

ROLA CYRKULACJI W KSZTAŁTOWANIU KLIMATU

ZMIENNOŚĆ WARUNKÓW ADWEKCJI POŁUDNIKOWEJ I STREFOWEJ W EUROPIE W LATACH 1981-1990

Michał Marosz
Uniwersytet Gdański
Katedra Klimatologii
i Kształtowania Środowiska

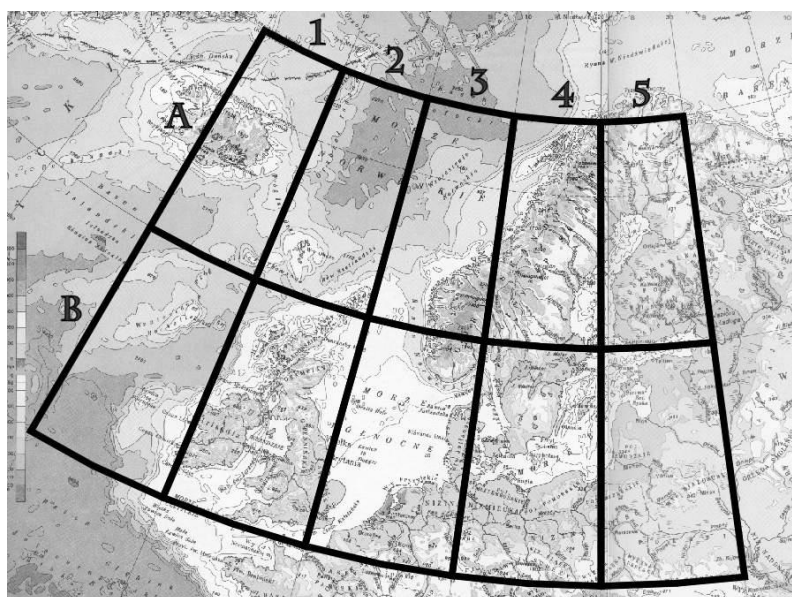
Strefa umiarkowanych szerokości geograficznych w nomenklaturze klimatologicznej bardzo często określana jest jako „strefa przeważających wiatrów zachodnich” (ang. *westerlies*). Fakt ten jest uwarunkowany baroklinowością atmosfery, która implikuje dodatkową w stosunku do samego tylko nachylenia powierzchni izobarycznych, zachodnią składową ruchu (Olivier, Fairbridge 1987). Uśredniona w czasie „rzeźba” powierzchni izobarycznych wyraźnie wskazuje na uprzywilejowanie zachodniego spływu powietrza przy założeniu geostroficzności jego ruchu, które z wystarczającym przybliżeniem jest spełnione w swobodnej atmosferze.

Położenia Europy w tej strefie nie można jednak traktować jako warunku koniecznego i wystarczającego, by opis form cyrkulacji ograniczać do tak lapidarnego stwierdzenia. Front polarny i arktyczny oraz zaburzenia związane z tymi strefami nieciągłości sprawiają, iż faktyczna cyrkulacja, zwłaszcza w bardziej szczegółowych skalach przestrzennych i czasowych, znacząco odbiega od powyższego uogólnienia. Oprócz immanentnych cech cyrkulacji atmosfery dodatkowym czynnikiem modyfikującym cyrkulację atmosferyczną jest podłoże, a dokładniej jego niejednorodność.

Materialy i metody badań

Celem przeprowadzonych prac badawczych była charakterystyka złożoności warunków adwekcyjnych nad kontynentem europejskim nad obszarem ograniczonym odcinkami południków 20°W i 30°E oraz równoleżników 50°N i 70°N (rys.1). W obręb tak zakreślonych granic wchodzi również fragment Oceanu Atlantyckiego na zachód od Wysp Brytyjskich. Obszar badań został następnie podzielony na 10 podobszarów (10°×10°) (rys. 1). Struktura obszaru zakłada podział pasa północnego (A) i południowego (B) na 5 podobszarów każdy (1, ..., 5). W opracowaniu wykorzystano materiały z *NCEP/NCAR Reanalysis*, bazy danych gridowych o rozdzielczości przestrzennej 2,5°×2,5°. Rozdzielczość czasowa wykorzystanych danych wynosiła 6 godzin. Wykorzystano dane z podzbioru *Pressure Surface*, w którym wartości poszczególnych zmiennych

zostały określone na powierzchniach izobarycznych (Kalnay E. i in. 1996). W opracowaniu użyte zostały dane na następujących poziomach izobarycznych: 925, 700, 500 i 200 hPa. W celach obliczeniowych i analitycznych wykorzystano następujące zmienne meteorologiczne: składowe wektora prędkości wiatru (U – równoleżnikowa, V – południkowa) oraz pola geopotencjału wybranych poziomów izobarycznych. Obliczono średnie obszarowe wartości U i V w podobszarach. Wskaźnik cyrkulacji strefowej (WC_{ST}) obliczono jako standaryzowaną różnicę między średnią wysokością powierzchni izobarycznej 500 hPa na ograniczonych skrajnymi południkami (30°W, 30°E) fragmentach równoleżników 40°N i 65°N. W obu przypadkach posłużono się w celu obliczeń *software'em* GrADS (*Grid Analysis and Display System*), rozpowszechnianym przez COLA/IGES (Doty B. 1995).



Rys. 1. Obszar badań
Fig. 1. Area of the research

W toku badań wykonano analizy statystyczne miar pozycyjnych, obliczono wartości średnie oraz percentyle 5, 25, 50, 75 i 95 ($p_{0,05}$, $p_{0,25}$ itd.), co pozwoliło na pogłębioną analizę rozkładu składowych wektora wiatru. W celu powiązania regionalnych charakterystyk adwekcji ze wskaźnikami makrosynoptycznymi, obliczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona między U i V a obliczonym wskaźnikiem cyrkulacji strefowej WC_{ST} oraz indeksem NAO, którego wartości uzyskano z serwera CRU (*Climatic Research Unit, Norwich, UK*). Obliczono również tendencję zmian obu składowych: U i V w analizowanym 10-leciu. Istotność statystyczną równań regresji sprawdzono testem F-Snedercora, przyjmując

ze względu na liczebność próby zaostrożone wymagania i ustalając poziom istotności na 0,001. Czasowy zakres badań obejmował 10-lecie 1981-1990.

Wyniki

Rozpatrując rozkład przestrzenny średnich wartości obu składowych wektora wiatru (tab. 1) można dostrzec kilka prawidłowości. Obraz składowej równoleżnikowej jest zbliżony zarówno na południowej (B), jak i północnej (A) części obszaru. Poza tym w obu pasach równoleżnikowych wyraźnie zaznacza się zmniejszanie się wartości składowej równoleżnikowej (U) na wyższych poziomach izobarycznych wraz z przemieszczaniem się na wschód, jednak o wiele wyraźniej widoczne jest to w obszarze południowym. Spadek wartości U zaznacza się najwyraźniej na wysokościach izobarycznych 200 i 500 hPa i sięga 6 m/s, podczas gdy na powierzchni izobarycznej 925 hPa wynosi jedynie nieco ponad 2 m/s. Warstwy bliższe powierzchni Ziemi w przypadku obszaru południowego charakteryzują się stopniowym spadkiem średniej wartości U . Na obszarze północnym (A) nie występują już tak jednoznaczne tendencje. Na wysokości 925, 700 i 500 hPa następuje wręcz wzrost średniej wartości U ku wschodowi. Maksymalne wartości osiągnięte zostają w podobszarze A3, po czym rozpoczyna się niewielki spadek. Podsumowując: średnie wartości U na obszarze południowym dochodzą do 6 m/s (925 hPa), podczas gdy na obszarze północnym nieznacznie tylko przekraczają 2 m/s. Niemniej jednak w żadnym z pól nie notuje się wartości średniej świadczącej o spływie powietrza ze wschodu.

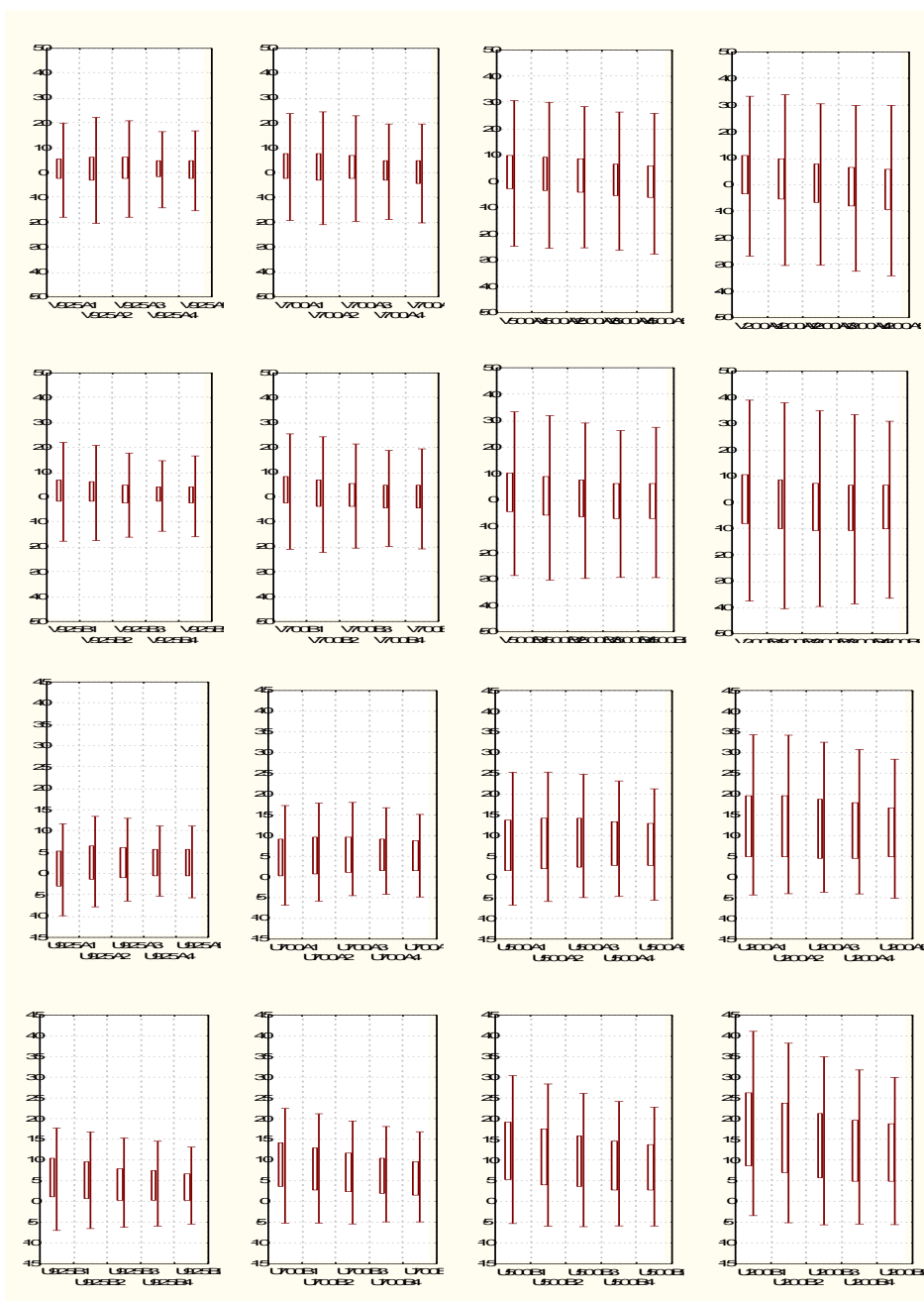
Tabela 1. Wartości średnie składowych wektora wiatru (U , V) na wybranych poziomach izobarycznych
Table 1. Mean values of the area averages of the wind vector components (U , V) at selected isobaric levels

U	hPa	A1	A2	A3	A4	A5
	200	12,6	12,6	12,0	11,3	10,8
	500	7,7	8,3	8,4	8,0	7,6
	700	4,5	5,2	5,5	5,4	4,9
	925	0,7	2,3	2,5	2,3	2,4
	hPa	B1	B2	B3	B4	B5
	200	17,4	15,3	13,5	12,3	11,5
	500	12,2	10,8	9,6	8,7	8,0
	700	8,6	7,6	6,7	6,1	5,6
	925	5,5	4,8	4,0	3,8	3,3
V	hPa	A1	A2	A3	A4	A5
	200	3,0	1,4	-0,3	-1,8	-2,5
	500	3,1	2,2	1,4	-0,2	-1,1
	700	2,4	1,9	1,6	0,3	-0,4
	925	1,2	1,1	1,6	1,2	0,7
	hPa	B1	B2	B3	B4	B5
	200	0,5	-1,5	-2,7	-3,1	-2,7
	500	2,3	0,6	-0,4	-1,2	-1,3
	700	2,2	1,0	0,3	-0,5	-0,6
	925	2,3	1,8	0,9	0,5	0,4

Zmienność przestrzenna składowej południkowej (V) nie jest już tak zbliżona i co znamienne, następuje wyraźna zmiana charakteru adwekcji w kierunku wschodnim z początkowo przeważającej adwekcji z południa na północną. Zmiana ta najwyraźniej zaznacza się w wyższych warstwach atmosfery (200, 500 hPa), nie zaznacza się natomiast na poziomie 925 hPa (jedynie spadek, bez przekroczenia wartości 0 m/s). Wartości wahają się między 3 a -3 m/s, przy czym maksima bezwzględne charakteryzują poziomy 200 i 500 hPa. W powiązaniu z charakterem powierzchni podścielającej można zauważyć, iż wyraźna zmiana charakteru cyrkulacji następuje nad obszarami, które można zakwalifikować jako lądowe (A 4, 5; B 3, 4, 5).

W charakterystyce pozostałych miar pozycyjnych wykorzystano typ wykresu „pudełko z wąsami” (*box and whiskers plot*) (rys. 2), metody wprowadzonej przez Tukey'a w 1977 r. (Wilks 1995), za pomocą którego można w syntetyczny sposób przedstawić wybrane charakterystyki rozkładu. Analizę rozpoczęto od mediany ($p_{0,50}$) składowej równoleżnikowej (U). Co charakterystyczne, wartości tej składowej w żadnym z przypadków nie przyjmują wartości mniejszych od zera, co oznacza, że w każdym z obszarów spływ zachodni stanowi ponad 50% przypadków. Wyraźnie zaznacza się natomiast odmiennosc obszarów północnego (A) i południowego (B). Obszar A wykazuje generalnie niższe wartości $p_{0,50}$ z minimum w A1 (925 hPa), wynoszącym 0,69 m/s. Na ogół, na poziomie 925 hPa wartości mediany są zbliżone do zera i nie przekraczają 2,5 m/s, przy czym wartość $p_{0,50}$ zwiększa się nieznacznie w miarę przesuwania się ku wschodowi. Podobna sytuacja, choć nieco mniej wyraźna, rysuje się na poziomach 700 i 500 hPa, gdzie wartości $p_{0,50}$ są stabilne i wynoszą odpowiednio około 5 i 7 m/s. Tylko na poziomie 200 hPa daje się zauważyć stopniowy spadek $p_{0,50}$ w kierunku wschodnim. Obszar południowy (B) charakteryzuje się spadkiem wartości $p_{0,50}$ ku wschodowi na wszystkich analizowanych poziomach, przy czym najmniej wyraźnie jest on zaznaczony na poziomie 925 hPa (ok. 2,5 m/s). Również na tej powierzchni $p_{0,50}$ osiąga najmniejsze wartości w obszarze południowym. Największe wartości mediany występują na poziomach 200 i 500 hPa, gdzie nie są mniejsze od 5 m/s (500 hPa) oraz 10 m/s (200 hPa).

Percentyle 25 i 75 ($p_{0,25}$, $p_{0,75}$) to odpowiednio pierwszy (dolny) i trzeci (górnny) kwartył (zawiera się między nimi 50% przypadków), natomiast percentyle 5 i 95 zawierają 90% zmienności, „odcinając” po 5% ekstremalnych wartości. Zróżnicowanie wartości między sobą dobrze opisuje charakter zmienności analizowanej cechy. Na poziomach 925 i 700 hPa rozstęp międzykwartyłowy ($p_{0,75} - p_{0,25}$) z reguły nie przekracza 10 m/s, a w przypadku A4 zbliża się do 5 m/s. Widać jednak wyraźnie, iż zmniejsza się on w kierunku wschodnim. O wiele większa zmienność jest charakterystyczna dla poziomów izobarycznych 500 i 200 hPa. Interesujące jest, że tylko na poziomie 925 hPa (obszar A) dolny kwartył ($p_{0,25}$) osiąga wartości ujemne.



Rys. 2. Percentyle (5, 25, 50, 75, 95) [m/s] składowych U i V na wybranych poziomych izobarycznych; szczegóły w tekście

Fig. 1. Percentiles (5, 25, 50, 75, 95) [m/s] of U and V distributions at selected isobaric levels; details in the text

Świadczy to o tym, że na pozostałym obszarze badań co najmniej 75% wartości składowej równoleżnikowej przypada na spływ zachodni. Analiza wartości 5 i 95 percentyla ujawnia dalsze różnice między obszarami, ze stosunkowo niewielkimi wartościami na 925 i 700 hPa i dużym zakresem zmienności przekraczającym 40 m/s na powierzchni 200 hPa. Dostrzec też można (z wyjątkiem A925), iż na całym obszarze wyrównane są wartości 5 percentyla około -5 m/s, co wskazuje, że częstość składowej wschodniej o prędkości przekraczającej 5 m/s wynosi jedynie 5%.

Analiza percentyli składowej południkowej na badanym obszarze nie ujawnia już tak znacznego zróżnicowania. Ogólnie można stwierdzić, iż wartości mediany są zbliżone do zera na całym obszarze, co świadczy o zrównoważonym udziale spływu z południa ($V > 0$) i z północy ($V < 0$). Również analiza kwartyli oraz percentyli 5 i 95 nie ujawnia większego zróżnicowania, z wyjątkiem wzrostu zakresu zmienności wraz z wysokością.

W porównaniu ze składową U można stwierdzić, iż rozkłady V są bardziej symetryczne i cechują się małym przedziałem $V_{0,05} - V_{0,95}$, zawierającymi 50% przypadków. Z drugiej strony warto podkreślić o wiele większą zmienność ($p_{0,95} - p_{0,05}$) wartości V , sięgającą w przypadku obszaru B1 (200 hPa) aż 75 m/s. Analizując zróżnicowanie wymienionych parametrów na obszarze badań należy zaznaczyć, iż jest ono stosunkowo niewielkie. Jedyną zauważalną prawidłowością jest zmniejszenie się zakresu zmienności ($p_{0,95} - p_{0,05}$) w kierunku wschodnim oraz bardzo zbliżona wartość piątego percentyla na całym obszarze południowym B oraz A (700 hPa).

Próbując oszacować tendencje zmian wartości składowych wektora wiatru posłużono się trendem liniowym. Co prawda, stosunkowo krótki (1981-1990) zakres czasowy ogranicza możliwości ekstrapolacji wyników, jakkolwiek metoda ta pozwala w sposób syntetyczny i łatwy w interpretacji określić kierunek i intensywność zmian rozważanych zmiennych. W tabeli 2 przedstawiono zestawienie współczynników kierunkowych równania trendu. Współczynniki istotne na poziomie 0,001 wytłuszczono.

Tendencje zmian składowej równoleżnikowej są dodatnie prawie na całym obszarze badań. Jedynie w obszarze południowym (A) w podobszarach A1, A5 (500 hPa) oraz A5 (700 hPa) zaznacza się niewielka tendencja ujemna, jakkolwiek są to wartości nieistotne statystycznie. Ogólnie w obszarze północnym (700, 500, 200 hPa) można początkowo odnotować zwiększanie się tendencji dodatniej ku wschodowi z maksimum w podobszarze A3, a następnie jej spadek. Poziom 925 hPa znacznie odbiega od tego schematu. Tutaj wartości najwyższe zaznaczają się w podobszarach A1 i A2, by następnie stopniowo spadać ku wschodowi. Należy zauważyć, że jedynie na najniższych poziomach i to w trzech zachodnich podobszarach równania prostych regresji są istotne statystycznie. Obszar południowy (B) charakteryzuje się wyraźnie większą tendencją dodatnią zmian wartości U . Na wszystkich poziomach zmiany współczynników regresji

w przestrzeni są podobne. Generalnie można przyjąć, iż następuje spadek wartości ku wschodowi, chociaż również tutaj można dostrzec (choć w dużo mniejszym stopniu) występowanie nieco niższych wartości w podobszarze B1, podczas gdy wartości maksymalne występują w obszarze B2.

Wnioski z analizy zmienności przestrzennej tendencji składowej południkowej w zasadzie pokrywają się ze spostrzeżeniami dotyczącymi wartości U . Uogólniając można stwierdzić, że na większości obszaru są to tendencje dodatnie, przy czym w odróżnieniu od U , w przypadku składowej V następuje wyraźna zmiana tendencji w podobszarach A5 i B5. Intensywność wzrostu roli adwekcji z północy dorównuje niemalże wzrostowi adwekcji z południa w obszarach A1, A2, B1 i B2. Podobszary pośrednie nie wykazują istotnych statystycznie tendencji zmian południkowej składowej wektora wiatru.

W toku badań dokonano również analizy związków między składowymi wektora wiatru a wskaźnikiem telekoneksji NAO oraz obliczonym wskaźnikiem cyrkulacji strefowej WC_{ST} . Posłużono się w tym przypadku wskaźnikiem korelacji liniowej Pearsona, którego wartości są przedstawione w tabeli 3.

Analizując moc związków wymienionych wskaźników ze składowa równoleżnikową można zauważyć wyraźne zróżnicowanie między obszarami A i B. W przypadku obszaru północnego (A) wraz z przesuwaniem się na wschód następuje wyraźny wzrost zależności, przy czym najniższe, zbliżone do zera wartości osiąga ona w obszarze A1, gdzie nawet na 200 hPa wynosi zaledwie 0,37 (NAO) i 0,5 (WC_{ST}). Zarówno w przypadku NAO, jak i WC_{ST} w polach wschodnich zaznacza się wzrost współczynnika korelacji wraz z wysokością, przy czym korelacja z WC_{ST} jest silniejsza na wyższych poziomach izobarycznych. Sytuacja ta diametralnie zmienia się w przypadku obszaru południowego. Współczynniki korelacji są tu ogólnie dużo wyższe i prawie na całym obszarze przekraczają 0,5. Jedyne w przypadku związków U z NAO w B5 spadają do wartości 0,3. Następuje tu również odwrócenie zmian zależności w pionie. Omawiając obszar B należy zwrócić uwagę na wartości $r(U, WC_{ST})$, gdyż praktycznie w całym obszarze są one bardzo duże ($r > 0,7$), a największe wartości przekraczają 0,9. Co interesujące, zmienność pionowa r jest praktycznie pomijalna. Wnioski płynące z analizy związków składowej równoleżnikowej wskazują na znaczną odrębność A i B, przy czym zależności są znacznie większe w przypadku B, większa jest też stabilność związków w przestrzeni.

Analizując związki składowej południkowej wektora wiatru (V) można dokonać kilku ogólnych spostrzeżeń. Po pierwsze, zależności te są o wiele słabsze niż w przypadku składowej równoleżnikowej. Wartości maksymalne osiągają w części północnej w obszarach A1, A2 i A3 0,4-0,5 (z NAO). Następnie wartości współczynnika korelacji maleją w kierunku wschodnim, by w obszarze A5 zbliżyć się do zera, wskazując na brak

zależności. Nie można również zauważyć wyraźnego zróżnicowania w profilu pionowym, z wyjątkiem obszaru A1 (min na 925 i max na 200 hPa) i dokładnie odwrotnej relacji w podobszarach A4 i A5.

Związki V z NAO są wyraźnie silniejsze, podczas gdy korelacja z WC_{ST} tylko w 4 przypadkach przekracza 0,3. Warto zauważyć, iż w obszarze A1 (925 hPa) związki są odmienne. Obszar południowy wykazuje daleko wyższą zmienność r , przy czym wartości te w przypadku NAO i WC_{ST} są zbliżone – różnice między nimi rzadko przekraczają 0,1. Zmiana charakteru zależności jest tu o wiele wyraźniejsza niż w przypadku obszaru północnego i wraz z przesuwaniem się na północ następuje zwiększenie się adwekcji z północy w miarę wzrostu intensywności spływu zachodniego. Poza wyrównaną siłą zależności w profilu pionowym obszaru B1 w innych podobszarach, wyraźnie rysuje się spadek siły związku wraz z wysokością.

Wnioski

Przedstawione wyniki, z przyczyn edytorskich, mogą być traktowane jedynie jako wstępne i niewątpliwie wymagają pogłębionej analizy, niemniej jednak upoważniają one do stwierdzeń dotyczących cech zmienności adwekcji południkowej oraz przepływu strefowego nad kontynentem europejskim. Dominującą cechą jest wyraźna odrębność obu analizowanych obszarów (A i B). Analiza percentyli uwidoczniła również bardzo duże zróżnicowanie w obrębie obu pasów równoleżnikowych, przy czym obok cech znacznie różnicujących, jak choćby rozstęp międzykwartyłowy tj. różnica między percentylami $p_{0,95}$ a $p_{0,05}$, można również dostrzec cechy wspólne dla całego obszaru, jak choćby stabilne wartości piątego percentyla. Analiza związków obu składowych (U i V) z makrosynoptycznym wskaźnikiem cyrkulacji strefowej oraz indeksem NAO potwierdza odrębność oraz wewnętrzne zróżnicowanie w polach. Również tendencje, wyraźnie wskazują na przeciwstawne kierunki zmian składowej południkowej w przypadku obszaru południowego. Tak duże zróżnicowanie analizowanych charakterystyk między podobszarami potwierdza dużą złożoność cyrkulacji atmosferycznej i wskazuje na konieczność kontynuacji badań, z uwzględnieniem zróżnicowania środowiska przyrodniczego, które niewątpliwie wpływa na lokalną cyrkulację w regionie.

LITERATURA

- CRU (*Climatic Research Unit*) WWW site – <http://www.cru.uea.ac.uk/>.
- Doty B., 1995, *The Grid Analysis and Display System GrADS (manual)*. COLA\IGES.
- Kalnay E. i in., 1996, *The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project*. BAMS.
- Olivier E., Fairbridge R.W., (red.), 1987, *Encyclopedia of Earth Sciences, The Encyclopedia of Climatology*. Van Nostrand Reinhold Company, New York
- Podręcznik elektroniczny pakietu STATISTICA.
- Wilks D., 1995, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press.

Michał Marosz
Uniwersytet Gdański
Katedra Klimatologii
i Kształtowania Środowiska

**THE VARIABILITY OF THE CONDITIONS OF THE MERIDIONAL
AND ZONAL ADVECTION IN EUROPE IN 1981-1990****SUMMARY**

European continent is almost entirely placed in the so-called westerlies zone. However, the real shape of the atmospheric circulation conditions is much more complicated than one could derive from this statement. It is clearly seen in the complexity generated by the arctic and polar climatological fronts and their disturbances as well as by the inhomogeneity of the underlying surface. Thus, even during strong and stable zonal flow in more detailed spatial scaled inner variability occurs. The aim of the research was to characterise the advection variability over European continent for both wind components separately. The research area was enclosed by the 20°W and 30°E meridians and 50°N and 70°N parallels. This area was then divided into ten subareas. NCEP/NCAR Reanalysis grid database was used with the spatial resolution of 2,5×2,5 degrees and temporal one being 6 hours. 925, 700, 500, 200 hPa isobaric level were used. Wind vector components and geopotential height fields were used in the research. Area average wind components were calculated using GrADS (Grid Analysis and Display System). To analyse the relationship between the macrosynoptic circulation features and regional flow characteristics WC_{ST} (zonal circulation index) was calculated for the 500 hPa height and used together with NAO index.

Dominating characteristic of the region is clear difference between northern (A) and southern area (B). Percentile analysis showed also considerable variations inside the areas. However, common features can also be distinguished. Relationship and tendency analysis confirmed inner variability showing even opposite tendencies for V-component in the southern area. Such considerable diversity clearly establishes a need for further research especially in more detailed temporal scales with the environment inhomogeneity also taken into account.