

Piotr PIOTROWSKI 

UNIWERSYTET ŁÓDZKI, WYDZIAŁ NAUK GEOGRAFICZNYCH

**TEMPERATURA POWIETRZA W POLSCE
PODCZAS ADWEKCJI Z SEKTORA ZACHODNIEGO****AIR TEMPERATURE IN POLAND DURING
ADVECTION FROM THE WESTERN SECTION****Wstęp**

Adwekcja mas powietrza z sektora zachodniego – zwykle polarnego morskiego, ale zdarzają się też adwekcje innych typów (Degirmendżić, Kożuchowski 2006; Kaszewski i in. 2017) – występuje w Polsce bardzo często i ma istotny wpływ na klimat w tym regionie. Kożuchowski i Żmudzka (2001) wykazali, że w latach 1951-2000 wystąpił znaczący wzrost częstości cyrkulacji strefowej w miesiącach zimowych. Według Kożuchowskiego i Degirmendżica (2002) cyrkulacja strefowa wywiera dominujący wpływ na temperaturę w Polsce od listopada do marca oraz w lipcu.

Cyrkulacja strefowa jest powiązana z pozytywną fazą Oscylacji Północnoatlantyckiej (z ang. North Atlantic Oscillation – NAO). Hurrell (1996) wykrył, że zimą NAO wyjaśnia 31% zmienności międzyrocznej temperatury powierzchni na półkuli północnej w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Podobne rezultaty przy wykorzystaniu empirycznych funkcji ortogonalnych uzyskali Thomson i in. (2000). Korelacje pomiędzy indeksem NAO a anomalią temperatury powierzchni przekraczają na obszarze Polski wartość 0,5 (Gillet i in. 2003). Badacze nie są jednak zgodni co do wpływu NAO na warunki termiczne w naszym kraju. Według Marosza i Miętusa (2011) oddziaływanie to jest niezbyt duże, z kolei według Marsza (2013) zaznacza się ono wyraźnie. Latem korelacje pomiędzy NAO a letnimi anomaliami temperatury powietrza w Polsce są bliskie zeru (Bednorz i in. 2019). W niektórych miesiącach zimowych powiązania pomiędzy temperaturą powietrza a wartościami indeksu NAO są silniejsze. Na przykład w styczniu i lutym istotnie statystycznie współczynniki korelacji pomiędzy zimowym NAO a temperaturą powietrza występują we Wrocławiu (Marsz i in. 2021). W niniejszym opracowaniu postanowiono sprawdzić zależności pomiędzy Oscylacją Północnoatlantycką a temperaturą powietrza w Polsce o godz. 12:00 UTC, w ujęciu

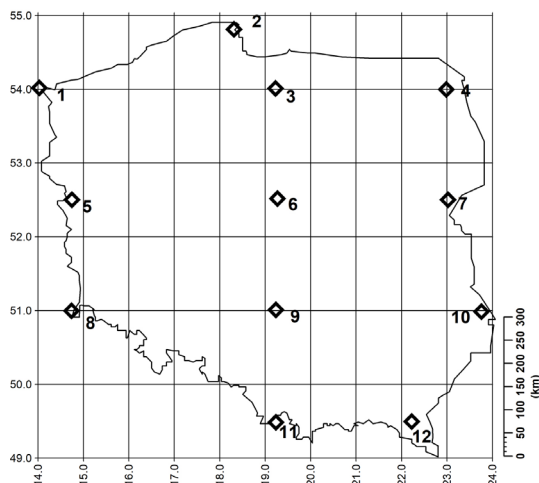
miesięcznym, podczas cyrkulacji z sektora zachodniego (z uwzględnieniem charakteru cyrkulacji atmosferycznej).

Temperatura wód północnej części Atlantyku ulega w cyklu rocznym charakterystycznym zmianom, które z kolei wpływają na cechy termiczne mas powietrza docierających nad Polskę z sektora zachodniego. Im większe wartości wskaźnika NAO, tym większa jest ilość ciepła przekazywanego powietrzu przez wody oceaniczne i większa prędkość przemieszczania się mas powietrza nad Polskę (Marsz 2013). Eksperymenty przeprowadzone przy wykorzystaniu regionalnego modelu MM5 w latach 2003-2007 sugerują, że anomalne wartości SST na północnym Atlantyku podnoszą temperaturę na lądzie europejskim poprzez adwekcję ciepła i pary wodnej w górnych warstwach atmosfery, oddziałując na strumienie radiacyjne nad kontynentem (Cattiaux i in. 2011). Mechanizm ten jest wg autorów wyraźnie widoczny jesienią i zimą. Niewątpliwie istotne dla dokładniejszego poznania wpływu oceanu na cechy termiczne mas powietrza jest też określenie zasobów ciepła nad obszarem źródłowym mas powietrza polarnego morskiego (Marsz 2013) oraz interakcje zachodzące między oceanem i cyrkulacją atmosferyczną, które zostały szczegółowo opisane przez Marsza (2002).

W niniejszym opracowaniu postanowiono sprawdzić wpływ adwekcji z sektora zachodniego na temperaturę powietrza na obszarze Polski z uwzględnieniem charakteru cyrkulacji atmosferycznej. Ponadto zaprezentowano dane dotyczące częstości pojawiania się cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej z sektora zachodniego oraz sezonowe zmiany w polu ciśnienia podczas adwekcji z sektora zachodniego. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do dalszych analiz z wykorzystaniem większej liczby danych, mogących lepiej wyjaśnić przede wszystkim czynniki mające wpływ na cechy termiczne i wilgotnościowe mas powietrza napływających z sektora zachodniego.

Dane źródłowe i metody opracowania

Do określenia warunków cyrkulacyjnych wykorzystano automatyczną metodę wyznaczania kierunku adwekcji i charakteru cyrkulacji atmosferycznej opisaną przez Jenkinsona i Collisona (1977) z wykorzystaniem zwiększonej (do 32) liczby punktów gridowych (Piotrowski 2009). Do szczegółowej analizy wzięto pod uwagę tylko dane cyrkulacyjne z sektora zachodniego (225-315°). Przypadki adwekcji z sektora zachodniego, z podziałem na cyrkulację antycyklonalną (W_a) i cyklonalną (W_c), zostały wydzielone dla 12 punktów gridowych (rys. 1, tab. 1) w oparciu o wartości wysokości geopotencjalnej powierzchni izobarycznej 850 hPa. Pokazane na mapie (rys. 1) rozmieszczenie punktów umożliwiło detekcję przypadków adwekcji z sektora zachodniego nad obszar Polski. Wartości wysokości geopotencjalnej powierzchni izobarycznej 850 hPa z czterech terminów w ciągu doby (00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC), wykorzystane do wyznaczenia przypadków adwekcji z sektora zachodniego, zostały pozyskane z bazy danych ERA5 (<https://cds.climate.copernicus.eu/>). Dane te obejmują dwa różne zbiory reanaliz: z lat 1959-1978 (Bell i in. 2021) oraz 1979-2021 (Hersbach i in. 2020). Do charakterystyki częstości cyрку-



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów, z których wykorzystano dane do określenia cyrkulacji atmosferycznej z sektora zachodniego.

Fig. 1. The location of points with data used to determination of the atmospheric circulation from west sector.

lacji atmosferycznej z sektora zachodniego przyjęto dwa sposoby wyboru danych (rys. 2 i 3). Uwzględniono sytuacje, kiedy cyrkulacja strefowa dominuje nad obszarem Polski, czyli występuje jednocześnie w przynajmniej 7 punktach oraz kiedy adwekcja z sektora zachodniego pojawia się jednocześnie we wszystkich 12 punktach (rys. 1).

Do analizy warunków termicznych nad Polską podczas adwekcji z sektora zachodniego wykorzystano temperaturę powietrza na wysokości 2 m n.p.g. z godziny 12:00 UTC. Dane dotyczące temperatury powietrza pochodzą z reanalizy ERA5-Land (Muñoz Sabater 2019, 2021). Charakteryzują się one pewnym stopniem niepewności oszacowań, ale ich zaletą jest wysoka rozdzielczość ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$) oraz ciągłość w czasie i przestrzeni. Średnią temperaturę powietrza dla obszaru Polski z godziny 12:00 UTC obliczono wykorzystując dane z 4087 punktów rozmieszczonych co $0,1^\circ$ długości i szerokości geograficznej w obrębie granic kraju. Odchylenia temperatury powietrza o godz. 12:00 dla poszczególnych pór roku obliczono na podstawie odchyień od średnich wartości miesięcznych temperatury powietrza o godz. 12:00 z lat 1959-2021, które w kolejnym etapie obliczeń uśredniono dla sezonów (rys. 5b).

Tendencja temperatury powietrza w poszczególnych porach roku na obszarze Polski podczas cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej z sektora zachodniego została scharakteryzowana na bazie współczynnika kierunkowego trendu liniowego. Do obliczenia korelacji pomiędzy wartościami indeksu NAO a temperaturą powietrza o 12:00 UTC wykorzystano współczynnik korelacji Pearsona. Do analizy korelacyjnej wykorzystano dobowe wartości indeksu NAO (<https://psl.noaa.gov/data/timeseries/daily/NAO>). Istotność statystyczną trendu temperatury powietrza o godz. 12:00 UTC podczas cyrkulacji Wc i Wa sprawdzono przy użyciu testu Mann-Kendalla na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Tabela 1. Współrzędne geograficzne punktów wybranych do wyznaczenia cyrkulacji z sektora zachodniego.

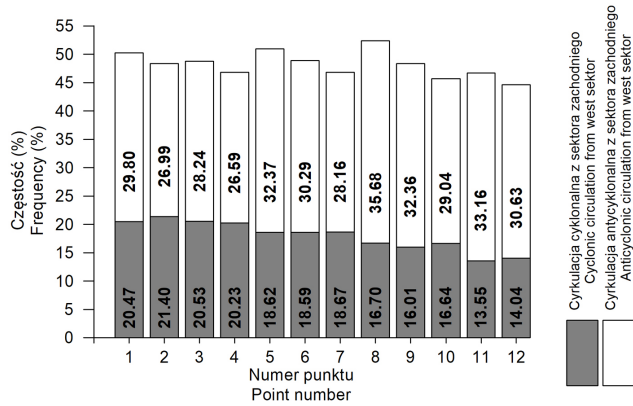
Table 1. Geographical coordinates of points selected to the determination of atmospheric circulation from west sector.

Numer punktu/ Point number	Szerokość geograficzna/ Latitude	Długość geograficzna/ Longitude
1	54°00'N	14°00'E
2	54°45'N	18°30'E
3	54°00'N	19°15'E
4	54°00'N	23°00'E
5	52°30'N	14°45'E
6	52°30'N	19°15'E
7	52°30'N	23°00'E
8	51°00'N	14°45'E
9	51°00'N	19°15'E
10	51°00'N	23°45'E
11	49°30'N	19°15'E
12	49°30'N	22°15'E

Częstość cyrkulacji atmosferycznej z sektora zachodniego

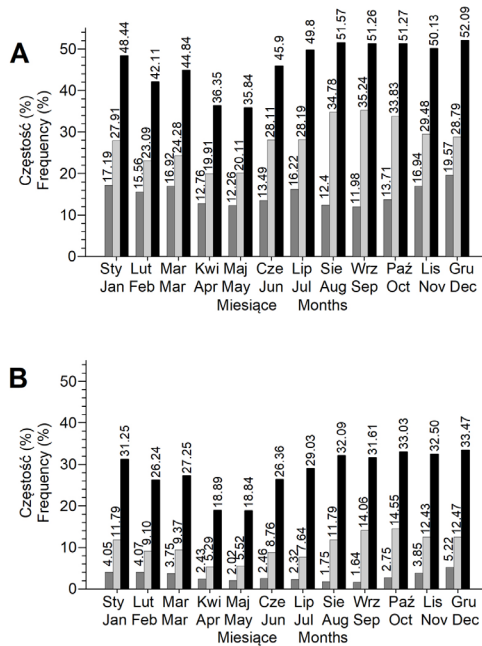
Częstość cyrkulacji atmosferycznej z sektora zachodniego nie różni się znacząco między dwunastoma wyszczególnionymi punktami (rys. 1 i 2) i waha się w granicach od 44,67% (w punkcie 12) do 52,37% (w punkcie 8). Dla wszystkich analizowanych punktów średnia częstość cyrkulacji antycyklonalnej podczas adwekcji z sektora zachodniego wynosi 30,28%, natomiast podczas cyrkulacji cyklonalnej 17,95%. Najczęściej adwekcja z sektora zachodniego podczas cyrkulacji cyklonalnej pojawia się w punktach 1, 2, 3 i 4 (w ponad 20% przypadków, maksimum w punkcie 2 – 21,40% przypadków), które są najbardziej wysunięte na północ, natomiast podczas cyrkulacji antycyklonalnej w punktach 8 i 11, odpowiednio 35,68% i 33,16% (rys. 1 i 2).

Częstość cyrkulacji z sektora zachodniego (W) podczas jej dominacji nad Polską (w sytuacjach, gdy cyrkulacja z sektora zachodniego występuje przynajmniej w 7 z 12 punktów) przekraczała 50% od sierpnia do grudnia, natomiast najrzadziej występowała w maju i kwietniu, odpowiednio 35,84% oraz 36,35% (rys. 3a). W każdym miesiącu cyrkulacja antycyklonalna pojawiała się częściej niż cyrkulacja cyklonalna. Największe różnice częstości pomiędzy cyrkulacją antycyklonalną i cyklonalną z sektora zachodniego wystąpiły we wrześniu i sierpniu, natomiast najmniejsze od lutego do maja (rys. 3a). Sytuacje, kiedy we wszystkich dwunastu punktach stwierdzono ten sam typ cyrkulacji z sektora zachodniego pojawiają się o wiele rzadziej (rys. 3b), szczególnie cyrkulacja cyklonalna – minimum we wrześniu (1,64%). Od sierpnia do stycznia częstość sytuacji, kiedy na całym obszarze Polski występowała cyrkulacja z sektora zachodniego, waha się w granicach od 31,3% w styczniu do 33,5% w grudniu. Podczas cyrkulacji z sektora



Rys. 2. Częstość adwekcji mas powietrza z sektora zachodniego podczas cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej w wybranych punktach.

Fig. 2. Frequency of air masses advection from west sector during cyclonic and anticyclonic circulation in the selected points.



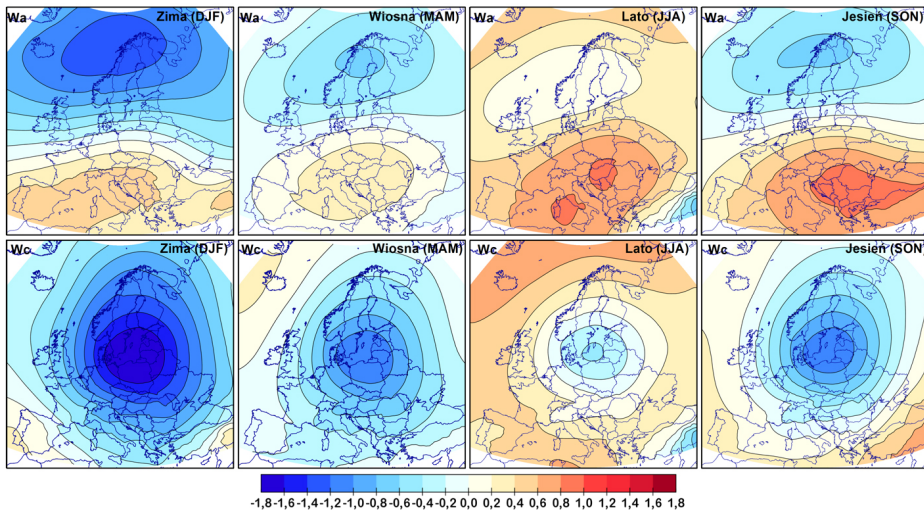
Rys. 3. Miesięczna częstość typów cyrkulacji z sektora zachodniego podczas dominacji danego typu cyrkulacji nad obszarem Polski (A) i podczas występowania we wszystkich analizowanych punktach (B).

Fig. 3. Monthly frequency of atmospheric circulation types from west sector during the predominant of a given circulation type over Poland (A) and during the occurrence in all analyzed points (B).

zachodniego mogą pojawiać się sytuacje synoptyczne, kiedy część kraju może być pod wpływem cyrkulacji cyklonalnej, a pozostała antycyklonalnej, a więc panuje cyrkulacja pośrednia (hybrydowa) między cyrkulacją cyklonalną i antycyklonalną.

Pole geopotencjalnej wysokości powierzchni izobarycznej 850 hPa podczas cyrkulacji z sektora zachodniego

Do wykrycia potencjalnych zmian pola ciśnienia w poszczególnych porach roku wykorzystano wysokość geopotencjalną poziomu izobarycznego 850 hPa podczas sytuacji synoptycznych, gdy nad obszarem Polski dominowała cyrkulacja z sektora zachodniego, z uwzględnieniem podziału na cyrkulację cyklonalną oraz antycyklonalną. Lokalizacja centrów barycznych sterujących cyrkulacją z sektora zachodniego oraz ich zasięg przestrzenny są zróżnicowane w poszczególnych porach roku i w zależności od charakteru cyrkulacji atmosferycznej. Podczas cyrkulacji cyklonalnej najbardziej rozbudowany przestrzennie układ niskiego ciśnienia występuje zimą i obejmuje swoim zasięgiem nie tylko cały obszar Polski, ale także tereny położone na południe od Polski (rys. 4). Latem niż sterujący cyrkulacją cyklonalną z sektora zachodniego jest najslabiej rozbudowany. Uśrednione mapy rozkładu wysokości geopotencjalnej na poziomie 850 hPa wskazują na częste pojawianie się centrum niżu w południowej części Bałtyku. Cyrkulacja cyklonalna



Rys. 4. Rozkład przestrzenny uśrednionych standaryzowanych wartości wysokości geopotencjalnej poziomu izobarycznego 850 hPa w poszczególnych porach roku podczas przewagi cyrkulacji antycyklonalnej (Wa) i cyklonalnej (Wc) z sektora zachodniego.

Fig. 4. The seasonal spatial distribution of mean standardized values of geopotential height at 850 hPa level during the predominant of the anticyclonic (Wa) and cyclonic (Wc) circulation from the west sector over Poland.

z sektora zachodniego obejmuje znaczną część Polski także przy lokalizacji centrum niżu nad obszarem naszego kraju. Podczas cyrkulacji antycyklonalnej z sektora zachodniego wiosną i latem układy wyżowe rozciągają się na południe od Polski. Najbardziej są one rozbudowane latem i jesienią, przy czym jesienią wyż jest przesunięty nieco na wschód, a jego centrum jest zlokalizowane wówczas nad Półwyspem Bałkańskim.

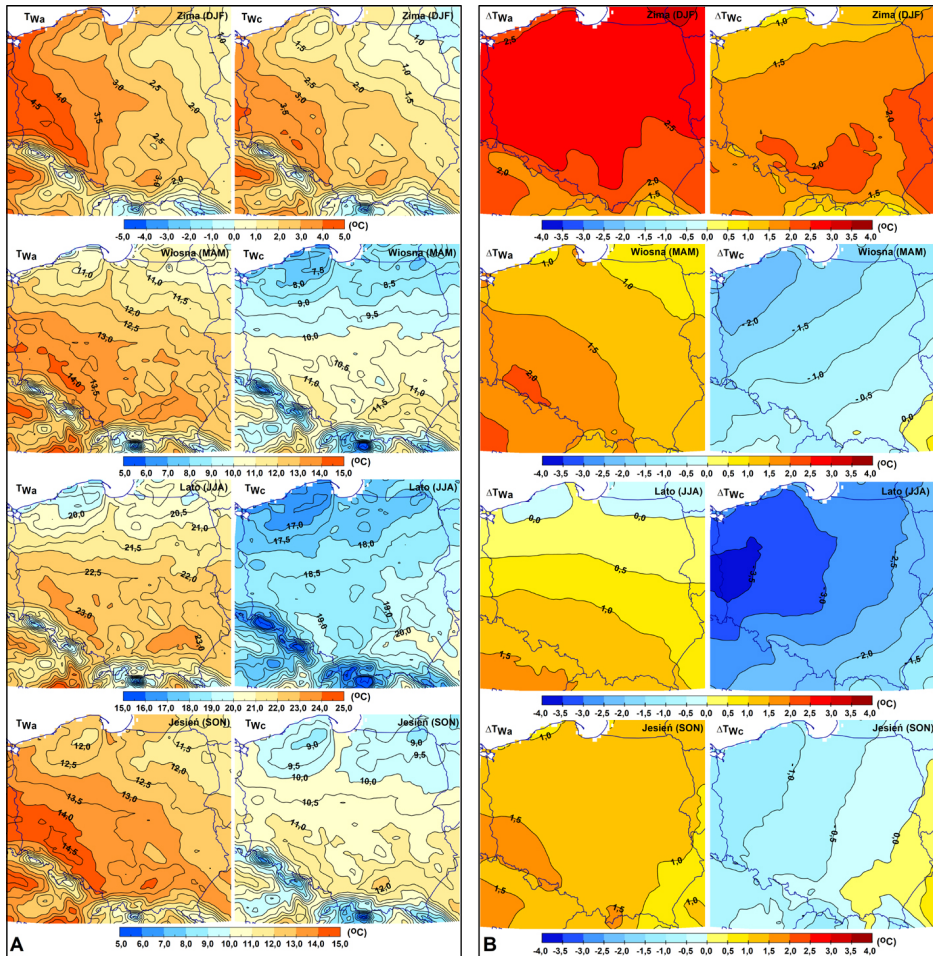
Temperatura powietrza podczas cyrkulacji z sektora zachodniego

Odchylenia temperatury powietrza o godz. 12:00 UTC podczas cyrkulacji antycyklonalnej z zachodniego sektora są dodatnie nad obszarem Polski we wszystkich porach roku (rys. 5b). Jedynie latem na północy kraju są one ujemne. Największe odchylenia dodatnie wystąpiły zimą (3°C na północnym wschodzie kraju podczas cyrkulacji antycyklonalnej). Podczas cyrkulacji cyklonalnej dodatnie odchylenia temperatury powietrza na całym obszarze Polski pojawiły się tylko podczas wspomnianej wyżej pory roku. Zróżnicowanie temperatury powietrza w Polsce podczas adwekcji z sektora zachodniego wynika głównie z rozkładu przestrzennego pola ciśnienia atmosferycznego (rys. 4 i 5a). Podczas cyrkulacji cyklonalnej niż ulokowany jest nad Skandynawią i Bałtykiem, natomiast podczas cyrkulacji antycyklonalnej obszar obniżonego ciśnienia jest bardziej rozciągnięty i przesunięty na północ. Taka lokalizacja centrów barycznych umożliwia adwekcję ciepłych mas powietrza nad obszar Polski z niższych szerokości geograficznych nad Atlantyku. Lokalizacja niżu i układ izohips podczas cyrkulacji cyklonalnej warunkują z kolei napływ stosunkowo chłodnych mas powietrza z północnego-zachodu. Cyrkulacja cyklonalna sprzyja jednocześnie wzrostowi zachmurzenia zmniejszającego straty ciepła wskutek promieniowania długofalowego z podłoża, ale z drugiej strony ograniczającego dopływ promieniowania krótkofalowego.

W porze zimowej najwyższa temperatura na obszarze Polski występuje w pobliżu zachodnich granic kraju, na Nizinie Śląskiej oraz Kotlinie Sandomierskiej, natomiast najniższa na obszarach górskich oraz północnym wschodzie (rys. 5a). W pozostałych porach roku wymieniony powyżej schemat rozkładu temperatury podczas cyrkulacji antycyklonalnej jest podobny. Jesień podczas cyrkulacji W_a jest cieplejsza od wiosny na całym obszarze Polski, szczególnie wzdłuż wybrzeży Bałtyku (maksymalnie $3,2^{\circ}\text{C}$). Podobnie jest podczas cyrkulacji W_c , oprócz południowo-wschodnich krańców kraju, gdzie wiosna jest cieplejsza od jesieni. Na terenach nizinnych najchłodniej jest latem podczas cyrkulacji cyklonalnej w najwyższych położonych obszarach Pojezierza Pomorskiego i wzdłuż wybrzeża Bałtyku.

Podczas cyrkulacji W_a temperatura powietrza jest wyższa w porównaniu z cyrkulacją W_c we wszystkich porach roku na całym obszarze kraju (z wyjątkiem niewielkich obszarów na południowym wschodzie zimą; rys. 6). Największe różnice temperatury powietrza pomiędzy cyrkulacją W_a a W_c występują latem, natomiast najmniejsze zimą.

Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza z godz. 12:00 UTC z wszystkich dni w analizowanym okresie (uśrednione z wszystkich punktów gridowych znajdujących

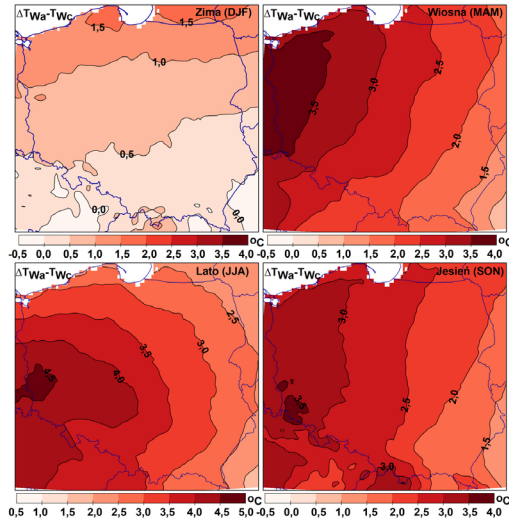


Rys. 5. Średnia temperatura powietrza (panel A) i odchylenia temperatury powietrza (panel B) o godz. 12:00 UTC w poszczególnych porach roku podczas dominacji nad obszarem Polski cyrkulacji antycyklonalnej (W_a) i cyklonalnej (W_c) z sektora zachodniego.

Fig. 5. Seasonal mean air temperature (A panel) and deviations of air temperature (B panel) at 12:00 UTC during the predominant of the cyclonic (W_c) and anticyclonic circulation (W_a) from west sector over Poland.

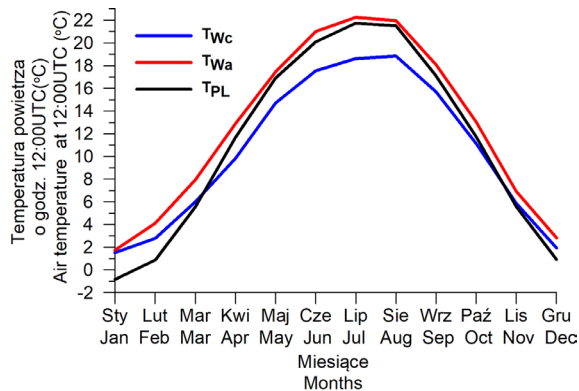
się na obszarze Polski) są najbardziej zbliżone do temperatury powietrza podczas cyrkulacji antycyklonalnej z sektora zachodniego od kwietnia do grudnia (rys. 7). Średnia miesięczna temperatura powietrza o godz. 12:00 UTC podczas cyrkulacji antycyklonalnej jest wyższa we wszystkich miesiącach. W półroczu ciepłym średnia miesięczna temperatura powietrza podczas cyrkulacji W_c z sektora zachodniego jest znacznie niższa od średniej miesięcznej temperatury na obszarze Polski – maksymalna różnica średniej miesięcznej temperatury w półroczu ciepłym sięga 3,1°C w lipcu.

Tendencja temperatury powietrza o godz. 12:00 UTC na obszarze Polski podczas cyrkulacji Wc i Wa z sektora zachodniego we wszystkich porach roku jest wzrostowa (rys. 8). Największy wzrost wystąpił wiosną i zimą podczas cyrkulacji antycyklonalnej.



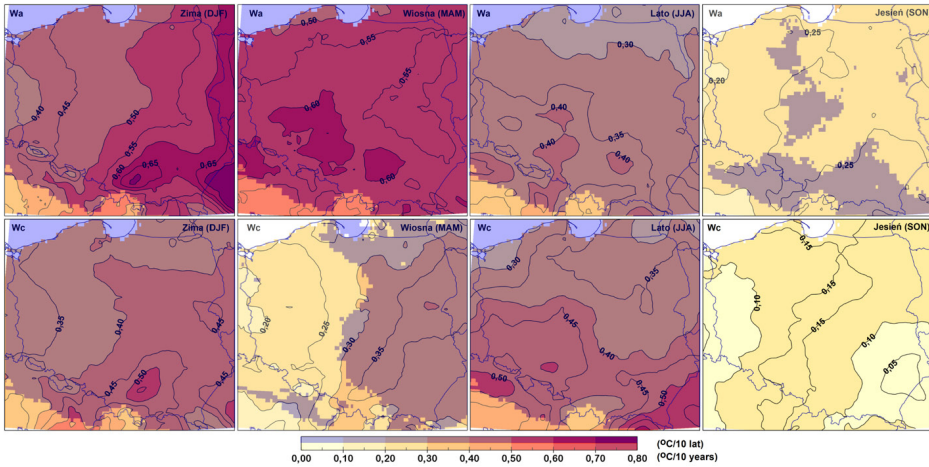
Rys. 6. Sezonowe różnice pomiędzy temperaturą powietrza podczas cyrkulacji antycyklonalnej a temperaturą powietrza podczas cyrkulacji cyklonalnej ($\Delta TWa - TWc$) podczas dominacji adwekcji z sektora zachodniego nad obszarem Polski.

Fig. 6. Seasonal differences ($\Delta TWa - TWc$) between air temperature during anticyclonic circulation and air temperature during cyclonic circulation during the domination advection from west sector over Poland area.



Rys. 7. Średnia miesięczna temperatura powietrza o godz. 12:00 UTC dla obszaru Polski obliczona na podstawie danych z lat 1959-2021 (T_{PL}) podczas przewagi na obszarze Polski cyrkulacji cyklonalnej (T_{Wc}) i antycyklonalnej (T_{Wa}) z sektora zachodniego.

Fig. 7. Monthly mean air temperature at 12:00 UTC from Poland area (T_{PL}) during the predominance over Poland of the west sector cyclonic (T_{Wc}) and anticyclonic (T_{Wa}) circulation.



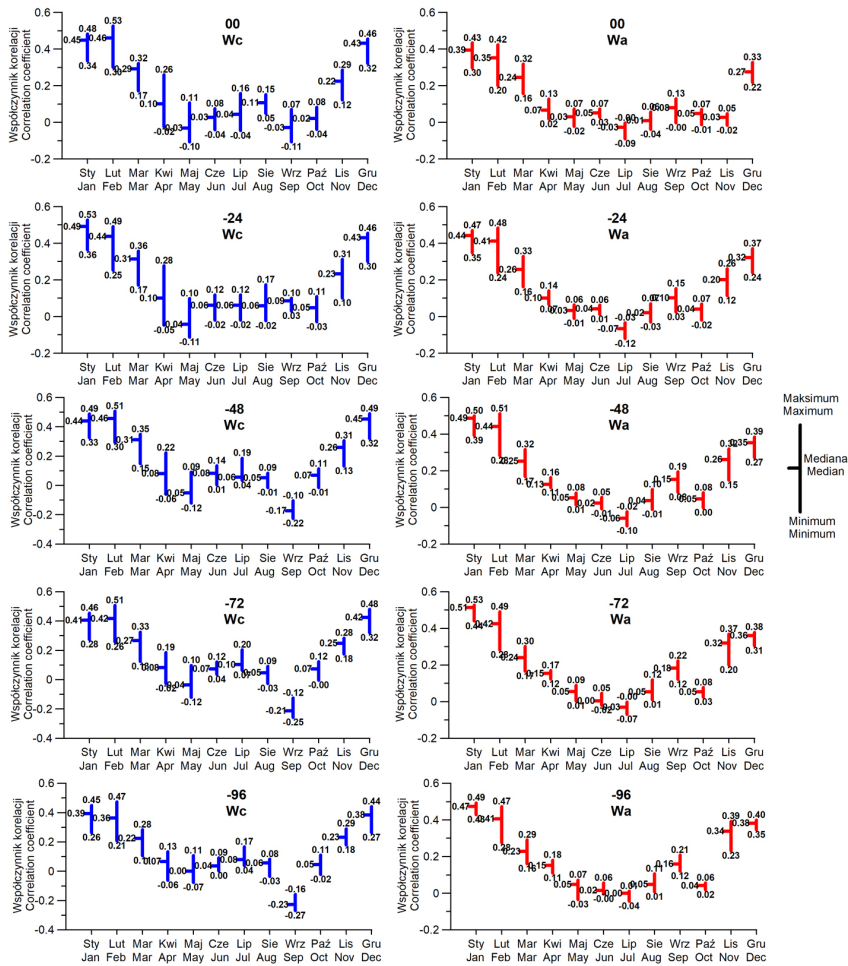
Rys. 8. Trend temperatury powietrza o godz. 12:00 UTC podczas przewagi na obszarze Polski cyrkulacji cyklonalnej (Wc) i antycyklonalnej (Wa) z sektora zachodniego. Zaciemniony obszar wskazuje na istotny statystycznie trend na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Fig. 8. Trend of mean air temperature at 12:00 UTC over Poland during the predominance over Poland of the cyclonic (Wc) and anticyclonic (Wa) circulation from west sector. The shaded area indicates a significant statistical trend at the significance level $\alpha = 0.05$.

Zimą wzrost temperatury powietrza na południowo-wschodnim krańcu kraju i w okolicach Krakowa osiągnął maksymalnie $0.7^{\circ}\text{C}/10$ lat podczas cyrkulacji Wa. Najmniejszym wzrostem temperatury powietrza wyróżnia się jesień, zarówno podczas cyrkulacji Wc (nie stwierdzono na obszarze Polski istotnych statystycznie trendów), jak i cyrkulacji Wa. Latem i zimą podczas cyrkulacji Wa i Wc oraz wiosną podczas cyrkulacji Wa niemal na całym obszarze kraju tendencja temperatury powietrza jest istotna statystycznie oprócz zachodnich krańców polskiej części Karpat. Istotne statystycznie trendy wiosną podczas cyrkulacji Wc występują we wschodniej połowie kraju. Jesienią podczas cyrkulacji Wa obejmują one nieco mniejszą część Polski (rys. 8).

Telekoneksje pomiędzy Oscylacją Północnoatlantycką a temperaturą powietrza

W celu określenia potencjalnego wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej na temperaturę powietrza w Polsce podczas cyrkulacji z sektora zachodniego sprawdzono korelacje pomiędzy dobowymi wartościami indeksu NAO a wartościami temperatury powietrza o godz. 12:00 UTC dla dwunastu wybranych punktów (rys. 1, tab. 1) podczas występowania typów Wc i Wa oraz z przesunięciem czasowym ciągu wartości indeksu NAO do 4 dni wstecz co 24 godziny (rys. 9).



Rys. 9. Miesięczne wartości mediany oraz maksymalnych i minimalnych wartości współczynnika korelacji obliczone na podstawie danych z 12 punktów na obszarze Polski. Korelacje obliczono pomiędzy dobowymi wartościami indeksu NAO a temperaturą powietrza podczas cyrkulacji Wc i Wa o godz. 12:00 UTC oraz z przesunięciem czasowym o 24, 48, 72 i 96 godzin wstecz.

Fig. 9. Seasonal median, maximum and minimum of correlation coefficients that were calculated using data from 12 selected points located on the territory of Poland. Correlations were calculated between daily values of NAO index and air temperature at 12:00 UTC during Wc and Wa circulation and time shifting by 24, 48, 72 and 96 hours backward.

Najwyższe dodatnie wartości współczynnika korelacji pomiędzy indeksem NAO a temperaturą powietrza pojawiają się w miesiącach zimowych we wszystkich analizowanych krokach czasowych. Natomiast latem NAO nie wywiera istotnego wpływu na temperaturę powietrza na obszarze Polski podczas adwekcji z sektora zachodniego, co stanowi potwierdzenie wyników uzyskanych przez Bednorz i in. (2019).

Podsumowanie

Częstość napływu powietrza z sektora zachodniego jest na obszarze Polski słabo zróżnicowana. Nieco rzadziej adwekcja powietrza z analizowanego sektora dociera na wschód kraju. W pewnym stopniu pokrywa się to z wynikami analizy dla miesięcy zimowych przeprowadzonej przez Kozuchowskiego i Żmudzką (2002), mimo że były one oparte na krótszej serii danych oraz innej metodzie określania cyrkulacji strefowej.

Układy baryczne sterujące napływem mas powietrza z sektora zachodniego są najbardziej rozbudowane przestrzennie zimą w przypadku cyrkulacji cyklonalnej, natomiast w przypadku cyrkulacji antycyklonalnej – latem i jesienią. Ponadto układy wysokiego ciśnienia sterujące cyrkulacją z sektora zachodniego w poszczególnych porach roku, które są zlokalizowane na południe od terytorium Polski, w porównaniu z układami niskiego ciśnienia są bardziej rozciągnięte równoleżnikowo i wykazują się mniejszą dynamiką zmian przestrzennych w porównaniu z układami niżowymi. Podczas cyrkulacji cyklonalnej lokalizacje układów niżowych w poszczególnych porach roku, sterujących cyrkulacją z sektora zachodniego, bardziej sprzyjają adwekcji mas powietrza polarnego morskiego oraz arktycznego morskiego. Znajduje to odzwierciedlenie w ujemnych odchyleniach temperatury powietrza wiosną, latem i jesienią.

Największe różnice temperatury powietrza o godz. 12:00 UTC pomiędzy cyrkulacją antycyklonalną i cyklonalną z sektora zachodniego występują w półroczu ciepłym, natomiast najmniejsze są w styczniu. Przyczyn tych różnic można upatrywać w wielu czynnikach. Można do nich zaliczyć m.in. częstość adwekcji mas powietrza polarnego morskiego, arktycznego morskiego i zwrotnikowego morskiego podczas cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej z sektora zachodniego, wielkość zachmurzenia i stopień transformacji mas powietrza.

Z danych zaprezentowanych przez Iles i Hegerl (2017) wynika, że wpływ NAO na temperaturę powietrza nad obszarem Polski w okresie od grudnia do marca skutkuje wzrostem temperatury w granicach od 0 do 0.5°C na dekadę w latach 1963-1995 i 1989-2013. Tego samego rzędu dodatnie trendy temperatury powietrza zimą stwierdzono na obszarze Polski zarówno podczas cyrkulacji antycyklonalnej, jak i cyklonalnej z sektora zachodniego, przy czym podczas cyrkulacji antycyklonalnej tendencja wzrostowa była wyższa w porównaniu z cyrkulacją cyklonalną. Powiązania pomiędzy wartościami indeksu NAO a temperaturą powietrza o godz. 12:00 UTC są najsilniejsze we wszystkich analizowanych krokach czasowych w miesiącach zimowych – zarówno podczas cyrkulacji cyklonalnej, jak i antycyklonalnej. Uzyskane wyniki są potwierdzeniem istotnego wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej na temperaturę powietrza w Polsce w okresie zimy, który wcześniej był wykryty m.in. przez Gilleta i in. (2003), Hurrela (1996), Thomsona i in. (2000), Marsza i in. (2021). Znaczący wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na temperaturę powietrza w Polsce w miesiącach zimowych wynika z lokalizacji układów niżowych podczas cyrkulacji Wc i Wa (rys. 4), z niskich wartości ciśnienia w ich centrach, a także ich znacznej rozciągłości przestrzennej w porównaniu z pozostałymi porami roku. Tego typu uwarunkowania sprzyjają cyrkulacji z sektora zachodniego ciepłych mas powietrza znad Atlantyku o tej porze roku.

L i t e r a t u r a

- Barnston A.G., Livezey R.E., 1987, Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns, *Monthly Weather Review*, 115 (6), 1083-1126, DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2.
- Bednorz E., Czernecki B., Tomczyk A.M., Pótrolniczak M., 2019, If not NAO then what? – regional circulation patterns governing summer air temperatures in Poland, *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 1325-1337, DOI: 10.1007/s00704-018-2562-x.
- Bell B., Hersbach H., Simmons A., Berrisford P., Dahlgren P., Horányi A., Muñoz-Sabater J., Nicolas J., Radu R., Schepers D., Soci C., Villaume S., Bidlot J-R., Haimberger L., Woollen J., Buontempo C., Thépaut J-N., 2021, The ERA5 global reanalysis: Preliminary extension to 1950, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147 (741), 4186-4227, DOI: 10.1002/qj.4174.
- Degirmendzić J., Koźuchowski K., 2006, O drogach i kierunkach adwekcji mas powietrza nad obszar Polski, [w:] *Klimatyczne aspekty środowiska przyrodniczego*, J. Trepiańska (red.), Kraków, 339-350.
- Cattiaux J., Vautard R., Yiou P., 2011, North-Atlantic SST amplified recent wintertime European land temperature extremes and trends, *Climate Dynamics*, 36, 2113-2128, DOI: 10.1007/s00382-010-0869-0.
- Gillett N.P., Graf H. F., Osborn T.J., 2003, Climate change and the North Atlantic oscillation, *Geophysical Monograph*, 134, 193-210, DOI: 10.1029/134GM09.
- Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Schepers D., Simmons A., Soci C., Abdalla S., Abellan X., Balsamo G., Bechtold P., Biavati G., Bidlot J., Bonavita M., De Chiara G., Dahlgren P., Dee D., Diamantakis M., Dragani R., Flemming J., Forbes R., Fuentes M., Geer, A., Haimberger L., Healy S., Hogan R. J., Hólm E., Janisková M., Keeley S., Laloyaux P., Lopez P., Lupu C., Radnoti G., de Rosnay P., Rozum I., Vamborg F., Villaume S., Thépaut J.N., 2020, The ERA5 global reanalysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146 (730), 1999-2049, DOI: 10.1002/qj.3803.
- Hurrell J.W., 1996, Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature, *Geophysical Research Letters*, 23 (6), 655-668, DOI: 10.1029/96GL00459.
- Iles C., Hegerl G., 2017, Role of the North Atlantic Oscillation in decadal temperature trends, *Environmental Research Letters*, 12 (11), DOI: 10.1088/1748-9326/aa9152.
- Jenkinson A.F., Collison F.P., 1977, An initial climatology of gales over the North Sea, *Synoptic Climatology Branch Memorandum No 62*, Meteorological Office, Bracknell.
- Kaszewski B.M., Bartoszek K., Gluza A., 2017, Synoptic conditions of advection of arctic and tropical air masses over the Lublin region, *Annales UMCS. Sectio B*, 7-26.
- Koźuchowski K., 2011, *Klimat Polski. Nowe spojrzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 293 s.
- Koźuchowski K., Degirmendzić J., 2002, Wskaźniki cyrkulacji a temperatura w Polsce, [w:] *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski a temperatura powietrza nad Polską*, A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.), Akademia Morska, Gdynia, 111-128.

- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury w drugiej połowie XX wieku, *Przegląd Geofizyczny*, 44 (1-2), 81-90.
- Marosz M., Miętus M., 2011, Projekt KLIMAT: Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo, Podzadanie 1.1. Związek klimatu Polski w drugiej połowie XX wieku z procesami w skali regionalnej i globalnej, IMGW, Warszawa-Gdynia-Kraków.
- Marsz A.A., 2002, NAO a cyrkulacja wód Północnego Atlantyku, związki NAO z polem temperatury powierzchni oceanu, [w:] *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.), Wydawnictwo Uczelniane Akademii Morskiej w Gdyni, 47-74.
- Marsz A.A., 2013, Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na wzrost temperatury powietrza nad Polską w warunkach zmiennych zasobów ciepła w Atlantyku Północnym, *Przegląd Geofizyczny*, 58 (3-4), 127-143.
- Marsz A.A., Styszyńska A., Bryś K., Bryś T., 2021, Role of internal variability of climate system in increase of air temperature in Wrocław (Poland) in the years 1951-2018, *Quaestiones Geographicae*, 40 (3), 109-124, DOI: 10.2478/quageo-2021-0027.
- Muñoz Sabater J., 2019, ERA5-Land hourly data from 1981 to present, Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS).
- Muñoz Sabater J., 2021, ERA5-Land hourly data from 1950 to 1980, Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS).
- Piotrowski P., 2009, Obiektywna metoda klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej dla Polski, *Acta Universitatis Lodzianae. Folia Geographica Physica*, 10.
- Thompson D.W.J., Wallace J.M., Hegerl G.C., 2000, Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends, *Journal of Climate*, 13 (5), 1018-1036, DOI: 10.1175/1520-0442(2000)013<1018:AMITEC>2.0.CO;2.

S t r e s z c z e n i e

Częstość adwekcji mas powietrza z sektora zachodniego waha się na obszarze Polski w granicach od 44,7% w południowo-wschodniej części kraju do 52,4% na południowym zachodzie. Cyrkulacja antycyklonalna z sektora zachodniego znacznie częściej obejmuje swym oddziaływaniem cały obszar Polski niż cyrkulacja cyklonalna, szczególnie jesienią i latem. Rozmieszczenie układów barycznych sterujących cyrkulacją cyklonalną i antycyklonalną z sektora zachodniego jest odmienne pod względem lokalizacji i stopnia rozbudowy przestrzennej układów niżowych i wyżowych w poszczególnych porach roku. Układ baryczny sterujący cyrkulacją antycyklonalną jest najbardziej rozbudowany jesienią i latem, natomiast cyrkulacją cyklonalną – zimą. Średnia temperatura powietrza o godz. 12:00 UTC na obszarze Polski podczas cyrkulacji antycyklonalnej jest wyższa we wszystkich miesiącach od średniej wartości temperatury powietrza z całego analizowanego okresu (1959-2021), natomiast w przypadku cyrkulacji cyklonalnej jest wyższa tylko od listopada do marca. Tendencje temperatury powietrza podczas cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej z sektora zachodniego we wszystkich porach roku są wzrostowe na całym obszarze Polski. Oscylacja Północnoatlantycka ma największy

wpływ na temperaturę powietrza w Polsce o godz. 12:00 UTC w miesiącach zimowych zarówno podczas cyrkulacji cyklonalnej, jak i antycyklonalnej z sektora zachodniego.

Słowa kluczowe: Polska, temperatura powietrza, cyrkulacja atmosferyczna, cyrkulacja strefowa, cyrkulacja z sektora zachodniego, NAO.

S u m m a r y

The frequency of advection from west sector ranges from 44.7% in southeastern Poland to 52.4% in southwestern of country. Anticyclonic circulation from west sector much more often covers the entire area of Poland in comparison to cyclonic circulation, especially in autumn and summer. The localization of baric centers controlling the cyclonic and anticyclonic circulation from west sector is different in terms of location and degree of spatial expansion in different seasons of the year. Baric system controlling anticyclonic circulation is most spatially extended in autumn and summer, while during cyclonic circulation - in winter. Monthly mean of air temperature at 12:00 UTC in the Poland area during anticyclonic circulation is higher in all months than the mean value over the entire period analyzed (1959-2021), while during cyclonic circulation monthly air temperature is higher only from November to March. The positive trends of air temperature during cyclonic and anticyclonic circulation occur in all seasons in the whole area of Poland. The highest positive trends of air temperature during the predominance of circulation from western sector over the Poland area are visible in spring and autumn during anticyclonic circulation. The North Atlantic Oscillation has the greatest impact on air temperature in Poland during the winter months, both during cyclonic and anticyclonic circulation from west sector.

Keywords: Poland, air temperature, atmospheric circulation, zonal circulation, circulation from west sector.