

## WSKAŹNIKI CYRKULACJI A TEMPERATURA W POLSCE

Krzysztof Kożuchowski<sup>1</sup>, Jan Degirmendžić<sup>2</sup>

Uniwersytet Łódzki

<sup>1</sup> Zakład Dynamiki Środowiska i Bioklimatologii, <sup>2</sup> Zakład Meteorologii i Klimatologii

### Wstęp

Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na warunki termiczne w Polsce był przedmiotem licznych opracowań klimatologicznych. Określono m.in. zależności temperatury od typów cyrkulacji (Niedźwiedz i in. 1994; Niedźwiedz 1993; Wibig 1995; Kłysik i Sazonow 1996), badano wpływy konfiguracji pola ciśnienia nad Europą i Atlantykiem na kształtowanie się zmienności warunków termicznych (Kożuchowski 1989; Miętus 1996, 1999; Wibig 2001), analizowano korelację temperatury ze wskaźnikami cyrkulacji – gradientami ciśnienia nad Północnym Atlantykiem (NAO) – (Marsz 1999; Marsz i Styszyńska 2001; Marsz i Żmudzka 1999; Wibig 2000) i na półkuli północnej między 35 i 65°N (Kożuchowski 1993). Badano także wieloletnią dynamikę zmian warunków cyrkulacyjnych: pisali o niej m.in. Osuchowska (1987), Niedźwiedz (1995), Ustrnul (1997) i Wibig (2001).

Rola czynnika cyrkulacyjnego – w tym nasilenia strefowego napływu mas powietrznych, którego miarą jest w szczególności wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej – została więc już dobrze udokumentowana. Wiadomo między innymi, że charakterystyczną cechą cyrkulacyjnych oddziaływań na warunki termiczne w Polsce są sezonowo zmieniające się związki temperatury ze wskaźnikami cyrkulacji i wyraźne osłabienie tych związków w ciepłej połowie roku.

W niniejszym artykule podejmujemy próbę określenia wskaźników cyrkulacji, wyjaśniających możliwie największą część wariacji średnich wartości temperatury w Polsce w ich rocznym przebiegu. Rozpatrując konfigurację pola ciśnienia nad Europą i Północnym Atlantykiem poszukujemy wskaźników tego pola najsilniej skorelowanych z temperaturą w poszczególnych miesiącach. Uwzględniając korelację temperatury z indeksem NAO – weryfikujemy jednocześnie tezę o roli, jaką spełnia Oscylacja Północnoatlantycka w kształtowaniu zmienności warunków termicznych w Polsce.

Przedmiotem analizy są średnie miesięczne wartości ciśnienia na poziomie morza w punktach gridowych o rozdzielczości 10° x 5° ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ) na obszarze ograniczonym równoleżnikami 30 i 70°N i południkami 40°W i 60°E (NMC Grid Point CDROM, 1996) oraz średnie miesięczne wartości temperatury, wyznaczone na podstawie danych z 50 stacji, rozmieszczonych na obszarze Polski<sup>1</sup>. Analizowano ponadto średnie miesięczne wartości hemisferycznego wskaźnika cyrkulacji strefowej (35–65°N) – (Dienes 1968, Grosswetterlagen 1968-2000) oraz wartości indeksu NAO wg Jonesa z

---

<sup>1</sup> Dr Elwirze Żmudzkiej z Uniwersytetu Warszawskiego dziękujemy na udostępnienie serii średnich powierzchniowych wartości temperatury w Polsce z lat 1951-2000.

wymienionego 50.olecia. Wyznaczono "lokalne" wskaźniki cyrkulacji strefowej i południkowej dla Europy Środkowej<sup>2</sup>: są to odpowiednio średnie gradienty ciśnienia między 45 i 60°N (ZI) oraz między 10 i 30°E (MI) w obszarze ograniczonym przez wybrane równoleżniki i południki. Dla obszaru tego obliczono także średnią prędkość wiatru geostroficznego, stosując wzór podany przez Kopcewicza (1959):

$$Vg = K (\sin\varphi)^{-1} \cdot PN$$

gdzie:

- Vg – prędkość wiatru geostroficznego,
- K – współczynnik, uwzględniający gęstość powietrza:  $K = 19 \cdot T \cdot p^{-1}$ ,
- T – temperatura bezwzględna,
- $\varphi$  – szerokość geograficzna (tu: 52.5°N),
- p – ciśnienie (hPa),
- PN – gradient poziomy ciśnienia w hPa/100 km.

### Wskaźniki cyrkulacji strefowej i południkowej

Wybrane wskaźniki cyrkulacji strefowej – hemisferyczny wskaźnik  $\Delta p$ , indeks NAO oraz lokalny wskaźnik strefowy ZI – są wzajemnie skorelowane; wysoka pozytywna korelacja trzech indeksów zaznacza się przede wszystkim w zimie (tab. 1).

Tabela 1

Współczynniki korelacji liniowej między średnimi miesięcznymi wartościami wskaźników cyrkulacji  $\Delta p$ , NAO i ZI (1951-2000)

| Miesiąc         | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| NAO/ $\Delta p$ | 0.74 | 0.84 | 0.72 | 0.22 | 0.33 | 0.37 | 0.23 | 0.47 | 0.35 | 0.28 | 0.64 | 0.50 |
| ZI/NAO          | 0.77 | 0.77 | 0.69 | 0.14 | 0.45 | 0.38 | 0.30 | 0.27 | 0.41 | 0.47 | 0.37 | 0.47 |
| ZI/ $\Delta p$  | 0.71 | 0.72 | 0.73 | 0.39 | 0.32 | 0.36 | 0.07 | 0.17 | 0.34 | 0.35 | 0.45 | 0.45 |

Podobny roczny przebieg ma korelacja temperatury w Polsce z indeksami cyrkulacji strefowej. Jedynie latem – w lipcu – pojawia się znacząca, negatywna korelacja temperatury z lokalnym wskaźnikiem cyrkulacji strefowej ZI. W przejściowych porach roku, gdy zanika rola cyrkulacji strefowej, na temperaturę w Polsce oddziałuje południkowa składowa cyrkulacji. Temperatura od kwietnia do czerwca oraz we wrześniu i październiku wykazuje istotną korelację z indeksem cyrkulacji MI, charakteryzującym nasilenie splywu powietrza z północy (tab. 2).

Współczynniki korelacji między temperaturą i wybranymi wskaźnikami cyrkulacji dowodzą, że temperatura w Polsce kształtuje się przede wszystkim pod wpływem gradientów ciśnienia nad Europą Środkową. Związki temperatury z Oscylacją Północnoatlantycką są znaczące od września do marca i są niewiele silniejsze (w niektórych miesiącach nawet słabsze!) od związków z hemisferycznym wskaźnikiem cyrkulacji  $\Delta p$ .

<sup>2</sup> Geografowie mogą mieć zastrzeżenia do nazwy tak określonego "regionu" ...

Tabela 2

Współczynniki korelacji liniowej średniej miesięcznej temperatury w Polsce ze wskaźnikami cyrkulacji  $\Delta p$ , NAO, ZI i MI (1951-2000)

| Mies.      | I           | II          | III         | IV           | V            | VI           | VII          | VIII  | IX           | X            | XI          | XII         |
|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| $\Delta p$ | 0.60        | 0.60        | 0.63        | 0.10         | 0.07         | 0.08         | 0.17         | 0.28  | 0.30         | 0.29         | 0.30        | 0.41        |
| NAO        | 0.76        | 0.69        | 0.58        | 0.10         | 0.02         | -0.08        | -0.00        | 0.26  | 0.35         | <b>0.34</b>  | 0.20        | 0.55        |
| ZI         | <b>0.82</b> | <b>0.81</b> | <b>0.67</b> | 0.00         | 0.05         | -0.31        | <b>-0.55</b> | -0.17 | 0.04         | 0.33         | <b>0.41</b> | <b>0.66</b> |
| MI         | 0.02        | 0.08        | 0.12        | <b>-0.56</b> | <b>-0.52</b> | <b>-0.37</b> | 0.07         | -0.14 | <b>-0.64</b> | <b>-0.34</b> | -0.23       | -0.02       |

W niektórych miesiącach temperatura w Polsce wykazuje silniejszą korelację z ciśnieniem w wybranych punktach niż z gradientami ciśnienia; tę osobliwość analizowanych związków potwierdzają dane, zestawione w tab. 3. W październiku, listopadzie i styczniu, znaczną część wariacji temperatury tłumaczą wahania ciśnienia w rejonie południowej Norwegii (60°N, 10°E), w kwietniu, maju, czerwcu, sierpniu i we wrześniu – większą rolę odgrywają zmiany ciśnienia na 30 południku – przy wybrzeżu Rumunii (45°N) lub w rejonie St. Petersburga (60°N).

Tabela 3

Najwyższe współczynniki determinacji wskaźników pola ciśnienia i temperatury w Polsce (1951-1998)

| Mies.  | I             | II        | III       | IV            | V             | VI            | VII       | VIII          | IX            | X             | XI            | XII       |
|--------|---------------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| Współ. | 0.70          | 0.66      | 0.46      | 0.37          | 0.27          | 0.24          | 0.32      | 0.16          | 0.37          | 0.30          | 0.28          | 0.45      |
| Wskaź* | <b>p60,10</b> | <b>ZI</b> | <b>ZI</b> | <b>p45,30</b> | <b>p60,30</b> | <b>p45,30</b> | <b>ZI</b> | <b>p60,30</b> | <b>p60,30</b> | <b>p60,10</b> | <b>p60,10</b> | <b>ZI</b> |

\* wskaźniki typu **p60,10** odpowiadają gridowi o współrzędnych  $\lambda = 10^\circ E$  i  $\varphi = 60^\circ N$

Spostrzeżenia te ilustrują oczywistą tezę, iż temperatura poza wpływem kierunku adwekcji podlega w znacznym stopniu oddziaływaniom charakteru pola barycznego (wyż/nież), który odzwierciedla wartości ciśnienia.

Zestawienie współczynników korelacji temperatury w Polsce z wartościami ciśnienia na krańcach obszaru Europy Środkowej, wyznaczonych przez południki 10 i 30°E oraz równoleżniki 45 i 60°N (tab. 4) wskazuje również na charakterystyczną sezonową zmienność relacji między temperaturą i polem barycznym. Ekspozowane wyżej znaczenie ciśnienia w rejonie południowej Norwegii (p2) utrzymuje się od września do maja. Od maja do września natomiast utrzymują się istotne dodatnie współczynniki korelacji temperatury z ciśnieniem w rejonie St. Petersburga (p4). Układ majowy i wrześniowy staje się więc dobrą ilustracją rozwoju wpływu południkowej składowej cyrkulacji na temperaturę w Polsce w przejściowych porach roku – temperatura wzrasta przy wysokim ciśnieniu p4 i niskim ciśnieniu p2, czyli przy silnej adwekcji z południa. W czerwcu, według danych zestawionych w tabeli 4, za wzrost temperatury w Polsce odpowiedzialny jest także południowy sływ powietrza nad Europą Środkową (najsilniejsza korelacja temperatury z ciśnieniem p3 i p1), podobną sytuację obserwujemy w kwietniu. W marcu, październiku i listopadzie natomiast do wzrostu temperatury przyczynia się południowo-zachodni sływ powietrza (p2 i p3). W grudniu, styczniu i lutym ocieplenie

wiąże się z adwekcją zachodnią (p1, p2). Tylko w sierpniu korelacja wielokrotna temperatury z czterema seriami ciśnienia nie osiąga poziomu statystycznej istotności; znaczący współczynnik korelacji prostej dotyczy w tym przypadku tylko ciśnienia p4.

Tabela 4

Współczynniki korelacji cząstkowej (r-p1...4) i korelacji wielokrotnej (R4) między średnimi miesięcznymi i rocznymi wartościami temperatury na obszarze Polski i średnimi wartościami ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza w punktach 45°N 10°E (p1), 60°N 10°E (p2), 45°N 30°E (p3) i 60°N 30°E (p4). Cyfry pogrubione oznaczają współczynniki istotne na poziomie 0.05. Cyfry rzymskie – miesiące

| Współczynniki | I            | II           | III          | IV           | V            | VI           | VII         | VIII        | IX           | X            | XI           | XII          | rok          |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| r-p1          | <b>0.64</b>  | 0.31         | 0.02         | <b>-0.51</b> | -0.05        | <b>-0.41</b> | 0.00        | 0.06        | -0.16        | -0.07        | -0.09        | <b>0.39</b>  | <b>0.50</b>  |
| r-p2          | <b>-0.88</b> | <b>-0.65</b> | <b>-0.34</b> | <b>-0.39</b> | <b>-0.44</b> | -0.07        | -0.04       | -0.28       | <b>-0.56</b> | <b>-0.55</b> | <b>-0.53</b> | <b>-0.64</b> | <b>-0.57</b> |
| r-p3          | 0.06         | 0.26         | <b>0.44</b>  | <b>0.61</b>  | 0.26         | <b>0.49</b>  | -0.08       | -0.07       | <b>0.33</b>  | 0.27         | 0.24         | 0.09         | -0.18        |
| r-p4          | <b>-0.45</b> | -0.05        | -0.17        | 0.03         | <b>0.52</b>  | <b>0.42</b>  | <b>0.49</b> | <b>0.40</b> | <b>0.61</b>  | 0.10         | 0.18         | 0.14         | <b>0.40</b>  |
| R-4           | <b>0.93</b>  | <b>0.84</b>  | <b>0.75</b>  | <b>0.66</b>  | <b>0.62</b>  | <b>0.66</b>  | <b>0.63</b> | 0.42        | <b>0.70</b>  | <b>0.63</b>  | <b>0.56</b>  | <b>0.76</b>  | <b>0.72</b>  |

Znaczący wpływ pola barycznego na klimatyczną zmienność temperatury, jak widać, utrzymuje się w ciągu całego roku; osłabienie związków korelacyjnych temperatury z ciśnieniem w sezonie ciepłym nie jest tak wielkie, jak w przypadku takich wskaźników cyrkulacji jak  $\Delta p$  czy NAO. Zmienność ciśnienia p1, p2, p3, p4 nad Europą Środkową tłumaczy od 18% (sierpień) do 86% (styczeń) wariacji średnich miesięcznych temperatury w Polsce.

### Wiatr geostroficzny nad Europą Środkową

Rolę kierunku cyrkulacji oraz ciśnienia w kształtowaniu zmienności temperatury w Polsce charakteryzują równania regresji, uwzględniające składową zachodnią i składową północną wiatru geostroficznego nad Europą Środkową (w granicach 45-60°N, 10-30°E) oraz ciśnienie w centrum tego obszaru (52.5°N, 20°E). Współczynniki tych równań (tab. 5) potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia, dotyczące korelacji temperatury z ciśnieniem.

Tabela 5

Współczynniki kierunkowe równań regresji (a(Vw,Vn,pL)) i korelacji wielokrotnej (R) średnich miesięcznych wartości temperatury na obszarze Polski i składowych wiatru geostroficznego (Vw, Vn) oraz ciśnienia (pL). (Wytłuszczono współczynniki korelacji istotne na poziomie 0.05)

| Współcz. | I           | II          | III         | IV          | V           | VI          | VII         | VIII  | IX          | X           | XI          | XII         |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| a(Vw)    | 0.98        | 0.92        | 0.70        | 0.11        | 0.04        | -0.28       | -0.61       | -0.14 | 0.07        | 0.32        | 0.47        | 0.73        |
| a(Vn)    | -0.58       | -0.39       | -0.42       | -0.86       | -1.04       | -0.76       | -0.64       | -0.53 | -0.99       | -0.38       | -0.54       | -0.44       |
| a(pL)    | -0.02       | -0.01       | 0.14        | -0.03       | 0.11        | 0.23        | 0.27        | 0.11  | 0.14        | -0.01       | -0.09       | -0.03       |
| R        | <b>0.88</b> | <b>0.83</b> | <b>0.72</b> | <b>0.57</b> | <b>0.56</b> | <b>0.61</b> | <b>0.71</b> | 0.39  | <b>0.70</b> | <b>0.58</b> | <b>0.67</b> | <b>0.74</b> |

Od listopada do marca dominującą rolę spełnia składowa zachodnia, przyczyniająca się do wzrostu temperatury w Polsce (dodatnie współczynniki regresji). Latem (VI-VIII) nasilenie zachodniej adwekcji powoduje oziębienie (ujemne współczynniki regresji), jednakże w tej porze roku, w przeciwieństwie do sezonu XI-III, dominującą przyczyną spadku temperatury staje się nasilenie adwekcji północnej. Bezwzględne wartości współczynników regresji  $a(Vn)$  są większe od  $a(Vw)$ . Maksimum oddziaływań cyrkulacji północnej przypada na maj, drugie maksimum występuje we wrześniu. Niemal zanika w tych miesiącach rola składowej zachodniej (współczynniki  $a(Vw)$  są bliskie zera). Ciśnienie w centrum Europy Środkowej najsilniej oddziałuje na temperaturę w miesiącach letnich – wzrostowi ciśnienia odpowiadają przyrosty temperatury. W chłodnej połowie roku zaznacza się słabszy, negatywny związek temperatury z ciśnieniem. Trzy uwzględnione zmienne, tzn. składowe wiatru geostroficznego i ciśnienie wyjaśniają od 15 do 88% wariacji średnich miesięcznych temperatury. Przebieg roczny tej miary związku temperatury z warunkami cyrkulacyjnymi jest oczywiście podobny, jak w przypadku korelacji temperatury i ciśnienia (por. tab. 4). W lecie, zwłaszcza w sierpniu związki temperatury z cyrkulacją są bardzo słabe.

Tabela 6

Współczynniki korelacji liniowej ( $r$ ) między temperaturą w Polsce i prędkością wiatru geostroficznego

| Mies. | I           | II          | III         | IV    | V    | VI    | VII          | VIII  | IX   | X           | XI          | XII         |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------|------|-------|--------------|-------|------|-------------|-------------|-------------|
| $r$   | <b>0.82</b> | <b>0.72</b> | <b>0.64</b> | -0.05 | 0.09 | -0.28 | <b>-0.49</b> | -0.14 | 0.11 | <b>0.42</b> | <b>0.45</b> | <b>0.64</b> |

Interesujący obraz, oddający naturę omawianych zależności, tworzy przebieg roczny korelacji temperatury i prędkości wiatru geostroficznego nad Europą Środkową (tab. 6). Istotna, pozytywna korelacja temperatury z prędkością wiatru występuje w chłodnej połowie roku (X-III), w lipcu pojawia się istotny, negatywny związek temperatury z prędkością wiatru. Warto dodać, że w tych właśnie miesiącach dominują zachodnie (WSW, SW i WNW w lipcu), a przy tym dość stabilne kierunki wiatru geostroficznego nad Europą Środkową (tab. 7). Bardzo niestabilne kierunki wiatru występują na wiosnę, zwłaszcza w maju, kiedy wypadkowy wektor prędkości maleje do 0.36 m/s. Bardziej stabilne są kierunki wiatru w sezonie jesiennym, szczególnie we wrześniu. Zarówno jednak na wiosnę, jak i jesienią sama prędkość wiatru geostroficznego ma niewielki wpływ na temperaturę powietrza w Polsce.

Tabela 7

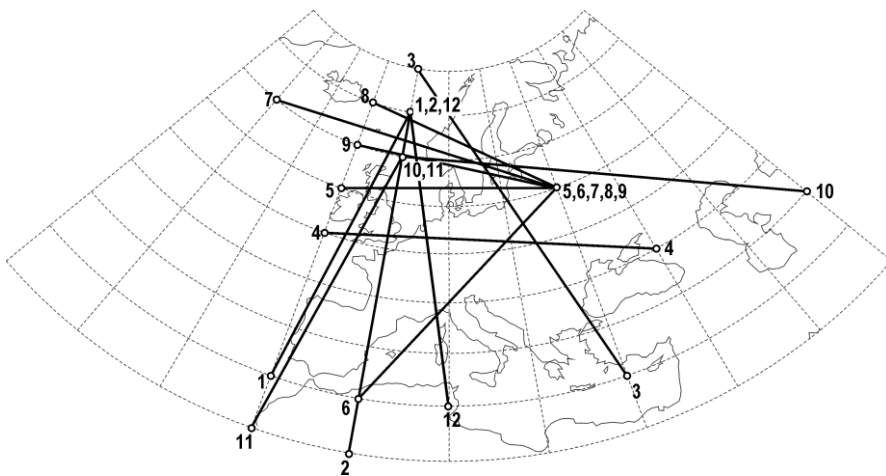
Kierunki (azymuty w  $^{\circ}$ ) oraz średnie miesięczne i roczne prędkości wiatru geostroficznego (m/s). VG – średnie z wartości skalarnych w 50-leciu, Vg – średnie prędkości wg wektora obliczonego na podstawie uśrednionego pola ciśnienia, i- indeks niestabilności kierunku ( $\Delta V/VG$ )

| Mies. | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | rok  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kier. | 258  | 243  | 230  | 181  | 123  | 293  | 292  | 272  | 259  | 250  | 241  | 256  | 250  |
| VG    | 4.00 | 3.39 | 3.11 | 1.58 | 1.36 | 1.40 | 1.68 | 1.74 | 2.43 | 3.40 | 3.77 | 4.01 | 2.66 |
| Vg    | 2.84 | 1.61 | 1.55 | 0.54 | 0.36 | 0.76 | 1.21 | 1.08 | 1.98 | 2.59 | 2.86 | 3.32 | 1.73 |
| i     | 0.29 | 0.53 | 0.50 | 0.66 | 0.74 | 0.46 | 0.28 | 0.38 | 0.19 | 0.24 | 0.24 | 0.17 | 0.36 |

## Termiczne wskaźniki cyrkulacji

W poszukiwaniu silniejszych, utrzymujących się w ciągu całego roku powiązań temperatury ze wskaźnikami cyrkulacji zbadano korelację średnich temperatury na obszarze Polski z ciśnieniem na całym obszarze Europy i Północnego Atlantyku (w punktach co 10° długości i 5° szerokości geograficznej). Dla każdego miesiąca wybrano punkty, w których ciśnienie odznaczało się najwyższą dodatnią i największą ujemną korelacją z temperaturą. Uznano, że różnice ciśnienia między tak ustalonymi punktami stanowią optymalny wskaźnik cyrkulacji, determinujący zmienność temperatury w Polsce.

Tabela 8 przedstawia współrzędne wybranych punktów oraz współczynniki korelacji ( $r$ ) temperatury i ciśnienia w tych punktach. Symbolem  $r(\Delta)$  oznaczono współczynniki korelacji temperatury i różnicy ciśnień (wskaźnika cyrkulacji) na określonym profilu.



Rys. 1. Kierunki gradientów ciśnienia, skorelowanych ze średnimi temperatury na obszarze Polski. Cyframi oznaczono miesiące: 1 – styczeń, 2 – luty itd.

Obserwuje się charakterystyczne, sezonowe zmiany geograficznego położenia ustalonych gradientów ciśnienia (rys. 1). Od listopada do lutego gradienty zorientowane są południkowo—wybrane profile biegną mniej więcej z południa na północ i leżą na zachód od Polski. W kolejnych miesiącach tego sezonu kierunki gradientu zbliżone są do kierunku, odpowiadającego indeksowi NAO (raczej w wersji Hurrella niż Rogersa). Już w marcu kierunek (profil) odpowiadający wybranemu wskaźnikowi cyrkulacji „przysuwa się” nad Polskę i biegnie z SE ku NW. W kwietniu i maju kierunek gradientu jest w przybliżeniu równoleżnikowy, w czerwcu profil przecina środkową Europę z NE ku SW, w następnych miesiącach, aż do października – profile przecinają ze wschodu na zachód południową Skandynawię i są zorientowane niemal równoleżnikowo. Traktując wybrane gradienty ciśnienia jako wskaźniki cyrkulacji można na ich podstawie określić kierunki cyrkulacji, odpowiedzialne na przyrost temperatury w Polsce. Określono je, przyjmując zwrot gradientu ciśnienia zgodny z malejącą do ujemnych wartości korelacją temperatura – ciśnienie i wyznaczając wektor wiatru geostroficznego prostopadle do gradientu ciśnienia. Rezultaty zawiera tab. 8. Jak widać, tylko od listopada do lutego

temperatura w Polsce skorelowana jest z nasileniem cyrkulacji zachodniej (WNW-WSW), w pozostałej części roku – warunki termiczne wykazują znaczące związki z cyrkulacją z sektora południowego (SW-SE). Określone tu kierunki cyrkulacji, kontrolującej zmienność temperatury w Polsce dobrze korespondują z wynikami analizy regresji temperatury względem składowych wiatru geostroficznego nad Europą Środkową (por. tab. 5). W okresie listopad-luty na temperaturę silniej wpływa składowa zachodnia, w okresie kwiecień-październik – składowa północna wiatru geostroficznego. Pewna niezgodność dotyczy jedynie marca, kiedy  $a(Vw) > a(Vn)$  (tab. 5), podczas gdy  $A = SW$  (tab. 8). Trzeba jednak dodać, że porównywane rezultaty wynikają z analizy różnych zbiorów wartości ciśnienia, a różnica w ocenach kierunku cyrkulacji nie jest zbyt wielka.

W pierwszym z tych sezonów, tj. w okresie tylko 4 miesięcy (XI-II) “termicznym” wskaźnikiem cyrkulacji dla Polski są gradienty ciśnienia, panujące nad zachodnią Europą i Atlantykiem, sterujące zachodnim napływem mas powietrza, w pozostałej części roku – są to gradienty ciśnienia występujące na północ od Polski (wyjątek w czerwcu) i sterujące cyrkulacją z południa. Warto podkreślić, że współczynniki korelacji temperatury z określonymi tu “ruchomymi” wskaźnikami cyrkulacji są istotne i w przeważającej liczbie miesięcy wyższe od współczynników, określających związek temperatury w Polsce z innymi wskaźnikami cyrkulacji. Nawet w sierpniu temperatura wykazuje dość wysoką, istotną korelację z nasileniem cyrkulacji SSW.

Charakterystyczna jest utrzymująca się od listopada do maja zbieżność kierunków cyrkulacji, odpowiedzialnej za ocieplenie w Polsce ze średnim kierunkiem wiatru geostroficznego nad Środkową Europą. Od czerwca do października kierunki te są odmienne, w przybliżeniu prostopadłe.

Tabela 8

Współczynniki korelacji między temperaturą w Polsce i ciśnieniem ( $r$ ), gradientami ciśnienia ( $r(\Delta)$ ) oraz między ciśnieniem ( $r(p)$ ) w wybranych punktach ( $\varphi, \lambda$ ) nad Europą i Północnym Atlantykiem (1951-1994).  
A – kierunek cyrkulacji. Inne objaśnienia w tekście

| Mies. | $\varphi$ | $\lambda$ | $r$  | $\varphi$ | $\lambda$ | $r$   | $r(\Delta)$ | A   | $r(p)$       |
|-------|-----------|-----------|------|-----------|-----------|-------|-------------|-----|--------------|
| I     | 35°N      | 10°W      | 0.70 | 65°N      | 0°        | -0.86 | <b>0.88</b> | WNW | <b>-0.67</b> |
| II    | 30°N      | 0°        | 0.64 | 65°N      | 0°        | -0.74 | <b>0.79</b> | W   | <b>-0.55</b> |
| III   | 35°N      | 30°E      | 0.67 | 70°N      | 0°        | -0.68 | <b>0.73</b> | SW  | <b>-0.53</b> |
| IV    | 45°N      | 40°E      | 0.42 | 50°N      | 10°W      | -0.66 | <b>0.71</b> | SSW | -0.23        |
| V     | 55°N      | 30°E      | 0.57 | 55°N      | 10°W      | -0.46 | <b>0.63</b> | S   | -0.14        |
| VI    | 55°N      | 30°E      | 0.65 | 35°N      | 0°        | -0.36 | <b>0.74</b> | SE  | 0.04         |
| VII   | 55°N      | 30°E      | 0.68 | 60°N      | 30°W      | -0.41 | <b>0.76</b> | SSW | 0.01         |
| VIII  | 55°N      | 30°E      | 0.30 | 65°N      | 10°W      | -0.46 | <b>0.54</b> | SSW | -0.05        |
| IX    | 55°N      | 30°E      | 0.49 | 60°N      | 10°W      | -0.62 | <b>0.75</b> | SSW | -0.10        |
| X     | 40°N      | 60°E      | 0.31 | 60°N      | 0°        | -0.53 | <b>0.58</b> | SSW | -0.15        |
| XI    | 30°N      | 10°W      | 0.22 | 60°N      | 0°        | -0.56 | <b>0.53</b> | WNW | <b>-0.44</b> |
| XII   | 35°N      | 10°E      | 0.57 | 65°N      | 0°        | -0.60 | <b>0.71</b> | WSW | <b>-0.32</b> |

Niektóre miesięczne wskaźniki cyrkulacji posiadają jeszcze jedną ważną właściwość: zmiany tych wskaźników wynikają w znacznym stopniu z oscylacji ciśnienia, określającego jego gradient w danym profilu. Charakterystyczne jest, że “huśtawka” ciśnienia występuje w przypadku gradientów

ciśnienia, których kierunek ma orientację południkową. Dotyczy więc ona wskaźników cyrkulacji strefowej – takich jak indeks NAO. W przypadku wskaźników cyrkulacji południkowej zjawisko to nie występuje. Prawidłowości tej dowodzą współczynniki korelacji ciśnienia w parach wybranych punktów nad Europą i Północnym Atlantykiem  $r(p)$ , zamieszczone w tabeli 8. Ujemna istotna korelacja utrzymuje się od listopada do marca i wiąże się ze wskaźnikami, określającymi nasilenie cyrkulacji zachodniej (WNW–SW). Oznacza to, że spadkom ciśnienia w północnej części profilu odpowiadają przeważnie wzrosty ciśnienia na południu, i odwrotnie. W pozostałej części roku, gdy temperatura w Polsce kontrolowana jest przede wszystkim przez cyrkulację południkową – korelacja ciśnień w profilach równoleżnikowych zanika.

Niewątpliwie mamy do czynienia z dwoma typami cyrkulacyjnych uwarunkowań zmian temperatury i dwoma sezonami ich występowania. Jesiennie-zimowy sezon od listopada do lutego (lub marca) kształtuje się pod wpływem oscylacji nasilenia cyrkulacji zachodniej, w drugiej części roku – zmienność temperatury zależy od południkowych form cyrkulacji. Zależność ta uwidacznia się najwyraźniej na wiosnę (maj) i w jesieni (wrzesień), w lipcu natomiast następuje drugorzędny wzrost roli (ale nie dominację!) zachodniej cyrkulacji, rozwijającej się po czerwcowym, “monsunowym” zwrocie wiatru nad Europą Środkową (Kossowska 1994). Dane zamieszczone w tabelach 2, 3, 5 i 8 potwierdzają te konkluzje. Dalsze uzupełniające uzasadnienie znajdziemy w jeszcze jednej próbie poszukiwania układów barycznych, determinujących klimatyczne zmiany warunków termicznych w Polsce.

### **Pole baryczne i anomalie termiczne w Polsce**

W 50-letnich seriach średnich miesięcznych temperatury wybrano miesiące anomalnie ciepłe i anomalnie chłodne, posługując się kryterium  $T \pm SD$  (gdzie  $T$  – średnia miesięczna z wielolecia,  $SD$  – odchylenie standardowe). Wyznaczono średnie miesięczne pola baryczne na obszarze Europy i Północnego Atlantyku ( $p_{max}$ ), odpowiadające przypadkom, gdy temperatura w Polsce  $T_i > T + SD$  oraz pola ( $p_{min}$ ), przy których  $T_i < T - SD$ . Następnie obliczono miesięczne różnice ciśnień  $p_{max} - p_{min}$ . Różnice te wyrażają zmianę pola barycznego, związaną z różnicą między anomalnie chłodnymi i anomalnie ciepłymi warunkami w Polsce w danym miesiącu; inaczej mówiąc dają one obraz zmiany układu barycznego, odpowiedzialnej za “przejście” temperatury od wartości  $T < T - SD$  do wartości  $T > T + SD$ , czyli powodującej znaczące ocieplenie. (Można oczywiście zmienić znaki różnic ciśnienia i mówić o znaczącym oziębieniu). Obrazy tych anomalii barycznych przedstawiono na rysunkach 2-5.

W zimie (rys. 2) zmiany pola barycznego, wywołujące znaczące ocieplenie w Polsce odpowiadają najwyraźniej dodatniej fazie NAO: szczególnie silna staje się depresja islandzka (w styczniu nawet o 21 hPa), podnosi się ciśnienie na południowym zachodzie, w rejonie Wyżu Azorskiego. Oznacza to oczywiście znaczne nasilenie cyrkulacji zachodniej, w grudniu nawet północno-zachodniej. Nad Polską ciśnienie jest niższe bądź bliskie wartości średniej.

W marcu (rys. 3) układ anomalii ciśnienia jest jeszcze podobny do zimowego: znaczące ocieplenie w Polsce wiąże się z nasileniem cyrkulacji zachodniej. W kwietniu i maju anomalnie wysokie temperatury miesięczne związane są już najwyraźniej z cyrkulacją południową, kształtującą się pod wpływem obniżonego ciśnienia w rejonie Irlandii i wzrostu ciśnienia nad Rosją. Warto może zauważyć, że zmiany ciśnienia, odpowiedzialnego za wiosenne ocieplenie nie są już tak wielkie, jak w zimie. Gradient anomalii ciśnienia w styczniu sięgał 30 hPa, w maju nie przekracza już 10 hPa. Majowe zmiany ciśnienia, jak wykazano wyżej, nie mają charakteru oscylacji – huśtawki.



W lecie (rys. 4) wielkość zmian ciśnienia zmniejsza się jeszcze bardziej (do 7-8 hPa), a anomalnie ciepłe miesiące letnie wiążą się przede wszystkim z przyrostem ciśnienia w rejonie Bałtyku, umożliwiającym napływ nad Polskę powietrza ze wschodu i południowego wschodu.

We wrześniu (rys. 5) pojawia się ponownie południkowy układ cyrkulacji, warunkującej istotny wzrost temperatury. W październiku i listopadzie powraca układ strefowy, kształtowany przede wszystkim przez depresje umiejscowione w rejonie północnej Szkocji.

### Wieloletnie trendy zmian temperatury i wiatru geostroficznego

Związki wahań temperatury w Polsce ze zmianami warunków cyrkulacyjnych znajdują swój wyraz w obserwowanych wieloletnich tendencjach zmian temperatury i wiatru geostroficznego nad Europą Środkową. Statystyczny charakter określonych zależności powoduje jednak, że nie wszystkie tendencje zmian temperatury "można przewidzieć" na podstawie przedstawionych w tabeli 5 równań regresji. W tabeli 9 zestawiono współczynniki trendu liniowego temperatury w Polsce w latach 1951-2000 na tle współczynników trendu zmian składowych wiatru geostroficznego. Kierunek trendu temperatury jest na ogół zgodny z trendem cyrkulacji zachodniej; w analizowanym okresie obserwowano zarówno ocieplenie, jak i rozwój nasilenia cyrkulacji zachodniej. W skali roku wystąpiły istotne trendy rosnące temperatury i zachodniej składowej Vw (tab. 9).

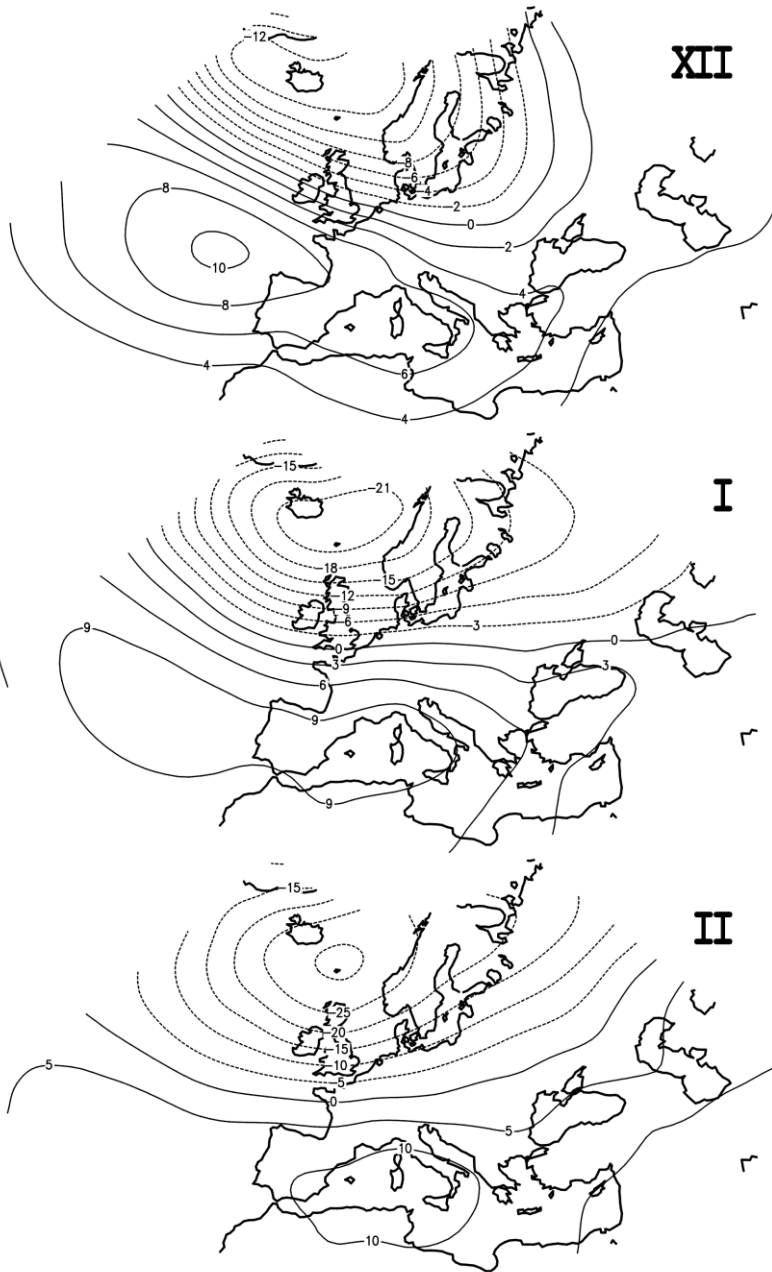
Tabela 9

Współczynniki trendu liniowego zmian temperatury T (°C/10 lat) oraz składowej zachodniej Vw i składowej północnej Vn wiatru geostroficznego (m/s /10 lat) w okresie 1951-2000.  
Pogrubione cyfry oznaczają trend istotny na poziomie 0.05

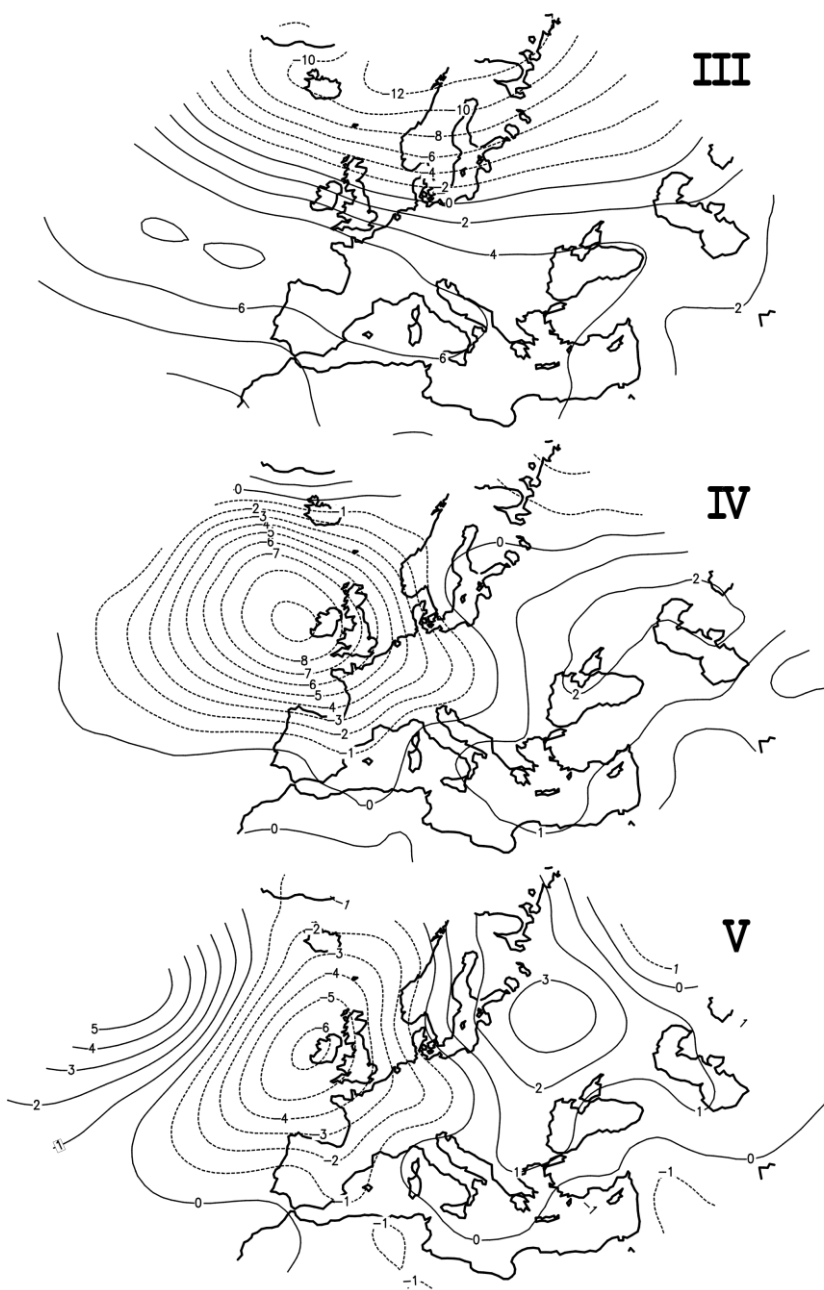
| Mies. | I    | II          | III         | IV   | V           | VI    | VII   | VIII  | IX    | X    | XI    | XII         | rok         |
|-------|------|-------------|-------------|------|-------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------------|-------------|
| T     | 0.42 | 0.64        | <b>0.56</b> | 0.23 | <b>0.31</b> | -0.12 | 0.05  | 0.14  | -0.01 | 0.06 | -0.17 | -0.02       | <b>0.17</b> |
| Vw    | 0.51 | <b>0.77</b> | 0.47        | 0.03 | 0.04        | 0.13  | -0.04 | -0.07 | -0.24 | 0.05 | 0.11  | 0.22        | <b>0.17</b> |
| Vn    | 0.23 | 0.17        | -0.05       | 0.04 | -0.11       | -0.04 | -0.04 | -0.04 | -0.04 | 0.05 | 0.13  | <b>0.33</b> | 0.02        |

Tempo przyrostu składowej zachodniej wynosiło 0.17 m/s w ciągu 10 lat; trend składowej północnej był nieistotny (0.02 m/s na 10 lat). Zbliżone oceny otrzymano, określając tendencje składowych wiatru geostroficznego nad południowym Bałtykiem na podstawie danych M. Miętusa (2001). W tym przypadku jednak znacząco rosła składowa północna wiatru (0.18 m/s/10 lat), mniejszym tempem odznaczał się wzrost składowej zachodniej (0.1 m/s/10 lat).

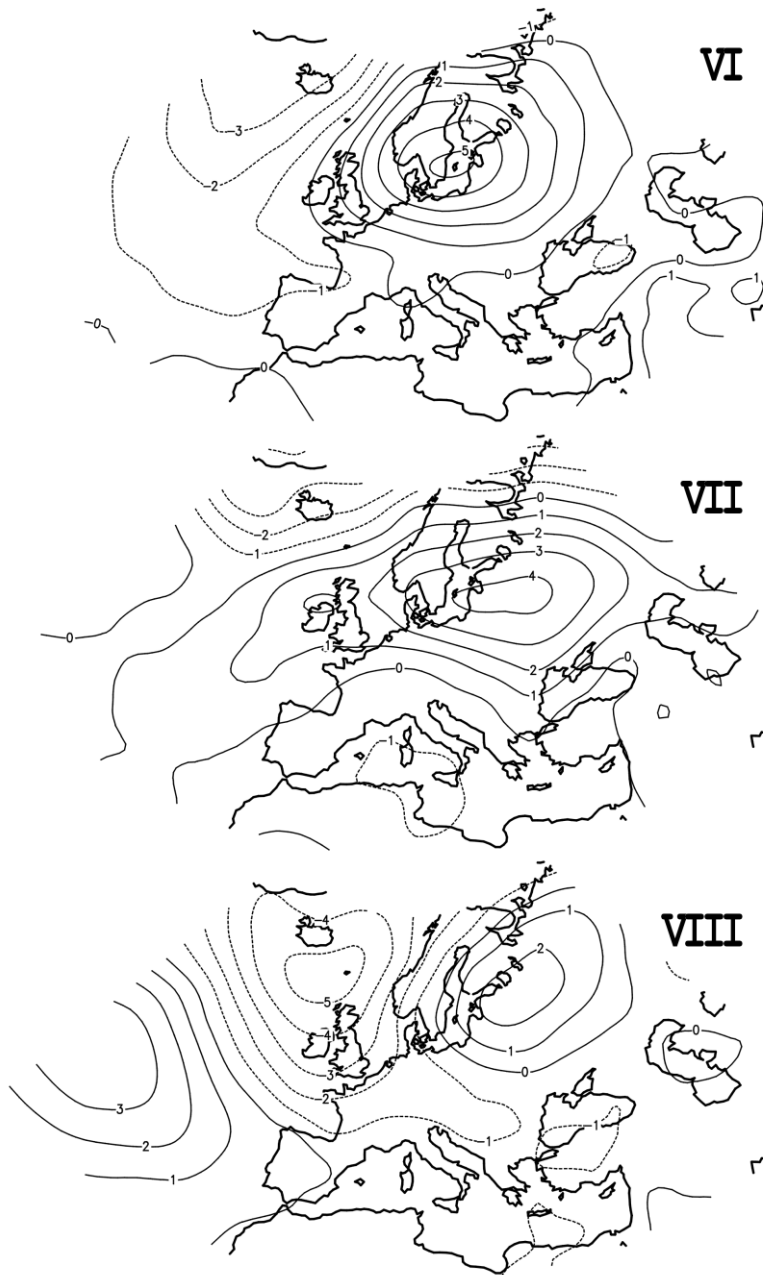
Obserwowano znaczący trend rosnący wypadkowej prędkości wiatru geostroficznego, szczególnie wyraźne "ożywienie" cyrkulacji nastąpiło po 1980 roku. Ten wzrost nasilenia adwekcji na analizowanym obszarze jest zgodny z przyrostem wiatru geostroficznego nad Niemcami, który stwierdzili Heino i in. (1999). Warto też podkreślić zbieżność omawianej tendencji z rozwojem "epoki cyrkulacyjnej", odznaczającej się najwyższym od początku XX wieku nasileniem adwekcji zachodniej (Degirmendźić, Kożuchowski, Wibig 2000). Rozwój strefowych form cyrkulacji w latach 1980. stwierdzono też, badając zmienność wskaźnika cyrkulacji między 35 i 65 równoleżnikiem na całej półkuli północnej (Kożuchowski 1993).



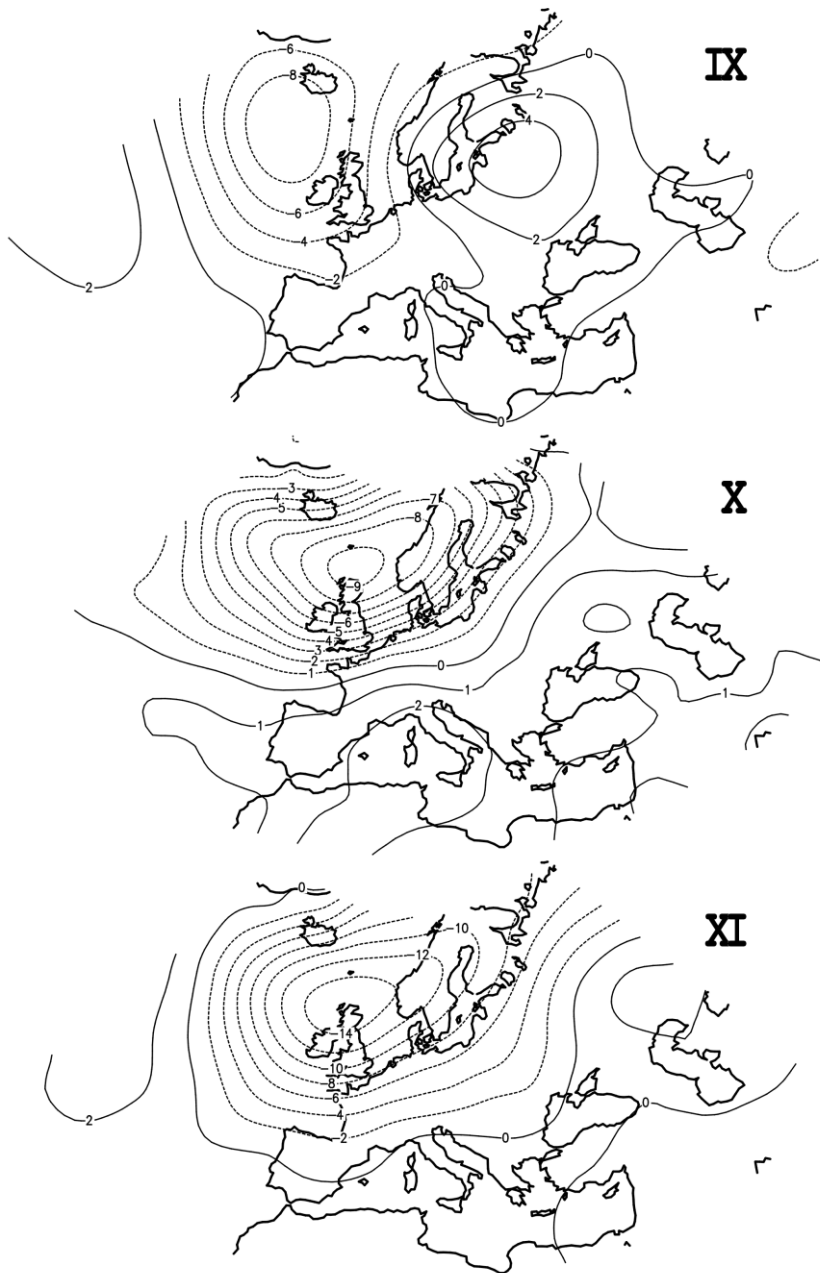
Rys. 2. Średnie miesięczne różnice ciśnienia w okresie XII–II, odpowiadający różnicy między anomalnie ciepłymi i anomalnie chłodnymi miesiącami w Polsce (por. objaśnienia w tekście)



Rys. 3. Średnie miesięczne różnice ciśnienia w okresie III–V, odpowiadający różnicy między anomalnie ciepłymi i anomalnie chłodnymi miesiącami w Polsce (por. objaśnienia w tekście)



Rys. 4. Średnie miesięczne różnice ciśnienia w okresie VI–VIII, odpowiadający różnicy między anomalnie ciepłymi i anomalnie chłodnymi miesiącami w Polsce (por. objaśnienia w tekście)



Rys. 5. Średnie miesięczne różnice ciśnienia w okresie IX–XI, odpowiadający różnicy między anomalnie ciepłymi i anomalnie chłodnymi miesiącami w Polsce (por. objaśnienia w tekście)

Rosła także składowa północna wiatru geostroficznego; w grudniu zanotowano istotny trend rosnący  $V_n$  (tab. 9).

Znaczący trend składowej zachodniej pojawił się natomiast w lutym, temperatury – w marcu i maju. Być może ta koincydencja odzwierciedla znaną prawidłowość, że po ciepłej zimie następuje ciepła wiosna (por. Kożuchowski, Trepieńska, Wibig 1994). Zniżkowy, choć nieistotny trend temperatury grudnia można łączyć z istotnym przyrostem składowej północnej wiatru geostroficznego. Pewne oziębienie we wrześniu i listopadzie zapewne wiąże się odpowiednio z osłabieniem cyrkulacji zachodniej (Vw) i wzrostem składowej północnej Vn (tab. 9).

Zmiany składowych cyrkulacji atmosferycznej, a szczególnie składowej zachodniej, pozwalają na wyjaśnienie warunków termicznych, które wystąpiły w Polsce w ostatnim 10-leciu XX wieku. Dekada ta była najcieplejsza w całym pięćdziesięcioleciu 1951-2000, a najprawdopodobniej także w całym okresie od początku obserwacji instrumentalnych (Kożuchowski, Żmudzka 2001). Pewną osobliwością – na tle ogólnego ocieplenia – były w latach 1990. stosunkowo chłodne sezony jesienne i wczesne (choć bardzo łagodne) zimy.

W tabeli 10 zamieszczono odchylenia temperatury i odchylenia składowych prędkości wiatru geostroficznego w dekadzie 1991-2000 od średnich tych wartości z 50-lecia 1951-2000. Dla przebiegu odchyłeń składowej strefowej Vw charakterystyczne są dodatnie wartości w okresie od grudnia do czerwca. Dodatnie odchylenia temperatury obejmują okres od stycznia do września. Biorąc pod uwagę sezonową zmienność oddziaływań cyrkulacji zachodniej na temperaturę, a także przypuszczalne przesunięcia w czasie, odnoszące się do reakcji średnich temperatury na oddziaływania warunków cyrkulacyjnych, można uznać, że dodatnie anomalie termiczne w rozpatrywanym 10-leciu ukształtowały się pod wpływem zmian cyrkulacji zachodniej. Trudniej wyjaśnić wspomnianą “osobliwość” tej dekady – względnie niskie temperatury w październiku, listopadzie i grudniu. W październiku na przykład mamy słabą cyrkulację zachodnią i silniejszą składową północną, w listopadzie – osłabione obydwie składowe, w grudniu – obie silniejsze, przy tym samym ujemnym znaku anomalii termicznych we wszystkich miesiącach. Jakaś “anomalna” termiczna charakteryzowała być może samą cyrkulację – termikę napływających mas powietrznych znad Atlantyku (Marsz i Styszyńska 2001).

Tabela 10

Odchylenia średnich 10-letnich temperatury w Polsce ( $\Delta T$ ), prędkości składowej zachodniej (Vw) i składowej północnej wiatru geostroficznego (Vn) w okresie 1991-2000 od średnich z okresu 1951-2000 oraz średnie różnice między estymowanymi i obserwowanymi wartościami temperatury w latach 1991-2000 ( $\Delta T_{est} - T_{obs}$ )

| Miesiąc                          | I    | II  | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | Rok  |
|----------------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\Delta T$ [°C]                  | 1.4  | 1.4 | 1.0  | 0.9  | 0.4  | 0.2  | 0.6  | 0.8  | 0.2  | -0.1 | -0.5 | -0.3 | 0.5  |
| $\Delta Vw$ [m/s]                | 1.4  | 2.5 | 0.9  | 0.2  | 0.2  | 0.4  | -0.3 | -0.3 | -1.2 | -0.3 | -0.7 | 0.3  | 0.2  |
| $\Delta Vn$ [m/s]                | 0.8  | 0.8 | 0.5  | -0.1 | 0.2  | -0.1 | 0.0  | -0.1 | -0.3 | 0.3  | -0.5 | 0.2  | 0.2  |
| $\Delta(T_{est} - T_{obs})$ [°C] | -0.5 | 1.1 | -0.6 | -1.0 | -0.7 | -0.2 | -0.5 | -0.8 | 0.1  | -0.3 | 0.7  | 0.6  | -0.2 |

Wykorzystując dane z 40-lecia 1951-1990 określono równania regresji, pozwalające estymować wartości temperatury na podstawie składowych wiatru geostroficznego (analogiczne jak w tabeli 5 dla 50-lecia). Dokonano estymacji temperatury w 10-leciu 1991-2000 (tab. 10). Jak widać, oceny średnich miesięcznych temperatury w Polsce na podstawie składowych wiatru Vw i Vn w tym okresie są w większości przypadków “za niskie” w porównaniu z obserwowanymi wartościami. W rzeczywistości

tości było więc w ostatniej dekadzie na ogół cieplej, niżby to wynikało z cyrkulacyjnych uwarunkowań temperatury: w kwietniu "nadwyżka" wyniosła 1°C, w sierpniu 0.8°C, w maju 0.7°C, w styczniu i lipcu 0.5°C. Odwrotne relacje wystąpiły tylko w lutym (przy bardzo silnej składowej zachodniej cyrkulacji), we wrześniu i grudniu. Stwierdzono także występowanie analogicznych odchyień temperatury, wyznaczonych na podstawie analizy związków tego elementu klimatu z Oscylacją Północnoatlantycką i częstotścią układów antycyklonalnych (Kozuchowski i in. 2000).

Obserwowane różnice nie przekraczają wprawdzie błędu standardowego estymacji, niemniej jednak wskazują być może na pewną tendencję, charakterystyczną dla ostatniej dekady XX wieku. Okres ten wyróżniał się najwyższymi temperaturami w skali globalnej (World Climate News 2001). Czynniki adwekcyjne kształtujące temperaturę w Polsce mogły więc przynosić "sygnał" tego ocieplenia, którego wyrazem są określone różnice temperatury obserwowanej w latach 1991-2000 i temperatury odpowiadającej warunkom cyrkulacyjnym.

### Podsumowanie

Przedstawiona wyżej klimatologiczna charakterystyka sezonowej i wieloletniej zmienności warunków cyrkulacyjnych i termicznych stanowi pewien przyczynek do poznania "dynamicznych aspektów klimatu Polski" (cyt. wg Parczewskiego 1971). Reasumując, za najważniejsze można uznać następujące spostrzeżenia, wynikające z wykonanej analizy zmian temperatury w Polsce i pola ciśnienia – cyrkulacji nad Europą i Północnym Atlantykiem:

1. Strefowa cyrkulacja zachodnia wywiera dominujący wpływ na temperaturę w Polsce w chłodnej części roku – od listopada do marca włącznie. Zmienność oddziaływań cyrkulacji na warunki termiczne w Polsce w tym okresie wynika z oscylacyjnych wahań międzystrefowych gradientów ciśnienia nad Zachodnią Europą i Atlantykiem. Źródłem tych wahań jest niewątpliwie Oscylacja Północnoatlantycka.
2. Drugie maksimum wpływów cyrkulacji zachodniej pojawia się latem, zwłaszcza w lipcu, jednakże "natura" zmian cyrkulacji w tym sezonie jest inna, niż w zimie: nie stwierdzono zjawiska oscylacyjnych wahań ciśnienia w miesiącach letnich.
3. Temperatura w cieplej porze roku, od kwietnia do października, zależy przede wszystkim od zmian południkowej składowej cyrkulacji atmosferycznej. Maksimum natężenia jej oddziaływań przypada na maj i wrzesień. W tej porze roku ukształtowanie pola barycznego na obszarach położonych na północ i na wschód od Polski (zwłaszcza w profilu przecinającym Południowy Bałtyk) staje się czynnikiem decydującym o kierunku i wielkości zmian średnich temperatury w Polsce. Miarą cyrkulacyjnych oddziaływań na temperaturę stają się więc w tym okresie wskaźniki cyrkulacji południkowej (por. rys. 1). Wzrasta też rola średniego poziomu ciśnienia w kształtowaniu warunków termicznych – sytuacje wyżowe sprzyjają insolacji i wzrostowi temperatury.
4. Występowanie anomalii termicznych w Polsce w zimie wiąże się z wielkością depresji w polu barycznym nad Atlantykiem północnym – od Islandii po południową Norwegię, w pozostałej części roku, zwłaszcza w kwietniu, maju, sierpniu, wrześniu i w październiku – z depresją w rejonie Irlandii i Szkocji, zaś latem także lub przede wszystkim z wysokością ciśnienia w regionie bałtyckim (por. rys. 2–5).

5. Wiatr geostroficzny nad Europą Środkową (10–30°E, 45–60°N) odznacza się charakterystyczną sezonową zmiennością prędkości i kierunku: najsilniejszy jest w grudniu, najslabszy w maju, jego kierunek zmienia się od WNW w miesiącach letnich do WSW i SW w sezonie jesienno-zimowym, i aż do S i SE w kwietniu i maju. Wiatr w grudniu odznacza się zarówno największą prędkością, jak i najbardziej stabilnym kierunkiem. Maksymalna zmienność kierunków występuje w maju. Na przełomie maja i czerwca przypada “monsunowy” zwrot wiatru – zmiana kierunku południowo-wschodniego na północno-zachodni.
6. W 50-lecie 1951–2000 wystąpił znaczący wzrost zachodniej cyrkulacji atmosferycznej; najbardziej wzrosła zachodnia składowa wiatru geostroficznego w lutym. Jednocześnie – szczególnie w grudniu – słabsza stała się cyrkulacja południowa.
7. Obserwowane zmiany warunków cyrkulacyjnych, zwłaszcza po roku 1980, dość dobrze wyjaśniają klimat termiczny, który ukształtował się w Polsce w końcu XX wieku. Stwierdzono jednakże, iż średnie temperatury, notowane na obszarze Polski w ostatniej dekadzie stulecia były nieco wyższe od wartości estymowanych na podstawie odpowiadających temu okresowi wskaźników cyrkulacji (składowych wiatru geostroficznego). Uznano, że różnice tych wartości stanowią przypuszczalnie sygnał globalnego przyrostu temperatury lub/i ocieplenia Oceanu Atlantyckiego.

## Literatura

- Degimendź J., Kożuchowski K., Marciniak K., 2000, Zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Polsce między dekadami 1959-1968 i 1989-1998 na tle warunków cyrkulacyjnych. *Acta Univ. Nicolai Copernici, Geografia XXXI*, s. 91-110.
- Degimendź J., Kożuchowski K., Wibig J., 2000, Epoki cyrkulacyjne XX wieku i zmienność typów cyrkulacji atmosferycznej w Polsce. *Przeegl. Geofiz.*, XLV, z. 3-4, s. 221-238.
- Die Grosswetterlagen Europas, 1968–2000, Deutsch. Wetterdienst. Offenbach am Main.
- Dienes E., 1968, Monatliche und jährliche Breitenkreismittel des Luftdrucks auf der Nordhalbkugel für die Jahre 1899 bis 1967 (1968). *Berichte des Deutsch. Wetterdienst.* 109, 15.
- Heino R., Brazdil R., Førland E., Toumenvirta H., Alexandersson H., Beniston M., Pfister C., Rebetez M., Rosenhagen G., Roesner S., Wibig J., 1999, Progress in the study of climatic extremes in Northern and Central Europe. *Climatic Change*, 42, s. 151-181.
- Klysiak K., Sazonow B.I., 1996, The influence of deep cyclones and strong anticyclones on winter thermal condition in Europe, 1900-1990. *Zeszyty Naukowe UJ., Prace Geogr.*, 102, s. 221-226.
- Kopcewicz T., 1959, *Fizyka atmosfery*. Cz. III. PWN, Warszawa, 403 s.
- Kossowska U., 1994, O “monsunie europejskim”. *Przeegląd Geofizyczny*, XXXIX, z. 1, s. 65-73.
- Kożuchowski K., 1989, Makrotypy ogólnej cyrkulacji atmosfery a temperatura powietrza w Polsce. *Przeegl. Geofiz.*, XXXIV, 4, s. 427-435.
- Kożuchowski K., 1993, Variations of hemispheric zonal index since 1899 and its relationships with air temperature. *Int. J. Climatology*, 13, s. 853-864.
- Kożuchowski K., 1997, Understanding and assessments of some aspects of climate variation in Poland. *Geogr. Polonica*, 67, s. 39-58.
- Kożuchowski K., Marciniak K., 1988, Variability of mean monthly temperatures and semiannual precipitation totals in Europe in relation to hemispheric circulation patterns. *J. Climatology*, 8, s. 191-199.



- Kożuchowski K., Trepińska J., 1990, Wpływ strefowej cyrkulacji atmosfery na zmiany średniej sezonowej i rocznej temperatury powietrza w Krakowie w latach 1891-1980. Zeszyty Naukowe UJ, CMXXXIX, Prace Geogr., 77, s. 45-55.
- Kożuchowski K., Trepińska J., Wibig J., 1994, The air temperature in Cracow from 1826 to 1990: persistence, fluctuations and the urban effect. *Int. J. Climatology*, 14, s. 1035-1049.
- Kożuchowski K., Degirmendžic J., Fortuniak K., Wibig J., 1999, Tendencje zmian sezonowych aspektów klimatu Polski. [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka*. Łódź, s. 107-122.
- Kożuchowski K., Degirmendžic J., Fortuniak K., Wibig J., 2000, Trends to changes in seasonal aspects of the climate in Poland. *Geogr. Polonica*, 73, 2, s. 7-24.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury w drugiej połowie XX wieku. *Przeł. Geofiz.*, XLVI, 1-2, s. 81-90.
- Marsz A.A., 1999, Oscylacja Północnoatlantycka a reżim termiczny zim na obszarze północno-zachodniej Polski i na polskim wybrzeżu Bałtyku. *Przeł. Geogr.*, 71, 3, s. 225-245.
- Marsz A.A., Żmudzka E., 1999, Oscylacja Północnego Atlantyku a długość okresu wegetacyjnego w Polsce. *Przeł. Geofiz.*, XLOV, 4, s. 199-210.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2001, Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską. *Wyd. WSM Gdynia*, 101 s.
- Miętus M., 1996, Zmienność lokalnej cyrkulacji atmosferycznej nad północną Polską i jej związek z elementami klimatu. *Wiadomości IMGW, XIX(XL)*, 1, s. 9-30.
- Miętus M., 1999, Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu warunków klimatycznych i oceanograficznych w polskiej strefie brzegowej Morza Bałtyckiego. *Materiały Badawcze IMGW, ser. Meteorologia* 29, 157 s.
- Miętus M., 2001, Kalendarz lokalnego wskaźnika cyrkulacji atmosferycznej w rejonie Południowego Bałtyku. Wektor wiatru geostroficznego. *Materiały niepublikowane Oddziału Morskiego IMGW, Gdynia*.
- National Meteorological Center Grid Point Data Set CDROM Version III, 1996, NCAR and University of Washington.
- Niedźwiedz T., 1993, Changes of atmospheric circulation (using the P, S, C, M indices) in the winter season and their influence on air temperature in Cracow. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr.*, 95, s. 107-113.
- Niedźwiedz T., 1995, Long-term variability of the zonal circulation index above the central Europe. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr.*, 102, s. 213-219.
- Niedźwiedz T., Ustrnul Z., Cebulak E., Limanówka D., 1994, Long-term climate variations in South Poland due to atmospheric circulation variability [w:] *Climate Variations in Europe*. Ed. R. Heino, Helsinki, s. 263-277.
- Nowosad M., 1998, Annual variability of circulation types: the example of the upper Vistula river basin. *Wyd. UMCS, Lublin*, 70 s.
- Osuchowska-Klein B., 1987, Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w Europie w bieżącym stuleciu. *Przeł. Geofiz.*, 32, 1, s. 49-55.
- Parczewski W., 1971, Dynamiczne aspekty klimatu Polski. *Przeł. Geogr.*, 43, 4, s. 507-520.
- Ustrnul Z., 1997, Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku. *Materiały Badawcze IMGW, ser. Meteorologia* 27, 208 s.
- Wibig J., 1995, The influence of circulation on daily temperatures in Łódź in the period 1930-1990 [w:] *International Conference on Past, Present and Future Climate*. Helsinki 22-25.
- Wibig J., 2000, Oscylacja północnoatlantycka i jej wpływ na kształtowanie pogody i klimatu. *Przeł. Geofiz.*, XLV, z. 2, s. 121-137.

Wibig J., 2001, Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na rozkład przestrzenny anomalii temperatury powietrza i opadów w Europie. Wyd. UŁ, Łódź, 208 s.

August 1995, Publications of the Academy of Finland 6/95, s. 312-315.

World Climate News, 2001, No 19, WMO, Geneva.