

BOGUSŁAW M. KASZEWSKI

ORCID ID 0000-0002-0797-4284

Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
boguslaw.kaszewski@umcs.pl

ANDRZEJ GLUZA

Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

KRZYSZTOF BARTOSZEK

ORCID ID 0000-0002-8676-003X

Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
k.bartoszek@umcs.pl

Synoptyczne uwarunkowania napływu mas powietrza polarnego nad Lubelszczyznę

Synoptic conditions of advection of polar air masses over the Lublin region

Abstract: The aim of the study is to characterize the frequency and determinants of the synoptic conditions of advection of polar air masses over the Lublin region. Their occurrence in the regional scale in the years 1951–2010 based on lower synoptic maps for 12 UTC, which derived from PIHM/IMGW-PIB. The annual frequency of polar air masses (maritime fresh – mPf, martime old – mPo, maritime warm – mPw and continental – cP) reached 82.5%. The highest frequency of these air masses refers to Polar maritime old air (mPo), with a frequency exceeding 37% (the maximum in summer and the minimum in spring). In the years 1951–2010, there were significant changes in the frequency of advection of CP air (average decrease by 11 days per 10 years), mPf (decrease by 7 days per 10 years), and mPw (increase by 11 days per 10 years). In all seasons, mPo was most likely to be recorded from western direction, mPw from western and southwestern directions, mPf from western and northwestern directions, while CP air from eastern and southeastern directions.

Keywords: air masses, polar air, circulation types, the Lublin region

Abstrakt: Celem opracowania jest charakterystyka częstości i uwarunkowań synoptycznych napływu mas powietrza polarnego nad obszar Lubelszczyzny. Ich występowanie w ujęciu regionalnym określono dla godziny 12 UTC na podstawie dolnych map synoptycznych PIHM/IMGW-PIB z okresu 1951–2010. Częstość napływu mas powietrza polarnego (morskiego „świeżego” – PPM, morskiego starego – PPMs, morskiego ciepłego – PPMc i kontynentalnego – PPK) w ciągu roku wynosiła 82,5%. Spośród wyróżnionych typów mas powietrza najczęściej notowano powietrze polarne morskie stare (PPMs), z częstością przekraczającą 37% (maksimum w lecie, minimum wiosną).

W latach 1951–2010 zaznaczyły się istotne zmiany w częstości napływu nad Lubelszczyznę mas PPK (spadek średnio o 11 dni na 10 lat), PPM (spadek 7 dni na 10 lat) i PPMC (wzrost o blisko 11 dni na 10 lat). We wszystkich porach roku masy PPMs najczęściej napływały nad Lubelszczyznę z zachodu, PPMC z południowego zachodu i zachodu, PPM z zachodu i północo-zachodu, a PPK ze wschodu i południowego wschodu.

Słowa kluczowe: masy powietrza, powietrze polarne, typy cyrkulacji, Lubelszczyzna

WPROWADZENIE

W strefie umiarkowanej (w tym i w Polsce) w kształtowaniu pogody i klimatu istotną rolę odgrywają masy powietrzne, stąd poznanie ich częstości występowania oraz uwarunkowań cyrkulacyjnych jest zagadnieniem niezmiernie ważnym. Pomimo stosunkowo niewielkiego obszaru Polski obserwuje się na jej obszarze różnice w częstości adwekcji mas powietrznych (Więclaw 2010). Charakterystykę ich występowania nad różnymi regionami kraju przedstawiono dotychczas w kilku opracowaniach (m.in. Gluza 1978; Niedźwiedź 1981; Kaszewski 2008; Kierklo 2012). Ponadto analizowane były także uwarunkowania cyrkulacyjne występowania mas powietrznych (Niedźwiedź 1969; Kaszewski 1977; Kijkowska-Wiślińska 1998; Więclaw 2005; Kaszewski i in. 2017).

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka częstości i uwarunkowań synoptycznych napływu nad obszar Lubelszczyzny mas powietrza polarnego morskiego „świeżego” (PPM), polarnego morskiego starego (PPMs), polarnego morskiego ciepłego (PPMc) i polarnego kontynentalnego (PPK).

MATERIAŁ I METODY

Występowanie mas powietrza polarnego morskiego „świeżego” (PPM) i przetransformowanych odmian, tj. powietrza polarnego morskiego starego (PPMs) oraz polarnego morskiego ciepłego (PPMc), a ponadto polarnego kontynentalnego (PPK), określono w ujęciu regionalnym dla godz. 12 UTC na podstawie dolnych map synoptycznych PIHM/IMGW z okresu 1951–2010.

Do oceny uwarunkowań synoptycznych napływu mas powietrza polarnego wykorzystano kalendarz typów cyrkulacji dla Lubelszczyzny zaproponowany przez Bartoszkę (2015, 2017). W zastosowanej klasyfikacji typów cyrkulacji wyróżniono po 8 typów kierunkowych cyklonalnych, pośrednich i antycyklonalnych oraz po jednym typie bezadwekcyjnym cyklonalnym, antycyklonalnym i nieokreślonym. W celu uogólnienia wyników typy zostały odpowiednio zgrupowane według kierunku i charakteru cyrkulacji (tab. 1), co umożliwiło obliczenie prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia masy powietrza podczas

określonego typu cyrkulacji. Do analizy wieloletniej zmienności występowania mas powietrznych w klimatologicznych porach roku, tj. wiosną (III–V), latem (VI–VIII), jesienią (IX–XI) i zimą (XII–II), a także w całym roku zastosowano nieparametryczny test Mann-Kendalla, a wielkość zmian w czasie określono metodą Sena (Sen 1968; Kendall 1975).

Tab. 1. Zgrupowane typy cyrkulacji zastosowane w opracowaniu
Tab. 1. Grouped circulation types applied in the study

Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	Opis <i>Description</i>
N+NEc, E+SEc, S+SWc, W+NWc	typy kierunkowe cyklonalne <i>directional cyclonic types</i>
N+NEo, E+SEo, S+SWo, W+NWo	typy kierunkowe pośrednie <i>directional transitional types</i>
N+NEa, E+SEa, S+SWa, W+NWa	typy kierunkowe antycyklonalne <i>Directional anticyclonic types</i>
C	typ bezadwekcyjny cyklonalny <i>cyclonic non-directional type</i>
A	typ bezadwekcyjny antycyklonalny <i>anticyclonic non-directional type</i>
x	typ bezadwekcyjny nieokreślony <i>undefined non-directional type</i>

Sytuacje synoptyczne sprzyjające występowaniu powietrza polarnego przedstawiono w postaci uśrednionych map ciśnienia oraz temperatury powietrza na powierzchni izobarycznej 850 hPa. Do konstrukcji tych map wykorzystano dane pochodzące z NCEP/NCAR Reanalysis (Kalnay i in. 1996). Sytuacje synoptyczne określono przy zastosowaniu hierarchicznej metody grupowania Warda (1963).

WYNIKI BADAŃ

Podczas 60-letniego okresu badań powietrze polarne występowało w Lublinie średnio podczas 82,5% dni, a udział mas polarnych morskich wyniósł około 65% (tab. 2). Powietrze polarne przeważało we wszystkich porach roku, a spośród wszystkich wyróżnionych typów mas powietrza najczęściej notowano powietrze polarne morskie stare (PPms), którego udział przekraczał 37%, z maksimum latem (43%) i z ponad 33% częstością w pozostałych porach roku (tab. 2). Jest to zgodne z wcześniejszymi wynikami prac zarówno dotyczących całej Polski (np. Bołaszewska, Reutt 1962), jak i w różnych jej regionach

(np. Kotas i in. 2013). Druga pod względem udziału była masa PPK – ponad 17%, z maksimum występowania w zimie (21%) i minimum w jesieni (14%). Udział mas PPM i PPMc był zbliżony – około 14%. Masa PPM występowała najczęściej w lecie (20,2%), natomiast niemal dwa razy rzadziej notowana była w okresie wiosny (tab. 2). Z kolei masy PPMc najczęściej występowały w jesieni (17,5%), a najrzadziej w lecie (7,9%).

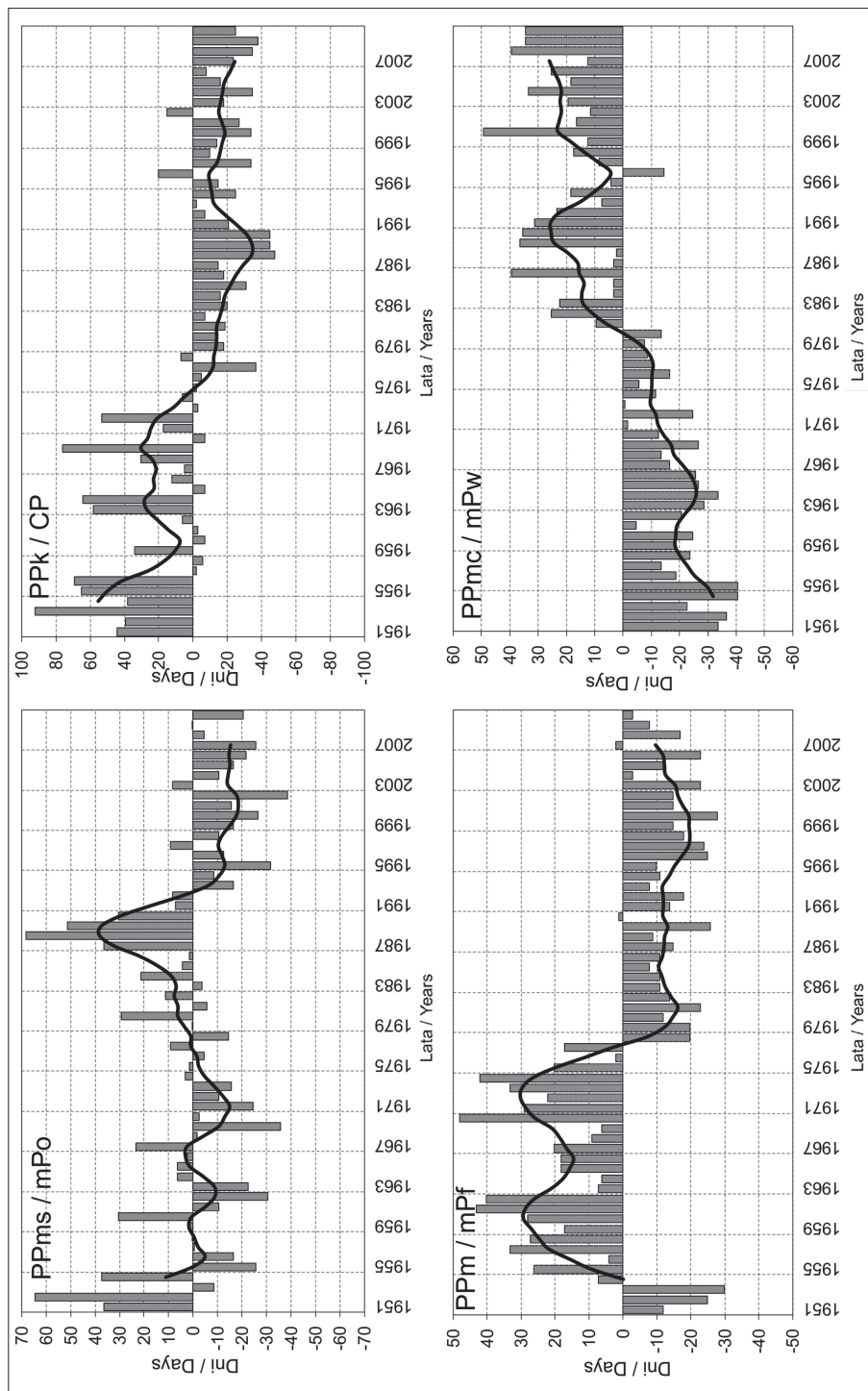
W przebiegu rocznym (według miesięcy) częstość mas PPMs w każdym miesiącu była większa niż 30%, zaś od czerwca do sierpnia oraz w grudniu przekraczała 40% (tab. 2). Udział mas PPK w miesiącach styczeń–marzec przekraczał 20%, najmniejszy zaś był w październiku – 12,6%. Masy PPM najczęściej napływały w lipcu i sierpniu, a ich udział przekraczał 20%, natomiast w marcu i kwietniu był mniejszy od 10%. Najrzadziej występującą w roku masą polarną było PPMc, którego maksimum przypadało na październik i listopad (około 19%), a minimum na sierpień (około 7%).

W latach 1951–2010 zaznaczyły się istotne zmiany w częstości napływu mas powietrznych nad Lubelszczyznę (tab. 3). W skali roku zmniejszył się udział mas PPK (średnio o 11 dni na 10 lat) oraz PPM (spadek o blisko 7 dni na 10 lat), wzrósł zaś udział mas PPMc (średnio o 11 dni na 10 lat). Liczba dni z masą powietrzną PPK zmniejszyła się istotnie we wszystkich porach roku, a z masą PPM w lecie, jesieni i na wiosnę. Z kolei częstość PPMc zwiększyła się istotnie w każdej z pór roku.

Tab. 3. Istotność statystyczna oraz wielkość trendów liczby dni z masami powietrza polarnego nad Lubelszczyznę w okresie 1951–2010. Wartości pogrubione – trend istotny statystycznie na poziomie $p < 0,01$

Tab. 3. Statistical significance and magnitude of trends of the number of days with polar air masses over the Lublin region from 1951 to 2010. Bold values are significant at $p < 0.01$

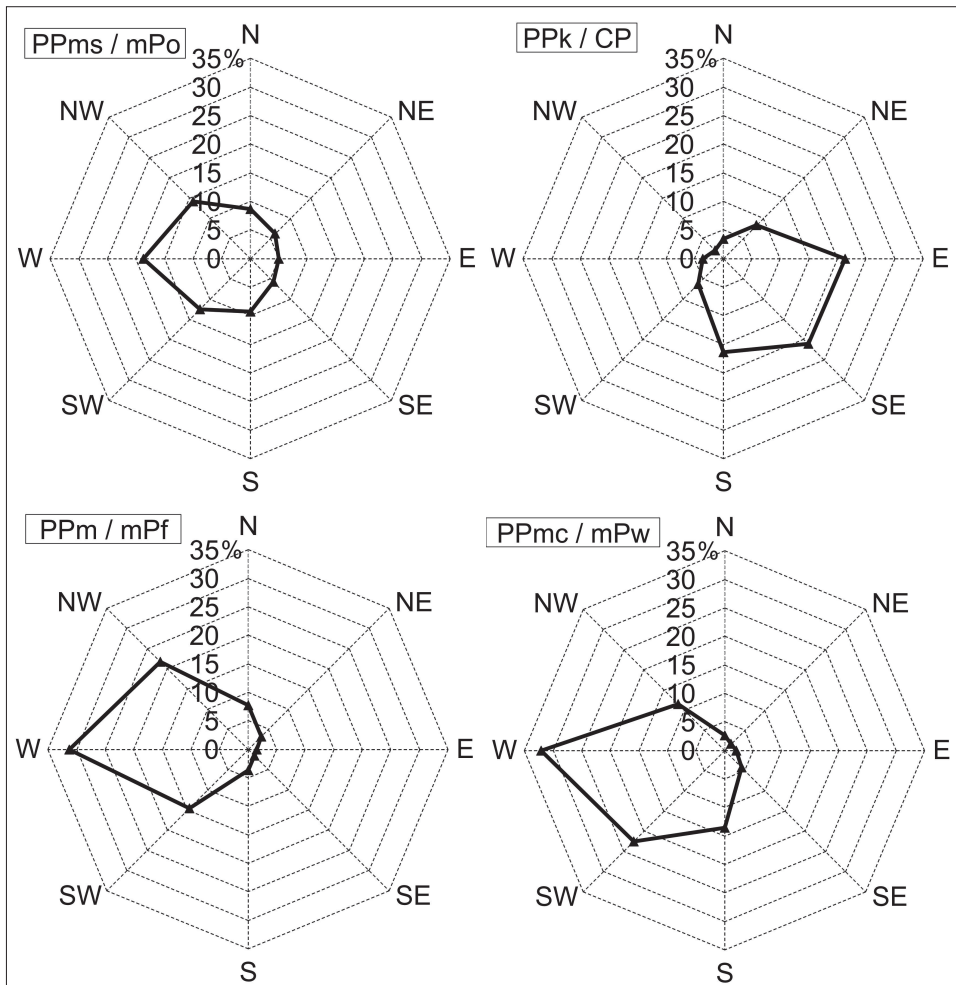
Masa powietrza <i>Air mass</i>	Pory roku / <i>Seasons</i>				Rok <i>Year</i>
	wiosna <i>spring</i>	lato <i>summer</i>	jesień <i>autumn</i>	zima <i>winter</i>	
	Wielkość trendu (liczba dni / 10 lat) <i>Magnitude of trend (number of days per 10 years)</i>				
PPK (CP)	-3,8	-2,2	-2,0	-3,5	-10,8
PPM (mPf)	-1,4	-1,9	-2,1	-1,0	-6,7
PPMs (mPo)	0,0	-0,5	-1,2	-0,9	-2,5
PPMc (mPw)	3,8	1,4	3,2	2,5	11,1
PPM+PPMs+PPMc mPf+mPo+mPw	2,5	-0,7	-0,2	0,8	1,1



Ryc. 1. Odchylenia rocznej liczby dni z masami powietrza polarnego. Okres referencyjny: 1951–2010

Fig. 1. Anomalies of days with polar air masses. Reference period: 1951–2010

W przebiegu wieloletnim odchyień rocznej liczby dni z PPms wyróżniały się trzy okresy (ryc. 1). Pierwszy, do roku 1979, charakteryzował się dość dużą zmiennością, z przewagą odchyień ujemnych. Drugi okres obejmował lata 1980–1992, w których dominowały odchylenia dodatnie. W trzecim okresie, trwającym od roku 1993, w zdecydowanej większości lat dominowały ponownie odchylenia ujemne. W przypadku mas PPK zaznaczały się dwa okresy: 1955–1977, gdy w zdecydowanej większości lat dominowały odchylenia dodatnie, i okres po roku 1977, gdy wystąpił spadek częstości napływu tej masy powietrznej nad



Ryc. 2. Częstość napływu powietrza z poszczególnych kierunków podczas dni z występowaniem nad Lubelszczyzną mas powietrza polarnego

Fig. 2. Frequency of air flow directions (%) during days with polar air masses over the Lublin region

Lubelszczyznę (ryc. 1). Bardzo zbliżony był przebieg odchyień dni dla mas PPM, przy czym w latach 1954–1977 występowały odchylenia dodatnie, natomiast po roku 1977 w zdecydowanej większości lat zaznaczały się odchylenia ujemne. Odmienny był przebieg liczby dni z masą PPMc. W okresie 1951–1980 występowały odchylenia ujemne, a po roku 1980 dominowały już odchylenia dodatnie (wyjątek to rok 1996).

Powietrze polarne morskie stare (PPMs), a także polarne morskie „świeże” (PPm) napływało nad Lubelszczyznę głównie z sektora SW-W-NW, a powietrze PPMc z sektora S-SW-W-NW (ryc. 2). W przypadku PPM dominowały kierunki W i NW, natomiast przy PPMc – W i SW. Powietrze polarne kontynentalne (PPk) napływało najczęściej z kierunków E, SE i S.

Prawdopodobieństwo warunkowe występowania masy powietrznej PPMs podczas poszczególnych typów cyrkulacji przekraczało 50% w typie bezadwekcyjnym nieokreślonym (X) w okresie wiosny, lata i jesieni, z maksimum 67%

Tab. 4. Prawdopodobieństwo warunkowe (%) występowania powietrza polarnego morskiego starego (PPMs) podczas dni z poszczególnymi typami cyrkulacji w podziale na pory roku (1951–2010)

Tab. 4. The conditional probability (%) of polar maritime old air mass (mPo) during individual circulation types in seasons from 1951 to 2010

Wiosna <i>Spring</i>		Lato <i>Summer</i>		Jesień <i>Autumn</i>		Zima <i>Winter</i>	
Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%
x	50,4	N+NEc	55,5	x	67,1	S+SWc	50,7
C	45,3	x	53,1	E+SEc	46,1	E+SEc	48,7
A	42,9	A	52,5	A	44,2	C	46,0
S+SWc	37,8	N+NE ₀	52,3	C	43,6	x	44,7
S+SW ₀	35,5	N+NEa	52,1	E+SE ₀	41,1	S+SW ₀	43,4
W+NW ₀	34,4	W+NWa	49,4	N+NEa	37,8	S+SWa	38,5
N+NEa	34,0	C	48,2	W+NWa	36,6	W+NWa	38,0
N+NE ₀	32,6	W+NW ₀	43,3	S+SW ₀	36,5	E+SE ₀	35,0
E+SEc	32,6	E+SEc	39,7	W+NW ₀	34,5	W+NW ₀	33,2
E+SE ₀	32,5	S+SWc	38,1	S+SWc	33,9	N+NE ₀	32,1
W+NWa	31,5	W+NWc	37,4	N+NE ₀	33,7	W+NWc	29,4
S+SWa	28,2	E+SE ₀	34,7	N+NEc	33,6	N+NEc	28,9
N+NEc	26,7	S+SW ₀	33,8	W+NWc	28,4	A	28,2
W+NWc	26,4	E+SEa	28,4	S+SWa	26,9	N+NEa	26,4
E+SEa	25,3	S+SWa	26,3	E+SEa	26,1	E+SEa	19,4

Tab. 5. Prawdopodobieństwo warunkowe (%) występowania powietrza polarnego kontynentalnego (PPk) podczas dni z poszczególnymi typami cyrkulacji w podziale na pory roku (1951–2010)

Tab. 5. *The conditional probability (%) of polar continental air mass (cP) during individual circulation types in seasons from 1951 to 2010*

Wiosna <i>Spring</i>		Lato <i>Summer</i>		Jesień <i>Autumn</i>		Zima <i>Winter</i>	
Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%
E+SEa	50,8	E+SEa	55,6	E+SEa	45,7	E+SEa	67,0
E+SE ₀	39,2	E+SE ₀	40,1	S+SWa	37,7	S+SWa	48,8
S+SWa	37,5	S+SWa	26,8	E+SE ₀	26,3	E+SE ₀	44,9
E+SEc	23,4	E+SEc	25,3	S+SW ₀	20,4	A	42,1
A	19,6	S+SW ₀	18,0	A	19,2	N+NEa	23,1
S+SW ₀	18,4	A	15,3	E+SEc	13,9	E+SEc	22,8
N+NEa	15,2	N+NEa	11,6	S+SWc	8,6	S+SW ₀	22,6
x	8,8	N+NE ₀	11,2	N+NEa	8,0	N+NE ₀	16,0
N+NE ₀	8,5	x	10,7	W+NWa	5,4	N+NEc	11,7
N+NEc	7,8	S+SWc	10,1	N+NE ₀	4,4	x	10,5
W+NWa	5,6	N+NEc	9,0	N+NEc	2,1	W+NWa	10,1
S+SWc	5,2	C	7,3	W+NW ₀	2,0	S+SWc	7,9
C	3,3	W+NWa	4,1	C	1,9	C	7,0
W+NW ₀	3,3	W+NW ₀	2,2	x	1,4	W+NW ₀	4,7
W+NWc	1,2	W+NWc	0,9	W+NWc	0,3	W+NWc	1,4

w jesieni (tab. 4). Wartości tej charakterystyki w lecie (> 50%) dotyczyły również typów: N+NEc, N+NE₀, N+NEc i A, a w zimie typu S+SWc. W przypadku masy PPK prawdopodobieństwo warunkowe powyżej 50% dotyczyło typów E+SEa w okresie wiosny, lata i zimy, a blisko 46% w jesieni. Duże wartości prawdopodobieństwa warunkowego występowania tej masy (powyżej 40%) dotyczyło w zimie typów S+SWa, E+SE₀ i A, z kolei w lecie typu E+SE₀ (tab. 5).

Prawdopodobieństwo warunkowe występowania masy powietrznej PPM największe było we wszystkich porach roku w typie W+NWc (w lecie > 40%), a także w typie W+NW₀ (w okresie wiosny, lata i jesieni) oraz w typie C w zimie (tab. 6). Prawdopodobieństwo warunkowe występowania powietrza PPMc było największe w typach W+NWa i S+SWc w okresie wiosny (powyżej 30%) i w typach W+NWa i W+NW₀ w zimie (tab. 7). W lecie i jesieni największe prawdopodobieństwo odnosiło się do typu S+SWc, przy czym wyraźnie niższe wartości tej charakterystyki dotyczyły okresu letniego.

Tab. 6. Prawdopodobieństwo warunkowe (%) występowania powietrza polarnego morskiego (PPm) podczas dni z poszczególnymi typami cyrkulacji w podziale na pory roku (1951–2010)

Tab. 6. The conditional probability (%) of polar maritime fresh air mass (mPf) during individual circulation types in seasons from 1951 to 2010

Wiosna <i>Spring</i>		Lato <i>Summer</i>		Jesień <i>Autumn</i>		Zima <i>Winter</i>	
Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%
W+NWc	31,8	W+NWc	45,8	W+NWc	36,9	W+NWc	34,6
W+NW ₀	23,7	W+NW ₀	37,7	W+NW ₀	26,9	C	20,0
C	18,2	C	33,2	C	24,9	W+NW ₀	18,3
W+NWa	15,5	W+NWa	26,4	W+NWa	18,2	S+SWc	15,5
x	14,2	N+NEc	21,8	x	17,8	x	13,2
S+SWc	12,4	N+NE ₀	19,6	N+NE ₀	16,6	W+NWa	10,2
N+NEc	10,0	N+NEa	17,6	N+NEc	16,4	N+NEc	7,8
S+SW ₀	9,0	x	17,4	S+SWc	16,2	S+SW ₀	6,2
N+NE ₀	8,5	S+SWc	17,2	N+NEa	11,3	N+NEa	4,2
N+NEa	7,2	S+SW ₀	10,2	A	7,0	N+NE ₀	3,3
A	6,3	A	10,0	S+SW ₀	6,3	A	1,6
E+SEc	4,6	E+SEc	9,3	E+SE ₀	4,7	E+SE ₀	1,3
S+SWa	1,8	S+SWa	6,1	E+SEc	4,2	E+SEc	0,6
E+SE ₀	1,8	E+SE ₀	3,8	S+SWa	2,8	S+SWa	0,6
E+SEa	1,4	E+SEa	2,4	E+SEa	0,8	E+SEa	–

Analiza uśrednionego pola ciśnienia podczas występowania powietrza polarnego morskiego starego (PPms) nad Lubelszczyzną pozwoliła wyróżnić dwa zasadnicze jego typy (ryc. 3a–b). Typ pierwszy, obejmujący 34% przypadków, dotyczy napływu PPms z zachodu, podczas występowania rozciągniętego równoleżnikowo niżu z centrum nad południową Norwegią oraz wyżu Azorskiego, sięgającego klinem do Europy Wschodniej (ryc. 3a). Typ drugi (33% przypadków) związany jest z silnie rozbudowanym wyżem na południe od Polski, który warunkuje napływ PPms z zachodu (ryc. 3b).

W przypadku PPK dominował napływ powietrza z południo-wschodu (91% dni), co związane było z wyżem z centrum na pograniczu Rosji i Białorusi, sięgającym klinem nad Europę Środkową i łączącym się wałem podwyższonego ciśnienia z Wyżem Azorskim (ryc. 3c).

Blisko 75% dni z masami PPM związane było z dwoma typami rozkładu pola barycznego. Typ pierwszy charakteryzuje się dużym gradientem barycznym

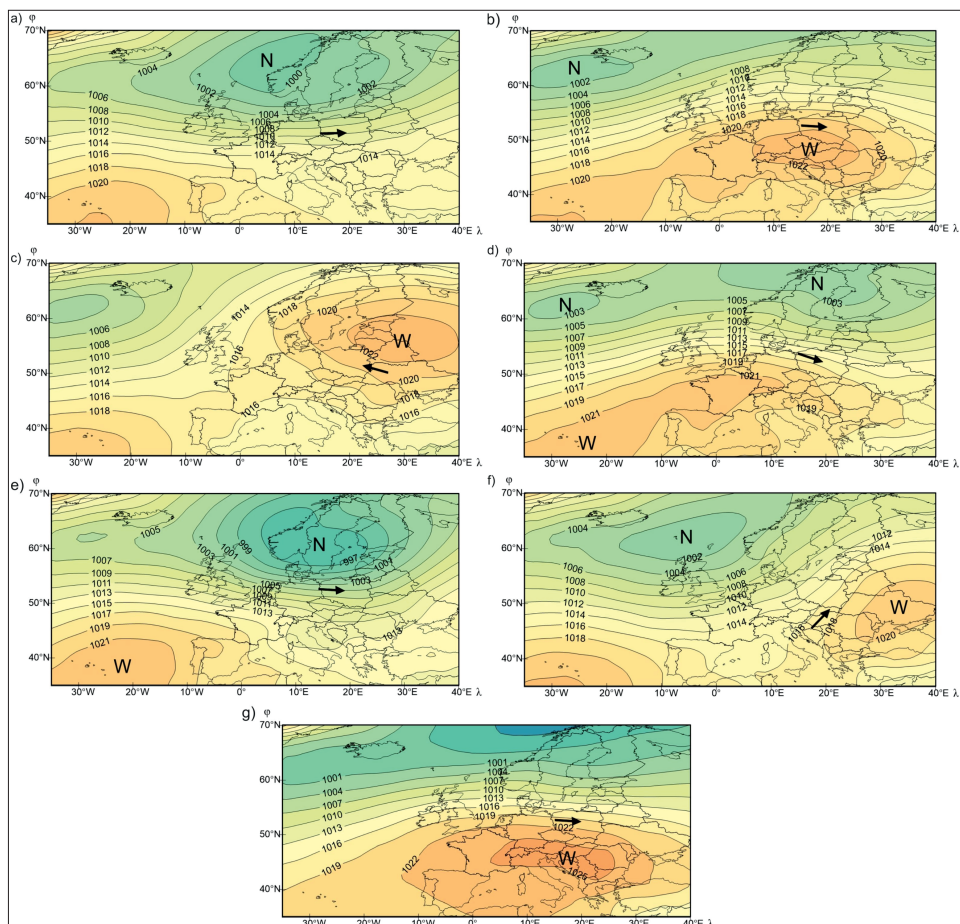
Tab. 7. Prawdopodobieństwo warunkowe (%) występowania powietrza polarnego morskigo ciepłego (PPmc) podczas dni z poszczególnymi typami cyrkulacji w podziale na pory roku (1951–2010)
 Tab. 7. The conditional probability (%) of polar maritime warm air mass (mPw) during individual circulation types in seasons from 1951 to 2010

Wiosna <i>Spring</i>		Lato <i>Summer</i>		Jesień <i>Autumn</i>		Zima <i>Winter</i>	
Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%
W+NWa	32,8	S+SWc	17,4	S+SWc	28,9	W+NWa	33,1
S+SWc	30,7	S+SW ₀	17,1	W+NWa	28,7	W+NW ₀	30,9
S+SW ₀	23,7	S+SWa	12,6	S+SW ₀	28,3	S+SW ₀	20,2
S+SWa	20,4	W+NWa	12,1	S+SWa	23,8	S+SWc	19,3
W+NW ₀	19,6	A	9,2	W+NW ₀	23,3	W+NWc	17,6
W+NWc	16,3	W+NW ₀	7,4	W+NWc	15,8	x	10,5
E+SEc	12,6	E+SE ₀	7,3	E+SEc	13,9	E+SEc	9,5
A	11,5	W+NWc	7,0	C	10,1	S+SWa	8,8
E+SE ₀	9,0	x	6,3	E+SE ₀	10,1	C	7,3
C	8,3	N+NEa	6,0	A	8,8	N+NEa	5,7
x	8,0	E+SEc	5,1	x	6,8	E+SE ₀	3,8
N+NE ₀	4,9	N+NE ₀	4,2	N+NEa	5,0	A	2,7
N+NEa	4,2	C	4,0	E+SEa	4,3	E+SEa	1,1
E+SEa	3,2	N+NEc	2,5	N+NEc	2,9	N+NE ₀	0,8
N+NEc	2,2	E+SEa	2,1	N+NE ₀	2,4	N+NEc	–

między Europą Południową i Północną (ryc. 3d). Europa Południowa jest wówczas pod wpływem klina wyżowego związanego z Wyżem Azorskim, zaś nad północną Skandynawią występuje obszar obniżonego ciśnienia, który łączy się z Niżem Islandzkim. W typie drugim gradient ciśnienia nad Europą Środkową jest większy niż w typie pierwszym, natomiast niż baryczny z centrum nad południową Skandynawią jest głębszy i bardziej rozbudowany przestrzennie (ryc. 3e).

Powietrze PPmc najczęściej napływało w dwóch przypadkach. Typ pierwszy dotyczy sytuacji, gdy Lubelszczyzna jest pod wpływem wyżu z centrum nad Ukrainą, a Niż Islandzki występuje na północ od Szkocji (ryc. 3f). Typ drugi związany jest z występowaniem wyżu nad południową Europą z centrum nad Bałkanami i rozległym obszarem obniżonego ciśnienia, który obejmuje północną i środkową Skandynawię (ryc. 3g).

W okresie zimy w czasie napływu powietrza PPms nad Lubelszczyznę na powierzchni izobarycznej 850 hPa średnie odchylenie temperatury powietrza

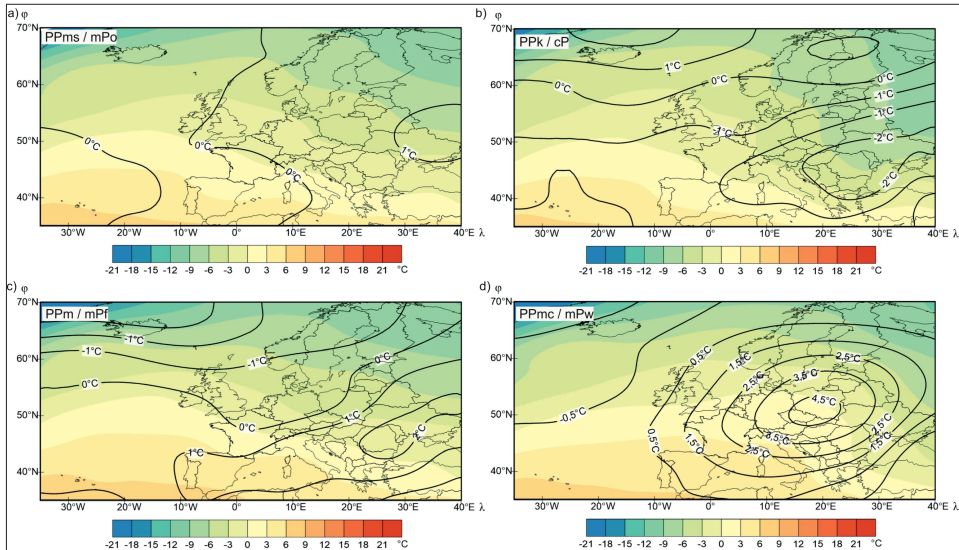


Ryc. 3a–g. Średnie pole ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza (hPa) podczas najczęściej występujących sytuacji synoptycznych sprzyjających adwekcji mas powietrza polarnego nad Lubelszczyznę

Fig. 3a–g. Mean sea level pressure (hPa) during the most frequent synoptic types with advection of polar air masses over the Lublin region

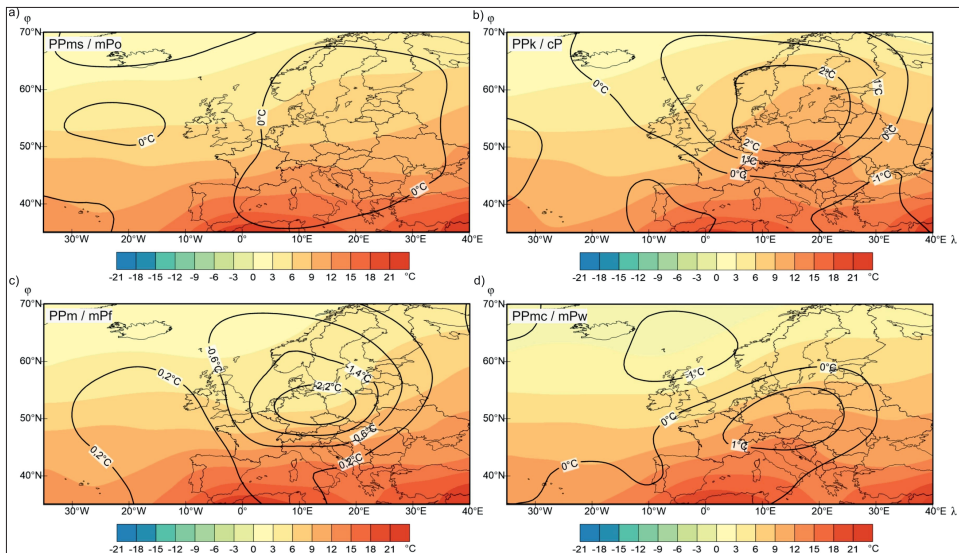
od normy było niewielkie i wynosiło od 0 do $+1^{\circ}\text{C}$, podobnie jak podczas występowania PPM (ryc. 4). W przypadku powietrza PPK odchylenie było ujemne i wynosiło od -2 do -1°C , zaś największe dodatnie notowano dla mas PPMc ($> +4,5^{\circ}\text{C}$).

W lecie średnie odchylenie temperatury od normy na powierzchni izobarycznej 850 hPa w masie PPMs było niewielkie (ryc. 5). Wyższe wartości omawianej charakterystyki (przekraczające 1°C) dotyczyły mas PPM (odchylenia ujemne) i PPMc (odchylenia dodatnie), a największe ($> +2^{\circ}\text{C}$) odnosiły się do mas PPK.



Ryc. 4 a–d. Średnia temperatura powietrza (°C) na powierzchni izobarycznej 850 hPa (kolor) wraz z odchyleniami od normy (linia) podczas występowania powietrza polarnego nad Lubelszczyzną w zimie

Fig. 4 a–d. The mean temperature (°C) at 850 hPa (coloured) as well as the mean anomalies (black line) during days with polar air mass over the Lublin region in winter



Ryc. 5 a–d. Średnia temperatura powietrza (°C) na powierzchni izobarycznej 850 hPa wraz z odchyleniami od normy (linia) podczas występowania powietrza polarnego nad Lubelszczyzną w lecie

Fig. 5 a–d. The mean temperature (°C) at 850 hPa (coloured) as well as the mean anomalies (black line) during days with polar air mass over the Lublin region in summer

WNIOSKI

Nad Lubelszczyzną dominuje powietrze polarne (PPm, PPms, PPmc i PPk), które w okresie 1951–2010 występowało średnio podczas 82,5% dni w roku. Powietrze polarne morskie (PPm, PPms, PPmc) przeważało we wszystkich porach roku, a jego roczny udział wynosił około 65%. Spośród wyróżnionych typów mas powietrza najczęściej notowano powietrze polarne morskie stare (PPms), z częstością przekraczającą 37%. Wskazuje to na dłuższą drogę przebywaną przez masy polarne morskie napływające nad Lubelszczyznę.

W latach 1951–2010 zaznaczyły się istotne zmiany w częstości napływu nad Lubelszczyznę trzech spośród czterech analizowanych mas powietrznych. Wyraźnie zmniejszył się udział mas PPk w skali roku (średnio o blisko 11 dni), zmniejszyła się także istotnie liczba dni z masą PPm (spadek o blisko 7 dni na 10 lat), wzrósł zaś udział mas PPmc (średnio o 11 dni na 10 lat). Podobną zmienność wieloletnią częstości mas PPk i PPmc wykazał Więclaw (2009) dla Bydgoszczy. Zmniejszona liczba dni z PPk może być związana ze spadkiem w ostatnich dekadach badanego okresu udziału cyrkulacji, rozpatrywanej w skali roku, o składowej południowej i południowo-wschodniej (Bartoszek 2017). Z kolei wzrost częstości mas PPmc po roku 1980 i jednoczesny spadek udziału mas PPm może wskazywać na wzrost temperatury obszarów źródłowych mas polarnych.

Niezależnie od pory roku największe prawdopodobieństwo występowania nad Lubelszczyzną powietrza polarnego morskiego „świeżego” (PPm) związane było z cyklonalnym zachodnim i północno-zachodnim typem cyrkulacji (W+NWc), tj. gdy rozległy układ ciśnienia znajdował się nad Półwyspem Skandynawskim. Napływ mas PPmc warunkowany był najczęściej pojawieniem się typów cyrkulacji o składowej południowo-zachodniej i zachodniej, natomiast mas PPk – wschodniej i południowo-wschodniej. Prawdopodobieństwo występowania powietrza polarno-morskiego starego (PPms) podczas poszczególnych typów cyrkulacji różniło się we wszystkich porach roku.

Największe średnie dodatnie odchylenia temperatury powietrza w zimie na powierzchni izobarycznej 850 hPa notowane były nad obszarem Lubelszczyzny w przypadku występowania mas PPmc ($> +4,5^{\circ}\text{C}$), natomiast najwyższe ujemne podczas dni z PPk (między -2°C a -1°C). W lecie wyraźnie wyższe niż przeciętnie średnie temperatury odnosiły się do mas PPk ($> +2^{\circ}\text{C}$), z kolei niższe podczas dni z PPm (około $-1,5^{\circ}\text{C}$). W kolejnym etapie badań autorzy zamierzają przeanalizować, w ujęciu wieloletnim i na podstawie danych ze stacji meteorologicznych, zakres zmian temperatury powietrza podczas dni z napływem poszczególnych mas powietrznych nad Lubelszczyznę.

Wkład indywidualny autorów: Bogusław M. Kaszewski – 40%, Krzysztof Bartoszek – 40%, Andrzej Gluza – 20%.

LITERATURA

- Bartoszek K., 2015: *Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej dla obszaru Lubelszczyzny*. Zbiór komputerowy. Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Lublin. <http://serwisy.umcs.lublin.pl/k.bartoszek/wyniki.html>
- Bartoszek K., 2017: *The main characteristics of atmospheric circulation over East-Central Europe from 1871 to 2010*. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 129, 2, 113–129 <https://doi.org/10.1007/s00703-016-0455-z>
- Bołaszewska J., Reutt F., 1962: *Częstotliwość występowania poszczególnych mas powietrza w Polsce w okresie 10 lat 1946–1956*. *Prace PIHM*, 66, 16–32.
- Gluza A., 1978: *Masy powietrza i sytuacje baryczne a okresy dni charakterystycznych w makroregionie północno-wschodnim w latach 1951–1970*. *Folia Societatis Scientiarum Lublinensis, Seria Geografia*, 20, 1, 15–18.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D., 1996: *The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437–471. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Kaszewski B.M., 1977: *Warunki synoptyczne napływu powietrza arktycznego i zwrotnikowego nad środkowo-wschodni makroregion Polski (1961–1970)*. *Przegląd Geofizyczny*, 22, 1, 49–54.
- Kaszewski B.M., 2008: *Warunki klimatyczne Lubelszczyzny*. Wyd. UMCS, Lublin, 60.
- Kaszewski B.M., Bartoszek K., Gluza A., 2017: *Synoptyczne uwarunkowania napływu mas powietrza arktycznego i zwrotnikowego nad Lubelszczyznę*. *Annales UMCS, sec. B*, 72, 2, 7–26. <https://doi.org/10.17951/b.2017.72.2.7-26>
- Kendall M.G., 1975: *Rank correlation measures*. Charles Griffin, London.
- Kierklo K., 2012: *Variability of air masses over Podlasie (NE Poland) in the years 2001–2010*. *Bulletin of Geography – Physical Geography Series*, 5, 87–113. <https://doi.org/10.2478/v10250-012-0006-5>
- Kijkowska-Wislińska Z., 1998: *Masy powietrzne a typy cyrkulacji atmosferycznej w Lublinie w latach 1961–1970*, [w:] M. Nowosad (red.), *Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego*. Wyd. UMCS, 57–58.
- Kotas P., Twardosz R., Nieckarz Z., 2013: *Variability of air mass occurrence in southern Poland*. *Theoretical and Applied Climatology*, 114, 3–4, 615–623. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0861-9>
- Niedźwiedz T., 1969: *Sytuacje baryczne w Polsce południowej i ich wpływ na niektóre elementy klimatu*. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 25, 63–98.
- Niedźwiedz T., 1981: *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*. *Rozprawy Habilitacyjne UJ*, 58, 1–165.
- Sen P.K., 1968: *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379–1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>

- Ward J.H., 1963: *Hierarchical grouping to optimize an objective function*. Journal of the American Statistical Association, 58, 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Więclaw M., 2005: *Występowanie mas powietrza w Toruniu a typy cyrkulacji atmosferycznej*, [w:] Z. Babiński (red.), *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*. Promotio Geographica Bydgosiensia, Bydgoszcz, 2, 143–152.
- Więclaw M., 2009: *Roczna i wieloletnia zmienność częstości występowania mas powietrza w Bydgoszczy*, [w:] Z. Babiński (red.), *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*. Promotio Geographica Bydgosiensia, 4, 105–118.
- Więclaw M., 2010: *Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie częstości występowania mas powietrza w Europie Środkowej w latach 1996–2005*, [w:] L. Kolendowicz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy, Warunki cyrkulacyjne i radiacyjne*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 9–21.