

◆◆◆◆ ORIGINALNE PRACE ◆◆◆◆ I PRZYCZYNKI

Andrzej A. MARSZ

Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej WSM w Gdyni

Elwira ŻMUDZKA

Zakład Klimatologii UW

OSCYLACJA PÓŁNOCNEGO ATLANTYKU A DŁUGOŚĆ OKRESU WEGETACYJNEGO W POLSCE

THE NORTH ATLANTIC OSCILLATION AND THE LENGTH OF A VEGETATIVE PERIOD IN POLAND

Przyczyną odchyień elementów klimatu w danym sezonie czy też miesiącu od ich wartości średnich wieloletnich jest zmiana cyrkulacji atmosferycznej w stosunku do przeciętnej, występującej w analogicznym okresie nad danym obszarem. Zmiana cyrkulacji, poprzez zmianę struktury kierunków napływu mas powietrznych, pociąga za sobą zarówno bezpośrednie odchylenia tych elementów klimatu, które związane są z właściwościami termodynamicznymi i optycznymi mas powietrznych (temperatura powietrza, ciśnienie pary wodnej, przezroczystość powietrza...), jak i tych elementów, które związane są z towarzyszącymi napływowi danej masy procesami pogodotwórczymi (pogody frontalne czy wewnątrzmasowe, z ich całym skomplikowaniem, które kształtują np. zachmurzenie, usłonecznienie, opad czy prędkość i kierunek wiatru).

Procesy i zjawiska atmosferyczne przejawiające się w określonym układzie powiązanych ze sobą elementów pogody i klimatu stanowią jeden z ważniejszych abiotycznych komponentów każdego ekosystemu. Klimatyczne uwarunkowania rozwoju roślin są określane głównie przez warunki cieplne i wilgotnościowe. Warunki termiczne wegetacji są definiowane za pomocą rozmaitych wskaźników. Należą do nich m.in. daty początku i końca oraz czas trwania wybranych okresów termicznych istotnych dla rozwoju i produktywności roślin (Olszewski, Żmudzka, 1997). Jednym z nich jest pora roku ze średnią dobową temperaturą powietrza co najmniej 5°C, zwana meteorologicznym (termicznym) okresem (sezonem) wegetacyjnym.

Jednym z podstawowych obszarów klimatotwórczych rejonu Europy Środkowej, w tym i Polski, jest Północny Atlantyk. Procesy cyrkulacji atmosferycznej nad Północnym Atlantykiem w znacznej części warunkują również przebieg procesów cyrkulacyjnych nad Polską, przyczyniając się do obserwowanej zmienności warunków pogodowych. Jednym z najprostszych wskaźników, charakteryzujących cyrkulację atmosferyczną nad obszarem Północnego Atlantyku, jest wskaźnik Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO). Oscylacja Północnego Atlantyku przejawia się jako występowanie ujemnej korelacji między Wyżem Azorskim a Niżem Islandzkim; spadkowi ciśnienia w Niżu Islandzkim odpowiada wzrost ciśnienia w Wyżu Azorskim i odwrotnie. NAO występuje we wszystkich miesiącach roku, najwyraźniej i najsilniej zaznacza się jednak w okresie zimy. Zdecydowana większość badaczy genezę NAO wiąże z procesami współoddziaływania oceanu i atmosfery (Dickson i in., 1997). W ten sposób zmienność rozkładu przestrzennego zasobów ciepła w Północnym Atlantyku przekłada się na wielostronne oddziaływania o charakterze telekoneksji, wywierając wpływ na zmienność klimatu odległych obszarów.

Istnieje kilka miar NAO (Dickson i in., 1997). J. Hurrell (1995) definiuje wskaźnik NAO jako standaryzowaną średnią różnicę ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza między Lizboną a Stykkisholmur (Islandia) w okresie grudzień-marzec. Pozytywnej fazie NAO (wskaźnik NAO dodatni) odpowiada wzrost przenosu strefowego nad środkową i wschodnią częścią Północnego Atlantyku oraz nad zachodnią, północno-zachodnią i środkową Europą. Negatywnej fazie NAO (ujemny wskaźnik NAO) odpowiada wzrost częstości występowania południkowych form cyrkulacji nad tym obszarem. Częstość występowania określonych form cyrkulacji (strefowa, południkowa) jest w jakiejś mierze proporcjonalna do znaku i wartości wskaźnika NAO.

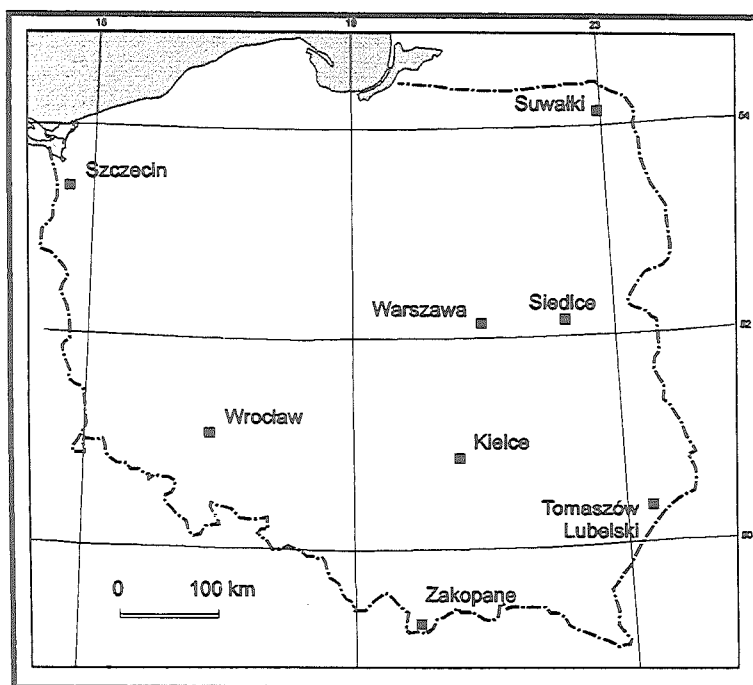
Wskaźnik J. Rogersa (1984a, b) stanowi znormalizowaną miesięczną różnicę ciśnienia na poziomie morza między Ponta Delgada (Azory) a Akureiri (Islandia). Zimowy wskaźnik NAO Rogersa stanowi średnią z grudnia, stycznia i lutego (Rogers, 1984a). Podobny wskaźnik, stanowiący średnią miesięczną różnicę ciśnienia między Gibraltarem a południowo-zachodnią Islandią, opracowali Jones, Jonsson i Wheeler (1997). Fizyczny sens tych wskaźników jest taki sam jak omówionego wcześniej wskaźnika Hurrella (1995).

Analiza związków średniej miesięcznej temperatury powietrza na obszarze Polski Północno-Zachodniej ze wskaźnikiem NAO według Hurrella (1995) wykazała istnienie korelacji między tymi wielkościami (Marsz, 1999). Korelacje istotne statystycznie występują w okresie od stycznia do kwietnia (r od 0,38 do 0,62), słabsze (r od 0,20 do 0,25), lecz również istotne, zaznaczają się także w miesiącach letnich (lipiec, sierpień). Stwierdzenie występowania tego rodzaju zależności sugeruje, że może istnieć związek długości okresu wegetacyjnego na obszarze Polski ze wskaźnikiem NAO. Podobne zależności zostały wcześniej wykryte na obszarze Skandynawii (Marshall i in., 1997).

Sugestie dotyczące możliwych związków długości i początku okresu wegetacyjnego w Polsce z NAO ulegają wzmocnieniu, gdyż w obu tych wielkościach wy-

kryto istnienie cykliczności quasi-ośmioletniej (Olszewski, Żmudzka, 1997). Silna cykliczność quasi-ośmioletnia jest charakterystyczna właśnie dla zimowego wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (Marsz, 1999; Żmudzka, 1999).

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie wyników badań nad związkami zmienności długości okresu wegetacyjnego na obszarze Polski ze zmiennością wskaźnika NAO. Wykorzystano dane z lat 1931–1990. Do wyznaczenia dat początku i końca oraz czasu trwania sezonu wegetacyjnego w kolejnych latach badanego 60-lecia posłużono się średnimi miesięcznymi wartościami temperatury powietrza z 8 stacji meteorologicznych IMGW, rozmieszczonych równomiernie na terenie Polski i reprezentujących obszary o różnych warunkach klimatycznych (rys. 1). Dane te zaczerpnięto z materiałów archiwalnych i publikowanych przez IMGW. Daty przejścia temperatury powietrza przez wartość progową 5°C wyliczono wykorzystując metodę G u m i ń s k i e g o (1950).



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych

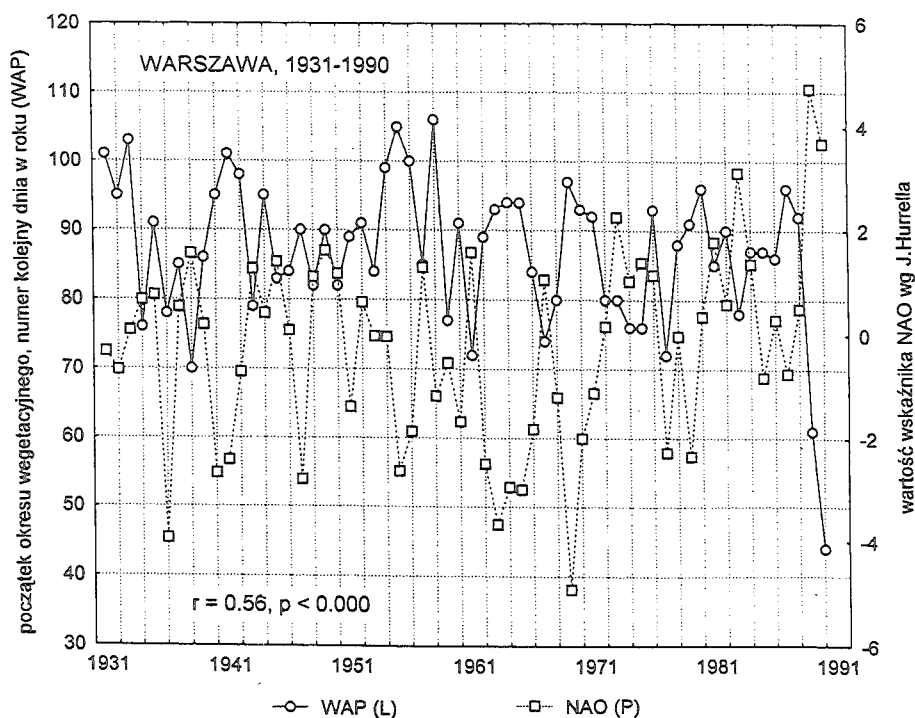
Fig. 1. Distribution of meteorological stations

Chronologiczny ciąg wartości wskaźnika NAO według Hurrella oraz wartości miesięcznych wskaźnika Jonesa, Jonssona i Wheelera z tego samego okresu użytko z archiwum danych JISAO (Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean — Climate Data Archive). Wskaźnik NAO Hurrella, stanowiący syntetyczną miarę charakteryzującą zimową cyrkulację atmosferyczną nad Północnym Atlantykiem (grudzień–marzec), jest przypisany do roku stycznia danej zimy. Dla celów tej pracy utworzono również nieco zmieniony wskaźnik zimowy

Jonesa, Jonssona i Wheelera — stanowi on średnią z miesięcznych wartości wskaźnika w styczniu, lutym i marcu. Dla odróżnienia go od innych wskaźników oznaczono go jako NAOz.

Zależność charakterystyk okresu wegetacyjnego: dat jego początku i końca oraz czasu trwania od wskaźnika NAO zbadano stosując analizę korelacji liniowej. Odrębnie przeprowadzono ją w przypadku wskaźnika Hurrella, wskaźników miesięcznych Jonesa, Jonssona i Wheelera oraz NAOz.

Wyniki analizy korelacyjnej wykazują występowanie, przynajmniej w przypadku części stacji, istotnych pod względem statystycznym związków długości okresu wegetacyjnego i momentu jego rozpoczęcia ze wskaźnikiem NAO Hurrella. Istotnych statystycznie związków końca sezonu wegetacyjnego z wartościami wskaźnika NAO nie wykryto. Współczynniki korelacji czasu trwania i momentu początku okresu wegetacyjnego z NAO są zestawione w tab. 1. Związki te nie są specjalnie silne, choć ogólnie przebieg obu tych charakterystyk wykazuje dość czytelną zależność od wartości wskaźnika NAO, co przykładowo przedstawia wykres dat początku okresu wegetacyjnego w Warszawie i wartości wskaźnika NAO w latach 1931–1990 (rys. 2).



Rys. 2. Daty początku okresu wegetacyjnego w Warszawie (WAP — numer kolejny dnia w roku) i wartości wskaźnika NAO według Hurrella (1931–1990)

Fig. 2. Dates of the beginning of a vegetative period in Warsaw (WAP — following day in the year) and values of the NAO index according to Hurrell (1931–1990)

Zależności początku okresu wegetacyjnego od wartości wskaźnika NAO na wszystkich stacjach są silniejsze niż podobne związki czasu trwania tego okresu z NAO. Najogólniej długość sezonu wegetacyjnego stanowi prostą funkcję (różnicę) dwu wielkości — jego końca i początku. Ponieważ wskaźnik NAO Hurrella charakteryzuje zimowe warunki cyrkulacji atmosferycznej, zrozumiałe jest, że wpływa on na czas trwania okresu wegetacyjnego przez określenie jego początku, nie wywiera zaś większego wpływu na moment jego zakończenia.

Związek długości sezonu wegetacyjnego z wartością wskaźnika NAO w wybranych stacjach przedstawia zestawienie równań liniowych (tab. 2), w których oznaczenia stacji odpowiadają skrótom zamieszczonym w tab. 1.

Tab e l a 1. Korelacje początku (numer kolejny dnia w roku) i długości (liczba dni) okresu wegetacyjnego w wybranych stacjach w Polsce ze wskaźnikiem NAO według Hurrella (1931–1990). Wartości współczynników korelacji istotnych na poziomie $p < 0,05$ zaznaczono pogrubioną czcionką. Stacje uszeregowano według malejących wartości bezwzględnych współczynników korelacji początku okresu wegetacyjnego względem wskaźnika NAO.

Table 1. Correlations of the beginning (following day of the year) and the length (number of days) of a vegetative period for selected stations in Poland with the Hurrell's NAO index (1931–1990). Coefficients of significant correlation on the level $p < 0,05$ are marked with bold font. Stations are systematized according to decreasing absolute values of coefficients correlating the beginning of a vegetative period with the NAO index.

Stacja Station	Okres wegetacyjny The vegetative period	
	początek the beginning	długość the length
Szczecin (SZ)	r	-0,615
	p	0,000
Warszawa (WA)	r	0,391
	p	0,002
Wrocław (WR)	r	0,389
	p	0,002
Siedlce (SI)	r	0,321
	p	0,012
Suwałki (SU)	r	0,422
	p	0,001
Tomaszów Lubelski (TL)	r	0,283
	p	0,028
Kielce (KI)	r	0,244
	p	0,060
Zakopane (ZA)	r	0,214
	p	0,100

Przedział zmienności wskaźnika NAO w analizowanym okresie zawiera się w granicach od 4,74 (rok 1990; najwyższa wartość wskaźnika w całym okresie obserwacji, obejmującym lata 1864–1999) do -4,92 (rok 1969, minimum abso-

lutne), co daje amplitudę 9,66. Warto zauważyć, że w większości analizowanych ciągów chronologicznych dat początku i czasu trwania okresu wegetacyjnego rok 1990 zaznaczył się jako rok, w którym sezon ten rozpoczął się najwcześniej i trwał najdłużej (Olszewski, Żmudzka, 1997). Średnia wartość wskaźnika NAO w latach 1931–1990 wynosi $-0,25$, a odchylenie standardowe $\sigma = 1,90$. W granicach zmienności $\pm 2\sigma$ od średniej wieloletniej daje to wartości wskaźnika NAO od 3,55 do $-4,05$, czyli amplitudę zmian wynoszącą 7,60. Uwzględniając współczynniki kierunkowe w równaniach zestawionych w tab. 2 można oszacować, że zmienność wskaźnika NAO w granicach od 2σ do -2σ zmienia długość okresu wegetacyjnego od 33 dni w Szczecinie, przez 24 dni we Wrocławiu, 23 dni w Warszawie, 20 dni w Suwałkach, 16 dni w Siedlcach do 14 dni w Tomaszowie Lubelskim. Podobne oszacowania dla Kielc (13 dni) i Zakopanego (11 dni) są bez istotności statystycznej (błąd standardowy oszacowania współczynnika kierunkowego większy od współczynnika regresji).

Tabela 2. Długość okresu wegetacyjnego (liczba dni) w wybranych stacjach jako funkcja wartości wskaźnika NAO Hurrella (1931–1990). Oznaczenia stacji jak w tab. 1.

Table 2. The length of a vegetative period (number of days) for selected stations as a function of values of Hurrell's NAO index (1931–1990). Symbols of stations as in table 1.

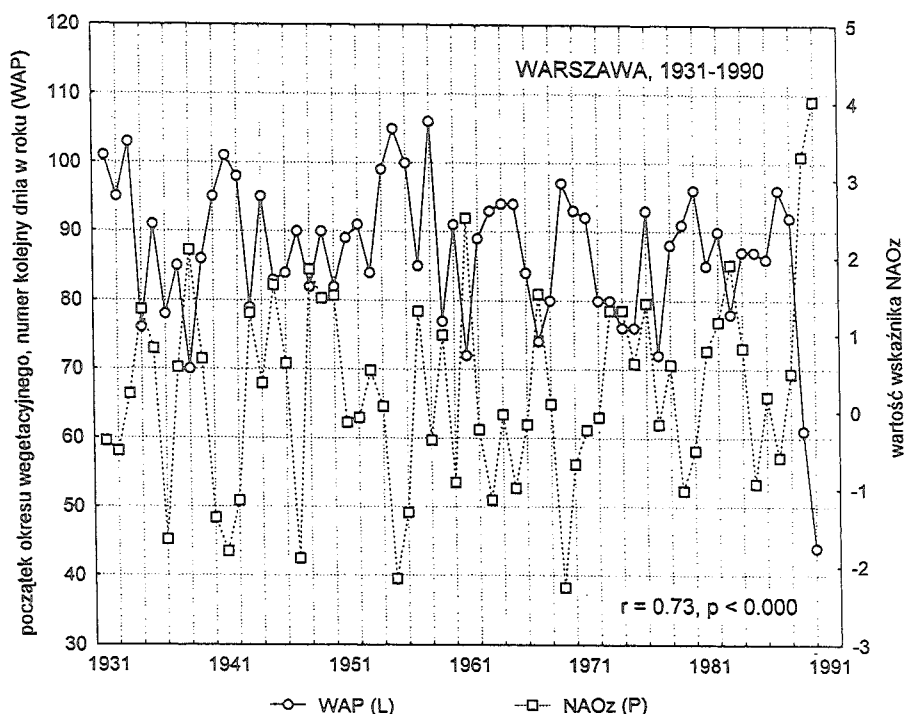
Stacja Station	R	R ²	F(1, 58)	p	BSE
SZ = 231,7 + 4,3 NAO	0,49	0,23	18,2	0,000	14,7
WA = 223,9 + 3,0 NAO	0,39	0,14	10,5	0,002	13,5
WR = 232,1 + 3,1 NAO	0,39	0,14	10,3	0,002	14,0
SI = 213,3 + 2,1 NAO	0,32	0,09	6,7	0,012	12,1
SU = 198,6 + 2,6 NAO	0,42	0,16	12,6	0,001	10,4
TL = 210,4 + 1,9 NAO	0,28	0,06	5,1	0,028	12,3
KI = 213,7 + 1,7 NAO	0,24	0,04	3,8	0,060	12,7
ZA = 188,0 + 1,5 NAO	0,21	0,03	2,8	0,100	13,1

R — współczynnik korelacji, R² — współczynnik determinacji, F — test Fishera, p — poziom istotności, BSE — błąd standardowy estymacji

R — correlation coefficient, R² — determination coefficient, F — Fisher test, p — significant level, BSE — standard error of estimation

Korelacje charakterystyk okresu wegetacyjnego ze wskaźnikami miesięcznymi NAO, liczonymi jako różnica ciśnienia między Gibraltarem a Islandią (wskaźnik Jonesa, Jonssona i Wheelera), są wyraźnie silniejsze niż ze wskaźnikiem Hurrella. Początek okresu wegetacyjnego i jego długość na poszczególnych stacjach wykazują najsilniejsze związki bądź ze wskaźnikiem NAO z marca (stacje w zachodniej i środkowej części Polski), bądź z lutego (Suwałki, Kielce, Tomaszów Lubelski), a nawet ze stycznia (Zakopane). Korelacje istotne zaznaczają się jednak przeważnie ze wskaźnikami będącymi średnią z trzech miesięcy, od stycznia do marca. Wskazuje to, że początek okresu wegetacyjnego jest determino-

wany przez cyrkulację atmosferyczną występującą w okresie dłuższym niż jeden miesiąc (rys. 3). Z tego względu zostaną przedstawione wyniki korelacji charakterystyk okresu wegetacyjnego ze wskaźnikiem NAOz (tab. 3).



Rys. 3. Dаты początku okresu wegetacyjnego w Warszawie (WAP — numer kolejny dnia w roku) i wartości wskaźnika NAOz (średnia z okresu styczeń–marzec, Gibraltar–SW Islandia, 1931–1990)

Fig. 3. Dates of the beginning of a vegetative period in Warsaw (WAP — following day in the year) and values of the NAOz index (mean value of the period January to March, Gibraltar–South–West Iceland, 1931–1990)

Wszystkie współczynniki korelacji między analizowanymi wielkościami są wyraźnie wyższe niż odpowiednie w tab. 1 i istotne statystycznie ($p < 0,01$): zdecydowaną większość z nich stanowią korelacje wysoce istotne ($p < 0,001$). Dotyczy to zarówno początku okresu wegetacyjnego, jak i jego długości. Uszeregowanie stacji według malejących współczynników korelacji jest takie samo jak w przypadku wskaźnika NAO Hurrella. Jest to zrozumiałe, gdyż oba wskaźniki — NAO Hurrella i NAOz — są silnie i wysoce istotnie skorelowane ($r = 0,89$, $p < 0,000\ 000$; $\text{NAO} = -0,62 + 1,31 \text{ NAOz}$).

Zmienność wskaźnika NAOz wydaje się lepiej objaśniać zmienność momentu początku okresu wegetacji i tym samym zmienność jego długości z roku na rok niż wskaźnik NAO Hurrella. Z tego względu określono podobnie, jak to uczyniono wcześniej, czas trwania okresu wegetacyjnego jako funkcję wskaźnika NAOz (tab. 4).

Tabela 3. Korelacje początku (numer kolejny dnia w roku) i długości (liczba dni) okresu wegetacyjnego w wybranych stacjach w Polsce ze wskaźnikiem NAOz (średnia różnica ciśnienia między Gibraltarem a południowo-zachodnią Islandią w okresie styczeń–marzec w latach 1931–1990). Wartości współczynników korelacji istotnych na poziomie $p < 0,05$ zaznaczono pogrubioną czcionką. Zachowano kolejność uszeregowania stacji z tab. 1.

Table 3. Correlations of the beginning (following day of the year) and the length (number of days) of a vegetative period for selected stations in Poland with the NAOz index (an average difference of air pressure between Gibraltar and SW Iceland for the period from January to March in years 1931–1990). Coefficients of significant correlation on the level $p < 0,05$ are marked with bold font. Stations are kept in the same order as in table 1.

Stacja Station		Okres wegetacyjny The vegetative period	
		początek the beginning	długość the length
Szczecin (SZ)	<i>r</i>	-0,781	0,686
	<i>p</i>	0,000	0,000
Warszawa (WA)	<i>r</i>	-0,731	0,610
	<i>p</i>	0,000	0,000
Wrocław (WR)	<i>r</i>	-0,711	0,601
	<i>p</i>	0,000	0,000
Siedlce (SI)	<i>r</i>	-0,608	0,546
	<i>p</i>	0,000	0,000
Suwałki (SU)	<i>r</i>	-0,605	0,614
	<i>p</i>	0,000	0,000
Tomaszów Lubelski (TL)	<i>r</i>	-0,536	0,491
	<i>p</i>	0,000	0,000
Kielce (KI)	<i>r</i>	-0,510	0,487
	<i>p</i>	0,000	0,000
Zakopane (ZA)	<i>r</i>	-0,356	0,388
	<i>p</i>	0,005	0,002

Tabela 4. Długość okresu wegetacyjnego (liczba dni) w wybranych stacjach jako funkcja wartości wskaźnika NAOz (1931–1990)

Table 4. The length of a vegetative period (number of days) for selected stations as a function of values of NAOz index (1931–1990)

Stacja Station	<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>F</i> (1, 58)	<i>p</i>	BSE
<i>SZ</i> = 228,1 + 8,9 NAOz	0,69	0,46	51,7	0,000	12,2
<i>WA</i> = 221,2 + 6,9 NAOz	0,61	0,36	34,4	0,000	11,6
<i>WR</i> = 229,1 + 7,0 NAOz	0,60	0,35	32,7	0,000	12,2
<i>SI</i> = 211,3 + 5,4 NAOz	0,55	0,29	24,6	0,000	10,7
<i>SU</i> = 196,4 + 5,6 NAOz	0,61	0,37	35,2	0,000	9,4
<i>TL</i> = 208,5 + 4,8 NAOz	0,49	0,23	18,4	0,000	11,2
<i>KI</i> = 211,9 + 4,9 NAOz	0,49	0,22	18,0	0,000	11,5
<i>ZA</i> = 186,5 + 4,0 NAOz	0,39	0,14	10,3	0,002	12,4

Oznaczenia jak w tab. 2.

Symbols as in table 2.

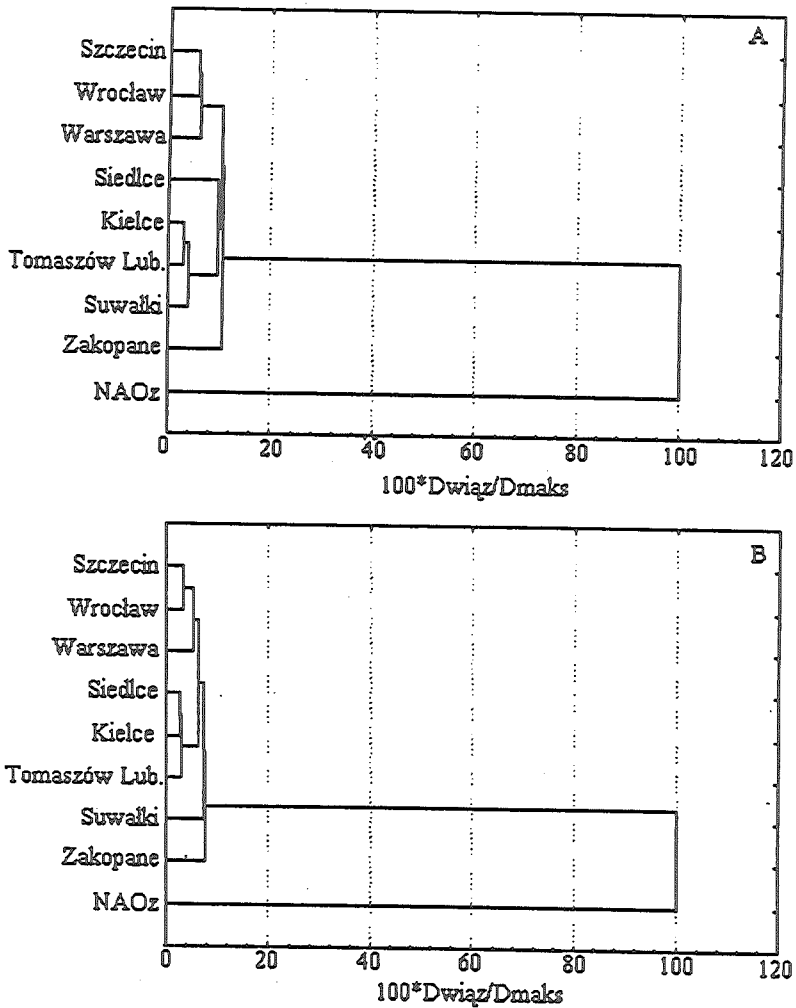
Wszystkie zależności są tu istotne statystycznie. Porównanie zawartości tab. 2 i 4 wskazuje, że wyrazy wolne równań różnią się nieznacznie, większe różnice występują w wartościach współczynników kierunkowych równań ujmujących zależność długości okresu wegetacyjnego od NAOz. Wartości wskaźnika NAOz różnią się od wartości wskaźnika NAO Hurrella; średnia NAOz w badanym okresie (1931–1990) wynosi 0,28, odchylenie standardowe $\sigma = 1,29$. Oznacza to, że zakres zmian tego wskaźnika w granicach $\pm 2\sigma$ od średniej wynosi 5,16. Uwzględniając wartości współczynników kierunkowych w równaniach charakteryzujących związek czasu trwania okresu wegetacyjnego na stacjach ze wskaźnikiem NAOz można stwierdzić, że zmiany tego wskaźnika w granicach od $+2\sigma$ do -2σ prowadzą do zmiany długości okresu wegetacyjnego w Szczecinie o 46 dni, we Wrocławiu i Warszawie o 36 dni, w Suwałkach o 29 dni, Siedlcach o 28 dni, Tomaszowie Lubelskim i Kielcach o 25 dni i w Zakopanem o 21 dni.

Przedstawione wyniki należy traktować jako pierwsze przybliżenie problemu, zwłaszcza w aspekcie przestrzennym. Niewielka liczba stacji wskazuje jedynie najbardziej ogólne cechy zarówno zróżnicowania geograficznego charakterystyk okresu wegetacyjnego, jak i rozkładu przestrzennego wpływu NAO na początek i długość tego sezonu na obszarze Polski (rys. 4). Ogólnie można zaobserwować zmniejszanie się wpływu NAO na długość i moment początku okresu wegetacyjnego od północno-zachodnich i zachodnich krańców Polski ku południowo-wschodowi, z dodatkowym negatywnym wpływem wysokości nad poziom morza. Można uznać, że rozkład przestrzenny wpływu NAO na długość sezonu wegetacyjnego jest w przybliżeniu podobny do kształtowania się rozkładu wskaźnika oceanizmu na obszarze Polski (Marsz, 1995).

Fizyczny mechanizm silnego oddziaływania Oscylacji Północnego Atlantyku na kształtowanie zmienności początku okresu wegetacyjnego jest stosunkowo prosty.

Występowaniu dodatnich wartości wskaźnika NAO towarzyszy zwiększenie częstości adwekcji mas powietrza z kierunków zachodniego i południowo-zachodniego nad obszar Polski, czyli mniej lub bardziej przetransformowanych mas powietrza polarnego morskiego (PPm). Te w okresie zimy są masami ciepłymi, co powoduje wzrost temperatury powietrza.

Oprócz bezpośrednich skutków termicznych, zwiększony napływ tych mas w okresie zimy i przedwiośnia daje skutki pośrednio wpływające na kształtowanie się bilansu cieplnego, a co i za tym idzie na temperaturę powietrza. Wymienić tutaj należy choćby zwiększenie zachmurzenia niskiego w warunkach napływu cieplejszego i wilgotnego powietrza nad chłodniejsze podłoże, ograniczające wypromieniowanie i tym samym występowanie głębokich nocnych spadków temperatury oraz redukcję, w warunkach podwyższonej temperatury powietrza, pokrywy śnieżnej. Ten ostatni czynnik znacznie ogranicza straty ciepła na przemiany fazowe wody i zmniejsza albedo powierzchni, umożliwiając wcześniejsze przekroczenie przez średnią dobową temperaturę powietrza progę $+5^{\circ}\text{C}$, stanowiącego granicę początku okresu wegetacyjnego.



Rys. 4. Początek okresu wegetacyjnego na wybranych polskich stacjach a wskaźnik NAOz (A) oraz długość okresu wegetacyjnego a wskaźnik NAOz (B). Wyniki analizy skupień (pojedyncze wiązania, odległości euklidesowe)

Fig. 4. The beginning of a vegetative period on chosen polish stations in comparison with NAOz (A) index, and the length of a vegetative period in comparison with NAOz (B) index. The results of cluster analysis (single linkage, Euclidean distances)

Wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej nie stanowi narzędzia charakteryzującego całkowicie jednoznacznie warunków cyrkulacyjnych nad Europą Północno-Zachodnią i Środkową. Najbardziej zbliżony jest on do wskaźnika cyrkulacji zachodniej (W), charakteryzującego natężenie przenosu strefowego (zachodniego). W przypadku występowania ujemnych wartości wskaźnika NAO dominuje nad tym obszarem cyrkulacja południkowa. Ta może jednak, w zależności od wzrostu częstości lokalizacji centrów układów wyżów blokujących i orientacji ich dłuższych osi, dawać na obszarze Polski wzrost frekwencji adwekcji

z południa lub północy i wschodu (centrum układu antycyklonicznego na wschód lub zachód od Polski), którym towarzyszyć będą odpowiednie zmiany temperatury powietrza, wraz ze skutkami pośrednimi. Dlatego też nie wszystkim przypadkom wystąpienia ujemnych wartości wskaźnika NAO odpowiada proporcjonalne opóźnienie początku okresu wegetacyjnego, co znacznie zmniejsza wyrazistość związków (rys. 2).

Odrębne jest zagadnienie, z jakich przyczyn wskaźnik NAOz lepiej niż wskaźnik Hurrella objaśnia zmienność początku i długości okresu wegetacyjnego na obszarze Polski (rys. 3). Pełna dyskusja tego problemu wykraczałaby poza ramy przedstawionej pracy. Tutaj zwraca się tylko uwagę na fakt, że oba te wskaźniki charakteryzują różne okresy uśredniania: jeden uśrednia zmiany ciśnienia zachodzące od grudnia do marca, drugi — tylko od stycznia do marca. Zmienność ciśnienia między Niżem Islandzkim a Wyżem Azorskim, która występuje na początku zimy (grudzień), nie wywiera bezpośredniego wpływu na cyrkulację, która ma miejsce w drugiej połowie zimy, a która wpływa na rozpoczęcie meteorologicznego (termicznego) sezonu wegetacyjnego. Wydłużenie okresu uśredniania wprowadza elementy dodatkowej zmienności (szumy), obniżające ścisłość związków. Tym niemniej trzeba odnotować, że nawet wskaźnik NAO Hurrella wyjaśnia od kilku do dwudziestu kilku procent zmienności długości okresu wegetacyjnego na obszarze Polski i odpowiednio większy odsetek zmienności początku tego sezonu.

Czas trwania wegetacji w Polsce jest bardziej związany z terminem jej rozpoczęcia niż zakończenia (Olszewski, Żmudzka, 1997). W tym kontekście wydaje się celowe zwrócić uwagę na fakt, że w badanym 60-leciu obserwuje się jednokowy znak trendu zmian początku okresu wegetacyjnego (przyspieszenie jego rozpoczęcia w granicach $0,5 \div 1,5$ dnia/10 lat) i wskaźnika NAO (wzrost $0,22/10$ lat — wskaźnik Hurrella i $0,14/10$ lat — wskaźnik NAOz).

Stosunkowo długi okres obserwacji (60 lat) pozwala uznać, że poznane i określone związki długości sezonu wegetacyjnego na obszarze Polski z Oscylacją Północnoatlantycką (tab. 1–4) można traktować jako pewne. Zmienność wskaźnika NAOz objaśnia od kilkunastu (13) do czterdziestu kilku (46) procent zmienności długości okresu wegetacyjnego na terenie Polski i od kilkunastu (13) do ponad sześćdziesięciu (61) procent zmienności momentu początku tego okresu. Wskazuje to dowodnie, że czas trwania sezonu wegetacyjnego, który stanowi jeden z najważniejszych czynników ekologicznych, ma również w znacznej części uwarunkowania cyrkulacyjne.

Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku, poprzez oddziaływania natury termicznej, przenosi się na możliwość rozpoczęcia się okresu wegetacyjnego. Powinno to znaleźć odbicie również w szerszym spektrum zjawisk przyrodniczych, w tym procesów biologicznych — tak w fenologii, jak i poprzez przyspieszoną lub opóźnioną dostępność pokarmu, na warunki przeżywania zimy, a może i inne aspekty życiowe roślinożerców.

Literatura

- Dickson R., Bryden H., Hurrell J., Marshall J., McCartney M., Schmitt R., Williams R., 1997, *The North Atlantic Oscillation (NAO) (D1)*. [W:] red. K. Trenberth i A. Clarke, *CLIVAR Implementation Plan*, s. 163–192.
- Gumiński R., 1950, *Kurs meteorologii i klimatologii*. Warszawa, PZWS.
- Hurrell J.W., 1995, *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation*. *Science*, 269, s. 676–679.
- Jones P.D., Jonsson 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, s. 1433–1450.
- Marshall J., Kushnir Y., Batisti D., Chang P., Hurrell J., McCartney M., Visbeck M., 1997, *Atlantic climate variability („white paper“)*. <http://geoid.mit.edu/accp/avehtml.html>.
- Marsz A. A., 1995, *Wskaźnik oceanizmu jako miara klimatycznego współoddziaływania w systemie ocean-atmosfera-kontynenty*. Gdynia, WSM, s. 110.
- Marsz A. A., 1999, *Oscylacja Północnoatlantycka a reżim termiczny zim na obszarze Polski Północno-Zachodniej i polskim wybrzeżu Bałtyku*. *Prz. Geogr.*, t. 71, nr 3.
- Ólszewski K., Żmudzka E., 1997, *Zmiany okresu wegetacyjnego w Polsce*. *Prace i Studia Geogr.*, t. 20. Wyd. UW, s. 93–103.
- Rogers J., 1984a, *A comparison of the mean winter pressure distribution in the extremes of the North Atlantic Oscillation and Southern Oscillation*. [W:] red. H. van Loon, *Studies in climate*. NCAR Technical Note 227, Boulder, Co., s. 208–241.
- Rogers J., 1984b, *The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere*. *Monthly Weather Review*, 112, s. 1999–2015.
- Żmudzka E., 1999, *Krótkookresowa zmienność temperatury powietrza w Polsce*. *Prz. Geof.*, t. 44, nr 3.

Summary

In the paper are discussed correlations of the beginning and the length of a vegetative period in Poland with of the NAO index. Analysis had been led for 8 stations (fig. 1) completely representing the differentiation of climate in Poland during the 60 years period (1931–1990).

There has been stated statistically significant correlations of the beginning and the length of a vegetative period with the NAO index (tab. 1 and tab. 3), and no correlations the end of a vegetative period and the NAO index. For each station existing correlations are described by linear equations (tab. 2 and tab. 4). They show that there are more exact correlations of the beginning and the length of a vegetative period with an average value of the NAO index, being a difference of the air pressure between Gibraltar and SW Iceland for the period from January to March, than with Hurrell index (Lisboa–Stykkisholmur, December–March) (fig. 2 and fig. 3).

Change of the NAO index about $\pm 2\sigma$ changes the duration of a vegetative period on the area of Poland from 21 days (Zakopane) to 46 days (Szczecin) on the average about 31 days. It proves, that the changeability of the length of a vegetative period, which is one of the most important ecological factor, is also considerably caused by conditions of circulation.

Generally, the influence of the NAO on the beginning and the duration of the vegetative period is decreasing from NW and W edges of Poland in the direction of SE and E (fig. 4).