

ZIMOWE EKSTREMA TERMICZNE W POLSCE I ICH CYRKULACYJNE UWARUNKOWANIA

ARKADIUSZ M. TOMCZYK*, FILIP MIŚ**

*Zakład Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
ORCID: 0000-0003-1576-8795

**Studenckie Koło Naukowe Geografów im. S. Pawłowskiego,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Abstract: *Winter thermal extremes in Poland and their circulation conditions.* The study's objective was to determine the spatial and temporal variability of occurrence of extremely warm days in winter in Poland in 1966/67–2020/21, and to determine the effect of atmospheric circulation on their occurrence. An extremely warm day is defined as a day with a maximum daily air temperature equal to or higher than the value of the 95. percentile. The effect of atmospheric circulation on the occurrence of the analyzed days was determined on the basis on two teleconnection patterns, namely the North Atlantic Oscillation (NAO) and Scandinavia (SCAND). The progressing warming translated into increasingly frequent occurrence of extremely warm days. In terms of the abundance of such days, the following winters stood out in the entire multiannual period: 1989/90, 2015/16, 2006/07, and 2001/02.

Keywords: air temperature, warm days, NOA, SCAND, winter, Poland

WSTĘP

Przejawem współczesnych zmian klimatu jest intensywny wzrost temperatury powietrza oraz temperatury powierzchni Ziemi i Oceanu (IPCC 2013). W związku z powyższym występowanie ekstremalnych wartości temperatury powietrza od wielu lat stanowi przedmiot licznych publikacji. Zdecydowana większość tych prac koncentruje się na analizie warunków termicznych w sezonie letnim, przede wszystkim na występowaniu dni upalnych i fal upałów w różnych skalach przestrzennych (Shevchenko i in. 2014; Spinoni i in. 2015; Hoy i in. 2017; Tomczyk i Bednorz 2019; Wibig 2018; Tomczyk i in. 2019a). Zdecydowanie mniej uwagi poświęca się analizie ekstremów termicznych w sezonie zimowym. Wśród takich prac można wyróżnić publikacje dotyczące występowania dni mroźnych i fal mrozów, zarówno w skali kraju, jak i wybranych regionów kontynentu (Kundzewicz i Huang 2010; Lhotka i Kyselý 2015; Tomczyk i in. 2019).

Obserwowane ocieplenie przekłada się na coraz częstsze występowanie wysokich wartości temperatury powietrza w sezonie zimowym. Tomczyk i in. (2019b) wykazali wzrost temperatury powietrza w sezonie zimowym w środkowej Europie w latach 1966/67–2015/16, który przełożył się na wzrost liczby dni ciepłych oraz

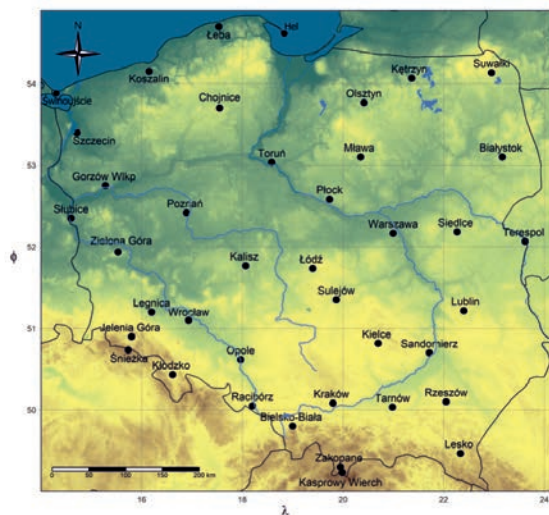
zimowych fal ciepła. Jak wskazują autorzy, najliczniej fale ciepła występowały podczas trzech sezonów zimowych, tj. 1989/1990, 2006/2007 i 2015/2016. Postępujące ocieplenie nie oznacza jednak braku w ostatnich latach krótkotrwałych epizodów zimna. Takie sytuacje występowały w Polsce między innymi w latach 2016, 2017 (Informacja tygodniowa 2016, 2017) oraz 2018 (Tomczyk i Bednorz 2020).

W kolejnych dekadach można spodziewać się dalszego wzrostu liczby dni ciepłych oraz spadku liczby dni mroźnych, co będzie konsekwencją dalszego wzrostu temperatury powietrza (IPCC 2021). Jak wskazują prognozy, najintensywniejsze ocieplenie będzie obserwowane w sezonie zimowym (Piniewski i in. 2017).

Głównym celem badań było określenie przestrzennej i czasowej zmienności w występowaniu dni ekstremalnie ciepłych zimą w Polsce w latach 1966/67–2020/21 oraz określenie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na ich występowanie.

DANE I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono na podstawie dobowych wartości maksymalnej temperatury powietrza (T_{max}) udostępnionych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW–PIB) z okresu 1966–2021 dla 40 stacji synoptycznych w Polsce (ryc. 1).



Ryc. 1. Lokalizacja stacji

Fig. 1. Location of the stations

Na podstawie powyższych danych wyliczono średnią T_{max} dla poszczególnych sezonów zimowych (grudzień–luty) oraz zbadano jej zmiany w wieloleciu.

Tendencje zmian T_{max} oceniono przy użyciu regresji liniowej, a istotność trendów sprawdzono testem t-Studenta (poziom istotności 0,05).

Następnie wyznaczono dni ekstremalnie ciepłe, a więc dni z maksymalną dobową temperaturą powietrza równą lub wyższą od wartości 95. percentyla. W kolejnym kroku przeanalizowano zmiany liczby analizowanych dni w wieloleciu. Trendy dni ekstremalnie ciepłych określono za pomocą nieparametrycznego testu Mann-Kendalla służącego do analizy danych o rozkładzie odbiegającym od normalnego.

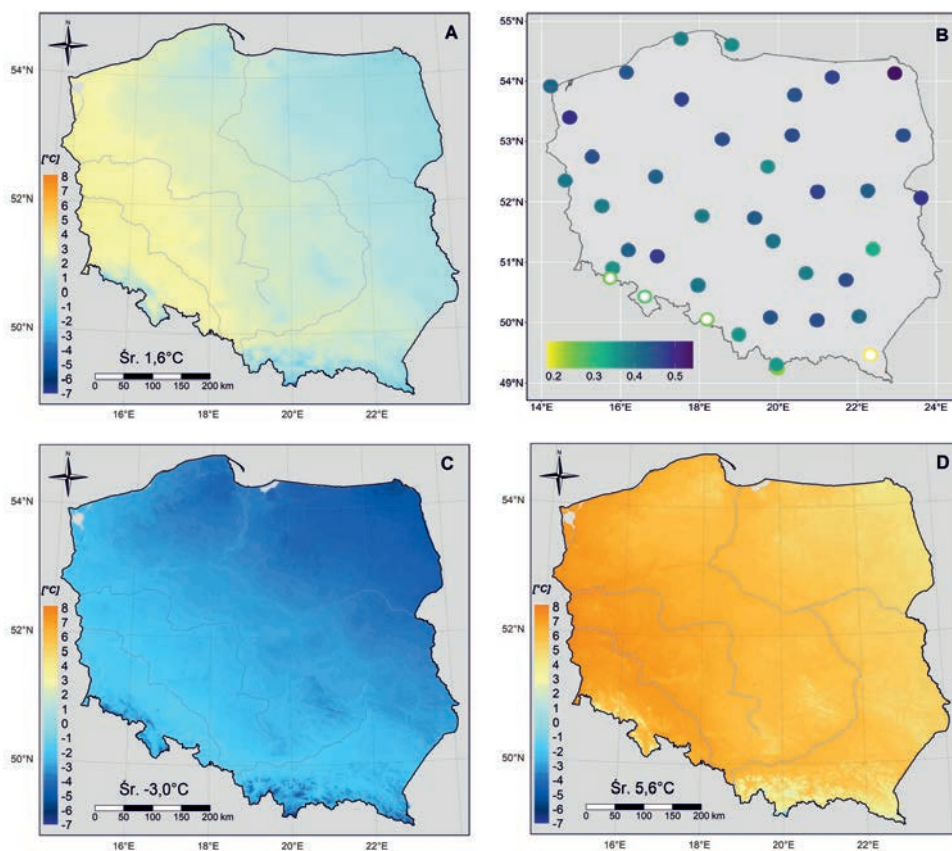
Następnie zbadano wpływ makroskalowych typów cyrkulacji na liczbę analizowanych dni. W tym celu obliczono współczynnik korelacji Pearsona (r) pomiędzy liczbą dni w sezonie a wartością indeksu każdego typu cyrkulacji. Ponadto wyliczono średnią liczbę dni ekstremalnie ciepłych przy niskich i wysokich wartościach indeksu (1 i 3 kwartył zbioru wartości indeksu). Wykorzystano miesięczne indeksy dwóch istotnych dla środkowej Europy typów cyrkulacji: North Atlantic Oscillation (NAO), Scandinavia (SCAND), które pozyskano z baz danych Climate Prediction Center (CPC) NOAA (lata 1966–2021). Typy cyrkulacji wyszczególnione w bazie CPC zostały wyznaczone za pomocą analizy składowych głównych na podstawie miesięcznych wartości anomalii wysokości powierzchni izobarycznej 500 hPa (Barnston i Livezey 1987).

NAO jest to dwubiegunowy typ cyrkulacji, będący efektem współdziałania Wyżu Azorskiego i Niżu Islandzkiego. Pozytywna faza NAO wiąże się z niższym niż przeciętnie ciśnieniem w centrum Niżu Islandzkiego i wyższym w Wyżu Azorskim. Konsekwencją tego jest duży gradient ciśnienia, powodujący adwekcję wilgotnych i ciepłych mas powietrza z zachodu nad północną część kontynentu europejskiego. Z kolei współwystępowanie wyższego niż średnio ciśnienia w Niżu Islandzkim i niższego w Wyżu Azorskim stanowi ujemną fazę NAO, która generuje napływ suchych i chłodnych mas powietrza z północnego wschodu (Hurrell 1995; Hurrell i Deser 2010). W pozytywnej fazie NAO przynosi łagodne zimy w środkowej Europie, natomiast w negatywnej fazie zimy mroźne i śnieżne (Bednorz 2009; Salmaso i Cerasino 2012).

Kolejnym makroskalowym typem cyrkulacji jest SCAND. Typ ten charakteryzuje się występowaniem silnego wyżu nad Półwyspem Skandynawskim z centrum nad Finlandią. Z kolei od zachodniej Europy aż po wschodnią Rosję/zachodnią Mongolię rozciąga się obszar obniżonego ciśnienia. Dodatnia faza SCAND wiąże się z wyższym niż przeciętnie ciśnieniem, tworząc czasami sytuację blokadową nad Skandynawią i zachodnią Rosją, natomiast ujemna faza wiąże się z ciśnieniem niższym niż przeciętnie nad północną Europą (Bueha i Nakamura 2007; Liu i in. 2014; Nojaroc 2017). W chłodnej porze roku wyż nad Skandynawią jest czasem klinem Wyżu Azjatyckiego. Wówczas nad Polską i środkową Europą notowana jest szczególnie niska temperatura powietrza (Degirmendzić 1999). W cyklu rocznym intensywności SCAND pojawia się wyraźne maksimum w chłodnej porze roku i minimum latem (Wibig 2001).

WYNIKI

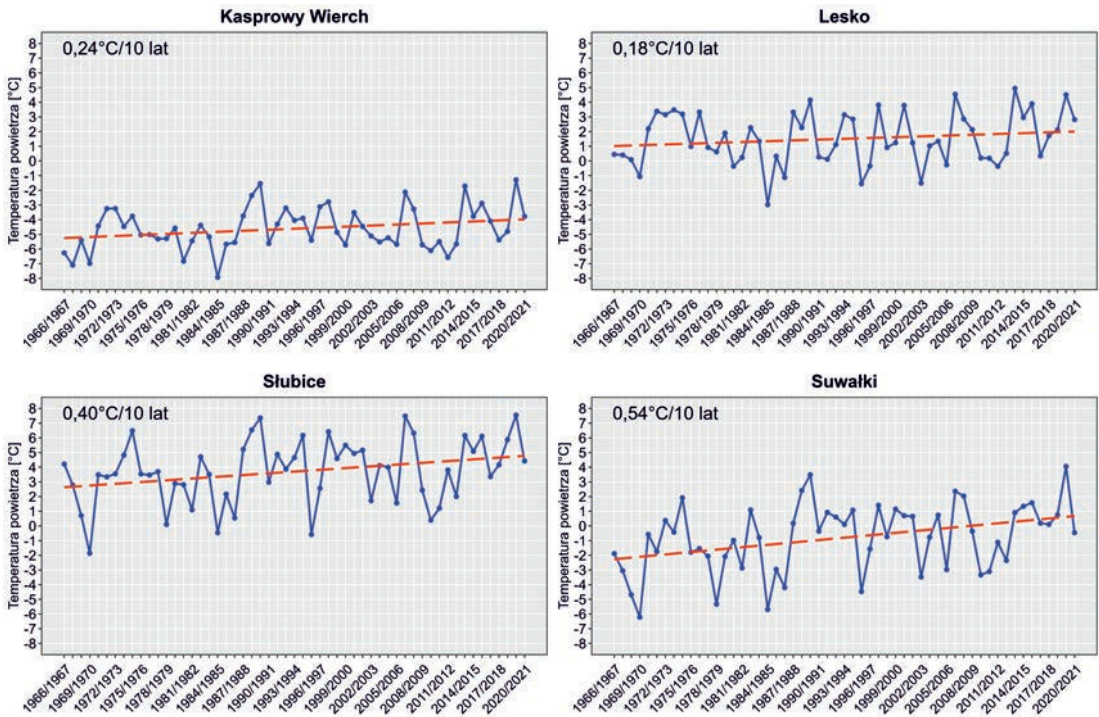
Średnia Tmax zimą w latach 1966/67–2020/21 w Polsce była zróżnicowana przestrzennie i wzrastała z północnego wschodu oraz z obszarów górskich na południowy zachód kraju (ryc. 2A, tab. 1). Dla całego obszaru średnia wartość wynosiła $1,6^{\circ}\text{C}$, a w poszczególnych stacjach zmieniała się od $-4,6^{\circ}\text{C}$ na Kasprowym Wierchu do $3,7^{\circ}\text{C}$ w Słubicach. Poza stacjami górskimi najniższą średnią odnotowano w Suwałkach ($-0,8^{\circ}\text{C}$). W 55% stacji najniższą średnią Tmax stwierdzono w sezonie 1969/70 ($-3,0^{\circ}\text{C}$), a w pozostałych stacjach (poza Legnicą) podczas sezonu 1984/85 ($-2,8^{\circ}\text{C}$). W pierwszym z wymienionych sezonów



Ryc. 2. Średnia Tmax w sezonie zimowym w latach 1966/67–2020/21 (A), zmiany Tmax w latach 1966/67–2020/21 (B), średnia Tmax zimą 1969/70 (C) i zimą 2019/20 (D), w dolnym rogu zamieszczono wartość średnią wyliczoną z danych dla wszystkich stacji

Fig. 2. Mean Tmax in the winter season in the years 1966/67–2020/21 (A), changes in Tmax in the years 1966/67–2020/21 (B), mean Tmax in winter 1969/70 (C) and in winter 2019/20 (D), in the bottom corner there is an average value calculated from data for all stations

spadek średniej Tmax następował wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza oraz z południowego zachodu na północny wschód (ryc. 2C). Najniższe wartości notowano na obszarach górskich, tj. na Kasprowym Wierchu ($-7,0^{\circ}\text{C}$) i Śnieżce ($-6,4^{\circ}\text{C}$). Nieco wyższą średnią Tmax odnotowano w Suwałkach, która wynosiła $-6,2^{\circ}\text{C}$. Z kolei najwyższą wartość zanotowano w Raciborzu $-1,1^{\circ}\text{C}$. W 80% stacji najwyższą średnią Tmax odnotowano w sezonie 2019/20 ($5,6^{\circ}\text{C}$). Wówczas tylko w stacjach górskich średnia Tmax była poniżej 0°C i wynosiła $-1,3^{\circ}\text{C}$ na Kasprowym Wierchu oraz $-0,2^{\circ}\text{C}$ na Śnieżce (ryc. 2D). W pozostałych stacjach wahała się ona od $4,1^{\circ}\text{C}$ w Suwałkach do $7,8^{\circ}\text{C}$ w Legnicy. W badanym okresie stwierdzono wzrost średniej Tmax, który w 90% stacji był istotny statystycznie. Najintensywniejsze zmiany wystąpiły w Suwałkach ($0,54^{\circ}\text{C}/10$ lat) (ryc. 2B, 3, tab. 1).



Ryc. 3. Średnia Tmax zimą w latach 1966/67–2020/21 w wybranych stacjach wraz z linią trendu i wartością zmian Tmax na 10 lat

Fig. 3. Average Tmax in winter in the years 1969/67–2020/21 at selected stations with the trend line and the value of changes in Tmax for 10 years

Tab. 1. Charakterystyka warunków termicznych zimą w latach 1966/67–2020/21
 Tab. 1. Characteristics of thermal conditions in winter in the years 1966/67–2020/21

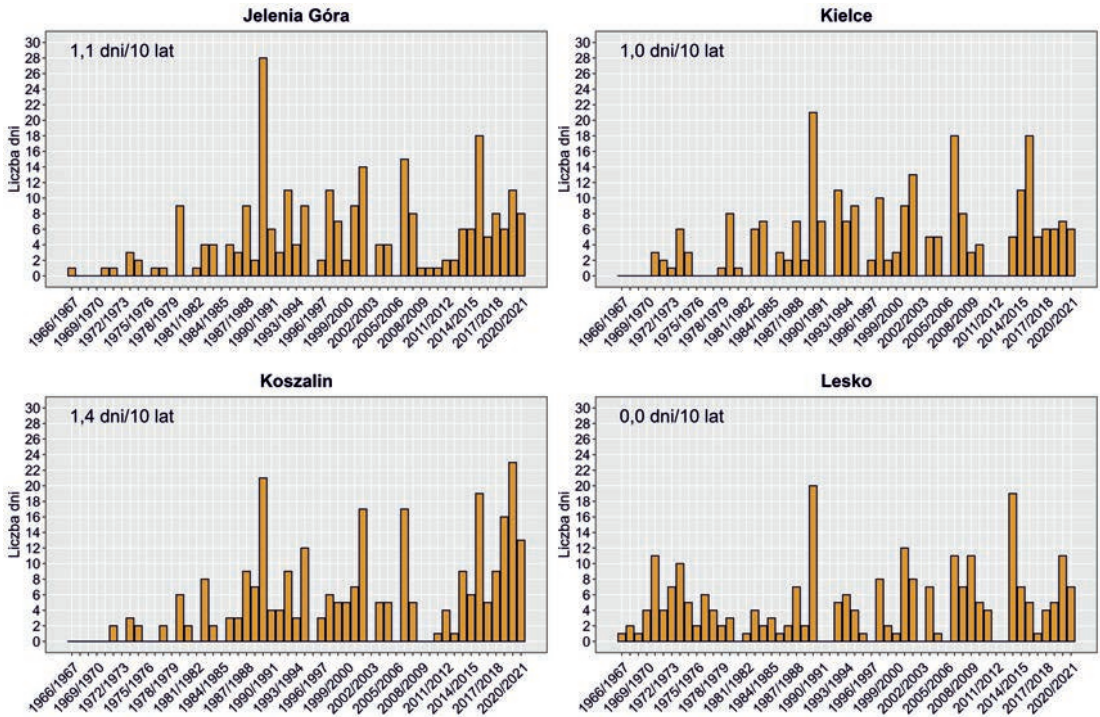
Stacja	Średnia Tmax	Najniższa średnia Tmax		Najwyższa średnia Tmax		Zmiany Tmax (°C/10 lat)	Zmiany liczby dni (dni/10 lat)	Najwyższa liczba dni		Korelacja	
		°C	sezon	°C	sezon			liczba dni	sezon	NAO	SCAND
Białystok	0,0	-5,0	1984/85	4,6	2019/20	0,45	0,9	27	1989/90	0,46	-0,49
Bielsko-Biała	2,6	-1,8	1984/85	6,7	2013/14	0,36	0,9	22	1989/90	0,35	-0,37
Chojnice	1,0	-4,4	1969/70	5,1	2019/20	0,47	1,0	21	2015/16	0,49	-0,50
Gorzów Wielkopolski	2,7	-2,8	1969/70	6,9	2019/20	0,45	1,0	18	1989/90	0,38	-0,39
Hel	2,4	-1,9	1969/70	6,3	2019/20	0,37	1,1	22	2006/07	0,48	-0,50
Jelenia Góra	3,2	-1,5	1969/70	7,2	1989/90	0,36	1,1	28	1989/90	0,39	-0,40
Kalisz	2,2	-2,9	1969/70	6,3	2019/20	0,39	0,9	21	2015/16	0,39	-0,39
Kasprowy Wierch	-4,6	-7,9	1984/85	-1,3	2019/20	0,24	0,7	17	2019/20	0,35	-0,44
Kętrzyn	0,4	-5,1	1969/70	5,1	2019/20	0,47	1,0	25	1989/90	0,47	-0,51
Kielce	1,3	-3,3	1984/85	5,3	2019/20	0,39	1,0	21	1989/90	0,42	-0,39
Kłodzko	1,8	-2,6	1984/85	5,8	2006/07	0,29	1,0	24	1989/90	0,34	-0,40
Koszalin	2,6	-2,6	1969/70	6,5	2019/20	0,44	1,4	23	2019/20	0,49	-0,45
Kraków	2,1	-2,8	1984/85	6,4	2019/20	0,44	0,8	23	1989/90	0,48	-0,41
Legnica	3,5	-1,5	1995/96	7,8	2019/20	0,43	1,1	24	1989/90	0,39	-0,43
Lesko	1,5	-3,0	1984/85	4,9	2013/14	0,18	0,0	20	1989/90	0,08	-0,11
Lublin	0,6	-4,4	1984/85	4,5	2019/20	0,33	0,8	24	1989/90	0,40	-0,37
Łeba	2,6	-2,1	1969/70	6,5	2019/20	0,38	1,1	24	1989/90	0,45	-0,47
Łódź	1,6	-3,2	1969/70	5,9	2019/20	0,43	1,1	22	1989/90	0,47	-0,43
Mława	0,5	-4,8	1969/70	5,0	2019/20	0,46	1,0	25	1989/90	0,46	-0,49
Olsztyn	0,7	-4,8	1969/70	5,2	2019/20	0,45	1,2	22	1989/90	0,46	-0,48
Opole	3,0	-1,7	1969/70	6,8	2006/07	0,40	1,1	19	1989/90	0,37	-0,38
Płock	1,5	-3,5	1969/70	5,7	2019/20	0,36	1,0	23	1989/90	0,44	-0,48
Poznań	2,5	-2,9	1969/70	6,7	2019/20	0,42	1,1	21	1989/90	0,40	-0,45
Racibórz	2,7	-1,9	1984/85	6,6	2006/07	0,25	0,6	24	1989/90	0,37	-0,40
Rzeszów	1,5	-3,3	1984/85	5,6	2019/20	0,41	0,7	25	1989/90	0,34	-0,30
Sandomierz	1,1	-3,8	1984/85	5,1	2019/20	0,45	1,1	19	1989/90	0,45	-0,37
Siedlce	0,7	-4,2	1984/85	5,2	2019/20	0,43	1,0	23	1989/90	0,43	-0,44
Stubice	3,7	-1,9	1969/70	7,6	2019/20	0,40	1,0	23	1989/90	0,38	-0,45

Sulejów	1,6	-3,2	1984/85	5,8	2019/20	0,40	1,0	21	1989/90	0,45	-0,40
Suwałki	-0,8	-6,2	1969/70	4,1	2019/20	0,54	1,3	27	1989/90	0,45	-0,45
Szczecin	3,3	-2,4	1969/70	7,3	2019/20	0,49	1,3	21	2015/16	0,43	-0,40
Śnieżka	-3,4	-6,6	1984/85	-0,2	2019/20	0,25	0,5	18	1988/89	0,28	-0,40
Świnoujście	3,1	-1,9	1969/70	7,0	2019/20	0,42	1,1	22	1989/90	0,46	-0,48
Tarnów	2,6	-2,4	1984/85	6,7	2006/07	0,45	1,1	23	1989/90	0,38	-0,39
Terespol	0,5	-4,6	1984/85	5,1	2019/20	0,49	1,0	27	1989/90	0,43	-0,43
Toruń	1,9	-3,9	1969/70	6,1	2019/20	0,45	0,9	20	1989/90	0,46	-0,51
Warszawa	1,5	-3,5	1969/70	6,1	2019/20	0,47	1,2	26	1989/90	0,44	-0,46
Wrocław	3,4	-1,6	1969/70	7,7	2019/20	0,48	1,1	21	2015/16	0,42	-0,35
Zakopane	1,2	-3,1	1984/85	4,9	1989/90	0,35	1,0	21	1989/90	0,32	-0,34
Zielona Góra	2,5	-2,7	1969/70	6,5	2019/20	0,39	1,0	25	1989/90	0,33	-0,42

Bold – zmiany istotne statystycznie.

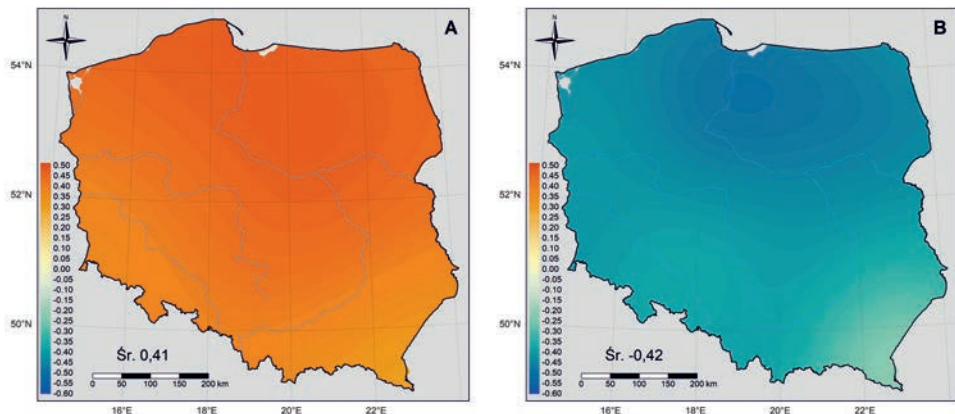
Postępujące ocieplenie przełożyło się na wzrost liczby dni ekstremalnie ciepłych. Przeciętnie na badanym obszarze w sezonie notowano około pięciu dni. W 83% stacji najczęściej takich dni odnotowano w sezonie 1989/90 (ryc. 4, tab. 1). W trakcie tej zimy ich liczba zmieniała się od 14 na Śnieżce do 28 w Jeleniej Górze. Ponadto w dwóch stacjach (Kalisz, Łódź) taką samą liczbę analizowanych dni odnotowano w sezonie 2015/16. W XXI wieku pod względem częstego występowania dni ekstremalnie ciepłych wyróżniały się również sezony: 2015/16, 2006/07, 2001/02. W sześciu stacjach (Chojnice, Hel, Kasprowy Wierch, Koszalin, Szczecin, Wrocław) najczęściej dni analizowanej kategorii odnotowano w jednym z wymienionych sezonów i maksymalnie wystąpiły 22 dni analizowanej kategorii. Na tle całego wielolecia wyróżniały się sezony: 1968/69, 1969/70, 1984/85, 2005/06 i podczas każdego z nich łącznie w całym kraju odnotowano poniżej 10 dni analizowanej kategorii. W 93% stacji odnotowano istotny statystycznie wzrost liczby dni ekstremalnie ciepłych, który najintensywniej przebiegał w Koszalinie (1,4 dni/10 lat) (ryc. 4, tab. 1). Brak istotnych zmian stwierdzono w Lesku, Raciborzu i Śnieżce.

W kolejnym etapie badań analizowano korelację pomiędzy średnim indeksem makroskalowego typu cyrkulacji a liczbą dni ekstremalnie ciepłych (ryc. 5A, tab. 1). Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku NAO korelacja była dodatnia, a więc pozytywnej fazy analizowanego typu towarzyszył wzrost liczby dni ekstremalnie ciepłych. Najsilniejsze korelacje notowano w północnej oraz częściowo w środkowej Polsce, a maksimum odnotowano w Chojnicach i Koszalinie (r 0,49). Znacznie słabsze korelacje notowano w południowo-wschodnich i południowo-zachodnich regionach kraju. Spośród rozpatrywanych stacji brak istotnych statystycznie korelacji stwierdzono tylko w Lesku.



Ryc. 4. Liczba dni ekstremalnie ciepłych zimą w latach 1966/67–2020/21 w wybranych stacjach wraz z wartością zmian liczby dni na 10 lat

Fig. 4. Number of extremely warm days in winter in 1966/67–2020/21 at selected stations with the value of changes in the number of days for 10 years

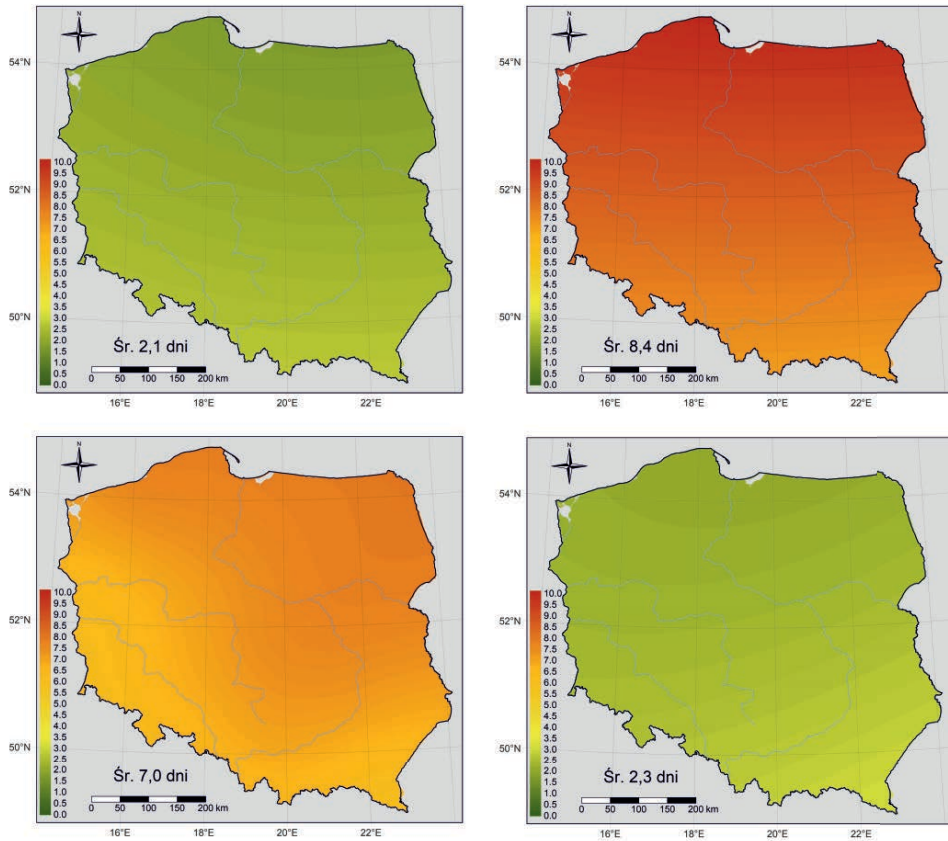


Ryc. 5. Współczynnik korelacji Pearsona (r) między średnimi (grudzień–luty) indeksami NAO (A) i SCAND (B) a liczbą dni ekstremalnie ciepłych zimą w latach 1966/67–2020/21

Fig. 5. Pearson Correlation Coefficient (r) between mean (December–February) NAO (A) and SCAND indices (B) and number of extremely warm days in winter in the years 1966/67–2020/21

Z kolei w przypadku typu SCAND korelacja była ujemna, a więc podczas fazy ujemnej następował wzrost liczby dni ekstremalnie ciepłych (ryc. 5B, tab. 1). Podobnie jak w przypadku NAO, najintensywniejsze korelacje notowano w północnej Polsce. Najsilniejszy związek pomiędzy SCAND a liczbą analizowanych dni stwierdzono w Kętrzynie i Toruniu (r 0,51). Brak istotnych statystycznie korelacji stwierdzono w Lesku.

W negatywnej fazie NAO (1. kwartył zbioru wartości indeksu) notowano mniej dni ekstremalnie ciepłych niż w fazie pozytywnej (3. kwartył zbioru wartości indeksu) (ryc. 6). Średnia liczba analizowanych dni dla całego obszaru wyniosła 2,1 dni w fazie negatywnej, natomiast w fazie pozytywnej 7,0 dni. W przypadku negatywnej fazy NAO wzrost liczby dni następował z północy i północnego wschodu na południe Polski. Najwięcej analizowanych dni przeciętnie notowano



Ryc. 6. Średnia liczba dni ekstremalnie ciepłych w latach z niskimi (górną) i wysokimi (dolną) wartościami indeksu NAO (lewa) i SCAND (prawa)

Fig. 6. Average number of extremely warm days in years with low (top) and high (bottom) NAO (left) and SCAND (right) index values

w Lesku (4,3 dni). Z kolei w fazie pozytywnej NAO wzrost następował z południa w kierunku północno-wschodnim oraz północnym – kierunku wybrzeża Morza Bałtyckiego. Najwyższą średnią liczbę dni ekstremalnie ciepłych notowano w Koszalinie (8,6 dni). Przeprowadzone badania wykazały, że największe różnice w liczbie analizowanych dni pomiędzy fazą negatywną a pozytywną były notowane na wybrzeżu Morza Bałtyckiego oraz w regionach północno-wschodnich.

Podobnie jak w przypadku NAO tak i w SCAND występowały różnice w liczbie dni ekstremalnie ciepłych w fazie negatywnej (1. kwartył zbioru wartości indeksu) i pozytywnej (3. kwartył zbioru wartości indeksu) (ryc. 6). Średnia liczba dni rozpatrywanej kategorii dla całego obszaru wyniosła 8,4 dni w fazie negatywnej, natomiast w fazie pozytywnej 2,3 dni. W negatywnej fazie SCAND wzrost następował z południowego wschodu Polski w kierunku północnym. Najwyższa średnia liczba dni ekstremalnie ciepłych była notowana na wybrzeżu Morza Bałtyckiego z maksimum w stacjach: Hel, Koszalin, Łeba (9,9 dni). Z kolei w fazie pozytywnej SCAND wzrost liczby dni następował z północy na południe, szczególnie na południowy wschód kraju, gdzie w Lesku notowano najwyższą średnią liczbę dni, wynoszącą 4,7 dni. Podobnie jak w przypadku NAO, największe różnice pomiędzy negatywną a pozytywną fazą SCAND notowano na obszarach będących pod najsilniejszym wpływem makroskalowego typu cyrkulacji, a więc w północnej Polsce.

PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

Przeprowadzone badania wykazały dużą przestrzenną i czasową zmienność średniej T_{max} zimą. Spadek średniej wartości następował wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza oraz w kierunku wschodnim, szczególnie w północno-wschodnim. Taki rozkład przestrzenny temperatury powietrza jest konsekwencją narastania cech kontynentalnych klimatu w kierunku wschodniej Europy (Revich i Shaposhnikov 2016; Jarzyna i Krzyżewska 2021). Najchłodniejsze zimy odnotowano w pierwszej połowie rozpatrywanego okresu, a na tle całego wielolecia szczególnie wyróżniały się chłodne zimy 1969/70 oraz 1984/85. Jak wykazano we wcześniejszych badaniach, były to sezony, w których licznie notowane były fale mrozów (Krzyżewska 2014; Tomczyk i in. 2019a). Badania potwierdziły wzrost średniej T_{max} zimą w latach 1966/67–2020/21, a najintensywniejsze zmiany notowano w północno-wschodniej Polsce z maksimum w Suwałkach. Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze badania prowadzone zarówno na obszarze całego kraju (Owczarek i Filipiak 2016, Tomczyk i in. 2021), jak i wybranych regionach (Ptak i in. 2018; Kolendowicz i in. 2019).

Postępujące ocieplenie przełożyło się na coraz częstsze występowanie dni ekstremalnie ciepłych. Na tle całego wielolecia pod względem licznego występowania tych dni wyróżniały się następujące zimy: 1989/90, 2015/16, 2006/07 oraz

2001/02. Przeprowadzone badania wykazały wzrost liczby dni ekstremalnie ciepłych w rozpatrywanym wieloleciu. To z kolei wpływa na coraz częstsze występowanie fal ciepła zimą, co wykazano w badaniach prowadzonych w środkowej Europie (Tomczyk i in. 2019b). Inną konsekwencją obserwowanego ocieplenia jest opóźnienie rozpoczęcia i przyspieszenie zakończenia termicznej zimy, a tym samym notowane jest wcześniejsze rozpoczęcie przedwiośnia (Czernecki i Miętus 2017; Czarnecka i Nidzgorska-Lencewicz 2017; Tomczyk 2022).

Ważnym czynnikiem wpływającym na występowanie dni ekstremalnie ciepłych były dwa makroskalowe typy cyrkulacji, tj. NAO oraz SCAND. Jak już wielokrotnie wykazano, są to dwa główne typy cyrkulacji wpływające na warunki pogodowe w środkowej Europie (Tomczyk 2015; Ptak i in. 2018). Wpływ rozpatrywanych typów cyrkulacji najintensywniej zaznaczał się w północnej Polsce i malał w kierunku południowym, a w szczególności w południowo-wschodnim. Podobny rozkład współczynnika korelacji notowano w badaniach dotyczących wpływu makroskalowych typów cyrkulacji na występowanie dni mroźnych (Tomczyk 2015), a także pokrywy śnieżnej (Bednorz 2002; Szwed i in. 2017; Tomczyk i in. 2021). Przeprowadzone badania wykazały zdecydowanie różną częstość analizowanych dni w zależności od fazy danego typu cyrkulacji. Największe różnice w liczbie dni pomiędzy negatywną a pozytywną fazą zarówno NAO, jak i SCAND notowano na obszarach będących pod najsilniejszym wpływem tych typów cyrkulacji, a więc w północnych regionach Polski.

Badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie umowy o numerze UMO-2020/37/B/ST10/00217.

LITERATURA

- Barnston A.G., Livezey R.E., 1987: *Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns*. Monthly Weather Review, 115, 1083–1126.
- Bednorz E., 2002: *Snow cover in western Poland and macro-scale circulation conditions*. International Journal of Climatology, 22 (5), 533–541.
- Bednorz E., 2009: *Wpływ sytuacji barycznych na występowanie pokrywy śnieżnej na obszarach nizinnych środkowej Europy*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza.
- Bueha C., Nakamuta H., 2007: *Scandinavian pattern and its climatic impact*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 133, 2117–2131.
- Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J. 2017: *Zmienność termicznej zimy w Polsce w latach 1960–2015*. Acta Agrophysica, 24 (2), 205–220.
- Czernecki B., Miętus M., 2017: *The thermal seasons variability in Poland, 1951–2010*. Theoretical and Applied Climatology, 127, 481–493.
- Degirmendzić J., 1999: *Wpływ klina Wyżu Azjatyckiego nad Skandynawią na temperaturę powietrza w Europie*. Przegląd Geofizyczny, 44, 211–229.
- Hoy A., Hänsel S., Skalak P., Ustrnul Z., Bochníček O., 2017: *The extreme European summer of 2015 in a long-term perspective*. International Journal of Climatology, 37 (2), 943–962.

- Hurrell J.W., 1995: *Decadal trends in the North Atlantic oscillation: regional temperatures and precipitation*. *Science*, 269, 676–679.
- Hurrell J.W., Deser C., 2010: *North Atlantic climate variability: the role of the North Atlantic Oscillation*. *Journal of Marine Systems*, 78, 28–41.
- Informacja Tygodniowa, Zagrożenia – Skutki – Ocena, 2016: *Rządowe Centrum Bezpieczeństwa*, <http://rcb.gov.pl/wp-content/uploads/BIULETYN-ANALITYCZNY-nr-14.pdf> [dostęp: 15.01.2018].
- Informacja Tygodniowa, Zagrożenia – Skutki – Ocena, 2017: *Rządowe Centrum Bezpieczeństwa*. Dostęp: <http://rcb.gov.pl/wp-content/uploads/BIULETYN-ANALITYCZNY-nr-18.pdf> (dostęp: 15.01.2018).
- IPCC, 2013: *Climate change: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel in Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jarzyna K., Krzyżewska A., 2021: *Cold spell variability in Europe in relation to the degree of climate continentalism in 1981–2018 period*. *Weather*, 76 (4), 122–128.
- Kolendowicz L., Czernecki B., Pórolniczak M., Taszarek M., Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., 2019: *Homogenization of air temperature and its long-term trends in Poznań (Poland) for the period 1848–2016*. *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 1357–1370.
- Krzyżewska A., 2014: *Fale ciepła i chłodu w (V) południowo-wschodnim regionie bioklimatycznym w latach 1981–2010*. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio B*, 49, 143–154.
- Kundzewicz Z.W., Huang S., 2010: *Seasonal temperature extremes in Potsdam*. *Acta Geophysica*, 58 (6), 1115–1133.
- Lhotka O., Kysely J., 2015: *Characterizing joint effects of spatial extent, temperature magnitude and duration of heat waves and cold spells over Central Europe*. *International Journal of Climatology*, 35 (7), 1232–1244.
- Liu Y., Wang L., Zhou W., Chen W., 2014: *Three Eurasian teleconnection patterns: spatial structures, temporal variability, and associated winter climate anomalies*. *Climate Dynamics*, 42, 2817–2839.
- Nojarov P. 2017: *Circulation factors affecting precipitation over Bulgaria*. *Theoretical and Applied Climatology*, 127 (1–2), 87–101.
- Owczarek M., Filipiak J., 2016: *Contemporary changes of thermal conditions in Poland, 1951–2015*. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* 10, 31–50.
- Piniewski M., Mezghani A., Szcześniak M., Kundzewicz Z., 2017: *Regional projections of temperature and precipitation changes: Robustness and uncertainty aspects*. *Meteorologische Zeitschrift*, 26, 223–234.
- Ptak M., Tomczyk A.M., Wrzesiński D., 2018: *Effect of Teleconnection Patterns on Changes in Water Temperature in Polish Lakes*. *Atmosphere* 9, 66.
- Revich B.A., Shaposhnikov D.A., 2016: *Cold waves in southern cities of European Russia*. *Studies on Russian Economic Development*, 27 (2), 210–215.
- Salmaso N., Cerasimo L., 2012: *Long-term trends and fine year-to-year tuning of phytoplankton in large lakes are ruled by eutrophication and atmospheric modes of variability*. *Hydrobiologia*, 698, 17–28.
- Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H., 2014: *Long-term analysis of heat waves in Ukraine*. *International Journal of Climatology*, 34, 1642–1650.
- Spinoni J., Lakatos M., Szentimrey T., Bihari Z., Szalai S., Vogt J., Antofie T., 2015: *Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010*. *International Journal of Climatology*, 35 (14), 4197–4209.

- Szwed M., Pińskwar I., Kundzewicz Z.W., Graczyk D., Mezghani A., 2017: *Changes of snow cover in Poland*. Acta Geophysica, 65, 65–76.
- Tomczyk A.M., 2015: *Impact of macro-scale circulation types on the occurrence of frosty days in Poland*. Bulletin of Geography. Physical Geography Series, 9, 55–65.
- Tomczyk A.M., 2022: *Termiczne pory roku*, [w:] A.M. Tomczyk, E. Bednorz (red.), *Atlas klimatu Polski (1991–2020)*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2019: *Heat waves in Central Europe and tropospheric anomalies of temperature and geopotential heights*. International Journal of Climatology,
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2020: *The extreme year – analysis of thermal conditions in Poland in 2018*. Theoretical and Applied Climatology.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., Pórolniczak M., Kolendowicz L., 2019a: *Strong heat and cold waves in Poland in relation with the large-scale atmospheric circulation*. Theoretical and Applied Climatology, 137 (3–4), 1909–1923.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., Szyga-Pluta K., 2021: *Changes in air temperature and snow cover in winter in Poland*. Atmosphere, 12, 68.
- Tomczyk A.M., Sulikowska A., Bednorz E., Pórolniczak M., 2019b: *Atmospheric circulation conditions during winter warm spells in Central Europe*. Natural Hazards, 96 (3), 1413–1428.
- Wibig J., 2001: *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na rozkład przestrzenny anomalii temperatury i opadów w Europie*. WN UŁ, Łódź, 208.
- Wibig J., 2018: *Heat waves in Poland in the period 1951-2015: trends, patterns and driving factors*. Meteorology Hydrology and Water Management, 6 (1), 37–45.