

Magdalena MICHALIK
Zakład Klimatologii UJ

NIEZWYKLE ZIMNE I NIEZWYKLE CIEPŁE MIESIĄCE I PORY ROKU W KRAKOWIE (1792-2015)

EXCEPTIONALLY COLD AND WARM MONTHS AND SEASONS IN KRAKOW (1792-2015)

W ostatnich latach jesteśmy świadkami dużego wzrostu temperatury powietrza (IPCC 2013). Przejawem tego wzrostu jest pojawianie się okresów miesięcznych, a nawet pór roku z niezwykle wysoką temperaturą. Przykładem tego mogą być dobrze udokumentowane w literaturze upalne lata 2003 i 2010 w Europie (Black, Sutton, 2007; Kossowska-Cezak, Twardosz, 2015). Mimo ocieplenia klimatu, pojawiają się również miesiące i lata z niezwykle niską temperaturą. Na uwagę zasługują również zimy 1962/63 i 2009/10, uchodzące za bardzo mroźne (Hurst, Lenz, 1964; Kossowska-Cezak, Twardosz, 2013). Inspiracją do podjęcia badań zmierzających do stwierdzenia, czy niezwykle ciepłe bądź zimne miesiące lub lata można uznać za wyjątkowe, był rok 2015, kiedy doświadczyliśmy w lecie silnych i długotrwałych upałów obejmujących znaczny obszar Europy, w tym również Polskę.

Do badań wybrano sekularną serię pomiarów temperatury powietrza z Krakowa, obejmującą ciąg obserwacji od 1792 roku. Jest to jedna z najdłuższych jednorodnych serii obserwacji meteorologicznych w Europie (Ustrnul, 1997). Badania zmienności temperatury powietrza w Krakowie prowadziło wielu autorów, m.in. Hess (1967, 1968), Morawska-Horawska (1991) czy Piotrowicz (2007). Największą uwagę temu problemowi poświęciła jednak Trepińska (1976, 1988, 1994, 1997, 2003), koncentrując się głównie na badaniu zmienności skrajnych wartości temperatury w zimie i w lecie.

Celem tego opracowania jest określenie częstości pojawienia się niezwykle zimnych i ciepłych miesięcy, pór roku i lat w Krakowie w latach 1792-2015 oraz wielkości występującej wówczas anomalii termicznej. Występowanie miesięcy, sezonów i lat niezwykle ciepłych lub zimnych jest cechą klimatu umiarkowanych szerokości geograficznych (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2013). Uwzględnienie 224-letniej serii temperatury powietrza daje możliwość stwierdzenia występowania niezwykle pod względem termicznym okresów począwszy od schyłku małej epoki lodowej. Jak dotąd najwięcej uwagi poświęcono występowaniu anomalnych wartości temperatury powietrza w sezonach i miesiącach letnich (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2015) i zimowych (Gumiński, 1931; Piotrowicz, 1988; Kossowska-Cezak, Twardosz, 2015). Jest to zrozumiałe ze względu na niebezpieczne skutki im towarzyszące, np. susze czy mrozy, powodujące m.in. niekorzystne warunki biometeorologiczne (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2012). Jak dotąd niewiele wiadomo o niezwykle warunkach termicznych w przejściowych porach roku. Wystąpienie niezwykle ciepłych lub zimnych wiosen czy jesieni może być tak samo groźne jak wystąpienie niezwykle ciepłych i zimnych lat czy zim, przynosząc znaczne zmiany w całym środowisku przyrodniczym oraz gospodarczym.

Opracowanie oparto na wartościach średnich miesięcznych temperatury powietrza z lat 1792-2015. Dane pochodzą ze Stacji Historycznej Zakładu Klimatologii IGiGP UJ w Krakowie ($\varphi=50^{\circ}04'N$, $\lambda=19^{\circ}58'E$), znajdującej się na wysokości 12 m n.p.g. Stacja meteorologiczna leży w centrum miasta, na obszarze Ogrodu Botanicznego przy ul. Kopernika 27.

Za miesiące i sezony niezwykle zimne przyjęto te, w których średnia temperatura powietrza była niższa od średniej wieloletniej przynajmniej o 2 odchylenia standardowe ($t \leq t_{\bar{x}} - 2\sigma$), a za niezwykle ciepłe te, w których była wyższa od średniej wieloletniej przynajmniej o 2 odchylenia standardowe ($t \geq t_{\bar{x}} + 2\sigma$) (Twardosz, Kossowska-Cezak, 2013). Przyjęta metoda wydzielenia okresów anomalnych pod względem termicznym jest metodą względnych anomalii, powszechnie stosowaną w klimatologii (np. Filipiuk, Kaszewski, 2000; Barriopedro i in., 2011).

Na podstawie przyjętego kryterium statystycznego wyłoniono niezwykle zimne miesiące (NZM) i niezwykle ciepłe miesiące (NCM) i pory roku. Scharakteryzowano przebieg roczny i wieloletni ich częstości oraz wielkość anomalii.

Częstość miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i ciepłych (NCM)

W Krakowie w ciągu 224 lat stwierdzono 109 anomalnych pod względem termicznym miesięcy, w tym 71 niezwykle zimne (NZM) i 38 niezwykle ciepłych (NCM) (tab. 1). Występowanie NZM jest zjawiskiem dość częstym i średnio NZM pojawia się co 3 lata. Spośród ogólnej liczby 71 NZM najwięcej było w zimie –

po 10 razy każdy miesiąc zimowy, co stanowi 42% wszystkich NZM. Nieco mniej było ich w jesieni i na wiosnę, jednakowo po 18 (25,5%). W lecie NZM było najmniej, zaledwie 5 w wieloleciu, co stanowi 7% wszystkich NZM (tab. 1).

NCM stwierdzono znacznie mniej – łącznie 38. Średnio NCM pojawiał się raz na ok. 6 lat. NCM pojawiały się najczęściej w lecie – 14 (37%) i w jesieni – 12 (31%). Na wiosnę NCM wystąpiło 9, co stanowi 24% wszystkich NCM. Najmniej NCM było w zimie, każdy miesiąc był tylko jeden raz NZM, co stanowi 8% wszystkich NCM (tab. 1).

Kształtowanie się warunków termicznych zależy nie tylko od ilości dopływającego promieniowania słonecznego, ale i – jak dowodzą liczni autorzy – od cyrkulacji atmosferycznej (Piervitali i in., 1997; Zveryaev, 2007; Twardosz i in., 2011). Cechą charakterystyczną klimatu umiarkowanego jest napływ arktycznych mas powietrza zimą i wiosną (Twardosz i in., 2011), co przyczynia się do spadku temperatury powietrza, a więc w konsekwencji pojawienia się NZM. Istotną rolę z punktu skrajnych warunków chłodu odgrywa również położenie stacji. Stacja w Krakowie jest położona w centrum miasta, w dolinie Wisły, na wysokości ok. 200 m n.p.m., gdzie dochodzi do stagnacji chłodnego powietrza, sprzyjającej tworzeniu się inwersji temperatury, zwłaszcza w chłodnej porze roku (Drużkowski, 1992). Według Palarz (2014) w Krakowie występuje średnio w roku 134 dni (1961-2010) z inwersją temperatury powietrza, które najczęściej pojawiają się w zimie, a w szczególności w styczniu (41%). Inwersjom termicznym sprzyjają sytuacje antycyklonalne (SWa, Sa, SEa), które często występują zimą. Na podstawie 220-letniej serii średniej miesięcznej temperatury powietrza w Warszawie (Lorenc, 2000) stwierdzono również przewagę liczby NZM nad liczbą NCM (74 NZM, 38 NCM).

Tabela 1. Liczba miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i niezwykle ciepłych (NCM) w Krakowie (1792-2015)

Table 1. Number of exceptionally cold (ECM) and exceptionally warm (EWM) months in Krakow (1792-2015)

Pora roku Season	Zima Winter			Wiosna Spring			Lato Summer			Jesień Autumn			Rok Year
Miesiące Months	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
NZM ECM	10	10	10	5	5	8	1	3	1	5	7	6	71
	30 (42%)			18 (25,5%)			5 (7%)			18 (25,5%)			
NCM EWM	1	1	1	1	5	3	3	6	5	4	5	3	38
	3 (8%)			9 (24%)			14 (37%)			12 (31%)			

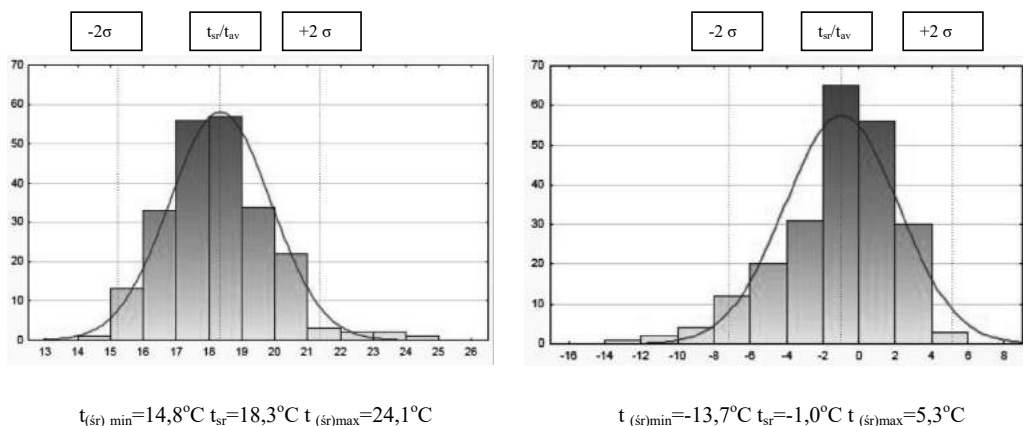
Zakres zmian liczby NZM i NCM z roku na rok w rozpatrywanym 224-leciu był duży; stwierdzono, że największa ujemna anomalia temperatury ($-\Delta t$) była większa

od największej anomalii dodatniej ($+\Delta t$). Oznacza to, że rozkład statystyczny częstości średniej miesięcznej temperatury powietrza odznacza się asymetrią, tzn. sporadycznym pojawianiem się wartości znacznie niższych od średniej wieloletniej temperatury powietrza (asymetria lewostronna). Znajduje to wyraz w wartościach współczynnika skośności średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza, pokazanych w tab. 2. Współczynnik ten przyjmuje wartość ujemną w 8 miesiącach, od września do marca i w maju. W lecie natomiast wartości współczynnika są dodatnie, z największą wartością w sierpniu (0,6), co świadczy o prawostronnej asymetrii, czyli występowaniu wartości znacznie przewyższających średnią wieloletnią temperaturę miesięczną. Tylko w kwietniu współczynnik przyjmuje wartość 0, co oznacza jednakowe prawdopodobieństwo wystąpienie NZM i NCM. W charakterze przykładu przedstawiono zatem częstość wartości średniej temperatury powietrza w sierpniu i w grudniu (rys. 1), które dobrze ilustrują opisaną prawidłowość. Asymetria ta zaznacza się w różnym stopniu. W sierpniu asymetria jest prawostronna, ale rozkład wartości temperatury średniej jest bardziej zbliżony do rozkładu normalnego niż w grudniu.

Współczynnik skośności obliczono na podstawie wzoru:

$$w = \frac{\mu - d}{\sigma}$$

gdzie: w – współczynnik skośności, μ – średnia, d – dominanta, σ – odchylenie standardowe



Rys. 1. Liczba przypadków w przedziałach wartości średniej temperatury powietrza w sierpniu (po lewej stronie) i grudniu (po prawej stronie) w Krakowie (1792-2015)

Fig. 1. Number of instances of an average temperature in specified ranges in August (on the left side) and in December (on the right side) in Krakow (1792-2015)

Tabela 2. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w Krakowie (1792-2015); błąd standardowy średniej i współczynnik skośności (błąd współczynnika skośności -0,2)

Table 2. Average monthly air temperatures in Krakow (1792-2015), their standard error and skewness (skewness error is -0.2)

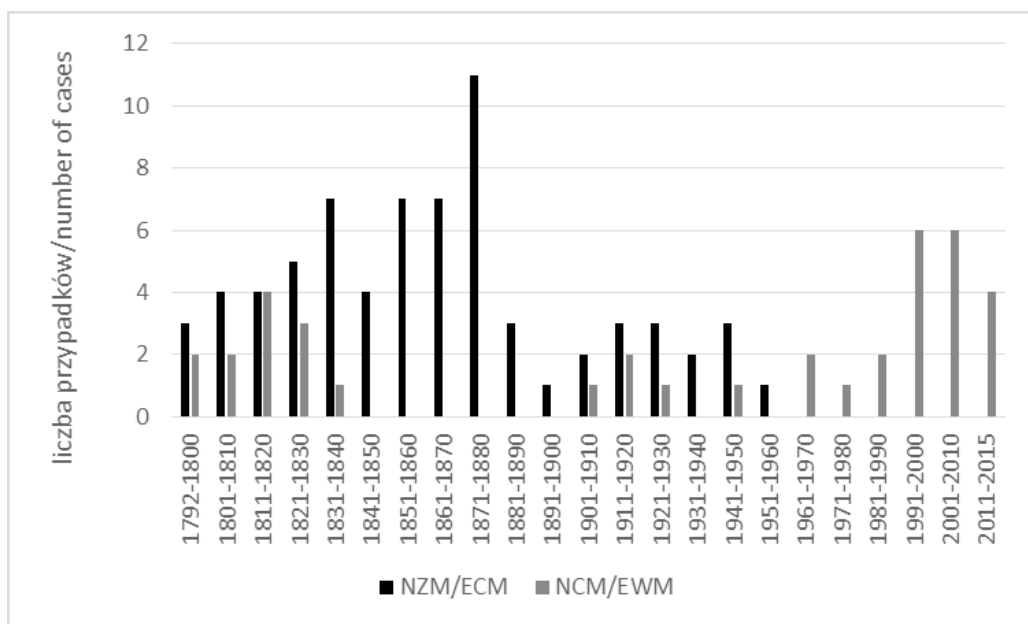
Miesiące Months	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
°C	-2,9 ±0,2	-1,3 ±0,2	2,7 ±0,2	8,6 ±0,1	14,2 ±0,1	17,4 ±0,1	19,0 ±0,1	18,3 ±0,1	14,2 ±0,1	9,0 ±0,1	3,2 ±0,1	-1,0 ±0,2	8,4 ±0,1
Wsp. skoś. Skewness	-0,5	-0,7	-0,3	0,0	-0,3	0,2	0,2	0,6	-0,1	-0,1	-0,2	-0,9	-0,1

Zmiany wieloletnie częstości miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i ciepłych (NCM) oraz pór roku

Występowanie anomalnych pod względem termicznym miesięcy, pór roku i lat wykazało się dużą zmiennością w wieloleciu. Aby przedstawić zmiany czasowe liczby anomalnych pod względem termicznym miesięcy, badany okres podzielono na 10-lecia (tab. 3). W każdym 10-leciu wystąpił przynajmniej jeden NZM lub NCM. Najmniej anomalnych pod względem termicznym miesięcy było w 10-leciach 1881-1890, 1951-1960 i 1971-1980 – po 1. Najwięcej takich miesięcy (11) wystąpiło w 10-leciu 1871-1880 (rys. 3, tab. 3).

Najwięcej NZM stwierdzono w 10-leciach 1831-1840, 1851-1860, 1861-1870 i 1871-1880, z czego najwięcej w 1871-1880 (11), a w trzech pozostałych po 7. Z dostępnej serii H. Lorenc (2000) z Warszawy wynika, że w tych 10-leciach wystąpiło kolejno 6, 6, 5 i 9 NZM, a zatem różnice w liczbie NZM między Krakowem a Warszawą są niewielkie. Po roku 1880, a więc po 10-leciu, w którym stwierdzono najwięcej NZM, wyraźnie rysuje się spadek liczby NZM do 3, co odpowiada sugerowanemu przez J. Trepiańską (1994) końcowi małej epoki lodowej (MEL). Warto zwrócić uwagę, że od 1961 do 2015 r. w Krakowie stwierdzono tylko 1 NZM (wrzesień 1996) (rys. 2). W wieloleciu najwięcej NZM wystąpiło zimą (30), a najmniej latem (6) (tab. 3). W zimie najwięcej NZM było w 10-leciu 1821-1830 – 4. Na wiosnę i w jesieni najwięcej NZM było w 10-leciu 1871-1880 (odpowiednio 5 i 3). W 10-leciu 1831-1840 stwierdzono najwięcej NZM w lecie (2). Wyraźne zmniejszenie częstości NZM nastąpiło pod koniec XIX w., co również ukazały badania Trepiańskiej (2000). W XX w. NZM było zaledwie 15, z czego najwięcej zimą i jesienią (tab. 3).

Spośród 38 NCM najwięcej wystąpiło w 10-leciach 1991-2000 i 2001-2010 – po 6. Niewiele mniej ich było w 10-leciu 1811-1820, obejmującym okres małej epoki lodowej (4). Według Obrębskiej-Starkłowej (1997) mała epoka lodowa to nie tylko wzrost częstości surowych zim, ale również ciepłych i wilgotnych lat. W 1811 r. wystąpiły aż 3 NCM (maj, czerwiec i lipiec), co zauważyła



Rys. 2. Przebieg wieloletni liczby miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i niezwykle ciepłych (NCM) w kolejnych 10-letniach w Krakowie (1792-2015)

Fig. 2. Number of exceptionally cold (ECM) and exceptionally warm (EWM) months in successive decades of the study period in Krakow (1792-2015)

Trepińska (1997), w Warszawie zaś 2 NCM, czerwiec i lipiec. Zarówno w Krakowie, jak i Warszawie najczęściej NCM pojawiały się w lecie i w jesieni. W Krakowie najwięcej NCM w lecie było w 10-leciu 1811-1820, a w jesieni w 1991-2000 – po 3 (tab. 3). Na wiosnę NCM było najwięcej w 10-leciu 1911-1920 – 2. NCM w zimie pojawiły się tylko 3 razy, w 1990, 2007 i 2015 r. Na uwagę zasługuje wystąpienie tylko 2 NCM w lecie w latach 1990. (sierpień 1992, lipiec 1994). Według Kossowskiej-Cezak (1993) sierpień 1992 r. był najcieplejszym miesiącem w latach 1872-1992. W ciągu ostatnich 15 lat (2001-2015) stwierdzono 10 NCM, z czego 4 w lecie i po 1-2 w pozostałych porach roku (tab. 3).

Należy zauważyć, że w ciągu 224-lecia nastąpił spadek liczby NZM, a wzrost liczby NCM. Może być to spowodowane współczesnym ociepleniem – zmianą cyrkulacji atmosferycznej. Na przełomie XX i XXI w. w Polsce Południowej zwiększyła się częstość napływu powietrza zwrotnikowego (Niedźwiedź, 2003) i długotrwałość jego utrzymywania się (Kotas, Twardosz, 2012).

W rozpatrywanym 224-leciu wystąpiły również niezwykle zimne i ciepłe pory roku. Stwierdzono 18 NZ pór roku oraz 20 NC pór roku. Mniejsza częstość NZ pór roku wynika z tego, że miesiące, które uzyskały kryterium NZM, występowały pojedynczo, a miesiące sąsiednie charakteryzowały się znacznie wyższą temperaturą

Tabela 3. Liczba miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i niezwykle ciepłych (NCM) w porach roku w kolejnych 10-leciach w Krakowie (1792-2015)

Table 3. Number of exceptionally cold (ECM) and exceptionally warm (EWM) months in a season during successive decades in Krakow (1792-2015)

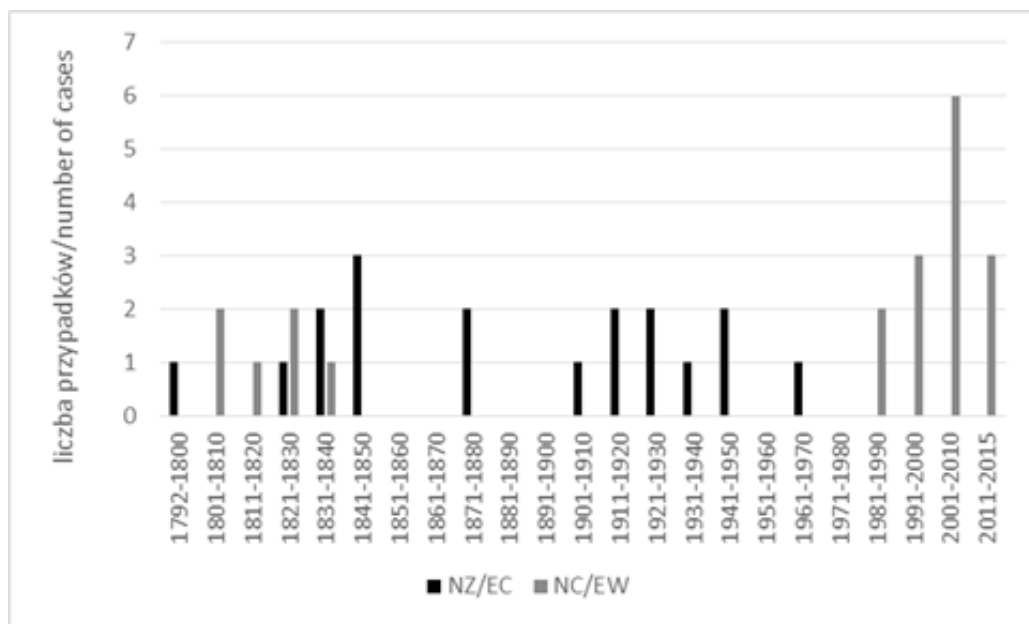
Okres Period	NZM /ECM					NCM/EWM				
	NZM ECM	Zima Winter	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn	NCM EWM	Zima Winter	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn
1792-1800	3	3	-	-	-	2	-	2	-	-
1801-1810	4	1	1	-	2	2	-	-	2	-
1811-1820	4	3	1	-	-	4	-	1	3	-
1821-1830	5	4	-	-	1	3	-	1	2	1
1831-1840	7	1	3	2	1	1	-	-	1	-
1841-1850	4	2	1	1	-	-	-	-	-	-
1851-1860	7	3	2	1	1	-	-	-	-	-
1861-1870	7	2	2	1	1	-	-	-	-	-
1871-1880	11	3	5	-	3	-	-	-	-	-
1881-1890	3	-	1	-	2	-	-	-	-	-
1891-1900	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
1901-1910	2	-	-	-	1	1	-	-	-	1
1911-1920	3	-	1	-	2	2	-	2	-	-
1921-1930	3	1	1	-	2	1	-	-	-	-
1931-1940	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-
1941-1950	3	2	-	-	1	1	-	-	-	1
1951-1960	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
1961-1970	-	-	-	-	-	2	-	-	-	2
1971-1980	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
1981-1990	-	-	-	-	-	2	1	-	-	1
1991-2000	1	-	-	-	1	6	-	1	2	3
2001-2010	-	-	-	-	-	6	1	1	2	2
2011-2015	-	-	-	-	-	4	1	1	2	-
1792-2015	71	30	18	5	18	38	3	9	14	12

powietrza, zatem pora roku nie uzyskała kryterium NZ. Tak np. było w roku 1848 i 1893, kiedy średnia miesięczna temperatura w styczniu uzyskała kryterium NZM (odpowiednio -12,4°C i -11,4°C), natomiast grudzień (-2,6°C; 4,0°C) i luty (1,2°C; 0,4°C) były znacznie cieplejsze. Na podstawie serii temperatury powietrza z Warszawy (Lorenc, 2000) stwierdzono 21 NZ pór roku, natomiast NC pór roku 14.

Widać zatem, że przewaga liczby NC pór roku nad liczbą NZ pór roku jest cechą charakterystyczną miasta Krakowa. Istotną rolę mogą tu odgrywać uwarunkowania lokalne, związane np. z występowaniem miejskiej wyspy ciepła, która w Krakowie cechują się dużym nasileniem (Lewińska, 1996).

Najwięcej NZ pór roku wystąpiło w 10-leciu 1841-1850 (3), natomiast nie było ich już od 1971 r. Najczęściej NZ porą roku była zima (9) i jesień (6), znacznie rzadziej wiosna, zaledwie 2 razy (1840, 1845), a lato tylko jeden raz w 1844 r. Ostatnia NZ zima pojawiła się w 1962/63 r., o czym pisała również Trepieńska (1988). W XX wieku najczęściej niezwykle zimną porą roku była jesień (5).

NC pór roku stwierdzono nieco więcej – 20. NC pory roku wystąpiły na początku i na końcu rozpatrywanego 224-lecia. Najwięcej NC pór roku wystąpiło w 10-leciu 2001-2010 – aż 6 (tab. 4). Warto wspomnieć o lecie 2003, które było niezwykle ciepłe głównie w zachodniej Europie (Rebetez i in., 2009; Twardosz, Batko, 2012). W tym 10-leciu stwierdzono również NC zimę w 2007 r. i jesień w 2006 r. Najrzadziej NC porą roku była zima i jesień. NC zima wystąpiła tylko w 1990 i 2007 r. W wieloleciu najczęściej NC porą roku było lato – 9 razy oraz wiosna 6 razy (rys. 3, tab. 4).



Rys. 3. Przebieg wieloletni liczby pór roku niezwykle zimnych (NZ) i niezwykle ciepłych (NC) w kolejnych 10-leciach w Krakowie (1792-2015)

Fig. 3. Number of exceptionally cold (EC) and exceptionally warm (EW) seasons in successive decades of the study period in Krakow (1792-2015)

Tabela 4. Liczba pór roku niezwykle zimnych (NZ) i niezwykle ciepłych (NC) w kolejnych 10-leciach w Krakowie (1792-2015)

Table 4. Number of exceptionally cold (EC) and exceptionally warm (EW) seasons during successive decades in Krakow (1792-2015)

Okres period	NZ pory roku /EC seasons					NC pory roku / EW seasons				
	NZ EC	Zima Winter	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn	NC EW	Zima Winter	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn
1792-1800	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
1801-1810	-	-	-	-	-	2	-	-	2	-
1811-1820	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-
1821-1830	1	1	-	-	-	2	-	1	-	1
1831-1840	2	1	1	-	-	1	-	-	1	-
1841-1850	3	1	1	1	-	-	-	-	-	-
1851-1860	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1861-1870	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1871-1880	2	1	-	-	1	-	-	-	-	-
1881-1890	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1891-1900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1901-1910	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-
1911-1920	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
1921-1930	2	1	-	-	1	-	-	-	-	-
1931-1940	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
1941-1950	2	1	-	-	1	-	-	-	-	-
1951-1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1961-1970	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
1971-1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981-1990	-	-	-	-	-	2	1	1	-	-
1991-2000	-	-	-	-	-	3	-	1	1	1
2001-2010	-	-	-	-	-	6	1	2	2	1
2011-2015	-	-	-	-	-	3	-	1	2	-
1792-2015	18	9	2	1	6	20	2	6	9	3

Duże i długotrwałe anomalie termiczne

Największa anomalia ujemna w ciągu 224-lecia wystąpiła w grudniu 1829 r. ($\Delta t = -12,7^{\circ}\text{C}$). Średnia miesięczna temperatura wyniosła wtedy $-13,7^{\circ}\text{C}$ i była to najniższa wartość w całym badanym okresie. Był to też rok z najniższą średnią temperaturą powietrza ($5,3^{\circ}\text{C}$). Była to również jedyna wartość temperatury,

której odchylenie od średniej przekroczyło 4 odchylenia standardowe (tab. 5). Boryczka (2007) również stwierdził, że grudzień 1829 r. był najmroźniejszym miesiącem w Warszawie w latach 1779-1998.

W wieloleciu stwierdzono również NZM, w których wartości odchylenia temperatury przekroczyły 3 odchylenia standardowe. Były to: wrzesień 1912, luty 1929, marzec 1845 i listopad 1858 (tab. 5). W świetle badań Trepińskiej (1997) były to miesiące z najniższą średnią temperaturą powietrza w latach 1792-1996. Jak dowodzi wielu autorów, największe spadki temperatury powietrza występują przy napływie powietrza kontynentalnego ze wschodu i północo-wschodu, pochodzenia arktycznego lub kontynentalnego (m.in. Gumiński, 1931; Boryczka, Stopa-Boryczka, 2007).

NZM, w których stwierdzono największą anomalię ujemną temperatury powietrza (tab. 5), wystąpiły pojedynczo, a miesiące sąsiednie nie były NZM. O kategorii NZ pory roku w danym roku zadecydowały tylko 4 NZM: marzec 1845, wrzesień 1912, październik 1920 i luty 1929. Do bardzo mroźnych miesięcy należał też styczeń 1848 ($\Delta t = -9,5^{\circ}\text{C}$). Według Boryczki i Stopy-Boryczki (2007) styczeń ten był jednym z najmroźniejszych styczni nie tylko w Polsce, ale i w Europie. Chociaż w Krakowie średnia miesięczna temperatura w tym styczniu wyniosła $-12,4^{\circ}\text{C}$, to zima 1847/48 nie uzyskała kryterium NZ, ponieważ grudzień 1847 i luty 1848 były znacznie cieplejsze (odpowiednio $-3,3^{\circ}\text{C}$; $1,2^{\circ}\text{C}$).

Największą anomalię dodatnią temperatury powietrza stwierdzono w styczniu ($\Delta t = 7,5^{\circ}\text{C}$) w 2007 r. (tab. 5). W wieloleciu stwierdzono również NCM, w których odchylenie od średniej wieloletniej temperatury przekroczyło 3 odchylenia standardowe. Były to: kwiecień 1800, sierpień 1807 i czerwiec 1811 roku. Tak jak w przypadku NZM, według badań Trepińskiej (1997) były to miesiące z najwyższą średnią temperaturą powietrza w latach 1792-1996. Również w Warszawie czerwiec 1811 r. był NCM (Boryczka, Stopa-Boryczka, 2007). Według Boryczki i Stopy-Boryczki (2007) przyczyną utrzymywania się długotrwałych okresów z wysoką temperaturą jest adwekcja gorącego powietrza zwrotnikowego lub kontynentalnego z południa i południo-wschodu. Najmniejsza wartość anomalii dodatniej ($\Delta t = 3,9^{\circ}\text{C}$) wystąpiła we wrześniu 1824 r. (tab. 5).

Rozpatrzono również wielkość anomalii termicznej w porach roku (tab. 6). Zgodnie z oczekiwaniem największą anomalię ujemną stwierdzono w zimie 1829/30 r. ($\Delta t = -8,5^{\circ}\text{C}$), w tym również wyrażoną w wartościach względnych ($-3,5 \sigma$). Kategorię NZM tej zimy uzyskały grudzień ($\Delta t = -12,7^{\circ}\text{C}$) i styczeń ($\Delta t = -8,5^{\circ}\text{C}$) (tab. 5). Chociaż w lutym tej zimy wartość temperatury powietrza nie przekroczyła przyjętego kryterium statystycznego, to jednak osiągnęła wartość zdecydowanie poniżej średniej wieloletniej. Według Boryczki i Stopy-Boryczki (2007) również w Warszawie i we Wrocławiu była to najmroźniejsza zima w Polsce (1779-1998). W pozostałych porach roku o kategorii NZ zadecydował tylko jeden miesiąc. Wiosną 1840 r. wystąpiła druga z kolei najmniejsza anomalia ujemna

Tabela 5. Zakres wielkości anomalii średniej miesięcznej temperatury powietrza (Δt) w Krakowie (1792-2015); $t_{\text{śr}}$ – średnia miesięczna temperatura, σ – odchylenie standardoweTable 5. Scale of the anomaly of average monthly air temperature (Δt) in Krakow (1792-2015); t_{av} – average air temperature, σ – standard deviation

$t_{\text{śr}} / t_{\text{av}}$		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
		-2,9	-1,3	2,7	8,6	14,2	17,4	19,0	18,3	14,2	9,0	3,2	-1,0
NZM / ECM													
$-\Delta t$	°C	-9,5	-11,9	-7,9	-5,2	-5,2	-4,1	-3,9	-3,5	-4,9	-4,6	-6,4	-12,7
	σ	-2,6	-3,6	-3,1	-2,6	-2,8	-2,8	-2,7	-2,3	-3,3	-2,6	-3,0	-4,1
	Rok Year	1848	1929	1845	1817	1864	1923	1832	1852	1912	1920	1858	1829
NCM / EWM													
Δt	°C	7,5	6,9	5,2	6,3	4,0	5,2	4,7	5,8	3,9	4,4	6,2	6,3
	σ	2,1	2,1	2,0	3,1	2,2	3,6	3,2	3,8	2,7	2,5	2,8	2,0
	Rok Year	2007	1990	2014	1800	1795	1811	2006	1807	1824	2000	1926	2015

($\Delta t = -3,5^{\circ}\text{C}$) i tylko marzec ($\Delta t = -5,5^{\circ}\text{C}$) uzyskał kategorię NZM. W jesieni 1912 r. anomalia ujemna wyniosła $\Delta t = -3,3^{\circ}\text{C}$ i kategorię NZM uzyskał tylko wrzesień ($\Delta t = -4,9^{\circ}\text{C}$). Natomiast w lecie 1844 r. kategorię NZM uzyskał tylko lipiec ($\Delta t = -3,7^{\circ}\text{C}$), przez co wartość anomalii ujemnej Δt wyniosła $-2,3^{\circ}\text{C}$ (tab. 6).

Największa dodatnia anomalia wystąpiła w zimie 2006/07 r. ($\Delta t = 5,5^{\circ}\text{C}$). O kategorii termicznej tej zimy zdecydował NC styczeń 2007 ($\Delta t = 7,5^{\circ}\text{C}$), chociaż średnia temperatura w grudniu i lutym była również wysoka, lecz poniżej przyjętego kryterium. Druga pod względem wartości anomalia dodatnia wystąpiła już we wspomnianym lecie 1811 r. ($\Delta t = 3,5^{\circ}\text{C}$) (tab. 6). Kategorię NCM uzyskał czerwiec i lipiec (odpowiednio $\Delta t = 5,2^{\circ}\text{C}$, $\Delta t = 3,4^{\circ}\text{C}$). Mniejsza wartość anomalii dodatniej wyniosła $\Delta t = 3,4^{\circ}\text{C}$; $\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$ i wystąpiła odpowiednio wiosną 2007 i jesienią 2006. W przypadku obu tych pór roku żaden miesiąc nie uzyskał kategorii NCM.

Miesiące anomalne pod względem termicznym występowały najczęściej pojedynczo, ale też zdarzały się w ciągach 2-, a nawet 3-miesięcznych. NZM utworzyły 3 ciągi 2-miesięczne: styczeń i luty 1940, listopad i grudzień 1829 oraz luty i marzec 1875. Na szczególną uwagę zasługuje długotrwałe utrzymywanie się gorąca w 1811 roku. Przez 4 miesiące (od maja do sierpnia) odchylenie średniej temperatury przekroczyło 2-krotność odchylenia standardowego. Ponadto NCM utworzyły 2 ciągi 2-miesięczne: październik i listopad 2000 oraz lipiec i sierpień 2015. Anomalnie ciepłe okazały się także dwie kolejne pory roku – wiosna i lato 2007.

Tabela 6. Zakres wielkości anomalii średniej temperatury powietrza (Δt) w porach roku w Krakowie (1792-2015)); t_{sr} – średnia sezonowa temperatura, σ – odchylenie standardowe

Table 6. Scale of the anomaly of the average air temperature (Δt) per season in Krakow (1792-2015); t_{av} – average air temperature, σ – standard deviation

t_{sr} / t_{av}		Zima Winter	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Rok Year
		-1,8	8,5	18,2	8,8	8,4
NZ / EC						
- Δt	°C	-8,5	-3,5	-2,3	-3,3	-3,1
	σ	-3,5	-2,4	-2,1	-2,8	-2,9
	Rok Year	1829/30	1840	1844	1912	1829
NC / EW						
Δt	°C	5,5	3,4	3,5	3,0	2,9
	σ	2,3	2,3	3,1	2,6	2,6
	Rok Year	2006/07	2007	1811	2006	2015

Podsumowanie i wnioski

W Krakowie w ciągu 224 lat stwierdzono 109 anomalnych pod względem termicznym miesięcy, w tym 71 niezwykle zimnych (NZM) i 38 niezwykle ciepłych (NCM). Przewaga liczby NZM nad NCM jest spowodowana napływem arktycznych mas powietrza nad Polskę i jest cechą charakterystyczną dla klimatu umiarkowanego, co zostało udokumentowane w wielu wcześniejszych badaniach. Najwięcej NZM było w zimie – po 10 razy każdy miesiąc, co stanowi 42% wszystkich NZM.

Najwięcej NZM stwierdzono w 10-leciu 1871-1880 (11). Wystąpiły również 10-lecia, w których nie było NZM: 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 i 2001-2010. Spośród 38 NCM najwięcej wystąpiło w ostatnich 10-leciach 1991-2000 i 2001-2010 – po 6. Najczęściej NCM pojawiały się w lecie 14 (37%).

Stwierdzono 18 NZ pór roku i 20 NC pór roku. Mniejsza częstość NZ pór roku wynika z tego, że miesiące, które uzyskały kryterium NZM, występowały pojedynczo, a miesiące sąsiednie charakteryzowały się znacznie wyższą temperaturą powietrza, zatem pora roku nie uzyskała kryterium NZ.

Najwięcej NZ pór roku wystąpiło w 10-leciu 1841-1850 (3), natomiast od 1971 r. nie było już ani jednej. Najczęściej NZ porą roku była zima (9) i jesień (6), znacznie rzadziej wiosna, zaledwie 2 razy (1840, 1845), i tylko jeden raz lato (1844). Najwięcej NC pór roku wystąpiło w 10-leciu 2001-2010, aż 6. Najrzadziej NC porą roku była zima i jesień. W wieloleciu najczęściej NC porą roku było lato

– 9 razy oraz wiosna 6 razy. Zwrócono uwagę na spadek liczby NZM i wzrost NCM, co jest wynikiem nie tylko cyrkulacji atmosfery, ale również jest związane z rozwojem aglomeracji miejskiej i wpływem antropogenicznym.

Ujemne anomalie temperatury osiągały skrajnie większe wartości niż anomalie dodatnie. Największa anomalia ujemna ($\Delta t = -12,7^{\circ}\text{C}$) wystąpiła w grudniu 1829 r., a dodatnia ($\Delta t = 7,5^{\circ}\text{C}$) w styczniu w 2007 r. W przypadku pór roku największą wartość anomalii zarówno ujemnej, jak i dodatniej stwierdzono w zimie (odpowiednio $\Delta t = -8,5^{\circ}\text{C}$ w 1829/30 r. i $\Delta t = 5,5^{\circ}\text{C}$ w 2006/07 r.).

Miesiące anomalne pod względem termicznym występowały najczęściej pojedynczo, ale też zdarzały się w ciągach 2- a nawet 3-miesięcznych. NZM utworzyły 3 ciągi 2-miesięczne, a NCM 2 ciągi 2-miesięczne. Anomalnie ciepłe okazały się także dwie kolejne pory roku – wiosna i lato 2007.

Niezwykłe zimne i niezwykle ciepłe miesiące są traktowane w kategorii zjawisk ekstremalnych. Występują coraz rzadziej, ale zasługują na dużą uwagę, ze względu na skutki, jakie ze sobą niosą.

Materiały wpłynęły do redakcji 7 VII 2016.

Literatura

- Barriopedro D., Fischer E.M., Luterbacher J., Trigo R.M., García-Herrera R., 2011, *The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe*. Science 332, 6026, 220-224.
- Black E., Sutton R., 2007, *The influence of oceanic conditions on the hot European summer of 2003*. Climate Dynamic 28, 1, 53-66.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2007, *Okresowe wahania temperatury powietrza w Europie w XIX-XXI wieku i ich przyczyny*. [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.) *Wahania klimatu w Krakowie w różnych skalach czasowych i przestrzennych*, IGI GP UJ, Kraków, 163-173.
- Drużkowski M., 1992, *Wpływ ukształtowania terenu i miejskiej wyspy ciepła na stosunki termiczne Krakowa i okolic*. Folia Geogr., series Geographica Physica, 23, 55-63.
- Filipiuk E., Kaszewski B.M., 2000, *Hot and cold summers in Central Europe (1871-1990)*. Prz. Geogr., 108, 148-15.
- Gumiński R., 1931, *Zima 1928/29 w Polsce*. Prz. Geogr., 11, 119-127.
- Hess M., 1967, *O stosunkach termicznych Krakowa*. Prz. Geof., 12, 3-4, 311-330.
- Hess M., 1968, *Klimat terytorium miasta Krakowa*. Folia Geogr., series Geographica Physica 1, 35-95.
- Hurst G.W., Lenz Y., 1964, *Earth temperature changes in Winter 1962-63*. Weather, 19, 124-128.
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Kossowska-Cezak U., 1993, *Lato 1992 w Polsce na tle sezonów letnich ostatnich 120 lat*. Prz. Geof., 38, 1, 67-74.
- Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2012, *Niezwykłe gorące miesiące i sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010), Część I, Niezwykłe gorące miesiące letnie*. Prz. Geof., 57, 3-4, 299-324.
- Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2012, *Niezwykłe gorące miesiące i sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010), Część II, Niezwykłe gorące miesiące letnie*. Prz. Geof., 57, 3-4, 325-342.

- Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2013, *Niezwykłe chłodne sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010)*. Prz. Geof., 58, 1-2, 25-39.
- Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2015, *Exceptionally hot and cold summers in Europe (1951-2010)*. Acta Geophysica, 63, 1, 275-300.
- Kotas P., Twardosz R., 2012, *Zmienność wieloletnia długotrwałości występowania mas powietrznych w Polsce Południowej*, [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasza, A. Widawski (red.) *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*. Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, UŚ, Sosnowiec, 361-372.
- Lewińska J., 1996, *Geneza i rozwój miejskiej wyspy ciepła w Krakowie oraz możliwość jej minimalizacji*. Folia Geogr. series Geographica Physica, 26-27, (1994/1995), UJ, 75-87.
- Lorenc H., 2000, *Studia nad 220-letnią (1779-1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wiekowych tendencji*. Mat. Bad. IMGW, seria Meteorologia, 31, 59-86.
- Morawska-Horawska M., 1991, *Fale ciepła i chłodu w Krakowie w stuleciu 1881-1980*. Wiadomości IMGW, 14, 1-4, 127-136.
- Niedźwiedz T., 2003, *Częstość występowania mas powietrznych w Polsce Południowej w drugiej połowie XX wieku*. Pr. Geogr., 188, 65-74.
- Obrębska-Starkłowa B., 1997, *Współczesne poglądy na zmiany klimatyczne w Europie w okresie schyłku małego glacjału*, [w:] J. Trepińska (red.), *Wahania klimatu w Krakowie (1792-1995)*. IGIgP UJ, Kraków, 163-190.
- Palarz A., 2014, *Zmienność inwersji temperatury powietrza nad Krakowem w świetle warunków cyrkulacyjnych*. Pr. Geogr., 138, IGIgP UJ, Kraków, 29-43.
- Piervitali, E., Conte M., Colacino M., 1997, *Summer air temperature anomalies in Europe during the century 1811-1910*. Nuovo Cimento C 20, 2, 195-208.
- Piotrowicz K., 1988, *Wieloletnie zróżnicowanie liczby dni mroźnych i bardzo mroźnych w Krakowie i Pradze*. Acta Universitas Lodziensis, Folia Geographica Physica 3, 221-229.
- Piotrowicz K., 2007, *Temperatura powietrza*, [w:] D. Matuszko (red.), *Klimat Krakowa w XX wieku*. IGIgP UJ, Kraków, 99-100.
- Rebetez M., Dupont O., Giroud M., 2009, *An analysis of the July 2006 heatwave extent in Europe compared to the record year of 2003*. Theor. App. Clim., 95, 1-7.
- Trepińska J., 1976, *Mild Winters in Cracow against the background of the contemporary circulation processes*. Geogr. Pol., 33, 97-105.
- Trepińska J., 1988, *Wieloletni przebieg ciśnienia i temperatury powietrza w Krakowie na tle ich zmienności w Europie*. UJ, Rozprawy Habilitacyjne, 140, Kraków, ss. 169.
- Trepińska J., 1994, *Wahania termiczne w Polsce i w Europie – od małego glacjału do współczesnego ocieplenia*. Sylwan, 138, 23-32.
- Trepińska J., 1997, *Ekstremalne średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w Krakowie (1972-2006)*, [w:] *Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne*. Sympozjum jubileuszowe PTGeof., Warszawa, 158-160.
- Trepińska J., 2003, *Hot summer seasons in Cracow during the 20th century*. Acta Universitatis Wratislaviensis, 2542, Studia Geograficzne, 75, 151-157.
- Twardosz R., Niedźwiedz T., Łupikasza E., 2011, *Zmienność i uwarunkowania cyrkulacyjne występowania postaci i typów opadów atmosferycznych na przykładzie Krakowa*. Wyd. UJ, Kraków, 120-133.
- Twardosz R., Bałko A., 2012, *Heat waves in Central Europe (1991-2006)*. Int. Journal of Global Warming 4, 3-4, 261-272.
- Ustrnul Z., 1997, *Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku*. Mat. Bad. IMGW, seria Meteorologia, 27.
- Zveryaev I.I., 2007, *Climatology and Long-Term Variability of the Annual Cycle of Air Temperature over Europe*. Russian Meteorology and Hydrology, 32 (7), 426-430.

Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienie niezwykle zimnych miesięcy (NZM) i niezwykle ciepłych miesięcy (NCM) i pór roku w Krakowie – zjawiska rzadkiego, ale wywołującego wiele negatywnych skutków w rolnictwie czy gospodarce. Scharakteryzowano przebieg roczny i wieloletni ich częstości oraz wielkość anomalii (1792-2015). Badania oparto na wartościach średnich miesięcznych temperatury powietrza. Za NZM przyjęto te, w których średnia temperatura powietrza była niższa od średniej z 224-lecia przynajmniej o 2 odchylenia standardowe ($t \leq t_{sr} - 2\sigma$) oraz wyższa o przynajmniej o 2 odchylenia standardowe ($t \geq t_{sr} + 2\sigma$) w przypadku NCM. W Krakowie w ciągu 224 lat stwierdzono 109 anomalnych pod względem termicznym miesięcy, w tym 71 niezwykle zimnych (NZM) i 38 niezwykle ciepłych (NCM). NZM najczęściej występowały zimą, NCM natomiast latem. Najwięcej NZM stwierdzono w 10-leciu 1871-1880, aż 11, a najwięcej NCM w 10-leciu 1991-2000 – 6. NZ pór roku stwierdzono w przeciwieństwie do NCM mniej – 18, natomiast NC pór roku więcej – 20. Największa anomalia ujemna ($\Delta t = -12,7^\circ\text{C}$) wystąpiła w grudniu 1829 r., a dodatnia w styczniu ($\Delta t = 7,5^\circ\text{C}$) w 2007 r. W wielu przypadkach o kategorii NZ lub NC pory roku zadecydował tylko jeden NZM lub NCM. Współczesne ocieplenie przejawia się wzrostem liczby NCM (głównie wiosną i latem), a spadkiem NZM (głównie zimą).

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, niezwykle zimne miesiące, niezwykle ciepłe miesiące, Kraków

Summary

The paper probes exceptionally cold and exceptionally warm months and seasons in Krakow, a phenomenon both rare and potentially damaging to a range of economic activities. The study identified their annual and long-term frequencies, as well as the scale of the anomalies involved during the period 1792-2015. Average monthly air temperature records were taken into account. A month qualified as exceptionally cold (ECM) or warm (EWM) when its average temperature varied from the 224-year average by at least two standard deviations one way or another ($t \leq t_{av} - 2\sigma$; $t \geq t_{av} + 2\sigma$). During the study period, 109 such anomalous months were identified including 71 exceptionally cold months (ECMs) and 38 exceptionally warm ones (EWMs). ECMs were the most frequent in winter while EWMs were most frequent in summer. The decade with the largest number of 11 ECMs was 1871-1880 and the one with the most EWMs, i.e. 6, was 1991-2000. An opposite pattern was identified with exceptional seasons, as there were more warm ones, at 20, than cold ones at 18. The greatest negative anomaly ($\Delta t = -12.7^\circ\text{C}$) was recorded in December 1829 and the highest positive one was recorded in January 2007 ($\Delta t = 7.5^\circ\text{C}$). Many of the cold or warm seasons only contained a single ECM or EWM. The current climate warming is manifesting itself with an increasing frequency of EWMs (mainly in spring and summer) and decline in ECMs (mainly in winter).

Key words: air temperature, exceptionally cold months, exceptionally warm months, Krakow

Magdalena Michalik
Zakład Klimatologii
Uniwersytet Jagielloński
magdalena_michalik@o2.pl