

## O ZWIĄZKACH ZMIAN CIŚNIENIA W BASENIE MORZA ŚRÓDZIEMNEGO ZE ZMIANAMI CIŚNIENIA W ARKTYCE ATLANTYCKIEJ (1951-2008)

CORRELATION OF CHANGES IN PRESSURE BETWEEN THE BASIN  
OF THE MEDITERRANEAN SEA AND THE ATLANTIC ARCTIC (1951-2008)

Jacek Ferdynus

Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej, Wydział Nawigacyjny, Akademia Morska  
ul. Sędzickiego 19, 81-374 Gdynia  
jacenty@am.gdynia.pl

**Zarys treści.** Praca charakteryzuje miesięczne rozkłady przestrzenne związków między zmianami ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza (SLP) nad Morzem Śródziemnym a zmianami SLP w Arktyce Atlantyckiej. Stwierdzono występowanie znacznych różnic regionalnych między zachodnią i wschodnią częścią Morza Śródziemnego. Nad zachodnią częścią morza związki te są silne i istotne statystycznie przez 9 miesięcy w roku, nad wschodnią – istotne, choć słabsze i ograniczone do 5 miesięcy. W obu częściach morza najsilniejsze związki zaznaczają się w miesiącach zimowych (listopad-marzec), zanikają w kwietniu oraz lipcu i sierpniu. Ich siła zmienia się w czasie: w latach 1951-1978 były słabsze, uległy wzmocnieniu w okresie 1978-2008. Wzrost siły związków stanowi rezultat spadku SLP w Arktyce Atlantyckiej i wzrostu SLP nad obszarem Morza Śródziemnego.

**Słowa kluczowe:** Arktyka Atlantycka, Morze Śródziemne, zmiany ciśnienia atmosferycznego.

### 1. Wprowadzenie

W pracy "O "arktycznych" i "atlantyckich" mechanizmach sterujących zmiennością temperatury powietrza na obszarze Europy i północno-zachodniej Azji" Marsz i Styszyńska (2006) wzmiankują o wykrytych przez nich statystycznie istotnych związkach między ciśnieniem atmosferycznym na poziomie morza (dalej SLP) w Arktyce Atlantyckiej a SLP nad obszarem Morza Śródziemnego. Autorzy ci stwierdzają, że korelacje te są ujemne i nad zachodnią częścią Morza Śródziemnego występują przez 10 miesięcy w roku (od września do czerwca), a nad wschodnią jego częścią – przez 5 miesięcy (od listopada do marca). Marsz i Styszyńska (2006) stwierdzone przez siebie związki SLP nad Morzem Śródziemnym i w Arktyce Atlantyckiej traktują jako "najprawdopodobniej" wykrytą wcześniej przez Rogersa (1990) oscylację SENA (Southern Europe – Northeast Atlantic).

Głównym celem tej pracy jest szczegółowa analiza związków pola SLP nad Morzem Śródziemnym ze zmianami SLP w Arktyce Atlantyckiej, zwłaszcza w aspekcie ich zmienności w przestrzeni i zróżnicowania w czasie. Pozwoli to na wyjaśnienie jak zmienia się z miesiąca na miesiąc charakter tych

związków w przestrzeni. Drugorzędnym celem pracy jest ustalenie, czy opisane związki między zmianami SLP w Arktyce Atlantyckiej i nad Morzem Śródziemnym są stabilne w funkcji czasu.

## 2. Materiały źródłowe, metody badań

W opracowaniu podstawowymi rodzajami danych są ciągi wartości miesięcznego ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza, opracowane przez NOAA (Kalany i in. 1996) i udostępnione przez IRI/LDEO Climate Data Library. Dane te zawarte są w zbiorze: NOAA.NCEP-NCAR.CDAS-1.MONTHLY.Intrinsic.MSL.pressure. Zbiór stanowi wynik reanalizy, szeregi rozpoczynają się od stycznia 1949 roku i są zorganizowane w postaci gridowej o rozdzielczości przestrzennej  $2,5 \times 2,5^\circ$ . Analizę przeprowadzono w przekrojach miesięcznych i rocznych dla okresu rozpoczynającego się w styczniu 1951 i kończącego się w grudniu 2008 (59 lat  $\times$  12 miesięcy).

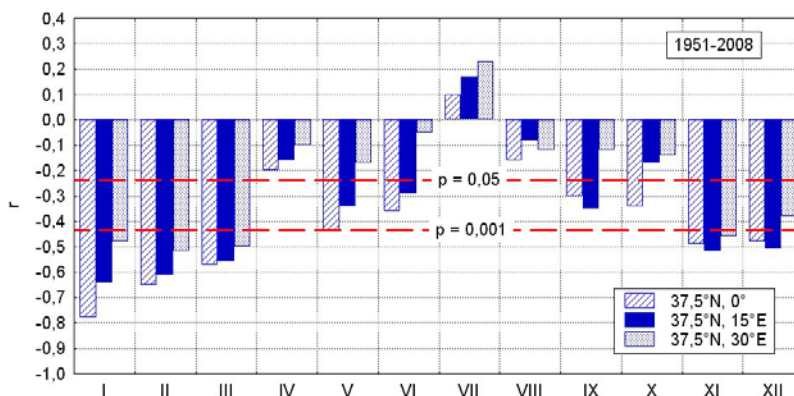
Dla basenu Morza Śródziemnego wykorzystano siatkę 160 punktów o rozdzielczości  $2,5 \times 2,5^\circ$  długości i szerokości geograficznej w obszarze pomiędzy  $30$  i  $47,5^\circ\text{N}$  oraz  $5^\circ\text{W}$  i  $42,5^\circ\text{E}$ . Dla Arktyki wybrano punkt o współrzędnych  $75^\circ\text{N}$  i  $15^\circ\text{E}$ , który położony jest w rejonie styku mórz Norweskiego, Grenlandzkiego i Barentsa, niemal dokładnie nad osią ciepłego Prądu Zachodniospitsbergeńskiego. Zmiany SLP w tym punkcie, według Marsza i Styszyńskiej (2006) w najpełniejszy sposób charakteryzują zmiany SLP na obszarze Arktyki Atlantyckiej, ograniczonej współrzędnymi  $72,5$ - $80^\circ\text{N}$  i  $10$ - $35^\circ\text{E}$ , które bardzo silnie wpływają na zmiany temperatury powietrza nad Europą i NW Azją.

W celu określenia zależności pomiędzy wartościami ciśnienia atmosferycznego w Arktyce Atlantyckiej a wartościami ciśnienia atmosferycznego w Basenie Morza Śródziemnego zastosowano metody analizy korelacyjnej. W oparciu o uzyskane współczynniki korelacji wykreślono mapy rozkładu izokorrelat. Mapy te kreślono automatycznie, wykorzystując do tego celu program SURFER 9 i stosując metodę zwykłego krigingu (ordinary kriging).

## 3. Rozkład przestrzenny związków SLP w punkcie $75^\circ\text{N}$ , $15^\circ\text{E}$ i w basenie Morza Śródziemnego

Analiza współczynników korelacji między miesięcznymi wartościami SLP w punkcie  $75^\circ\text{N}$  i  $15^\circ\text{E}$  a wartościami SLP w basenie Morza Śródziemnego wykazuje, że występuje między nimi wyraźna i silna zmienność w cyklu rocznym. W celu pokazania zróżnicowania przestrzennego tej zmienności, basen Morza Śródziemnego podzielono na trzy części: zachodnią, środkową i wschodnią. W każdej z nich wybrano jeden punkt leżący na tej samej szerokości geograficznej ( $37,5^\circ\text{N}$ ). W części zachodniej jest to punkt zlokalizowany na południku  $0^\circ$ , środkowej –  $15^\circ\text{E}$  i wschodniej –  $30^\circ\text{E}$ . Zmienność współczynników korelacji w poszczególnych miesiącach na tak określonych trzech obszarach badanego morza w całym analizowanym okresie (1951-2008) obrazuje ryc. 1. Na wykresie zaznaczono wartość graniczną współczynnika korelacji na poziomie  $p = 0,05$  (poziom ufności = 95%), która dla szeregu liczącego 59 par wynosi 0,24, a na poziomie  $p = 0,001$  ( $pu = 99,9$ ) –  $r = 0,435$ . Analiza ryc. 1 pozwala zauważyć, że w każdym z miesięcy, oprócz lipca, występują ujemne współczynniki korelacji. Oznacza to, że zmiany ciśnienia zachodzą nad oboma obszarami w przeciwfazie. Na całym Morzu Śródziemnym jedynie w kwietniu, lipcu i sierpniu współczynniki korelacji nie osiągają wartości przekraczających próg istotności statystycznej, a w październiku istotne związki występują tylko w zachodniej części morza. W pozostałych miesiącach nad poszczególnymi częściami Morza Śródziemnego występują

korelacje istotne. Nad zachodnią i środkową częścią Morza Śródziemnego korelacje stają się wysoce istotne ( $p < 0,001$ ) w okresie od listopada do marca oraz w maju. W całym basenie maksimum siły związku występuje w styczniu i lutym.



Ryc. 1. Zakres zmienności współczynnika korelacji ( $r$ ) między miesięcznymi wartościami SLP nad zachodnią (punkt  $37,5^{\circ}\text{N}$ ,  $0^{\circ}$ ), środkową (punkt  $37,5^{\circ}\text{N}$ ,  $15^{\circ}\text{E}$ ) i wschodnią (punkt  $37,5^{\circ}\text{N}$ ,  $30^{\circ}\text{E}$ ) częścią Morza Śródziemnego a SLP w punkcie  $75^{\circ}\text{N}$ ,  $15^{\circ}\text{E}$ .  $p$  – poziom istotności statystycznej

Fig. 1. Range of variability of the correlation coefficients ( $r$ ) between monthly SLP above western (point  $37,5^{\circ}\text{N}$ ,  $0^{\circ}$ ), central (point  $37,5^{\circ}\text{N}$ ,  $15^{\circ}\text{E}$ ) and eastern (point  $37,5^{\circ}\text{N}$ ,  $30^{\circ}\text{E}$ ) parts of Mediterranean Sea and at the point  $75^{\circ}\text{N}$ ,  $15^{\circ}\text{E}$ .  $p$  – level of statistical significance

Bardziej szczegółowy rozkład przestrzenny badanych związków przedstawiają mapy izokorelat wykreślone z cięciem wartości współczynnika korelacji  $r$  co  $0,05$  (ryc. 2). Przy omawianiu zróżnicowania przestrzennego zachowano kolejność kalendarzową.

### Styczeń

W styczniu w całym basenie Morza Śródziemnego zaznaczają się istotne, ujemne korelacje między analizowanymi elementami klimatycznymi, zmieniają się one w zakresie od  $-0,79$  (obszar rozciągający się od atlantyckiego wybrzeża Półwyspu Iberyjskiego przez centralną część Mesety Hiszpańskiej i zachodnią część Morza Śródziemnego po północną Afrykę) do  $-0,43$  na wschodnich krańcach tego morza. Przebieg izokorelat od zachodnich granic analizowanego obszaru do linii Peloponezu jest w przybliżeniu południkowy, dalej na wschód następuje zmiana przebiegu izolii – dominują przebiegi równoleżnikowe. Nad obszarami Europy leżącymi na północ od Morza Czarnego wartości współczynników korelacji szybko zmniejszają swoje wartości, tracąc istotność i dochodząc do wartości bliskich zeru na szerokości  $47,5^{\circ}\text{N}$ .

### Luty

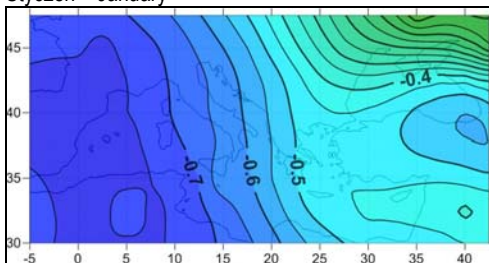
W tym miesiącu zakres zmienności współczynników korelacji jest mniejszy niż w styczniu; zmieniają się one w przedziale od  $-0,66$  (Półwysep Iberyjski) do  $-0,46$  (w rejonie Cypru i wybrzeży Izraela). Nad całym Morzem Śródziemnym, północną Afryką i zachodnią Europą związki są wysoce istotne statystycznie. Najslabsze związki występują nad północną częścią Morza Czarnego tam też lokalnie spadają poniżej progu istotności statystycznej (w rejonie Półwyspu Krymskiego i na NE od Krymu).

Przebieg izokorelat jest odmienny od ich przebiegu obserwowanego w styczniu, przede wszystkim maleje wyraźnie nad Morzem Śródziemnym zmienność przestrzenna siły związku, nie mniej jednak zaznacza się spadek siły związku z zachodu na wschód.

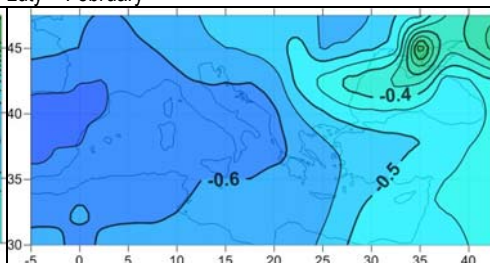
### Marzec

Rozkład przestrzenny współczynników korelacji w marcu jest bardzo zbliżony do tego, jaki obserwuje się w lutym. Prawie taki sam jest również zakres zmienności (od  $-0,63$  do  $-0,45$ ). Zmienia się natomiast orientacja przebiegu izokorelat – nad częścią środkową i wschodnią ich przebieg zbliżony

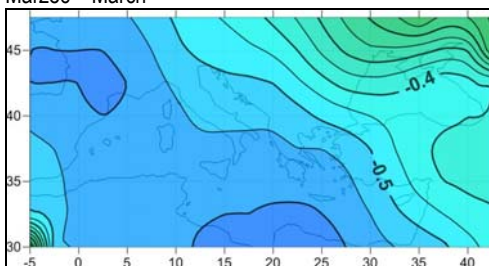
Styczeń – January



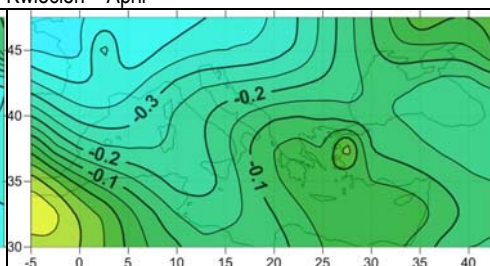
Luty – February



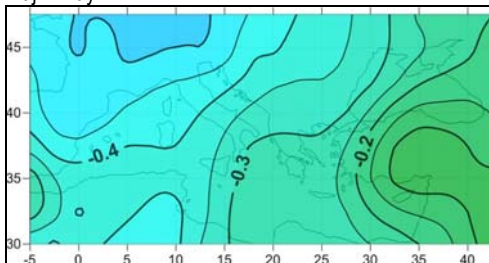
Marzec – March



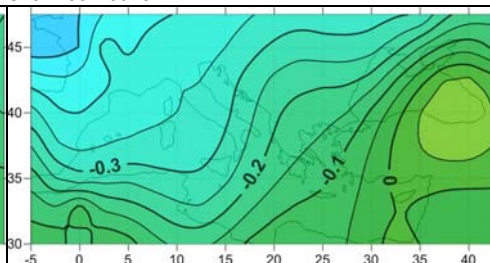
Kwiecień – April



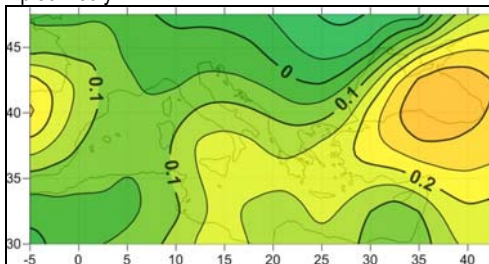
Maj – May



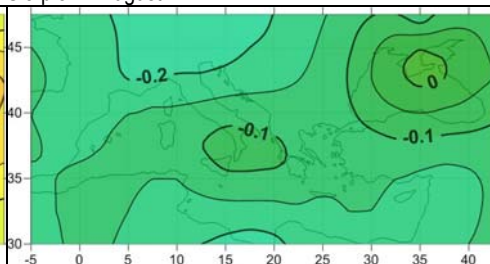
Czerwiec – June

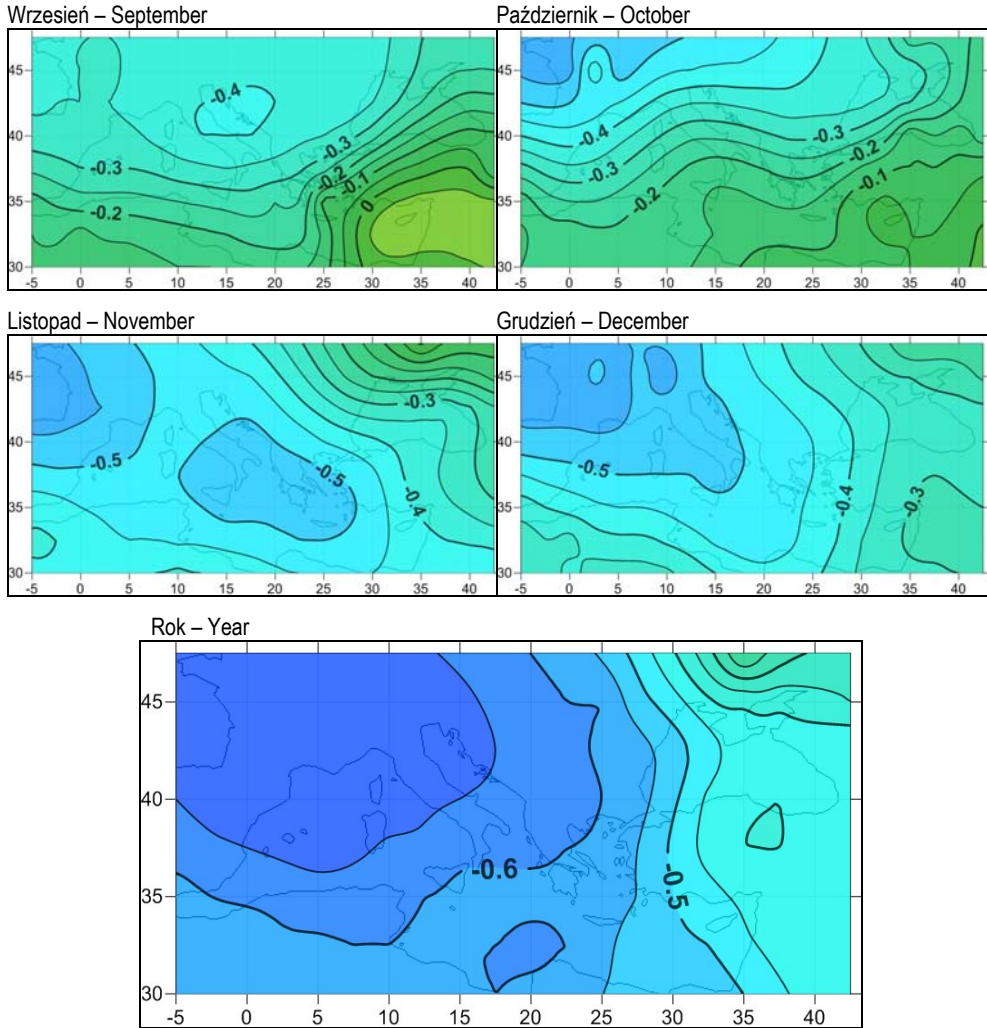


Lipiec – July



Sierpień – August





Ryc. 2. Mapy izokorelat między miesięcznymi i roczną wartościami SLP w punkcie 75°N, 15°E a miesięcznymi i roczną wartościami SLP nad Morzem Śródziemnym

Fig. 2. Maps of isocorrelates between monthly and annual SLP at the point 75°N, 15°E and monthly and annual SLP above Mediterranean Sea

jest do NW-SE. Na NE części obszaru (Europa Środkowa i Wschodnia) zaznacza się szybki spadek siły związku, gdy nad W i SW częścią Morza Śródziemnego korelacje są wszędzie wysoce istotne. Oś najsilniejszych korelacji ciągnie się od S części Zatoki Biskajskiej ( $r < -0,6$ ) po Wielką Syrtę ( $r < -0,6$ ).

### Kwiecień

W kwietniu statystycznie istotne współczynniki korelacji między SLP w Arktyce Atlantyckiej a SLP nad rozpatrywanym obszarem gwałtownie zmniejszają swój zasięg i lokują się głównie nad obszarem Europy Zachodniej (E część Półwyspu Iberyjskiego, Francja, Szwajcaria, północna Italia, Niemcy, ...). Występowanie statystycznie istotnych korelacji nad Morzem Śródziemnym ogranicza się do akwenów

między Sycylią a wybrzeżami Francji i E części Półwyspu Iberyjskiego. Wartości współczynników korelacji są tam niskie ( $r$  od  $-0,25$  do  $-0,35$ ). W rozkładzie rocznym po raz pierwszy obserwuje się wystąpienie dodatnich, choć nieistotnych statystycznie współczynników korelacji. Pojawiają się trzy izolowane obszary z dodatnimi wartościami  $r$ , są to: rejon NE Afryki, W część półwyspu Azji Mniejszej i N wybrzeża Morza Czarnego. Obraz rozkładu izokorelat jest zdecydowanie odmienny od tego jaki był obserwowany w poprzednich miesiącach.

### **Maj**

W maju dochodzi do wzrostu siły związków między SLP w Arktyce Atlantyckiej a SLP nad Morzem Śródziemnym. Nad całą zachodnią i środkową częścią Morza Śródziemnego występują słabe, ale istotne statystycznie korelacje ujemne ( $-0,45$  do  $-0,25$ ), nad E częściami tego morza korelacje słabną na tyle, że związki stają się nieistotne. Najsilniejsze korelacje ( $r > |-0,5|$ ) występują nad Francją i W częścią Niemiec. Ogólnie w maju siła związków spada z NW na SE, układ izokorelat przybiera orientację zbliżoną do NE-SE, a gradienty wzrostu siły związku przybierają orientację z S i SE na N i NW.

### **Czerwiec**

W czerwcu rozkład przestrzenny siły związków przypomina rozkład w maju, z tym, że na całym obszarze ich siła spada. Graniczna wartość istotnych korelacji ( $-0,24$ ) dzieli Morze Śródziemne wzdłuż linii: S Adriatyk – Kalabria – E wybrzeża Sycylii – wybrzeże Tunezji, na dwie części – zachodnią i północno-zachodnią, nad którą występują korelacje istotne oraz wschodnią i południowo-wschodnią, nad którą związki stają się nieistotne. Najsilniejsze związki ( $r < -0,35$ ) występują nad częścią Morza Śródziemnego leżącą między linią Korsyka – Baleary a wybrzeżami europejskimi. Nad E krańcami Morza Śródziemnego korelacje zmieniają znak, przechodząc do bardzo małych wartości dodatnich.

### **Lipiec**

Rozkład przestrzenny i wartości izokorelat w lipcu jest odmienny od wszystkich innych miesięcy. Praktycznie brak związków między SLP nad badanym obszarem a SLP w Arktyce Atlantyckiej. Nad całym obszarem Morza Śródziemnego korelacje są bardzo słabe (od bliskich zera do  $+0,16$ ) i dodatnie. Od Półwyspu Iberyjskiego przez środkową część Morza Śródziemnego i Azję Mniejszą do Morza Czarnego ciągnie się grzbiet słabych i bardzo słabych korelacji dodatnich. Nad obszarami lądowymi otaczającymi Morze Śródziemne korelacje stają się jeszcze słabsze. Najsilniejsze korelacje, również dodatnie, lokuje się nad obszarem Azji Mniejszej oraz nad SE częścią Morza Czarnego ( $r > 0,3$ ), gdzie stają się statystycznie istotne.

### **Sierpień**

W sierpniu, podobnie jak w lipcu, nie można mówić o istnieniu związków między SLP nad badanym obszarem a SLP w Arktyce Atlantyckiej. Współczynniki korelacji praktycznie wszędzie zmieniają znak i wracają do wartości ujemnych, ale pole związków staje się amorficzne – niemal całkowicie się rozmywa. Nad całym obszarem wartości współczynników korelacji są bardzo niskie – od powyżej  $-0,1$  do nieco mniej niż  $-0,2$ .

### **Wrzesień**

Rozkład izokorelat we wrześniu zaczyna tworzyć zdecydowany obraz. Najsilniejsze związki między SLP w Arktyce Atlantyckiej a SLP na rozpatrywanym obszarze ( $r < -0,4$ ) zaznaczają się nad środkowym Adriatykiem i środkową częścią Półwyspu Apenińskiego. Najsłabsze występują nad E krańcami Morza

Śródziemnego, gdzie w rejonie Cypru, wybrzeży syryjskich i tureckich pojawiają się ponownie bardzo słabe korelacje dodatnie. Nad zachodnią i środkową częścią morza ogólny przebieg izokorelat jest zbliżony do równoleżnikowego, siła związków spada w kierunku południowym. Na długości Peloponezu – Kreta izolnie gwałtownie zmieniają kierunek na południkowy, a dalej nad łądem na północo-wschodni. Słabe, ale statystycznie istotne związki obejmują całą zachodnią i środkową, ale bez jej południowej partii, część Morza Śródziemnego.

### **Październik**

Rozkład izokorelat w październiku przypomina ten obserwowany we wrześniu, przy czym siła związków na zachodzie i wschodzie uległa wzmocnieniu, a nad środkową częścią Morza Śródziemnego – osłabieniu. Na całym rozpatrywanym obszarze występują ujemne korelacje. Najsilniejsze mają miejsce nad Zatoką Biskajską i NW Francją ( $r < -0,5$ ). Statystycznie istotne korelacje występują jedynie nad zachodnią częścią Morza Śródziemnego.

### **Listopad**

W listopadzie ma miejsce generalna przebudowa pola siły związków. Pojawia się głęboka i rozległa zatoka wyznaczona przez izokorelatę  $-0,45$  o orientacji NW-SE, ciągnąca się od Zatoki Biskajskiej i atlantyckich wybrzeży Francji niemal po E krańce Morza Śródziemnego. Prawie cały obszar Morza Śródziemnego, za wyjątkiem jego najdalej na wschód wysuniętych części, jest objęty występowaniem wysoce istotnych korelacji ( $p < 0,001$ ). Zasadnicze cechy pola siły związków w listopadzie w dużym stopniu przypominają pole siły związków w marcu.

### **Grudzień**

Pole siły związków w grudniu zachowuje główne cechy pola z listopada. Siła związku maleje nieco na SE krańcu zasięgu "zatoki", a sama "zatoka" ulega przesunięciu na NE. Nad Morzem Śródziemnym obszar najsilniejszych związków z rejonu jego środkowej części w listopadzie przesunął się nad W i NW część morza. Praktycznie nad całym obszarem Morza Śródziemnego związki z SLP w Arktyce Atlantyckiej są statystycznie istotne; nad jego większością – wysoce istotne, nad E krańcami – istotne.

### **Rok**

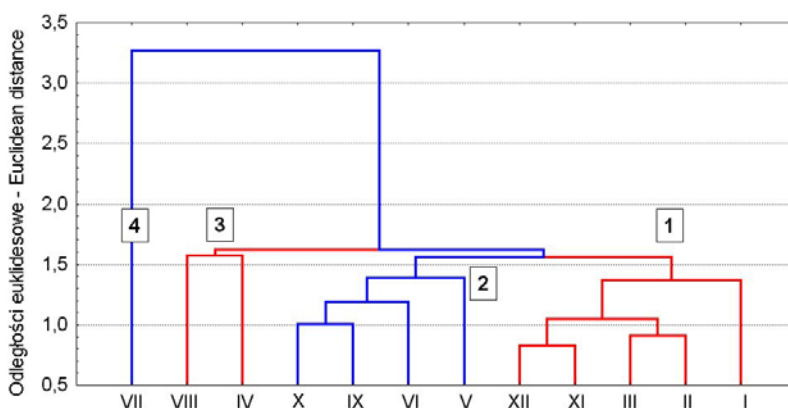
Rozkład izokorelat między średnim rocznym SLP nad rozpatrywanym obszarem a średnim rocznym SLP w Arktyce Atlantyckiej najbardziej przypomina grudniowe pole związków (ryc. 2). Zaznacza się w nim rozległa zatoka najsilniejszych związków ( $-0,6 < r < -0,65$ ) o takiej samej orientacji jak w grudniu i gwałtowna zmiana orientacji przebiegu izolnie nad E częścią Morza Śródziemnego. W porównaniu z polem grudniowym wartości izokorelat uległy tu wzmocnieniu o  $|0,1| - |0,15|$ . Takie wykształcenie pola związków "średnich rocznych" stanowi rezultat zasadniczego wpływu zmienności SLP miesięcy zimowych nad Morzem Śródziemnym i w Arktyce Atlantyckiej na wartość średniego rocznego SLP. W Arktyce Atlantyckiej, w wieloleciu, SLP właśnie w grudniu osiąga minimum, co może świadczyć, że o sile korelacji SLP nad obu oddalonymi od siebie obszarami w większym stopniu decyduje zmienność SLP w Arktyce Atlantyckiej niż zmienność SLP nad Morzem Śródziemnym.

Do bardziej precyzyjnego, niż wizualna ocena, określenia stopnia podobieństw rozkładu siły związków w poszczególnych miesiącach między SLP w Arktyce Atlantyckiej i nad Morzem Śródziemnym wykorzystano procedurę grupowania. Jej podstawą były zbiory współczynników korelacji zestawione dla wszystkich gridów analizowanego obszaru ( $30^{\circ}\text{N} - 47,5^{\circ}\text{N}$ ,  $5^{\circ}\text{W} - 42,5^{\circ}\text{E}$ ) dla każdego z miesięcy



(12 zmiennych). Obliczone odległości taksonomiczne pomiędzy poszczególnymi miesiącami dzielą zbiór 12 miesięcy na 4 grupy – typy (patrz ryc. 3).

W skład pierwszej grupy weszły: styczeń, luty, marzec, listopad i grudzień. Styczeń jest najmniej podobny do któregośkolwiek miesiąca w tej grupie, grudzień jest podobny do listopada, luty do marca. Grupa ta obejmuje miesiące, w których notuje się najsilniejsze, ujemne związki między ciśnieniem w punkcie 75°N i 15°E a ciśnieniem w basenie Morza Śródziemnego. Są to miesiące chłodnej pory roku: od listopada do marca, przy czym maksimum siły tych związków notuje się w styczniu. Nad całym Morzem Śródziemnym związki SLP ze zmianami ciśnienia w Arktyce Atlantyckiej są ujemne, silne i statystycznie istotne. W miesiącach tych wartości współczynników zmieniają się (słabną) z W-NW na E i SE.



Ryc. 3. Grupowanie współczynników korelacji miesięcznych SLP w Arktyce Atlantyckiej i nad Morzem Śródziemnym. Odległości euklidesowe

Fig. 3. Cluster analysis of correlation coefficients of monthly SLP in the Atlantic Arctic and above of the Mediterranean Sea based on Euclidean distance

Grupę drugą tworzą maj, czerwiec, wrzesień i październik. W grupie tej najbardziej podobne są do siebie miesiące jesieni – wrzesień i październik. W umiarkowanym stopniu podobny jest do nich czerwiec, a w jeszcze mniejszym – maj. W miesiącach tej grupy związki SLP nad Morzem Śródziemnym ze zmianami ciśnienia w Arktyce Atlantyckiej ujemne i istotne statystycznie są tylko w NW części basenu tego morza. W miarę przesuwania się na SE słabną i zmieniają znak. Izokorelaty rozciągnięte są z W-SW na E-NE.

Trzecią grupę tworzą kwiecień i sierpień. Dla obu tych miesięcy charakterystyczne są niskie i nieistotne statystycznie ujemne współczynniki korelacji nad całym obszarem Morza Śródziemnego, różne natomiast są cechy przestrzenne pola związków.

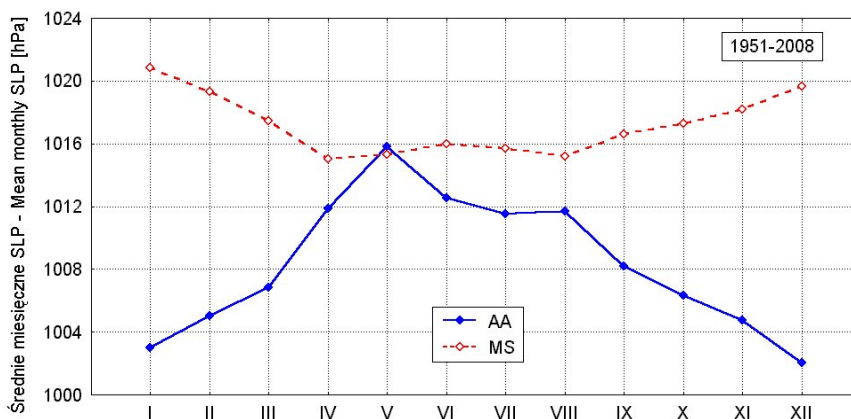
Grupę czwartą tworzy typ jednostkowy – lipiec. Wyróżnienie tego miesiąca jako osobnego typu nie budzi zdziwienia. Rozkład przestrzenny współczynników korelacji, a przede wszystkim ich dodatnie znaki na całym niemal badanym obszarze, wyraźnie czynią go niepodobnym do któregośkolwiek z pozostałych miesięcy. Pod tym względem lipiec wyróżnia się jako odrębna jednostka nawet w najprostszych analizach (patrz ryc. 1), dzieląca roczny cykl zmian siły związków na dwie wyraźne części.



Traktując przebieg zmian siły związków chronologicznie, można przeprowadzić następującą interpretację wyników grupowania. Silna i zwarta grupa pierwsza reprezentuje typ związków występujący w miesiącach zimowych. Związki te są silne nad całym obszarem Morza Śródziemnego, dominujący kierunek wzrostu siły związków w tym okresie następuje z ENE na WSW. Styczeń (środek zimy) dzieli okres zimowy wyraźnie na dwie części – "początku zimy" (listopad-grudzień) i "końca zimy" (luty-marzec). Związki okresu zimowego kończą się gwałtownie w kwietniu, kiedy następuje destrukcja charakteru (i pola) silnych związków zimowych. W kwietniu związki, choć są niemal na całym obszarze ujemne, stają się słabe, a kierunki, w których następuje wzrost ich siły tracą zdecydowanie. W maju i czerwcu dochodzi do tworzenia się nowego charakteru związków, w których ich siła ponownie rośnie, nie osiągając jednak siły związków zimowych. Orientacja izokorelat ulega przeorientowaniu w stosunku do zimowej – następuje obrót (rotacja) izokorelat w przybliżeniu o 90°. W maju i czerwcu kierunek, w którym na rozpatrywanym obszarze rośnie siła związków zmienia się z S-SE na N-NW.

W lipcu związki dotychczas istniejące zanikają, pojawiają się związki nieznacznie wyższe od zera, a wektory gradientu siły zmian wykazują chaotyczną orientację. W sierpniu, wektory gradientu nadal wykazują chaotyczną orientację, siła związków jest na całym obszarze niewiele różna od zera, ale związki przybierają znak ujemny, co jest typowe dla związków w innych, niż lipcu miesiącach. We wrześniu i październiku siła związków stopniowo wzrasta, ale wektory gradientów siły związków mają nadal przeważającą orientację typową dla cieplej pory roku, to jest z S-SE na N-NW.

Taka interpretacja wskazuje, że charakter rocznego "cyklu" zmian jest skomplikowany i nie stanowi prostej funkcji średnich miesięcznych różnic ciśnienia między obszarem Morza Śródziemnego a Arktyką Atlantycką (ryc. 4). W świetle kształtowania się średnich różnic ciśnienia między oboma obszarami nie jest zrozumiałym wzrost siły związków między SLP na obu obszarach w maju i czerwcu. Nie można wykluczyć, że następuje on pod wpływem innej, do tej pory niezidentyfikowanej mody cyrkulacyjnej, wykazując przypadkową zbieżność w czasie ze zmianami SLP na obszarze Arktyki Atlantyckiej.



Ryc. 4. Średnie miesięczne ciśnienie atmosferyczne [hPa] w punkcie 75°N, 15°E (AA – Arktyka Atlantycka) i nad Morzem Śródziemnym (MS) w okresie 1951-2008

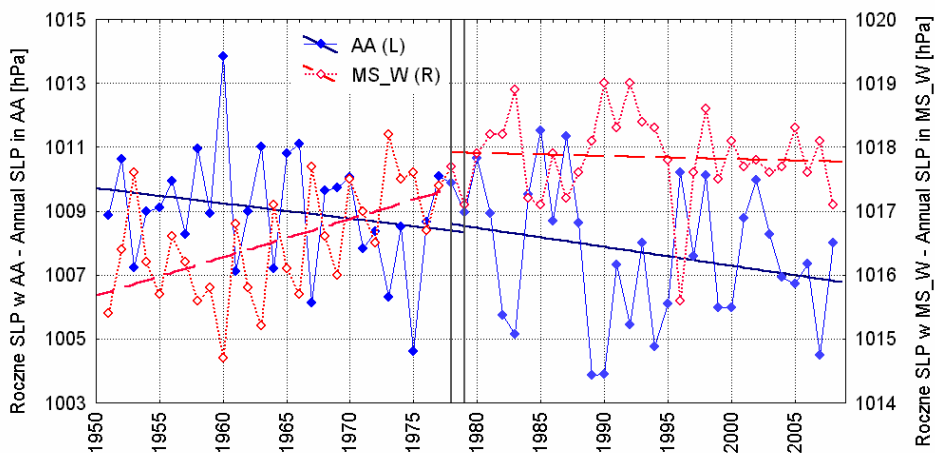
Fig. 4. Monthly means of atmospheric pressure [hPa] at the point 75°N, 15°E (AA – the Atlantic Arctic) and above the Mediterranean Sea (MS) in period 1951-2008

#### 4. Zagadnienie stabilności związków między zmiennością ciśnienia w Arktyce Atlantyckiej i w basenie Morza Śródziemnego

Rozpatrywane związki ciśnienia między Arktyką Atlantycką a Morzem Śródziemnym są silne. Jednak długookresowy przebieg zmian ciśnienia w Arktyce Atlantyckiej i nad Morzem Śródziemnym wykazuje dość poważne zmiany w czasie. Powstaje zatem pytanie, czy związki ciśnienia nad oboma obszarami są stabilne w czasie, czy też wykazują zmiany, a jeśli tak, to jaki jest charakter tych zmian.

Wobec dość szczegółowej znajomości rozkładu przestrzennego współczynników korelacji nad Morzem Śródziemnym w całym rozpatrywanym okresie 1951-2008, analizę ograniczono do trzech gridów leżących na szerokości 37,5°N, z których leżący na długości 0° charakteryzuje zmiany SLP na zachodniej (dalej oznaczenie W), leżący na długości 15°E – środkowej (oznaczony jako M), a położony na długości 30°E – wschodniej części Morza Śródziemnego (oznaczony jako E). Są to te same gridy, dla których przedstawiono zmiany miesięcznych współczynników korelacji na ryc. 1.

Analiza przebiegu rocznych wartości SLP w Arktyce Atlantyckiej (w punkcie 75°N, 15°E) w latach 1951-2008 wykazuje występowanie w nim słabego, ale statystycznie istotnego trendu ujemnego. Osiąga on wartość  $-0,048$  hPa rok<sup>-1</sup> i objaśnia około 13% zmienności SLP na tym obszarze. W samym przebiegu SLP zauważa się między latami 1976 a 1982 zmianę "rytmu" zmienności międzyrocznej. O ile w okresie poprzedzającym wymienione lata zmienność ta nie tworzyła wyraźnych okresowości, dłuższych od 2-3 lat, a lokalne minima były jednoroczne (SLP wyższe – niskie – wyższe), to w następnym okresie amplituda zmian wyraźnie wzrosła, a lokalne minima przeważnie tworzą dwa kolejne lata o niskim ciśnieniu (SLP wyższe – niskie – niskie – wyższe; patrz ryc. 5), pojawiła się też okresowość 5-8-letnia. W stosunku do poprzedniego okresu, w latach 1978-2008 pogłębiły się również spadki ciśnienia rocznego.



Ryc. 5. Przebieg rocznych wartości SLP [hPa] w Arktyce Atlantyckiej (AA) i nad zachodnią częścią Morza Śródziemnego (MS\_W). Zaznaczono linie trendów w okresach 1951-1978 oraz 1978-2008

Fig. 5. Course of annual SLP [hPa] in the Atlantic Arctic (AA) and above western part of Mediterranean Sea (MS\_W). Linear trends in 1951-1978 and 1978-2008 were marked

W badanym okresie (1951-2008), w przebiegu rocznych wartości SLP nad W częścią Morza Śródziemnego występuje statystycznie istotny trend dodatni o wartości 0,040 hPa rok<sup>-1</sup>, objaśniający ~42% wariacji SLP na tym obszarze. Również istotny, nieco słabszy trend dodatni (0,033 hPa rok<sup>-1</sup>) występuje nad obszarem środkowej części Morza Śródziemnego; objaśnia on tam 33% zmienności SLP. Nieco silniejszy niż nad W częścią Morza Śródziemnego trend SLP zaznacza się nad E częścią tego morza, jego wartość to 0,045 hPa rok<sup>-1</sup>, objaśnia on jednak tylko 37% wariacji SLP na tym obszarze.

Wystąpienie trendów SLP o przeciwnych znakach na obszarze Arktyki Atlantyckiej i nad Morzem Śródziemnym wskazuje na postępujący wzrost różnic ciśnienia między tymi obszarami. Bardziej szczegółowy przegląd przebiegu rocznego SLP nad Morzem Śródziemnym wskazuje, że w rzeczywistości tylko w okresie między rokiem 1951 a latami 1977-1978 trend SLP nad zachodnią i środkową częścią morza jest istotny (W: +0,060; M: +0,048 i E: +0,009 hPa rok<sup>-1</sup>), choć nad całym Morzem Śródziemnym dodatni. W latach między 1977 a 1980 dochodzi do "przełamania" przebiegu, dalszy wzrost ciśnienia ustaje, po roku 1978 trendy SLP stają się bliskie zeru (W: -0,008; M: -0,012 i E: +0,008 hPa rok<sup>-1</sup>) i statystycznie nieistotne nad całym obszarem Morza Śródziemnego (ryc. 5).

Taki przebieg zmian ciśnienia zarówno w Arktyce Atlantyckiej jak i nad Morzem Śródziemnym pozwala cały badany okres podzielić na dwa podokresy o podobnej długości: pierwszy od roku 1951 do 1978 (A; 28 lat) i drugi od 1978 do 2008 (B; 30 lat). Korelacje między miesięcznymi zmianami SLP w Arktyce Atlantyckiej a SLP nad Morzem Śródziemnym (patrz tab. 1) w obu tych podokresach wskazują, że związki te nie są stacjonarne.

Tabela 1 – Table 1

Współczynniki korelacji między zmiennością ciśnienia w Arktyce Atlantyckiej a zmianami ciśnienia nad zachodnią (W; 37.5°N, 000°), środkową (C; 37.5°N, 015°E) i wschodnią (E; 37.5°N, 030°E) częściami Morza Śródziemnego w podokresach 1951-1978 (A) i 1979-2008 (B)

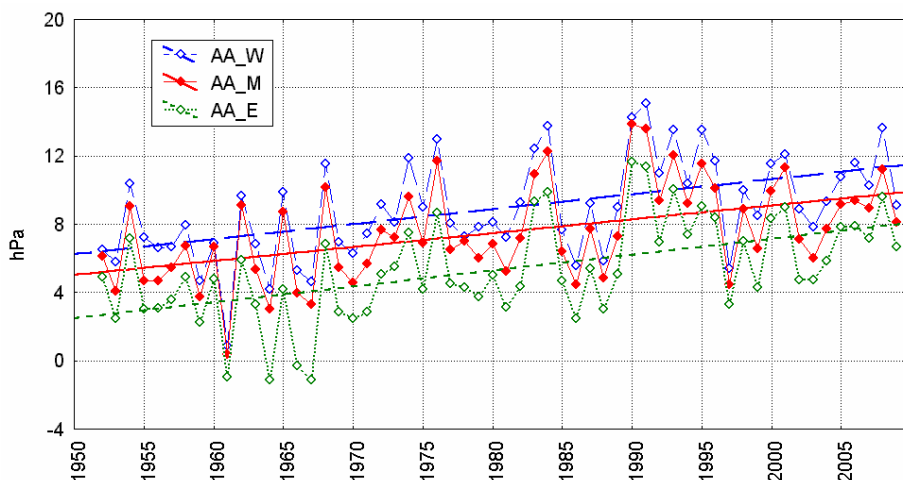
The correlation coefficients between the variation of pressure in the Atlantic Arctic and changes in pressure over the western (W; 37.5°N, 000°), central (C; 37.5°N, 015°E) and eastern (E; 37.5°N, 030°E) parts of the Mediterranean Sea in the sub-periods 1951-1978 (A) and 1979-2008 (B)

Miesiąc Month		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok Year
W	A	-,58	-,48	-,48	-,12	-,36	-,48	-,06	-,23	-,11	-,28	-,47	-,49	-,67
	B	-,84	-,71	-,67	-,26	-,49	-,29	,27	,00	-,44	-,44	-,51	-,47	-,57
C	A	-,34	-,51	-,52	-,18	-,34	-,52	,10	-,20	-,39	-,12	-,53	-,59	-,56
	B	-,72	-,63	-,59	-,12	-,32	-,15	,21	,04	-,33	-,27	-,52	-,43	-,56
E	A	-,27	-,40	-,44	-,17	-,01	-,18	,28	-,13	,07	-,09	-,53	-,38	-,33
	B	-,46	-,54	-,53	,09	-,21	,06	,13	,06	-,33	-,26	-,38	-,40	-,54

W obu podokresach najsilniejsze związki między SLP w Arktyce a SLP nad Morzem Śródziemnym zaznaczały się na obszarze zachodniej części tego morza, najsłabsze na wschodzie, tak więc zasadnicze cechy ich rozkładu przestrzennego pozostały podobne. Siła związków i ich rozkład w czasie wykazuje natomiast istnienie różnic między podokresami. W drugim podokresie (1978-2008) doszło do wyraźnego wzrostu siły związków.

Nad obszarem W części morza czas, w którym związki te są statystycznie istotne wydłużył się z 5 do 7 miesięcy, od września do marca włącznie. W styczniu, w którym siła związków osiąga maksimum współczynnik korelacji wzrósł z  $|-0,58|$  do  $|-0,84|$ . Na obszarze środkowej i wschodniej części Morza Śródziemnego również wzrosła liczba miesięcy, w których związki stały się statystycznie istotne (z 4 do 5), nastąpiła konsolidacja związków w okresie zimowym (w latach 1951-1978 w styczniu nie występowały związki statystycznie istotne), wzrosła siła związków. Doszło również do przesunięcia się momentu wystąpienia maksymalnej siły związków z grudnia na styczeń na obszarze środkowej części Morza Śródziemnego i z listopada na luty na obszarze wschodniej części tego morza. Co ciekawe, te znaczne zmiany siły związków w rozkładzie miesięcznym między oboma podokresami nie znajdują wyraźniejszego odbicia w wartościach współczynników korelacji między rocznymi wartościami SLP (patrz tab. 1).

Niestacjonarność związków, jak można sądzić, stanowi rezultat zmian ciśnienia o przeciwstawnych kierunkach, jakie zachodziły w obu podokresach nad obszarami Arktyki Atlantyckiej i Morza Śródziemnego, prowadzących do wzrostu różnicy ciśnienia między tymi obszarami (patrz ryc. 6). Trzeba jednak zwrócić uwagę na fakt, że o ile w latach 1951-1978 trend różnic rocznego ciśnienia między Morzem Śródziemnym a Arktyką Atlantycką wynosił dla zachodniej części morza  $+0,107$ , środkowej  $+0,096$ , a wschodniej  $+0,056$  hPa rok<sup>-1</sup>, to w latach 1978-2008 te same trendy wynosiły odpowiednio  $+0,044$ ,  $+0,038$  i  $+0,058$  hPa rok<sup>-1</sup>. Oznacza to, że nad obszarem zachodniej i środkowej części Morza Śródziemnego w latach 1978-2008 były znacznie wyższe różnice ciśnienia niż nad wschodnią częścią tego morza w stosunku do poprzedniego (1951-1978) okresu. O ile jednak nad zachodnią i środkową częścią Morza Śródziemnego w latach 1977-1978 doszło do spowolnienia wzrostu różnic ciśnienia, to nad wschodnią częścią tego morza wzrost różnic ciśnienia w latach 1978-2008 trwa nadal z praktycznie taką samą prędkością jak w poprzedzającym okresie lat 1951-1978.



Ryc. 6. Przebieg rocznej różnicy SLP w punkcie 75°N, 15°E (AA – Arktyka Atlantycka) i wartościami SLP nad zachodnią (AA\_W), środkową (AA\_M) i wschodnią (AA\_E) częściami Morza Śródziemnego

Fig. 6. Course of annual differences SLP between the point 75°N, 15°E (AA – the Atlantic Arctic) and western (AA\_W), central (AA\_M) and eastern (AA\_E) parts of the Mediterranean Sea

## 5. Wnioski

Przedstawiony przebieg zmian związków między ciśnieniem atmosferycznym w punkcie położonym niemal dokładnie nad osią Prądu Zachodniospitsbergeńskiego (75°N i 15°E) a przebiegiem ciśnienia atmosferycznego w basenie Morza Śródziemnego pozwala stwierdzić, że pomiędzy tymi elementami meteorologicznymi występują niezbyt stabilne w czasie, ale względnie stabilne w przestrzeni, istotne statystycznie zależności występujące głównie w okresie zimowym – od listopada do marca.

Zasięg przestrzenny omawianych związków nie ogranicza się tylko do obszaru Morza Śródziemnego, ale w okresie zimowym i w skali rocznych zmian SLP obejmuje również obszary Półwyspu Iberyjskiego, Francji i Niemiec. Jest zatem większy od tego, jaki podają Marsz i Styszyńska (2006).

Ujemne i istotne statystycznie korelacje między ciśnieniem w Atlantyckiej Arktyce a ciśnieniem w basenie Morza Śródziemnego obserwuje się przede wszystkim w zachodniej części tego morza, szczególnie w okresie od października do maja, a nawet czerwca, z przerwą w kwietniu. Z kolei we wschodniej części basenu Morza Śródziemnego zależności te obserwuje się jedynie od listopada do marca i nigdy nie osiągają one wartości notowanych w części zachodniej.

Przeprowadzona analiza związków między ciśnieniem w punkcie 75°N i 15°E a ciśnieniem w basenie Morza Śródziemnego pozwala zauważyć, że związki między tymi elementami tworzą pewien cykl roczny. Cykl ten rozpoczyna się we listopadzie, tworząc „zimowe pole związków”. Okres ten trwa przez kolejne miesiące zimowe aż do marca, przy czym maksymalna siła związków notowana jest w styczniu. W kwietniu następuje gwałtowna zmiana charakteru zależności o czym świadczy zmniejszenie siły związków, jak i układ przestrzenny izokorelat. W maju i czerwcu nad zachodnią i środkową częścią basenu Morza Śródziemnego pojawia się nowy typ związków, które można nazwać "wczesno-letnim", w tym samym czasie nad wschodnią częścią basenu Morza Śródziemnego związki między SLP w Arktyce Atlantyckiej a SLP nad tym obszarem praktycznie zanikają.

W okresie letnim (lipiec-sierpień) związki między SLP w Arktyce Atlantyckiej a SLP nad Morzem Śródziemnym zanikają nad całym obszarem Morza Śródziemnego. Jesienią (wrzesień-październik) pojawiają się nad zachodnią częścią Morza Śródziemnego ponownie związki istotne statystycznie, jednak o niebyt dużej sile. Charakter rozkładu przestrzennego związków "jesiennych" jest jednak różny od typu związków zimowych, bardziej przypominając te, które występują w maju i czerwcu.

Główną przyczyną różnicującą pola związków na zimowe i "nie-zimowe" jest kształtowanie się różnic ciśnienia między obszarem Morza Śródziemnego a Arktyką Atlantycką. Zimowe pola silnych związków kształtują się wtedy, gdy miesięczne różnice ciśnienia między obszarem Morza Śródziemnego a Arktyką Atlantycką przekraczają 10,5-11,0 hPa (ryc. 4). Ponieważ tak duże różnice ciśnienia między wschodnią częścią Morza Śródziemnego a Arktyką Atlantycką są rzadsze, siła związków na wschodniej części Morza Śródziemnego słabnie ku wschodowi.

Główną przyczyną niestabilności związków w czasie jest zmiana trendów w przebiegach ciśnienia nad oboma obszarami, jaka zaszła w rozpatrywanym okresie lat 1951-2008 i związane z nimi zmiany różnic ciśnienia, wymuszające zmiany siły związków. Zmiana trendów w przebiegu ciśnienia nad Morzem Śródziemnym nastąpiła w latach 1977-1978. W podobnym momencie zaznaczyły się zmiany w charakterze przebiegu ciśnienia w Arktyce Atlantyckiej. Może to wskazywać, że stanowi to efekt opisaną przez Marsza (2007) zmiany reżimu cyrkulacyjnego półkuli północnej. Podwyższone w okresie 1978-2008, w stosunku do lat 1951-1978, SLP nad Morzem Śródziemnym i spadek SLP w Arktyce

Atlantyckiej spowodował wzrost różnicy ciśnienia między oboma obszarami i wzmocnienie się przejawów telekoneksji między zmianami ciśnienia na obu obszarach. Sam mechanizm tej telekoneksji pozostaje nieznanym.

## Literatura

- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D., 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77 (3): 437-471.
- Marsz A.A., 2007. Czy w latach 1976-1978 nastąpiła zmiana reżimu cyrkulacyjnego i klimatycznego półkuli północnej. *Przegląd Geofizyczny*, 52 (1): 7-25.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2006. O "arktycznych" i "atlantyckich" mechanizmach sterujących zmiennością temperatury powietrza na obszarze Europy i północno-zachodniej Azji. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 16: 47-89.
- Rogers J.C., 1990. Patterns of low-frequency monthly sea-level pressure variability (1899-1986) and associated wave cyclone frequencies. *Journal of Climate*, 3 (12): 1364-1379.

Wpłynęło: 2 września 2009; poprawiono: 20 października 2009.

## Summary

The process of changes of relations between the atmospheric pressure at the point over the West Spitsbergen Current axis (75°N and 15°E) and the atmospheric pressure at the Mediterranean Basin show that there are statistically remarkable interrelations within the meteorological elements, unstable in time, relatively stable in space and they appear during the winter period – from November to March. The space range covers also the areas of the Iberian Peninsula, France and Germany – especially in winter time and in the SLP scale.

The negative and statistically important correlations between the Atlantic Arctic pressure and the Mediterranean Basin pressure can be observed mainly in the western part of the sea in the October-May period or even October-June period with the break in April. Such correlations can be observed in the eastern part of Mediterranean Basin only in the November-March period but they do not reach the western part values.

The reason differentiating the winter correlations and non-winter ones is the difference of pressure between the Mediterranean Sea and the Atlantic Arctic. The strong relations appear in the conditions of big pressure differences (10.5-11.0 hPa between the Mediterranean Sea and the Atlantic Arctic).

The reason of instability of these relations in time is the trend change above both areas. The change of the trend took place over the Mediterranean Sea and the Arctic in the years 1977-1978. It is considered that it is the effect of the change of the circulation system of the Northern Hemisphere.

**Key words:** Atlantic Arctic, Mediterranean Sea, atmospheric pressure change.