

Zmienność wskaźnika cyrkulacji zachodniej nad Europą w XX wieku

Variability of the westerly circulation index
over Europe in the 20th century

Zbigniew Ustrnul^{1,2}

Zarys treści: Na podstawie trzech różnych wskaźników oceniono zmienność cyrkulacji zachodniej nad Europą w latach 1901-2000. Wykorzystano wskaźnik według koncepcji autora, wskaźnik NAO oraz wskaźnik dla południowej Polski T. Niedźwiedzia. Wszystkie indeksy wykazały duże wahania cyrkulacji zachodniej w całym XX w. Jednocześnie zaobserwowano duże różnice regionalne w przebiegu rozpatrywanego wskaźnika. W Europie Środkowej zauważono wzrost intensywności adwekcji powietrza z zachodu w ostatnim 20-leciu XX w. Analiza w poszczególnych punktach węzłowych wskazuje, że wskaźnik NAO może być stosowany w makroskali, w szczegółowych rozważaniach regionalnych jego zastosowanie może być jednak niewystarczające.

Słowa kluczowe: wskaźnik cyrkulacji zachodniej, zmienność czasowa, Europa

Key words: westerly circulation index, temporal variability, Europe

Wstęp

Jak wynika z bogatej literatury, w minionym stuleciu cyrkulacja strefowa nad Europą ulegała znacznym fluktuacjom, co powodowało istotne wahania klimatu, w tym przede wszystkim temperatury powietrza. W istniejących pracach cyrkulacja zachodnia rozpatrywana była jednak makroskalowo, bez uwzględnienia zróżnicowania regionalnego. Zachodzi więc pytanie, czy cechy jej zmienności czasowej są na obszarze całej Europy podobne, czy też można obserwować znaczące różnice regionalne. Dlatego głównym celem niniejszej pracy jest ocena czasowej zmienności cyrkulacji zachodniej na badanym obszarze. W opracowaniu zwrócono też uwagę na analizę porównawczą uwzględnionych miar cyrkulacji.

¹ Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec,
e-mail: zustrnul@wnoz.us.edu.pl

² Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział w Krakowie, ul. P. Borowego 14, 30-215 Kraków,
e-mail: Zbigniew.Ustrnul@imgw.pl

W badaniach klimatologicznych przydatna jest syntetyczna ocena zmienności cyrkulacji. Ujęcie takie jest szczególnie istotne w przypadku rozpatrywania dłuższych przedziałów czasu, jak na przykład stulecia. W opracowaniu cyrkulacja zachodnia zostanie więc przedstawiona za pomocą tzw. wskaźników cyrkulacji zachodniej. Informują one o głównych cechach warunków cyrkulacyjnych i dlatego stanowią uniwersalną miarę badania ich zmienności. Obecnie w klimatologii, w tym zwłaszcza klimatologii synoptycznej, powszechnie stosuje się różnego rodzaju wskaźniki cyrkulacji i na ich podstawie rozpatruje wzajemne związki pomiędzy cyrkulacją a różnymi elementami klimatu i środowiska.

Opracowaniem objęto szeroki obszar Europy i północno-wschodniego Atlantyku, znajdujący się pomiędzy równoleżnikami 30° i 80°N oraz południkami 60°W i 60°E. Szczególną uwagę zwrócono na zmienność wskaźnika cyrkulacji zachodniej wzdłuż południka 20°E przebiegającego przez Polskę.

Materiały i metody

W opracowaniu, zgodnie z celem pracy, wykorzystano wartości wskaźników cyrkulacji zachodniej wyznaczone według trzech różnych kryteriów. Jednym z nich był znany wskaźnik cyrkulacji według koncepcji T. Niedźwiedzia, otrzymany dzięki uprzejmości jego autora i skonstruowany dla dorzecza górnej Wisły (Niedźwiedź 1996, 2000, 2003). Opis konstrukcji tego wskaźnika jest prosty i był kilkakrotnie wyjaśniany w cytowanej literaturze. Jednocześnie dla obszaru całej Europy i poszczególnych punktów gridowych z rozdzielczością co 5° szerokości i długości geograficznej wykorzystano też wskaźnik opracowany przez autora (Ustrnul 1997). Indeks ten został wyznaczony na podstawie wartości ciśnienia na poziomie morza, które zaczerpnięto z bazy NCEP/NCAR i która z całego XX w. jest dostępna tylko z podaną rozdzielczością (Kalnay i in. 1996, Kistler i in. 2001). Wymieniony wskaźnik został wyznaczony dla całego rozpatrywanego obszaru zawartego pomiędzy równoleżnikami 30° i 80°N oraz południkami 60°W i 60°E. Pozwoliło to na przedstawienie nie tylko zmienności czasowej, ale również przestrzennej. Dodatkowo dla celów porównawczych uwzględniono też powszechnie znany indeks Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO), którego rola w kształtowaniu pogody i klimatu znacznej części Europy, jak i Polski jest istotna, co wyraża się m.in. w bardzo dużej liczbie prac poświęconych relacjom pomiędzy tym indeksem a klimatem lub jego poszczególnymi elementami (np. Kożuchowski, Trepiańska 1990; Greatbatch 2000, Wibig 2000; Marsz, Styszyńska 2001; Marsz 2002, Żmudzka 2004, Huang i in. 2006). Wartości NAO zaczerpnięto z serwera Climatic Research Unit (www.cru.uea.ac.uk), a zostały one wyznaczone według koncepcji Jonesa i innych (Jones i in. 1997).

Wszystkie wymienione wskaźniki cyrkulacji zachodniej zostały wyznaczone w poszczególnych miesiącach i sezonach. Analiza przestrzenna została dokonana w odniesieniu do całego rozpatrywanego obszaru, przy czym szczególną uwagę zwrócono na zmienność cyrkulacji zachodniej w poszczególnych strefach równoleżnikowych.

W pracy przyjęto 100-letni okres badań – 1901-2000. W związku z tym wszystkie ciągi danych zostały zebrane z tego okresu. Uwzględnione dane są jednorodne, gdyż

wszystkie wskaźniki były już wcześniej wielokrotnie wykorzystywane i poddawane ocenie homogeniczności. W tym miejscu należy jeszcze dodać, że dane ciśnienia atmosferycznego, jak i NAO pochodzą z profesjonalnego serwera, gdzie pliki danych podlegają ścisłej kontroli. Są jednak pewne wątpliwości co do uwzględnionych wyjściowych danych dotyczących ciśnienia. Dotyczą one pierwszych 30 lat XX w. i obszaru północnego Atlantyku wraz z Grenlandią. Dlatego wyniki z tego rejonu i wymienionego okresu należy traktować z ostrożnością. W niniejszej analizie obszar ten był na ogół pomijany. Doprowadzenie do w pełni jednorodnych serii, w świetle braku dostępu do różnych danych, było jednak w tym przypadku wręcz niemożliwe.

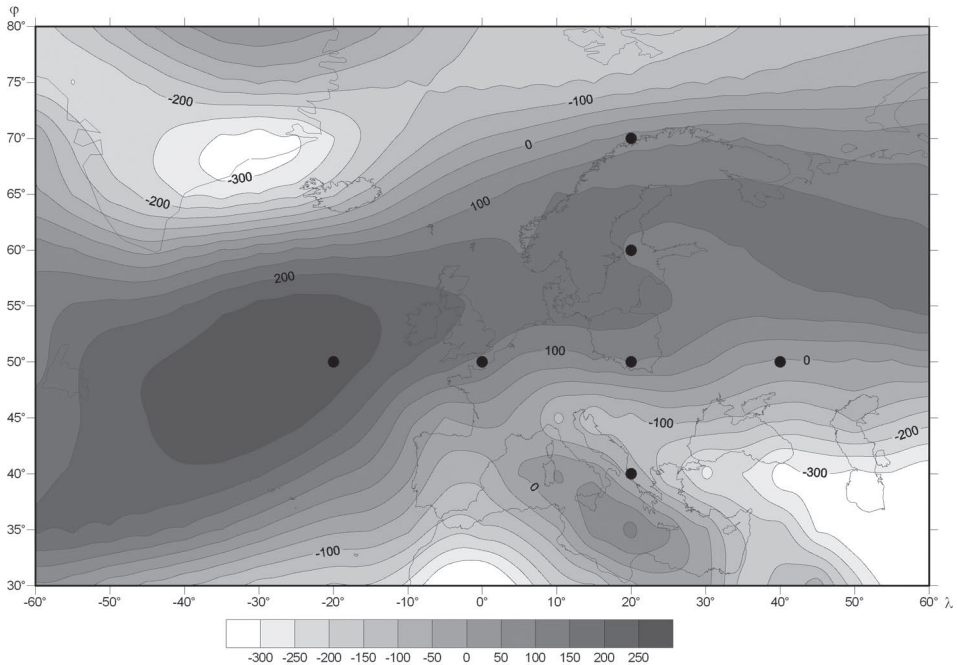
W pracy zastosowano sprawdzone i stosunkowo proste metody analiz. Wykorzystano więc podstawowe metody analizy szeregów czasowych, a także analizę regresji i korelacji. Przy zastosowaniu wymienionych narzędzi dokonano analizy zmienności rozpatrywanego wskaźnika, a tam gdzie było to możliwe, przeprowadzono również studia porównawcze uwzględnionych miar.

Analiza wyników

Na wstępie przedstawiono zróżnicowanie przestrzenne wskaźnika cyrkulacji zachodniej według koncepcji autora, który wykorzystał do jego określenia wektor wiatru geostroficznego (Ustrnul 1997). Wskaźnik ten osiąga największe wartości roczne, przekraczające 250, na szerokości 50°-60°N na zachód od Wysp Brytyjskich (ryc. 1). W kierunku wschodnim maleje i w Polsce wynosi on około 100-150. Wartość tego wskaźnika oscylująca wokół zera, oznaczająca równowagę między adwekcją z zachodu i wschodu, występuje nad kontynentem na szerokości 45-50°N oraz około 70°N w zależności od długości geograficznej (ryc. 1). Znacznie intensywniejsza jest cyrkulacja zachodnia zimą, w tym zwłaszcza w styczniu. W miesiącu tym dodatnie wartości wskaźnika obejmują większy obszar zarówno na południu, jak i północy Europy.

Rozpatrywane wskaźniki nie stanowią cyrkulacyjnej fikcji, gdyż w stosunkowo dobry sposób korespondują z powszechnie znanym wskaźnikiem Oscylacji Północnoatlantyckiej. Wzajemne związki są bardzo istotne w roku oraz w całym okresie zimowym, w tym zwłaszcza w styczniu. Jak widać na rycinie 2, w miesiącu tym obszar na zachód od Wielkiej Brytanii wykazuje korelację pomiędzy wskaźnikiem cyrkulacji zachodniej według koncepcji autora a NAO przekraczającą 0,8. Izokorelata 0,6 obejmuje znaczną część Europy Zachodniej i północnego Atlantyku. Warto dodać, że na obszarze Polski współczynnik korelacji wynosi 0,50-0,65. Wartości wzajemnych relacji pomiędzy obydwoma rodzajami wskaźników gwałtownie zmniejszają się na północy i południu Europy, co przede wszystkim jest związane ze spadkiem znaczenia NAO poza obszarem obejmującym tzw. telekoneksję Niż Islandzki – Wyż Azorski.

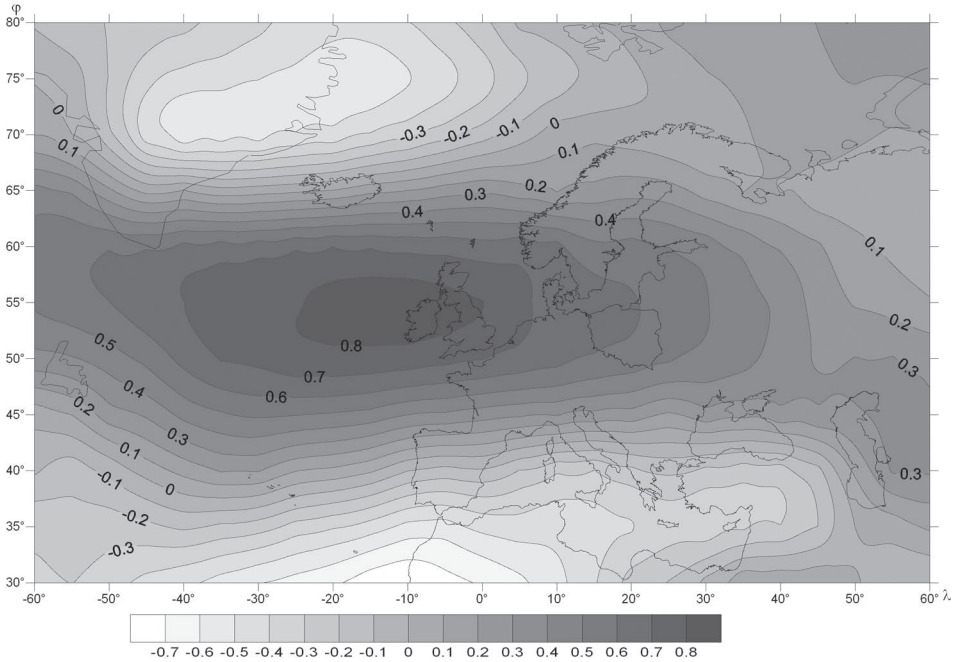
W kolejnym kroku zwrócono uwagę na zmienność czasową wskaźnika W (według koncepcji autora) w wybranych punktach gridowych obszaru badań. W pierwszej kolejności przeanalizowano zmienność jego rocznych wartości wzdłuż charakterystycznego południka 20°E, przebiegającego przez znaczną część Europy, od Albanii po Przylądek Północny. Południk ten przechodzi też przez Polskę, od Tatr po Warmię. Szczegółowe



Ryc. 1. Rozkład rocznego wskaźnika cyrkulacji zachodniej w Europie według koncepcji autora oraz lokalizacja punktów węzłowych poddanych szczegółowej analizie

Fig. 1. Distribution of the author's own annual westerly circulation index in Europe and the location of the grid points used for analysis

wykresy zmienności jego wartości przedstawiono co 10° szerokości geograficznej. Jak widać na rycinie 3, na poszczególnych równoleżnikach bezwzględne wartości znacznie się różnią, co oznacza inną intensywność cyrkulacji zachodniej w poszczególnych strefach. Jest to zresztą w pełni zgodne z przestrzennym zróżnicowaniem tego wskaźnika, zaprezentowanym w odniesieniu do roku na rycinie 1. W ciągu roku największa bezwzględna intensywność cyrkulacji zachodniej widoczna jest na 60° szerokości geograficznej północnej. Jednak w poszczególnych punktach węzłowych, które można utożsamiać z określonymi regionami (a nawet strefami), zaznaczają się odrębne trendy zmienności tego wskaźnika. O ile na szerokości 40°N wyraźnie nastąpiło zmniejszenie intensywności cyrkulacji zachodniej w drugiej połowie XX w., to w pozostałych strefach nie obserwuje się istotnych zmian trendów. Na 50°N zaznacza się niewielki wzrost wskaźnika W, zwłaszcza po 1980 r., z największą roczną jego wartością, jaka miała miejsce w latach 90. XX w. oraz 1998 r. (w obu przypadkach wartość wskaźnika sięgnęła 204). Wzrost tego indeksu nie zaznaczył się już jednak na 60°N ani też na 70°N. W tym ostatnim przypadku niższe jego wartości na początku wieku należy poddać w wątpliwość (o czym już wcześniej pisano) i nie wysnuwać z tego daleko idących wniosków.

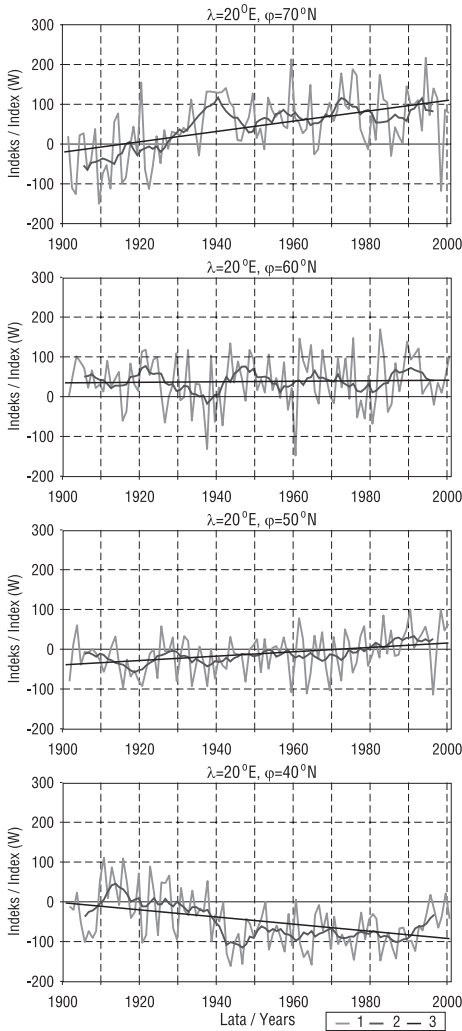


Ryc. 2. Współczynnik korelacji pomiędzy wskaźnikiem NAO a wartościami wskaźnika W według koncepcji autora (styczeń)

Fig. 2. Correlation coefficient between the NAO index and the author's own westerly circulation index (January)

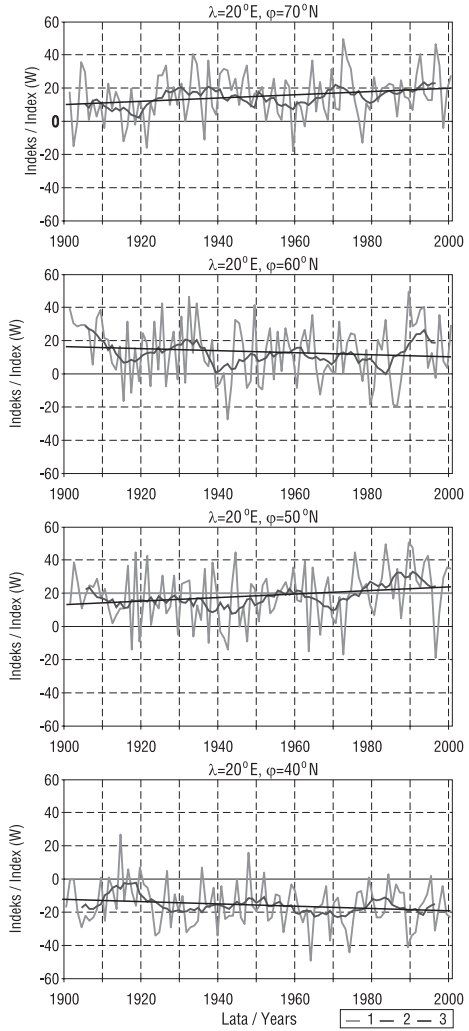
Mimo mniejszych bezwzględnych wartości, ciekawie prezentują się wahania wskaźnika W w styczniu, kiedy – jak wiadomo – wpływ cyrkulacji na kształtowanie temperatury powietrza jest największy. We wszystkich 4 punktach gridowych trendy liniowe w całym XX w. są nieistotne (ryc. 4). Oznacza to, że w przypadku cyrkulacji zachodniej nie nastąpiły istotne zmiany, mimo dość dużej zmienności z roku na rok. Nieznacznie rosnące trendy (statystycznie jednak nieistotne) widoczne są na szerokości 50° i 70°N. Na szerokości 50° i 60°N warty podkreślenia jest wzrost wskaźnika W na przełomie lat 80. i 90. XX w., kiedy stwierdzono najwyższe bezwzględne jego wartości w całym stuleciu. Fakt ten kilkakrotnie został już w literaturze stwierdzony (Wibig 2000, Ustrnul 2002, Kożuchowski 2003, 2004; Niedźwiedz 2003).

Podobny wniosek należy wysnuć analizując zmienność wzdłuż równoleżnika 50°N tak w przypadku roku, jak i na przykład wcześniej prezentowanego stycznia (ryc. 5). W ostatnich latach XX w. obserwuje się tylko nieznacznie większe wahania tego wskaźnika, zwłaszcza na obszarze Europy Zachodniej i Atlantyku. Analizując przykładowe trzy szeregi czasowe, zlokalizowane co 20° długości geograficznej, można zaobserwować zmniejszającą się ku wschodowi zależność pomiędzy tak zdefiniowanymi (w skali lokal-



Ryc. 3. Wieloletnia zmienność wskaźnika cyrkulacji zachodniej na różnych równoleżnikach wzdłuż 20°E (rok): 1 – wartości roczne, 2 – wartości wygładzone 9-elementowym filtrem Gaussa, 3 – trend liniowy

Fig. 3. Long-term variability of the westerly circulation index at different latitudes along 20°E (year): 1 – annual values, 2 – values smoothed by a 9-element Gaussian filter, 3 – linear trend



Ryc. 4. Wieloletnia zmienność wskaźnika cyrkulacji zachodniej na różnych równoleżnikach wzdłuż 20°E (styczeń): 1 – wartości roczne, 2 – wartości wygładzone 9-elementowym filtrem Gaussa, 3 – trend liniowy

Fig. 4. Long-term variability of the westerly circulation index at different latitudes along 20°E (January): 1 – annual values, 2 – values smoothed by a 9-element Gaussian filter, 3 – linear trend

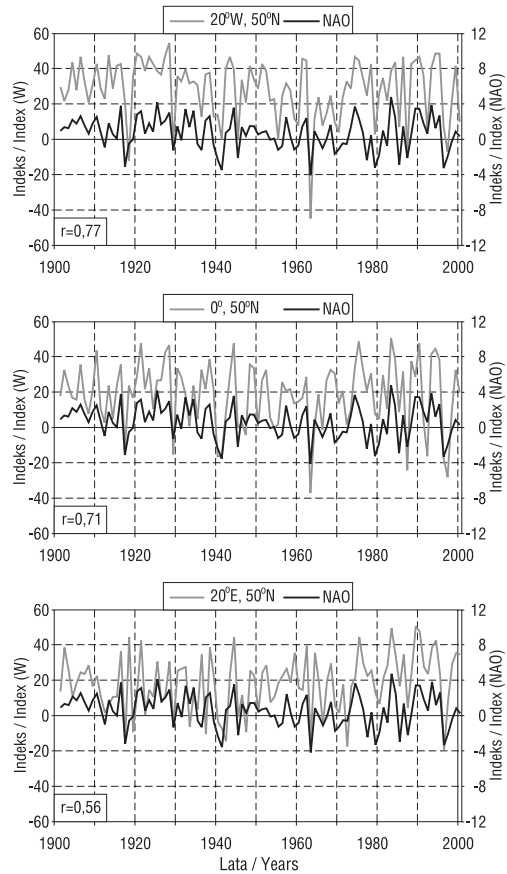
nej) wskaźnikami cyrkulacji zachodniej a NAO. Oznacza to, że ten powszechnie znany indeks nie w pełni odzwierciedla charakter cyrkulacji strefowej już w Europie Środkowej. Im bardziej na wschód, tym jego rola jako miernika cyrkulacji zachodniej znacznie słabnie. To samo dotyczy oczywiście jego roli w północnej i przede wszystkim południowej Europie, gdzie jego stosowanie pozbawione jest logicznych, przyczynowo-skutkowych przesłanek.

Na koniec warto jeszcze zwrócić uwagę na bardzo dobrą zgodność zmienności indeksu W obliczonego według autora oraz określonego przez T. Niedźwiedzia w punkcie węzłowym 20°E, 50°N („Kraków”). Współczynnik korelacji wartości rocznych sięga 0,74, a styczniowych aż 0,89. Wyniki te poniekąd potwierdzają, że w skali lokalnej bardziej precyzyjną miarą cyrkulacji strefowej są regionalne wskaźniki cyrkulacji atmosferycznej, a indeks NAO ma tylko znaczenie orientacyjne.

Wnioski

Przeprowadzona analiza potwierdziła dominującą rolę cyrkulacji zachodniej nad znaczną częścią Europy. Wpływ ten jest szczególnie duży w porze chłodnej. Wbrew jednak obiegowej opinii oddziaływanie cyrkulacji zachodniej jest znikome w niektórych regionach, na przykład w Europie Południowej.

W całym rozpatrywanym 100-leciu obserwowano znaczne wahania wskaźnika cyrkulacji zachodniej. Jego zmienność wykazała jednak różnice regionalne. Nawet w niezbyt odległych punktach gridowych zauważono nieco inne cechy tej zmienności. Dotyczy to zwłaszcza różnic na poszczególnych szerokościach geograficznych (strefach). Na obszarze Europy Środkowej, niezależnie od rozpatrywanego rodzaju wskaźnika cyrkulacji zachodniej, zauważono wzrost intensywności adwekcji powietrza z zachodu



Ryc. 5. Wieloletnia zmienność wskaźnika cyrkulacji zachodniej NAO oraz według koncepcji autora w wybranych punktach węzłowych na 50° szerokości geograficznej północnej

Fig. 5. Long-term variability of the westerly circulation index (NAO and the author's own index) at selected grid points at 50°N

w ostatnich około 20 latach XX w. Wzrost ten był widoczny tak w wartościach rocznych, jak i z okresu zimowego.

W rezultacie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że powszechnie stosowany wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej nie daje precyzyjnej informacji na temat cyrkulacji strefowej w poszczególnych regionach Europy. Może być on traktowany jako jej przybliżenie i stosowany tylko jako wskaźnik makroskalowy. Poniekąd jest to zrozumiałe ze względu choćby na jego konstrukcję, która opiera się na wartościach ciśnienia mierzonych na Atlantyku, w wielu przypadkach kilka tysięcy kilometrów na zachód od obszaru badań.

Przy szczegółowych, mezoskalowych rozważaniach na temat cyrkulacji zachodniej należy poszukiwać i wykorzystywać lokalne wskaźniki cyrkulacji. W pracy przytoczono dwa z nich, które choć wykazywały istotne związki korelacyjne z NAO, to jednak w poszczególnych latach znacznie się różniły. Współczesne możliwości obliczeniowe, jak i dostęp do różnych baz danych stwarzają szanse poszukiwania nowych i lepszych rozwiązań w tym zakresie.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2006–2008 jako projekt badawczy nr COST/2/2006

Literatura

- Greatbatch R.J., 2000, *The North Atlantic Oscillation*, Stochastic Environ. Res. and Risk Assessment, 14, 213-242.
- Huang J., Mingxia J.I., Higuchi K., Shabbar A., 2006, *Temporal Structures of the North Atlantic Oscillation and Its Impact on the Regional Climate Variability*, Adv. Atmos. Sci., 23, 1, 23-32.
- Jones P.D., Jónsson T., Wheeler D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland*, Int. J. Climatol., 17, 1433-1450.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D., 1996, *The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-471.
- Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., van den Dool H., Jenne R., Fiorino M., 2001, *The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, 247-267.
- Koźuchowski K., 2003, *Cyrkulacyjne czynniki klimatu Polski*, Czas. Geogr., 74, 1-2, 93-105.
- Koźuchowski K., 2004, *Cyrkulacja atmosferyczna nad Polską i jej wpływ na warunki klimatyczne*, [w:] *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, K. Koźuchowski (red.), Łódź, 69-81.
- Koźuchowski K., Trepińska J., 1990, *Wpływ strefowej cyrkulacji atmosfery na zmiany średniej sezonowej i rocznej temperatury powietrza w Krakowie w latach 1891-1980*, Zesz. Nauk. UJ., Prace Geogr., 77, 45-55.
- Marsz A.A., 2002, *Wprowadzenie (istota NAO, historia, wskaźniki)*, [w:] *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.), Wyd. Uczelniane Akademii Morskiej, Gdynia, 11-29.

- Marsz A.A., Styszyńska A., 2001, *Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską*, Wyd. WSM, Gdynia.
- Niedźwiedź T., 1996, *Long-term variability of the zonal circulation index above the Central Europe*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 102, 213-219.
- Niedźwiedź T., 2000, *Variability of the Atmospheric Circulation above Central Europe in the Light of Selected Indices*, Prace Geogr., 107, Inst. Geogr. UJ, 379-389.
- Niedźwiedź T., 2003, *Variability of Atmospheric Circulation in Southern Poland in the 20th Century*, Acta Univ. Wratislaviensis, 2542, Studia Geogr., 75, 230-240.
- Ustrnul Z., 1997, *Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku*, Mat. Badawcze IMGW, Ser. Meteorologia, 27.
- Ustrnul Z., 2002, *Wskaźnik NAO na tle innych wskaźników cyrkulacji*, [w:] *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.), Wyd. Uczelniane Akademii Morskiej, Gdynia, 75-84.
- Wibig J., 2000, *Oscylacja Północnoatlantycka i jej wpływ na kształtowanie pogody i klimatu*, Prz. Geofiz., 45, 2, 121- 137.
- Żmudzka E., 2004, *Wielkość zachmurzenia w Polsce a epoki cyrkulacyjne*, Prz. Geofiz., 49, 1-2, 25-42.

Summary

Westerly atmospheric circulation plays a dominant role in weather and climate formation over much of Europe. Three different circulation indices of westerly air-flow have been applied to estimate the variability in westerly circulation over Europe during the 20th century (1901-2000). The indices were developed using geostrophic vector variability based on the author's own concept, the well known North Atlantic Oscillation (NAO) and the local index developed by T. Niedźwiedź for South Poland. The indices closely corresponded to one another and all indicate the large predominance of westerly advection in winter and a much weaker one in summer. The strongest correlation between the author's own index and the NAO was centered west of the British Isles; however a large relationship can also be seen over most of Western Europe. Detailed temporal analysis of the course of all the indices demonstrates their high variability and relatively large regional differences. The findings suggest usefulness in developing and applying local circulation indices, rather than applying macro-scale indices such as NAO.

