

# WSKAŹNIKI NAO A TYPY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ OSUCHOWSKIEJ-KLEIN

Anna Styszyńska

Akademia Morska w Gdyni, Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej

## Sformułowanie zagadnienia

Wskaźniki NAO Rogersa (1984), Hurrella (1995), Jonesa, Jonssona i Wheelera (1997) opisują to samo zjawisko – miesięczną, sezonową lub roczną standaryzowaną różnicę ciśnienia atmosferycznego między Wyżem Azorskim a Niżem Islandzkim. Zachodzące między nimi różnice sprowadzają się do wykorzystania odmiennych punktów bazowych do określenia tej wielkości (Wyż Azorski: Ponta Delgada, Lizbona lub Gibraltar oraz Niż Islandzki: Stikkisholmur/Reykjavik/Akureiri – Islandia). Ten czynnik stanowi przyczynę występowania między wskaźnikami wysokich i istotnych statystycznie korelacji, choć w zależności od położenia centrum Wyżu Azorskiego, wartości wskaźników mogą się między sobą różnić.

Cechy cyrkulacji atmosferycznej opisywanej przez wskaźniki NAO są niejednoznaczne. Pozytywnym wartościom wskaźników NAO odpowiada jeden lub dwa typy rozkładów pola ciśnienia nad Atlantykiem Północnym i Europą. W przypadku wystąpienia ujemnych wartości wskaźników NAO liczba możliwych typów rozkładu pola ciśnienia gwałtownie wzrasta.

W Polsce, w różnego rodzaju badaniach klimatologicznych dość powszechnie do charakteryzowania pola ciśnienia nad N Atlantykiem i Europą wykorzystuje się subiektywną typologię autorstwa B. Osuchowskiej-Klein (1978, 1991). Jest to klasyfikacja chwilowego rozkładu ciśnienia (praktycznie dobowego lub kilkudobowego – średniego, przeważającego w danym okresie). Staje się oczywistym, że wystąpieniu odpowiedniej wartości miesięcznej czy też sezonowej wskaźnika NAO powinno odpowiadać pewne spektrum typów cyrkulacji według klasyfikacji Osuchowskiej-Klein.

Taki stan rzeczy zmusza do postawienia kilku pytań:

- czy między długookresową klasyfikacją cyrkulacji atmosferycznej, charakteryzowaną przez wskaźniki NAO a klasyfikacją krótkookresową Osuchowskiej-Klein zachodzą związki?
- jak kształtują się te związki; które z typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein wykazują wyraźniejsze związki z NAO?
- czy rysują się względnie stałe spektra typów cyrkulacji, stowarzyszone ze znakami i/lub wartościami wskaźnika NAO?
- czy związki te są stabilne w funkcji czasu?

## Zakres badań

Przedstawione w pracy wyniki analiz ograniczone zostaną do pokazania związków między średnimi typami cyrkulacyjnymi Osuchowskiej-Klein (1978, 1991) występującymi w okresie zimowym (grudzień-marzec) a NAO występującym w tym samym okresie.

Jako miary NAO przyjęto do analizy zimowy wskaźnik NAO Hurrella (1995), normalizowany względem 120.letnia 1865-1984, dalej oznaczony jako NAO(H) oraz miesięczne (grudzień-marzec) wskaźniki NAO Rogersa (1984) oraz Jonesa i in. (1997) dalej oznaczone jako NAO(R) i NAO(J). Z miesięcznych wartości NAO(R) i NAO(J) utworzono również odpowiadające wskaźnikowi Hurrella wskaźniki sezonowe – średnie wartości dla okresu XII–III. Wszystkie wartości wskaźników pozyskano drogą elektroniczną.

Badaniu poddano cały dostępny ciąg kalendarza typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein (1978, 1991), obejmujący lata 1901-1998<sup>1</sup> (98 lat), charakteryzując zimę danego roku przez sumę liczby dni z danym typem średnim cyrkulacji. Zimą datowano na rok stycznia, podobnie jak datowany jest wskaźnik NAO Hurrella. W rozważaniach pominięto typ cyrkulacji oznaczony jako X, czyli nieokreślony.

Dla realizacji celów przedstawionych wcześniej, badania przeprowadzono w dwóch profilach czasowych – odrębnie dla całego analizowanego okresu 1901-1998 i odrębnie dla każdej epoki cyrkulacyjnej NAO wyróżnionej przez A. Marsza (1999): E I – lata 1900-1929; E II – lata 1930-1970; E III – lata 1971-1998.

## Wyniki

Analiza przeprowadzona dla całego okresu badań (1901-1998) wykazała występowanie istotnych statystycznie korelacji między miesięcznymi wskaźnikami NAO(R) oraz NAO(J), a niektórymi typami średnimi cyrkulacji występującymi w poszczególnych miesiącach sezonu zimowego (tab. 1).

W zestawieniu współczynników korelacji zawartym w tabeli 1 zwraca uwagę ogólny (poza typem E2C), wzrost siły związków wraz z przesuwaniem się na wschód południowego punktu bazowego wskaźnika NAO (słabsze związki - wskaźnik Rogersa, silniejsze - wskaźnik Jonesa i in.). Szczególnie wyraźnie jest to widoczne w przypadku typów C2D, D2C i G. Wskazuje to, zgodnie z wynikami wcześniej prowadzonych analiz (wskaźnik dNAOz; patrz: Marsz i Styszyńska 2000, 2001), na stopniowe przemieszczanie się w XX wieku zasięgu Wyżu Azorskiego na E–NE. Na wzrost frekwencji typów D2C i G zwrócił również uwagę Kożuchowski badając wraz z zespołem międzydekadową (1959-1968 i 1989-1998) zmienność warunków cyrkulacyjnych w Polsce (Kożuchowski [red.] 2000) i wiążąc go z uaktywnieniem południowego napływu powietrza nad Polskę w sytuacji recesji częstości "sterujących" typów cyrkulacji nad Polską – zachodnich i wschodnich.

Siła i charakter związków poszczególnych typów cyrkulacji z wskaźnikami NAO jest w kolejnych miesiącach zimy zróżnicowana (tab. 1). Jedynie trzy typy cyrkulacji wykazują istotne związki we wszystkich miesiącach sezonu zimowego: A, E0 i E2C. Z kolei w żadnym z badanych miesięcy nie stwierdzono istotnych korelacji przy typach: CB, D i BE. W pozostałych przypadkach ten sam typ cyrkulacji, który w jednym miesiącu zimowym istotnie koreluje z danym wskaźnikiem NAO, w innym często nie wykazuje z tym samym wskaźnikiem żadnego lub bardzo słabe związki. Przyczyn takiego stanu rzeczy można dopatrywać się zarówno w postępującej w czasie zimy zmienności charakteru

---

<sup>1</sup> Prof. dr hab. Krzysztofowi Kożuchowskiemu z Uniwersytetu Łódzkiego dziękuję za udostępnienie serii miesięcznych typów średnich cyrkulacji atmosfery z lat 1991-1998.

procesów synoptycznych (Morozowska 1961, Osuchowska-Klein 1961, 1975) jak i być może w tym, że pojedynczy miesiąc okresu zimowego nawet w długim szeregu czasowym charakteryzuje się zawężonym spektrum występujących typów cyrkulacji.

Tabela 1

Współczynniki korelacji liniowej ( $r$ ) między liczbą dni z danym typem cyrkulacji atmosferycznej a wskaźnikami NAO(R) i NAO(J) w poszczególnych miesiącach zimy i całym sezonie zimowym w okresie 1901-1998.

Współczynniki korelacji istotne na poziomie  $p < 0.05$  pogrubiono

Typ cyrkulacji	NAO(R)					NAO(J)				
	XII	I	II	III	XII-III	XII	I	II	III	XII-III
A	<b>0.361</b>	<b>0.506</b>	<b>0.569</b>	<b>0.591</b>	<b>0.547</b>	<b>0.366</b>	<b>0.531</b>	<b>0.634</b>	<b>0.567</b>	<b>0.599</b>
CB	-0.117	-0.045	-0.102	-0.089	0.024	-0.009	0.098	-0.078	-0.033	0.033
D	0.053	0.029	0.050	-0.121	0.011	0.177	0.031	0.174	-0.049	0.127
B	-0.034	-0.163	0.030	-0.072	<b>-0.244</b>	-0.132	<b>-0.226</b>	-0.048	-0.160	<b>-0.284</b>
F	-0.082	<b>-0.257</b>	-0.155	<b>-0.213</b>	-0.119	<b>-0.234</b>	<b>-0.237</b>	<b>-0.233</b>	<b>-0.283</b>	-0.149
C2D	0.109	<b>0.383</b>	0.189	0.179	<b>0.258</b>	0.012	<b>0.419</b>	<b>0.199</b>	<b>0.226</b>	<b>0.298</b>
D2C	0.171	0.063	<b>0.212</b>	0.110	<b>0.261</b>	0.178	<b>0.203</b>	<b>0.382</b>	<b>0.318</b>	<b>0.368</b>
G	-0.004	-0.056	0.104	0.111	0.047	-0.075	0.023	0.110	<b>0.218</b>	0.067
E2C	<b>-0.331</b>	<b>-0.399</b>	<b>-0.368</b>	<b>-0.336</b>	<b>-0.300</b>	<b>-0.301</b>	<b>-0.330</b>	<b>-0.341</b>	<b>-0.260</b>	<b>-0.268</b>
E0	<b>-0.224</b>	<b>-0.354</b>	<b>-0.193</b>	<b>-0.266</b>	<b>-0.373</b>	<b>-0.233</b>	<b>-0.460</b>	<b>-0.240</b>	<b>-0.216</b>	<b>-0.418</b>
E	<b>-0.210</b>	<b>-0.223</b>	<b>-0.334</b>	-0.149	<b>-0.337</b>	<b>-0.236</b>	<b>-0.275</b>	<b>-0.355</b>	-0.179	<b>-0.336</b>
E1	0.060	0.010	-0.068	0.087	-0.097	0.053	-0.132	<b>-0.218</b>	-0.086	<b>-0.252</b>
BE	0.119	0.082	0.168	0.035	0.008	0.111	-0.036	0.080	-0.004	-0.096

W całym okresie zimowym (XII-III) wzrost natężenia cyrkulacji strefowej (NAO+) pociąga za sobą wzrost częstości występowania typów cyrkulacji A i C2D – najbliższych postaci pola barycznego charakterystycznego w czasie silnej dodatniej fazy NAO – oraz nieco podobnego do nich, choć dość rzadko występującego, typu cyrkulacji D2C. Frekwencja typu A jest słabo dodatnio skorelowana z typem D2C zarówno w całym badanym okresie ( $r = 0.22$ ,  $p < 0.031$ ) jak i w drugiej epoce cyrkulacyjnej NAO ( $r = 0.34$ ,  $p < 0.030$ ). Istotne korelacje typu A z typem C2D zachodzą tylko w trzeciej epoce cyrkulacyjnej NAO ( $r = 0.52$ ,  $p < 0.004$ ).

Wzrost natężenia cyrkulacji południkowej (NAO-) pociąga za sobą wzrost częstości występowania typów cyrkulacji: E0, E, E2C i B, a w przypadku NAO(J) dodatkowo E1. Typ E0 jest statystycznie wysoce istotnie skorelowany z typem A zarówno w całym badanym okresie ( $r = -0.43$ ,  $p < 0.000$ ) jak i w drugiej ( $r = -0.38$ ,  $p < 0.013$ ) oraz trzeciej epoce cyrkulacyjnej NAO ( $r = -0.58$ ,  $p < 0.001$ ), w której dodatkowo ujemnie koreluje z występowaniem typu C2D ( $r = -0.52$ ,  $p < 0.005$ ).

Wskaźnik Jonesa i in. (Gibraltar-Islandia) wykazujący, jak pokazano wyżej, ściślejsze związki z typami cyrkulacji Osuchowskiej-Klein, niestety niejednoznacznie charakteryzuje warunki cyrkulacji strefowej nad N Atlantykiem. Przy dużych wartościach dodatnich tego wskaźnika, nad Północnym Atlantykiem może występować zarówno cyrkulacja strefowa jak i silna cyrkulacja południkowa (patrz np. typy cyrkulacji D2C i F). Stąd też w dalszej części pracy skupiono się na sezonowym (grudzień-marzec) wskaźniku NAO opracowanym przez Hurrella (Lizbona-Islandia).

Związki liczby dni z typami średnimi cyrkulacji atmosferycznej według klasyfikacji Osuchowskiej-Klein w okresie zimowym (grudzień–marzec) z wartością wskaźnika NAO Hurrella przedstawia tabela 2. Biorąc pod uwagę istotne statystycznie korelacje występujące w całym badanym okresie (1901-1998) można założyć, że ze zmianami wskaźnika NAO(H) w okresie zimy powiązane są zmiany 8 typów cyrkulacji: A, B, C2D, D2C, E2C, E0, E oraz E1. Pozostałe typy: CB, D, G, oraz F i BE praktycznie nie wykazują związku ze zmianami wskaźnika NAO Hurrella.

Tabela 2

Współczynniki korelacji liniowej ( $r$ ) między liczbą dni z danym typem cyrkulacji atmosferycznej w okresie XII–III a wskaźnikiem NAO Hurrella w całym okresie obserwacji i w kolejnych epokach cyrkulacyjnych NAO oraz ich istotność statystyczna ( $p$ ). Współczynniki korelacji istotne na poziomie  $p < 0.05$  pogrubiono

Lata	1901-1998		1901-1929		1930-1970		1971-1998	
Epoka	Cały okres		E I		E II		E III	
Typ cyrkulacji	$r$	$p$	$r$	$p$	$r$	$p$	$r$	$p$
A	<b>0.548</b>	0.000	<b>0.615</b>	0.001	<b>0.549</b>	0.000	<b>0.548</b>	0.003
CB	0.074	0.475	-0.103	0.601	-0.037	0.820	0.361	0.059
D	0.006	0.950	0.029	0.885	-0.134	0.404	0.092	0.643
B	<b>-0.310</b>	0.002	<b>-0.469</b>	0.012	-0.071	0.659	<b>-0.409</b>	0.031
F	-0.095	0.353	<b>-0.409</b>	0.031	-0.032	0.842	-0.218	0.265
C2D	<b>0.324</b>	0.001	0.141	0.474	<b>0.395</b>	0.011	<b>0.586</b>	0.001
D2C	<b>0.294</b>	0.004	<b>0.379</b>	0.047	<b>0.418</b>	0.006	0.325	0.092
G	0.115	0.261	0.169	0.389	-0.199	0.213	0.148	0.453
E2C	<b>-0.250</b>	0.014	<b>-0.407</b>	0.031	-0.215	0.178	-0.231	0.238
E0	<b>-0.353</b>	0.000	-0.124	0.530	-0.208	0.192	<b>-0.689</b>	0.000
E	<b>-0.332</b>	0.001	-0.239	0.221	<b>-0.329</b>	0.036	-0.204	0.298
E1	<b>-0.223</b>	0.028	-0.047	0.813	-0.193	0.228	<b>-0.516</b>	0.005
BE	-0.046	0.657	0.022	0.911	-0.103	0.524	<b>-0.410</b>	0.030

Podobnie jak poprzednio (przy analizie zależności z NAO(R) i NAO(J)) zwraca uwagę mała stabilność związków. Jedynie typ A, odpowiadający występowaniu sytuacji synoptycznej typowej dla silnej pozytywnej fazy NAO wykazuje mocne zależności ze zmianami NAO(H) we wszystkich epokach cyrkulacyjnych (tab. 2). Pozostałe typy ze spektrum związanego z NAO, istotne związki wykazują w dwóch (B, C2D i D2C) lub tylko w jednej z epok (E2C, E0, E i E1).

Schematyczne pola ciśnienia powiązanych z NAO(H) typów cyrkulacji oraz zależność liczby dni z danym typem cyrkulacji od wartości wskaźnika NAO(H) w zimach (XII–III) z okresu 1901-1998 przedstawiają rysunki 1 i 2.

Wśród 8 typów cyrkulacji związanych z NAO(H), 4 z nich występują bardzo często. Typy A i E1 nie wystąpiły tylko w trzech przypadkach (zimach) na 98 lat (typ A: 1929, 1960 i 1985 – przy ujemnej fazie NAO; typ E1: 1983, 1992 i 1993 – przy wysoce dodatniej fazie NAO), typ C2D – 5 razy, typ E – 8 razy oraz typ E0 – 9 razy (patrz rys. 1 i 2). Frekwencję dni z określonymi typami średnimi cyrkulacji w okresie zimowym (grudzień–marzec) w latach 1901-1998 przedstawia tabela 3.

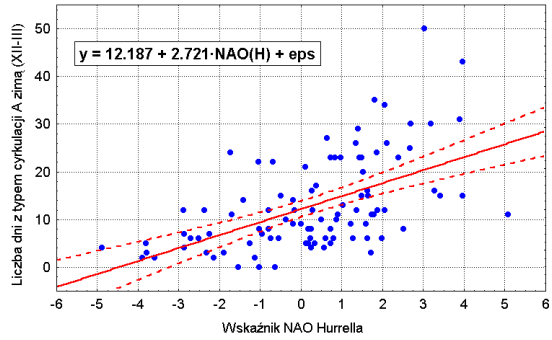
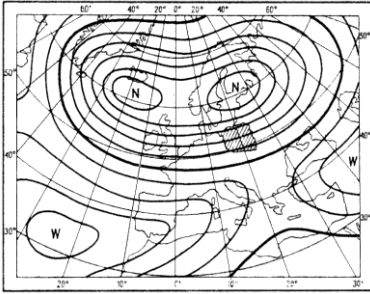
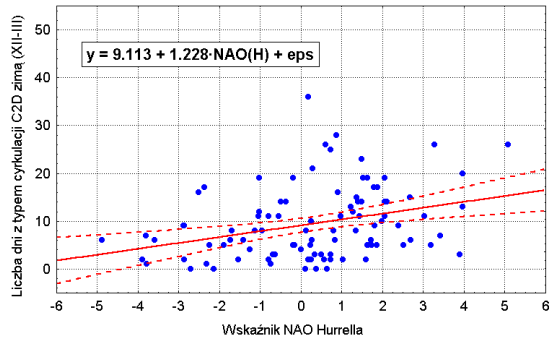
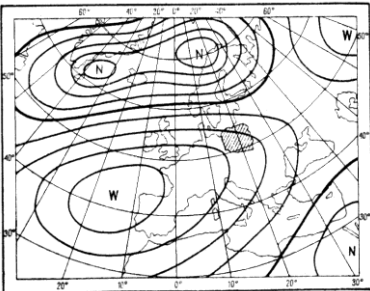
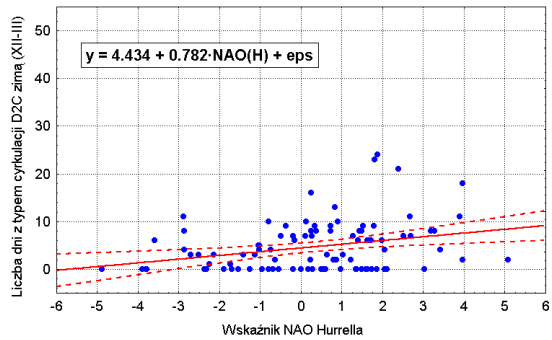
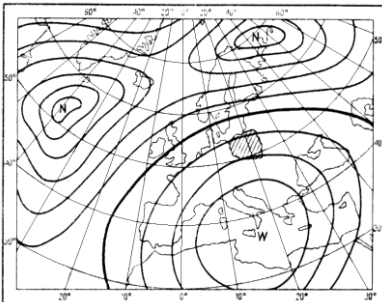
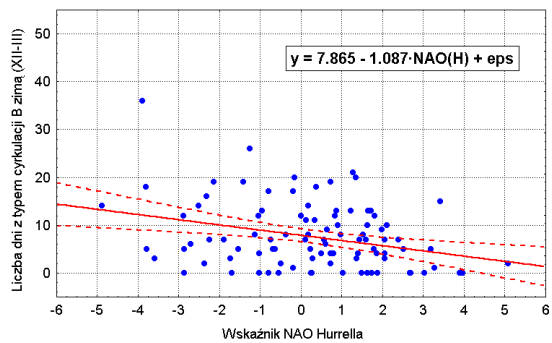
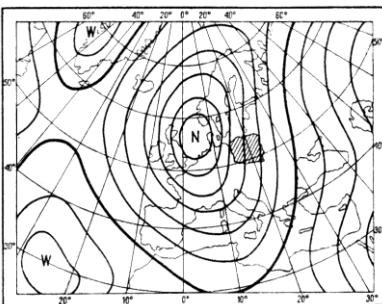
Struktura częstości liczby dni z danymi typami średnimi cyrkulacji w analizowanym 98. leciu (E1, CB, A, D i E) odbiega od scharakteryzowanej przez B. Osuchowską-Klein (1975) dla zim okresu 1900-1965 (A, E1, CB, D, E). Typ A z pierwszego miejsca zajmowanego w zimach 1900-1965 przeniósł się na trzecie miejsce. Spadek średniej liczby dni z typem A widoczny jest również z epoki na epokę (patrz tab. 3). Pierwsza lokata typu E1 w okresie 1901-1998 wskazuje na tendencję wzrostową do zimowego blokowania cyrkulacji zachodniej przez wyż kontynentalny. Na aktywizację procesów blokadowych wskazuje również wzrost, w porównaniu do okresu 1900-1965, frekwencji typu cyrkulacji CB. Wyraźne osłabienie cyrkulacji strefowej, przejawiające się silnym spadkiem częstości występowania zachodniej cyrkulacji cyklonalnej (typ A) i aktywizację, zwłaszcza w zimie, procesów blokadowych (typy CB i E) w dekadzie lat osiemdziesiątych stwierdziła już B. Osuchowska-Klein (1987) badając sekularny przebieg sezonowej zmienności głównych, wyróżnionych przez siebie typów cyrkulacji.

Tabela 3

Liczba dni z określonymi typami średnimi cyrkulacji według klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein w okresie zimowym (grudzień-marzec) lat 1901-1998 oraz w poszczególnych epokach cyrkulacyjnych NAO. Zaznaczono typy cyrkulacji związane z NAO(H)

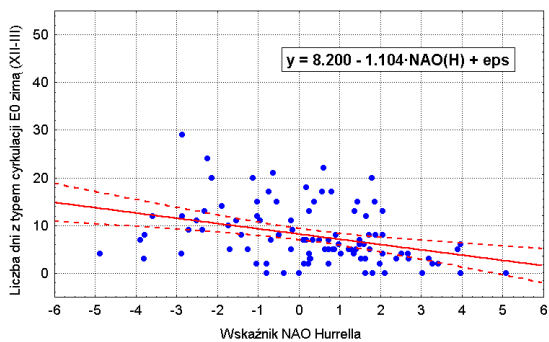
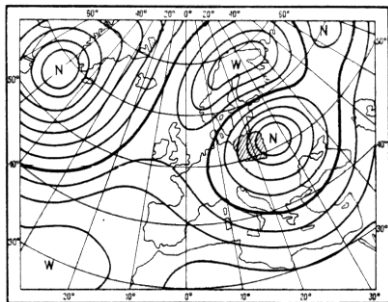
Typ cyrkulacji	Średnia liczba dni	Odchyl. Standard.	Liczba dni		Średnia liczba dni w epoce		
			min	max	E I	E II	E III
A	13.0	9.78	0	50	15.5	11.8	8.8
CB	14.5	8.16	0	46	15.1	15.0	17.5
D	12.5	9.65	0	49	18.3	12.2	11.7
B	7.5	6.91	0	36	7.0	9.3	8.5
F	2.5	3.20	0	16	2.4	2.3	4.8
C2D	9.5	7.47	0	36	9.4	11.5	8.7
D2C	4.7	5.25	0	24	4.8	5.9	5.2
G	3.9	5.50	0	29	2.6	3.2	6.6
E2C	3.8	4.21	0	19	2.1	5.1	4.2
E0	7.9	6.16	0	29	8.4	10.6	11.6
E	12.1	8.44	0	38	9.8	14.0	13.5
E1	17.2	11.12	0	55	21.0	16.8	17.6
BE	1.6	2.84	0	17	1.8	0.9	2.1
X	10.6	6.84	0	36	2.9	2.7	0.1

Z 5 najczęściej występujących zimą (1901-1998) typów średnich cyrkulacji atmosfery tylko trzy z nich związane są z NAO(H) – E1, A i E (patrz tab. 3). Jeśli przyjąć, że typy cyrkulacji: A, B, C2D, D2C, E2C, E0, E i E1 są powiązane z NAO(H), to spektrum to łącznie określa około 62% czasu zimy, z czego na cyrkulację strefową przypada niecałe 19%. Duży udział wschodnich typów cyrkulacji (E1, E i E0) w wyróżnionym spektrum typów powiązanych z NAO(H) nie dziwi jeśli weźmie się pod uwagę wyniki badań B. Osuchowskiej-Klein (1975) nad następczością typów cyrkulacji. Według tej autorki w zimie, w wyniku rozwoju procesu synoptycznego – wypierania na SE niżu znad Białorusi przez wyż znad Skandynawii – bardzo często dochodzi do przekształcania się typu E0 w typ E i po dalszym przemieszczeniu się tego wyżu na SE do przekształcania się typu E w typ E1. Należy pamiętać również o tym, że wschodnie typy cyrkulacji są bardziej stacjonarne niż zachodnie.

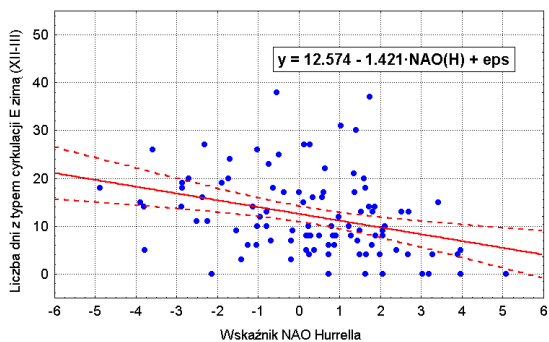
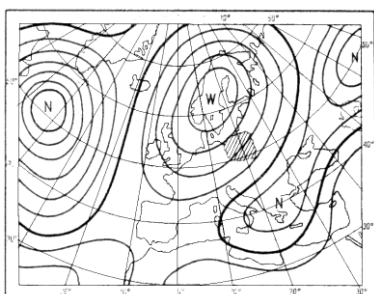
**A****C2D****D2C****B**

Rys. 1. Schematyczne pole ciśnienia typów cyrkulacji A, C2D, D2C i B oraz związek liczby dni z danym typem cyrkulacji zimą (XII-III) z wartością wskaźnika NAO Hurrella (1901-1998)

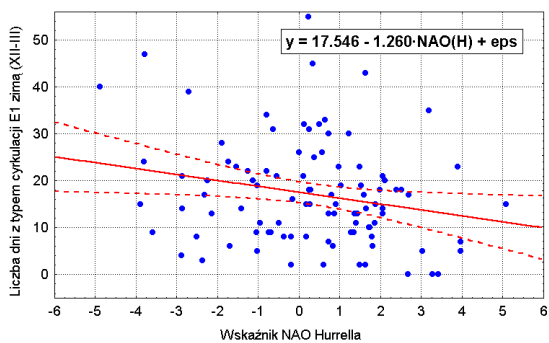
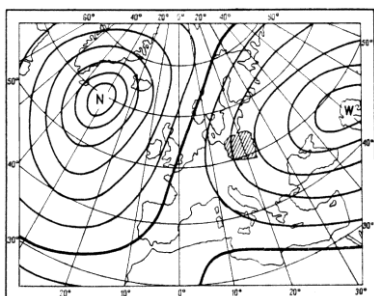
**E0**



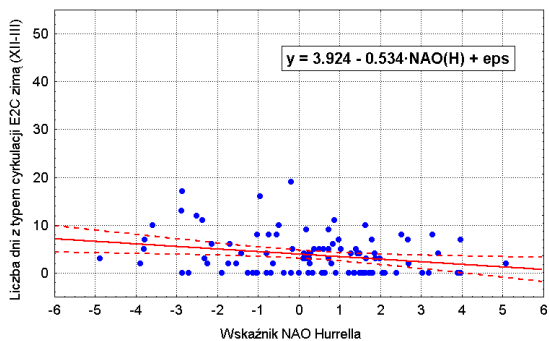
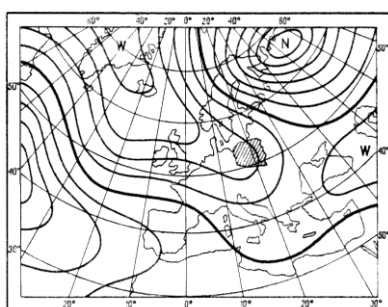
**E**



**E1**

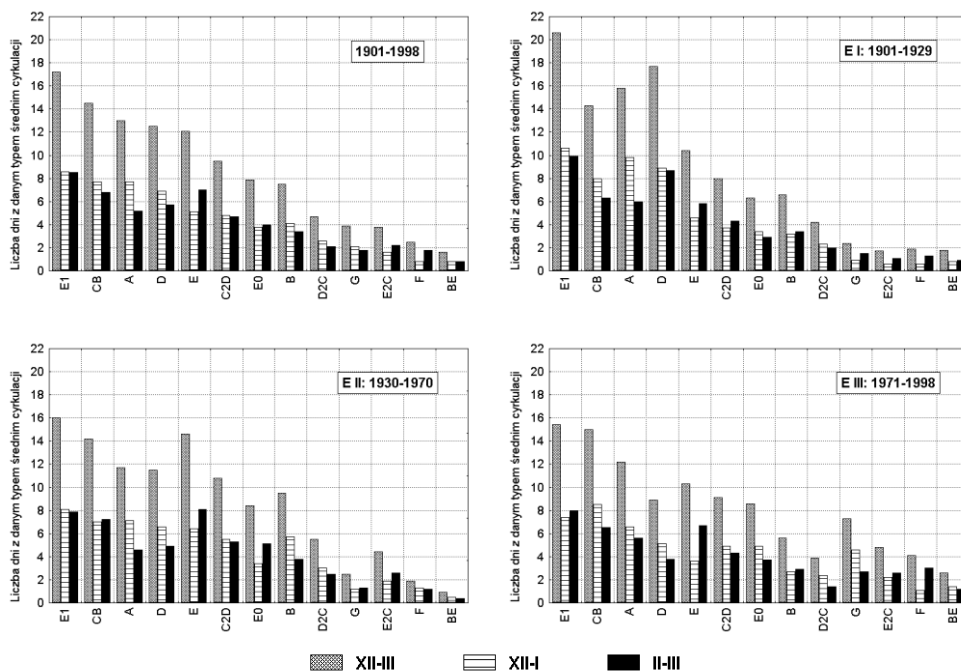


**E2C**



Rys. 2. Schematyczne pole ciśnienia typów cyrkulacji E0, E, E1 i E2C oraz związek liczby dni z danym typem cyrkulacji zimą (XII–III) z wartością wskaźnika NAO Hurrella (1901–1998)

Analiza frekwencji dni z danymi typami cyrkulacji atmosferycznej w okresie całej zimy (XII–III) jak i jej pierwszej (XII–I) i drugiej (II–III) połowy w pełnym ciągu obserwacji i kolejnych epokach cyrkulacyjnych NAO (rys. 3) wskazała na wyraźne przesunięcia dominant typów w poszczególnych epokach i częściach zimy (w pierwszej epoce cyrkulacyjnej – E1, D, A i CB, w drugiej – E1, E, CB i A oraz w trzeciej - E1, CB, A i E). Zwraca uwagę stała dla wszystkich epok większa frekwencja liczby dni z typami cyrkulacji A, D i D2C w pierwszej połowie zimy (XII–I) i dni z typem cyrkulacji E w drugiej połowie zimy (II–III).



Rys. 3. Frekwencja typów średnich cyrkulacji atmosfery zimą (XII–III) oraz w jej pierwszej (XII–I) i drugiej połowie (II–III) w okresie 1901–1998 oraz poszczególnych epokach cyrkulacyjnych NAO

Analiza związków między wskaźnikiem NAO Hurrella, a obliczonymi dla całej zimy liczbami dni z danym typem cyrkulacji atmosferycznej wykazała, że najsilniejsze korelacje występują z liczbą dni, w których występuje typ cyrkulacji A ( $r \sim 0.55 \div 0.61$ ,  $p < 0.000 \div 0.003$ ), a który jest najbliższy postaci pola barycznego występującego w czasie silnej dodatniej fazy NAO (tab. 1 i 4). Dla całego badanego okresu (1901–1998; 98 lat) zmiana wartości wskaźnika NAO o jedną jednostkę powoduje zgodną ze znakiem zmianę o 2.7 dnia względem średniej (13.0 dnia w ciągu zimy). Jednak zależność ta jest niestabilna w funkcji czasu (tab. 4). W pierwszej (E I; 1901–1929) i trzeciej (E III; 1971–1998) epoce cyrkulacyjnej NAO(H), czyli w epokach które charakteryzowały się dodatnimi średnimi wartościami NAO(H), zmiana wartości wskaźnika NAO o jedną jednostkę pociągała za sobą zmianę o 3.7 dnia i 3.1 dnia odpowiednio, natomiast w drugiej epoce cyrkulacyjnej NAO (E II; 1930–1970) – charakteryzującej się ujemnym średnim wskaźnikiem NAO(H) – tylko o 2.5 dnia.



Analizując rozkład i wartości współczynników kierunkowych równań zamieszczonych w tabeli 4 odnosi się wrażenie, że w badanym okresie zmniejszający się udział liczby dni z typem cyrkulacji A, jest zimą zastępowany wzrastającą liczbą dni z typem cyrkulacji C2D. Ponieważ oba typy opisują ogólny kształt pola ciśnienia nad Europą i N Atlantykiem charakterystyczny dla cyrkulacji strefowej to stwierdzony wniosek potwierdza wyniki wcześniej przeprowadzonych analiz wskazujące na stopniowe przemieszczanie się w XX wieku zasięgu Wyżu Azorskiego na E–NE (patrz też: Wibig 2001, Marsz 2002). To, że typ A zaliczony jest do typu cyklonalnego, a typ C2D do antycyklonalnego dotyczy wyłącznie charakteru napływu mas powietrza nad Polskę. Zmiany wartości wskaźnika NAO(H) objaśniają od 33% (1901-1998) do 36% (E I) i 39% (E II i E III) zmienności łącznej liczby dni z typami cyrkulacji strefowej (A + C2D). Zauważa się również wyraźne przesunięcie dominant w poszczególnych epokach i częściach zimy. W pierwszej i trzeciej epoce cyrkulacyjnej znacznie silniejsze związki występują w pierwszej części zimy, gdzie zmiany wskaźnika NAO(H) objaśniają od 24% (E I) do 46% (E III) zmienności sumy dni z typami A + C2D, natomiast w drugiej połowie zimy tylko 15%. W drugiej epoce NAO (E II), w pierwszej części zimy współczynnik determinacji wynosi 0.10 i wzrasta w drugiej części zimy do 0.32.

Tabela 4

Równania regresji liniowej, wiążące częstość występowania dni z określonym typem średnim cyrkulacji ze wskaźnikiem NAO Hurrella w całym okresie badań (1901-1998) oraz w poszczególnych epokach cyrkulacyjnych. Równania istotne na poziomie  $p < 0.05$  pogrubiono

Typ cyrkulacji	Cały okres 1901-1998	E I 1901-1929	E II 1930-1970	E III 1971-1998
A	<b>12.19 + 2.721·NAO</b>	<b>12.92 + 3.716·NAO</b>	<b>13.00 + 2.451·NAO</b>	<b>8.92 + 3.045·NAO</b>
C2D	<b>9.11 + 1.228·NAO</b>	7.59 + 0.475·NAO	<b>11.71 + 1.736·NAO</b>	<b>6.64 + 2.346·NAO</b>
D2C	<b>4.43 + 0.782·NAO</b>	<b>3.39 + 1.107·NAO</b>	<b>6.26 + 1.371·NAO</b>	3.11 + 0.701·NAO
B	<b>7.86 - 1.087·NAO</b>	<b>7.96 - 1.688·NAO</b>	9.31 - 0.317·NAO	<b>6.65 - 1.010·NAO</b>
E0	<b>8.20 - 1.104·NAO</b>	6.59 - 0.396·NAO	8.06 - 0.693·NAO	<b>11.12 - 2.354·NAO</b>
E	<b>12.57 - 1.421·NAO</b>	11.31 - 1.178·NAO	<b>13.73 - 1.563·NAO</b>	11.14 - 0.767·NAO
E1	<b>17.55 - 1.260·NAO</b>	20.82 - 0.316·NAO	15.46 - 1.028·NAO	<b>18.83 - 3.180·NAO</b>
E2C	<b>3.92 - 0.534·NAO</b>	<b>2.14 - 0.542·NAO</b>	4.16 - 0.514·NAO	5.41 - 0.549·NAO

Podobne przesunięcia w kolejnych epokach cyrkulacyjnych obserwuje się w przypadku liczby dni z określonymi typami cyrkulacji południkowej, zwłaszcza z sytuacjami blokadowymi – zamiana typu E2C istotnie korelującego w pierwszej epoce NAO(H) na typ E w drugiej epoce i dalej typy E1 i E0 w trzeciej epoce NAO (tab. 4). Warto zauważyć, że występowanie typu E1 jest istotnie skorelowane z typem C2D zarówno w całym badanym okresie ( $r = -0.36$ ,  $p < 0.000$ ) jak i w drugiej ( $r = -0.43$ ,  $p < 0.005$ ) oraz trzeciej epoce cyrkulacyjnej NAO ( $r = -0.48$ ,  $p < 0.010$ ). W tej ostatniej epoce ujemnie korelują z typem C2D również typy E0 ( $r = -0.52$ ,  $p < 0.005$ ) i E ( $r = -0.49$ ,  $p < 0.008$ ).

Strefowe typy cyrkulacji – A i C2D oraz typy charakterystyczne dla cyrkulacji południkowej – E i E1 uznane zostały przez Kożuchowskiego (1993) za typy "przewodnie" klasyfikacji Osuchowskiej-Klein, w największym stopniu podlegające wpływom zmian cyrkulacyjnych w makroskali.

"Wymiana" częstości występowania dni z typem cyrkulacji skrajnie strefowej (A) i strefowej (C2D), z typami cyrkulacji wschodniej E0 i E, wraz z przechodzeniem od ujemnych do dodatnich wartości indeksu NAO jest wyraźnie widoczna gdy porówna się wykresy liczby dni z tymi typami cyrkulacji w funkcji zmian wskaźnika NAO(H) - rysunek 1 i 2.

### **Wnioski**

Z przeprowadzonego porównania cech cyrkulacji atmosferycznej rozwijającej się nad Północnym Atlantykiem i Europą, a opisywanych przez wskaźniki NAO, z charakterystyką tej cyrkulacji za pomocą typologii B. Osuchowskiej-Klein wyciągnąć można następujące wnioski:

1. Występuje tylko kilka, z wyróżnionych przez B. Osuchowską-Klein typów cyrkulacji, których zmienność w okresie zimy wykazuje wyraźniejszy i istotny statystycznie związek ze zmiennością wskaźnika NAO Hurrella. Są to typy: A, B, C2D, D2C, E2C, E0, E i E1.

2. Najsilniejszy i względnie stabilny, bo występujący we wszystkich epokach cyrkulacyjnych NAO, związek ze wskaźnikiem NAO Hurrella wykazuje typ cyrkulacji A, będący pod względem chwilowego rozkładu pola ciśnienia analogiem klimatycznego obrazu silnej pozytywnej fazy NAO. Cechą charakterystyczną cyrkulacji A jest zwiększona częstość występowania dni z tym typem w pierwszej połowie zimy (XII-I).

3. Wraz ze wzrostem wartości indeksu NAO Hurrella rośnie częstość występowania dni z typami cyrkulacji strefowej – A i C2D, przy jednoczesnym spadku liczby dni z typami cyrkulacji południkowej zwłaszcza związanymi z sytuacjami blokadowymi – E i E0.

4. Poza typem cyrkulacji A, pozostałe typy cyrkulacji nie tworzą stabilnych związków ze wskaźnikiem NAO. W każdej epoce cyrkulacyjnej występuje swoiste dla niej spektrum występujących typów cyrkulacji, i swoście dla epoki układa się charakter związków między zmiennością indeksu NAO a liczbą dni o określonych typach cyrkulacji.

5. Spektra typów cyrkulacji, występujące w okresach zimowych wyraźnie różnią się w poszczególnych epokach cyrkulacyjnych NAO, stąd też można postawić tezę, że brak jest prostego i jednoznacznego przełożenia wartości indeksów NAO w dłuższych okresach na bardziej szczegółowy opis warunków cyrkulacyjnych występujących w czasie zimy.

6. Również w przekrojach miesięcznych nie można jednoznacznie przełożyć wartości wskaźnika NAO na bardziej szczegółową charakterystykę opisową typów cyrkulacji. W tym ostatnim przypadku dodatkowe komplikacje wynikają z pewnej niejednoznaczności opisu warunków cyrkulacyjnych przez wskaźnik NAO Gibraltar-Islandia.

7. Frekwencja dni o określonych typach cyrkulacji zmienia się silniej w funkcji czasu. Obserwuje się "zamianę" jednych typów cyrkulacji na inne w kolejnych epokach. Pod względem frekwencji występujących typów cyrkulacji Osuchowskiej-Klein kolejne epoki cyrkulacyjne NAO są nieporównywalne.

### **Literatura**

Hurrell J.W., 1995, Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationship to regional temperature and precipitation. Science 269, s. 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. *Int. J. Climatology*, 17, s. 1433-1450.
- Kożuchowski K., 1993, Makrotypy ogólnej cyrkulacji atmosfery a główne typy cyrkulacji nad Polską. *Przeegl. Geofiz.*, 38, 3-4, s. 241-247.
- Kożuchowski K. (red.), 2000, Pory roku w Polsce. Sezonowe zmiany w środowisku a wieloletnie tendencje klimatyczne, Łódź, 147 s.
- Marsz A.A., 1999, Oscylacja Północnoatlantycka a reżim termiczny zim na obszarze północno-zachodniej Polski i polskim wybrzeżu Bałtyku. *Przeegl. Geogr.*, 71(3), s. 225-245.
- Marsz A.A., 2002, NAO a cyrkulacja wód Północnego Atlantyku, związki NAO z polem temperatury powierzchni oceanu. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Morskiej w Gdyni (w niniejszym tomie).
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2000, Fazy kontynentalizacji i oceanizacji klimatu nad obszarem Bałtyku w XIX i XX wieku. *AUNC, Geografia*, 31, s. 183-201.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2001, Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską. Wydawnictwo Uczelniane WSM, Gdynia, 101 s.
- Morozowska I., 1961, O cyklonalnych typach cyrkulacji w miesiącach zimowych. *Prace PIHM*, 65, 25 s.
- Osuchowska-Klein B., 1961, O wschodnich typach cyrkulacji w zimie. *Wiad. Służby Hydr. i Meteor.*, 8, 5, s. 236-258.
- Osuchowska-Klein B., 1975, Progностyczne aspekty cyrkulacji nad Polską. *Prace IMGW*, 7, s. 5-51.
- Osuchowska-Klein B., 1978, Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej. IMGW, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Osuchowska-Klein B., 1987, Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w Europie w bieżącym stuleciu. *Przeegl. Geofiz.*, 32, 1, s. 49-55.
- Osuchowska-Klein B., 1991, Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej 1976-1990. IMGW, Warszawa.
- Rogers J.C., 1984, A comparison of the mean winter pressure distribution in the extremes of the North Atlantic Oscillation and Southern Oscillation. [w:] *Studies in Climate*, NCAR Technical Note, February 1984, Boulder, Co., s. 208-241.
- Wibig J., 2001, Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na rozkład przestrzenny anomalii temperatury i opadów w Europie. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 208 s.