

# ◆◆◆◆ ORYGINALNE PRACE ◆◆◆◆ I PRZYZYCNKI

---

Joanna WIBIG

Zakład Meteorologii i Klimatologii UŁ

## CYRKULACJA ATMOSFERYCZNA NAD EUROPEĄ NA POWIERZCHNI IZOBARYCZNEJ 500 hPa CZĘŚĆ I — ZIMA

### ATMOSPHERICAL CIRCULATION OVER EUROPE AT 500 hPa ISOBARIC LEVEL PART I — WINTER

Cyrkulację atmosferyczną, jej zmienność w czasie i związku z innymi elementami klimatu badano korzystając z różnorodnych metod; ich bogaty przegląd przedstawia Kaszewski (1989, 1990). W ostatnich latach rozwinęła się metoda analizy pól ciśnienia lub geopotencjału przy użyciu empirycznych funkcji ortogonalnych (EOF) lub analizy składowych głównych (principal component analysis — PCA). Rozważa się w niej wektory własne macierzy korelacji lub kowariancji szeregów czasowych ciśnienia lub geopotencjału w zadanych punktach sieci. Metoda ta pozwala na wyróżnienie charakterystycznych typów cyrkulacji oraz na badanie ich zmienności czasowej. Możliwe jest również badanie związków zmienności, tak w czasie jak i w przestrzeni, innych elementów klimatu z typami cyrkulacji. Stosowali ją Barnston i Livezey (1987) oraz Cline i Martin (1992) do analizy pola geopotencjału powierzchni izobarycznej 700 hPa, a także Trenberth i Paolino (1981) oraz Rogers (1990) do analizy pola ciśnienia na poziomie morza. Metodę tę wykorzystwała również autorka do wydzielenia charakterystycznych typów cyrkulacji w sektorze europejsko-atlantyckim na powierzchni izobarycznej 500 hPa.

W pracy wykorzystano średnie miesięczne wartości pola geopotencjału powierzchni izobarycznej 500 hPa w 80 punktach siatki geograficznej. Dane pokrywały obszar od 40°W do 50°E i od 35°N do 70°N, z krokiem 10° wzdłuż równoleżników i 5° wzdłuż południków; zostały zaczerpnięte z *Die Grosswetterlagen Europas* (1951–1990). W metodzie składowych głównych skorzystano z 20 punktów, a mapy współczynników korelacji między starymi i nowymi zmiennymi wyznaczano na podstawie wszystkich 80 punktów.

Szeregi czasowe wartości geopotencjału powierzchni izobarycznej 500 hPa w 20 punktach siatki geograficznej znormalizowano przez odjęcie wartości średniej i podzielenie przez odchylenie standardowe w danym miesiącu. Tak utworzony zbiór zmiennych przetransformowano, metodą składowych głównych, w zbiór szeregów ortogonalnych. Korzystając z macierzy korelacji między wszystkimi parami wejściowych szeregów wyznaczono najpierw pierwszą składową główną w taki sposób, by wyjaśniała możliwie największą część zmienności pola geopotencjału. Kolejne składowe utworzono tak, by opisywały możliwie największą część pozostałej wariancji i były nieskorelowane z poprzednio wyznaczonymi. Ortogonalność oznacza, że wariancja wyjściowego pola geopotencjału jest zwykłą sumą wariancji nowych zmiennych, przy czym wystarczy wziąć kilka nowych zmiennych, by tłumaczona przez nie wariancja stanowiła znaczny procent zmienności całego pola. W wyniku transformacji otrzymano 3 typy wyników: składowe główne, będące znormalizowanymi szeregami czasowymi; wartości własne lub inaczej wariancje pola geopotencjału, tłumaczone przez poszczególne składowe główne; i wektory własne stanowiące współczynniki korelacji między nowymi a starymi zmiennymi, nazywane czasem ładunkami. Zasadniczą zaletą tej metody jest zastąpienie początkowego dużego zbioru zmiennych kilkoma nowymi zmiennymi, opisującymi jednak prawie całą zmienność pola.

Niestety, oprócz zalet, metoda ta ma również swoje wady. Opisuje je szczegółowo Horel (1981). Przestrzenna ortogonalność ładunków stwarza niepożądane ograniczenia w wyborze składowych. O ile pierwsza składowa tworzona jest tak, by wyjaśniać możliwie dużą część wariancji pola, to przy tworzeniu drugiej pojawia się dodatkowy warunek, by leżała w przestrzeni ortogonalnej do pierwszej składowej. Trzecia musi być prostopadła do pierwszej i drugiej itd. Z powodu warunku przestrzennej ortogonalności składowe główne silnie zależą od zbioru danych wejściowych. Zatem składowe główne opisujące zmienność pola geopotencjału nad Europą nie muszą być podobne do tych, które opisują pole nad całą półkulą północną. Stanowi to poważny problem, ponieważ niezależność otrzymanych wyników od początkowego obszaru badań jest wymogiem koniecznym, jeśli myślimy o nadaniu im jakiegoś fizycznego znaczenia.

Drugi problem powstaje, gdy chcemy — korzystając z wektorów własnych — mówić o korelacji między wartościami pola w jakichś dwóch punktach. Może okazać się, że jeden z wektorów własnych wskazuje na korelacje dodatnie, a inny na ujemne.

Aby zminimalizować obie wady, Horel (1981) proponuje poddanie składowych głównych rotacji typu varimax. W metodzie varimax maksymalizujemy wariancję kwadratów współczynników korelacji pomiędzy wyjściowymi a ostatecznymi szeregami czasowymi. Taka operacja powoduje, że tylko niektóre współczynniki korelacji są duże (dodatnie lub ujemne), a ogromna ich większość jest bliska zeru. Rezygnujemy tu z warunku przestrzennej ortogonalności, ale zachowana jest ortogonalność składowych głównych, czyli w dalszym ciągu wariancja kilku składowych jest zwykłą sumą wariancji poszczególnych zmiennych. W ten sposób rotacja metodą varimax zwiększa zróżnicowanie między poszczególnymi

ładunkami i ułatwia interpretację. Jednocześnie okazuje się, że rozwiązania uzyskane po rotacji są słabo zależne od zbioru danych i obraz, jaki otrzymujemy dla Europy, staje się częścią obrazu, jaki można uzyskać analizując dane z całej półkuli.

Rotacji varimax poddajemy nie cały zbiór składowych głównych, ale jedynie te, które wyjaśniają stosunkowo dużą część wariancji. W tej pracy korzystano z kryterium K a i s e r a (1958). Rotacji poddano tylko te składowe, których wartość własna przekraczała 1.

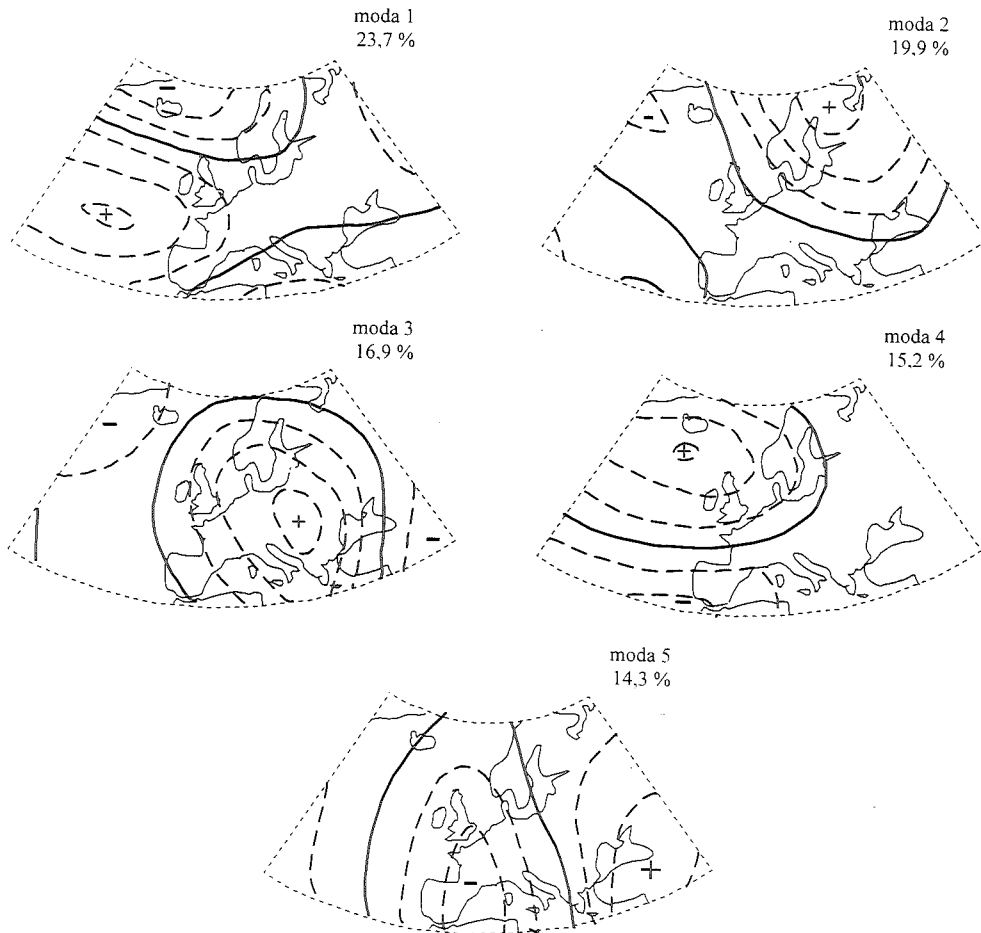
### Wyróżnione typy cyrkulacji

Zgodnie z kryterium Kaisera rotacji poddano po 4 składowe ze stycznia i lutego oraz 5 składowych z grudnia. Narysowano mapy współczynników korelacji między wyjściowymi danymi a otrzymanymi składowymi głównymi. Mapy te można interpretować jako charakterystyczne dla odpowiednich miesięcy typy rozkładu geopotencjału (typy cyrkulacji) na powierzchni izobarycznej 500 hPa. Można wyróżnić 5 typów cyrkulacji; 4 z nich występują we wszystkich miesiącach, piąty jedynie w grudniu. Tabela 1 przedstawia, jaki procent wariancji początkowego układu zmiennych opisują poszczególne składowe; w sumie pierwsze 4 mody (lub 5 w przypadku grudnia) wyjaśniają ok. 90% całkowitej zmienności danych wejściowych.

Tabela 1. Wariancja wyjaśniana przez poszczególne składowe główne (mody) w procentach  
Table 1. The variance described by particular modes in per cent

Miesiąc Month	Wariancja tłumaczona przez poszczególne mody The variance described by particular modes					
	moda 1 mode 1	moda 2 mode 2	moda 3 mode 3	moda 4 mode 4	moda 5 mode 5	suma sum
Grudzień December	23,7	19,9	16,9	15,2	14,3	90,0
Styczeń January	29,0	19,1	19,0	16,1	—	83,1
Luty February	24,5	23,2	18,1	17,6	—	83,4

**Typ oscylacji północnoatlantyckich.** Jest to najbardziej charakterystyczny typ, w literaturze światowej znany jako North Atlantic Oscillation (NAO); odkryty w latach dwudziestych przez brytyjskiego meteorologa Sir Gilberta Walkera (1924). Związany jest z działaniem dwóch całorocznych ośrodków barycznych na Atlantyku — Niżu Islandzkiego i Wyżu Azorskiego — oraz z cyrkulacją strefową nad środkową Europą. Stosunkowo wysokie ciśnienie w obszarze podzwrotnikowym i niskie w podbiegunowym, czyli głęboki Niż Islandzki i roz-



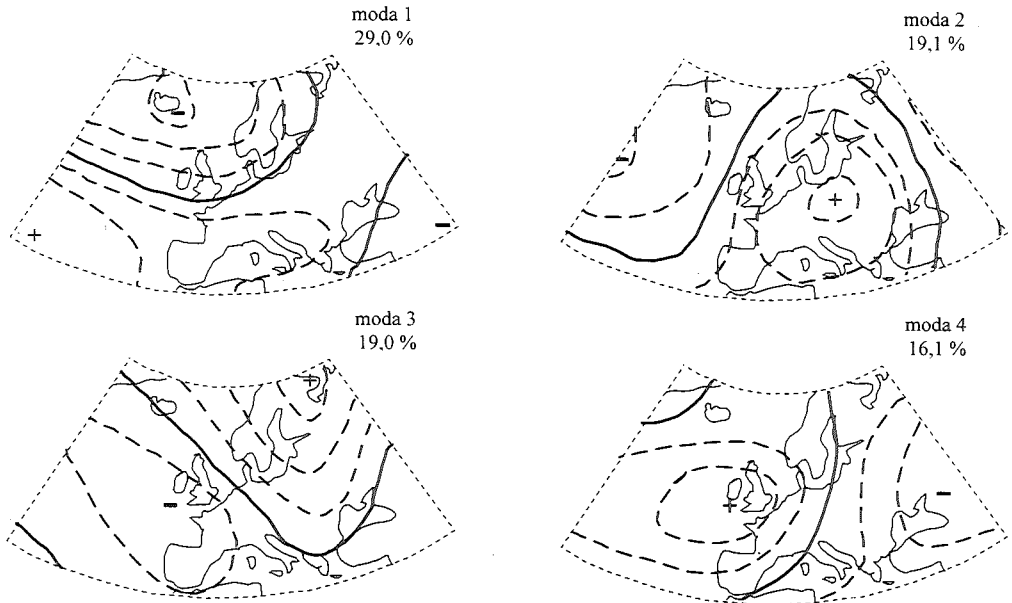
Rys. 1. Pola współczynników korelacji między poszczególnymi wektorami głównymi (modami) a geopotencjałem powierzchni izobarycznej 500 hPa w grudniu

Linią ciągłą zaznaczono izokorelatę zero, liniami przerywanymi pozostałe izokorelaty z odstępem 0,3. Plusem i minusem zaznaczono lokalne ekstrema współczynnika korelacji. Procent zmienności pola opisywany przez poszczególne mody podano w prawym górnym rogu.

Fig. 1. Fields of correlation coefficients between principal components (modes) and the values of geopotential of 500 hPa level in December

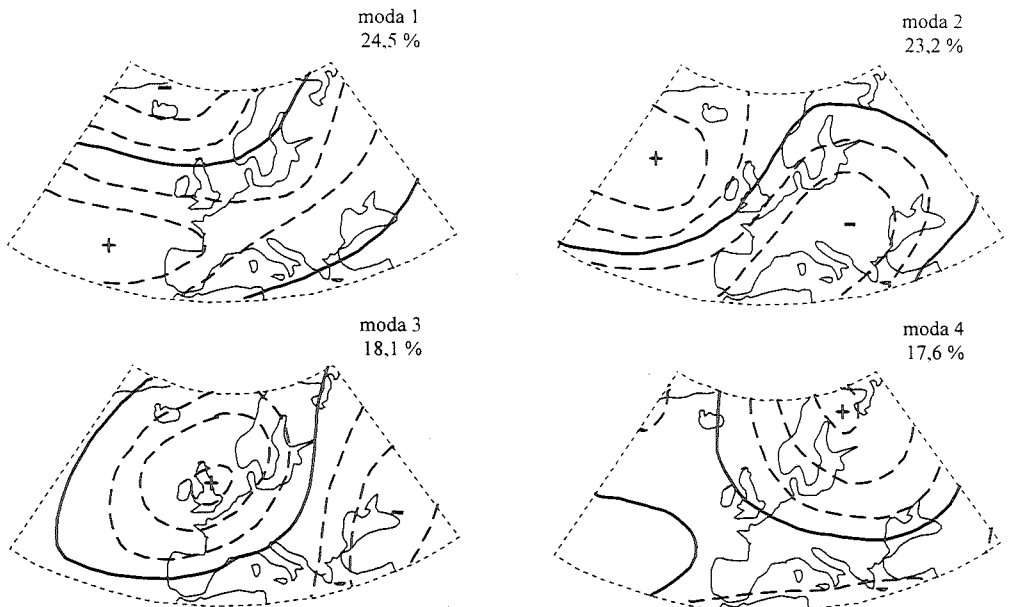
Solid line indicates isocorrelates zero, dashed lines are isocorrelates with step 0,3. Local extremal values of correlation coefficient are marked by plus and minus. The per cent of total variability described by particular modes are in upper right.

budowany Wyż Azorski, stanowią jedno ze skrajnych położen oscylatora. Dominuje wówczas cyrkulacja strefowa i masy ciepłego i wilgotnego powietrza znad Atlantyku napływają nad Europę. Zatem w sezonie zimowym typ ten kształtuje w środkowej i północnej Europie wilgotną i stosunkowo ciepłą pogodę (Hurrell, van Loon, 1996; Wibig, 1995, 1996). Drugim skrajnym stadium oscylatora jest układ słabo gradientowy, gdy oba wspomniane ośrodki baryczne są słabo rozwinięte (Lamb, Pepler, 1987). Składowa główna związana z typem NAO przyjmu-



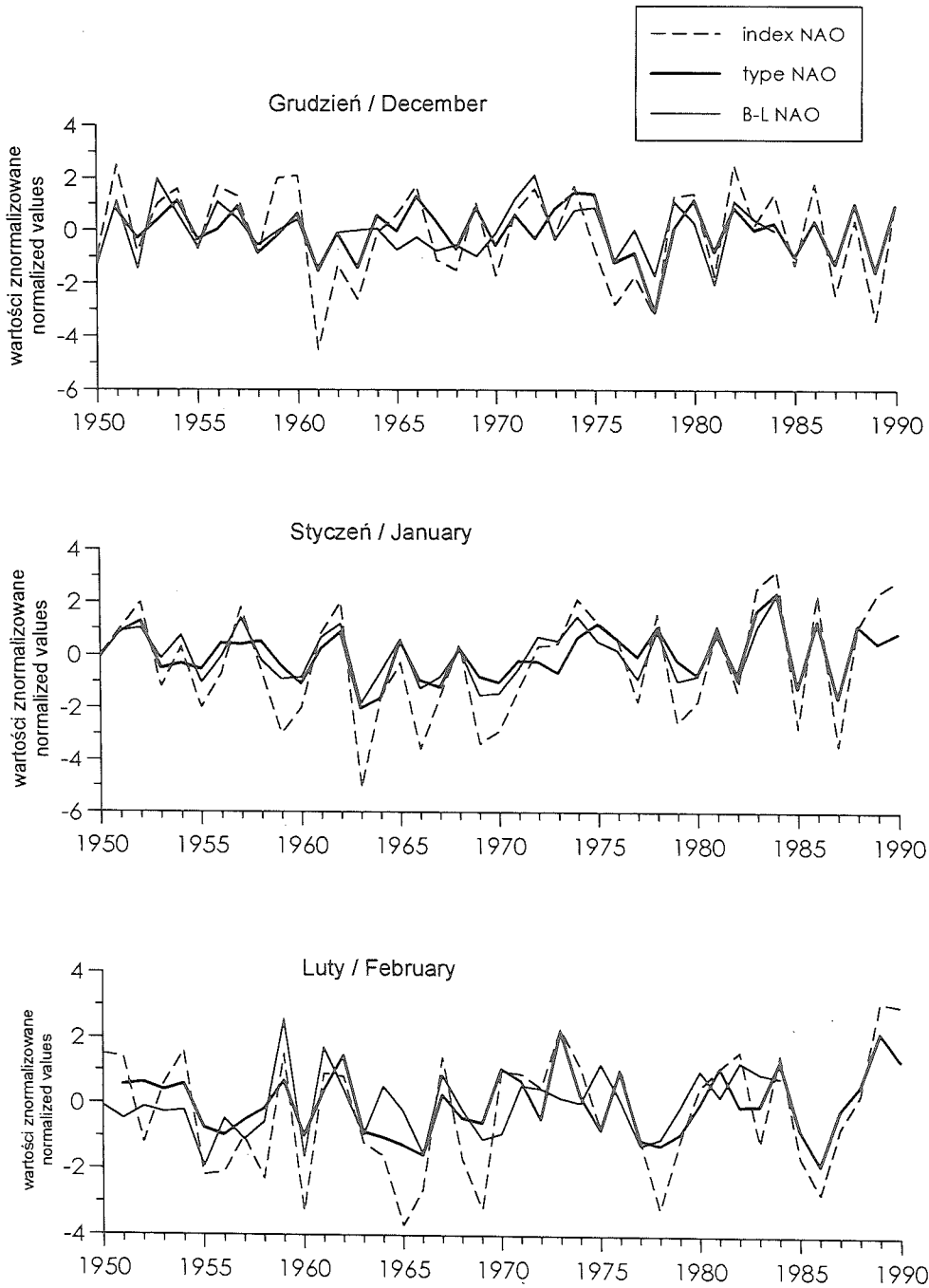
Rys. 2. Pola współczynników korelacji między poszczególnymi wektorami głównymi (modami) a geopotencjałem powierzchni izobarycznej 500 hPa w styczniu. Oznaczenia jak na rys. 1

Fig. 2. Fields of correlation coefficients between principal components (modes) and the values of geopotential of 500 hPa level in January. Indications as in fig. 1



Rys. 3. Pola współczynników korelacji między poszczególnymi wektorami głównymi (modami) a geopotencjałem powierzchni izobarycznej 500 hPa w lutym. Oznaczenia jak na rys. 1

Fig. 3. Fields of correlation coefficients between principal components (modes) and the values of geopotential of 500 hPa level in February. Indications as in fig. 1



Rys. 4. Przebieg wektora własnego związanego z typem NAO (linia ciągła pogrubiona), indeksu NAO wg Hurrella (1995) (linia przerywana) i wektora własnego związanego z typem NAO wg Barnstona i Livezey (1987) (linia ciągła cienka)

Fig. 4. Time series of principal component connected with NAO (heavy solid line), NAO index according to Hurrell (1995) (dashed line), principal component connected with NAO according to Barnston and Livezey (1987) (solid line)

je duże wartości dodatnie, gdy oba ośrodki baryczne wykazują dużą aktywność, a ujemne, gdy są wyjątkowo słabo rozbudowane. W każdym z zimowych miesięcy typ NAO wyjaśnia największą część zmienności pola geopotencjału. W styczniu jest to 29,0 % (moda 1 — rys. 2), w lutym 24,5 % (moda 1 — rys. 3), a w grudniu 23,7 % (moda 1 — rys. 1).

Przebieg czasowy zmiennej związanej z typem NAO porównano z indeksem NAO, będącym znormalizowaną różnicą wartości ciśnienia między Ponta Delgada a Stykkisholmur (Hurrell, 1995, 1996) i z przebiegiem typu NAO na powierzchni 700 hPa otrzymanym przez Barnstona i Livezey (1987) (rys. 4). Zgodność przebiegów jest bardzo duża, mówią o tym również współczynniki korelacji (tab. 2).

Tab e l a 2. Współczynniki korelacji między indeksem NAO (Hurrell, 1995), składową główną opisującą typ NAO według autorki (moda) i składową główną związaną z typem NAO według Barnstona i Livezey (tu: B-L)

Table 2. The correlation coefficients between the NAO index (Hurrell, 1995), principal component connected with NAO type from this paper (mode), and principal component connected with NAO according to Barnston and Livezey (here: B-L)

Miesiąc Month	Współczynniki korelacji The correlation coefficients		
	indeks NAO/moda index NAO/mode	indeks NAO/B-L index NAO/B-L	moda/B-L mode/B-L
Grudzień/December	0,789	0,677	0,530
Styczeń/January	0,868	0,933	0,828
Luty/February	0,852	0,576	0,432

**Typ skandynawski.** Występuje w każdym z miesięcy zimowych. Najsilniejszy jest w grudniu, opisuje go druga składowa (moda 2 — rys. 1) i wyjaśnia 19,9% zmienności pola geopotencjału; w styczniu związany jest z trzecią składową (moda 3 — rys. 2), ale i tak tłumaczy aż 19,0 % wariacji pola geopotencjału, w lutym natomiast przedstawia go czwarta składowa (moda 4 — rys. 3) i wyjaśnia 17,6% zmienności. Typ skandynawski związany jest z obszarem wysokich dodatnich współczynników korelacji nad północną częścią Półwyspu Skandynawskiego i obszarem ujemnych współczynników korelacji nad południowo-zachodnią Europą i Atlantykiem w pasie od Wysp Brytyjskich do Grenlandii. Wysokie dodatnie wartości składowej związanej z tym typem świadczą o występowaniu nad Skandynawią ośrodków wysokiego ciśnienia, natomiast dużej częstości występowania niżów w tym rejonie odpowiadają ujemne wartości składowej głównej.

**Typ blokadowy.** W tym typie obszar wysokich dodatnich współczynników korelacji pojawia się nad Europą Środkową. Występuje podczas wszystkich 3 zimowych miesięcy, ale największą część zmienności pola (23,2 %) opisuje w lutym (moda 2 — rys. 3). W styczniu (moda 2 — rys. 2) wyjaśnia 19,1% zmienności pola, w grudniu (moda 3 — rys. 1) — 16,9%. Wysokie wartości składowej

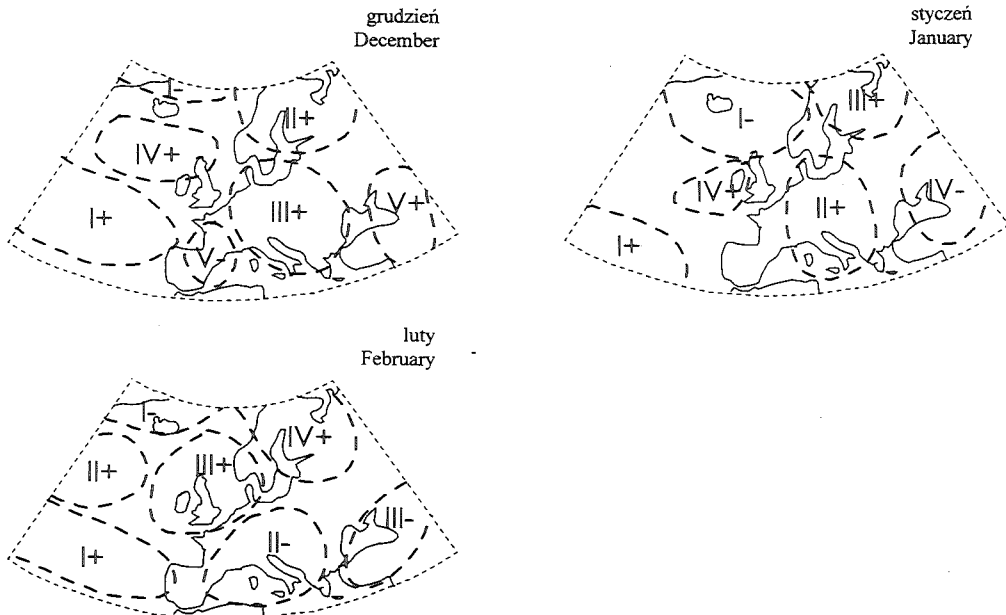
związanej z tym typem świadczą o występowaniu ośrodka wyżowego nad środkową Europą i zablokowaniu cyrkulacji strefowej na wysokości 500 hPa.

**Typ wschodnioeuropejski.** Jest związany z dwoma obszarami wysokich współczynników korelacji o przeciwnych znakach; jeden z nich położony jest nad wschodnią częścią Europy, w okolicach Morza Czarnego, drugi nad Europą Zachodnią lub Wyspami Brytyjskimi. Typ ten tłumaczy 18,1% zmienności pola geopotencjału w lutym (moda 3 — rys. 3), 16,1% w styczniu (moda 4 — rys. 2) i 14,3% w grudniu (moda 5 — rys. 1).

**Typ wschodnioatlantycki** charakteryzuje obszar wysokich współczynników korelacji nad wschodnią częścią północnego Atlantyku. Występuje w prawie wszystkich miesiącach ciepłej pory roku. Zimą pojawia się tylko w grudniu i tłumaczy wtedy 16,1% zmienności pola geopotencjału (moda 4 — rys. 1).

### Strefy wpływów i telekoneksje

Dzięki zastosowaniu metody EOF można wydzielić obszary, w których zmiany pola geopotencjału wiążą się z uaktywnieniem jednego z wymienionych typów cyrkulacji. Często jeden typ cyrkulacji wpływa na zmienność pola geopotencjału w dwóch (lub więcej) rozłącznych obszarach. Pociąga to za sobą współzmienność pola na tych obszarach — mówimy wtedy o telekoneksjach. Rysunek



Rys. 5. Izokorelaty 0,7 i  $-0,7$  pomiędzy poszczególnymi modami a polem geopotencjału na powierzchni 500 hPa (zaznaczono kolejny numer mody i znak współczynnika korelacji)

Fig. 5. Isocorrelates 0,7 and  $-0,7$  between modes and the values of geopotential of 500 hPa level (the number of mode and sign of correlation coefficients are marked)



5 przedstawia takie strefy wpływów i obszary telekoneksji. Zaznaczono na nim izokorelaty 0,7 (i -0,7) wszystkich typów cyrkulacji wyróżnionych w danym miesiącu. Wybrano wartość 0,7, ponieważ odpowiada ona w przybliżeniu współczynnikiowi determinacji (równemu kwadratowi współczynnika korelacji) 0,5, co oznacza, że co najmniej 50% zmienności pola geopotencjału w zaznaczonych obszarach wiąże się ze zmiennością przebiegu odpowiedniego typu cyrkulacji.

Typowi NAO w każdym z zimowych miesięcy odpowiada dipol z obszarem korelacji ujemnych w okolicach Islandii i dodatnich nad Atlantykiem wzdłuż 40 równoleżnika. Z dipolem związany jest również typ wschodnioeuropejski; wiąże on pola geopotencjału w okolicach Morza Czarnego i nad Europą Zachodnią lub Wyspami Brytyjskimi. Telekoneksje pojawiają się także w lutym przy typie blokadowym. W tym miesiącu skorelowane są zmiany pola geopotencjału nad środkową częścią Europy Południowej i Atlantykiem w rejonie punktu o współrzędnych 30°W, 50°N. W pozostałych przypadkach wyróżnić można na rozważanym obszarze tylko jedną strefę wpływów. Charakterystyczne, że w typie skandynawskim zawsze występuje pojedynczy ośrodek wysokich współczynników korelacji.

### Podsumowanie

W opracowaniu wyróżniono 4 typy cyrkulacji charakterystyczne dla sektora europejsko-atlantyckiego w sezonie zimowym oraz 1 typ charakterystyczny dla cieplejszej części roku, a zimą występujący jedynie w grudniu. Dwa z nich, typ NAO i skandynawski, cechuje duża stabilność. Odpowiadające im mapy współczynników korelacji zmieniają się z miesiąca na miesiąc tylko nieznacznie. W pozostałych typach: blokadowym i wschodnioeuropejskim ośrodki aktywności zmieniają nieco swe położenie. Wszystkie dotyczą powierzchni izobarycznej 500 hPa i przynajmniej niektóre z nich mogą różnić się od typów wyznaczonych na niższych powierzchniach izobarycznych lub poziomie morza. Porównano przebieg czasowy wektora związanego z typem NAO z indeksem NAO (Hurrell, 1995, 1996), będącym znormalizowaną różnicą ciśnienia n.p.m. w Ponta Delgada na Azorach i Stykkisholmur na Islandii (rys. 4). Zgodność przebiegu jest wysoka, współczynniki korelacji (tab. 2) wskazują na bardzo istotną współzmienność. Nieco gorzej wypadło porównanie z wektorem własnym odpowiadającym typowi NAO na powierzchni 700 hPa według Barnstona i Livezey (1987). Korelacje również są istotne statystycznie (rys. 4, tab. 2), lecz zdecydowanie słabsze (podobnie jak korelacja: indeks NAO — typ NAO według Barnstona-Livezey). Typy wyróżnione na całej półkuli północnej są bardziej uogólnione niż te wyznaczone na mniejszych obszarach i dlatego może nieco gorzej oddają lokalne cechy cyrkulacji.

Wydzielone w tym opracowaniu typy posłużą do określenia związków cyrkulacji na powierzchni izobarycznej 500 hPa z rozkładem przestrzennym temperatury i opadów na obszarze Europy.

Praca wpłynęła do redakcji 20 III 1997 r.

## Literatura

- Barnston A. G., Livezey R. E., 1987, *Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns*. Mon. Wea. Rev., t. 115, 1083–1126.
- Clinet S., Martin S., 1992, *700 hPa geopotential height anomalies from a statistical analysis of the french hemis data set*. Int. Jour. of. Clim. t.12, 229–256.
- Die Grosswetterlagen Europas* (do 1967 *Die Grosswetterlagen Mitteleuropas*), Deutscher Wetterdienst. Bad Kissingen (1951–57), Offenbach am Main (1958–1990)
- Horel J. D., 1981, *A rotated principal component analysis of the interannual variability of the northern hemisphere 500 mb height field*. Mon. Wea. Rev., t. 109, 2080–2092.
- Hurrell J. W., 1995, *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation*. Science, 269, 676–679.
- Hurrell J. W., 1996, *Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperatures*. Geophys. Res. Lett., 23, 665–668.
- Hurrell J. W., van Loon H., 1996, *Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation*. Climatic Change (in press).
- Kaiser H. F., 1958, *The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis*. Psychometrika, t. 23, 187–200.
- Kaszewski B. M., 1989, *Przegląd metod typologii cyrkulacji atmosferycznej (cz. I) — Typologie w makroskali*. Wiad. IMGW, t. 12(33), nr 3–4, 3–9.
- Kaszewski B. M., 1990, *Przegląd metod typologii cyrkulacji atmosferycznej (cz. II) — Typologie w skalach lokalnej i regionalnej*. Wiad. IMGW, t. 13 (34), nr 1–4, 73–83.
- Lamb P. J., Pepler R. A., 1987, *North Atlantic Oscillation: Concept and an application*. Bull. Am. Met. Soc., t. 68, 1218–1225.
- Rogers J. C., 1990, *Patterns of low-frequency monthly sea level pressure variability (1899–1986) and associated wave cyclone frequencies*. Jour. of Climate, t. 3, 1364–1379.
- Trenberth K. E., Paolino D. A. Jr., 1981, *Characteristic patterns of variability of sea level pressure in the Northern Hemisphere*. Mon. Wea. Rev., t. 109, 1169–1189.
- Walker G. T., 1924, *Correlations in seasonal variations of weather*. IX Mem. Indian Meteor. Dept., t. 24, 275–332.
- Wibig J., 1995, *Spatial distribution of temperature in Europe according to circulation patterns at 500 hPa*. Proceedings of the Regional Workshop Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation, 11–15 września 1995, 65–70.
- Wibig J., 1996, *Spatial distribution of precipitation in Europe according to circulation patterns at 500 hPa*. Proceedings from European Conference on Applied Climatology, Norrköping, Szwecja, 7–10 maja 1996, 29–30.

## Summary

To describe circulation fields in winter months the sets of mean monthly values of 500 hPa geopotential heights in grid points over Europe and North Atlantic were transformed into a new sets of orthogonal principal components. The principal component analysis together with varimax rotation were used. Maps of correlation coefficients between a few most important components and original time series present circulation types. Four types present in all months were distinguished. There were the NAO, the scandinavian, the east-european and the blocking type. Also one type present only in December — the east-atlantic one — was distinguished. The NAO type is represented by dipol with one centre of high negative correlations over subtropical region of Atlantic and the second centre of high positive correlations over subtropical Atlantic. It is closely connected with activities of Icelandic Low and Azorian High, which is confirmed by strong correlations with NAO index by Hurrell (1996). Dipol is also characteristic for east-european type with one centre of correlations over East Europe near Black Sea and the second one over West Europe or British Isles. Remaining type are represented by singular centres of high correlations; in scandinavian type it is over northern part of Scandinavian Peninsula, in blocking type it is over Central Europe and in east Atlantic type it is over eastern part of North Atlantic.