CYRKULACYJNE CZYNNIKI KLIMATU POLSKI II: *WESTERLIES*

Krzysztof KOŻUCHOWSKI (*prof. emer.)*

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, e-mail: kkozuchowsk1@wp.pl

Kożuchowski K., 2020, *Cyrkulacyjne czynniki klimatu Polski II: westerlies*, „Czasopismo Geograficzne", 91(1–2): 207–233.

Streszczenie:
Artykuł stanowi przegląd i próbę syntezy dawniejszych (od 1914 r.) oraz współczesnych ocen i opinii, dotyczących aktywności cyrkulacji strefowej na obszarze Polski i Europy Środkowej. Termin *westerlies* zdefiniowano jako napływ mas powietrza z zachodu (wiatr geostroficzny SW-NW na poziomie morza) w warunkach występowania strefowej formy cyrkulacji środkowo-troposferycznej (forma W według klasyfikacji Vangenheima-Girsa). Oceniono, że taka aktywna postać *westerlies* („*zonal westerlies*") występuje średnio w ciągu ca 1/4 dni w roku.
Dokonano przeglądu wybranych wskaźników klimatologicznych charakteryzujących *westerlies* – uwzględniono obserwowane rozkłady kierunków wiatrów dolnych oraz wiatru geostroficznego na poziomie morza, frekwencję zachodnich typów cyrkulacji oraz frekwencję mas powietrza polarno-morskiego świeżego (tab. 4).
Według Nowosada [2017] składowa zachodnia przepływu powietrza nad Europą Środkową między 40 i 65ºN utrzymuje się średnio przez ca 2/3 dni w roku. Średnia wartość składowej zachodniej cyrkulacji nie przekracza na tym obszarze 2 m/s. W pobliżu 55. równoleżnika – nad południowym Bałtykiem i północną Polską – zachodnia składowa wynosi średnio 3 m/s, podczas strefowej formy cyrkulacji W – osiąga 7 m/s [tab. 1; Marosz, Kożuchowski 2019].
Strefowa forma W w większości przypadków (>50%) formuje wiatry dolne o kierunkach WSW, W i WNW. Formie cyrkulacji południkowej E odpowiadają wiatry ESE-WSW, a formie C – wiatry WNW-NNE (ryc. 7, tab. 5). Na podstawie danych z 56 stacji meteorologicznych w Polsce [Lorenc 1996] określono średni rozkład częstości kierunków wiatrów dolnych na obszarze Polski (rys. 4). Przedstawiono także rozkład kierunków wiatru geostroficznego nad Polską według danych z opracowania Marosza [2016]. W obu przypadkach obserwuje się największy udział wiatrów z sektora zachodniego (SW-NW) w ogólnej frekwencji kierunków wiatru (około 47%). Widać także przewagę częstości wiatrów z sektora zachodniego (SW-NW) nad wiatrami z sektora wschodniego (SE-NE) oraz przewagę wiatrów SW-SE nad wiatrami NW-NE. (tab. 3). Względnie wysoka częstość kierunków SW-SE dotyczy zwłaszcza wiatrów dolnych i może świadczyć o zmianach kierunku wiatru w warstwie tarciowej. Średnia prędkość wiatrów dolnych wynosi 3,5 m/s, odpowiadająca jej wartość modułu wiatru geostroficznego – 7,4 m/s.
Westerlies są istotnym czynnikiem cyrkulacyjnym klimatu Polski, jednak częstość ich występowania nie jest zbyt wielka. Zarówno częstość wiatrów zachodnich, jak i ich prędkość wzrastają w okresach panowania strefowej formy cyrkulacji środkowo-troposferycznej (W). Zebrane statystyki wiatrów wskazują ponadto na znaczenie względnie wysokiej częstości południkowych form cyrkulacji, kształtujących kierunki adwekcji nad Polską.

Słowa kluczowe: system wiatrów zachodnich, wiatr geostroficzny, formy cyrkulacji atmosferycznej, klimat Polski

Wstęp

W „Czasopiśmie Geograficznym" w 2003 roku opublikowano artykuł pt. *Cyrkulacyjne czynniki klimatu Polski* [Kożuchowski, 2003]. Był on później parokrotnie cytowany, szczególnie w pracach z zakresu klimatologii synoptycznej. Treść wspomnianego artykułu była jednakże przesłaniem skierowanym do szerszego grona geografów i stanowiła krytyczną ocenę funkcjonującego od początku XX wieku paradygmatu, według którego obszar Polski jest dziedziną „ścierania się" klimatycznych wpływów zachodnich – oceanicznych i wschodnich – kontynentalnych, a przejściowość klimatu Polski jest owocem owego procesu.

Kwestia ta znalazła m.in. odzwierciedlenie w charakterystyce czynników klimatycznych, przedstawionej w podręczniku – monografii klimatu Polski A. Wosia [2010]. Autor tego dzieła pozostawia otwarte pytanie o przejściowość klimatu Polski, uznaje za to, iż wiodącym czynnikiem kształtującym klimat na obszarze kraju jest położenie w strefie cyrkulacji zachodniej (czyli *westerlies*[1]) na zachodnich peryferiach kontynentu euroazjatyckiego [Woś, 2010, s. 23 i s. 30]. W podręczniku znajdują się również dane o frekwencji napływu nad obszar Polski mas powietrza z różnych kierunków: okazuje się, że frekwencja napływu powietrza z sektora zachodniego (SW+W+NW) nie jest zbyt wysoka (wynosi 36%), a adwekcja z zachodu (W) pojawia się tak samo często, jak adwekcje z północy czy z południa (frekwencja po 10–11%) [Woś, 2010, s. 76–78].

W pracy Marosza i Miętusa [2012, s. 94] zamieszczono spostrzeżenie o znaczącej przewadze wiatrów z sektora zachodniego w Polsce zachodniej i południowej, i o mniej wyraźnej ich dominacji w pozostałej części kraju. Wcześniej Ustrnul [2007], na podstawie analizy przestrzennego rozkładu wskaźnika cyrkulacji zachodniej, określającego relacje między częstością i prędkością wiatrów z zachodniej i wschodniej połowy horyzontu zauważył, że „… *wbrew obiegowej opinii oddziaływanie cyrkulacji zachodniej jest znikome w niektórych regionach Europy*" [Ustrnul, 2007, s. 61]. Warto zatem sprecyzować, jaką treść winna zawierać obiektywna informacja o występowaniu i nasileniu form cyrkulacji, określonych jako *westerlies* nad Polską.

W niniejszym opracowaniu[2] podjęto próbę syntezy dawniejszych i współczesnych ocen i opinii na temat aktywności *westerlies* jako jednego z wiodących czynników

[1] Termin *westerlies* oznacza system wiatrów zachodnich, w szczególności strefę panującego w umiarkowanych szerokościach geograficznych przenoszenia mas powietrza z zachodu na wschód. W niektórych źródłach można znaleźć określenie *westerlies* terminem „antypasatu"; to przyrównanie wydaje się jednak dwuznaczne i niepotrzebne [zob. *Meteorologicky slovnik*… 1993, Glossary AMS… 2012].

[2] Artykuł stanowi kontynuację publikacji z 2003 roku i jest zatem drugą (II) częścią rozważań o cyrkulacyjnych czynnikach klimatu Polski. Powstał dzięki długoletniej współpracy i dyskusji z klimatologami w kilku ośrodkach akademickich – m.in. z pp. J. Degirmendžićem (UŁ), K. Marciniakiem (UMK), M. Maroszem (UGd.), A.A.Marszem (Akad. Morska w Gdyni), J. Wibig (UŁ) i E. Żmudzką (UW), którym wyrażam w tym miejscu serdeczne podziękowania. Dziękuję ponadto anonimowym Recenzentom artykułu za ich opinie i uwagi.

klimatu Polski. Synteza ta zmierza do odpowiedzi na dwa proste pytania, dotyczące klimatologicznej oceny 1) częstości występowania i 2) nasilenia *westerlies*, tj. prędkości ruchu mas powietrza podczas panowania strefowych form cyrkulacji zachodniej. Powstaje w związku z tym potrzeba zdefiniowania kryteriów, określających *westerlies* jako napływ powietrza z zachodu w warunkach strefowych form (makroform) cyrkulacji. Kryteria te, jak i rezultaty ich zastosowania, przedstawiono w niniejszej pracy, która stanowi zarazem uzupełnienie wywodów o cyrkulacyjnych czynnikach klimatu, zawartych w cytowanym wyżej artykule z 2003 roku. Zachodnią cyrkulację nazwano tam wprawdzie „głównym czynnikiem cyrkulacyjnym" [Kożuchowski, 2003, str. 102], niewiele jednak powiedziano o frekwencji *westerlies* w Polsce.

W niniejszym artykule dokonano przeglądu wybranych wskaźników klimatologicznych, charakteryzujących zachodni przepływ powietrza nad Polską. Wykorzystano publikowane dane o wiatrach dolnych w Polsce (tj. wiatrach na poziomie wiatromierza ≈10 m n.p.g, – Vd.), charakterystyki wiatru geostroficznego (Vg), określanego na podstawie gradientów ciśnienia na poziomie morza (SLP) oraz statystyki frekwencji typów cyrkulacji, sterujących zachodnim napływem powietrza nad Polskę. Wśród nich wykorzystano także dane określające makrotyp (makroformę) cyrkulacji środkowo-troposferycznej na poziomie około 500 hPa według klasyfikacji Vangenheima-Girsa [formy VG, Vangenheim 1946, 1952, Girs 1964, 1974, dane z kalendarza Dimitreev i Balyazo 2006].

Niektóre dane, w tym materiały z publikowanych już prac własnych, przekształcono przy użyciu prostych procedur rachunkowych w celu uzyskania możliwie najbardziej syntetycznej (choć nieraz może zbyt uproszczonej…) charakterystyki *westerlies*. Objaśnienia wykonanych obliczeń zamieszczono w opisie wyników niniejszego opracowania. Trzeba uznać, że cytowane tu oceny zachodniego przepływu powietrza nie mogą być bezwzględnie porównywalne; pochodzą one z różnych źródeł i dotyczą różnych okresów obserwacyjnych, a czasem także wynikają ze zróżnicowanych metod analizy danych. Porównania mają więc raczej tylko orientacyjny charakter.

W opracowaniu przyjęto założenie, że zachodnia cyrkulacja strefowa w Polsce panuje w czasie, gdy nad Europą kształtuje się strefowa forma cyrkulacji środkowo-troposferycznej (makroforma W wg Vangenheima-Girsa), a w polu ciśnienia SLP w określonym obszarze nad Polską formuje się wiatr geostroficzny o kierunku należącym do sektora zachodniego (SW-NW). Uściślono w ten sposób znaczenie terminu *westerlies*, który inaczej mógłby dotyczyć w zasadzie wszystkich kierunków wiatru, zawierających składową zachodnią [zob. Glossary AMS… 2012].

Na przykładach wiatrów na polskim wybrzeżu Bałtyku oraz uśrednionych danych o wiatrach w całej Polsce zilustrowano różnice zachodzące między wiatrem geostroficznym (Vg) i obserwowanym wiatrem dolnym – „z wiatromierza" (Vd).

Artykuł ma charakter przeglądowy i stanowi próbę sformułowania zarysu wiedzy geograficznej na temat strefowej cyrkulacji atmosferycznej nad obszarem Polski.

Strefa *westerlies* nad Polską i Europą

System przeważających, względnie stabilnych wiatrów zachodnich obejmuje strefę między 35. i 65. równoleżnikiem[3]; na półkuli północnej rozwija w szczególności nad oceanami oraz zachodnimi częściami kontynentów. Europa zatem niemal w całości znajduje się pod wpływem *westerlies*, chociaż stopień stabilności czy dominacji zachodniego przepływu powietrza jest na jej obszarze dość zróżnicowany. Według ocen Nowosada [2017] który na podstawie różnicy między średnim ciśnieniem na 40. i 65. równoleżniku (na odcinku od 0 do 35ºE) określił średnią częstość i średnią prędkość zachodniego przepływu powietrza nad analizowanym obszarem Europy, przepływ ten utrzymuje się średnio przez 65% dni w roku i wykazuje stosunkowo niewielką średnią prędkość (zachodnia składowa prędkości =1,4 m/s)[4].

Cyrkulację atmosferyczną w Europie, zwykle w nawiązaniu do cyrkulacji nad Atlantykiem Północnym (w szczególności do zjawiska Oscylacji Północnoatlantyckiej, NAO) analizowano już w wielu pracach z zakresu klimatologii synoptycznej, w tym także w licznych publikacjach klimatologów polskich. Warto tu zwrócić uwagę na interesującą zbieżność w opisach strefowej, zachodniej cyrkulacji nad Polską i Europą, przedstawionych przez R. Mareckiego w 1914 r. i przez Z. Ustrnula pod koniec XX wielu. Według Mereckiego „… *na mapie (wiatrów w Europie) widzimy wybitny prąd zachodni, obejmujący prawie całą Europę zachodnią, środkową, północną i północno-wschodnią (…) który przekracza kresy wschodnie Europy zagłębiając się w obszary Syberii zachodniej*" [Merecki 1914, s. 217]. Drugi z wymienionych autorów, w swej monografii charakteryzującej cyrkulację atmosferyczną na półkuli północnej, ten sam „prąd zachodni" przyrównał do „klina", który znad północnego Atlantyku, w kierunku północno-wschodnim „…*wchodzi nad Europę* (…) *i łączy się z obszarem intensywnej cyrkulacji zachodniej nad wschodnią częścią Niziny Zachodnio-Syberyjskiej*" [Ustrnul 1997, s. 82].

Obszar Polski leży niewątpliwie w pobliżu osi tego prądu czy klina, bowiem strefa rozciągająca się wokół 55. równoleżnika – od Wysp Brytyjskich przez Danię i południowy Bałtyk – stanowi pewien charakterystyczny obszar aktywności cyrkulacji atmosferycznej nad Europą. Strefa ta wyznacza szlak przenikania w głąb kontynentu atlantyckich mas powietrza, w tym szczególnie często występujących na tym szlaku układów cyklonalnych. Wzdłuż strefy 50–60ºN przemieszcza się na wschód 20–22 cyklonów w ciągu roku [Sepp 2005, Sepp i in. 2005]. Bielec-Bąkowska [2010] podaje, że na 55.

[3] Są to orientacyjne oceny szerokości stref *westerlies* występujących na obu półkulach.

[4] Uśrednienie wartości ciśnienia z dużych odcinków równoleżników 40 i 65ºN powoduje, iż prędkość ta może być nieco zaniżona; niemniej podobne oceny średniej wartości składowej zachodniej podali Marosz [2016] – średnia z obszaru 47,5–57,5ºN i 10–27,5ºE = 1,8 m/s oraz Degirmendžić i in. [2004] – średnia z obszaru 45–60ºN i 10–30ºE = 1,6 m/s.

równoleżniku w Europie pojawia się ponad 37% wszystkich niżów europejskich. Według klasycznej klasyfikacji szlaków cyklonalnych van Bebbera [1891] z 55ºN związane są szlaki II, III oraz IVa i IVb, to jest główne tory wędrówki niżów nad kontynentem europejskim. Wartości wskaźnika cyrkulacji strefowej (W>150) są tu podobnie wysokie, jak nad większą częścią północnego Atlantyku [Ustrnul 1997]. Od Morza Północnego do Bałtyku rozciąga się strefa najwyższych częstości frontów atmosferycznych w Europie; według Wosia [2010] pojawia się tu ponad 100 frontów w ciągu roku.

W omawianej strefie aktywność cyrkulacji, w tym nasilenie *westerlies* zmniejsza się stopniowo ku wschodowi, szczególnie nad kontynentem na wschód od Bałtyku. W opracowaniu Marosza i Kożuchowskiego [2019] przedstawiono m.in. charakterystykę składowej zachodniej cyrkulacji na poziomie morza w strefie między 50. i 60ºN na odcinku od Irlandii (10ºW) do okolic Kazania w Rosji (50ºE). Średnie prędkości zachodniej składowej wiatru geostroficznego w poszczególnych odcinkach tej strefy przedstawia tab. 1. Jak widać, zmniejszają się one systematycznie z zachodu na wschód, a średnie w okresie zimy są znacznie wyższe od średnich rocznych ze względu na wzrost międzystrefowych gradientów ciśnienia SLP w tym sezonie. Trudno tu zgodzić się z wyjaśnieniem przyrostu prędkości wiatrów w zimie „*małą szorstkością pokrywy śnieżnej i częściowym brakiem (ulistnienia) roślinności*" [Bac i Rojek 2012, str. 112].

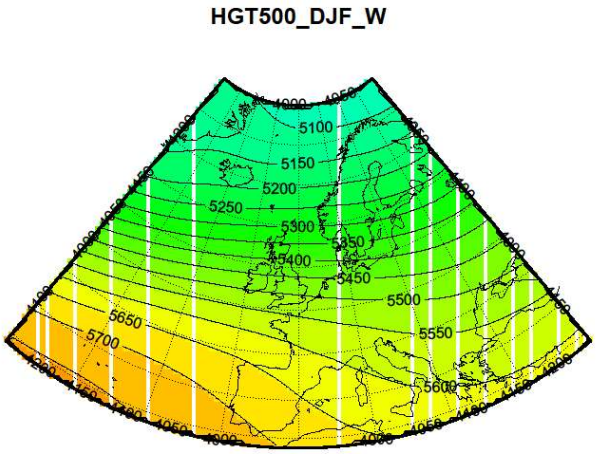
Tab. 1. Średnie wartości składowej zachodniej wiatru geostroficznego (u) w strefie 50–60ºN na odcinkach od 10ºW do 50ºE (a, b…l): wartości roczne (A), wartości z sezonu zimowego (DJF) oraz wartości występujące podczas strefowej formy cyrkulacji A(W) i współczynniki ich stabilności (SC). (Wg Marosza i Kożuchowskiego, 2019, dane z okresu 1981–2015)
Table 1. Mean values of the western component of geostrophic airflow (u) in zone 50–60ºN between 10ºW and 50ºE (a, b…l). Annual values (A), winter season values (DJF), values occurring with the zonal form of mid-tropospheric circulation (A[W]) and their stability coefficients (SC[W]). (After Marosz and Kożuchowski, 2019, data from the period 1981–2015)

u [m/s]	Odcinki strefy 50–60ºN											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
	Długość geogr. [ºW, ºE]											
	7,5W	2,5W	2,5E	7,5E	12,5E	17,5E	22,5E	27,5E	32,5E	37,5E	42,5E	47,5E
A	4,5	4,1	3,7	3,7	3,5	**3,0**	2,8	2,5	2,2	2,2	2,2	2,3
DJF	7,0	6,5	6,1	5,8	5,1	**5,8**	5,0	4,4	4,0	3,9	3,9	4,0
A[W]	7,5	7,4	7,6	7,8	7,8	**7,0**	6,5	6,0	5,6	5,3	5,1	4,9
SC[W]	0,66	0,63	0,63	0,67	0,70	**0,67**	0,66	0,64	0,61	0,60	057	0,55

Na odcinku „f" (w pobliżu południka 17,5ºE) strefy 50–60ºN, obejmującym północną Polskę, zachodnia składowa wiatru geostroficznego osiąga średnio w roku 3 m/s, w zimie – prawie 6 m/s (tab. 1). W pobliżu 55. równoleżnika przepływ zachodni okazuje się więc szczególnie intensywny w porównaniu z cyrkulacją zachodnią nad szerzej określonymi obszarami Europy (zob. przypis 4).

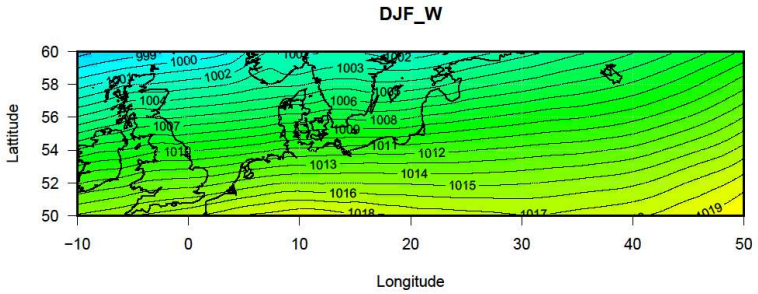
Istnieją określone związki między polem ciśnienia na poziomie morza, określającym cyrkulację w dolnej troposferze i formami cyrkulacji w wyższych warstwach troposfery – na poziomie kształtujących się tam fal Rossby'ego. Opisano je w podręcznikach [m.in. Holec i Tymański 1973, Iribarne i Cho 1988, Kożuchowski 2011], a także w oddzielnych artykułach [Marsz 2012, Kożuchowski i Degirmendžić 2018].

Nasilenie zachodniej cyrkulacji dolno-troposferycznej rośnie wyraźnie – podwaja się – pod wpływem kształtującej się w środkowej troposferze strefowej formy cyrkulacji (makroforma W według klasyfikacji Vangenheima-Girsa). Forma ta wiąże się z występowaniem w przybliżeniu równoleżnikowo zorientowanych izohips powierzchni 500 hPa. Najsilniej rozwinięta forma strefowa powstaje w okresie zimy (ryc. 1).



Ryc. 1. Średnia wysokość powierzchni izobarycznej 500 hPa [gpm] nad Europą i Atlantykiem Północnym podczas występowania strefowej formy cyrkulacji W; zima (XII–II) 1981–2015 (wg Marosza i Kożuchowskiego, 2019)
Fig 1. Average geopotential height [gpm] of the 500 hPa isobaric surface over Europe and Northern Atlantic during the occurrence of the zonal circulation form W; winter (DJF) 1981–2015 (after Marosz and Kożuchowski, 2019)

Strefowa forma cyrkulacji W trwa średnio przez 122 dni w roku (częstość 33,4%) i pojawia się w postaci epizodów, trwających średnio po około 6–7 dni. W sezonie zimowym częstość formy W wzrasta do 41%. Odpowiada jej równoleżnikowy przebieg średnich izobar SLP w strefie między 50–60ºN w Europie (ryc. 2). Niemal idealny, strefowy układ izobar, który tu widzimy, wynika z uśrednienia wartości ciśnienia, panującego podczas epizodów formy W. Rzeczywiste izobary w poszczególnych dniach (terminach pomiaru) mogą dość znacznie różnić się od swego średniego położenia.



Ryc. 2. Średnie ciśnienie na poziomie morza [hPa] w Europie między równoleżnikami 50 i 60ºN podczas występowania strefowej formy cyrkulacji W; zima (XII–II) 1981–2015 (wg Marosza i Kożuchowskiego, 2019)
Fig. 2. Average sea level pressure [hPa] in Europe between parallels 50 and 60ºN during the occurrence of the zonal circulation form W; winter (DJF) 1981–2015 (after Marosz and Kożuchowski, 2019)

Z epizodami strefowej formy cyrkulacji środkowo-troposferycznej W, w dolnej troposferze skorelowane są zachodnie cyklonalne (A) lub zachodnie i południowo-zachodnie antycyklonalne (C_2D i D_2C) typy cyrkulacji, określone według klasyfikacji Osuchowskiej-Klein [Osuchowska-Klein, 1978, 1991, Kożuchowski, 1993, Marsz 2012]. Typom tym odpowiada strefa głębokich depresji w polu barycznym nad północną częścią Atlantyku (Niż Islandzki) i nad północnymi krańcami kontynentu europejskiego oraz wyże nad południową i południowo-zachodnią Europą. Układy te można utożsamiać z pozytywną fazą NAO – intensywną cyrkulacją zachodnią nad Atlantykiem i dużą częścią Europy, w tym także obecnością aktywnych niżów, przemieszczających się na wschód lub na północny wschód i wywołujących zmienność kierunków wiatrów na szlakach tej wędrówki.

W tym kontekście wątpliwości budzi opis cyrkulacji w strefie depresji barycznej między 55 i 60ºN, który wskazuje na istnienie tam dwu prądów powietrznych, z których jeden, cieplejszy wieje z zachodu, a drugi, chłodniejszy – ze wschodu… [Bac i Rojek 2012, s. 108]. Strefa umiarkowana bywa nazywana strefą „ruchów zaburzonych" [Iribarne i Cho 1988] i wyróżnia się dużą zmiennością wiatrów, ale ich podział na „dwa prądy powietrzne" nie najlepiej odzwierciedla panującą w tej strefie cyrkulację atmosfery. Zakłócenia zachodniego przepływu powietrza objawiają się tu głównie w postaci wymiany południkowej powietrza, związanej z falami długimi o dużej amplitudzie – w klasyfikacji VG są to makroformy E i C.

Formie cyrkulacji strefowej W nie zawsze odpowiada wiatr zachodni, zgodny z przebiegiem średnich izobar w polu SLP Świadczą o tym niezbyt wysokie współczynniki stabilności wiatru geostroficznego, które określają relacje między sumą wektorową prędkości wiatru geostroficznego i średnią prędkością – modułem Vg (tab. 1). Prędkość wiatru z wynikowego kierunku (jest to praktycznie składowa zachodnia Vg)

stanowi tylko około 2/3 modułu prędkości wiatrów ze wszystkich kierunków. Podczas panowania formy W występują wiatry z kierunków różnych od zachodniego, podobnie jak przy formach cyrkulacji południkowej – zdarzają się wiatry zachodnie.

Niemniej, częstość zachodnich wiatrów Vg podczas występowania epizodów strefowej formy cyrkulacji W jest znacząco większa od średniej rocznej częstości wiatrów zachodnich. I tak, nad północną Polską (odcinek „f" strefy 50–60ºN), przy strefowej formie cyrkulacji, wiatry z sektora zachodniego (SW+WSW+W+WNW+NW) stanowią ponad 70% wszystkich kierunków wiatru, co odpowiada zarazem połowie (51%) łącznej częstości wiatrów z sektora zachodniego w ciągu roku. (tzn 1/2 wiatrów zachodnich pojawia się w czasie panowania strefowej formy cyrkulacji). Zważywszy, że forma W występuje średnio przez 33% dni w roku, trzeba uznać, że koincydencja cyrkulacji strefowej W i wiatrów zachodnich pojawia się zaledwie w ciągu 24% dni w roku, czyli trwa przez niespełna 3 miesiące (w zimie – trwa w ciągu około 1 miesiąca) (tab. 2). Zachodni wiatr Vg występujący w związku z panowaniem strefowej formy cyrkulacji W pozwala na sprecyzowanie oceny frekwencji pojawiania się nad Polską *westerlies* „w czystej postaci" – frekwencja ta obejmuje około 1/4 część roku.

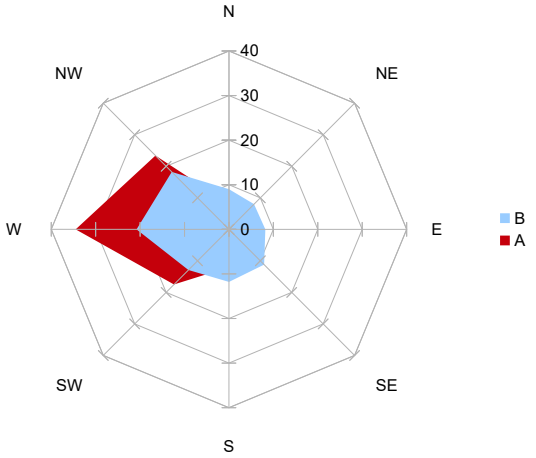
Tab. 2. Średnie sezonowe i roczne częstości form cyrkulacji V-G [F] oraz częstości kierunków SW-NW wiatru geostroficznego nad północną Polską i południowym Bałtykiem (50-60ºN w pobliżu 17,5ºE): f1 – częstość wiatrów SW-NW podczas danej formy cyrkulacji, f2 – udział w ogólnej częstości kierunków SW-NW, f3 – udział w częstości wszystkich kierunków Vg. (wartości w %). A – rok, DJF – zima, MAM – wiosna, JJA – lato, SON – jesień. Źródło danych – jak w tab. 1)

Table 2. Averages of seasonal and annual frequencies of circulation forms (F) and frequencies of SW-NW geostrophic winds over northern Poland and southern Balic (between 50-60ºN near 17,5ºE): f1 – frequency of SW-NW winds in relation to the circulation form occurrence, f2 – frequency of SW-NW winds in relation to the total SW-NW winds, f3 – frequency of SW-NW winds in relaton to the total wind directions (in [%]. A – year, DJF – winter, MAM – spring, JJA – summer, SON – autumn. Data source – as in table 1

Formy cyrkulacji VG	Sezon/ rok	Częstość formy VG [%]	Częstości kierunków SW-NW (SW+WSW+W+WNW+NW) [%]		
		F	f 1	f 2	f 3
W	DJF	41	80	58	33
	MAM	29	59	49	17
	JJA	38	67	42	18
	SON	27	74	56	30
	A	**33**	**70**	**51**	**24**
E	DJF	35	37	22	13
	MAM	47	23	30	10
	JJA	41	36	42	18
	SON	51	35	28	14
	A	**43**	**32**	**30**	**14**
C	DJF	25	45	19	11
	MAM	25	29	21	7
	JJA	21	32	17	7
	SON	23	41	16	8
	A	**23**	**36**	**19**	**8**
W+E+C	**A**	**100**	**46**	**100**	**46**

Średnia częstość występowania *westerlies sensu stricte* nie jest więc imponująco wysoka. Warto jednak zwrócić uwagę na nieprzypadkową zapewne zbieżność wykonanej tu oceny z określoną w odmienny sposób przez Bartoszka [2017] średnią wieloletnią frekwencją zachodnich (SW+W+NW) kierunków aktywnej adwekcji powietrza nad Środkowo-wschodnią Europą: takie typy cyrkulacji (*SW, W and NW strong advection*) utrzymują się przez 86,4 dni/rok – czyli w ciągu 23,7% dni w roku (zob. poz. 8 w tab. 4).

Występowanie formy W kształtuje „nadwyżkę" frekwencji kierunków SW, W i NW, natomiast częstość kierunków NE, E i SE pod jej wpływem zmniejsza się najbardziej – do zaledwie 3–4% (ryc. 3). Średnia roczna wartość wskaźnika wiatrów zachodnich WWW, zdefiniowanego jako stosunek częstości wiatrów z sektora zachodniego (SW-NW) do częstości wiatrów z sektora wschodniego (NE-SE) [Paszyński i Niedźwiedź 1991], która charakteryzuje strukturę kierunkową Vg nad północną Polską wynosi 1,89[5], natomiast wskaźnik WWW, odpowiadający wiatrom występującym podczas epizodów formy cyrkulacji strefowej osiąga wartość 7,2.



Ryc. 3. Rozkłady częstości kierunków wiatru geostroficznego nad północną Polską i południowym Bałtykiem (w pobliżu 17,5°E): A – średnia częstość podczas występowania formy cyrkulacji strefowej W, B – ogólna średnia częstość roczna. w okresie 1981–2015. (wg Marosza i Kożuchowskiego, 2019)

Fig. 3. Distributions of the frequency of geostrophic wind directions over Northern Poland and Southern Baltic (near 17,5°E): A – average frequency during the occurrence of zonal circulation form W; B – total annual frequency in the period 1981–2015 (after Marosz and Kożuchowski, 2019)

[5] Wskaźniki liczone na podstawie częstości według 8-kierunkowej róży wiatrów (SW+W+NW.. itd) nieco różnią się od wskaźników uwzględniających częstości z 16 kierunkowej róży wiatrów (SW+WSW+W+WNW+NW…)

Cyrkulacja zachodnia sprzyja występowaniu maksymalnych prędkości wiatru. Największe poziome gradienty ciśnienia nad Polską odpowiadają wiatrowi Vg o kierunku NW i prędkości maksymalnej 39 m/s oraz wiatrom W i SW o prędkościach 35 m/s [Ustrnul i Czekierda 2009]. Nad Wybrzeżem, w rejonie punktu o współrzędnych 55ºN i 15,33ºE Marosz [2017] stwierdził maksymalną prędkość wiatru geostroficznego 47 m/s i najwyższą wartość jego składowej zachodniej – 42,8 m/s.

Analizując tzw. trajektorie wsteczne (3-dobowe) ruchów powietrza podczas najsilniejszych wiatrów nad Polską stwierdzono, że 41% z nich przynosi masy powietrza z sektora SW-NW, 31% – znad północnego Atlantyku. Jednakże tylko połowa (52%) silnych wiatrów nad Polską o kierunkach SW-NW przynosi powietrze pochodzące znad obszarów położonych w zasięgu kierunków SW-NW: znaczna część wiatrów zachodnich nad Polską przynosi masy powietrza pochodzące z innych kierunków, np. z obszarów położonych na dalekiej północy lub nad Morzem Śródziemnym [Degirmendžić i Kożuchowski 2006]. Okazuje się, iż trajektorie ruchów powietrza w strefie *westerlies* są dość zawiłe, a ścisłe określenie zachodniego napływu powietrza jako oznaki *westerlies* może stanowić pewien problem. Stąd też biorą się zróżnicowane oceny frekwencji panowania systemu wiatrów zachodnich nad Polską.

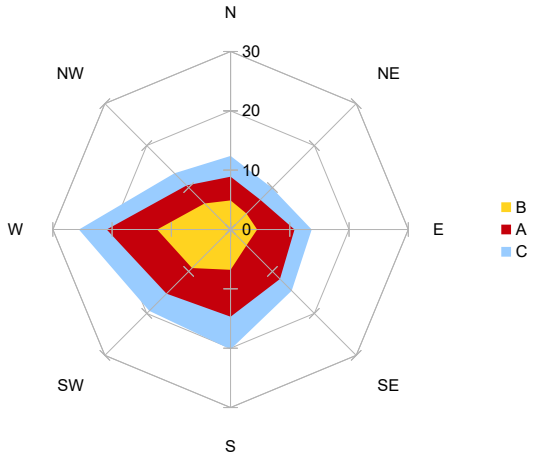
Frekwencja wiatrów zachodnich w Polsce

Oceny frekwencji zachodniego napływu powietrza nad obszarem Polski znajdują się w najdawniejszych pracach polskich klimatologów i geografów. Merecki [1914] określił częstość wiatrów z sektora zachodniego w Bydgoszczy (49%), w Warszawie (42%), Puławach (41%) i w Krakowie (56%). Według tego badacza, wiatry z zachodniej połowy horyzontu osiągają na Niżu Polskim częstość od 50 do 58%. Schmuck (1959) podkreślał, że „*procent wiatrów z kierunków od SW do NW włącznie przekracza na wielu stacjach 50, a nawet 60% wszystkich kierunków*" [Schmuck 1959, s. 30]. Kondracki [1965] „poprawił" tę ocenę pisząc, że „*procent wiatrów z zachodniego sektora (od SW do NW) przekracza w wielu miejscach 60% w stosunku do wiatrów z innych kierunków*" [Kondracki 1965, s. 92]. Martyn [2000] stwierdziła, że „*nad Polską… dominują wiatry z sektora zachodniego, które notuje się podczas 40–55% pomiarów*" [Martyn 2000, s. 84]. Według opinii Paszyńskiego i Niedźwiedzia [1991] o przewadze cyrkulacji zachodniej świadczy wskaźnik wiatrów zachodnich (WWW) – w Warszawie jego średnia wartość wynosi 1,55 – frekwencja napływu powietrza z zachodu przewyższa o połowę frekwencję wiatrów wschodnich.

Warto zauważyć, że oceny częstości występowania napływu powietrza nad Polskę z zachodu, zamieszczane w kilku fundamentalnych pozycjach polskiej literatury geograficznej nie są całkowicie jednoznaczne. Przedział wartości, określających „stopień panowania" cyrkulacji zachodniej pozostaje dość szeroki. Ponadto, oceny te bazują

zwykle na danych, wynikających z pomiaru wiatrów przyziemnych, w różnym stopniu podlegających lokalnym oddziaływaniom form rzeźby, a w tym zwłaszcza wpływowi lokalizacji wiatromierza w terenie.

Pomijając możliwe zastrzeżenia, w niniejszym opracowaniu do syntetycznego opisu struktury kierunkowej wiatrów dolnych w Polsce wykorzystano uśrednioną różę wiatrów, określoną na podstawie średnich częstości 16 kierunków wiatru z 56 stacji w Polsce, według danych zamieszczonych w pracy Lorenc [1996][6]. Przedstawiono także średnie z 10 najniższych i 10 najwyższych częstości każdego kierunku spośród całego zbioru danych z 56 stacji (ryc. 4). Częstości obserwowanych kierunków wiatru w Polsce porównano z częstościami kierunków wiatru geostroficznego, wyznaczonymi przez Marosza [2016] dla środkowej Polski na podstawie gradientów ciśnienia w obszarze między 10 i 27,5ºE oraz między 47,5 i 57,5ºN. Wybrane charakterystyki struktury kierunkowej i prędkości wiatru dolnego (Vd) i wiatru geostroficznego (Vg) nad Polską zawiera tab. 3.



Ryc. 4. Rozkład średnich częstości kierunków wiatrów dolnych w Polsce: A – średnie częstości z 56 stacji na obszarze Polski, B – najniższe częstości z 10 stacji, C – najwyższe częstości z 10 stacji (dane z okresu 1966–1990, wg Lorenc, 1996).
Fig. 4. Distribution of the average frequency of surface wind directions in Poland: A – average frequency from 56 weather stations throughout Poland, B – the lowest frequencies from 10 stations, C – the highest frequencies from 10 stations Data from the period 1966–1990 after Lorenc, 1996

[6] Autorka tego opracowania przedstawiła pytanie o liczbę cisz atmosferycznych uwzględnianych w statystyce częstości kierunków wiatru, tj. czy cisze traktować należy jako jeden z „kierunków" ? [Lorenc, 1996, str. 62]. Problem ten rozważała już Schneigert [1966], według której „… *procentowy udział poszczególnych kierunków określono w stosunku do sumy przypadków obserwacji bez ciszy.*" [Schneigert, 1966, str. 11]. Rozkłady częstości kierunków wiatru, przedstawione w niniejszej pracy (tab. 3, ryc. 4), także nie uwzględniają liczby cisz.

Tab. 3. Średnie częstości kierunków [%], wskaźniki kierunków oraz średnie prędkości wiatrów [m/s] na obszarze Polski: Vd – wiatry dolne (średnie z 56 stacji meteorol. z okresu 1966–1990 wg Lorenc 1996, Vg – wiatr geostroficzny, średnie z okresu 1951–2014 wg Marosza 2016
Table 3. Averages of frequency of wind directions [%], direction indicies and averages of wind speed [m/s] throughout Poland: Vd – surface winds in the period of 1966–1990 after Lorenc 1996, geostrophic wind in the period of 1951–2014 after Marosz 2016

Kierunki wiatrów	Wiatr dolny Vd*	Wiatr geostrof. Vg
N	8,9	8,8
NE	7,1	8,7
E	10,8	11,6
SE	11,8	11,1
S	14,7	12,6
SW	15,3	15,7
W	20,9	17,6
NW	10,5	14,1
Kwadrant W (1/2SW+W+1/2NW)	33,8	32,5
Sektor (W SW+W+NW)	46,7	47,4
Wskaźnik wiatrów zachodnich WWW (SW-NW)/(NE-SE)	1,58	1,51
Wskaźnik wiatrów południowych WWS (SE-SW)/(NW-NE)	1,58	1,24
Średnia prędkość	3,5	7,4

*Częstości Vd określono bez uwzględnienia liczby cisz/In the frequency of Vd the number of calms has been excised

Kierunek zachodni wiatrów odznacza się w obu przypadkach największą średnią częstością (Vd=20,9 i Vg=17,6%), zaś kierunek NE wykazuje najmniejszą częstość (odpowiednio 7,1 i 8,7%). Frekwencja wiatrów Vd i Vg z kwadrantu zachodniego (1/2 SW+W+1/2 NW) i z sektora zachodniego (SW+W+NW) oraz wskaźniki wiatrów zachodnich (WWW) mają zbliżone wartości.

Częstość wiatrów z sektora zachodniego stanowi blisko połowę łącznej częstości wiatrów ze wszystkich obserwowanych kierunków (bez uwzględnienia przypadków ciszy atmosferycznej). Udział kierunków SW-NW wiatru dolnego i wiatru geostroficznego w Polsce wynosi średnio około 47% (tab. 3). Średnia roczna częstość występowania wiatrów Vd z sektora zachodniego – po uwzględnieniu częstości cisz – jest nieco mniejsza i wynosi około 42% dni w roku (zob. tab. 4, poz. 21). Dominacja frekwencji wiatrów SW-NW nie jest zatem aż tak wielka zważywszy, że przy równomiernym rozkładzie częstości 8. kierunków na sektor SW+W+NW przypadałoby 3/8 czyli – teoretycznie – 37,5% łącznej liczby obserwowanych kierunków wiatru.

Warto zwrócić uwagę na znaczną przewagę częstości południowych kierunków wiatrów Vg i Vd nad częstością wiatrów północnych. Świadczą o tym ilorazy częstości występowania kierunków sektora południowego (SW-SE) i kierunków sektora północ-

nego (NW-NE), czyli wskaźniki wiatrów południowych (WWS). W przypadku wiatrów dolnych (Vd) przewaga wiatrów południowych równa jest przewadze wiatrów zachodnich (WWS=WWW). Ponadto, częstości wiatrów południowych (kwadrant S i sektor S) okazują się tylko niewiele mniejsze od częstości wiatrów zachodnich (tab. 3).

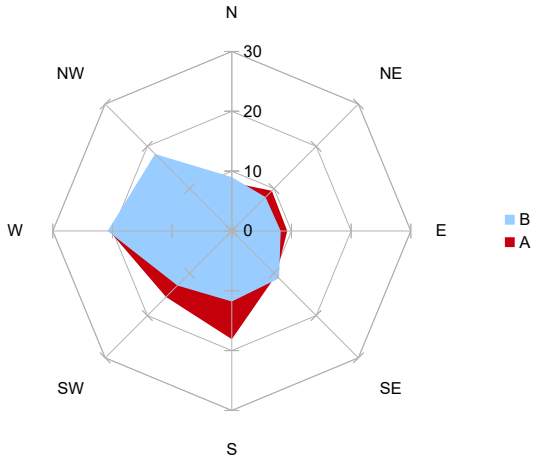
Mówiąc o kierunkach wiatrów w Polsce należy wskazać na przewagę kierunków zachodnich i południowych, a nie tylko zachodnich. Przewaga (większość), czyli łączna częstość przekraczająca 50%, dotyczy bowiem kierunków S, SW i W w przypadku średniej częstości wiatrów dolnych lub kierunków S, SW, W i NW w przypadku wiatru geostroficznego. Te same kierunki reprezentują zarazem „nadwyżkę" frekwencji w porównaniu z równomiernym rozkładem częstości (tj. 12,5% przy 8-kierunkowej róży wiatrów) (tab. 3).

Kierunki wiatru geostroficznego okazują się dobrym przybliżeniem rozkładu kierunków przepływu powietrza także w przyziemnych warstwach atmosfery nad Polską. Istnieją oczywiście, uzasadnione fizycznie różnice między wiatrem geostroficznym i wiatrem dolnym (geotryptycznym). Kierunek wiatru dolnego odchyla się w lewo pod wpływem tarcia zewnętrznego w atmosferze; wykazano, że kąt tego odchylenia wynosi w Polsce średnio 23 stopnie [Kożuchowski 2004]. Za przejaw tego zjawiska można uznać różnice częstości występowania kierunków NW i W: częstości wiatrów dolnych W wzrastają, a częstości wiatrów dolnych NW zmniejszają się w porównaniu z kierunkami wiatru geostroficznego. Podobnym efektem jest względnie wysoka częstość południowych kierunków Vd (tab. 3).

Średnia prędkość wiatrów dolnych w Polsce (3,5 m/s) stanowi mniej niż połowę prędkości wiatru geostroficznego (7,4 m/s, tab. 3), co w przybliżeniu odpowiada podawanej w podręcznikach relacji Vd= 0,5–0,7 Vg. [Holec i Tymański 1973]. Nad urozmaiconym podłożem atmosfery prędkość wiatru może zmniejszać się do 0,3 Vg [Tamulewicz 1997] Warto tu dodać, iż według innych źródeł średnia prędkość wiatru na obszarze Polski wynosi zaledwie 3,2 m/s [Dygulska i Polańska 2015, dane z 61 stacji z okresu 1971–2009]. Najczęściej podawane w publikacjach geograficznych informacje o wiatrach w Polsce określają ich średnią prędkość w przedziale 3–4 m/s [Paszyński i Niedźwiedź 1991]. Woś [2010] wymienia przedział 2–4 m/s.

Interesujące relacje między wiatrem dolnym i wiatrem geostroficznym można zaobserwować na przykładzie danych z polskiego wybrzeża Bałtyku. W porównaniu z rozkładem częstości kierunków wiatru geostroficznego (na odcinku „f" w strefie 50–60ºN) uśrednione częstości wiatrów dolnych na Wybrzeżu wykazują znaczny przyrost częstości kierunków SW i S, przy jednoczesnym ubytku częstości kierunków NW i N (ryc. 5). Względnie wysoka frekwencja wiatrów południowych na Wybrzeżu, rozważana także w opracowaniu Lorenc [1996], w przeciwieństwie do interpretacji tej Autorki, może stanowić przejaw zjawiska konwergencji brzegowej – zbieżności przepływów północno-zachodnich i zachodnich nad powierzchnią morza z połu-

dniowo-zachodnimi lub południowymi przepływami nad urozmaiconą powierzchnią Wybrzeża i Pojezierza Pomorskiego.



Ryc. 5. Rozkłady średnich rocznych częstości kierunków wiatrów: A – średnie częstości kierunków wiatrów dolnych na polskim Wybrzeżu Bałtyku B – częstości kierunków wiatru geostroficznego nad północną Polską i południowym Bałtykiem (w pobliżu 17,5°E). Dane z okresu 1981–2015, wg Marosza i Kożuchowskiego, 2019

Fig. 5. Distributions of the average annual wind frequency: A – average frequency of surface wind directions at the Polish Baltic Coast, B – of geostrophic wind directions over Northern Poland and Southern Baltic (near 17,5°E). Data from the period 1981–2015, after Marosz and Kożuchowski, 2019

Klimatologiczne wskaźniki *westerlies*

Funkcjonowanie systemu wiatrów zachodnich znajduje odzwierciedlenie w statystyce szeregu wskaźników cyrkulacji, charakteryzujących częstość występowania sytuacji barycznych, związanych z przepływem mas powietrza z zachodu nad terytorium Europy i Polski. W tab. 4 przedstawiono wybrane z literatury oceny takich wskaźników.

Otrzymano zbiór wartości reprezentujących szeroki przedział częstości – od kilkunastu do ponad 60%. Oczywiście, wartości te opisują różne aspekty funkcjonowania *westerlies*. Pokazują one zarazem, że ściślejsze określenie stopnia dominacji *westerlies* w układzie czynników cyrkulacyjnych klimatu może sprawiać trudności.

Najwyższe z cytowanych częstości (>60%) dotyczą obecności składowej zachodniej ruchu powietrza nad Europą i nad Polską (zob. pozycje 5, 6 w tab. 4). Można zatem stwierdzić, iż średni układ pola barycznego SLP w Europie, w strefie między 40. i 65°N (w tym na 55°N w pobliżu 15°E) sprzyja kształtowaniu zachodniej cyrkulacji w dolnej troposferze przez około 2/3 roku. Warto podkreślić, że ocena taka wskazuje jedynie na istnienie dodatniej, zachodniej składowej (u>0) w sumie wekto-

rowej analizowanych prędkości Vg. Podobnie wysoką częstością (65%) wyróżniają się adwekcje zachodnie, północno-zachodnie i południowo-zachodnie (NW+W+SW) w środkowej troposferze (pozycja 4 w tab. 4). Można stąd sądzić, iż składowa zachodnia cyrkulacji w środkowej troposferze występuje nieco częściej niż w dolnej troposferze.. Przyrost częstości zachodniego kierunku wiatru na wysokości izopowierzchni 700 i 500 hPa potwierdzają wyniki analiz Niedźwiedzia [1981] i Nowosada [2006].

Trzeba też jednak zauważyć, że wystąpienie składowej u>0 nie stanowi o ukształtowaniu formy (typu) strefowej cyrkulacji zachodniej, w której masy powietrza przemieszczają się w przybliżeniu równoleżnikowo, zgodnie z równoleżnikowym układem izobar (izohips). Zachodnia składowa może pojawiać się także przy południkowych formach cyrkulacji. W związku z tym częstości form czy typów cyrkulacji strefowej nie są tak wysokie jak częstości składowej u>0. Typy cyrkulacji strefowej w dolnej troposferze nad Europą, według klasyfikacji *Grosswetterlagen* [Hess, Brezowsky 1952], występują z częstością 27%, w dolnej i środkowej troposferze nad zachodnią Europą – z częstością 37%, w środkowej troposferze nad atlantycko-euroazjatyckim sektorem strefy umiarkowanej strefowa forma cyrkulacji pojawia się ze średnią częstością 33% (odpowiednio pozycje 3, 2, 1 w tab. 4). Można zatem przyjąć przybliżoną ocenę, według której cyrkulacja w formie strefowej utrzymuje się przez około 1/3 roku. Pozostałe cytowane w tabeli 4. klasyfikacje typów cyrkulacji w zasadzie potwierdzają tę ocenę: częstości typów cyrkulacji, określających kierunki adwekcji z sektora zachodniego (NW + W + SW) wahają się w zakresie około 30–40%. Wyższa jest jedynie częstość „zachodnich" typów cyrkulacji wg Osuchowskiej Klein [1978, 1991], do których zaliczono 6 różnych typów cyrkulacji nad Polską. Posługując się tą samą klasyfikacją oceniono frekwencję typów A, C_2D i D_2C, które wykazują istotną korelację z występowaniem formy cyrkulacji strefowej W według klasyfikacji VG. Częstość tych trzech, niewątpliwie „strefowych" typów wynosi zaledwie 20% (pozycja 11 w tab. 4). Niewielka okazuje się także częstość zachodnich typów cyrkulacji w ujęciu klasyfikacji T. Niedźwiedzia, które odznaczają się znaczącym, charakterystycznym wpływem na zmiany temperatury sezonu zimowego (przynoszą ocieplenie) i sezonu letniego (ochłodzenie), co jest oznaką związanych z tymi typami adwekcji mas powietrza oceanicznego; częstość tych typów wynosi 25% (pozycja 13 w tab. 4).

Jako wskaźnik *westerlies* służyć może także frekwencja mas powietrza polarno-morskiego świeżego, świadcząca o adwekcji mas atlantyckich. Częstość występowania świeżej masy PPm kształtuje się w Polsce na poziomie około 20%. (poz. 16, 17, 20 w tab. 4). Jest to wartość zbliżona do częstości wiatrów zachodnich (kierunek W) w Polsce (poz. 21, 26 w tab. 4). Można sądzić, że aktywne sytuacje cyrkulacyjne, przynoszące znad Atlantyku świeże masy powietrza wiążą się raczej tylko z zachodnimi typami cyrkulacji (zachodnie sytuacje cyklonalne i antycyklonalne). Towarzyszą im wiatry zachodnie (W) w Polsce. Sytuacje takie występują jedynie przez około 1/5 część roku.

Tab. 4. Klimatologiczne wskaźniki występowania zachodniego przepływu powietrza nad Polską i Europą. Średnie roczne częstości [%] według różnych źródeł
Table 4. Climatologic indices of the occurrence of western airflow over Poland and Europe. Averages of annual frequencies [percent] after different sources

Wskaźniki	Dane z okresu	Częstości roczne [%]		Źródła
		ogółem	w tym	
1	2	3	4	5
1. Forma cyrkulacji strefowej W na poziomie ≈500hPa wg VG[1]	1891–2010	**33,2**		Kożuchowski, Degirmendžić 2018
2. Typy cyrkulacji strefowej na poziomie morza i na poziomie 500hPa nad Europą (30ºW - 15ºE)	1961–2001	**36,7**		Estban P. i in., 2006
3. Strefowe i mieszane typy cyrkulacji (Wc, Wz, Ws, Ww) nad Europą wg GWL[2]	1881–2004	**40,5**	typy strefowe **27,3**	Marosz, Malinowska 2007
4. Typy cyrkulacji SW-NW na poziomie 500hPa wg zZU[3]	1951–1990	**65,2**	typy zachodnie W **26,8**	Nowosad 2006
5. Składowa zachodnia wiatru geostroficznego u>0 nad Europą (40-65ºN, 0-35ºE)	1948–2016	**65,2**	prędkości u>5 m/s **13,3**	Nowosad 2017
6. Składowa zachodnia wiatru geostroficznego u>0 nad Bałtykiem Południowym (55ºN, 15,33ºE)	1951–2015	**62**	kierunki SW-NW **45,5**	Marosz 2017
7. Kierunki adwekcji SW-NW nad Europą (40-60ºN, 0-35ºE) wg JL4	1951–1990	**36,2**		Nowosad 2004
8. Kierunki aktywnych adwekcji SW-NW nad Środkowo-wschodnią Europą (punkt centralny 51º15' N, 22º50'E)	1871–2010	**23,7**	adwekcje zachodnie W **9,1**	Bartoszek 2017
9. Kierunki adwekcji SW-NW nad Polską wg JL[4]	1951–2000	**36,1**	adwekcje zachodnie W **11,1**	Woś 2010 Kolendowicz 1997
10. Kierunki adwekcji SW-NW nad Polską Południową wg TN[5]	1951–1990	**38,1**	adwekcje zachodnie W **19,5**	Nowosad 1996
11. Typy cyrkulacji z zachodnią składową adwekcji nad Polską wg BOK[6]	1958–1990	**47**	typy zachodnie **16** typy A,C_2D,D_2C **20**	Piotrowski 2009
12. Typy cyrkulacji z zachodnią składową adwekcji nad Polską Południową wg TN[5]	1873–1995 1873–1998 2001–2010	**41** **40,9** **37,7**	typy zachodnie **21,2** **17,1**	Niedźwiedź 1996. Twardosz 1999 Matuszko, Pluta 2012
13. Typy cyrkulacji z zachodnią składową adwekcji w regionie bydgosko-toruńskim wg TN[5]	1881–2005 1994–2009	**33,8** **38,3**	typy zacodnie **17,9** **13,0** typy „oceaniczne" **25,3**	Przybylak, Maszewski 2009 Uscka-Kowalkowska, Kejna 2010
14. Zachodnie typy cyrkulacji (Wa i Wc) nad Polską Południową wg TN[5]+ZU[7]	1901–2000	**≈22**		Ustrnul 2007
15. Typy cyrkulacji z zachodnią składową adwekcji (SW-NW) nad Krakowem (50ºN, 20ºE) wg ZU[7]	1901–1995	**40**	typy zachodnie **21**	Ustrnul 1997

16. Masy powietrza polarnego morskiego (PPm) w Warszawie	1946–1956	**65**	PPm św.** **16**	Bołaszewska, Reutt 1962
17. Masy PPm w Polsce Środkowej	1996–2005	**60**	PPm św. **21**	Więcław 2010
18. Masy PPm w Poznaniu	1965–1980 1965–1990	**70** **72**		Buchert 1994 Buchert 2006
19. Masy PPm w Krakowie	1951–2000	**57**		Niedźwiedź 2003 Ustrnul 2007
20. Masy PPm w Polsce Południowej (49-51ºN, 18-24ºE)	1951–2009	**57**	PPm św. **18**	Kotas, Twardosz 2012
21. Kierunki wiatrów z sektora zachodniego (SW-NW) 10 m npg – średnia z 56 stacji w Polsce***	1966–1990	**42**	kierunki W	Lorenc 1996
22. Wskaźnik wiatrów zachodnich (SW-NW)/(NE-SE) w Warszawie	1966–1990	**143**		Lorenc 1996
23. Kierunki wiatrów z sektora zachodniego (SW-NW) w Warszawie	1951–1965 1966–1990	**49** **47**	kierunki W **23** W **26**	Chomicz 1977 Lorenc 1996
24. Kierunki wiatrów z sektora zachodniego (SW-NW) w Suwałkach	1951–1965 1966–1990	**50** **48**	W **18** W **18**	Chomicz 1977 Lorenc 1996
25. Kierunki wiatrów z sektora zachodniego (SW-NW) w Poznaniu	1879–1956 1951–1965 1966–1990	**52** **50** **50**	W **22** W **22** W **23**	Schneigert 1966 Chomicz 1977 Lorenc 1996
26. Kierunki wiatrów z sektora zachodniego (SW-NW) w Krakowie	1951–1965 1966–1990	**53** **54**	W **31** W **26**	Chomicz 1977 Lorenc 1996

OBJAŚNIENIA:

* typy cyrkulacji skorelowane ze wzrostem temperatury w zimie i spadkiem temperatury w lecie

** PPm św. – powietrze polarne morskie świeże

*** udział kierunków SW-NW oraz W w całkowitej liczbie obserwacji wiatru, włącznie z przypadkami ciszy atmosferycznej. Pozostałe częstości (poz. 23–26) obliczono bez uwzględnienia liczby cisz

[1] klasyfikacja makroform cyrkulacji wg G.Y. Vangenheima i A.A.Girsa (Vangenheim 1946, 1952, Girs 1964, 1974)

[2] klasyfikacja. typów cyrkulacji „Grosswetterlagen Europas" (Hess P., Brezowsky H. 1952, 1959)

[3] zmodyfikowana klasyfikacja typów cyrkulacji wg Z. Ustrnula (1997)

[4] klasyfikacja typów cyrkulacji wg J. Lityńskiego (1969)

[5] klasyfikacja sytuacji synoptycznych wg T. Niedźwiedzia (1981)

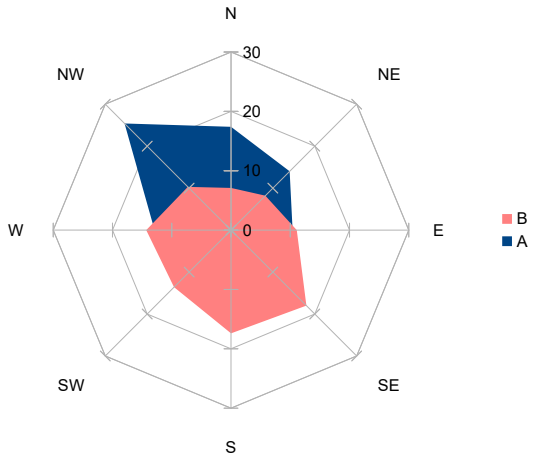
[6] klasyfikacja typów cyrkulacji wg B. Osuchowskiej-Klein (1978, 1991)

[7] klasyfikacja typów cyrkulacji wg Z. Ustrnula (1997, 2009)

Westerlies a południkowe formy cyrkulacji

Zmierzając do ściślejszego zdefiniowania sytuacji cyrkulacyjnych mających charakter *westerlies* i sklasyfikowania odpowiadających im kierunków wiatru geostroficznego wykorzystano kierunkowe róże wiatrów, opisujące rozkład kierunków Vg, występujących podczas panowania formy cyrkulacji strefowej (W) i form cyrkulacji południkowej (E, C) w pobliżu południka 17,5ºE nad północną Polską i południowym Bałtykiem (odcinek „f" strefy 50–60ºN).

8-kierunkowe rozkłady częstości Vg dla form E i C pokazuje ryc. 6, rozkład dla formy W zobrazowano na ryc. 3. Rozkłady różnią się wyraźnie, aczkolwiek widać, iż przy każdej formie mogą wystąpić – z różnymi częstościami – wszystkie kierunki wiatru.. Aby wydzielić kierunki najwyraźniej związane z poszczególnymi formami wybrano te, które reprezentują co najmniej połowę obserwowanych przy danej formie kierunków wiatru Vg. Tylko bowiem tak słabe kryterium (≥50% skumulowanej częstości) umożliwia uzyskanie względnie przejrzystego podziału kierunków Vg według form cyrkulacji. Analizowano rozkłady częstości według 16 kierunkowej róży wiatrów.



Ryc. 6. Rozkłady częstości kierunków wiatru geostroficznego nad północną Polską i południowym Bałtykiem (w pobliżu 17,5ºE): A – średnia częstość podczas występowania formy cyrkulacji południkowej C, B – średnia częstość podczas występowania formy cyrkulacji południkowej E. Dane z okresu 1981–2015 wg Marosza i Kożuchowskiego, 2019)
Fig. 6. Distributions of the frequency of geostrophic wind directions over Northern Poland and Southern Baltic (near 17,5ºE): A – average frequency during the occurrence of meridional circulation form C, B – – average frequency during the occurrence of meridional circulation form E. Data from the period 1981–2015, after Marosz and Kożuchowski, 2019

Przeważająca część frekwencji (ca 52%) wyznaczonych kierunków wiatru geostroficznego przypada na kierunki od SSW do NW (lub od SW do NW + SSE) (tab. 5). Są to zatem te same przeważające, zachodnie i południowe kierunki wiatru, które określono na podstawie danych, reprezentujących cały obszar Polski (por. tab. 3).

W przypadku formy W kryterium ≥50% frekwencji spełnia suma częstości kierunków WSW, W i WNW (łącznie 50,9% wiatrów występujących przy formie W). Formie cyrkulacji południkowej E odpowiadają według tego samego kryterium kierunki ESE, SE, SSE, S, SSW, SW i WSW o łącznej częstości 55,5%. Formie cyrkulacji południkowej C odpowiadają natomiast kierunki WNW, NW, NNW, N, NNE z częstością 52% (tab. 5).

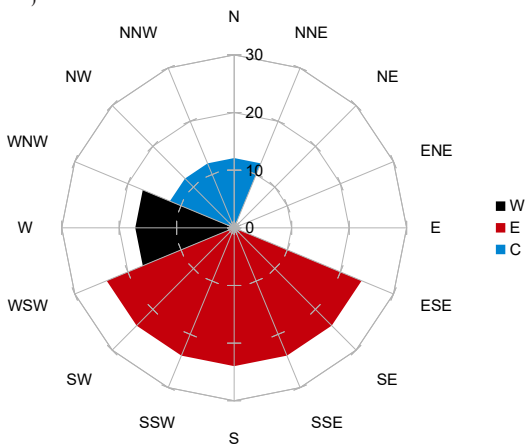
Tab. 5. Przeważające (>50%) kierunki wiatru geostroficznego (Vg) nad północną Polską i Bałtykiem Południowym (50–60ºN, ≈17,5ºE) związane z formami cyrkulacji W, E i C wg klasyfikacji VG. Średnie częstości (%) w okresie 1981–2015 (źródło: Marosz, Kożuchowski 2019)
Table 5. Predominant (>50%) directions of geostrophic wind (Vg) over Northern Poland and Southern Baltic (50–60ºN, ≈17,5ºE) versus circulation forms W, E and C according to the Vangenheim-Girs classification. Average frequencies (%) in the period 1981–2015 (after Marosz and Kożuchowski 2019).

Forma VG	Kierunki Vg	Częstość względna (% dni w czasie trwania danej formy)	Ogólna częstość roczna (% dni w roku)
W	WSW- WNW	50,9	17,2
E	ESE-WSW	55,5	24,0
C	WNW-NNE	52,0	12,1
W+E+C	SSW-NW (SW-NW)+SSE	- -	52,1 52,4

Biorąc pod uwagę średnią roczną częstość form cyrkulacji W, E i C (zob. tab. 2) otrzymujemy, że kierunki wiatru dolnego WSW-WNW, związane z formą W pojawiają się w ciągu roku z częstością 17,2%, kierunki ESE-WSW, związane z formą E mają częstość 24%, a kierunki WNW-NNE stowarzyszone z formą C – 12,1%. Zwraca uwagę względnie duża koncentracja frekwencji kierunków wiatrów zachodnich podczas panowania strefowej formy cyrkulacji – są to trzy kierunki: WSW, W i WNW. Sytuacje cyrkulacji strefowej wyróżniają się w ten sposób na tle wiatrów, towarzyszących południkowym formom E i C. Wiatry, powstające podczas panowania form południkowych reprezentują znacznie szerszy zakres kierunków. Szczególnie duża dyspersja kierunków powstaje w związku z formą E, nieco mniejsza dyspersja towarzyszy formie C (ryc. 7).

Poza tak zarysowanym podziałem pozostają kierunki wiatrów NE, ENE i E, zdarzające się z niewielkimi częstościami (po 4–7%) podczas panowania form południkowych, i występujące ze znikomą częstością (ok. 1%) – podczas formy W. Podział obejmuje niestety niewiele ponad połowę (53,3%) analizowanych przypad-

ków wiatru Vg. (tab. 5). Wynika stąd, że środkowo-troposferyczne formy cyrkulacji w ograniczonym stopniu sterują kierunkami adwekcji w dolnej troposferze. Zarazem widać jednak, że w porównaniu z formami cyrkulacji południkowej, forma strefowa W, odpowiedzialna za kształtowanie *westerlies*, decyduje w najwyższym stopniu o napływie powietrza z sektora zachodniego. Jak pokazano w tab. 2 ponad 50% obserwowanych wiatrów zachodnich (SW-NW) występuje podczas panowania strefowej formy cyrkulacji.



Ryc. 7. Przeważające (>50%) kierunki wiatru geostroficznego nad północną Polską i Bałtykiem Południowym (w pobliżu 17,5°E) podczas występowania z form cyrkulacji W, E i C Średnie częstości roczne (%) wiatru geostroficznego w okresie 1981–2015 wg Marosza i Kożuchowskiego, 2019 (zob. też tab. 5 i objaśnienia w tekście)
Fig. 7. Predominant (>50%) directions of geostrophic wind over Northern Poland and Southern Baltic (near 17,5°E) during the occurrence of circulation forms W, E and C. Average annual frequencies (%) in the period 1981–2015, after Marosz and Kożuchowski, 2019 (see table 5 and the explanations in the text)

W opracowaniu Kożuchowskiego i Degirmendžića (2018) przedstawiono m.in. średnie sezonowe układy baryczne (SLP) nad Europą, ukształtowane podczas panowania formy cyrkulacji strefowej W. Dominują w nich równoleżnikowo rozciągnięte depresje baryczne z ośrodkami nad północną i środkową Skandynawią. Izobary nad Polską, Bałtykiem i Morzem Północnym reprezentują strefowy układ i ukazują istnienie dużych poziomych gradientów ciśnienia, generujących – zwłaszcza w zimie – silna adwekcję zachodnią. Układy baryczne SLP odpowiadające formom E i C, to jest przemieszczającym się ku wschodowi falom długim w środkowej troposferze, nad obszarem Polski charakteryzują się mniejszymi i sezonowo zmieniającymi kierunek gradientami ciśnienia Podczas panowania formy E nad północno-wschodnią Europą kształtują się układy wyżowe; w zimie przybierające postać rozległego klina Wyżu Azjatyckiego. Układy te sterują napływem powietrza z południowego wschodu

i z południa. Podczas epizodów formy C wyż kształtuje się nad Europą Zachodnią; w sezonie letnim ma on postać klina Wyżu Azorskiego. Sprzyja to napływowi powietrza z północy i z północnego zachodu nad Europę Środkową.

Średnie roczne wartości ciśnienia (SLP) na obszarze Polski wzrastają od wybrzeża Bałtyku (SLP<1015 hPa) do południowych granic kraju (SLP ≈1018 hPa). Podwyższone ciśnienie na południu kraju nie ma najprawdopodobniej związku ze „… *spiętrzaniem mas powietrza napływających znad nizin polskich w stronę równoleżnikowo usytuowanego łańcucha Karpat*" – jak stwierdzono w Encyklopedii Geograficznej [Jelonek, 1997, str. 74]. Łatwo wykazać, średnie wartości ciśnienia SLP wzrastają dalej na południe, poza łańcuchem Karpat, a jego rozkład w Polsce nawiązuje do strefowego rozkładu ciśnienia i systemu *westerlies* nad większą częścią Europy.

Średni układ izobar potwierdza znaczącą rolę przepływów powietrza z zachodu nad Polską. Średnia roczna prędkość tego ruchu, określona przez sumę wektorową składowych południkowych i strefowych Vg, wynosi około 3,3 m/s i ma kierunek WSW [Kożuchowski, 2004]. Mimo zakłóceń, powodowanych rozwojem w przeważającej części roku form cyrkulacji południkowej, w klimatologicznym ujęciu, na podstawie średnich wartości ciśnienia i wypadkowej prędkości wiatru geostroficznego – zachodnia, strefowa cyrkulacja okazuje się wiodącym aspektem w aktywności cyrkulacyjnych czynników klimatu Polski. Jej znaczenie wynika ze względnie dużej stabilności kierunków wiatrów zachodnich i względnie dużych prędkości składowej zachodniej przemieszczających się mas powietrza, a w mniejszym stopniu – z określonej, niezbyt wysokiej częstości *westerlies*.

Podsumowanie

W opracowaniu przyjęto, że przyziemny wiatr Vg z sektora zachodniego SW-NW występujący podczas strefowego charakteru cyrkulacji w środkowej troposferze, zdefiniowanej jako forma W wg klasyfikacji VG oznacza zarazem wystąpienie aktywnej postaci *westerlies* nad Polską („*zonal westerlies*"). Frekwencja tak określonych sytuacji obejmuje 24% dni w roku. W węższym zakresie kierunków Vg (tj. WSW, W i WNW) tak określona frekwencja wynosi zaledwie 17 %.

Biorąc pod uwagę inne objawy funkcjonowania *westerlies* – w szczególności frekwencję świeżych mas powietrza polarno-morskiego w Polsce oraz frekwencję typów cyrkulacji przynoszących termiczne skutki adwekcji mas atlantyckich, typów cyrkulacji związanych ze strefową cyrkulacją środkowo-troposferyczną oraz typów ściśle zachodnich (zob. pozycje 9–13 i 16–17 w tab. 4), których częstości wahają się w granicach od kilkunastu do niewiele ponad 20% – można uznać, iż aktywność westelries w „czystej postaci" (*zonal westerlies*) pojawia się średnio przez niespełna 1/4 dni w roku.

Powtarzane często opinie o „przewadze" lub „dominacji" wiatrów zachodnich w Polsce wymagają pewnego uściślenia. Wprawdzie kierunki wiatrów należące do sektora zachodniego (SW-NW) charakteryzują się większymi częstościami od wiatrów z sektora wschodniego oraz z sektora północnego czy południowego, ale udział częstości wiatrów zachodnich (SW, W i NW) w łącznej częstości wszystkich kierunków wynosi tylko ca 47% czyli nie przekracza połowy obserwowanych kierunków wiatru. To oznacza że wiatry zachodnie występują przez ca 42% dni w roku, gdyż ponadto pojawiają się dni bezwietrzne – z ciszą atmosferyczną. W tym sensie „przeważającymi" kierunkami okazują się kierunki wiatrów dolnych S, SW i W,. występujące z łączną częstością 51%, albo kierunki wiatru geostroficznego nad Polską S, SW, W i NW o łącznej częstości 60% (tab. 3). Określenie „przewagi wiatrów" wymaga, by frekwencję wiatrów zachodnich uzupełnić o przypadki wiatrów południowych! Podobny efekt pojawia się też w przypadku kierunków wiatru geostroficznego nad północną Polską – przeważającymi kierunkami okazują się kierunki od SSW do NW lub kierunki zachodnie (SW-NW), ale łącznie z SSE. (tab. 5)

Określono kierunki wiatrów nad Polską, charakterystyczne dla panowania poszczególnych form cyrkulacji VG: zachodnie wiatry przynosi forma W, północno-zachodnie i północne – forma C, a wiatry z południowej części horyzontu – forma E. Tak przygotowany podział (rys. 7) odpowiada w przybliżeniu średnim układom pola barycznego, tworzącego się pod wpływem form makro-cyrkulacyjnych, ale nie można go odnieść do wszystkich przypadków wiatru dolnego. Tylko połowa z liczby przypadków wiatru z kierunku zachodniego (WSW-WNW) tworzy się pod wpływem formy cyrkulacji strefowej W, pozostałe przypadki mają zatem związek z formami cyrkulacji południkowej. Obserwowany w Polsce przez około 40–50% dni w roku wiatr zachodni nie oznacza zawsze panowania *westerlies*.

Odmienny, znacznie wyższy jest poziom częstości występowania składowej zachodniej wiatrów nad Polską i Europą Środkową. Warto wyjaśnić, że pozytywna wartość składowej zachodniej także nie jest równoznaczna z cyrkulacją strefową. Może ona kształtować się pod wpływem wiatrów o kierunkach znacznie różniących się od zachodniego (np. NNW lub SSW) i powstawać w różnych konfiguracjach pola barycznego, a ponadto może też wynikać z przemieszczania się układów barycznych na wschód (wiatr izallobaryczny!). Pozytywne wartości składowej zachodniej utrzymują się przez około 2/3 roku. Podobna mniej więcej częstość określa występowanie mas powietrza PPm, w tym PPm „starego" – świadczącego o oceanicznej genezie mas powietrza (poz. 4–6 i 16–17 w tab. 4).

Znaczenie klimatyczne systemu *westerlies*, mimo dość ograniczonej częstości jego występowania w aktywnej postaci (średnio podczas kilkunastu epizodów w ciągu roku), staje się istotne wskutek kontrastów między powietrzem atlantyckim, w tym także przetransformowaną masą PPms, a masami powietrza sterowanymi przez południkowe for-

my cyrkulacyjne: powietrzem arktycznym napływającym wskutek panowania formy C i masami PPk i PZ, które przynoszą adwekcje z różnych kierunków, w tym ze wschodu i z południa, którymi steruje forma E. Przedstawiony na rys. 7 rozkład frekwencji kierunków wiatrów ilustruje charakterystyczne relacje między napływem powietrza z zachodu w formie *westerlies* i napływami sterowanymi przez cyrkulacje południkową.

Warto podkreślić względnie wysoką frekwencję, jaką wyróżniają się adwekcje z sektora południowego w porównaniu z adwekcjami północnymi. Można w związku z tym uznać, iż relatywnie ciepły klimat Polski (dodatnia anomalia termiczna) uwarunkowany jest nie tylko przez przenoszone z zachodu i łagodzące ostrość zim oddziaływania Atlantyku, ale także przez częstą obecność adwekcji powietrza z południa, wpływających na wzrost temperatury w ciągu całego roku.

Przedstawiona w tym opracowaniu koncepcja powiązania dolnych wiatrów nad Polską z formami cyrkulacji strefowej i południkowej w środkowej troposferze pozwala – w pewnym uproszczeniu – opisać genezę struktury kierunkowej wiatrów i kierunków adwekcji mas powietrznych nad obszarem Polski. Opis taki może mieć zastosowanie w geograficznej charakterystyce czynników cyrkulacyjnych, formujących klimat Polski.

Literatura

Bac S., Rojek M., 2012, *Meteorologia i klimatologia w inżynierii środowiska*, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego, Wrocław, s. 276.

Bartoszek K., 2017,*The main characteristics of atmospheric circulation over East-Central Europe from 1871 to 2010*, Meteor. Atmos. Phys., 129: 113–129. DOI: 10.1007/s00703-016-0455-z

Bielec-Bąkowska Z., 2010, *A classification of deep cyclones over Poland (1971–2000)*, Physics and Chemistry of the Earth, 35: 491–497.

Bołaszewska J., Reutt F., 1962, *Częstotliwość występowania poszczególnych mas powietrza w Polsce w okresie 10 lat 1946–1956*, Prace PIHM, 66:16–92.

Buchert L., 1994, *Występowanie mas powietrza, frontów atmosferycznych oraz układów barycznych nad Poznaniem w latach 1965–1980*, Badania Fizjograficzne nad Polska Zachodnią, ser. A, Geografia Fizyczna, 44: 43–52.

Buchert L., 2006, *Częstość występowania mas powietrza w rejonie Poznania w latach 1965–1990*, Przegl. Geofiz., LI, 3–4: 237–243.

Chomicz K., 1977, *Materiały do poznania agroklimatu Polski*, Wyd. Komitetu Melioracji PAN, Warszawa, s. 296.

Degirmendżić J., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2004, *Changes of air temperature and precipitation in Poland in the period 1951–2000 and their relationship to atmospheric circulation*, Int. J. Climatol., 24: 291–310.

Degirmendżić J., Kożuchowski K., 2006, *O drogach i kierunkach adwekcji mas powietrza nad obszar Polski*, [w:] Trepińska J., Olecki Z. (red.) *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*, Wyd. IGiGP UJ, Kraków: 339–350.

Dimitrieev A.A., Belyazo V.A., 2006, *Kalendarnyj katalog atmosfernykh processov po cirkumpolarnoj zonie severnogo polusharija i ikh kharakteristiki za period s 1949 po 2005 g*, [w:] *Kosmos, planetarnaya klimaticheskaya izmenchivost' i atmosfera polarnykh regionov*, Gidrometeoizdat, St. Petersburg, s.358.

Dygulska A., Perlińska E., 2015, *Mapa wietrzności Polski. Akad. Centrum Czystej Energii*, Projekt Czysta Energia POKL.04.01.02-00-046/11-00, Słupsk, s.14.

Estban P., Martin-Vide J., Mases M., 2006, *Daily atmospheric circulation catalogue for Western Europe using multivariate techniques*, Int. J. Climatol., 26: 1501–1515.

Girs A.A., 1964, *O sozdanii iedinoi klassifikacii makrosinopticheskikh processov severnogo polushariia*, Meteorol. i Gidrol., 4: 43–47.

Girs A.A., 1974, *Makrocirkulacyonnyi metod dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov*, Gidrometeoizdat, Leningrad, s. 488.

Glossary of American Meteorological Society, 2012. http://glossary.ametsoc.org./wiki/Westerlies

Hess P., Brezowsky H., 1952, *Katalog der Grosswetterlagen Europas*, Berichte. des Deutchen Wetterdienstes in der US-Zone, 33. Bad Kissingen.

Hess P., Brezowsky H., 1959, *Katalog typów cyrkulacji dla Europy* (tłum. Z.Lityński) Biuletyn PIHM, 8: 5–99.

Holec M., Tymański P., 1973, *Podstawy meteorologii i nawigacji meteorologicznej*, Wyd. Morskie, Gdańsk, s. 541.

Iribarne J.V., Cho H.-R., 1988, *Fizyka atmosfery*, PWN, Warszawa, s. 259.

Jelonek A., 1997, *Encyklopedia Geograficzna Świata*, Tom X. Polska, Wyd. OPRES, Kraków, s. 431.

Kolendowicz L., 1997, *Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z burzą a napływ powietrza z określonych kierunków na Polską Północno-zachodnią w latach 1951–1990*, Przegl. Geograf., 69, 1–2: 107–120.

Kondracki J., 1965, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa, s. 575.

Kotas P., Twardosz R., 2012, *Zmienność wieloletnia długotrwałości występowania mas powietrznych w Polsce Południowej*, [w:] *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Wyd. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec: 361–372.

Kożuchowski K., 1993, *Makrotypy ogólnej cyrkulacji atmosfery a główne typy cyrkulacji nad Polską*, Przegl. Geofiz., 38, 3–4: 241–247.

Kożuchowski K., 2003, *Cyrkulacyjne czynniki klimatu Polski*, Czasop. Geograf., 74, 1–2: 93–105.

Kożuchowski K., 2004, *Cyrkulacja atmosferyczna nad Polską i jej wpływ na warunki klimatyczne*, [w:] Kożuchowski K. (red.), *Skala, uwarunkowania i pespektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wyd. Biblioteka, Łódź: 69–87.

Kożuchowski K., 2011, *Klimat Polski. Nowe spojrzenie*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, s. 295.

Kożuchowski K., Degirmendżić J., 2018, *Zmienność form cyrkulacji środkowo-troposferycznej według klasyfikacji Wangenheima-Girsa i ich relacje z polem ciśnienia na poziomie morza*, Przegl. Geofiz., 63, 1–2: 89–122.

Lityński J., 1969, *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*, Prace PIHM, 97, s. 315.

Lorenc H., 1996, *Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce*, Mat. Bad. IMGW, ser. Meteorologia 25, s. 155.

Marosz, M., 2016. *Variability of geostrophic airflow over Poland, 1951–2014*, Bulletin of Geography. Physical Geography Series, 10: 5–18

Marosz M., 2017, *Wieloletnia charakterystyka przepływu powietrza nad Polską Północną 1951–2015*, Katedra Meteorol. i Klimatol.. UG, Gdańsk, s.100.

Marosz M., Kożuchowski K., 2019, *Geostrophic wind variability in the 50–60°N zone over Europe: the role of mid-troposphere atmospheric circulation macro-forms*, Bulletin of Geography. Physical Geography Series, 16: 45–65.

Marosz M., Malinowska M., 2007, *Zmienność temperatury powietrza w Gdańsku na tle wieloletniej zmienności typów cyrkulacji atmosferycznej w regionie atlantycko-europejskim*, [w:] Miętus M., Filipiak J., Wyszkowski A. (red.), *200 lat regularnych pomiarów i obserwacji w Gdańsku*, Monografie IMGW, Warszawa: 146–159.

Marosz M., Miętus M., 2012, *Opis lokalnych aspektów cyrkulacji atmosferycznej z pomocą wektora wiatru geostroficznego*, [w:] Bielec-Bąkowska Z., Łupikasza E., Widawski A. (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniw. Śląskiego, 74, Sosnowiec: 89–100.

Marsz A.A., 2012., *Cyrkulacja atmosferyczna w atlantycko-euroazjatyckim sektorze cyrkulacyjnym – schemat uwarunkowań i mechanizm działania*, Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniw. Śląskiego, 74, Sosnowiec: 101–117.

Matuszko D., Pluta G., 2012, *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu zachmurzenia (na przykładzie Krakowa)*, Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniw. Śląskiego, 74, Sosnowiec: 147–156.

Martyn D., 2000, *Klimaty kuli ziemskiej*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, s. 360.

Merecki R., 1914, *Klimatologia ziem polskich*, Druk i Litografia Jana Cotty, Warszawa, s. 313.

Meteorologicky slovnik vykladovy a terminologicky, 1993. Akademia. Min. Żiv. Prostr. CR, Praha, s.594

Niedźwiedź T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Rozprawy Habilitacyjne UJ, 58, s. 165.

Niedźwiedź T., 1996, *Long-term variability of the zonal circulaton index above the Central Europe,* [w:] Obrębska-Starkel B., Niedźwiedź T. (red.), *Proceedings of the international conference on climate dynamics and the change perspective*, Cracow, October 17–20 1995., Prace Geograf. UJ, 102, Prace Inst. Geogr. UJ, 124: 213–219.

Niedźwiedź T., 2003, *Częstość występowania mas powietrznych w Polsce Południowej w drugiej połowie XX wieku*, Prace Geograf. IGiPZ PAN, 188: 65–74.

Nowosad M., 1996, *The annual courses of the frequency of air advection directions in the Vistula river basin*, Prace Geograf. UJ, 102, Prace Inst. Geogr. UJ, 124: 263–268.

Nowosad M., 2004. *Sezony cyrkulacyjne nad Polską 1951–1990*, Annales UMCS, sec. B., 5: 83–100.

Nowosad M., 2006. *Sezony cyrkulacyjne nad południowa Polską*, [w:] Trepińska J., Olecki Z., (red.) *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*, Wyd. Instytut Geografii i Gosp. Przestrzennej UJ, Kraków: 351–364

Nowosad M., 2017, *Variability of the zonal circulation index over Central Europe according to the Lityński method*, Geographia Polonica, 90, 4: 417–430.

Osuchowska-Klein B., 1978, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, s. 192.

Osuchowska-Klein B., 1991, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1976–1990)*, Wyd. IMiGW, Warszawa, s. 50.

Paszyński J., Niedźwiedź T., 1991, *Klimat* [w:] Starkel L. (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, Wyd. Nauk PWN, Warszawa: 296–354.

Piotrowski P., 2009, *Obiektywna metoda klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej dla Polski*, Folia Geogr. Physica, 10, Wyd. UŁ, Łódź, s. 216

Przybylak R., Maszewski R., 2009, *Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w Regionie Bydgosko-Toruńskim w latach 1881–2005*, Acta Agrophysica, 14 (2): 427–447.

Schmuck A., 1959, *Zarys klimatologii Polski*, PWN Warszawa, s. 160.

Schneigert S., 1966, *Wahania częstotliwości kierunków wiatru w Poznaniu w okresie 1879–1956 na tle zmian klimatu w Europie Środkowej*, Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk, IV, 5, s. 26.

Sepp M., 2005, *Influence of atmospheric circulation on environmental variables in Estonia*, Dissertationes Geographicae Universitatis Tartuenensis, 25, s. 84.

Sepp M., Post P., Jaagus J., 2005, *Long-term changes in the frequency of cyclones and their trajectories in central and northern Europe*, Nordic Hydrology, 36: 297–309

Tamulewicz J., 1997, *Pogoda i klimat Ziemi,* [w:] *Wielka Encyklopedia Geografii Świata,* t. V. Wyd. Kurpisz S.C., Poznań, s.360.

Twardosz R., 1999, *Maksymalne dobowe opady atmosferyczne w Krakowie w latach 1863–1998 i ich związek z sytuacjami synoptycznymi*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka*, 4–6.11.1999, Łódź: 269–273.

Uscka-Kowalkowska J., Kejna M., 2010, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza w Koniczynce k. Torunia w latach 1994–2009*, [w:] Kolendowicz L. (red.) *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki cyrkulacyjne i radiacyjne*, Studia i Prace z Geografii i Geologii, 14, Bogucki Wyd. Nauk. Poznań: 75–89.

Ustrnul Z., 1997, *Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku*, Materiały Bad. IMGW, ser. Meteorologia 27, s. 208.

Ustrnul Z., 2007, *Warunki cyrkulacyjne*, [w:] Matuszko D., (red.) *Klimat Krakowa w XX wieku*, IGiGP UJ, Kraków: 21–40.

Ustrnul Z., Czekierda D., 2009, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa, s. 182.

van Bebber W., 1891, *Die Zugstrassen der barometrischen Minima*, Meteorol. Zietschrift, 8: 361–366.

Vangenheim G.Y., 1946, *O kolebaniiakh atmosfernoi cirkulacii nad severnym polushariem*, Izvestiia Akademii Nauk SSSR. X, 5: 407–416.

Vangenheim G.Y., 1952, *Osnovy makrocirkulacionnogo metoda dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov dlia Arktiki*, Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo Nauchno-Issledovatelskogo Instituta, 34: 11–66.

Więcław M., 2010, *Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie częstości występowania mas powietrza w Europie Środkowej w latach 1996–2005*, Studia i Prace z Geografii i Geologii, 14, Bogucki Wyd. Nauk. Poznań: 9–21

Woś A., 2010, *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań, s. 489.

CIRCULATORY FACTORS OF THE CLIMATE IN POLAND II: *WESTERLIES*

Abstract:

This article is an attempt at a synthesis of the former (from 1914) and contemporary data and opinions on the activity of the zonal atmospheric circulation in Poland and Central Europe. The term „westerlies" has been defined as a western airflow (SW-NW geostrophic wind at the sea level) in conditions of the zonal mid-tropospheric circulation pattern (the W-form according to the Vangenheim-Girs classification). The duration of westerlies defined as such („zonal westerlies") has been estimated at ca. 1/4 days of the year on average.

Selected climatological indices were included, among them the surface winds directions, the geostrophic winds at the sea level, the frequencies of western types of atmospheric circulation and the frequencies of the fresh maritime polar air masses (table 4).

According to Nowosad [2017] the zonal (west) component of geostrophic airflow over Central Europe (between 40 and 65ºN) lasts for 2/3 days of the year on average. The average value of the western airflow component does not exceed 2 m/s. Near the 55ºN parallel, over Southern Balitic and northern Poland, the western component is estimated at 3 m/s, during the occurrence of zonal circulation form W it equals 7 m/s. [table 1; Marosz, Kożuchowski 2019].

The zonal W-form typically (over 50 percentage) shapes surface wind of the WSW, W and WNW directions. The meridional E-form is responsible for the ESE-WSW winds and the C-form – for the WNW-NNE winds (fig. 7, table 5). Based on data obtained from 56 meteorological stations [Lorenc 1996] the average frequency of directions of surface winds in Poland is identificated (fig. 4). Moreover, the directions of geostrophic wind over Poland according to data by Marosz [2016] is presented. In both cases, the preponderance of the frequency of wind from the western sector (SW-NW) is observed, as it is the case with the higher frequency of the SW-SE winds as compared to the NW-NE ones (table 3). The relatively high frequency of the SW-SE surface winds may indicate changes in the direction of the wind in the friction layer. The average speed of the surface winds in Poland is 3,5 m/s, and the correspondent geostrophic wind vector module is 7,4 m/s.

Westerlies is certainly an important factor of climate in Poland, however its frequency is rather low. Strength and duration of westerlies depend on the zonal mid-tropospheric circulation pattern. The statistics considered also allow to emphasize the impact of merodional circulation forms on airflow over Poland.

Keywords: westerly air flow, geostrophic wind, atmospheric circulation forms, wind directions frequencies, climate of Poland