

Wpływ wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej na średnią temperaturę powietrza w różnych skalach przestrzennych

The influence of the North Atlantic Oscillation
on mean air temperature at different spatial scales

Zbigniew Ustrnul^{1,2}, Danuta Czekierda²

Zarys treści: Rozpatrzono wpływ wskaźnika NAO na kształtowanie się temperatury powietrza w Europie i wybranych jej regionach. Analizę oparto na danych z okresu 1951-2005, które obejmowały średnie miesięczne wartości indeksu NAO oraz średnie miesięczne temperatury powietrza. Podstawową metodę badawczą stanowiła analiza korelacji. Wykazano znaczny wpływ cyrkulacji atmosferycznej z napływem powietrza z zachodu na kształtowanie się średnich temperatur nad znaczną częścią Europy zwłaszcza w okresie zimowym. Wpływ ten zależy jednak w dużym stopniu od rozpatrywanej skali przestrzennej. Obszary górskie, w tym zwłaszcza Karpaty, cechują słabsze zależności temperatury od cyrkulacji strefowej.

Słowa kluczowe: wskaźnik NAO, temperatura powietrza, Europa, Polska

Key words: NAO index, air temperature, Europe, Poland

Wstęp

Wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej (North Atlantic Oscillation – NAO) należy do najbardziej znanych miar cyrkulacji atmosferycznej na półkuli północnej. W ostatnich kilkunastu latach ukazało się bardzo dużo publikacji na temat istoty tego indeksu, jak i jego wpływu na kształtowanie temperatury tak w Europie (np. Greatbatch 2000, Huang i in. 2006), jak i w Polsce (Wibig 2000; Marsz, Styszyńska 2001; Kożuchowski 2003, 2004). W zasadzie we wszystkich pracach podkreśla się ogromne oddziaływanie cyрку-

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: Danuta.Czekierda@imgw.pl

lacji atmosferycznej opisywanej za pomocą tego wskaźnika na temperaturę powietrza. Wpływ ten jest szczególnie widoczny w okresie zimowym, kiedy temperaturę w strefie umiarkowanej w dominujący sposób kształtuje strefowy (równoleżnikowy) przepływ powietrza. Zachodzi jednak pytanie, czy rola NAO w kształtowaniu temperatury powietrza w poszczególnych skalach przestrzennych jest taka sama. Wiadomo bowiem, że wskaźnik ten obrazuje rozkład pola ciśnienia powietrza nad północno-wschodnim Atlantykiem i w efekcie jego oddziaływanie powinno być zróżnicowane na obszarze Europy. Dlatego celem niniejszego przyczynku jest ocena wpływu cyrkulacji zachodniej wyrażonej poprzez NAO na temperaturę powietrza w Europie, ze szczególnym uwzględnieniem Polski.

Materiały i metody

W opracowaniu, zgodnie z celem całej pracy, wykorzystano dwa podstawowe źródła danych. Pierwszym są miesięczne i sezonowe wartości wskaźnika NAO według koncepcji Jonesa i in. (1997), które określone dla wszystkich miesięcy roku wydają się najlepiej opisywać wpływ cyrkulacji strefowej na temperaturę na obszarze Polski. Drugie, nie mniej istotne źródło danych, stanowią średnie miesięczne i sezonowe wartości temperatury powietrza. Obejmują one z jednej strony wartości z punktów gridowych co 2,5° szerokości i długości geograficznej znajdujących się w Europie i we wschodniej części Oceanu Atlantyckiego (między równoleżnikami 30° i 80°N oraz południkami 60°W i 60°E), z drugiej natomiast dane z 71 stacji i posterunków meteorologicznych z obszaru Polski. Dane te umożliwiają dokonanie oceny wpływu cyrkulacji na temperaturę w różnych skalach przestrzennych. Dla wyjaśnienia niektórych aspektów zmienności wskaźnika W wykorzystano też kalendarz typów cyrkulacji T. Niedźwiedzia (Niedźwiedź 2006).

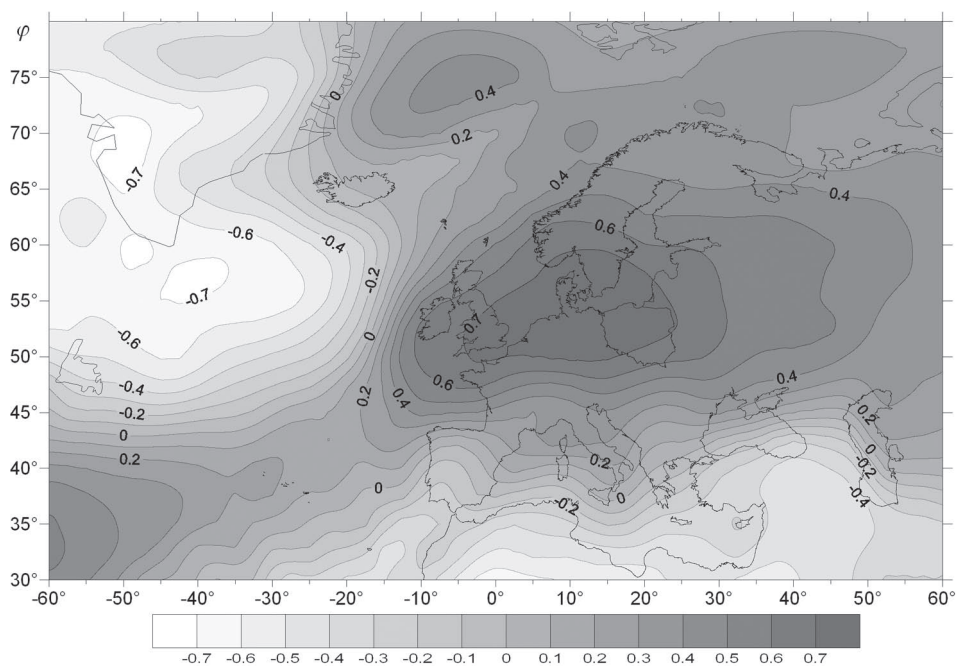
W pracy przyjęto 55-letni okres badań (1951-2005). W związku z tym wszystkie ciągi danych zostały zebrane z tego okresu. Dane dotyczące NAO uznano za w pełni jednorodne, gdyż pochodzą z profesjonalnego serwera, gdzie pliki danych poddawane są ścisłej kontroli. Dane z 71 stacji meteorologicznych (stacji synoptycznych i kilkunastu posterunków klimatologicznych) były przez autorów wcześniej już wykorzystane i poddane szczegółowej kontroli jednorodności (Ustrnul 2006; Ustrnul, Czekierda 2006).

Ze względu na cel pracy zastosowano sprawdzoną i stosunkowo prostą metodę analizy korelacyjnej, która w prosty sposób przedstawia miarę wzajemnych związków pomiędzy badanymi zmiennymi. Wykorzystano tutaj formułę zależności liniowych i współczynnik korelacji Pearsona. Jednocześnie, w celu przedstawienia kartograficznego, obliczone współczynniki korelacji przedstawiono za pomocą krigingu oraz metody regresji wielokrotnej.

Analiza wyników

W pierwszej kolejności obliczono relacje pomiędzy wskaźnikiem NAO a średnią temperaturą powietrza w zimie (grudzień-luty) dla całego badanego obszaru, to jest Europy i znacznej części Północnego Atlantyku, który – jak wiadomo – wywiera dominujący

wpływ na kształtowanie się temperatury powietrza nad kontynentem. Wartości związków korelacyjnych na wielu obszarach były wysokie, jednak zdecydowanie największe zaobserwowano w styczniu. Sięgają one powyżej 0,7 w środkowo-zachodniej Europie, obejmując znaczną część Nizy Europejskiego z Morzem Północnym i południową częścią Półwyspu Skandynawskiego (ryc. 1). Warto zauważyć, że obszar Polski znajduje



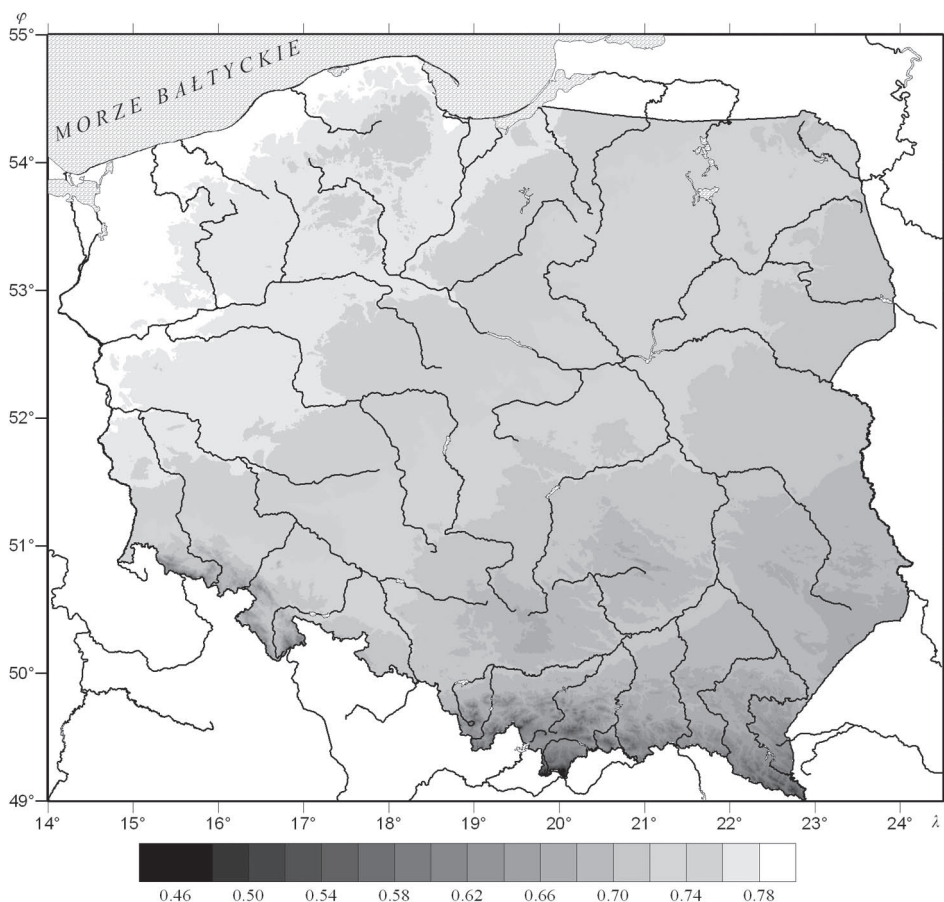
Ryc. 1. Rozkład współczynnika korelacji pomiędzy wskaźnikiem NAO a średnią temperaturą powietrza w Europie w styczniu

Fig. 1. Distribution of the correlation coefficient between the NAO index and mean air temperature in Europe in January

się w zasięgu zależności sięgających od około 0,6 w części południowo-wschodniej, do ponad 0,7 obejmujących większą część powierzchni kraju. Izokorelata 0,5, świadcząca o znacznym wpływie NAO, sięga aż do około 45°E. Związki korelacyjne znacznie słabną przemieszczając się od Europy Środkowo-Zachodniej ku południowi. W basenie Morza Śródziemnego oscylują wokół zera, co oczywiście oznacza brak jakichkolwiek zależności pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi. Analizując cały rozpatrywany teren badań trudno nie zwrócić uwagi na duży obszar północnego i północno-wschodniego Atlantyku, gdzie występują bardzo wysokie, ale ujemne współczynniki korelacji spadające nawet poniżej -0,7. Oznacza to, że dodatnie wartości NAO, świadczące o dominacji przepływu zachodniego, wywołują tam obniżenie średniej temperatury. Związane to jest

oczywiście z adwekcją wychłodzonych mas powietrza napływających nad Atlantyk z nad kontynentu północno-amerykańskiego.

Uzyskany ogólny obraz zależności pomiędzy NAO a temperaturą powietrza w Europie potwierdza w zasadzie poznane już wcześniej prawidłowości. Dlatego warto zagadnienie to zbadać w mniejszej, regionalnej skali. Niestety ze względu na brak dostępu do danych temperatury powietrza w poszczególnych regionach Europy sięgnięto tylko do obszaru Polski. Jak już wcześniej stwierdzono, wykorzystano w tym celu dane z 71 punktów pomiarowych, które w dobry sposób charakteryzują mezoskalowe warunki termiczne Polski. Z uwagi na otrzymaną bardzo wysoką zależność ($r=0,967$) pomiędzy średnią miesięczną temperaturą powietrza a współrzędnymi geograficznymi (wysokością



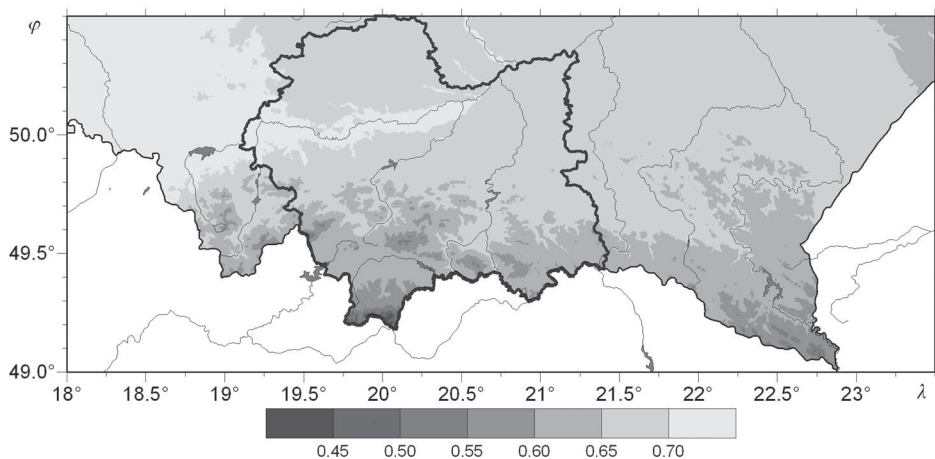
Ryc. 2. Rozkład współczynnika korelacji pomiędzy wskaźnikiem NAO a średnią temperaturą powietrza w Polsce w styczniu

Fig. 2. Distribution of the correlation coefficient between the NAO index and mean air temperature in Poland in January

nad poziomem morza, długością i szerokością geograficzną), mapy rozkładu współczynnika korelacji NAO z temperaturą stycznia skonstruowano przy wykorzystaniu metody regresji wielokrotnej uwzględniając wymienione zmienne. Na mapach tych widoczny jest ich wpływ na kształtowanie zależności pomiędzy NAO a średnią miesięczną temperaturą powietrza, przy czym szczególnie dobrze wyrażony jest wpływ wysokości nad poziomem morza.

Jak widać, rozkład współczynnika korelacji pomiędzy wskaźnikiem NAO a średnią miesięczną temperaturą stycznia w ogólnym zarysie nie odbiega od makroskalowego obrazu przedstawionego na rycinie 1. Zaznaczają się tutaj jednak lokalne cechy, związane przede wszystkim z ukształtowaniem pionowym (ryc. 2). Im wyżej, tym współczynnik korelacji w Sudetach, a przede wszystkim w Karpatach wyraźnie spada. Na dużej ich powierzchni nie przekracza wartości 0,5. Jednocześnie na załączonej rycinie widać też znaczny, ale już nie tak spektakularny wpływ długości i szerokości geograficznej. Im obszary położone są bardziej na południowy wschód, tym bardziej zależność temperatury od NAO spada. Tak, na przykład, Kotlina Sandomierska mająca podobne warunki termiczne jak Nizina Śląska, ma niższe od niej wartości współczynnika korelacji. Reasumując, wpływ NAO na kształtowanie temperatury powietrza zimą spada z NW ku SE. Poszczególne izokorelaty mają ogólny przebieg SW-NE.

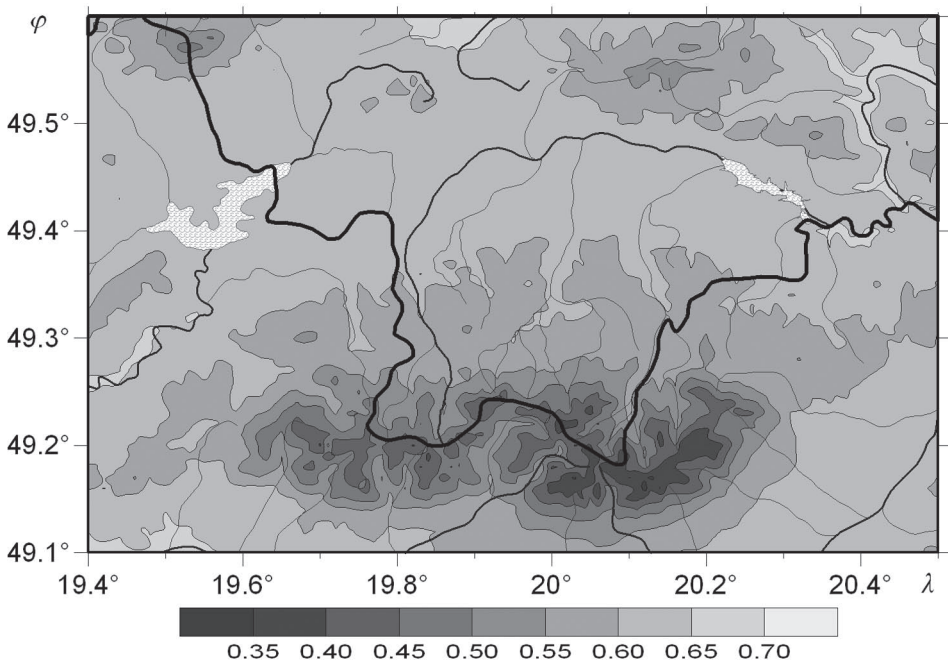
Przedstawiony znaczny spadek zależności pomiędzy warunkami cyrkulacyjnymi (w tym przypadku reprezentowanymi przez NAO) a temperaturą powietrza w obszarach górskich być może nie wydaje się zaskakujący. Góry charakteryzują się bowiem odrębnym reżimem klimatycznym, w tym też termicznym, co w literaturze jest silnie zaakcentowane (Hess 1965, Barry 1992, Trepińska 2002). Jednak przyczyny takich zależności wydają się być warte bliższego rozważenia. Tak, na przykład, obszarom tym przypisuje się oce-



Ryc. 3. Rozkład współczynnika korelacji pomiędzy wskaźnikiem NAO a średnią temperaturą powietrza w Karpatach w styczniu

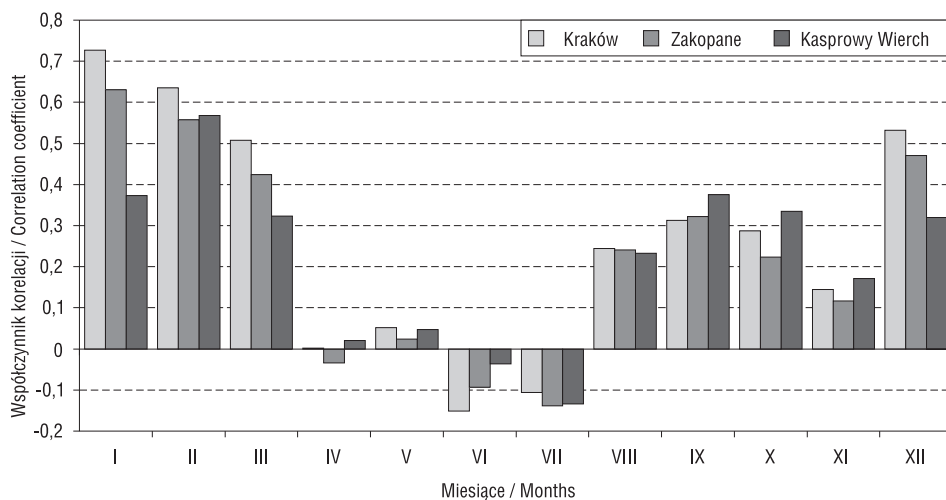
Fig. 3. Distribution of the correlation coefficient between the NAO index and mean air temperature in the Carpathians in January

anizm termiczny (tzw. „nadoceanizm termiczny gór”, Romer 1948/1949), który powinien wykazywać podobne silne zależności cyrkulacyjne jak na przykład północno-zachodnie obszary Polski. W Sudetach, a zwłaszcza w Karpatach sytuacja jest zupełnie odmienna. Rycina 3 wyraźnie przedstawia znaczny spadek rozpatrywanych zależności z wysokością nad poziomem morza w całych Karpatach i obszarze województwa małopolskiego. W partiach wierzchowinowych współczynnik korelacji spada poniżej 0,45. Podobny obraz wzajemnego związku można otrzymać już w mezoskali, przedstawiając choćby rozkład współczynnika korelacji w Tatrach i na Podhalu, który zwraca uwagę na bardzo duże jego różnice pomiędzy dolinami a szczytami (ryc. 4). Zależność temperatury powietrza od cyrkulacji zachodniej w poszczególnych miesiącach roku potwierdza też rycina 5, na której na 3 stacjach profilu wysokościowego Karpat (Kraków-Zakopane-Kasprowy Wierch) przedstawiono wartości współczynnika korelacji. W okresie od grudnia po marzec widoczne są bardzo niskie zależności dla Kasprowego Wierchu. Wyjątek stanowi tutaj luty, który to nie wykazał tej prawidłowości, co warto jest dalszych i odrębnych dociekań i może być to związane z mniejszą częstością układów wywołujących bezadwekcyjnych w tym miesiącu. Wy tłumaczenia jednak zauważonych prawidłowości w całym okresie zimowym, w tym zwłaszcza w styczniu, należy upatrywać we wpływie cyrkulacji



Ryc. 4. Rozkład współczynnika korelacji pomiędzy wskaźnikiem NAO a średnią temperaturą powietrza dla obszaru Tatr i Podhala w styczniu

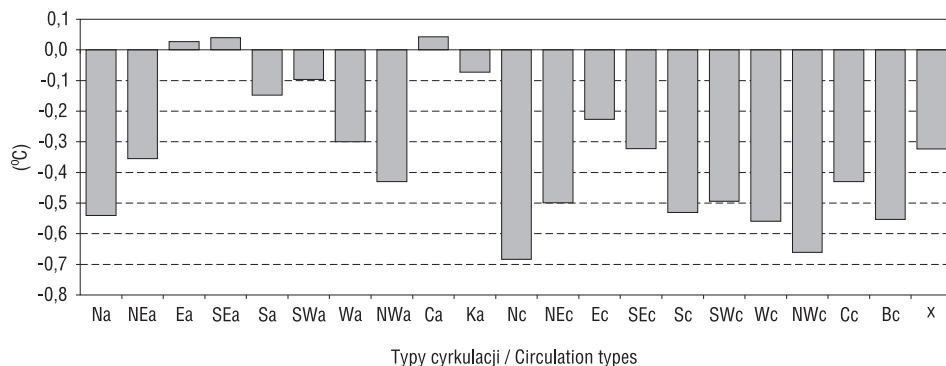
Fig. 4. Distribution of the correlation coefficient between the NAO index and mean air temperature in the Tatra Mts. and Podhale region in January



Ryc. 5. Współczynnik korelacji pomiędzy wskaźnikiem NAO a średnią temperaturą powietrza w poszczególnych miesiącach roku na wybranych stacjach profilu pionowego Karpat

Fig. 5. Correlation coefficient between the NAO index and mean monthly temperature at selected stations along the vertical profile of the Carpathians

strefowej (zachód-wschód) na rozkład temperatury, w tym gradientów termicznych pomiędzy podnóżem gór a ich szczytami. Okazuje się bowiem, że przy adwekcji z sektora wschodniego (ujemne wartości NAO) średni gradient termiczny, obliczony na podstawie obserwacji w Zakopanem i na Kasprowym Wierchu, jest niewielki. W niektórych przypadkach, np. w typie Ea i SEa, gradient ten przybiera nawet wartość dodatnią (ryc. 6).



Ryc. 6. Średni gradient temperatury powietrza między Kasprowym Wierchem i Zakopanem w typach cyrkulacji w styczniu (wg klasyfikacji T. Niedźwiedzia)

Fig. 6. Mean air temperature gradient between the summit of Kasprowy Wierch and the town of Zakopane according to circulation type in January (according to T. Niedźwiedź classification)

Podobne wartości można też obserwować przy typach wyżowych bezadwekcyjnych, gdzie często może dochodzić do inwersji termicznej, co również może skutkować średnim dodatnim pionowym gradientem temperatury powietrza. Oznacza to, że przy niezbyt intensywnej adwekcji z zachodu (niewielkich dodatnich wartościach NAO) nie występują typowe warunki zróżnicowania pionowego temperatury powietrza. Spadek temperatury z wysokością jest wówczas niewielki i dochodzić może nawet do wystąpienia inwersji termicznych, które są bardzo częste przy spływie ze wschodu i wyżowych bezadwekcyjnych typach cyrkulacji. Jednocześnie nie należy zapominać, że wskaźnik NAO określany jest dla obszaru Atlantyku i jego bezpośredni wpływ może niekiedy nie sięgać Europy Środkowej, zwłaszcza południowych czy południowo-wschodnich krańców Polski. W tych obszarach, nawet przy znacznej dodatniej wartości wskaźnika NAO, warunki cyrkulacyjne mogą kształtować się pod wpływem nieco innych typów cyrkulacji, podczas których pionowy gradient termiczny jest osłabiony lub wręcz dochodzi do inwersji termicznej. W efekcie współczynnik korelacji pomiędzy NAO a temperaturą powietrza jest stosunkowo niski.

W powyższej analizie nie uwzględniono lokalnej cyrkulacji górskiej, na którą obok wiatrów typu fenowego (zarówno klasycznych, jak i tzw. swobodnych) składa się jeszcze przy typach wyżowych, zwłaszcza bezadwekcyjnych, silnie rozwinięta cyrkulacja górsko-dolna. Powoduje to niesłychane zróżnicowanie i skomplikowanie lokalnych warunków cyrkulacyjnych, na które – jak wiadomo – składa się cyrkulacja makroskalowa (np. cyrkulacja strefowa m.in. reprezentowana przez NAO) oraz lokalna, uwarunkowana cechami fizycznogeograficznymi. Nic więc dziwnego, że wzajemne relacje pomiędzy NAO a temperaturą powietrza w tych obszarach są znacznie słabsze.

Wnioski

Analiza wykazała znaczący wpływ wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej na kształtowanie temperatury powietrza w Europie. Dotyczy to przede wszystkim okresu zimowego, przez co wskaźnik ten ma też duży wpływ na średnią roczną temperaturę. W okresie letnim wpływ NAO jest na ogół znikomy. W styczniu, kiedy obserwuje się najściślejsze relacje pomiędzy NAO a średnią miesięczną temperaturą powietrza współczynnik korelacji pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi osiąga wartość ponad 0,7 na znacznym obszarze Europy Środkowo-Zachodniej.

Na terenie Polski stwierdzono istotne różnice w rozpatrywanej zależności. Są one związane ze stosunkowo znaczną powierzchnią kraju oraz dużym zróżnicowaniem fizycznogeograficznym. Jednocześnie nie bez znaczenia jest fakt, że wskaźnik NAO wyznaczany jest według wartości ciśnienia na Atlantyku, obszaru stosunkowo odległego od Europy Środkowej. Zauważono znaczne zmniejszanie się współczynnika korelacji pomiędzy NAO a średnią temperaturą w okresie zimowym, które postępuje od północnego zachodu po południowy wschód. Obszary górskie, w tym zwłaszcza Karpaty cechują słabsze zależności od cyrkulacji strefowej, co należy tłumaczyć swoistą odrębnością klimatyczną gór. Wyraża się ona między innymi w osłabieniu pionowego gradientu termicznego, występowaniu inwersji termicznych oraz specyficzną lokalną cyrkulacją atmosferyczną.

W pracy wykorzystano zarówno standardowe dane ze stacji meteorologicznych, jak i dane gridowe. Ich uwzględnienie łącznie z zastosowaniem metod GIS pozwala na szerokie i wielowątkowe przeprowadzenie różnego rodzaju analiz. Wydaje się, że obecnie takie podejście staje się koniecznością w badaniach klimatologicznych.

Przeprowadzone badania dobitnie wykazały, że ilościowy związek, który wyraża wpływ NAO na kształtowanie temperatury powietrza, zależy w dużym stopniu od rozpatrywanej skali przestrzennej. W skali kontynentu widoczne są tylko zasadnicze cechy wzajemnych związków pomiędzy cyrkulacją atmosferyczną a temperaturą powietrza. Przy ich analizie nie można dostrzec lokalnych, mezoskalowych zależności. Ich uwzględnienie jest możliwe jedynie przy wykorzystaniu szczegółowej informacji na temat zróżnicowania warunków termicznych w znacznie mniejszej skali przestrzennej. W pracy nie podjęto wątku różnych skal czasowych, które choć bardzo związane ze skalą przestrzenną, wymagają odrębnego podejścia.

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

Literatura

- Barry R.G., 1992, *Mountain weather and climate*, Routledge, London.
- Greatbatch R.J., 2000, *The North Atlantic Oscillation*, Stochastic Environ. Res. and Risk Assessment, 14, 213-242.
- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 11.
- 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.
- 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.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2001, *Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską*, Wyd. WSM, Gdynia.
- Niedźwiedz T., 2006, *Kalendarz sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły (1873-2005)*, Plik komputerowy dostępny w Katedrze Klimatologii, Wydz. Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec.
- Romer E., 1948/1949, *Rehabilitacja wartości średniej temperatury roku*, Prz. Geogr., 22, 213-224.
- Trepińska J., 2002, *Górskie klimaty*, Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków.
- Ustrnul Z., 2006, *Spatial differentiation of air temperature in Poland using circulation types and GIS*, Int. J. Climatol., 26, 1529-1546.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2006, *Zmienność średniej temperatury powietrza w Polsce w latach 1951-2005 na tle warunków cyrkulacyjnych z wykorzystaniem narzędzi GIS*, [w:] *Współczesna meteorologia i klimatologia w geografii i ochronie środowiska*, K. Mięgała, P. Ropuszański (red.), Wrocław, 119-128.
- Wibig J., 2000, *Oscylacja Północnoatlantycka i jej wpływ na kształtowanie pogody i klimatu*, Prz. Geofiz., 45, 2, 121-137.

Summary

The North Atlantic Oscillation (NAO) is the best known circulation index over the Northern Hemisphere and plays a dominant role in the determination of air temperature over Europe. This study utilized temperature data at different spatial scales to make a particularly detailed analysis of the role of NAO on European temperature variability. Mean monthly temperature data were obtained for all of Europe, including Poland and the Carpathians from NCEP/NCAR database as well as Polish Meteorological Service. Data on the NAO obtained from the University of East Anglia for the period 1951-2005. The relationship between the NAO and temperature was examined by computing correlation coefficients. It was confirmed that the strongest correlation between NAO and temperature occurs during winter, particularly in January when R exceeds 0.7 in west-central Europe. Much lower correlation coefficients were observed in the Mediterranean Basin, with an opposite relationship (correlation coefficient below -0.7) observed over the northeast Atlantic. The results obtained for mountainous areas, especially the Carpathians, were of particular interest. The relationship between the NAO and temperature decreases with increasing altitude, with correlation coefficients below 0.5 observed at higher elevations in the mountains. These findings demonstrate that mountainous areas have their own local climatic features which modulate the effect of macroscale circulation variability, such as that associated with the NAO.