

ZMIENNOŚĆ TERMINU WIOSENNEGO PRZEJŚCIA TEMPERATURY POWIETRZA PRZEZ PRÓG +5.0°C W POLSCE ORAZ JEGO ZWIĄZKI ZE ZMIENNOŚCIĄ WSKAŹNIKA NAO

Elwira Żmudzka
Uniwersytet Warszawski, Zakład Klimatologii

Czynnikiem ekologicznym wpływającym na przebieg wszystkich procesów życiowych roślin i regulującym tempo ich rozwoju jest temperatura powietrza. Obserwowana współcześnie zmienność klimatu termicznego na obszarze Polski, tak w ujęciu sezonowym jak i wieloletnim (Kozuchowski red. 2000, Kozuchowski i Żmudzka 2001), pozwala przypuszczać, że pewnym zmianom uległy również warunki umożliwiające rozwój roślin.

Celem badań jest określenie zmienności terminu wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg +5.0°C na obszarze Polski oraz jej związków z cyrkulacją atmosferyczną nad Północnym Atlantykiem w sezonie zimowym – Oscylacją Północnego Atlantyku (NAO) w drugiej połowie XX wieku. Opracowanie to jest kontynuacją badań podjętych przez A.A. Marsza i E. Żmudzką (1999, 2000/2001), E. Żmudzką (2001) oraz E. Żmudzką i M. Dobrowolską (2001).

W pracy do oceny poszukiwanych dat wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg +5.0°C w kolejnych latach wykorzystano średnie miesięczne wartości temperatury powietrza (wzory Gumińskiego; Gumiński 1950). Podobny sposób delimitacji zastosowano do uśrednionych miesięcznych wartości temperatury z obszaru Polski. Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na podstawie danych z lat 1951-2000 z 51 stacji meteorologicznych IMGW. Do przyjęcia tego uproszczonego sposobu delimitacji terminu wiosennego przejścia temperatury przez 5.0°C upoważniła, przeprowadzona dla wybranej, 50-letniej próby losowej i kilku krótszych ciągów, wnikliwa analiza porównawcza z wynikami badań opartymi na średnich dobowych wartościach temperatury (metoda Huculaka i Makowca; Huculak i Makowiec 1977). Zarówno statystyki opisowe, jak i zastosowane testy nie wykazały istotnych różnic między wyznaczonymi z zastosowaniem obu metod obliczeń datami. Wykazano ponadto, że zachodzą pomiędzy nimi wysoce istotne statystycznie zależności.

Termin przejścia temperatury przez wartość progową +5.0°C wyznaczony z zastosowaniem przyjętej metody obliczeń można zatem utożsamić z początkiem termicznego (meteorologicznego) okresu wegetacyjnego (pory roku ze średnią dobową temperaturą powietrza co najmniej 5.0°C). Podjęte w ostatnich latach próby korekty oceny długości meteorologicznego sezonu wegetacyjnego w różnych regionach Polski za pomocą danych fitofenologicznych wskazują na dość dużą przydatność tego wskaźnika termicznego. W świetle tych badań, początek okresu wegetacyjnego wykazuje istotne związki z przejściem średniej dobowej temperatury przez próg od 3 do 6°C (Molga i Soko-

łowska 1963, Dubaniewicz 1974, Obrębska-Starkłowa 1977). Ponieważ długość termicznego okresu wegetacyjnego związana jest głównie z terminem jego rozpoczęcia (Olszewski i Żmudzka 2000) istotne znaczenie ma rozpoznanie jego zmienności oraz określenie jej uwarunkowań.

Cyrkulację atmosferyczną nad Północnym Atlantykiem scharakteryzowano wartościami wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO). W opracowaniu wykorzystano różne miary tego wskaźnika: zimowy indeks NAO Hurrella (1995) oraz utworzony dla celów tego opracowania uśredniony z okresu styczeń-marzec wskaźnik NAO Rogersa (1984) oraz Jonesa i in. (1997) – nazywając je odpowiednio zimowym indeksem NAO Rogersa, NAO Jonesa i in.

Warunki cyrkulacyjne w Europie Środkowej w sezonie styczeń-marzec scharakteryzowano także liczbą dni z określonym kierunkiem napływu mas powietrznych nad Polskę. Do tego celu wykorzystano kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego (Stępniewska-Podrażka 1991, Pałowska i in. 2000). W klasyfikacji tej za podstawę określenia kierunku adwekcji przyjęto wartości wskaźnika cyrkulacji strefowej i południkowej obliczone w odniesieniu do obszaru $\varphi = 40\text{--}65^\circ\text{N}$, $\lambda = 0\text{--}35^\circ\text{E}$.

Określono średnie i skrajne wartości wskaźników: termicznego i cyrkulacyjnych. Z równań trendu liniowego wyznaczono tendencje zmian tych charakterystyk w 50-leciu 1951-2000 oraz określono istotność trendów według testu rangowego Manna-Kendalla. Porównano średnie 10-letnie wartości wskaźników (10-lecia standardowe i ruchome) oraz ich widma oscylacji. Stosując analizę korelacji liniowej oceniono związki terminu wiosennego przejścia temperatury przez próg $+5.0^\circ\text{C}$ z wartościami wskaźnika NAO oraz liczbą dni z danym kierunkiem napływu mas powietrznych nad Polskę. Określono także związki korelacyjne kierunek adwekcji – wskaźnik NAO.

Zmienność terminu wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg $+5.0^\circ\text{C}$, stanowiącego jeden z ważniejszych czynników ekologicznych, ma w znacznej części uwarunkowania cyrkulacyjne. Świadczy o tym wyraźna zbieżność zmian tego wskaźnika ze zmiennością zimowego indeksu NAO będącego prostą miarą charakteru i natężenia strefowej cyrkulacji atmosferycznej: podobne są zarówno trendy, jak i wahania z roku na rok.

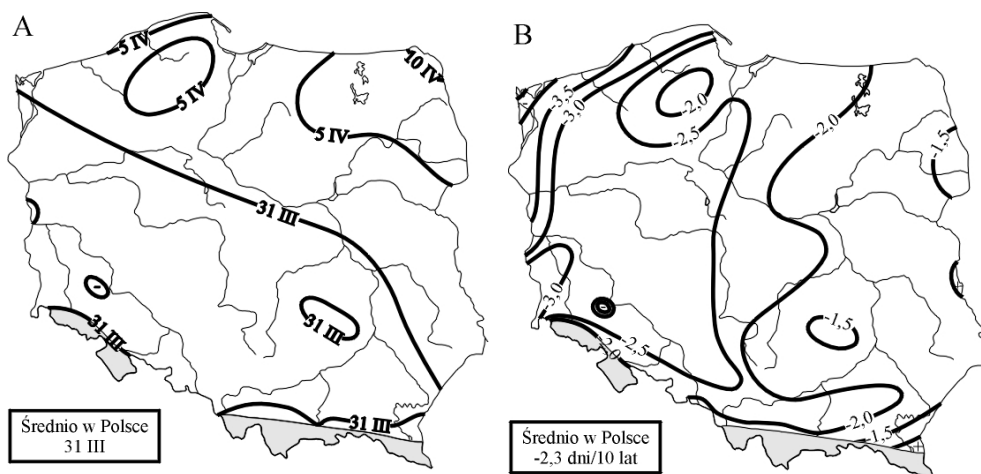
W drugiej połowie XX wieku na obszarze Polski, szczególnie w jej północno-zachodniej i zachodniej części wystąpiło znaczące przyspieszenie terminu wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg $+5.0^\circ\text{C}$ (średnio w Polsce 2.3 dnia/10 lat) (rys. 1). Obserwuje się także dodatni trend wskaźnika NAO (w zależności od przyjętej miary wzrost $0.34 \div 0.71/10$ lat) oraz częstotści napływu mas powietrznych z sektora zachodniego (5.2 dnia/10 lat, głównie z SW i W) – tabela 1. Wyniki otrzymane w analizie regresji liniowej potwierdza ocena trendów według testu rangowego Manna-Kendalla.

Tabela 1

Współczynniki trendu liniowego (a) [wyrażone na 10 lat] oraz ocena rangowa trendu zmian (τ – wartości statystyki Manna-Kendalla) dat wiosennego przejścia temperatury przez próg $+5.0^\circ\text{C}$, zimowych wskaźników NAO Hurrella (H), Jonesa i in. (J) i Rogersa (R) oraz liczby dni z makrotypem W (MT) w okresie 1951-2000

	Termin wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg $+5.0^\circ\text{C}$							NAO			MT
	Szczecin	Suwałki	Wrocław	Łódź	Włodawa	Przemysł	Polska	H	J	R	
a	-3.4*	-1.6*	-2.6*	-2.3*	-1.5	-1.5	-2.3*	0.71*	0.34*	0.69*	5.2*
τ	-0.27*	-0.18	-0.23*	-0.21*	-0.19*	-0.16	-0.22*	0.32*	0.27*	0.35*	0.30*

* istotność na poziomie 0.05



Rys. 1. Średnie daty (A) oraz tendencja zmian [dni/10 lat] (B) terminu wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ (1951-2000) – (Żmudzka i Dobrowolska 2001)

Charakterystyczny jest przyrost tempa zmian obu wskaźników: termicznego i cyrkulacyjnego w drugiej połowie badanego okresu, a szczególnie po roku 1980: średnie wartości (1981-2000) indeksów NAO przekroczyły wartość 1, termin przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ średnio w Polsce przesunął się z pierwszych dni kwietnia na ostatnią pentadę marca (najwcześniejsze średnie 10-letnie daty z analizowanego 50.letnia) – patrz tabela 2.

Tabela 2

Średnie daty wiosennego przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$, średnie wartości zimowych wskaźników NAO Hurrella (H), Jonesa i in. (J) i Rogersa (R) oraz średnia liczba dni z makrotypem W (MT) w okresie styczeń-marzec 1981-2000 i ich zmiany w porównaniu ze średnimi z lat 1951-1980 – (a) oraz różnice w stosunku do dat/wartości 50-letnich (1951-2000) – (b)

1981-2000	Termin wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$							NAO			MT
	Szczecin	Suwałki	Wrocław	Łódź	Włodawa	Przemyśl	Polska	H	J	R	
	22 III	7 IV	22 III	27 III	31 III	27 III	28 III	1,60	1,07	1,32	42
a	-9	-5	-6	-6	-4	-3	-6	+2,32	+1,07	+2,02	+15
b	-5	-3	-4	-4	-2	-2	-3	+1,39	+0,64	+1,22	+9

Rok 1990, w którym wystąpiło maksimum absolutne zimowego wskaźnika NAO Jonesa i in., a także wyjątkowo wysokie wartości zimowych indeksów NAO Hurrella i Rogersa oraz największa liczba dni z makrotypem zachodnim (kierunek W, NW i SW) można także uznać za anomalny¹ ze względu na wczesne przekroczenie przez temperaturę wartości $+5,0^{\circ}\text{C}$ na obszarze Polski (oprócz północno-wschodnich jej krańców) – patrz tabela 3.

¹ kryterium anomalii $\bar{x} \pm 2,5s$, gdzie s odchylenie średnie kwadratowe od średniej daty w Polsce \bar{x}

Tabela 3

Skrajne daty wiosennego przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ w Polsce, skrajne wartości zimowego wskaźnika NAO oraz liczby dni z makrotypem [W] w okresie 1951-2000

Stacja	Data		Wskaźnik NAO	Wartość/liczba dni, rok			
	najwcześniejsza	najpóźniejsza		najwyższa		najniższa	
Szczecin	29 I 1990	17 IV 1956	Hurrella	5.08	1989	-4.89	1969
Suwałki	18 III 1990	25 IV 1955		3.96	1990	-3.60	1963
Wrocław	9 II 1990	13 IV 1958	Jonesa i in.	3.91	1990	-2.20	1969
Łódź	22 II 1990	17 IV 1955		3.20	1989	-2.10	1955
Włodawa	3 III 1990	18 IV 1955	Rogersa	4.50	1989	-4.70	1969
Przemyśl	19 II 1990	16 IV 1997		4.40	1990	-3.40	1955
Polska	17 II 1990	17 IV 1955, 1958	Makrotyp [W]	76	1990	5.00	1996
				72	1989		

Przypadkom wystąpienia ujemnych wartości wskaźnika NAO nie zawsze odpowiada proporcjonalne opóźnienie terminu przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ (dominacja nad obszarem Polski cyrkulacji południkowej – wzrost frekwencji adwekcji z południa lub północy i wschodu), co zmniejsza nieco wyrazistość związków (rys. 2).

Na podstawie przeprowadzonej analizy korelacyjnej można jednak stwierdzić występowanie istotnych pod względem statystycznym zależności dat wiosennego przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ z zastosowanymi wskaźnikami NAO. Związki opisano równaniami liniowymi (rys. 3, tab. 4).

Wskazują one, że ściślejsze zależności wyznaczonych dat zachodzą ze średnią wartością wskaźnika NAO z okresu styczeń-marzec (wskaźnik NAO Jonesa i in., wskaźnik NAO Rogersa) niż z zimowym wskaźnikiem Hurrella (grudzień-marzec).

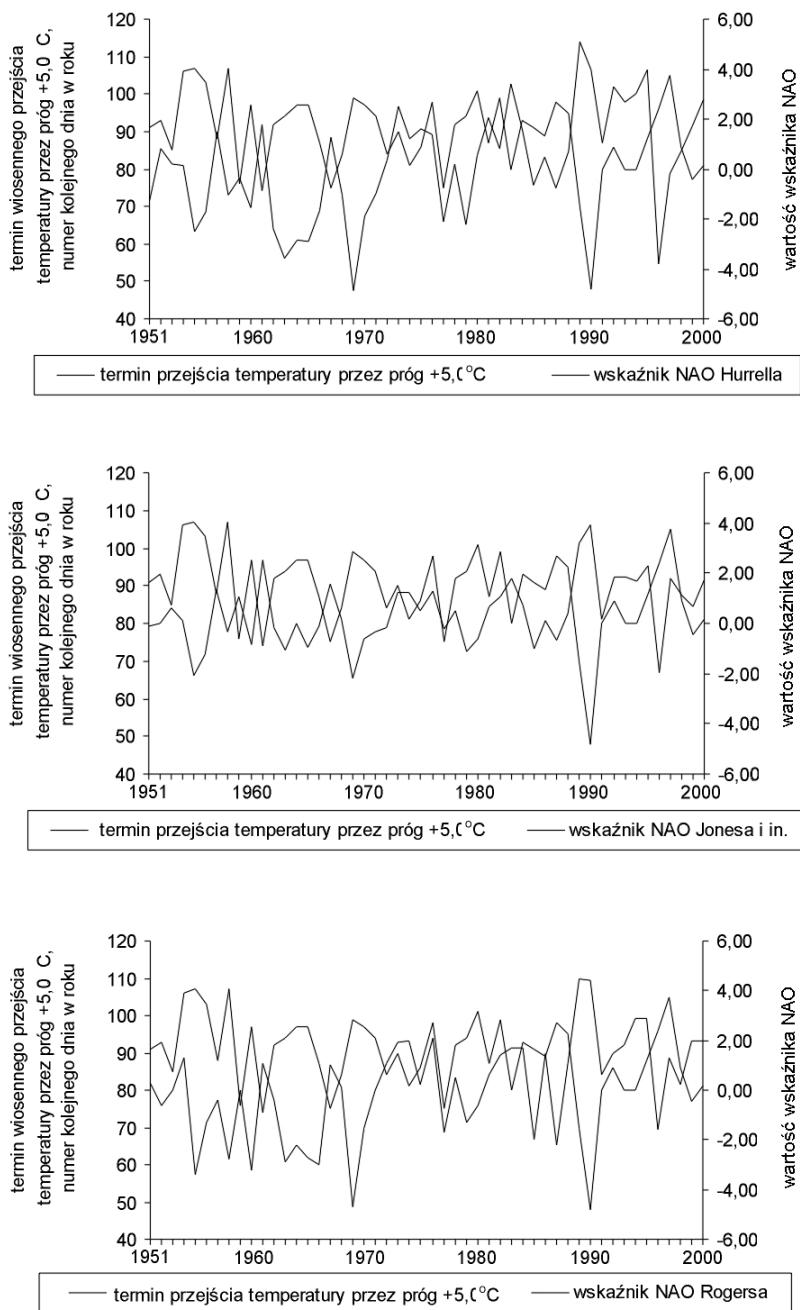
Tabela 4

Wartości współczynników kierunkowych (a) i wyrazów wolnych (b) w równaniach typu $t = a \cdot \text{NAO} + b$ charakteryzujących termin wiosennego przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ w Polsce jako funkcję wartości zimowych wskaźników NAO Hurrella, Jonesa i in. oraz Rogersa w okresie 1951-2000 oraz ich współczynniki determinacji (R^2), wartości testu F - Fischera i standardowego błędu estymacji (BSE).

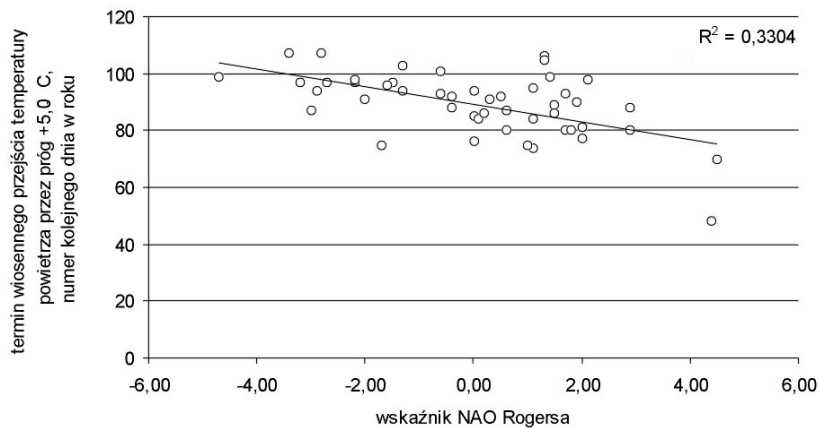
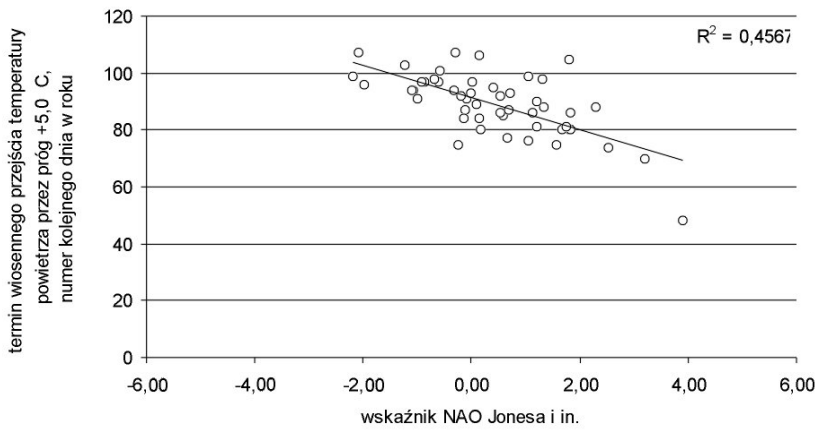
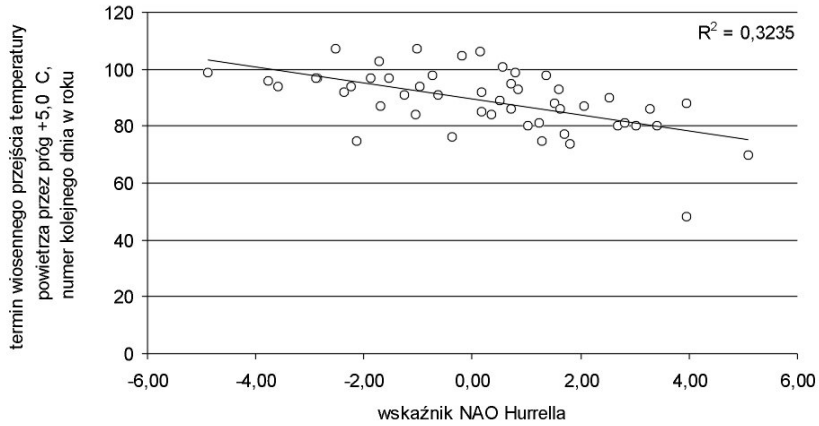
Równania istotne na poziomie $p < 0.05$

Stacja	Wskaźnik NAO Hurrella					Wskaźnik NAO Jonesa i in.					Wskaźnik NAO Rogersa				
	a	b	R^2	F	BSE	a	b	R^2	F	BSE	a	b	R^2	F	BSE
Szcz	-3.83	84.6	0.39	30.5	10.79	-8.05	87.2	0.59	69.2	8.84	-4.26	84.3	0.40	32.4	10.66
Suwa	-1.96	100.6	0.30	20.7	6.69	-4.01	101.8	0.44	37.0	6.02	-2.26	100.4	0.34	24.3	6.52
Wroc	-3.14	83.3	0.35	26.4	9.50	-6.42	85.4	0.51	50.5	8.25	-3.49	83.0	0.37	27.9	9.40
Łódź	-2.76	89.2	0.32	22.5	9.07	-5.35	90.9	0.41	33.5	8.43	-2.99	88.9	0.31	21.8	9.11
Włod	-2.11	92.4	0.27	18.2	7.71	-4.36	93.8	0.40	32.4	6.99	-2.38	92.2	0.29	19.7	7.62
Prze	-2.49	87.4	0.28	18.3	9.03	-4.93	89.0	0.37	28.8	8.40	-2.76	87.2	0.29	19.3	8.97
Pols	-2.81	89.6	0.32	23.0	9.12	-5.69	91.5	0.46	40.4	8.17	-3.10	89.4	0.33	23.7	9.07

Stacje: Szcz – Szczecin, Suwa – Suwałki, Wroc – Wrocław, Włod – Włodawa, Prze – Przemyśl, Pols – Polska



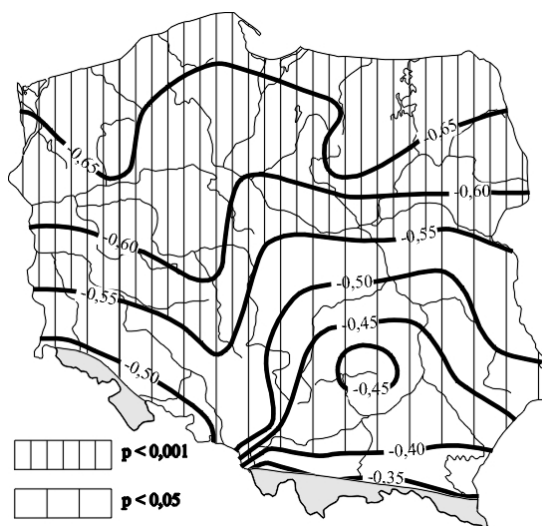
Rys. 2. Przebiegi terminu wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg +5.0°C w Polsce i wartości zimowego wskaźnika NAO Hurrella, Jonesa i in. oraz Rogersa (1951-2000)



Rys. 3. Związek terminu wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg +5.0°C w Polsce z zimowym wskaźnikiem NAO Hurrella, Jonesa i in. oraz Rogersa (1951-2000)
Wskaźniki NAO objaśniają od kilkunastu do 60% zmienności terminu wiosennego przejścia tem-

peratury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ na obszarze Polski (poza terenem gór Polski Południowej). Uwzględniając wartości współczynników regresji w wyznaczonych równaniach można stwierdzić, że zmiany wskaźnika NAO w granicach od $+2\sigma$ n do -2σ n prowadzą do zmiany terminu przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ o około 20 dni w Polsce Południowo-Wschodniej do około 50 dni na krańcach północno-zachodnich.

W ostatniej epoce cyrkulacyjnej NAO (1970-1998) wskaźnik Rogersa objaśnia od 16 do 42% zmienności daty wiosennego przejścia temperatury powietrza przez wartość $+5.0^{\circ}\text{C}$ na obszarze Polski (rys. 4). Ogólnie, wpływ NAO na termin przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ wzrasta z południo-wschodu na północo-zachód i zachód.



Rys. 4. Współczynnik korelacji terminu wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ z zimowym wskaźnikiem NAO Rogersa (1970-1998) wg Marsza i Żmudzkiej (2000/2001)

Silne oddziaływanie Oscylacji Północnego Atlantyku na kształtowanie się zmienności wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ wynika z istotnych zależności, jakie zachodzą w sezonie zimowym: faza NAO – kierunek napływu mas powietrznych nad Europę Środkową (i Polskę) – temperatura powietrza. Występowaniu dodatnich wartości indeksu NAO towarzyszy zwiększenie częstości adwekcji mas powietrznych z sektora zachodniego nad obszar Polski, czyli mniej lub bardziej przetransformowanych mas powietrza polarnego morskowego (PPm). Te w okresie zimy są na ogół masami ciepłymi. Napływ mas powietrznych z sektora zachodniego (NW, W, SW) w okresie styczeń-marzec objaśnia ponad 40% zmienności terminu wiosennego przejścia temperatury powietrza przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ (tab. 5). Współczynniki determinacji wskaźnika termicznego względem wskaźników cyrkulacyjnych: NAO i liczby dni z zachodnim kierunkiem adwekcji przyjmują zatem zbliżone wartości.

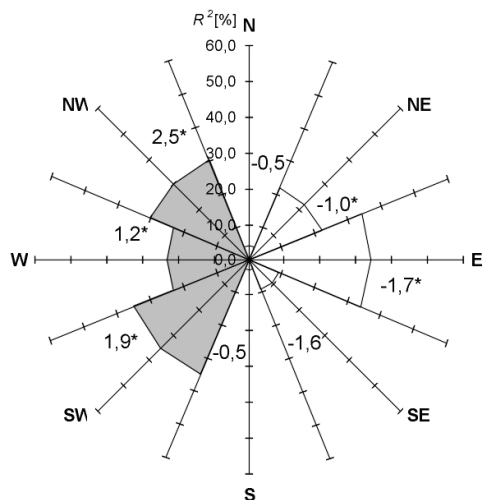
Pozostałe kierunki napływu mas powietrznych nad obszar Polski są skorelowane ujemnie z wartościami zimowego wskaźnika NAO, przy czym istotne statystycznie zależności zachodzą z liczbą dni charakteryzujących się adwekcją ze wschodu i północnego-wschodu (rys. 5). Są to jednocześnie

kierunki, które najsilniej, obok cyrkulacji zachodniej, kształtują zmienność wskaźnika termicznego: wzrost o jeden liczby dni z tymi typami cyrkulacji powoduje opóźnienie przejścia temperatury przez próg +5.0°C o 1 dzień względem średniej (tab. 6, rys. 6).

Tabela 5

Współczynniki korelacji liczby dni z określonym kierunkiem napływu mas powietrznych nad Polskę (styczeń-marzec) z zimowym wskaźnikiem NAO (* – współczynniki istotne na poziomie $p < 0.05$)

Kierunek adwekcji	Zimowy wskaźnik NAO		
	Hurrella	Jonesa i in.	Rogersa
N	-0.16	-0.07	-0.20
NE	-0.39*	-0.45*	-0.47*
E	-0.56*	-0.64*	-0.58*
SE	-0.46*	-0.56*	-0.30
S	-0.19	-0.24	-0.17
SW	0.48*	0.49*	0.59*
W	0.58*	0.65*	0.48*
NW	0.64*	0.77*	0.54*
0	-0.13	-0.16	-0.25
[W]	0.75*	0.86*	0.71*
[E]	-0.66*	-0.78*	-0.58*
[N]	0.30	0.41*	0.17
[S]	-0.21	-0.31	-0.02

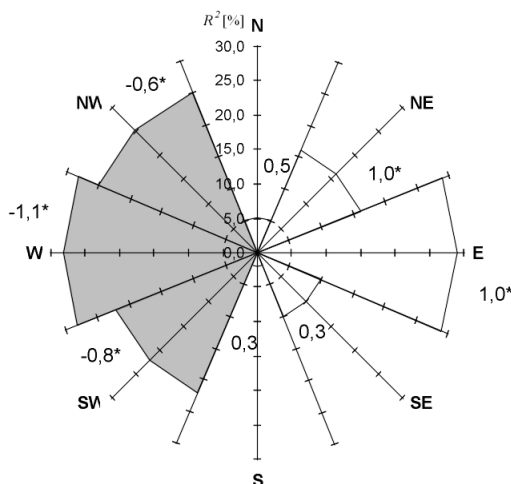


Rys. 5. Współczynnik determinacji [%] oraz wartości współczynnika regresji prostej [dni] liczby dni z określonym kierunkiem napływu mas powietrznych nad Polskę (styczeń-marzec) względem zimowego wskaźnika NAO Rogersa (1951-2000)

Tabela 6

Współczynniki korelacji (r) terminu wiosennego przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ z liczbą dni z określonym kierunkiem napływu mas powietrznych nad Polskę (styczeń-marzec) oraz z zimowym wskaźnikiem NAO (* – współczynniki istotne na poziomie $p < 0.05$)

Kierunek adwekcji	r	Kierunek adwekcji	r
N	0.22	[W]	-0.65*
NE	0.40*	[E]	0.56*
E	0.54*	[N]	-0.15
SE	0.32	[S]	0.09
S	0.15	Zimowy wskaźnik NAO	r
SW	-0.47*	Hurrella	-0.57*
W	-0.53*	Jonesa i in.	-0.68*
NW	-0.50*	Rogersa	-0.57*
0	0.10		



Rys. 6. Współczynnik determinacji [%] oraz wartości współczynnika regresji prostej [dni] terminu wiosennego przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ względem liczby dni z określonym kierunkiem napływu mas powietrznych nad Polskę (styczeń-marzec, 1951-2000)

Potwierdzeniem sugestii dotyczących możliwych związków zmienności dat wiosennego przejścia temperatury przez próg $+5.0^{\circ}\text{C}$ z NAO może być także podobieństwo widm oscylacji tych charakterystyk – wystąpienie składowych cyklicznych o podobnych okresach wahań (metoda J. Boryczki, Boryczka 1998). Na uwagę ze względu na znaczący zakres wahań, synchroniczność i w przypadku wskaźnika termicznego obecność na obszarze całej Polski zasługuje przede wszystkim cykliczność quasi-ośmioletnia (tab. 7).

Tabela 7

Składowe cykliczne zmian terminu wiosennego przejścia temperatury przez próg +5.0°C w Polsce (a) i zimowego wskaźnika NAO Jonesa i in. (b) oraz lata wystąpienia ekstremów w cyklu około 8-letnim (* – istotność na poziomie 0.05)

Składowe cykliczne											Cykl ok. 8-letni						
a	2.4	2.6	3.1*	3.7	4.2*	4.6*	5.4*	8.0*	10.2*	13.9*	Min	1959	1967	1975	1983	1990	1998
b	2.4*	2.8*	3.3	3.6*	4.0*	4.6*	5.3*	7.9*	10.2	14.8*	Max	1959	1967	1975	1983	1990	1998

Uwzględniając powyższe wyniki badań można stwierdzić, że początek okresu wegetacyjnego na obszarze Polski jest wyraźnie uwarunkowany przez zimowy charakter cyrkulacji atmosferycznej nad Północnym Atlantykiem, opisaną przez wskaźniki NAO. Wpływ NAO poprzez oddziaływanie natury termicznej przenosi się na możliwość rozpoczęcia wegetacji na obszarze Polski i w znacznej mierze decyduje o czasie jej trwania (Marsz i Żmudzka 1999). Odnajduje to swoje odbicie w szerszym spektrum zjawisk przyrodniczych oraz ma istotne znaczenie gospodarcze.

Literatura

- Boryczka J., 1993, Zmiany klimatu Ziemi. Wydawnictwo Akademickie Dialog, Warszawa, 163 s.
- Dubaniewicz H., 1974, Klimat województwa łódzkiego. Acta Geogr. Lodzensia, 34, 120 s.
- Gumiński R., 1950, Kurs meteorologii i klimatologii. PZWS, Warszawa, 241 s.
- Huculak W., Makowiec M., 1977, Wyznaczanie meteorologicznego okresu wegetacyjnego na podstawie jednorocznych materiałów obserwacyjnych. Zeszyty Naukowe SGGW AR w Warszawie, Leśnictwo, 25, s. 65-73.
- Hurrell J., 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.
- Kożuchowski K. red., 2000, Pory roku w Polsce: sezonowe zmiany w środowisku a wieloletnie tendencje klimatyczne. Łódź, 147 s.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury w drugiej połowie XX wieku. Przegl. Geofiz., 46, 1-2, s. 81-90.
- Marsz A. A., Żmudzka E., 1999, Oscylacja Północnego Atlantyku a długość okresu wegetacyjnego w Polsce. Przegl. Geofiz., 44, 4, s. 199-210.
- Marsz A. A., Żmudzka E., 2000/2001, Długoterminowa prognoza początku okresu wegetacyjnego w Polsce. Annales UMCS sec. B., 55/56, Lublin, s. 221-230.
- Molga M., Sokołowska J., 1963, Fenologiczne pory roku w Polsce. Wiad. Służby Hydrol. i Meteorol., 55.
- Obrębska-Starkłowa B., 1977, Typologia i regionalizacja fenologiczno-klimatyczna na przykładzie dorzecza górnej Wisły. Rozprawy habilitacyjne UJ, 11.
- Olszewski K., Żmudzka E., 2000, Variability of the vegetative period in Poland. Miscellanea Geographica, 9, s. 59-70.
- Pawłowska J., Jankowska A., Pindor T., 2000, Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego (1991-1999). IMGW, Warszawa, 28 s.

- Rogers J., 1984, A comparison of the mean winter pressure distribution in the extremes of the North Atlantic Oscillation and Southern Oscillation. [w:] H. van Loon (red.), Studies in climate. NCAR Technical Note 227, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Co., s. 208-241.
- Stępniewska-Podrańska M., 1991, Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej (1951-1990). IMGW, Warszawa, 108 s.
- Żmudzka E., Dobrowolska M., 2001, Zmienność termicznego okresu wegetacyjnego w Polsce w drugiej połowie XX wieku. Prace i Studia Geogr., 29, s. 127-136.
- Żmudzka E., 2001, Termiczny okres wegetacyjny w Polsce, Geografia w Szkole, 274(54), s. 206-214.