

RELACJE MIĘDZY NAO A WSKAŹNIKAMI CYRKULACJI NAD POLSKĄ

Tadeusz Niedźwiedź

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Klimatologii oraz IMGW – Oddział w Krakowie

Wstęp

Cyrkulacja atmosfery w strefie umiarkowanej jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o naturalnej zmienności klimatu. Najczęściej jej obraz przedstawiany jest przy zastosowaniu wielu prostych wskaźników, których pełny opis można znaleźć w podstawowych syntezach klimatologii synoptycznej (Barry i Perry 1973, Barry i Carleton 2001, Lamb 1972, Yarnal 1993). W skali całej półkuli natężenie przepływu mas powietrznych wokół strefy okołobiegunowej określa wskaźnik strefowy, tzw. "hemispheric zonal circulation index" (Kozuchowski 1993). Jednak nad poszczególnymi kontynentami i oceanami występuje duże zróżnicowanie regionalne (Ustrnul 1997). Warunki cyrkulacyjne północnego Atlantyku i Europy najlepiej obrazuje wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej – NAO (North Atlantic Oscillation), wyrażający różnicę ciśnienia między najważniejszymi dla tego obszaru sterującymi układami barycznymi: Wyżem Azorskim i Niżem Islandzkim. Istnieje kilka wersji tego wskaźnika (Rogers 1984, Hurrell 1995, Hurrell i van Loon 1997, Jones i in. 1997). W niniejszej pracy korzystano z wskaźnika P.D. Jonesa i in. (1997) obliczanego na podstawie różnicy ciśnienia atmosferycznego między Gibraltarem a południowo-zachodnią Islandią. Wartości tego wskaźnika są regularnie publikowane na stronach internetowych przez Climate Research Unit (CRU 2002). Wskaźnik NAO jest też łatwo obliczany i odtwarzany przez modele komputerowe klimatu (Osborn i in. 1999) i może być stosowany przy konstruowaniu scenariuszy zmian klimatu.

Wskaźnik NAO odzwierciedla natężenie napływu powietrza polarno-morskiego z nad Atlantyku na kontynent europejski. Dlatego też jego rola w kształtowaniu klimatu Europy jest bezsporna i została opisana w wielu publikacjach. Do najciekawszych należą badania J.W. Hurrella (1995), który wskazał na znaczenie NAO w kształtowaniu regionalnych trendów temperatury i opadów. H. Malberg i G. Bokens (1997) opisali wpływ NAO na temperaturę powietrza w Berlinie. Szczegółowo zbadano wpływ NAO na regionalną zmienność temperatury powietrza w Szwecji (Chen i Hellstrom 1999), rozszerzając wcześniejsze badania roli wskaźnika strefowego w kształtowaniu temperatury w południowej Skandynawii (Jönsson i Barring 1994). Rola tego ostatniego wskaźnika w modelowaniu cyrkulacji i klimatu Europy rozważało kilku innych autorów (Kozuchowski i Marciniak 1988, Makrogiannis i in. 1991, Rodwell i in. 1999).

W Polsce ukazało się także wiele prac poświęconych wpływowi wskaźników cyrkulacji, w tym także NAO, na zmienność klimatu naszego kraju i Europy (Degirmendžić i in. 2000, Wibig 2000). Wiele uwagi poświęcono znaczeniu NAO w kształtowaniu temperatury zimy (Marsz 1999) i długości

okresu wegetacyjnego (Marsz i Żmudzka 1999). Ostatnie badania A. Marsza i A. Styszyńskiej (2001) wykazały możliwość wykorzystania charakterystyk NAO w połączeniu z anomaliami temperatury powierzchni w kilku kluczowych punktach Północnego Atlantyku do długoterminowych prognoz temperatury powietrza w Polsce.

Celem niniejszej pracy jest ocena relacji jakie istnieją między zmiennością regionalnych i lokalnych wskaźników cyrkulacji nad Polską a zmiennością NAO.

Regionalne wskaźniki cyrkulacji (W, S) w Polsce i NAO

Zmienność wieloletnią cyrkulacji atmosfery nad Polską przedstawiono używając trzech prostych wskaźników cyrkulacji, skonstruowanych przy modyfikacji metody R. Murraya i R. Lewisa (1966) na podstawie częstości występowania określonych sytuacji synoptycznych (Niedźwiedź 1981). Dostępne mapy synoptyczne (Europäischer Wetterbericht, 1976-2002, Historical Weather Maps, 1899-1950, Tägliche Wetterbericht, 1873-1975) ograniczają badania do okresu 1873-2002. Po sporządzeniu kalendarza typów cyrkulacji możliwe było obliczenie wskaźników stosownie do częstości występowania kluczowych typów. Są to następujące wskaźniki cyrkulacji: W – wskaźnik cyrkulacji strefowej – zachodniej, S – wskaźnik cyrkulacji południkowej – południowej i C – wskaźnik cykloniczności (Niedźwiedź 1978, 1993a). Wskaźniki te bardzo dobrze opisują regionalne cechy cyrkulacji atmosfery nad Polską (Niedźwiedź i in. 1994, Niedźwiedź 1996, 2000) i odgrywają znaczącą rolę w kształtowaniu temperatury powietrza (Niedźwiedź 1993a), opadów atmosferycznych (Niedźwiedź 1993b, Twardosz i Niedźwiedź 2001).

Zbadano związki tych wskaźników z cyrkulacją atmosfery nad północnym Atlantykiem, której cechy najlepiej odzwierciedla wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej. Spośród wskaźników regionalnych najlepiej jest skorelowany z NAO indeks W, zwłaszcza w sezonie zimowym (tab. 1). Natomiast w jesieni brak takiej korelacji, co świadczy o tym, że w tej porze roku nad Polską kształtują się albo lokalne systemy cyrkulacyjne albo układy wysokiego ciśnienia znad Rosji. Wśród miesięcy letnich najgorszą korelację badanych wskaźników wykazuje sierpień. Współczynniki korelacji istotne na poziomie $\alpha = 0.05$ otrzymano jedynie dla okresu od grudnia do kwietnia, z najwyższymi wartościami w styczniu i lutym, istotne na poziomie $\alpha = 0.01$. W tych dwóch ostatnich miesiącach zmienność wskaźnika cyrkulacji zachodniej w 42-44% może być objaśniona zmiennością NAO.

Wskaźnik cyrkulacji południowej (S) nie wykazuje istotnej korelacji z NAO, za wyjątkiem marca i zimy (tab. 1). Ujemna wartość współczynnika korelacji sugeruje, że wzrostowi intensywności NAO towarzyszy większa tendencja do napływu nad Polskę powietrza z sektora północnego niż południowego.

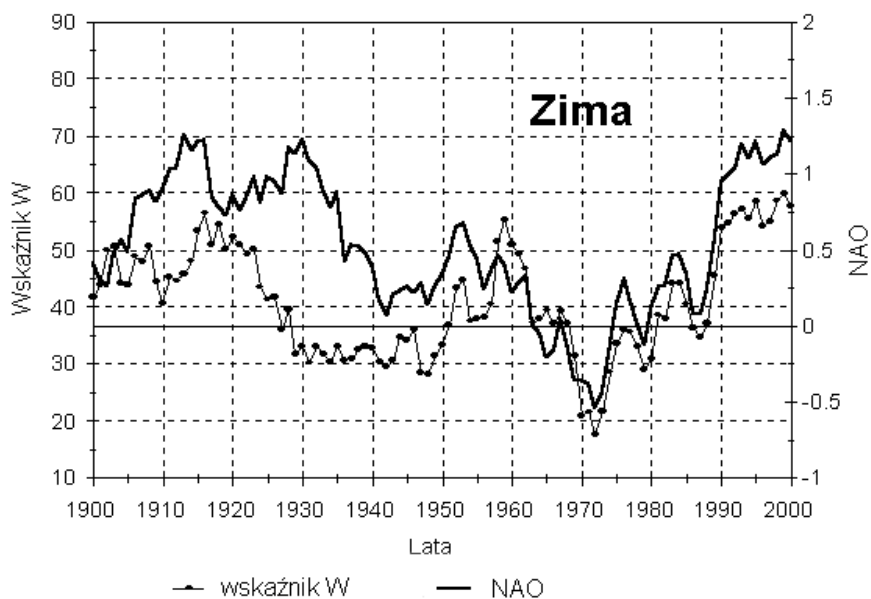
Z kolei wskaźnik cykloniczności (C) wykazuje istotne korelacje z NAO w okresie od maja do listopada (tab. 1). Zmienność wskaźnika C w sierpniu może być w 22% wyjaśniona zmiennością NAO. Wzrost natężenia NAO sprzyja w tych miesiącach raczej zmniejszeniu cykloniczności nad Polską.

Wyglądzony za pomocą średnich konsekwentnych 11-letnich przebieg wskaźników W i NAO w XX wieku w zimie wykazuje bardzo duże podobieństwa (rys. 1). Największe natężenie adwekcji powietrza z zachodu przypada na pierwsze 30-lecie XX wieku oraz na ostatnią dekadę. Głębokie minimum obu wskaźników zaznacza się w latach 1970-1973. Na wiosnę typowe były duże fluktuacje obu wskaźników (Niedźwiedź 2001). Mimo istotnej korelacji w tej porze roku w okresie 1930-1945

Tabela 1

Współczynniki korelacji między NAO Jonesa a wskaźnikami W, S i C nad Polską w okresie 1951-2000
Wartości współczynników korelacji istotne na poziomie $\alpha = 0.05$ wytłuszczone

Miesiąc; okres	Wskaźnik W	Wskaźnik S	Wskaźnik C
I	0.65	-0.15	-0.04
II	0.66	-0.10	-0.22
III	0.59	-0.30	-0.25
IV	0.30	0.05	-0.02
V	0.27	-0.18	-0.37
VI	0.19	-0.16	-0.34
VII	0.16	0.01	-0.26
VIII	-0.01	-0.13	-0.47
IX	0.10	0.13	-0.35
X	0.22	-0.10	-0.37
XI	0.19	0.04	-0.30
XII	0.41	-0.09	0.06
Rok	0.41	-0.15	-0.41
Zima	0.69	-0.29	-0.17
Wiosna	0.35	-0.19	-0.20
Lato	0.09	-0.13	-0.28
Jesień	0.06	0.09	-0.24



Rys. 1. Zmienność wskaźnika cyrkulacji zachodniej (wskaźnik W) nad Polską oraz NAO Jonesa w zimie w XX wieku (średnie konsekwentne 11-letnie)

obserwowano dużą rozbieżność w wartościach obu wskaźników. W lecie zaznaczyła się tendencja spadkowa obu wskaźników, z tym, że po roku 1985 nastąpił w Polsce wzrost wskaźnika W w lecie, podczas gdy NAO utrzymywał się nadal na stosunkowo niskim poziomie. W jesieni przebieg obu wskaźników jest zupełnie odmienny. W Polsce o tej porze roku obserwowany jest stosunkowo intensywny wzrost wskaźnika cyrkulacji zachodniej, natomiast wartości NAO przyjmowały wartości ujemne, a ich fluktuacje były bardzo nieregularne.

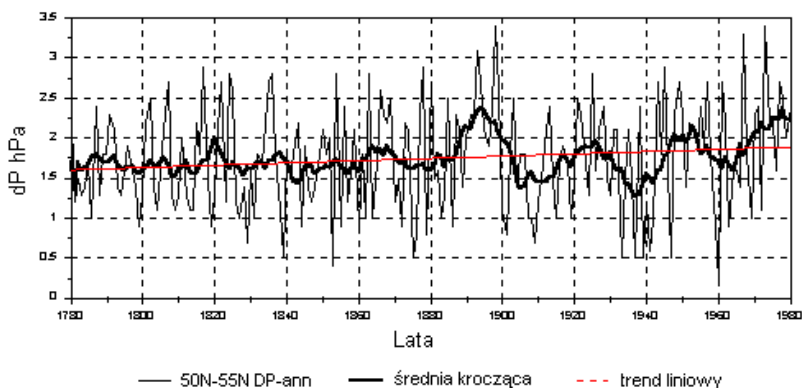
Wskaźnik cyrkulacji południowej (S) jest niemniej ważny przy ocenie klimatu Polski jak wskaźnik W, tym bardziej, że informuje w sposób pośredni o potencjalnej możliwości napływu mas powietrza arktycznego lub zwrotnikowego. Jego regionalnych osobliwości nie można zrekonstruować na podstawie wskaźnika NAO. W skali rocznej w XX wieku największe natężenie przepływu południowego nad Polską przypada na lata 1920-1940, ale najwyższą wartość 100 wskaźnik osiągnął w roku 1960 i 99 w 1951 roku. Przed rokiem 1920 notowano ujemne wartości wskaźnika, co świadczy o częstszej adwekcji powietrza z sektora północnego niż południowego. Drugi taki okres wystąpił w latach 1940-1949 (S = -57 w roku 1945), a trzeci po roku 1980. Niskie wartości wskaźnika (S = -63) w roku 1997 związane są ze zmożoną adwekcją powietrza z północy, która przyczyniła się do powstania dużych opadów orograficznych w lipcu w Karpatach i Sudetach.

Wskaźnik cykloniczności – C przyjmuje w Polsce wartości ujemne (-60). Jedynie w latach 1965-1975 przypadło maksimum cykloniczności z kulminacją w roku 1970 (C = 102). Po roku 1975 nastąpił znaczny spadek do wartości -142 w roku 1990 i -101 w roku 1997.

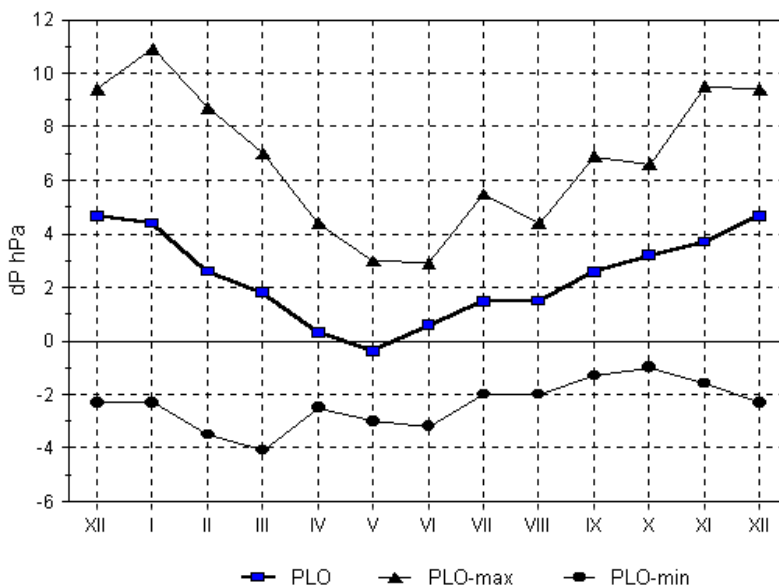
Wskaźnik oscylacji polskiej (PLO) i NAO

Wzorując się na pracach Z. Ustrnula (1997, 2002) można konstruować wiele różnych wskaźników cyrkulacji na podstawie wartości ciśnienia w regularnej siatce punktów. Dla Polski opracowano wskaźnik oscylacji strefowej biorąc pod uwagę różnice ciśnienia między równoleżnikami 50°N i 55°N (PLO – wskaźnik Oscylacji Polskiej), oraz oscylacji południkowej obliczając różnice ciśnienia między południkami 30°E i 10°E (PLS). Modyfikacją tych wskaźników jest uwzględnienie różnic ciśnienia w profilach: Kraków – Hel i Terespol – Słubice. Zastosowanie danych P.D. Jonesa i in. (1987) zawierających wartości ciśnienia dla Europy dla punktów węzłowych pięciostopniowej siatki geograficznej można odtworzyć dynamikę cyrkulacji nad Polską dla niemal całego XIX wieku, w tym dla lat kiedy nie były wykonywane jeszcze mapy synoptyczne (rys. 2).

W odróżnieniu od wskaźnika W, wartości PLO mogą być wyliczane w sposób obiektywny na podstawie wartości ciśnienia w Krakowie-Balicach (Nr WMO = 12566) i na Helu (Nr WMO = 12135). Różnice ciśnienia atmosferycznego między tymi stacjami pozostawiono w niniejszym opracowaniu w wersji bezwzględnej bez dokonywania standaryzacji. W ten sposób wartości dodatnie wyrażają natężenie przepływu zachodniego powietrza nad Polską, natomiast wartości ujemne informują o zmianie kierunku adwekcji na wschodni. Zaznacza się wyraźny przebieg roczny wskaźnika PLO (ryc. 3). Najwyższe wartości przypadają na grudzień i styczeń, natomiast w maju średnie tego wskaźnika są ujemne. Wiąże się to z częstą blokadą wpływów Atlantyku i kształtowaniem się cyrkulacji południkowej. W poszczególnych przypadkach wartości ujemne mogą zdarzać się we wszystkich miesiącach. Najniższe zostały zanotowane w marcu.



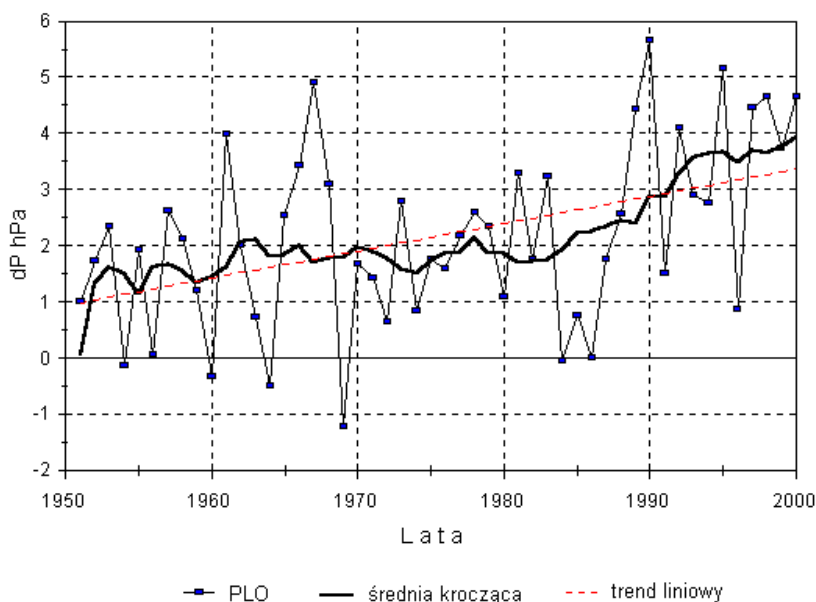
Rys. 2. Przebieg wskaźnika strefowego dla Polski, wg danych gridowych ciśnienia P.D. Jonesa i in. (1987)



Rys. 3. Przebieg roczny wskaźnika Oscylacji Polskiej (PLO) w okresie 1951-2000

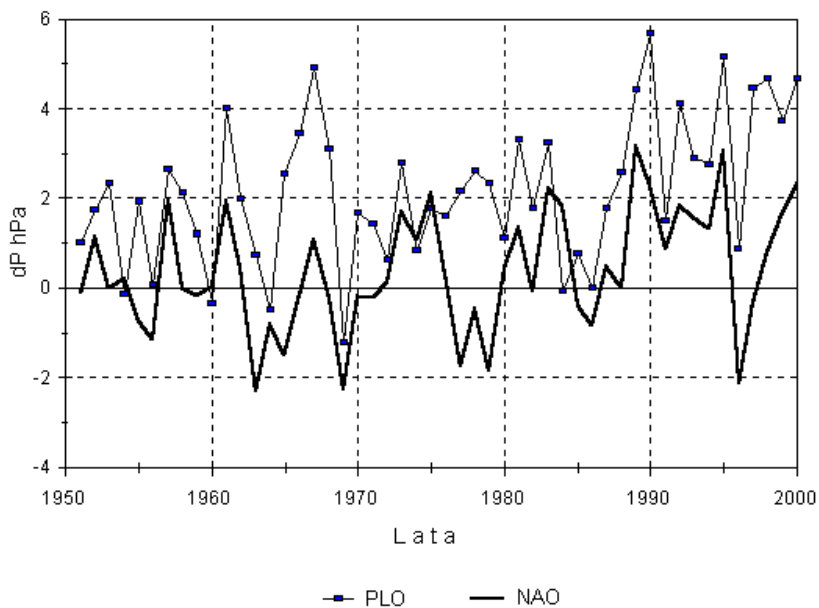
Przebieg wskaźnika PLO jest zbliżony do wahań indeksu W. Również istotne korelacje tego wskaźnika z NAO stwierdzono wyłącznie dla zimy. W tej porze roku, jak wynika ze współczynnika determinacji r^2 , aż 54% zmienności różnic ciśnienia między Krakowem i Helem można wyjaśnić na podstawie NAO. Odpowiednie równanie regresji przyjmuje postać: $PLO = 1.2056NAO + 1.78$. W pozostałych porach roku korelacje są nieistotne ale i dla nich zostaną przedstawione przebiegi obu wskaźników w drugiej połowie XX wieku.

W ciągu 50 lat (rys. 4) w zimie widoczny jest wyraźny trend rosnący omawianego wskaźnika od 1.0 do 3.3 hPa. Wyraźnie wyróżniają się trzy okresy. Pierwszy obejmujący lata 1951-1969 odznaczał się dużymi wahaniami wskaźnika z roku na rok. W latach 1970-1988 nastąpiła stabilizacja wskaźnika na poziomie około 2 hPa po czym od roku 1989 do końca wieku występowały przeważnie wysokie wartości w granicach 3 – 4 hPa. Najwyższa różnica (5.7 hPa) przypadła na zimę 1989/1990 a minimum (-1.2 hPa) zanotowano w zimie 1968/1969 roku. Istnieje duża zgodność przebiegu omawianej charakterystyki z NAO (rys. 5). Zgadniają się terminy wystąpienia maksimów przypadające na lata: 1961, 1967, 1989-1990 i 1995. Podobnie synchroniczne minima zanotowano w latach: 1963-1964, 1969, 1985 i 1996. Natomiast zupełnie rozbieżne są wskaźniki trzech zim: 1976/1977-1978/1979. Wyjaśnienie tych różnic wymaga dalszych badań.

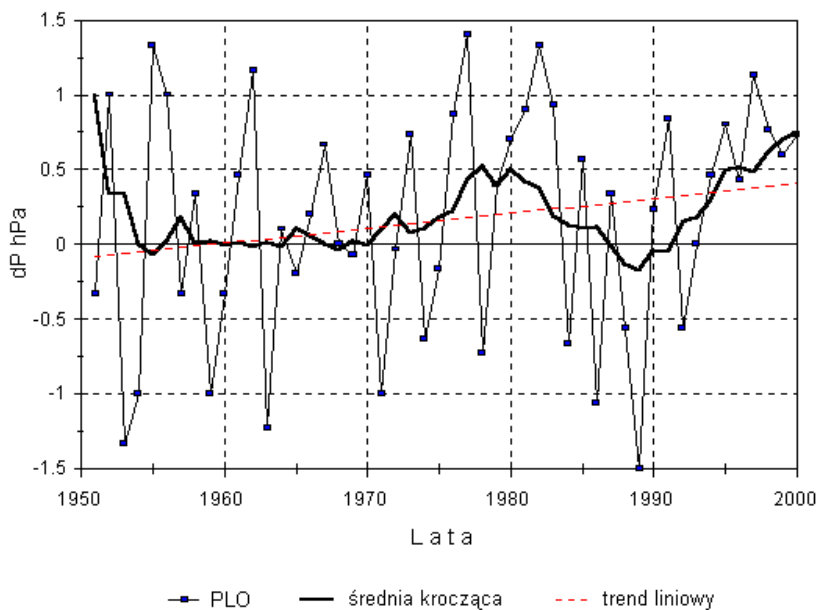


Rys. 4. Zmienność wskaźnika oscylacji polskiej (PLO) w zimie

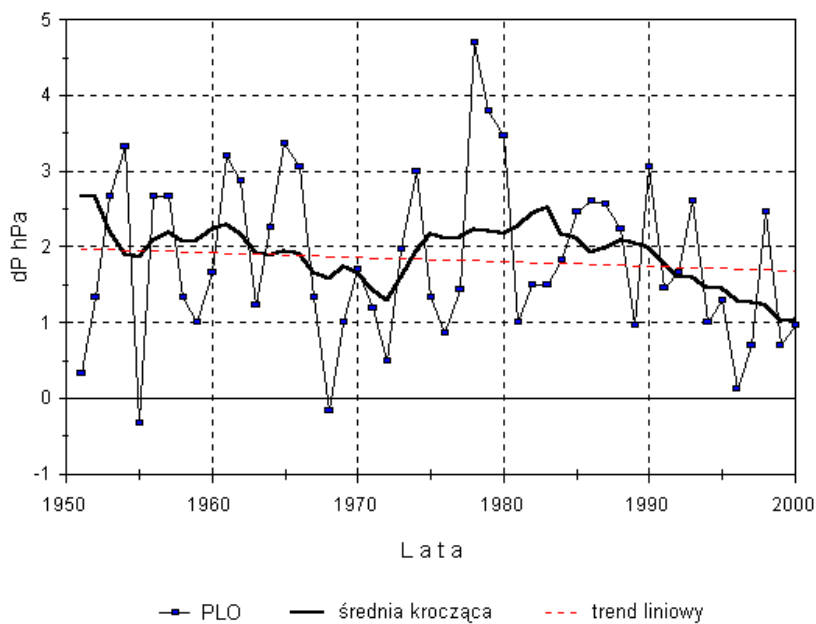
Dla wiosny (rys. 6) charakterystyczne jest występowanie dużych wahań z roku na rok. Częste są wartości ujemne (19 na 50 lat). Jednak generalny trend jest dodatni od -0.1 hPa do +0.4 hPa. Największe osłabienie cyrkulacji zachodniej przypadło na wiosnę w okresie 1984-1989. Wschodnia składowa cyrkulacji strefowej przypadła na lata: 1953-1954, 1959, 1963 1971, 1986 i 1989 (minimum -1.5 hPa). Natomiast intensywny wiosenny przepływ zachodni zanotowano w latach: 1955-1956, 1962, 1977 (maksimum +1.4 hPa), 1982 i 1997. Zupełną rozbieżność w stosunku do NAO stwierdzono w ostatnich latach 1995-2000, kiedy NAO osiągało wartości ujemne, natomiast nad Polską wskaźnik PLO był dodatni (od +0.4 do +1.1 hPa).



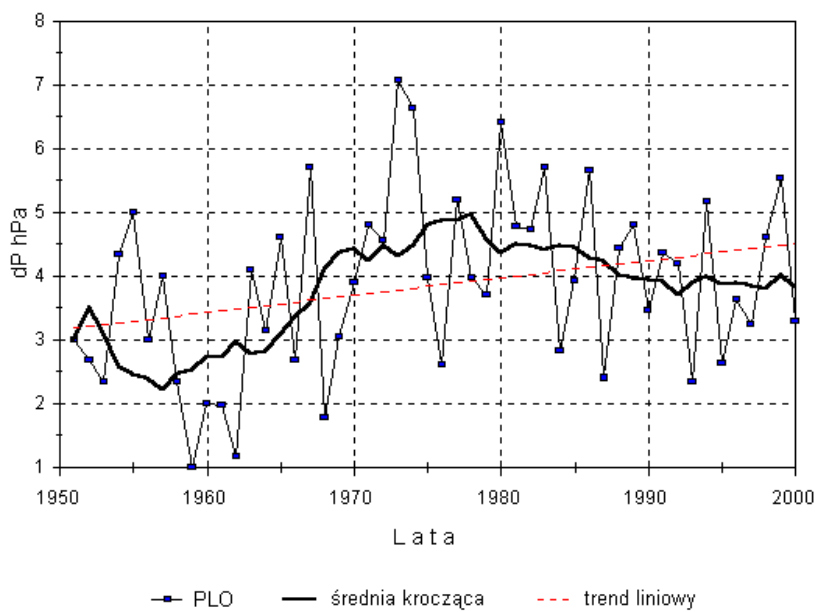
Rys. 5. Porównanie zmienności wskaźnika Oscylacji Polskiej (PLO) i Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w zimie



Rys. 6. Zmienność wskaźnika Oscylacji Polskiej (PLO) na wiosnę



Rys. 7. Zmienność wskaźnika Oscylacji Polskiej (PLO) w lecie



Rys. 8. Zmienność wskaźnika Oscylacji Polskiej (PLO) w jesieni

W lecie wskaźnik PLO różnił się znacznie i to zarówno od wskaźnika W jak i NAO. Jego wartość uśredniona (11-letnie konsekwentne) utrzymywała się przez 50 lat niemal na identycznym poziomie +2 hPa (rys. 7), podczas gdy NAO odznaczał się tendencją spadkową. Jedynie w latach 1990-2000 zaznaczył się trend malejący PLO od +2.0 do +1.0 hPa. Najbardziej intensywny przepływ zachodni przypadł na trzy lata 1978-1980. Natomiast wartości ujemne zdarzyły się tylko dwukrotnie w ostatnim półwieczu, w roku 1955 i 1968. Bliska zera wartość wystąpiła jeszcze w lecie roku 1996.

Podobnie jak przy wskaźniku W, największe rozbieżności między wskaźnikami PLO i NAO stwierdzono w jesieni. W tej porze roku NAO odznacza się małymi amplitudami i często przyjmuje wartości ujemne. Natomiast wskaźnik PLO (rys. 8) odznacza się tendencją wzrostową od +3.1 do +3.5 hPa, co świadczy o dość intensywnym przepływie zachodnim nad Polską o tej porze roku. W całym pięćdziesięcioleciu nie stwierdzono wartości ujemnych. Skupienie niskich wartości zaobserwowano w latach 1959-1962 (od +1.0 do +2.0 hPa). Najwyższe wartości przypadły na lata 1971-1989, z maksimum w roku 1973 (+7.1 hPa). W świetle tak dużych różnic między poszczególnymi wskaźnikami, dalsze badania mechanizmów cyrkulacji atmosfery nad Europą i Atlantykiem wymagają szczególnie wnikliwych badań.

Podsumowanie

Mimo bezspornej roli NAO w kształtowaniu klimatu Polski stwierdzono wiele różnic o charakterze regionalnym. Regionalna i lokalna cyrkulacja atmosfery może być dobrze wyrażona przez subiektywne wskaźniki cyrkulacji zachodniej W, południowej S i cykloniczności C, wyznaczane na podstawie częstości występowania typów cyrkulacji. Bardziej obiektywne są wskaźniki obliczane podobnie jak NAO na podstawie różnicy ciśnienia między wybranymi punktami. Dla naszego kraju dobrą miarą intensywności cyrkulacji strefowej jest wskaźnik Oscylacji Polskiej PLO, będący różnicą ciśnienia między Krakowem a Helem.

Okazało się, że istotne statystycznie korelacje wskaźników regionalnych cyrkulacji nad Polską ograniczają się głównie do sezonu zimowego. Wyjaśnienie zmienności dynamiki atmosfery w innych porach roku wymaga jeszcze dalszych badań.

Literatura

- Barry R.G., Perry A.H., 1973, *Synoptic Climatology, Methods and Applications*. Methuen, London, 555 s.
- Barry, R.G., Carleton A.M. 2001, *Synoptic and Dynamic Climatology*. Routledge, London and New York, 620 s.
- CRU, 2002, North Atlantic Oscillation (NAO). Climate Research Unit, University of East Anglia, home page: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>, and: http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/projpages/nao_update.htm
- Chen D.L., Hellstrom C., 1999, The influence of the North Atlantic Oscillation on the regional temperature variability in Sweden: spatial and temporal variations. *Tellus, ser. A – Dynamic Meteorology and Oceanography*, 51, 4, s. 505-516.
- Degirmendźić J., Kożuchowski K., Wibig J., 2000, Epoki cyrkulacyjne XX wieku i zmienność typów cyrkulacji atmosferycznej w Polsce. *Przegl. Geofiz.*, 45, 3-4, s. 221-238.
- Europäischer Wetterbericht, 1976-2002, Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. Main. (earlier: Tägliche Wetterbericht).

- Historical Weather Maps, 1899-1950. Daily Synoptic Series. Northern Hemisphere Sea Level. US Weather Service.
- Hurrell J.W., 1995, Decadal trends in the North Atlantic Oscillation - regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 5224, s. 676-679.
- Hurrell J.W., van Loon H., 1997, Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change*, 36, 3-4, s. 301-326.
- Jones P.D., Wigley T.M.L., Briffa K.R., 1987, Monthly mean pressure reconstructions for Europe (1780-1980) and North America (1858-1980). DOE Technical Report No. TR037, U.S. Department of Energy, Carbon Dioxide Research Division, Washington, D.C.
- 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. Climatology*, 17, 13, s. 1433-1450.
- Jónsson P., Barring L., 1994, Zonal Index Variations, 1899-1992: Links to air temperature in Southern Scandinavia. *Geografiska Annaler*, 76A, 4, s. 207-219.
- Kożuchowski, K., Marciniak K., 1988, Variability of mean monthly temperatures and semi-annual precipitation totals in Europe in relation to hemispheric circulation patterns. *Int. J. Climatology*, 8, s. 191-199.
- Kożuchowski, K., 1993, Variations in hemispheric zonal index since 1899 and its relationship with air temperature. *Int. J. Climatology*, 13, s. 853-864.
- Lamb H.H., 1972, British Isles weather types and a register of the daily sequences of circulation patterns 1861-1971. *Geophysical Memoirs*, 116, 85 s.
- Makrogiannis T.J., Sahsamanoğlu H.S., Flocas A.A., Bloutsos A.A., 1991, Analysis of the monthly zonal index values and long-term changes of circulation over the North Atlantic and Europe. *Int. J. Climatology*, 11, s. 493-503.
- Malberg H., Bokens G., 1997, Winter and summer temperatures in Berlin since 1929 and their relationship with the North Atlantic Oscillation (NAO). *Meteorologische Zeitschrift*, 6, 5, s. 230-234.
- Marsz A., 1999, Oscylacja Północnoatlantycka a reżim termiczny zim na obszarze północno-zachodniej Polski i polskim wybrzeżu Bałtyku. *Przeegl. Geogr.*, 71, 3, s. 225-245.
- Marsz A., Żmudzka E., 1999, Oscylacja Północnego Atlantyku a długość okresu wegetacyjnego w Polsce. *Przeegl. Geofiz.*, 44, 3, s. 199-210.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2001, Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską. *Wyższa Szkoła Morska*, Gdynia, 101 s.
- Murray R, Lewis R.P.W., 1966, Some aspects of the synoptic climatology of the British Isles as measured by simple indices. *Meteorological Magazine*, 95, 1128, s. 193-203.
- Niedźwiedz, T., 1978, The changes of the atmospheric circulation indices over the Polish West Carpathians during last 27 years. *Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt*, 40, Zürich, s. 19-22.
- Niedźwiedz, T., 1981, Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły. *Rozprawy Habilitacyjne UJ*, 58, Kraków, 165 s.
- Niedźwiedz, T., 1993a, Changes of atmospheric circulation (using the P, S, C, M indices) in the winter season and their influence on air temperature in Cracow. *Early Meteorological Instrumental Records in Europe – Methods and Results*, *Zeszyty Naukowe UJ - Prace Geogr.*, Kraków, 95, s. 107-113.
- Niedźwiedz, T., 1993b, Variability of precipitation in Kraków (Cracow) with relation to atmospheric circulation indices. [w:] "Proceedings of the International Symposium on Precipitation and Evaporation", vol. 2: *Precipitation Variability and Climate Change*, Bratislava - Zurich, s. 61-62.

- Niedźwiedz T., Ustrnul Z., Cebulak E., Limanowka D., 1994, Long-term climate variations in Southern Poland due to atmospheric circulation variability. [w:] *Climate Variations in Europe* (ed. R. Heino), Helsinki, s. 263-277.
- Niedźwiedz T., 1996, Long-term variability of the zonal circulation index above the Central Europe. *Early Meteorological Instrumental Records in Europe - Methods and Results*, Zeszyty Naukowe UJ - Prace Geogr., Kraków, 102, s. 213-219.
- Niedźwiedz T., 2000, Variability of the atmospheric circulation above the Central Europe in the light of selected indices. [w:] Obrębska-Starkel B. (ed.), 2000, *Reconstructions of Climate and its Modelling*, Prace Geogr., Kraków, 107, s. 379-389.
- Niedźwiedz T., 2002, *Kalendarz typów cyrkulacji – Polska południowa (1873.09 – 2002.06)*, zbiór komputerowy w Katedrze Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.
- Osborn T.J., Briffa K.R., Tett S.F.B., Jones P.D. and Trigo R.M., 1999, Evaluation of the North Atlantic Oscillation as simulated by a coupled climate model. *Climate Dynamics*, 15, s. 685-702.
- Rodwell M.J., Rowell D.P., Folland C.K., 1999, Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature*, 398, 6725, s. 320-323.
- Rogers J.C., 1984, The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, 112, s. 1999-2015.
- Tägliche Wetterbericht, 1873-1975, Deutsche Wetterdienst.
- Twardosz R., Niedźwiedz T., 2001, Influence of synoptic situations on the precipitation in Kraków (Poland), *Int. J. Climatology*, 21, 4, s. 467-481.
- Ustrnul Z., 1997, Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku, *Materiały Badawcze, Seria: Meteorologia*, 27, IMGW, Warszawa, 208 s.
- Ustrnul Z., 2002, Wskaźnik NAO na tle innych wskaźników cyrkulacji dolnotroposferycznej, Gdynia (w niniejszym tomie).
- Wibig J., 2000, Oscylacja Północnoatlantycka i jej wpływ na kształtowanie pogody i klimatu, *Przeegl. Geofiz.*, 45, 2, s. 121-137.
- Yarnal B., 1993, *Synoptic climatology in environmental analysis. A primer*. Belhaven Press, London and Florida, 195 s.