

Dariusz Baranowski

Instytut Geografii
Pomorska Akademia Pedagogiczna
Słupsk

DYNAMICZNE CECHY KLIMATU POLSKI – DOMINUJĄCE TYPY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ

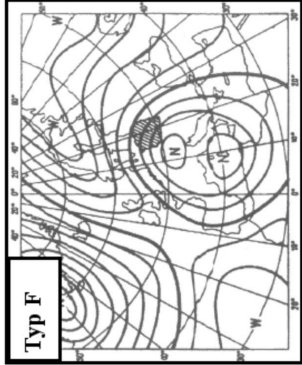
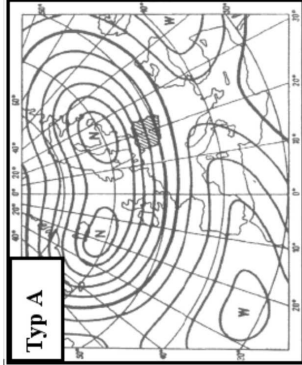
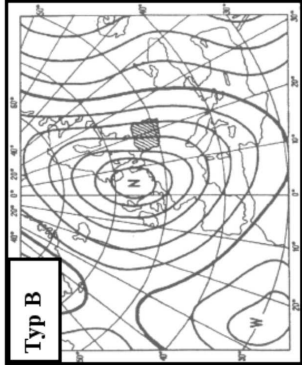
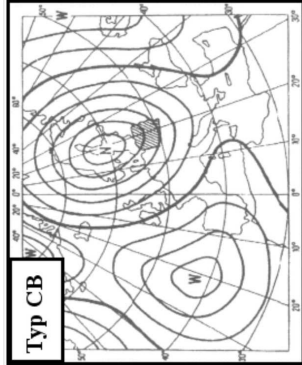
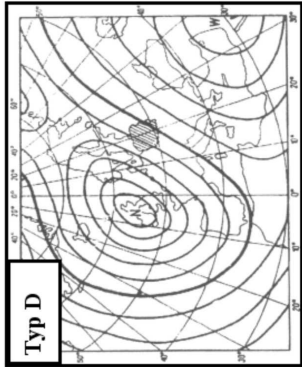
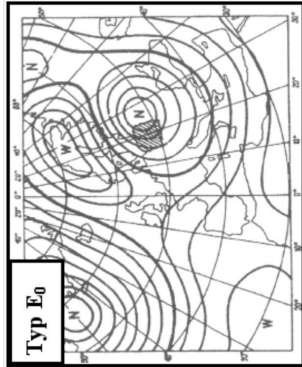
Wstęp

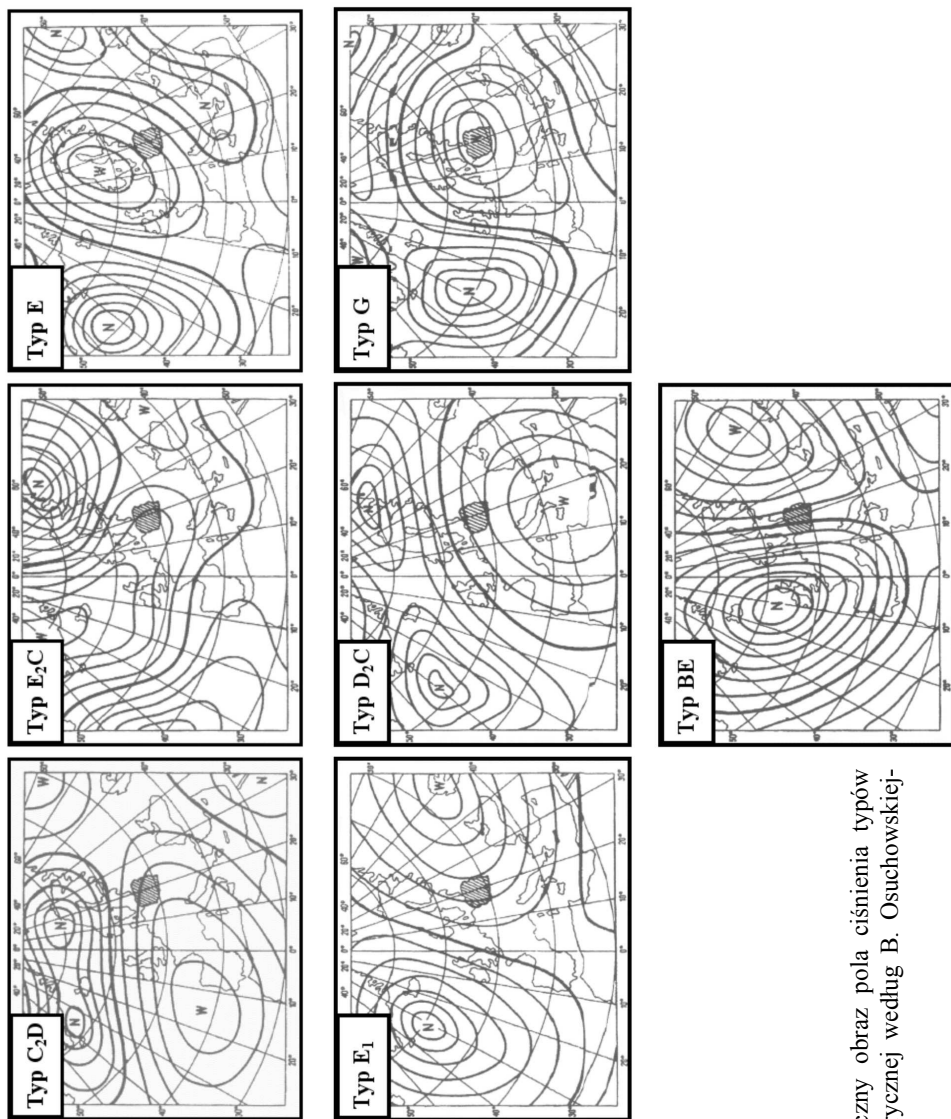
Czynniki cyrkulacyjne odgrywają istotną rolę w kształtowaniu warunków pogodowych i klimatycznych. Mają one szczególne znaczenie w umiarkowanych szerokościach geograficznych, gdzie obserwuje się intensywną działalność cyklonalną – powstawanie, rozwój i przemieszczanie się wielkoskalowych zaburzeń atmosferycznych o obniżonym i podwyższonym ciśnieniu. Warunki meteorologiczne, towarzyszące określonym sytuacjom barycznym nad Polską, dodatkowo modyfikowane są przez rzeźbę terenu, odległość od Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego oraz wysokość n.p.m., dlatego nawet w zasięgu oddziaływania jednego typu cyrkulacji mogą być istotnie zróżnicowane.

Zasadniczym celem pracy jest określenie dynamicznych cech klimatu Polski: wyodrębnionych kierunków adwekcji mas powietrza oraz układów cyklonalnych i antycyklonalnych, warunkujących odmienny stan atmosfery na obszarze Polski – dla potrzeb prognozowania długoterminowego.

W opracowaniu analizowano częstość występowania, czas trwania oraz następcość typów cyrkulacji atmosferycznej. Za częstość przyjęto liczbę dni z danym typem cyrkulacji atmosferycznej w określonej jednostce czasu (roku, wielolecia). Znaczną część pracy poświęcono metodzie oraz wynikom analizy bezpośredniego występowania po sobie typów cyrkulacji. Ponieważ w polskiej literaturze opracowania dotyczące następcości typów cyrkulacji należą do rzadkości, zdecydowano się na szersze przedstawienie tego tematu.

Typy cyrkulacji atmosferycznej i kierunki napływu mas powietrza nad obszar Polski w latach 1971-1995 określono według klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein (1978, 1991). Klasyfikacja ta polega na bezpośrednim odnoszeniu danej sytuacji do wzorcowego typu cyrkulacji. Każdy typ odpowiada określonemu rozkładowi ciśnienia na poziomie morza i jest efektem położenia głównych układów ciśnienia nad Europą i północnym Atlantykiem (rys. 1), które warunkują odpowiedni kierunek adwekcji powietrza nad Polskę w cyrkulacji cyklonalnej lub antycyklonalnej (rys. 2).





Rys. 1. Schematyczny obraz pola ciśnienia typów cyrkulacji atmosferycznej według B. Osuchowskiej-Klein (1978)

W pracy wyodrębniono (oprócz 13 typów cyrkulacji) 4 makrotypy cyrkulacji: wschodni, zachodni, cyklonalny i antycyklonalny (tab. 1), determinujących różne warunki atmosferyczne na obszarze Polski.

Tabela 1

Makrotypy cyrkulacji atmosferycznej według B. Osuchowskiej-Klein (1973)

Makrotypy cyrkulacji	Typy
Cyklonalnej	A, CB, E ₀ , F, B, D, BE
Antycyklonalnej	C ₂ D, E ₂ C, E, E ₁ , D ₂ C, G
Zachodniej	A, CB, D, B, C ₂ D, E ₂ C, D ₂ C
Wschodniej	E ₀ , F, E, E ₁ , BE

Częstość występowania typów cyrkulacji

O charakterze cyrkulacji nad obszarem Polski decydują głównie dwa ich typy: północno-wschodni E (16,4%) oraz północno-zachodni CB (15,4%).

Różnice w częstości występowania poszczególnych typów są konsekwencją występowania epok cyrkulacyjnych (Osuchowska-Klein 1987). Ostatnia epoka charakteryzuje się ekstremalnie dużą częstością północno-wschodniej cyrkulacji E.

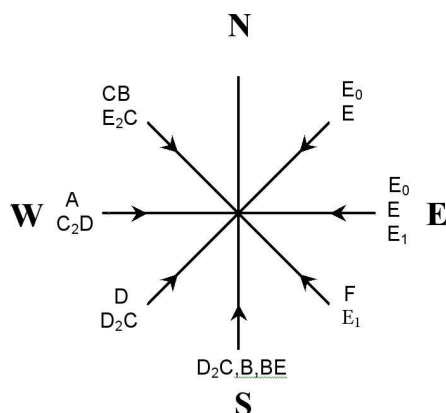
Do grupy typów o przeciętnej częstości występowania (8,0-11,0%) należą: północno-wschodnia i wschodnia cyrkulacja E₀ (10,8%), południowo-wschodnia i wschodnia E₁ (9,6%) oraz zachodnia C₂D (9,3%). Udział pozostałych typów cyrkulacji, z wyjątkiem południowo-zachodniej D, nie przekracza 6,0% wszystkich przypadków (tab. 2).

Tabela 2

Częstość występowania (w %) typów cyrkulacji atmosferycznej w latach 1971-1995

Typy cyklonalne						Typy antycyklonalne						Typ pośredni	Suma
A	CB	E ₀	F	B	D	C ₂ D	E ₂ C	E	E ₁	D ₂ C	G	BE	
5,8	15,4	10,8	4,6	5,6	7,1	9,3	4,3	16,4	9,6	4,1	5,2	1,8	100,0

Klimat Polski w latach 1971-1995 kształtowany jest większym udziałem zachodnich typów cyrkulacji (makrotyp zachodni – 52,7%, wschodni – 47,3%). Makrotypy: cyklonalny i antycyklonalny występują z jednakową częstością (około 50%).



Typy cyrkulacji cyklonalnej:

- A – zachodnia
- CB – północno-zachodnia
- E₀ – północno-wschodnia i wschodnia
- F – południowo-wschodnia
- B – południowa
- D – południowo-zachodnia

Typy cyrkulacji antycyklonalnej:

- C₂D – zachodnia
- E₂C – północno-zachodnia
- E – północno-wschodnia
- E₁ – południowo-wschodnia i wschodnia
- D₂C – południowo-zachodnia i południowa
- G – centralna

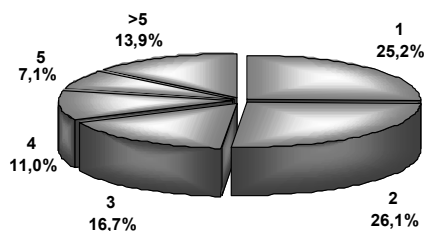
Pozostałe:

- BE – południowa cyrkulacja pośrednia między cyklonalną i antycyklonalną
- X – sytuacje nieokreślone

Rys. 2. Kierunki adwekcji mas powietrza w Polsce przy różnych typach cyrkulacji atmosferycznej (klasyfikacja B. Osuchowskiej-Klein 1978)

Czas trwania typów cyrkulacji

Cyrkulacja atmosferyczna nad Polską charakteryzuje się dużą zmiennością. Przeważają wystąpienia jedno- i dwudniowe typów cyrkulacji (odpowiednio: 25,2% i 26,1%). Udział typów o czasie trwania dłuższym niż pięć dni wynosi zaledwie 13,9% wszystkich przypadków (rys. 3).



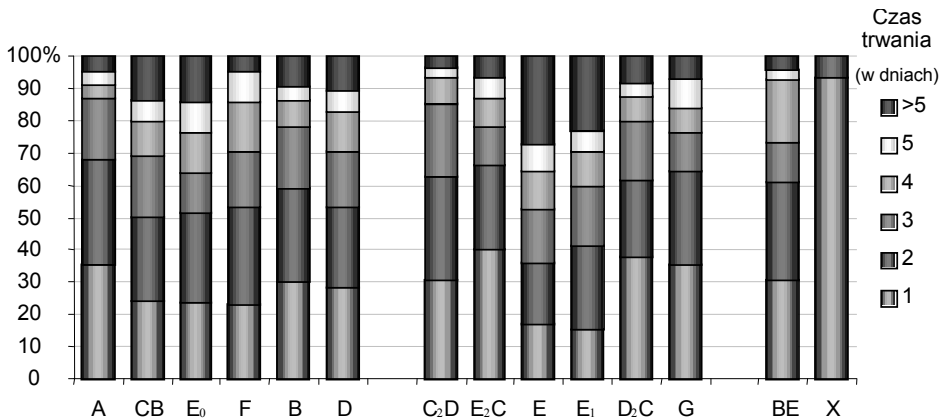
Rys. 3. Udział typów cyrkulacji atmosferycznej o określonym (w dniach) czasie trwania w latach 1971-1995

Typy cyrkulacji z sektora wschodniego charakteryzują się dłuższym (2,40 dnia) niż zachodnie (1,86 dnia) średnim czasem trwania. W uszeregowaniu typów według długości na początku znajdują się typy cyrkulacji związane z napływem powietrza ze wschodu: E, E₁ oraz E₀.

Typy antycyklonalne utrzymują się średnio o 0,20 dnia dłużej od cyklonalnych (głównie za sprawą blokadowych typów E i E₁). Z cyklonalnych typów cyrkulacji najbardziej stacjonarny jest południowo-wschodni F oraz północno-zachodni CB.

Najdłuższym średnim czasem trwania w badanym 25-leciu wyróżniają się północno-wschodnia cyrkulacja E (2,60 dnia) oraz południowo-wschodnia i wschodnia E₁ (2,55 dnia). Średni czas trwania pozostałych typów wynosi od 1,65 dnia przy północno-zachodniej cyrkulacji E₂C do 2,10 dnia przy północno-wschodniej i wschodniej E₀.

Najmniejszym udziałem wystąpień krótkich (jedno- i dwudniowych) charakteryzują się antycyklonalne typy cyrkulacji, związane z adwekcją powietrza ze wschodu. Częstość ich występowania w typach E i E₁ nie przekracza odpowiednio 18,0% i 27,0% wszystkich przypadków (rys. 4).



Rys. 4. Czas trwania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej (1971-1995)

Największą częstość typów jednodniowych (40,4%) odnotowano w północno-zachodniej cyrkulacji E₂C, południowo-zachodniej i południowej D₂C (37,9%) oraz zachodniej A (35,5%).

Duży udział wystąpień o długim czasie trwania charakterystyczny jest dla antycyklonalnych typów E i E₁. Południowo-wschodnia cyrkulacja F oraz północno-wschodnia i wschodnia E₀ odznaczają się natomiast największą ze wszystkich typów cyrkulacji częstością wystąpień cztero- i pięciodniowych (łącznie odpowiednio: 24,9% i 21,8%).

Przeciętny czas utrzymywania się jednego typu cyrkulacji nad Polską w analizowanym 25-leciu wynosi 2,09 dnia. Uzyskany średni czas trwania jest krótszy od podawanego w pracach F. Baura (1948), R. D. Eliota (1951), B. L. Dzierżewskiego (1964) czy B. Osuchowskiej-Klein (1987). Wynika to z faktu, że w opracowaniach wymienionych autorów z obliczeń średniej długości wyłączone wystąpienia jednodniowe.

Prawdopodobieństwa warunkowe typów cyrkulacji

Określenie bezpośredniego następowania danego typu po innym ułatwia badanie procesów zachodzących w atmosferze w sposób bardziej dynamiczny. Jest to szczególnie istotne przy prognozowaniu pogody. Obliczenie największego prawdopodobieństwa przechodzenia poszczególnych typów cyrkulacji w inne pozwala na trafniejsze przewidywanie warunków atmosferycznych w określonym przedziale czasu. Według B. Osuchowskiej-Klein (1961) równie istotne jest określenie braku następstwa, gdyż pozwala wykluczyć określoną sekwencję towarzyszących temu przejściu zjawisk.

Każdy typ występuje z określoną częstością. Zakładając, że powinien on przechodzić w inne typy proporcjonalnie do jego udziału w analizowanej próbie, możemy obliczyć wartość oczekiwaną poszczególnych przejść. Porównanie oczekiwanej częstości z rzeczywistą pozwala określić najbardziej istotne z prognostycznego punktu widzenia przejścia: wyjątkowo częste oraz występujące z najmniejszą częstością (pozwalające wykluczyć występowanie po sobie określonych typów cyrkulacji).

W niniejszej pracy ze względu na znaczną liczbę (169) możliwych przejść ograniczono się do określenia bezpośredniego występowania danego typu po innym. Następcość sytuacji synoptycznych (X) nie zaklasyfikowanych do żadnego typu wzorcowego została przedstawiona tylko informacyjnie w tabeli 3, natomiast w dalszej analizie następcości, ze względu na małą przydatność prognostyczną, nie uwzględniono jej. Analiza sytuacji nieokreślonych mogłaby jedynie wpłynąć na zmniejszenie czytelności wyników przez czysto teoretyczne zwiększenie liczebności danych.

Tabela 3
Bezpośrednia następcość (%) typów cyrkulacji atmosferycznej w latach 1971-1995
(podkreśleniem wyróżniono najczęstsze przejścia)

Typ	A	CB	E ₀	F	B	D	C ₂ D	E ₂ C	E	E ₁	D ₂ C	G	BE	X	Suma
A	-	<u>42,7</u>	2,5	1,2	4,7	17,1	15,0	1,6	2,2	1,2	9,3	2,2	0,0	0,3	100,0
CB	11,8	-	<u>23,7</u>	2,6	7,6	8,8	18,6	10,9	15,4	1,1	5,3	5,3	0,2	0,5	100,0
E ₀	1,5	14,6	-	6,8	4,9	5,7	12,5	7,6	<u>36,9</u>	3,2	2,1	5,1	0,4	0,2	100,0
F	1,5	12,1	<u>39,3</u>	-	8,3	2,4	4,9	2,9	13,6	9,2	1,9	1,5	2,9	1,0	100,0
B	7,3	<u>22,2</u>	17,6	21,5	-	10,7	8,4	1,5	6,5	6,5	1,5	1,1	1,1	1,1	100,0
D	24,7	<u>29,9</u>	8,5	4,8	28,4	-	4,4	1,1	1,8	3,3	8,9	1,8	5,9	1,1	100,0
C ₂ D	16,1	<u>33,3</u>	4,1	0,0	2,4	5,5	-	7,2	12,0	6,5	11,8	15,6	0,7	1,0	100,0
E ₂ C	0,0	18,6	11,2	2,1	0,8	2,5	8,3	-	<u>36,8</u>	6,2	5,0	8,3	0,0	0,4	100,0
E	2,6	5,4	14,1	7,5	2,0	1,9	15,5	9,2	-	<u>22,4</u>	3,1	16,2	1,9	0,9	100,0
E ₁	8,5	10,9	6,9	7,6	10,6	10,0	10,6	3,6	<u>20,2</u>	-	3,6	3,9	11,2	0,9	100,0
D ₂ C	13,6	17,1	5,0	2,0	6,5	<u>29,1</u>	10,6	1,5	7,0	13,1	-	4,0	4,0	0,0	100,0
G	3,4	9,0	2,2	1,1	3,0	7,5	14,2	7,5	18,7	<u>23,9</u>	10,1	-	2,2	0,7	100,0
BE	20,7	9,2	3,4	6,9	21,8	18,4	6,9	1,1	2,3	<u>26,4</u>	2,3	0,0	-	1,1	100,0
X	0,0	3,4	17,2	6,9	6,9	6,9	24,1	3,4	17,2	6,9	3,4	3,4	0,0	-	100,0

W celu określenia mocy związków pomiędzy analizowanymi typami wykorzystano test χ^2 -Pearsona.

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(V_i - O_i)^2}{O_i}$$

gdzie: V_i – częstość rzeczywista,
 O_i – częstość oczekiwana (hipotetyczna)

Analizę następczości w tej części pracy przeprowadzono dla siedmiu najliczniejszych typów cyrkulacji atmosferycznej: E, CB, E₀, E₁, C₂D, D i A. W przypadku pozostałych typów nie udało się spełnić warunku minimalnej wymaganej częstości oczekiwanej $O_i > 5$. Biorąc pod uwagę siedem najliczniejszych typów cyrkulacji, uzyskano kwadratowe tablice wielodzzielcze siódmego rzędu. W każdym przedziale tablicy mieszczą się trzy liczby. Pierwsza od góry określa częstość rzeczywistą, druga – częstość oczekiwaną, a trzecia wartość χ^2_{ij} danego przedziału.

Tabela 4
 Tablica wielodzzielcza następczości podstawowych typów cyrkulacji (1971-1995)

Typy	A	CB	E ₀	D	C ₂ D	E	E ₁	$\sum_j v_{ij}$	$\sum_j \chi^2_{ij}$
A	–	137 52,2 137,5	8 36,6 22,4	55 24,1 39,4	48 31,6 8,5	7 55,7 42,6	4 32,5 25,0	259	275,4
CB	73 47,3 14,0	–	146 87,6 39,0	54 57,7 0,2	115 75,5 20,7	95 133,3 11,0	7 77,6 64,3	490	149,1
E ₀	7 31,1 18,7	69 82,3 2,1	–	27 38,0 3,2	59 49,7 1,7	174 87,7 84,8	15 51,1 25,5	351	136,1
D	67 21,1 99,7	81 55,8 11,4	23 39,1 6,6	–	12 33,7 14,0	5 59,5 49,9	9 34,7 19,0	197	200,6
C ₂ D	67 31,0 41,9	139 81,8 40,0	17 57,3 28,4	23 37,8 5,8	–	50 87,2 15,9	27 50,8 11,2	323	143,2
E	15 41,8 17,2	32 110,5 55,8	83 77,4 0,4	11 51,1 31,4	91 66,8 8,8	–	132 68,7 58,4	364	172,0
E ₁	28 23,0 1,1	36 60,8 10,1	23 42,6 9,0	33 28,1 0,8	35 36,8 0,1	67 64,9 0,1	–	222	21,3
$\sum_j v_{ij}$	257	494	300	203	360	398	194	2206 χ^2	1097,7

W każdym przedziale (wiersz i, kolumna j):
 liczba pierwsza od góry – częstość rzeczywista V_{ij} ,
 liczba druga od góry – częstość oczekiwana O_{ij} ,
 liczba trzecia od góry – χ^2

Liczba stopni swobody dla kwadratowej tablicy wielodzielczej n -tego stopnia, bez elementów na głównej przekątnej wyraża się wzorem:

$$f = (r - 1)^2 - r$$

gdzie: r – rząd tablic wielodzielczych.

Korzystając z powyższego wzoru, dla tablicy siódmego rzędu otrzymamy 29 stopni swobody. Aby przy takiej liczbie zależność była istotna na poziomie 0,1%, wartość χ^2 musi być równa co najmniej 39,1. Otrzymana wartość χ^2 na takim poziomie wskazywałaby na to, że wyniki otrzymane w tablicach wielodzielczych nie są dziełem przypadku.

Przeprowadzone obliczenia potwierdziły te przypuszczenia. Otrzymane wartości χ^2 dla większości typów cyrkulacji (z wyjątkiem typu E_1) przekraczają zakładaną wartość progową 39,1 (tab. 4). Wyniki wskazują więc na istnienie zależności pomiędzy analizowanymi typami przy założonym poziomie istotności.

Funkcja χ^2 charakteryzuje odchylenia od częstości hipotetycznej (oczekiwanej), zarówno dodatnie, jak i ujemne, dlatego bardzo dobrze opisuje najbardziej istotne z prognostycznego punktu widzenia przejścia lub ich brak. Im wyższa wartość sumy χ^2 podana w ostatniej kolumnie, tym większe znaczenie prognostyczne analizowanego wiersza tablicy wielodzielczej.

Największą wartością χ^2 charakteryzuje się przejście typu E w inne typy cyrkulacji atmosferycznej. Na kolejnych miejscach w uszeregowaniu według istotności przejść znajdują się typy: A i C_2D . Najmniejszą wartość χ^2 zarówno w analizie następczości typów średnich, jak i podstawowych otrzymano przy południowo-wschodniej i wschodniej cyrkulacji E_1 .

Analiza wartości ekstremalnych χ^2 (maksimów i minimów) pozwala określić w każdym wierszu tablic wielodzielczych przejścia występujące z najmniejszą i największą częstością (tab. 5).

Przeprowadzona analiza bezpośredniego następowania po sobie typów cyrkulacji pozwoliła określić najistotniejsze z prognostycznego punktu widzenia przejścia – o największej i najmniejszej częstości występowania. Uzyskane wyniki upoważniają do stwierdzenia, że cyklonalne typy cyrkulacji znacznie częściej przechodzą w inne typy o charakterze cyklonalnym. Typy antycyklonalne natomiast (z wyjątkiem typu G) prawie z jednakowym prawdopodobieństwem przechodzą w cyklonalne, jak i antycyklonalne.

Ponadto:

- typ zachodniej cyrkulacji A przechodzi najczęściej w typ północno-zachodniej cyrkulacji CB, sporadycznie natomiast występują po nim typy cyrkulacji z sektora wschodniego;
- północno-zachodnia cyrkulacja CB wykazuje tendencję do przekształcania się w północno-wschodnią i wschodnią cyrkulację E_0 ;
- po typie południowo-wschodniej cyrkulacji F powstają najczęściej typy z sektora wschodniego – zarówno cyklonalne, jak i antycyklonalne;
- południowo-zachodnia cyrkulacja D przechodzi najczęściej w południową cyrkulację B.

W analizowanym okresie nie stwierdzono ani jednego przypadku wystąpienia cyrkulacji pośredniej BE po południowej cyrkulacji B oraz północno-zachodniej cyrkulacji E₂C.

Tabela 5

Najczęściej występujące przejścia typów cyrkulacji atmosferycznej oraz przejścia o najmniejszej częstości (1971-1995)

Typ poprzedzający	Typ następujący	
	Przejścia występujące z największą częstością	Przejścia występujące z najmniejszą częstością
A	CB + 137,5 D + 39,4	E - 42,6 E ₁ - 25,0 E ₀ - 22,4
CB	E ₀ + 39,0 (E ₂ C) + 30,0	E ₁ - 64,3
E ₀	E + 84,8	E ₁ - 25,5 A - 18,7
D	(B) + 159,0 A + 99,7	E - 49,9
C ₂ D	(G) + 51,0 A + 42,0 CB + 40,0	E ₀ - 28,4
E	(G) + 89,0 E ₁ + 58,0	CB - 55,8
E ₁	(BE) + 123,0 (B) + 7,5	CB - 10,1 E ₀ - 9,0

(+) – najczęściej występujące przejścia obliczone testem χ^2 ,
 (-) – przejścia o najmniejszej częstości obliczone testem χ^2

Wnioski

1. O charakterze cyrkulacji nad obszarem Polski w największym stopniu decydują dwa typy cyrkulacji: północno-wschodni antycyklonalny E (16,4%) oraz północno-zachodni cyklonalny CB (15,4%).
2. Cyrkulacja atmosferyczna nad Polską charakteryzuje się dużą zmiennością. Przeważają wystąpienia jedno- i dwudniowych typów cyrkulacji (łącznie ponad 51% wszystkich przypadków), a przeciętny czas utrzymywania się jednego typu wynosi zaledwie 2,09 dnia.
3. Typy cyrkulacji z sektora wschodniego charakteryzują się dłuższym (2,40 dnia) niż zachodnie (1,86 dnia) średnim czasem trwania.
4. Typy antycyklonalne utrzymują się przeciętnie o 0,20 dnia dłużej od cyklonalnych (głównie za sprawą blokadowych typów E i E₁).

5. Cyklonalne typy cyrkulacji znacznie częściej przechodzą w inne typy o charakterze cyklonalnym. Typy antycyklonalne (z wyjątkiem typu G) prawie z jednakowym prawdopodobieństwem przechodzą zarówno w cyklonalne, jak i antycyklonalne typy cyrkulacji.

Uzyskane wyniki zostaną wykorzystane w badaniach nad zróżnicowaniem warunków atmosferycznych w Polsce w zależności od typu cyrkulacji.

Literatura

- Baranowski D., 2001, Zróżnicowanie warunków atmosferycznych w Polsce w zależności od typu cyrkulacji. Prace i Studia Geograficzne Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, t. XXIX
- Baranowski D., Ewert A., 1996, Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej 1991-1995 (masygnopis w Zakładzie Klimatologii i Hydrografii Instytutu Geografii PAP w Słupsku)
- Baur F., 1948, Zur Frage der Echtheit der sogenannten Singularitäten im Jahres – gang der Witterung. Ann. Der Meteor. 12
- Dziedziewskij B. L., 1964, Analysis of the long-period variations in the character of the general circulation of the atmosphere and climatic element indices at the earth's surface. Moskwa (In Russian, translation available in the Meteorological Office Library, Bracknell)
- Elliot R. D., 1951, Extended-Range Forecasting by Weather Types. Compendium of Meteorology. London
- Osuchowska B., 1961, O wschodnich typach cyrkulacji w zimie. Wiadomości Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej 8, 5
- Osuchowska-Klein B., 1973, Analiza rocznych przebiegów częstości występowania w Polsce makrotypów cyrkulacji atmosferycznej. Przegl. Geofiz. t. 18, nr 3-4
- Osuchowska-Klein B., 1978, Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej. Warszawa
- Osuchowska-Klein B., 1987, Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w Europie w bieżącym stuleciu. Przegl. Geofiz. t. 32, nr 1
- Osuchowska-Klein B., 1991, Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1976-1990). Warszawa