

Arkadiusz M. Tomczyk, Dominika Jasik

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań;
e-mail: atomczyk@amu.edu.pl, dominikajasik9@wp.pl

WARUNKI TERMICZNE W POCZDAMIE W LATACH 1896–2015

Томчик А. М., Ясик Д. **Термические условия в г. Потсдам (Германия) в 1896–2015 гг.** Цель исследований – анализ термических условий и их изменений в г. Потсдам за последние 120 лет. Основой работы были данные, полученные из баз данных Deutscher Wetterdienst за период 1896–2016. На основе вышеуказанных данных была определена средняя температура воздуха в конкретные годы, месяцы, времена года. На очередном этапе отмеченные периоды были разделены по термическим свойствам на 5 классов (очень теплый, теплый, нормальный, прохладный, холодный). В исследуемый период был обнаружен статистически существенный рост средней годовой температуры воздуха, а также средней весенней, летней и осенней температур. В последние годы наблюдается рост числа лет, относимых к теплым или очень теплым.

Tomczyk A. M., Jasik D. **Thermal conditions in Potsdam between 1896 and 2015.** The article aimed at analysing the thermal conditions and their fluctuations in Potsdam during the last 120 years. The article was based on the data obtained from the database of Deutscher Wetterdienst for the period of 1896–2016. The data were used to calculate the mean air temperature in the particular years, months and seasons. In the next stage of the analysis, the above-mentioned periods were classified into 5 classes with regard to thermal conditions (very hot, hot, normal, cold, very cold). In the analysed multiannual period, there was a statistically significant increase in the mean annual air temperature, as well as, mean temperature in spring, summer and autumn observed. In recent years, there was an increase in a number of years classified as hot or very hot recognised.

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, trend liniowy temperatury, klasyfikacja termiczna, zmienność termiczna, Poczdam

Ключевые слова: температура воздуха, линейный тренд температуры, термическая классификация, изменчивость климата, Потсдам

Key words: air temperature, linear trend of temperature, thermal classification, climate variability, Potsdam

Zarys treści

Celem niniejszej pracy jest analiza warunków termicznych oraz ich zmienności w Poczdamie w okresie ostatnich 120 lat. Podstawą pracy były dane pozyskane z baz danych Deutscher Wetterdienst dla lat 1896–2016. Na podstawie powyższych danych obliczono średnią temperaturę powietrza w poszczególnych latach, miesiącach i porach roku. W kolejnym etapie powyższe okresy podzielono pod względem termicznym na 5 klas (bardzo ciepła, ciepła, normalna, chłodna, bardzo chłodna). W badanym wieloletniu stwierdzono statystycznie istotny wzrost średniej rocznej temperatury powietrza, a także średniej temperatury wiosną, latem i jesienią. W ostatnich latach zaobserwowano wzrost liczby lat uznanych za ciepłe i bardzo ciepłe.

WSTĘP

Według autorów Piątego Raportu IPCC (2013), wzrost średniej globalnej temperatury powierzchni Ziemi

w latach 1880–2012 wyniósł 0,85°C, a pierwszą dekadę XXI uznaje się za najcieplejszą od momentu rozpoczęcia pomiarów instrumentalnych. Prowadzone dotychczas badania warunków termicznych w różnych regionach Europy jednoznacznie wskazują na wzrost temperatury powietrza, który nasila się w szczególności od ostatniej dekady XX wieku (BRÁZDIL i in., 1996; WIBIG, GŁOWICKI, 2002; KLEIN TANK, KÖNNEN, 2003; KÜRBIS i in., 2009; NORDLI i in., 2014; WÓJCIK, MIĘTUS, 2014; MIGAŁA, URBAN, TOMCZYŃSKI, 2015). Przejawem obserwowanych zmian jest m. in. skracanie długości termicznej zimy i wydłużanie termicznego lata (SZYGA-PLUTA, 2011; TOMCZYK, 2013), a także wydłużanie okresu wegetacyjnego (MENZEL, FABIAN, 1999; SKOWERA, KOPEĆ, 2008; LINDERHOLM i in., 2008; NIERÓBCA i in., 2013; TYLKOWSKI, 2015; TOMCZYK, SZYGA-PLUTA, 2016). Konsekwencją zmian klimatu jest również coraz częstsze występowanie zjawisk ekstremalnych, m. in. takich jak upały (SHEVCHENKO i in., 2014; UNKAŠEVIĆ, TOŠIĆ, 2015; TOMCZYK, BEDNORZ, 2016).

Celem niniejszej pracy jest analiza warunków termicznych oraz ich zmiany w Poczdamie w okresie ostatnich 120 lat.

DANE I METODY

W niniejszej pracy wykorzystano dobowe wartości średniej temperatury powietrza dla stacji w Poczdamie w okresie 1896–2016. Dane pozyskano z ogólnodostępnych baz danych Deutscher Wetterdienst (www.dwd.de).

Na podstawie powyższych danych, wyliczono średnią temperaturę powietrza dla poszczególnych lat, miesięcy oraz pór roku. Następnie dla wyznaczonych charakterystyk klimatologicznych określono trendy zmian w wieloleciu oraz określono ich istotność statystyczną ($p \leq 0,05$). Anomalie średniej temperatury powietrza wyliczono jako różnicę między średnią temperaturą powietrza w danym roku, miesiącu i porze roku, a średnią dla powyższych okresów – w wieloleciu. W kolejnym etapie przeprowadzono klasyfikację termiczną lat, miesięcy i pór roku na podstawie metody zaproponowanej przez LORENC (1994, 2000), zmodyfikowanej przez MIGALE i in. (2015). W metodzie tej ocena warunków termicznych dokonywana jest na podstawie porównania pomiędzy średnią temperaturą powietrza w danym okresie a średnią dla tego okresu w badanym wieloleciu, powiększoną lub pomniejszoną o wielokrotność odchylenia standardowego. W klasyfikacji tej wyróżniono pięć klas: bardzo ciepła: $t > T + 1,5\sigma$; ciepła: $T + 1,5\sigma \geq t > T + 0,5\sigma$; normalna: $T + 0,5\sigma \geq t \geq T - 0,5\sigma$; chłodna: $T - 0,5\sigma > t \geq T - 1,5\sigma$; bardzo chłodna: $t < T - 1,5\sigma$.

WYNIKI

Rok

Średnia roczna temperatura powietrza w Poczdamie w latach 1896–2015 wynosiła 8,8°C. W poszczególnych latach wahała się ona od 6,6°C w 1940 roku do 10,9°C w 2014 roku (rys. 1A). Równie wysoką średnią roczną temperaturę powietrza odnotowano w latach: 2015 (10,7°C), 2007 (10,5°C), 1934 (10,4°C), 2000 (10,4°C), 1999 (10,2°C), 2008 (10,2°C), 2006 (10,1°C), 2011 (10,1°C), 1989 (10°C), 1990 (10°C). W poszczególnych 10-leciach średnia temperatura powietrza zmieniła się od 8,3°C (1896–1905) do 9,9°C (2006–2015) (tab. 1). Na rys. 1B przedstawiono przebieg anomalii średniej temperatury powietrza wraz z 5-letnią średnią ruchomą, na której podstawie można wyróżnić na przemian występujące okresy chłodniejsze oraz cieplejsze. Kilkuletnie okresy cieplejsze ze średnią temperaturą powietrza powyżej średniej wieloletniej no-

towano w pierwszej połowie lat 30. XX wieku, od połowy lat 40. do połowy lat 50. XX wieku oraz w drugiej połowie lat 70. XX wieku. Obecnie obserwowany wzrost notowany jest od początku lat 90. XX wieku: w tym okresie wystąpiły tylko dwa lata z ujemnymi anomaliami (rok 1996 i 2010). Spośród 120 lat, zgodnie z przyjętą klasyfikacją, wydzielono 7 lat bardzo ciepłych (w tym 6 od 1999 roku), 32 lata ciepłe, 46 lat normalnych, 28 lat chłodnych oraz 7 lat bardzo chłodnych (po raz ostatni w roku 1996) (rys. 1C). W badanym wieloleciu stwierdzono statystycznie istotny wzrost średniej temperatury powietrza, który wynosił 0,11°C na 10 lat. Na powyższe zmiany znaczący wpływ miał wzrost średniej temperatury powietrza od początku XXI wieku, kiedy to na ogół przewyższała ona średnią z wielolecia 1896–2015, a poszczególne lata (poza rokiem 2010) były klasyfikowane jako ciepłe i bardzo ciepłe.

Tabela 1. Średnia temperatura powietrza (°C) w poszczególnych 10-leciach

Таблица 1. Средняя температура воздуха (°C) в отдельные десятилетия

Table 1. The mean air temperature (°C) in the particular decades

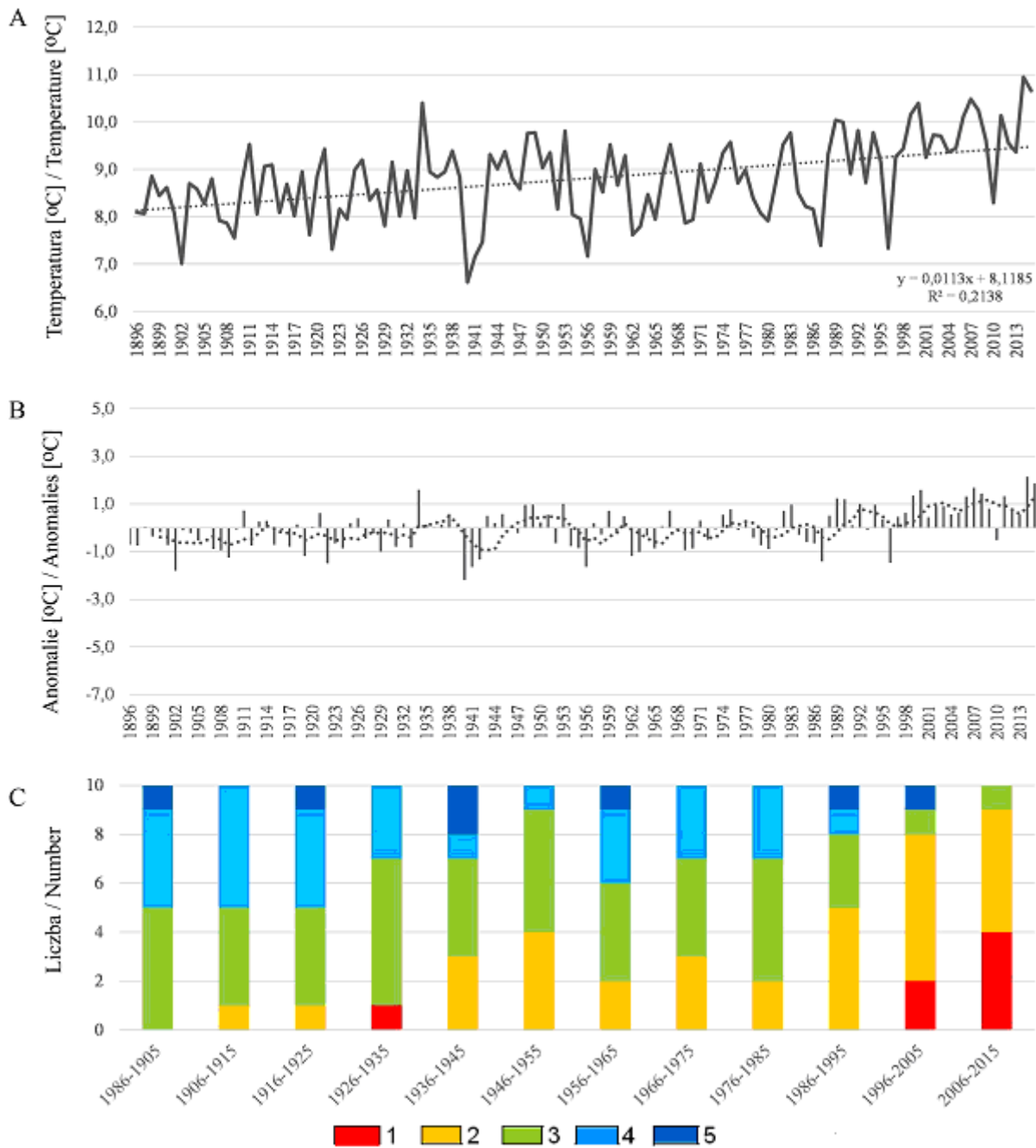
Lata	Rok	Wiosna	Lato	Jesień	Zima
1896–1905	8,3	7,7	16,9	8,2	0,4
1906–1915	8,5	8,2	16,8	8,3	0,6
1916–1925	8,4	8,6	16,6	8,1	0,3
1926–1935	8,7	8,1	17,5	9,4	-0,1
1936–1945	8,5	8,2	17,7	8,9	-0,9
1946–1955	8,9	8,8	17,7	9,3	-0,5
1956–1965	8,4	8,0	17,0	9,1	-0,2
1966–1975	8,8	8,2	17,7	9,1	0,3
1976–1985	8,7	8,4	17,3	9,2	-0,5
1986–1995	9,1	9,0	17,6	8,9	1,1
1996–2005	9,4	9,3	18,0	9,3	1,0
2006–2015	9,9	9,8	18,7	10,0	1,5

Wiosna

Średnia temperatura powietrza wiosną w Poczdamie w latach 1896–2015 wynosiła 8,5°C i zmieniała się od 6,1°C w 1941 i 1955 roku do 11,7°C w 2007 roku (rys. 2A). Średnia temperatura powietrza w poszczególnych 10-leciach zmieniła się od 7,7°C (1896–1905) do 9,8°C (2006–2015) (tab. 1). W badanych latach okresy z cieplejszą wiosną, a więc z dodatnimi anomaliami temperatury powietrza, można wyróżnić w pierwszej połowie lat 20. XX wieku, w drugiej połowie lat 30. XX wieku, na przełomie lat 40. i 50. XX wieku, w połowie lat 80. XX wieku oraz od początku lat 90. XX wieku do chwili obecnej (rys. 2B). W rozpatry-

wanych latach wyróżniono 9 sezonów bardzo ciepłych, z czego 5 odnotowano w ostatnim 10-leciu (2006–2015) oraz 8 sezonów bardzo chłodnych, spośród których ostatni miał miejsce w roku 1987. W os-

tatnim 40-leciu zaobserwowano wzrost liczby sezonów ciepłych i bardzo ciepłych oraz spadek liczby sezonów chłodnych i bardzo chłodnych (rys. 2C).



Rys. 1. A: średnia roczna temperatura powietrza, B: anomalie temperatury powietrza wraz ze średnią ruchomą (5-letnią), C: klasyfikacja termiczna sezonu (liczba lat z poszczególnymi klasami termicznymi w 10-letniach: 1 – bardzo ciepły, 2 – ciepły, 3 – normalny, 4 – chłodny, 5 – bardzo chłodny)

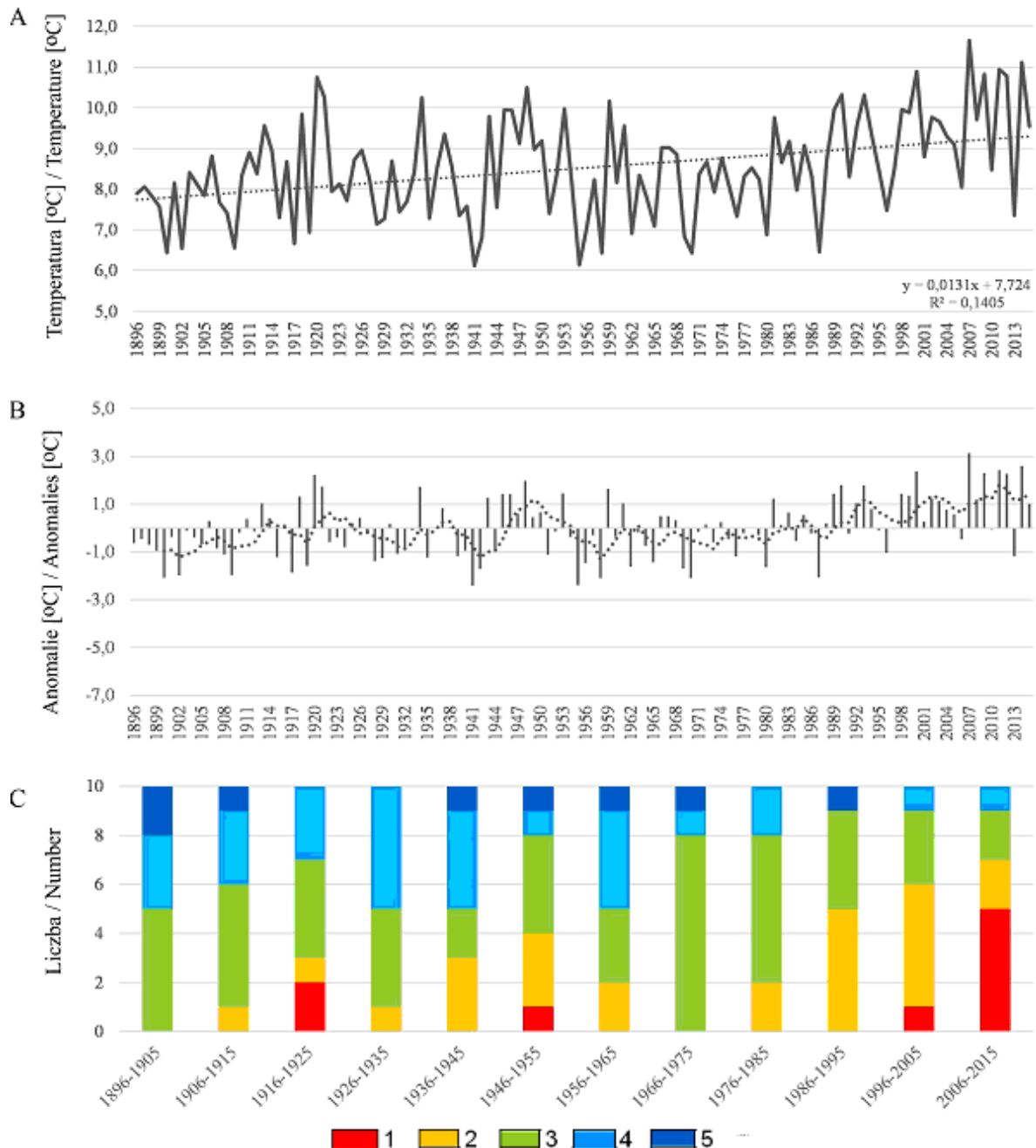
Рис. 1. A: средняя годовая температура воздуха, B: аномальные температуры воздуха и скользящая средняя (5-летняя), C: термическая классификация сезона (число лет термических классов за последние 10-летия: 1 – очень теплый, 2 – теплый, 3 – нормальный, 4 – прохладный, 5 – холодный)

Fig. 1. A: the mean annual air temperature, B: air temperature anomalies together with moving average (5-year), C: season thermal classification (number of years with individual thermal classes in the decades: 1 – very hot, 2 – hot, 3 – normal, 4 – cold, 5 – very cold)

W badanym wieloleciu stwierdzono statystycznie istotny wzrost średniej temperatury powietrza, który wyniósł 0,13°C/10 lat.

Średnia temperatura powietrza w poszczególnych miesiącach sezonu wiosennego wynosiła – odpowiednio: w marcu 3,8°C, kwietniu 8,4°C i w maju 13,4°C.

Najmniejszym zakresem wahań temperatury powietrza odznaczał się maj (7,1°C), a największym – marzec (8,8°C). W każdym miesiącu wiosennym stwierdzono wzrost średniej temperatury powietrza, lecz zmiany statystycznie istotne – w kwietniu (0,19/10 lat) oraz w maju (0,11/10 lat).



Rys. 2. A: średnia temperatura powietrza wiosną, B: anomalie temperatury powietrza wiosną wraz ze średnią ruchomą (5-letnią), C: klasyfikacja termiczna sezonu (liczba lat z poszczególnymi klasami termicznymi w 10-letniach:

1 – bardzo ciepły, 2 – ciepły, 3 – normalny, 4 – chłodny, 5 – bardzo chłodny)

Рис. 2. А: средняя температура воздуха весной, В: аномальные температуры воздуха весной и скользящая средняя (5-летняя), С: термическая классификация сезона (число лет термических классов за последние 10-летия:

1 – очень теплый, 2 – теплый, 3 – нормальный, 4 – прохладный, 5 – холодный)

Fig. 2. A: the mean air temperature in spring, B: air temperature anomalies in spring together with moving average (5-year), C: season thermal classification (number of years with individual thermal classes in the decades:

1 – very hot, 2 – hot, 3 – normal, 4 – cold, 5 – very cold)

Lato

W latach 1896–2015 średnia temperatura powietrza w Poczdamie wynosiła latem 17,5°C. Najchłodniejszy sezon odnotowano w 1907 roku (15,2°C), a najcieplejszy – w 2003 roku (20,1°C) (rys. 3A). Średnia temperatura powietrza w poszczególnych 10-letniach zmieniała się od 16,6°C (1916–1925) do 18,7°C (2006–2015) (tab. 1). W analizowanych latach można wyróżnić trzy okresy wyraźne cieplejsze: od lat 30. do początku lat 50. XX wieku, przełom lat 60. i 70. XX w. oraz obecnie obserwowane ocieplenie, które rozpoczęło się z początkiem lat 90. XX wieku (rys. 3B). W XXI stuleciu temperatura powietrza była średnio wyższa od średniej wieloletniej o około 1°C. W latach 1896–1905 nie odnotowano ani jednego sezonu ciepłego i bardzo ciepłego, natomiast w latach 2006–2015 – ani jednego sezonu chłodnego i bardzo chłodnego.

W badanym okresie stwierdzono 8 sezonów bardzo ciepłych, z czego połowa wystąpiła w ostatnim 10-leciu (rys. 3C). Z kolei z 8 sezonów bardzo chłodnych, ostatni miał miejsce, podobnie jak w przypadku wiosny, w 1987 roku. W analizowanym 120-leciu tempo wzrostu średniej temperatury powietrza wynosiło 0,13°C na 10 lat. Zaobserwowane zmiany były istotne statystycznie.

Spośród miesięcy letnich najchłodniejszy był czerwiec (16,5°C), a najcieplejszy – lipiec (18,3°C). Z kolei najmniejszym zakresem wahań średniej temperatury powietrza charakteryzował się sierpień (7,4°C), a największym – lipiec (9,2°C). W każdym miesiącu letnim stwierdzono wzrost średniej temperatury powietrza, lecz zmiany istotne statystycznie stwierdzono tylko w lipcu (0,13/10 lat) oraz sierpniu (0,19/10 lat).

Jesień

Średnia temperatura powietrza jesienią w Poczdamie w badanym okresie wynosiła 9°C i zmieniała się od 6,3°C w 1912 i 1922 roku do 12,5°C w 2006 roku (rys. 4A). W poszczególnych 10-letniach średnia temperatura powietrza wahała się od 8,1°C (1916–1925) do 10°C (2006–2015). W analizowanym wieloleciu można wyróżnić kilka cieplejszych okresów: od połowy lat 20. do początku lat 40. XX wieku, od połowy lat 40. do początku lat 70. XX wieku, od początku lat 80. do początku lat 90. XX wieku oraz od początku XXI w. (rys. 4B). Podobnie jak w przypadku sezonu letniego, w latach 1896–1905 nie odnotowano ani jednego sezonu ciepłego i bardzo ciepłego. Z kolei w latach 1976–1985 i 2006–2015 nie wystąpił ani jeden sezon chłodny i bardzo chłodny. W rozpatrywanym wieloleciu odnotowano 4 sezony bardzo ciepłe (w tym 2 w ostatnim 10-leciu) oraz 9 bardzo chłodnych, z cze-

go ostatni stwierdzono w 1993 roku (rys. 4C). W badanym wieloleciu istotny statystycznie wzrost średniej temperatury powietrza wyniósł 0,12°C na 10 lat.

Średnia temperatura powietrza w poszczególnych miesiącach jesieni wynosiła: we wrześniu – 13,9°C, październiku – 9°C i w listopadzie – 4,1°C. Najmniejszy zakres wahań średniej temperatury powietrza notowano w październiku (7,7°C), a największy w – listopadzie (8,5°C). W każdym miesiącu analizowanej pory roku stwierdzono istotny statystycznie wzrost średniej temperatury powietrza: we wrześniu i październiku – 0,10°C/10 lat, a w listopadzie – 0,14°C/10 lat.

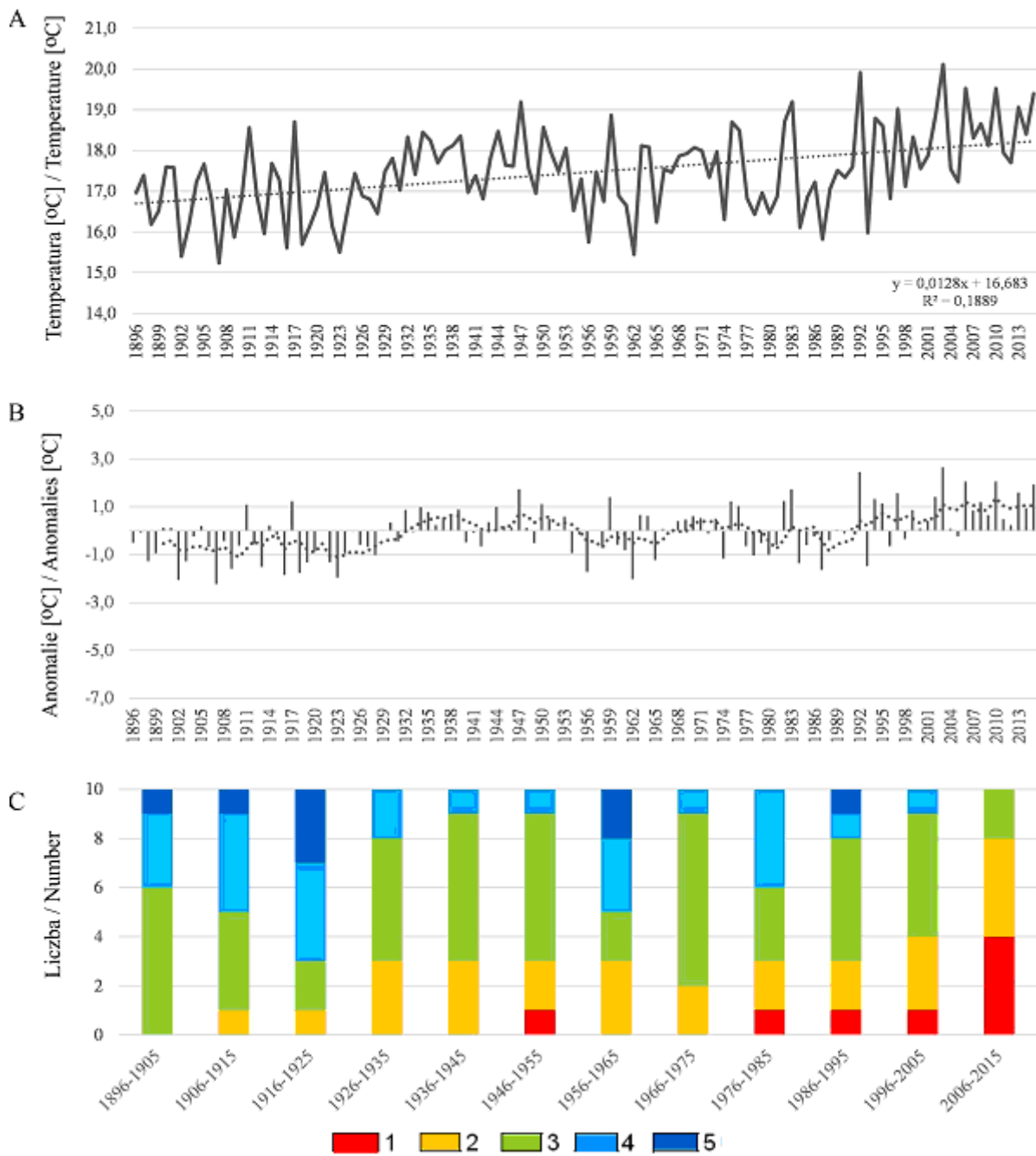
Zima

Zimą średnia temperatura powietrza w Poczdamie w latach 1896/1897–2015/2016 wynosiła 0,3°C. Najchłodniejszy sezon wystąpił w latach 1939/1940 (-6,3°C), a najcieplejszy – w 2006/2007 (4,6°C) (rys. 5A). Średnia temperatura powietrza w poszczególnych 10-letniach zmieniała się od -0,9°C (1936/1937–1945/1946) do 1,5°C (2006/2007–2015/2016) (tab. 1). W badanym okresie warunki termiczne sezonu zimowego charakteryzowały się dużą zmiennością, a dłuższe okresy z dodatnimi anomaliami można wyróżnić od początku lat 10. do początku lat 20. XX wieku, w pierwszej połowie lat 30. XX wieku, w połowie lat 70. XX w. oraz od końca lat 80. XX stulecia (rys. 5B). W XXI wieku nieco chłodniejszy był koniec pierwszej dekady. W rozpatrywanym 120-leciu odnotowano 9 sezonów bardzo chłodnych, z czego najwięcej – aż 3 – w latach 1936/1937–1945/1946, sezony bardzo ciepłe natomiast notowano tylko 3-krotnie (rys. 5C). Tempo zmian średniej temperatury powietrza wynosiło 0,08°C na 10 lat i nie było istotne statystycznie.

Spośród miesięcy zimowych najchłodniejszy był styczeń (-0,4°C), a najcieplejszy – grudzień (0,8°C). Najmniejszym zakresem wahań średniej temperatury powietrza charakteryzował się grudzień (13,1°C), a największym – luty (17°C). W każdym miesiącu tej pory roku wystąpił wzrost średniej temperatury powietrza, aczkolwiek zmiany te nie były statystycznie istotne.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

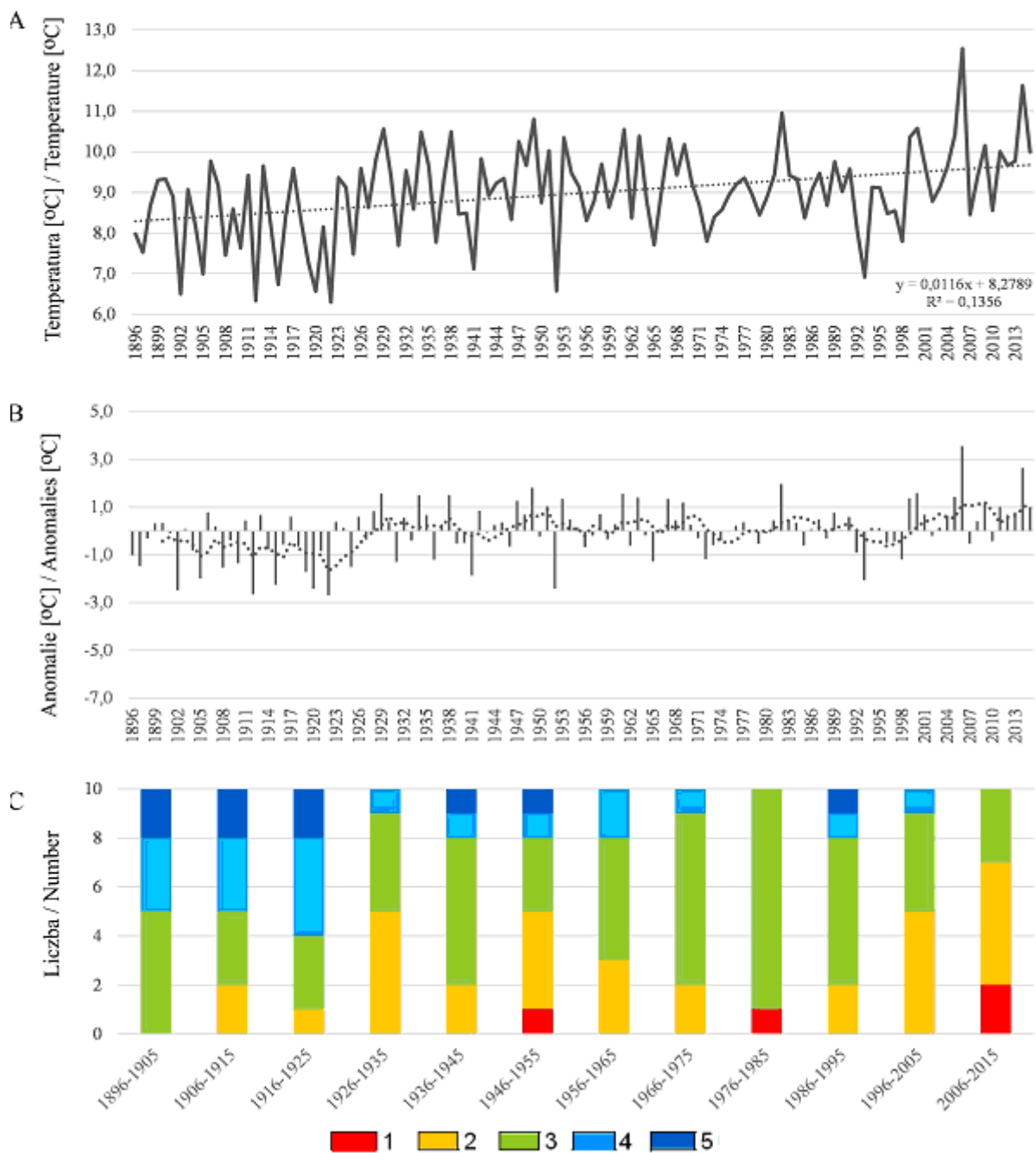
W latach 1896–2015 w Poczdamie stwierdzono istotny statystycznie wzrost średniej rocznej temperatury powietrza, który wyniósł 0,11°C na 10 lat. Tylko zimą zmiany średniej temperatury powietrza nie były statystycznie istotne. Spośród miesięcy, największy wzrost średniej temperatury powietrza stwierdzono w kwietniu i sierpniu (0,19°C/10 lat). KUNDZEWICZ i HUANG (2010), bazując na wartościach średniej



Rys. 3. A: średnia temperatura powietrza latem, B: anomalie temperatury powietrza latem wraz ze średnią ruchomą (5-letnią), C: klasyfikacja termiczna sezonu (liczba lat z poszczególnymi klasami termicznymi w 10-letniach: 1 – bardzo ciepły, 2 – ciepły, 3 – normalny, 4 – chłodny, 5 – bardzo chłodny)

Рис. 3. А: средняя температура воздуха летом, В: аномальные температуры воздуха летом и скользящая средняя (5-летняя), С: термическая классификация сезона (число лет термических классов за последние 10-летия: 1 – очень теплый, 2 – теплый, 3 – нормальный, 4 – прохладный, 5 – холодный)

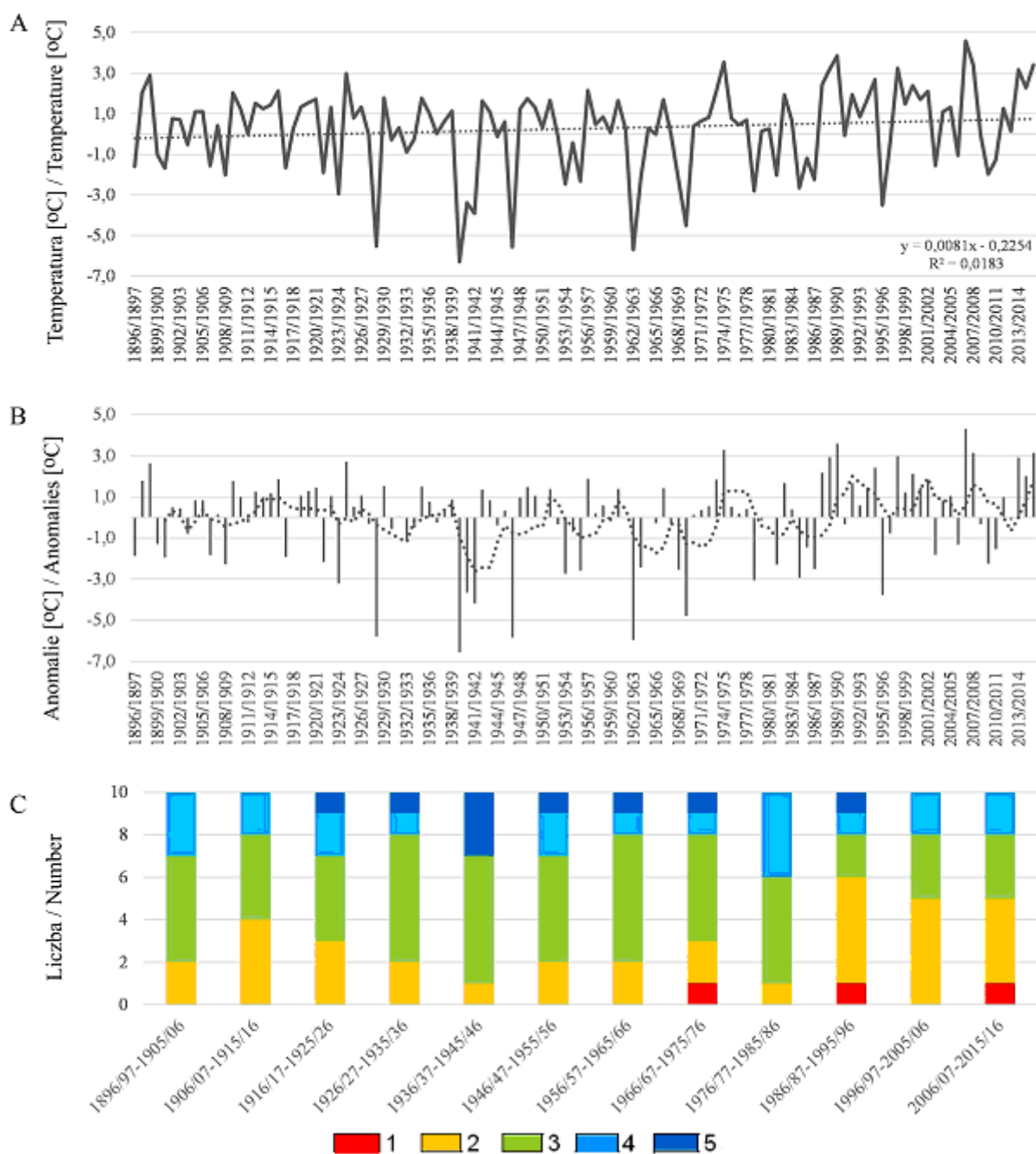
Fig. 3. A: the mean air temperature in summer, B: air temperature anomalies in summer together with moving average (5-year), C: season thermal classification (number of years with individual thermal classes in the decades: 1 – very hot, 2 – hot, 3 – normal, 4 – cold, 5 – very cold)



Rys. 4. A: średnia temperatura powietrza jesienią, B: anomalie temperatury powietrza jesienią wraz ze średnią ruchomą (5-letnią), C: klasyfikacja termiczna sezonu (liczba lat z poszczególnymi klasami termicznymi w 10-leciach: 1 – bardzo ciepły, 2 – ciepły, 3 – normalny, 4 – chłodny, 5 – bardzo chłodny)

Рис. 4. А: средняя температура воздуха осенью, В: аномальные температуры воздуха осенью и скользящая средняя (5-летняя), С: термическая классификация сезона (число лет термических классов за последние 10-летия: 1 – очень теплый, 2 – теплый, 3 – нормальный, 4 – прохладный, 5 – холодный)

Fig. 4. A: the mean air temperature in autumn, B: air temperature anomalies in autumn together with moving average (5-year), C: season thermal classification (number of years with individual thermal classes in the decades: 1 – very hot, 2 – hot, 3 – normal, 4 – cold, 5 – very cold)



Rys. 5. A: średnia temperatura powietrza zimą, B: anomalie temperatury powietrza zimą wraz ze średnią ruchomą (5-letnią), C: klasyfikacja termiczna sezonu (liczba lat z poszczególnymi klasami termicznymi w 10-letniach: 1 – bardzo ciepły, 2 – ciepły, 3 – normalny, 4 – chłodny, 5 – bardzo chłodny)

Рис. 5. А: средняя температура воздуха зимой, В: аномальные температуры воздуха зимой и скользящая средняя (5-летняя), С: термическая классификация сезона (число лет термических классов за последние 10-летия: 1 – очень теплый, 2 – теплый, 3 – нормальный, 4 – прохладный, 5 – холодный)

Fig. 5. A: the mean air temperature in winter, B: air temperature anomalies in winter together with moving average (5-year), C: season thermal classification (number of years with individual thermal classes in the decades: 1 – very hot, 2 – hot, 3 – normal, 4 – cold, 5 – very cold)

maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza w Poczdamie wykazali, iż najintensywniejsze ocieplenie wystąpiło latem. Wzrost temperatury powietrza wykazano również drogą analizy jej zmiany w okresach 12-miesięcznych, a okres od czerwca 2006 roku

do lipca 2007 roku w Poczdamie uznano za najcieplejszy od 1893 roku (KUNDZEWICZ, JÓZEFczyk, ÖSTERLE, 2007; KUNDZEWICZ i in., 2009). Prowadzone badania wykazały również wzrost liczby dni letnich, upalnych i nocy ciepłych przy jednoczesnym spadku liczby dni

i nocy zimnych (KUNDZEWICZ, JÓZEFczyk, 2008, KUNDZEWICZ, HUANG, 2010).

Podobny kierunek zmian temperatury powietrza wykazały również badania prowadzone w Polsce, aczkolwiek tempo tych zmian było różne, w zależności od przyjętego wielolecia (MAROSZ i in., 2011; MICHALSKA, 2011; WÓJCIK, MIĘTUS, 2014, MIGAŁA i in., 2015). Na obserwowane zmiany znaczący wpływ miał wzrost temperatury powietrza obserwowany od początku XXI wieku, kiedy to średnia temperatura powietrza na ogół przewyższała średnią z wielolecia 1896–2015.

Zgodnie z przyjętą w niniejszej pracy klasyfikacją termiczną, w badanym okresie odnotowano 7 lat bardzo chłodnych i bardzo ciepłych. Ostatni rok bardzo chłodny wystąpił w 1996 roku. Od 40 lat obserwowany jest systematyczny wzrost lat klasyfikowanych jako ciepłe i bardzo ciepłe, przy jednoczesnym spadku liczby lat chłodnych i bardzo chłodnych. Podobny kierunek zmian zaobserwowano m. in. w Lublinie (FILIPUŁ, 2011), Warszawie (MAJEWSKI, ODOROWSKA, ROZBICKA, 2012), Popradzie i Łomnicy (PIĘKNY, 2013) oraz na Wybrzeżu Słowińskim (TYLKOWSKI, 2013).

LITERATURA

- Brázdil M., Budíková M., Auer I., Böhm R., Cegnar T., Faško P., Lapin M., Gajić-Čapka M., Zaninović K., Koleva E., Niedźwiedz T., Ustrnul Z., Szalai S., Weber R. O., 1996: Trends in maximum and minimum daily temperatures in Central and Southeastern Europe. *International Journal of Climatology*, 16: 765–782.
- Filipiuk E., 2011: Klasyfikacja termiczna miesięcy, sezonów i lat w Lublinie w latach 1951–2010. *Prace i Studia Geograficzne*, 47: 129–138.
- 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, 2013.
- Klein Tank A. M. G., Können G. P., 2003: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate*, 16: 3665–3680.
- Kundzewicz Z. W., Józefczyk D., Österle H., 2007: Warmest 12 consecutive months on record at the Potsdam meteorological station, Germany. *Weather*, 62 (10): 284–286.
- Kundzewicz Z. W., Józefczyk D., 2008: Temperature-related climate extremes in the Potsdam observation record. *Geografie - Sborník ČGS*, 113 (4): 372–382.
- Kundzewicz Z. W., Gerstengarbe F. W., Österle H., Werner P. C., Fricke W., 2009: Recent anomalies of mean temperature of 12 consecutive months – Germany, Europe, Northern Hemisphere. *Theoretical and Applied Climatology*, 95(3-4): 417–422.
- Kundzewicz Z. W., Huang S., 2010: Seasonal temperature extremes in Potsdam. *Acta Geophysica* 58 (6): 1115–1133.
- Kürbis K., Mudelsee M., Tetzlaff G., Brázdil R., 2009: Trends in extremes of temperature, dew point, and precipitation from long instrumental series from Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 98: 187–195.
- Linderholm H. W., Walther A., Chen D., Moberg A., 2008: Twentieth-century trends in the thermal growing-season in the Greater Baltic Area. *Climate Change*, 87: 405–419.
- Lorenc H., 1994: Ocena zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie 1901–1993 na podstawie obserwacji z wybranych stacji meteorologicznych w Polsce. *Wiadomości IMGW*, 38: 43–59.
- Lorenc H., 2000: Studia nad 220-letnią (1779–1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wiekowych tendencji. *Mat. Bad. IMGW*, 31: 104 s.
- Marosz M., Wójcik R., Biernacik D., Jakusik E., Pilarski M., Owczarek M., Miętus M., 2011: Zmienność klimatu Polski od połowy XX wieku. *Prace i Studia Geograficzne*, 47: 51–66.
- Majewski G., Odorowska M., Rozbicka K., 2012: Analiza warunków termicznych na stacji Ursynów – SGGW w Warszawie w latach 1970–2009. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12, 2 (38): 171–184.
- Menzel A., Fabian P., 1999: Growing season extended in Europe. *Nature*, 397: 659 s.
- Michalska B., 2011: Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Prace i Studia Geograficzne*, 47: 67–75.
- Migała K., Urban G., Tomczyński K., 2015: Long-term air temperature variation in the Karkonosze mountains according to atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*. DOI 10.1007/s00704-015-1468-0.
- Nieróbca A., Kozyra J., Mizak K., Wróblewska E., 2013: Zmiana długości okresu wegetacyjnego w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 13, 2 (42): 81–94.
- Nordli Ø., Przybylak R., Ogilvie A. E. J., Isaksen K., 2014: Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard Airport temperature series, 1898–2012. *Polar Research* 33, 21349, <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v33.21349>.
- Piękny M., 2013: Klasyfikacja termiczna miesięcy i lat w Tatrach Słowackich. *Badania Fizjograficzne*, 64: 197–207.
- Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H., 2014: Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*, 34: 1642–1650.
- Skowera B., Kopeć B., 2008: Okresy termiczne w Polsce południowo-wschodniej (1971–2000). *Acta Agrophysica*, 12 (2): 517–526.
- Szyga-Pluta K., 2011: Zmienność termicznych pór roku w Poznaniu. *Badania Fizjograficzne*, 62: 181–195.
- Tomczyk A., 2013: Termiczne pory roku w stacji Svalbard Lufthavn (Longyearbyen). *Badania Fizjograficzne*, 64: 281–286.
- Tomczyk A. M., Bednorz E., 2016: Heat waves in Central Europe and their circulation conditions. *International Journal of Climatology*, 36 (2): 770–782.

- Tomczyk A. M., Szyga-Pluta K., 2016: Okres wegetacyjny w Polsce w latach 1971–2010. *Przegląd Geograficzny*, 88 (1): 75–86.
- Tylkowski J., 2013: Zmienność czasowa i przestrzenna warunków termicznych i opadowych Wybrzeża Słowińskiego. *Geologia i geomorfologia*, 10: 195–213.
- Tylkowski J., 2015: The Variability of Climatic Vegetative Seasons and Thermal Resources at the Polish Baltic Sea Coastline in the Context of Potential Composition of Coastal Forest Communities. *Baltic Forestry*, 21 (1): 73–82.
- Unkašević M., Tošić I., 2015: Seasonal analysis of cold and heat waves in Serbia during the period 1949–2012. *Theoretical and Applied Climatology*, 120: 29–40.
- Wibig J., Głowicki B., 2002: Trends of minimum and maximum temperature in Poland. *Climate Research*, 20: 123–133.
- Wójcik R., Miętus M., 2014: Niektóre cechy wieloletniej zmienności temperatury powietrza w Polsce (1951–2010). *Przegląd Geograficzny*, 86 (3): 339–364.