

## **OSCYLACJA PÓLNOCNEGO ATLANTYKU A OPADY NA OBSZARZE POLSKI**

*Anna Styszyńska*

*Wyższa Szkoła Morska w Gdyni  
Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej  
Wydziału Nawigacyjnego*

### **Sformułowanie zagadnienia**

Atlantyk Północny stanowi główny rejon klimatotwórczy dla obszaru Polski. Cyrkulacja atmosferyczna kształtująca się nad Atlantykiem Północnym warunkuje przebieg procesów cyrkulacyjnych nad Polską, przyczyniając się do zmienności głównych elementów meteorologicznych, jakimi są temperatura powietrza i opady.

Jednym z prostych wskaźników charakteryzujących cyrkulację atmosferyczną nad Atlantykiem Północnym jest wskaźnik Oscylacji Północnego Atlantyku (North Atlantic Oscillation Index, dalej NAO) opisujący gradient ciśnienia między Niżem Islandzkim a Wyżem Azorskim. Wartość tego gradientu decyduje o intensywności strefowej cyrkulacji atmosfery nad obszarem Atlantyku Północnego i kontynentu europejskiego. Indeks NAO zdefiniowany jest jako różnica między znormalizowanymi wartościami ciśnienia atmosferycznego notowanymi na Islandii (w Stikkisholmur lub Akureiri) i w Lizbonie w okresie grudzień-marzec (Hurrell 1995), Ponta Delgada na Azorach (Rogers 1997) lub w Gibraltarze (Jones i in. 1997). Wskaźniki NAO Rogersa i Jonesa obliczane są w odniesieniu do poszczególnych miesięcy i sezonów roku. Wyróżnia się dwie fazy NAO. Podczas pozytywnej fazy NAO (wskaźnik dodatni) ulega intensyfikacji cyrkulacja strefowa, powodując zwiększony napływ powietrza polarnego morskowego nad kontynent europejski. Negatywnej fazy NAO (wskaźnik ujemny) odpowiada wzrost częstości południkowych form cyrkulacji atmosfery.

Związki temperatury powietrza w Polsce z NAO badane były m.in. przez Marsza (1999), Marsza i Żmudzką (1999), Marsza i Styszyńską (2000) oraz Kożuchowskiego i in. (1999). Zależności opadów na obszarze Polski od NAO do tej pory bardziej szczegółowo nie badano, mimo że uwarunkowanie opadów przez cyrkulację atmosferyczną jest podkreślane w licznych pracach szczegółowych i przeglądowych. Dotychczas do oceny wpływu czynników cyrkulacyjnych na opady na obszarze Polski wykorzystywano przede wszystkim częstość typów cyrkulacji strefowej i południkowej według różnych klasyfikacji (m.in. Girsza i Dzierdziejewskiego) oraz regionalne i lokalne kalendarze typów cyrkulacji (Osuchowskiej-Klein, Lityńskiego, Mycielskiej lub Niedźwiedzia) wykazując istotne zależności opadów od

intensywności cyrkulacji strefowej (m.in. Kożuchowski 1994; Kożuchowski i Wibig 1988) lub południkowej (głównie latem w południowej Polsce – m.in. Mycielska 1979; Paszyński i Niedźwiedź 1991; Lorenc 1998; Niedźwiedź 2000).

Celem pracy jest przedstawienie związków zachodzących między wartościami wskaźnika NAO, charakteryzującego cyrkulację atmosferyczną nad Atlantykiem Północnym w szerokościach umiarkowanych, a opadami na obszarze Polski.

### Materialy

Do badań wykorzystano wartości wskaźników NAO obliczone według Hurrella – dalej NAO(H), Rogersa – dalej NAO(R) oraz Jonesa – dalej NAO(J) uzyskane z Internetu (<http://www.met.rdg.ac.uk/cag/NAO/index>).

Dane o miesięcznych sumach opadu na stacjach również uzyskano drogą elektroniczną. Odczytano je ze zbioru GHCN v.2 (Global Historical Climatology Network) dostępnego pod adresem: [www.ncdc.noaa.gov/ghcn](http://www.ncdc.noaa.gov/ghcn). Do podstawowych analiz wybrano 26 stacji mających wspólny okres obserwacji (1951-1995, 45 lat) – rys. 1. Ponieważ opady wykazują dużą zmienność przestrzenną, obszar Polski podzielono wzdłuż 19°E i 52°N na 4 sektory (NW, NE, SW i SE), dla których obliczono średnie obszarowe sumy opadów (na podstawie odpowiednio 6, 6, 7 i 7 stacji). Podobną średnią obliczono również w odniesieniu do całej Polski. Dodatkowe badania przeprowadzono na podstawie 4 stacji (Szczecin, Koszalin, Warszawa i Wrocław) mających dłuższe ciągi, których wspólny okres obserwacji obejmował 125 lat (1865-1990). Przeanalizowano również obszarowo uśrednione sezonowe sumy opadów, obliczone przez Miętusa (1996), w rejonie polskiego wybrzeża Bałtyku w podobnym, choć nieco dłuższym (142 lata) okresie (1848-1990).



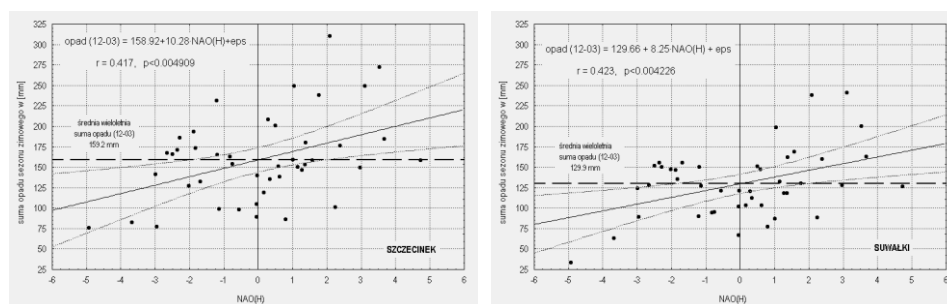
Rys. 1. Lokalizacja stacji meteorologicznych

Fig. 1. Location of the meteorological stations

W głównym; przyjętym do badań okresie (1951-1995) mieszczą się dwie odmienne epoki cyrkulacyjne. W latach 1971-1995 wskaźnik NAO osiągał przeważnie wartości dodatnie (Marsz 1999) i dominował strefowy, zachodni przenos mas powietrza. Odnutowano również oceanizację opadową (Kozuchowski i Wibig 1988). Okres wcześniejszy (przed 1970 r.) to lata, w których wskaźnik NAO osiągał przeważnie wartości ujemne (Marsz 1999), charakteryzujące się rozwojem południkowych form cyrkulacji (Marsz 1999; Degirmendżić i in. 2000) i kontynentalizacji reżimu opadowego (Kozuchowski i Wibig 1988).

### Wyniki

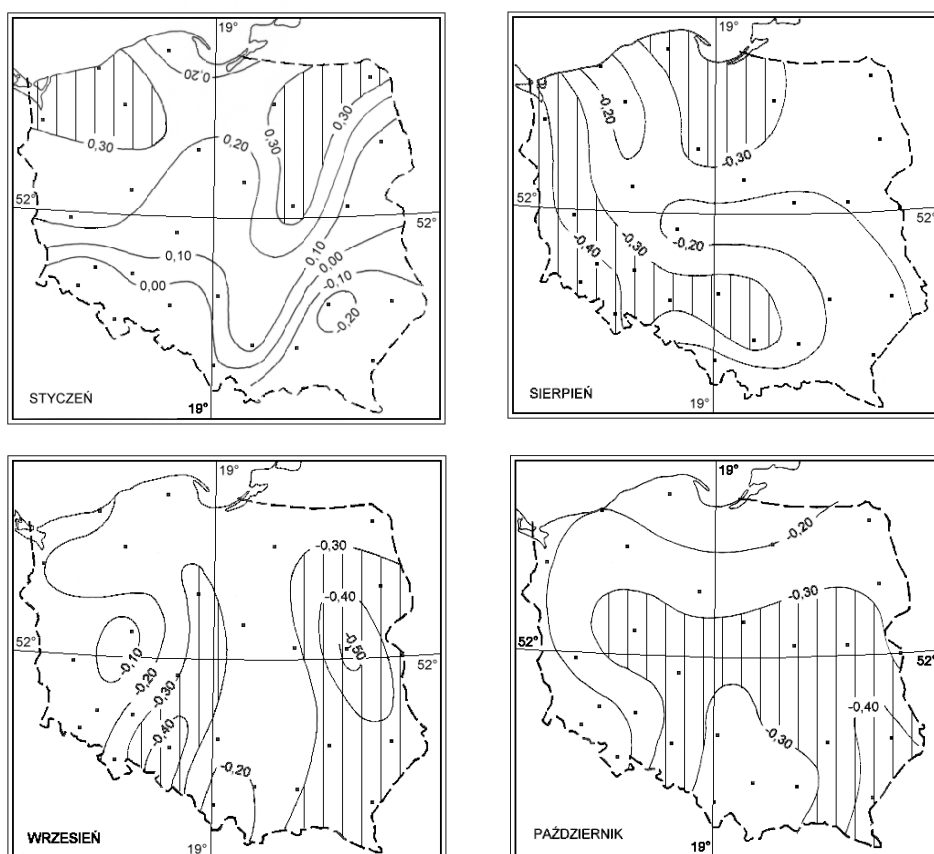
W latach 1951-1995 istotnie statystycznie (na poziomie  $<0,05$ ), choć niezbyt silne, związki między zimowym wskaźnikiem NAO Hurrella a sumą opadów (grudzień-marzec) stwierdzono jedynie na stacjach położonych na pojezierzach Polski Północnej (Szczecin, Szczecinek, Łębork, Olsztyn, Suwałki) – rys. 2. W tym samym roku występują również związki asynchroniczne. Są one niezbyt silne i objaśniają od 10 do 18% zmienności miesięcznych sum opadów. W sierpniu istotnymi korelacjami z NAO(H) cechują się sumy opadów na większości stacji położonych na eksponowanych na północ i północno-zachód krawędziach Przedgórze Sudeckiego i Sudetów, Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej i Beskidu Śląskiego, a w listopadzie położone w pasie wschodnim: Suwałki, Białystok, Zamość i Przemyśl. To opóźnione oddziaływanie zimowego wskaźnika NAO(H) na letnie (sierpień) i późnojesienne (listopad) sumy opadów w Polsce należy wiązać z przenosem prądowym anomalii temperatury wody powierzchniowej na Atlantyku Północnym (Marsz 1999).



Rys. 2. Związek sumy opadów sezonu zimowego (12-03) w Szczecinku i Suwałkach z wskaźnikiem NAO Hurrella w okresie 1951-1995

Fig. 2. Correlation between the precipitation sums in winter season (12-03) in Szczecinek and Suwałki and the value of the Hurrell NAO index in the period 1951-1995

Istotnie statystycznie korelacje miesięcznych sum opadów z odpowiednimi wskaźnikami NAO(R) i NAO(J) nie są zbyt silne i objaśniają od 10 do 15% zmienności opadów zimą oraz od 10 do 25% zmienności opadów latem. Zimą, głównie w styczniu (rys. 3),



Rys. 3. Rozkład wartości współczynnika korelacji liniowej wiążącej sumy opadu w styczniu, sierpniu, wrześniu i październiku ze wskaźnikiem NAO Rogersa (Azory-Islandia) w tych samych miesiącach.

Obszary, na których korelacje są istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ), oznaczono szrafem

Fig. 3. Spatial distribution of the coefficient of linear correlation relating the precipitation sums in January, August, September and October to the Rogers NAO index in the same months.

The area where correlation is statistically significant ( $p < 0.05$ ) is hatched

istotne statystycznie korelacje występują w dwóch rejonach: 1) na północo-zachodzie (Szczecin, Koszalin, Szczecinek), 2) na północo-wschodzie (w pasie Suwałki, Olsztyn, Warszawa). Zimą i na wiosnę na obszarze pojezierzy i nizin wartości współczynników korelacji są dodatnie, a na pozostałym obszarze – głównie ujemne. Latem nieco silniejsze związki z opadami w Polsce wykazuje wskaźnik NAO Rogersa (Azory-Islandia). Poczynając od czerwca do listopada włącznie korelacje te mają znak ujemny, co wskazuje na coraz większy w tym czasie wpływ cyrkulacji południkowej na kształtowanie się miesięcznych sum opadów. Wyraźniej widoczne obszary istotnych statystycznie korelacji układają się południkowo. W sierpniu (rys. 3) – głównie na zachodzie ( $r = -0,41$  – Szczecin,  $-0,39$  – Zielona

Góra, -0,48 – Legnica, -0,35 – Wrocław, -0,41 – Kłodzko) i Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej oraz w rejonie doliny Dolnej Wisły; we wrześniu (rys. 3) – głównie na wschodzie ( $r = -0,38$  – Białystok, -0,52 – Siedlce, -0,31 – Sandomierz, -0,30 – Tarnów i -0,35 – Przemyśl), a w październiku (rys. 3) – w środkowej ( $r = -0,32$ ÷-0,40) i południowo-wschodniej Polsce ( $r = -0,34$ ÷-0,46).

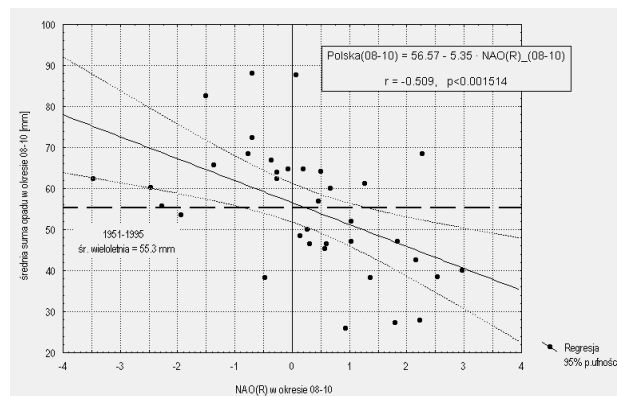
Sumy opadów uśrednione w całej Polsce i 4 określonych wyżej sektorach istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ) i na ogół niezbyt silne związki z NAO(R) wykazują jedynie pod koniec lata i jesienią (od sierpnia do października). Wartości współczynników korelacji miesięcznych sum opadów i NAO w poszczególnych sektorach podano w tabeli 1.

Tabela 1. Współczynniki korelacji liniowej ( $r$ ) między wskaźnikiem NAO(R) a miesięcznymi sumami opadów atmosferycznych uśrednionych w sektorach NW, SW, NW i SE oraz w całej Polsce w okresie sierpień-październik (1951-1995, 36 lat) i ich istotność statystyczna ( $p$ )

Table 1. The coefficients of linear correlation ( $r$ ) between the NAO(R) index and the monthly precipitation sums averaged for sectors NW, SW, SE and NE and the whole area of Poland over the period August-October (1951-1995) and their statistical significance ( $p$ )

Miesiąc		NW	SW	SE	NE	Polska
Sierpień	$r$	-0,2978	<b>-0,4388</b>	-0,2442	-0,3080	<b>-0,4279</b>
	$p$	0,078	0,007	0,151	0,068	0,009
Wrzesień	$r$	-0,3260	-0,2982	<b>-0,4289</b>	<b>-0,3792</b>	<b>-0,4084</b>
	$p$	0,052	0,077	0,009	0,023	0,013
Październik	$r$	-0,3060	-0,2978	<b>-0,4121</b>	<b>-0,3431</b>	<b>-0,3688</b>
	$p$	0,070	0,078	0,013	0,041	0,027

Sezonowe zmiany NAO(R) w czasie od sierpnia do października objaśniają 26% zmienności sumy opadów w tym czasie uśrednionej na obszarze całej Polski (rys. 4).



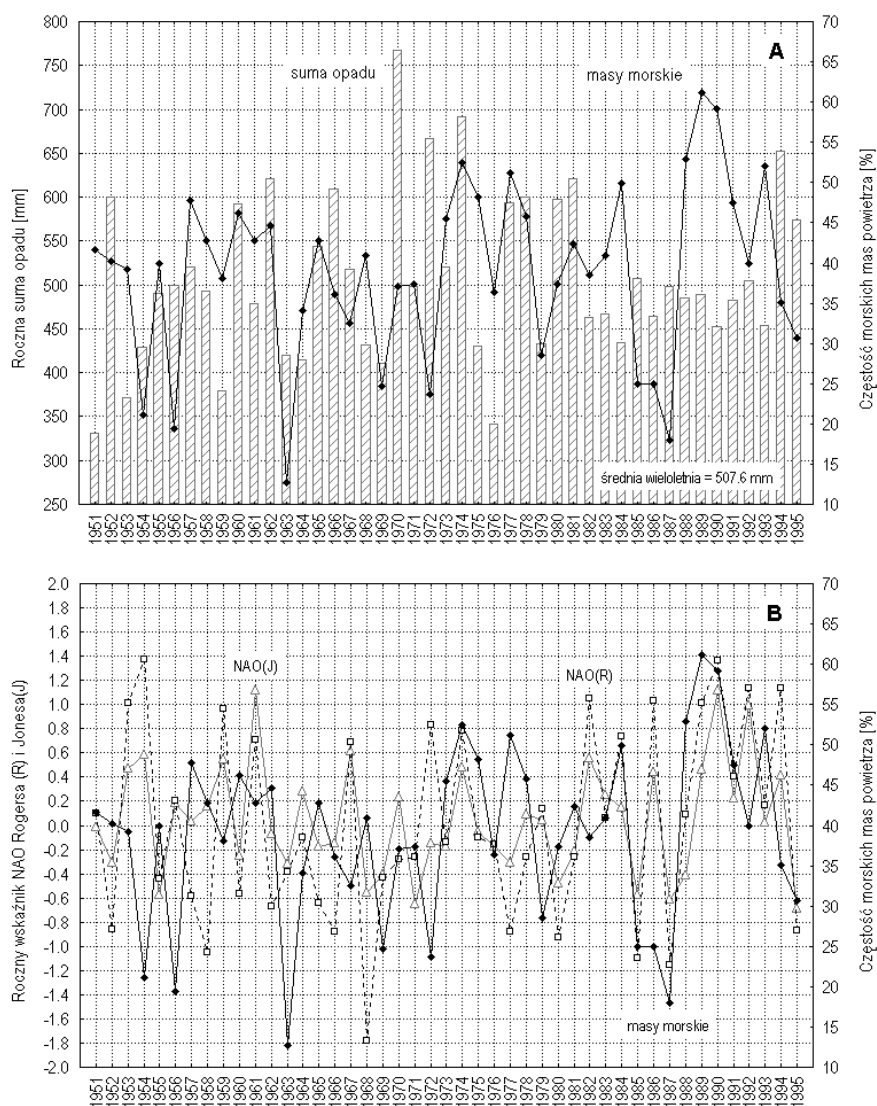
Rys. 4. Związek średniej sumy opadu w Polsce w okresie sierpień-październik ze średnim wskaźnikiem NAO Rogersa (Azory-Islandia) w tym samym czasie

Fig. 4. Correlation between the mean precipitation sum in Poland in the period August-October and the mean value of Rogers NAO index in the same period

Korelacja ta ma znak ujemny. Oznacza to, że w okresach przewagi południkowych form cyrkulacji atmosfery (ujemne NAO(R)) uśrednione sumy opadowe są wyższe od średniej wieloletniej i odwrotnie – okresom dominacji strefowych form cyrkulacji (dodatnie NAO(R)) na ogół towarzyszą niewielkie uśrednione sumy opadów. Latem i jesienią opady w Polsce związane są głównie ze strefami frontalnymi (głównie burze frontu chłodnego) lub konwekcją w obrębie wilgotnej masy powietrza. Niezbyt dużą zależność można wyjaśnić kilkoma przyczynami. Latem i jesienią przy dodatniej fazie NAO i przeważającym strefowym przenosie mas powietrza w Polsce, mimo częstego napływu morskich mas powietrza, obserwuje się na ogół niezbyt intensywne, choć częste opady i w rezultacie niewysokie ich sumy. Natomiast przy ujemnej fazie NAO i rozwijających się wtedy różnych formach południkowej cyrkulacji atmosfery, napływ „deszczodajnych” ciepłych i wilgotnych mas powietrza (PZm lub PPmc) uzależniony jest od położenia wyżu blokującego na wschód od Polski. Biorąc pod uwagę, że około 60% rocznej sumy opadów w Polsce przypada na okres od maja do października (Paszyński i Niedźwiedz 1991) dobrą ilustracją omawianych związków może być porównanie częstości występowania morskich mas powietrza w Warszawie i zmian rocznych wskaźników NAO(R) i NAO(J) z jednej strony oraz rocznych sum opadów i częstości występowania mas morskich z drugiej (rys. 5). Szczególną uwagę zwraca okres 1987-1991, w którym przy dużej zgodności zmian częstości mas morskich i NAO(R) oraz NAO(J) wystąpiły w Warszawie sumy opadów poniżej średniej wieloletniej.

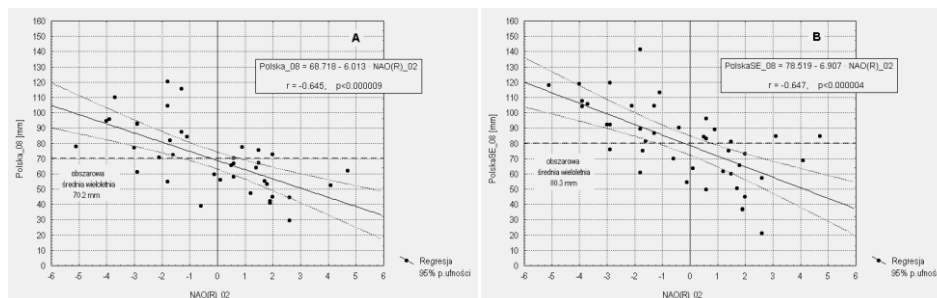
Wskaźnik NAO(R) podobnie jak NAO(H), wykazuje istotne statystycznie związki asynchroniczne. Zmiany NAO(R) w lutym objaśniają na poszczególnych stacjach od około 10% w Polsce Środkowej do około 30% w Polsce Południowej zmienności sum opadów w sierpniu. Znacznie większą zależność ( $d = 42\%$ ) sierpniowych opadów w Polsce od zmienności NAO(R) występującej w lutym uzyskuje się w odniesieniu do opadów uśrednionych obszarowo w całej Polsce (rys. 6a) i sektora południowo-wschodniego (rys. 6b). Podobne, choć o przeciwnym znaku, 6-miesięczne opóźnienie występuje między wskaźnikiem NAO(R) z lipca a opadami w grudniu na stacjach położonych na wschód od  $18^{\circ}\text{E}$ . Na zachód od tego południka korelacje w dalszym ciągu są dodatnie, ale nieistotne statystycznie.

Zależność miesięcznych sum opadów na stacjach charakteryzujących się długimi ciągami obserwacji od odpowiednich wartości NAO(R) jest istotna statystycznie. Niezbyt silna zależność występuje na stacjach położonych na północy Polski – w Szczecinie i Koszalinie, gdzie w lutym, sierpniu, wrześniu i listopadzie zmiany NAO(R) objaśniają od 4 do 8% zmienności odpowiednich miesięcznych sum opadu. Podobną zależność stwierdzono w przypadku jesiennej uśrednionej sumy opadów na polskim wybrzeżu Bałtyku. Opady w położonej w głębi kraju Warszawie istotną statystycznie zależność od NAO osiągają jedynie we wrześniu ( $r = -0,39$ ,  $p < 0,000$ ), a we Wrocławiu tylko w marcu ( $r = -0,21$ ;  $p < 0,017$ ).



Rys. 5. Przebieg rocznych sum opadu [mm] i częstości występowania mas powietrza [%] wg Marsza w Warszawie (A) oraz rocznych wskaźników NAO Rogersa (Azory-Islandia) i Jonesa (Gibraltar-Islandia) w latach 1951-1995 (B)

Fig. 5. The distribution of annual precipitation sums [mm] and the frequency of occurrence of air masses [%] in Warszawa (A) and the annual Rogers NAO index (Azores-Iceland) and Jones index (Gibraltar-Iceland) in the period 1951-1995 (B)



Rys. 6. Związek sum opadu w sierpniu uśrednionych w całej Polsce (A) i w Polsce Południowo-Wschodniej (B) ze wskaźnikiem NAO Rogersa (Azory-Islandia) w lutym tego samego roku (1951-1995)

Fig. 6. Correlation between the precipitation sums in August averaged for the whole area of Poland (A) and SE Poland (B) and the Rogers NAO index (Azores-Iceland) in February in the same year (1951-1995)

### Wnioski

Z przedstawionych analiz wynika, że istnieją bezpośrednie związki zachodzące między zmianami natężenia i charakteru Oscylacji Północnego Atlantyku a zmianami sum opadów w niektórych miesiącach i sezonach na obszarze Polski. Na ogół są one niezbyt silne (ale istotne statystycznie) i objaśniają od 10 do 15% zmienności opadów zimą oraz od 10 do 30% zmienności opadów latem. Korelacje te mają znak ujemny, co wskazuje na wzrost sum opadów w okresie wzrostu natężenia cyrkulacji południkowej, a spadek sum opadów przy cyrkulacji zachodniej.

Wykryte zależności wymagają dalszych badań, zwłaszcza że w przyjętym do badań okresie (1951-1995) mieszczą się dwie odmienne epoki cyrkulacyjne NAO. Wyjaśnić należy między innymi, czy stwierdzony charakter związków natężenia opadów ze zmianami NAO występuje również w każdej z epok cyrkulacyjnych z osobna. Badania Marsza i Styszyńskiej (2001) nad zmiennością temperatury powietrza w Polsce w świetle zmian NAO w poszczególnych epokach cyrkulacyjnych NAO wskazują, że w poszczególnych epokach cyrkulacyjnych siła tych związków może być różna.

Stwierdzenie silnych zależności letnich sum opadów od zimowych wskaźników NAO wskazuje, iż omawiane zależności mają charakter skomplikowanych interakcji hydroklimatycznych i zachodzą na dużych przestrzeniach.

### LITERATURA

- Degirmendzić J., Kożuchowski K., Marciniak K., 2000, *Zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Polsce między dekadami 1959-1968 i 1989-1998 na tle warunków cyrkulacyjnych*. AUNC, Geografia, 31, nr 106, 92-110.
- Hurrell J.W., 1995, *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationship to regional temperature and precipitation*. Science 269, 676-679.
- 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*. International Journal of Climatology 17, 1433-1450.



- Kożuchowski K., 1994, *Zmiany wskaźnika opadów atmosferycznych w Polsce (1861-1990)*. Rozprawy i Studia Uniw. Szczecińskiego, t.152, 73-104.
- Kożuchowski K., Degirmendżić J., Fortuniak K., Wibig J., 1999, *Tendencje zmian sezonowych aspektów klimatu w Polsce*. [W:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski*. Łódź, 4-6 listopada 1999, 107-122.
- Kożuchowski K., Wibig J., 1988, *Kontynentalizm pluwialny w Polsce: różnicowanie geograficzne i zmiany wieloletnie*. Acta Geogr. Lodz., 55.
- Lorenc H., 1998, *Przyczyny, wielkość i skutki katastrofalnych opadów w lipcu 1997 w Polsce*. Przegł. Geofiz., t. 43, nr 3-4, 191-206.
- Marsz A., 1999, *Oscylacja Północnoatlantycka a reżim termiczny zim na obszarze północno-zachodniej Polski i na polskim wybrzeżu Bałtyku*. Przegł. Geogr., t.71, nr 3, 225-245.
- Marsz A., Styszyńska A., 2000 *Fazy kontynentalizacji i oceanizacji klimatu nad obszarem Bałtyku w XIX i XX wieku*. AUNC, Geografia, 31, nr 106, 183-200.
- Marsz A., Styszyńska A., 2001, *Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską*. WSM w Gdyni, 101.
- Marsz A., Żmudzka E., 1999, *Oscylacja Północnego Atlantyku a długość okresu wegetacyjnego w Polsce*. Przegł. Geofiz., t.44, nr 4, 199-210.
- Miętus M., 1996, *Zmienność temperatury i opadów w rejonie polskiego wybrzeża Morza bałtyckiego i jej spodziewany przebieg do roku 2030*. Materiały Badawcze IMGW, Seria Meteorologia – 26, Warszawa.
- Mycielska H., 1979, *Atlas typowych sytuacji synoptycznych przy występowaniu opadów powodziowych w dorzeczu górnej Wisły (1951-1960)*. IMGW Warszawa.
- Niedźwiedź T., 2000, *Dynamika adwekcji mas powietrza arktycznego nad Polską Południową*. AUNC, Geografia, 31, nr 106, 203-211.
- Paszyński J, Niedźwiedź T., 1991, *Klimat*. [W:] *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*. PWN Warszawa, 296-350.
- Rogers J.C., 1997, *North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe*. Journal of Climate 10(7), 1635-1647.

*Anna Styszyńska*

*Wyższa Szkoła Morska w Gdyni*

*Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej*

*Wydziału Nawigacyjnego*

## OSCILLATION OF THE NORTH ATLANTIC AND THE PRECIPITATION IN POLAND

### SUMMARY

The work presents correlation between the precipitation in the area of Poland and the NAO indexes describing the atmospheric circulation over the North Atlantic. The analysis made use of monthly, seasonal and annual values of the Rogers NAO index (Azores-Iceland), Jones index (Gibraltar-Iceland) and the winter Hurrell index. The analysis was carried out on the basis of data from 26 stations (Fig. 1) in the same observational period 1951-1995 and from four stations (Szczecin, Koszalin, Warszawa and Wrocław) in long-term observational period (1865-1990).

Over the period 1951-1995 statistically significant correlations ( $p < 0.05$ ) between the winter NAO index and the precipitation sum occurred only at the stations located in the lake district in the north of Poland (Fig. 2). Asynchronous correlations between the Hurrell NAO index and summer and autumn precipitation sums were also observed, mainly in the north and east of Poland.

The statistically significant correlations between the monthly precipitation sums and the appropriate Rogers and Jones NAO indexes are not too strong and explain 10%-15% of changeability of the winter precipitation and 10%-30% of the precipitation in summer (Fig. 3). The precipitation sums averaged for the whole area of Poland and for sectors NW, SW, SE and NE showed statistically significant correlation only at the end of summer and in autumn (Table 1, Fig. 4). These correlations are preceded by a minus sign which indicates to the increase in the precipitation sums in the period marked by the increase in meridional circulation and the decrease in the precipitation sums when the western circulation is observed. The strongest correlations were noted between the winter NAO indexes and the summer precipitation sums (Fig. 6) which pointed to a complicated nature of hydro-climatic interactions of the analysed correlation.