetinsky I., Ziv B., Shafir H., 2004. A new seasons definition based on classified daily synoptic systems: an example for the eastern Mediterranean. *Int. J. Climat.*, 24, 8, 1013–1021.
- Analiza skupień, 1997. [w:] *Statistica PL*, 3, *Statystyki 2*, StatSoft Polska, 3159–3192.
- Arnott J. M., Evans J. L., Chiaromonte F., 2004. Charakterization of Extratropical Transition Using Cluster Analysis. *Monthly Weather Rev.*, 132, 2916–2937.
- Bardossy A., Caspary H.J., 1990. Detection of climate change in Europe by analyzing European atmospheric circulation patterns from 1881 to 1989. *Theoretical and Applied Climatol.*, 42, 155–167.
- Barry R. G., Carleton A. M., 2001. *Synoptic and dynamic climatology*. Routledge, London, New York, 620.
- Barry R. G., Chorley R. J., 1992. *Atmosphere, weather and climate*. Routledge, London, New York, 392.
- Barry R. G., Perry A. H., 1973. *Synoptic climatology. Methods and Applications*. Methuen, London, 555.
- Barry R. G., Perry A. H., 2001. *Synoptic climatology and its applications* [w:] Barry R. G., Carleton A.M., 2001. *Synoptic and dynamic climatology*. Routledge, London, New York, 547–603.
- Bednorz E., Bielec-Bąkowska Z., Bokwa A., Kicińska B., Kolendowicz L., Lewik P., Nowosad M., Ustrnul Z., Żelazny M., 2003. Regionalizacje, typologie i wyznaczenie sezonów klimatycznych z zastosowaniem analizy skupień. *Przegl. Geof.* 48, 1–2, 11–32.
- Carlson T. N., 1994. *Mid-latitude weather system*. Routledge, London i New York, 507 (reprint z wyd. 1991).
- Chromow S. P., 1972. *Meteorologia i klimatologia*. PWN, Warszawa, ss. 487.
- Fovell R. G., Fovell M.-Y. C. 1993. Climate Zones of the Conterminous United States Defined Using Cluster Analysis. *J. Climate*, 2103–2135.
- Gerstengarbe F. W., Werner P.C. Busold W., Rüge U., Wegener K. O., 1993. *Katalog der Grosswetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky*. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, 113, Offenbach am Main, ss. 249.
- Gerstengarbe F. W., Werner P.C. Rüge U., 1999. *Katalog der Großwetterlagen Europas (1881–1998) Nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky*. Potsdam, Offenbach a. M.
<http://www.pik-potsdam.de/~uwerner/gwl/gwl.pdf>
- Hartshorne R., 1938. Six Standard Seasons of the Year. *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 28, 3, 165–178.

- Hess P., Brezowsky H., 1952. Katalog der Großwetterlagen Europas. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 33, Bad Kissinger, 39.
- James I. N., 1994. Introduction to circulating atmospheres. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 422.
- Jefferson M., 1938. Standard seasons. Ann. Assoc. Am. Geogr., 28, 1, 1–12.
- Jokiel B., Kostrubiec B., 1981. Statystyka z elementami matematyki dla geografów, PWN, Warszawa, 300.
- Jorba O., Pérez C., Rocadenbosch F., Baldasano J., 2004. Cluster Analysis of 4-Day Back Trajectories Arriving in the Barcelona Area, Spain, from 1997 to 2002. J. Appl. Meteorology, 43, 887–901.
- Kalkstein L. S., Tan G., Skindlov J. A., 1987. An Evaluation of Three Clustering Procedures for Use in Synoptic Climatological Classification. J. Climate Appl. Meteor., 26, 717–730.
- Kalnicky R. A., 1987. Seasons, Singularities, and Climatic Changes over the Midlatitudes of the Northern Hemisphere during 1899–1969. J. Climate Appl. Meteor., 26, 1496–1510.
- Kaszewski B. M., 1989. Przegląd metod typologii cyrkulacji atmosferycznej, cz. I: Typologie w makroskali. Wiadomości IMGW, 12 (33), 3–4, 3–9.
- Kaszewski B. M., 1992. Typy cyrkulacji a typy pogody w Polsce. Wyd. UMCS, Lublin.
- Kaszewski B. M., Filipiuk E., 2003. Variability of atmospheric circulation in Central Europe in the summer season 1881–1998 (on the basis of the Hess-Brezowski classification). Met. Zeitschrift, 12, 3, 123–130.
- Kożuchowski K. (red.), 2000. Pory roku w Polsce. Sezonowe zmiany w środowisku a wieloletnie tendencje klimatyczne. Zakład Dynamiki Środowiska i Bioklimatologii Uniw. Łódzkiego, Łódź, 147.
- Lamb H. H., 1950. Types and spells of weather around the Year in the British Isles: Annual trends, seasonal structure of the Year, singularities. Q. J. R. Met. Soc., 76, 393–438.
- Lewik P., 1996. Taksonomiczne metody wyznaczania pór roku. Mat. 45 Zjazdu Polskiego Tow. Geograficznego. WSP w Słupsku, PTG Oddz. w Słupsku, Słupsk-Ustka, 167–169.
- Lewik P., 2000. Rozwój i ocena metod wyznaczania termicznych pór roku. [w:] Z. Ziolo. (red.) Działalność człowieka i jego środowisko. Wyd. Nauk. Akad. Pedagogicznej, Kraków, 63–72.
- Marek T., 1989. Analiza skupień w badaniach empirycznych. Metody SAHN. PWN, Warszawa, ss. 171.
- Merecki R., 1914. Klimatologia ziem polskich. Drukarnia i litografia Jana Cotty, Kapucyńska 7, Warszawa, ss. 313.
- Migała K., 2005. Piętra klimatyczne w górach Europy a problem zmian globalnych. Acta Univ. Wratisl. 2718, Studia Geograficzne 78, Wrocław, 149.
- Niedźwiedz T., 1988. Kalendarz sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły (1951–1985). Prace Geogr. UJ, 71, Kraków, 37–86.
- Nowosad M., 1998. Annual Variability of Circulation Types: the Example of the Upper Vistula River Basin. Wisły. Wyd. UMCS, Lublin, ss. 70.
- Nowosad M., 2004a. Z metodyki wydzielenia sezonów cyrkulacyjnych. [w:] Zastosowanie wybranych metod statystycznych w klimatologii, A. Bokwa i Z. Ustrnul (red.), Instytut Geografii i Gosp. Przestrzennej UJ, Kraków, 101–120.
- Nowosad M., 2004b. Sezony cyrkulacyjne nad Polską 1951–990. Annales UMCS, s. B, 59, 83–100.
- Nowosad M., 2006. Sezony cyrkulacyjne nad południową Polską. [w:] Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego. J. Trepińska, Z. Olecki (red.), Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków Wyd. UJ, Kraków, 351–364.
- Ogólna Grupa Zastosowań Państwowego Instytutu Matematycznego we Wrocławiu. 1951. Taksonomia Wroclawska, Przegl. Antropol., XVII, 193–211.
- Parysek J.J., 1980. Analiza skupień jako metoda klasyfikacji w geografii [w:] Metody taksonomiczne w geografii, ser. Geografia, 5, Oddział PAN w Poznaniu, 87–99.
- Parysek J.J., 1982. Modele klasyfikacji w geografii. Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, ser. Geografia 31, Poznań, 224.

- Perkal J., 1953. Taksonomia wrocławska. *Przegl. Antropol.*, 19, 82–96, Poznań.
- Piotrowicz K., 2000. Sposoby wydzielenia pór roku. *Prz. Geof.* 45, 3–4, 261–278.
- Słownik meteorologiczny., 2003. T. Niedźwiedz (red.), Polskie Towarzystwo Geofizyczne, MGW, Warszawa, 496.
- Tamulewicz J., 1981. Typologia reżimu opadów atmosferycznych Polski północno-zachodniej w ujęciu taksonomicznym. *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach. Ser. A*, 33, 117–131.
- Terray L., Demory M. E., Déqué M., de Coetlogon G., Maisonnave E., 2004. Simulation of Late-Twenty-First-Century Changes in Wintertime Atmospheric Circulation over Europe Due to Anthropogenic Causes. *J. Climate*, 17, 4630–4635.
- Trenberth K. E., 1983. What are the Seasons? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 64, 11, 1276–1282.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2002. Ekstremalne wartości temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku na tle warunków cyrkulacyjnych. *Wiad. IMGW*, 25 (46), 4, 3–22.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2003. Zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych powietrza Polski z wykorzystaniem GIS. IMGW, Warszawa, 83.
- van Cutsem B., Ycart B., 1998. Indexed dendrograms on Random Dissimilarities. *J. Classification*, 15, 93–127.
- van Dijk W., Jonker P. J., 1985. Statistical Remarks on European Weather Types. *Arch. Met. Biocl.*, Ser. B, 35, Springer-Verlag, 277–306.
- von Storch H., Zwiers F. W., 1999. *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge Univ. Press, 484.
- Vysoudil M., 1987. Dłohodobé trendy atmosferické cirkulace 1881–1980. *Meteorologické Zpravy*. 40, 4, 120–122.
- Wilks D. S., 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Science. An Introduction*. Academic Press, 467.
- Woś A., 1977. Zarys struktury sezonowej klimatu Niziny Wielkopolskiej i Pojezierza Pomorskiego. UAM, Seria Geograficzna, 15, Poznań, ss. 89.
- Woś A. 1996. *Struktura sezonowa klimatu Polski*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań, 146.
- Yarnal B., 1993. *Synoptic Climatology in Environment Analysis – A primer*, Belhaven Press, London and Florida, ss. 195.
- Yussouf N., Stensrud D. J., Lakshmirarahan S., 2004. Cluster Analysis of Multimodel Ensemble Data over New England. *Monthly Weather Rev.* 132, 2452–2462.

Summary. The division of the year on circulation seasons has been executed on basis of calendar of Grosswetterlagen (GWL) atmospheric circulation types for period 1881–1998. Several low-pass filters and cluster analysis methods were applied. The annual cycle was distributed on eight part when the individual filters have been used. The results after applying some filters, have been compared. The year has been divided on six circulation seasons finally. One of them consists from three parts.

The spring characterizes larger changeability of structure of types of atmospheric circulation than the autumn. It the comparatively large changeability of structure of types circulation was written down in months from February till March as well as in November. Comparatively small – since July till October (particularly in August).

Key words: atmospheric circulation, Grosswetterlagen, cluster analysis, season, division of year (annual division)