

Wpłynęło 18.02.2015 r.  
Zrecenzowano 15.04.2015 r.  
Zaakceptowano 28.05.2015 r.  
A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

## ZMIENNOŚĆ TEMPERATURY POWIETRZA W BYDGOSZCZY W LATACH 1931–2013

**Wiesława KASPERSKA-WOŁOWICZ**<sup>ABCDEF</sup>,  
**Tymoteusz BOLEWSKI**<sup>BCDEF</sup>

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy  
w Bydgoszczy

### Streszczenie

Celem pracy była charakterystyka warunków termicznych oraz analiza zmienności temperatury powietrza w Bydgoszczy w latach 1931–2013. Badaniami objęto temperaturę średnią roczną, półrocza letniego (IV–IX) i zimowego (X–III) oraz miesięczną. Średnia temperatura powietrza w analizowanym wieloleciu wyniosła 8,5°C.

Zauważono istotny trend rosnący średniej rocznej temperatury powietrza w Bydgoszczy, który wyniósł 0,19°C na 10 lat. Silniejszy trend rosnący objął półrocze zimowe (0,23°C na 10 lat), zaś słabszy półrocze letnie (0,14°C na 10 lat). Półrocze zimowe charakteryzowało się również większą niż letnie zmiennością temperatury.

Wyraźne ocieplenie półrocza zimowego obserwowano w latach 70. XX w., a półrocza letniego dekadę później.

Określono średnią temperaturę roczną, półroczy i miesięcy o określonym prawdopodobieństwie nieprzewyższenia, na podstawie którego dokonano klasyfikacji termicznej badanych okresów. Wyszczególniono okresy, w których obserwowano ekstremalnie i anomalnie niską bądź wysoką temperaturę powietrza. Udział lat ekstremalnie i anomalnie chłodnych wyniósł łącznie 12,0%, zaś ekstremalnie i anomalnie ciepłych – 8,4%. Lata normalne stanowiły 16,9% w badanym okresie wieloletnim.

Ze względu na długą (83 lata) serię danych o temperaturze powietrza w Bydgoszczy wyniki analizy mogą być wykorzystane do analiz porównawczych z innymi wieloletnimi ciągami pomiarów meteorologicznych. Mogą być również przydatne do analizy i oceny zmian klimatu oraz oceny warunków termicznych zarówno w minionych, jak i następnych latach.

**Słowa kluczowe:** kwantylowa klasyfikacja termiczna, trend, wieloletnia seria danych, zmiany klimatu

---

**Do cytowania For citation:** Kasperska-Wołowicz W., Bolewski T. 2015. Zmienność temperatury powietrza w Bydgoszczy w latach 1931–2013. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 25–43.

## WSTĘP

Podstawowy element klimatu, jakim jest temperatura powietrza, ulega naturalnym zmianom w czasie – wahaniom dobowym, sezonowym, rocznym i wieloletnim – a także zmianom antropogenicznym, wynikającym ze wzrostu zawartości pyłu w atmosferze i gazów cieplarnianych lub innych form działalności człowieka [BORYCZKA, STOPA-BORYCZKA 2004; GREGORCZYK, MICHALSKA 2011].

Obecnie obserwowany jest wzrost temperatury powietrza w skali globalnej oraz w skali większości regionów na Ziemi, w tym w Europie. Na terenie Europy wzrost ten był szczególnie wyraźny w drugiej połowie ubiegłego wieku, o czym świadczą analizy Międzyrządowego Zespołu do spraw Zmian Klimatu, IPCC (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change) [IPCC 2007; KUNDZEWICZ i in. 2009] oraz innych autorów [JONES i in. 1999; ŁASZYCA, KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA 2013; MICHALSKA 2009]. Wśród czynników wywołujących ten wzrost wymienia się czynniki naturalne i antropogeniczne. Niemniej wielkość udziału wymienionych czynników nie jest do końca rozstrzygnięta [BORYCZKA 2001; MICHALSKA 2011].

Wśród przyczyn wzrostu temperatury powietrza w Polsce, w tym w rejonie Bydgoszczy i Torunia, wymienia się m.in. zwiększenie częstości występowania sytuacji cyklonalnych w półroczu chłodnym oraz wzrost udziału sytuacji antycyklonalnych w półroczu ciepłym [PRZYBYŁAK, MASZEWSKI 2009].

Według podziału fizycznogeograficznego Polski [KONDRACKI 2002], Bydgoszcz znajduje się na obszarze pojezierzy południowobałtyckich. Najczęściej napływającymi masami powietrza nad rejon Bydgoszczy są masy powietrza polarne-morskiego [BAK 2003; WIĘCŁAW 2009]. Ma to znaczący wpływ na klimat miasta Bydgoszczy i terenów otaczających. MAROSZ i in. [2011] zauważyli, że w regionach fizycznogeograficznych Polski znajdujących się na zachód od środkowego południka kraju (19° E) jest cieplej niż w tych leżących na wschodzie. Średnia roczna temperatura zachodniej części pasa pojezierzy, w której położona jest Bydgoszcz, jest jedną z najwyższych na obszarze kraju.

W Bydgoszczy działają dwa długoletnie punkty pomiarów meteorologicznych. Jeden z nich mieści się na lotnisku w dzielnicy Szwederowo i działa od 1951 r. [ŁASZYCA, KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA 2013]. Druga stacja meteorologiczna rozpoczęła swoją działalność ponad 100 lat wcześniej w 1848 r. [HOHENDORF 1948; ROGUSKI i in. 1996]. Jest ona jedną z najdłuższych działających stacji w Polsce. Mimo kilkukrotnej zmiany miejsca położenia serii danych z lat 1903–1985 cechuje niewielkie zerwanie homogeniczności w jednym do dwóch miesięcy w roku [WIBIG i in. 2004]. W latach 1905–2005 r. (z przerwą w okresie wojennym) mieściła się na terenie instytutów rolniczych w centrum miasta, a obecnie w dzielnicy Glinki.

Bydgoszcz, podobnie jak pozostałe duże ośrodki miejskie, cechuje się klimatem (mezoklimatem) różniącym się od klimatu terenów otaczających [WOŚ 1996]. O odrębności warunków klimatycznych miasta stanowią takie czynniki, jak: rodzaj

podłoża, emisja ciepła antropogenicznego, emisja zanieczyszczeń powietrza [JE-DRYS, LEŚNY 2007; LEWIŃSKA 2000; SCHÖNWIESE 1997] oraz wpływ zabudowy na cyrkulację powietrza [FORTUNIAK 2003].

Przedmiotem niniejszej pracy jest średnia temperatura powietrza miesięczna, półroczy letniego, zimowego i roczna oraz jej zmienność w Bydgoszczy w latach 1931–2013.

Celem pracy jest charakterystyka warunków termicznych oraz analiza zmienności wartości temperatury w okresie obejmującym 83 lata w Bydgoszczy. W pracy zwrócono szczególną uwagę na okres ostatnich 33 lat, obejmujący dekady lat 80. i 90. XX w. oraz początek XXI w.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano dane z codziennych pomiarów temperatury powietrza w Bydgoszczy w latach 1931–2013 prowadzonych z wykorzystaniem stacji standardowej i automatycznej. Pomiarów prowadzono zgodnie z obowiązującym standardem obserwacji meteorologicznych. W latach 1931–2005 stacja meteorologiczna znajdowała się na terenie doświadczalnym instytutów rolniczych w Bydgoszczy, położonych w otwartej przestrzeni w centrum miasta ( $\varphi = 53^{\circ}07'N$ ,  $\lambda = 18^{\circ}01'E$ ,  $h = 48$  m n.p.m.). Od 2005 r. stacja znajduje się na poletku doświadczalnym Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego ( $\varphi = 53^{\circ}06'N$ ,  $\lambda = 18^{\circ}01'E$ ,  $h = 67$  m n.p.m.), oddalonym o 3 km od poprzedniego punktu badań. Stacja meteorologiczna prowadzona jest przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy (do 2009 r. funkcjonujący jako Instytut Melioracji i Użytków Zielonych) od 1953 r. do dziś.

W pracy zbadano zmiany temperatury średniej miesięcznej, półrocza letniego i zimowego oraz rocznej w latach 1931–2013. Za półrocze letnie przyjęto, tak jak w agrometeorologii, okres od 1 kwietnia do 30 września, za półrocze zimowe okres od 1 października do 31 marca [KLEIN TANK i in. 2002]. Do realizacji celu badań wykorzystano wybrane statystyki opisowe (wartość średnia, odchylenie standardowe, wartości skrajne oraz kwantyle). Określono również trendy zmian temperatury dla każdego miesiąca, półrocza i roku za pomocą funkcji liniowej oraz zbadano kierunek zmian w analizowanym okresie. Przeanalizowano również wartości średniej temperatury i odchylenia standardowego w okresach dziesięcioletnich oraz porównano kolejne dekady ze średnimi wartościami z wielolecia 1931–2010. Wyznaczono średnią temperaturę miesięczną, sezonową (półrocza) i roczną o określonym prawdopodobieństwie nieprzewyższenia.

Wszystkie analizy statystyczne wykonano za pomocą pakietu Statistica 7.1 oraz MS Excel 2007. Zgodność rozkładu empirycznych serii danych miesięcznej temperatury z teoretycznym rozkładem normalnym zbadano za pomocą testu Shapiro-Wilka. Istotność trendów zmian temperatury oceniono testem *t*-Studenta. Zaufanie do wyników testów wynosi 95%.

Na podstawie rozkładu prawdopodobieństwa nieprzewyższenia dokonano klasyfikacji termicznej badanych okresów i przydzielono je do 11 klas, zgodnie z kryteriami kwantylowej klasyfikacji termicznej zaproponowanej przez Miętusa [CZERNECKI, MIĘTUS 2011]. Wybrano klasyfikację opartą na kwantylach, ponieważ nie wszystkie serie danych miesięcznych temperatury charakteryzowały się rozkładem normalnym. Wymienieni autorzy zwrócili uwagę na coraz większe uznanie klasyfikacji opartych na interwałach skali wyznaczonych przez określone wartości kwantyli. Nawiązuje ona liczebnością klas oraz ich opisem do opracowanej wcześniej na podstawie wartości odchylenia standardowego klasyfikacji termicznej Lorenc [IMGW-PIB 2013].

Kryteria klasyfikacji wg Miętusa, w niewielkim stopniu zmodyfikowane przez autorów niniejszej pracy, umieszczono w tabeli 1. W zastosowanej klasyfikacji najniższy numer klasy i najniższy zakres kwantyli odpowiada okresowi ekstremalnie chłodnemu. Klasy są uszeregowane od najniższej do najwyższej temperatury, a zatem w kolejności odwrotnej niż u wymienionych autorów. Ponadto przedział klasy okresu „normalnego” jest obustronnie domknięty.

**Tabela 1.** Kryteria kwantylowej klasyfikacji termicznej miesięcy, pór roku i lat

**Table 1.** Criteria for thermal quantile classification of months, seasons and years

Nr	No	Nazwa klasy	Class name	Zakres percentyli	Range of percentiles
1		ekstremalnie chłodny	extremely cold		< 5%
2		anomalnie chłodny	abnormally cold		= 5 – < 10%
3		bardzo chłodny	very cold		= 10 – < 20%
4		chłodny	cold		= 20 – < 30%
5		lekko chłodny	moderately cold		= 30 – < 40%
6		normalny	normal		= 40 – = 60%
7		lekko ciepły	moderately warm		> 60 – = 70%
8		ciepły	warm		> 70 – = 80%
9		bardzo ciepły	very warm		> 80 – = 90%
10		anomalnie ciepły	abnormally warm		> 90 – = 95%
11		ekstremalnie ciepły	extremely warm		> 95%

Źródło: opracowanie własne na podstawie klasyfikacji Miętusa [CZERNECKI, MIĘTUS 2011].

Source: own elaboration on the basis of Miętus's classification [CZERNECKI, MIĘTUS 2011].

## WYNIKI I Dyskusja

### OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ŚREDNIEJ MIESIĘCZNEJ, SEZONOWEJ I ROCZNEJ TEMPERATURY POWIETRZA

Wartości charakteryzujące temperaturę powietrza w Bydgoszczy w analizowanym okresie 83 lat przedstawiono w tabeli 2. Średnia temperatura powietrza

**Tabela 2.** Średnia temperatura  $T$  miesięczna, sezonowa i roczna oraz jej wartości skrajne ( $T_a$  i  $T_b$ ) w Bydgoszczy w latach 1931–2013**Table 2.** Mean monthly, seasonal and annual air temperatures  $T$  and their extreme values ( $T_a$  and  $T_b$ ) in Bydgoszcz in the years 1931–2013

Miesiąc Month	$T$ °C	$SD$ °C	Najniższa Lowest		Najwyższa Highest		$T_b - T_a$
			$T_a$	rok year	$T_b$	rok year	
I	-1,9	3,5	-12,3	1940	4,3	1983	16,6
II	-1,0	3,4	-11,2	1940	5,9	1990	17,1
III	2,5	2,4	-3,7	1942	7,3	1990	11,0
IV	8,1	1,7	4,4	1931	12,6	2000	8,2
V	13,7	1,7	9,9	1965	17,6	2002	7,7
VI	17,2	1,4	14,6	1932	20,7	1940	6,1
VII	18,9	1,6	16,0	1965, 1979	23,6	2006	7,6
VIII	18,2	1,4	15,0	1956	21,5	2002	5,7
IX	13,8	1,4	10,8	1931	17,3	1975, 1999	6,5
X	8,6	1,5	5,4	1946	12,2	2000	6,8
XI	3,7	1,7	-1,2	1941, 1965	6,6	1963	7,8
XII	0,0	2,5	-7,6	1969	4,7	2006	12,3
IV–IX	15,0	0,8	13,2	1965	16,8	2002	3,6
X–III	2,0	1,6	-3,0	1939/1940	5,4	1989/1990	8,4
I–XII	8,5	0,9	6,2	1940	10,5	1989	4,3

Objaśnienie:  $SD$  = odchylenie standardowe. Explanation:  $SD$  = standard deviation.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

w Bydgoszczy w latach 1931–2013 była równa  $8,5^{\circ}\text{C}$ . Temperatura półrocza letniego (IV–IX) wyniosła  $15,0^{\circ}\text{C}$ , a półrocza zimowego (X–III)  $2,0^{\circ}\text{C}$ . Średnio najcieplejszym miesiącem był lipiec ( $18,9^{\circ}\text{C}$ ) a najchłodniejszym – styczeń ( $-1,9^{\circ}\text{C}$ ). Wartości odchylenia standardowego  $SD$  wskazały na większą zmienność temperatury miesięcy zimowych niż letnich;  $SD$  osiągnęło najmniejszą wartość ( $1,4^{\circ}\text{C}$ ) w czerwcu, sierpniu i wrześniu, największą zaś w styczniu ( $3,5^{\circ}\text{C}$ ) i lutym ( $3,4^{\circ}\text{C}$ ).

Najniższą średnią roczną temperaturę zanotowano w 1940 r. ( $6,2^{\circ}\text{C}$ ). Rok ten charakteryzował się również najmniejszymi wartościami średniej temperatury stycznia i lutego. Najwyższą średnią roczną temperaturą wyróżniły się lata 1989 ( $10,5^{\circ}\text{C}$ ) oraz 2000 ( $10,3^{\circ}\text{C}$ ). Według badań ŁASZYCY i KUŚMIEREK-TOMASZEWSKIEJ [2013], przeprowadzonych dla stacji Bydgoszcz-Lotnisko i obejmujących okres 1951–2010, najcieplejszym rokiem był 2000 ( $9,9^{\circ}\text{C}$ ). Rok ten był również najcieplejszy (oprócz 2007 r.) w tym wieloleciu w Polsce [MAROSZ i in. 2011].

Wartości skrajne średniej temperatury miesięcznej oraz lata ich wystąpienia pokazują, że najczęściej najmniejsze wartości temperatury odnotowano w pierwszej połowie badanego okresu (czyli do końca lat 60. XX w.), zaś największe – w drugiej połowie. Wyjątkiem w wieloletniej serii badań były lata: 1979, w którym zarejestrowano najniższą średnią temperaturę lipca ( $16^{\circ}\text{C}$ ) oraz 1940 z najwyższą

temperaturą czerwca (20,7°C) i 1963 z najwyższą temperaturą listopada (6,6°C). W przypadku sześciu miesięcy (kwietnia, maja, lipca, sierpnia, października i grudnia) największe wartości średniej temperatury zarejestrowano po 1999 r. Zdecydowanie najcieplejszym miesiącem w analizowanym okresie był lipiec 2006 r. Na stacji Bydgoszcz-Lotnisko zaobserwowano podobną prawidłowość [ŁASZYCA, KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA 2013].

W tabeli 2. zawarto również wartości różnicy między najniższą i najwyższą średnią temperaturą miesięczną, sezonową i roczną w badanym wieloleciu. Największe różnice zaobserwowane w styczniu i lutym (odpowiednio 16,6 i 17,1°C) potwierdzają dużą zmienność pokazaną przez *SD*. Natomiast najmniejsze różnice odnotowano w sierpniu (5,7°C).

### CHARAKTERYSTYKA TEMPERATURY POWIETRZA W OKRESACH DZIESIĘCIOLETNICH

Średnia roczna temperatura w kolejnych okresach dziesięcioletnich wykazywała tendencję wzrostową. Świadczą o tym m.in. różnice ( $\Delta T$ ) między wartościami średniej temperatury w latach 1931–2010 a średnią temperaturą kolejnych dziesięcioleci (tab. 3). Wartości dodatnie  $\Delta T$  wskazują, że średnia temperatura w danym dziesięcioleciu była wyższa od średniej wieloletniej, zaś wartości ujemne – że była niższa. Pierwsze cztery dekady badanego okresu charakteryzowały się temperaturą niższą od średniej wieloletniej. Wyraźny wzrost średniej temperatury rocznej w Bydgoszczy zaznaczył się w latach 70. Wyniósł on 0,7°C w porównaniu ze średnią temperaturą poprzedniego dziesięciolecia, które było najchłodniejsze w analizowanym okresie (7,8°C). W kolejnym dziesięcioleciu (lata 80.) wzrost względem poprzedniej dekady wyniósł 0,5°C. W dekadach lat 80. i 90. temperatura była wyrównana i wyniosła 9,0°C. W pierwszej dekadzie XXI w. osiągnęła największą wartość (9,1°C) w analizowanym okresie wieloletnim. Dwie ostatnie dekady charakteryzowały się mniejszą niż przeciętnie zmiennością. NYĆKOWIAK i in. [2014] na podstawie analizy wieloletniej (1848–2009) serii temperatury w Poznaniu stwierdzili również, że dekada 2000–2009 była najcieplejsza.

Średnia temperatura **półroczna zimowego** również była niższa od średniej wieloletniej w czterech pierwszych dekadach badanego okresu, a trzy z nich odznaczały się taką samą i jednocześnie najmniejszą wartością (1,2°C). W latach 70. obserwowano duży wzrost temperatury średniej półroczna zimowego (X–III) w porównaniu z poprzednimi okresami dziesięcioletnimi. Temperatura średnia wzrosła o 1,3°C w porównaniu z dekadą poprzednią (1961–1970). W kolejnych trzech dekadach średnia temperatura była podobna i wyniosła 2,5–2,7°C.

Najmniejsze wartości średniej z dziesięciolecia temperatury wszystkich miesięcy półroczna zimowego zarejestrowano w czterech pierwszych dekadach. W latach 50. grudzień i styczeń średnio były cieplejsze od wartości przeciętnej, zaś

średnia temperatura lutego i marca była najniższa wśród badanych dekad. Warto zauważyć, że w dekadzie 1951–1960 średnia temperatura lutego była niższa od temperatury stycznia. Podobną prawidłowość zaobserwowano również na innych stacjach na terenie Polski, na przykład w Łodzi [WIBIG i in. 2004]. Grudzień był średnio najcieplejszy w dekadzie lat 70. Pozostałe miesiące półrocza zimowego były najcieplejsze w jednej spośród trzech ostatnich dekad (1981–2010). Styczeń i luty były zdecydowanie najcieplejsze w latach 90. Należy zauważyć, że dekada 2001–2010 w przypadku grudnia, stycznia i lutego była chłodniejsza od poprzedniej. W ostatnim dziesięcioleciu odnotowano również duże wahania średniej temperatury tych miesięcy w kolejnych latach. Na przykład styczeń 2006 r. był jednym z najchłodniejszych, a w roku następnym – jednym z najcieplejszych w badanym okresie wieloletnim.

Średnia temperatura **półrocza letniego** w czterech spośród pięciu pierwszych dekad badanego okresu była niższa od średniej wieloletniej, wyjątkiem były lata 40. Półrocze to było najchłodniejsze w latach 50. W latach 80. zaznaczył się wzrost temperatury średniej półrocza i wyniósł  $0,6^{\circ}\text{C}$  w stosunku do poprzedniej dekady. Najwyższą średnią temperaturę półrocza letniego zarejestrowano w pierwszej dekadzie obecnego wieku, było ono cieplejsze niż w poprzedniej dekadzie średnio o  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Wzrost temperatury półrocza letniego obserwowano o dekadę później niż wzrost temperatury półrocza zimowego.

W ostatniej dekadzie XX w. zaznaczył się wyraźny wzrost temperatury miesięcy letnich (VI, VII, VIII). W kolejnym dziesięcioleciu (2001–2010) w lipcu obserwowano dalszy wzrost temperatury, natomiast średnia temperatura pozostałych dwóch miesięcy utrzymywała się na tym samym poziomie. Ciekawy przypadek stanowi 2006 r., w którym oprócz mroźnego stycznia średnia temperatura lipca była najwyższą od 1931 r. w Bydgoszczy.

Większość ujemnych wartości  $\Delta T$  mieściła się w dziesięcioleciach obejmujących pierwsze 50 lat (1931–1980) (tab. 3). W dekadach lat 80., 90. ub. wieku i pierwszej XXI w. obserwowano największe wartości dodatnich  $\Delta T$ , świadczących o ociepleniu klimatu Bydgoszczy.

## ANALIZA TRENDÓW ZMIAN TEMPERATURY

Stwierdzono istotny ( $\alpha = 0,05$ ) dodatni trend średniej rocznej temperatury w Bydgoszczy w latach 1931–2013 (rys. 1). Na podstawie wartości parametru  $a$  funkcji liniowej ( $y = ax + b$ ) określono, że przeciętny wzrost temperatury wyniósł  $0,19^{\circ}\text{C}$  na 10 lat. Istotny rosnący trend na podstawie krótszej serii danych (1951–2010) ze stacji Bydgoszcz-Lotnisko określili również ŁASZYCA i KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA [2013] – wzrost temperatury wyniósł  $0,17^{\circ}\text{C}$  na 10 lat.

DEGIRMENDŹIĆ i in. [2004] na podstawie analizy temperatury z 51 stacji w latach 1951–2000, określili dla Polski wzrost średniej rocznej temperatury równy

**Tabela 3.** Średnia miesięczna, sezonowa i roczna temperatura powietrza  $T$  (°C) w Bydgoszczy w wieloletniu 1931–2010, różnice  $\Delta T$  (°C) między wartościami tej temperatury a średnimi w poszczególnych dziesięcioleciach oraz odchylenie standardowe  $SD$  (°C) średnich wartości temperatury w dekadach i wieloletniu

**Table 3.** Mean monthly, seasonal and annual air temperature  $T$  (°C) in Bydgoszcz in 1931–2010 and differences  $\Delta T$  (°C) between these values and mean temperatures in particular decades, and standard deviations  $SD$  (°C) of the mean temperature in decades and in the long term period

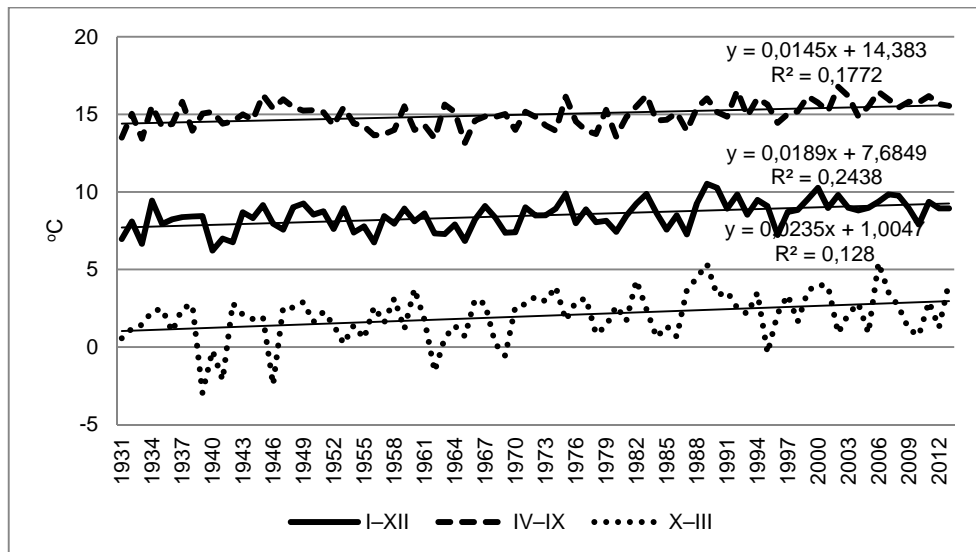
Miesiąc Month	1931–2010		1931–1940		1941–1950		1951–1960		1961–1970		1971–1980		1981–1990		1991–2000		2001–2010	
	$T$	$SD$	$\Delta T$	$SD$	$\Delta T$	$SD$	$\Delta T$	$SD$	$\Delta T$	$SD$	$\Delta T$	$SD$	$\Delta T$	$SD$	$\Delta T$	$SD$	$\Delta T$	$SD$
I	-2,0	3,5	-0,9	4,3	-1,7	4,0	0,4	1,7	-1,5	3,1	0,5	2,9	1,1	4,7	1,8	2,3	0,5	3,8
II	-1,0	3,4	-0,9	3,9	-0,4	4,1	-1,3	4,0	-1,0	2,9	0,9	2,3	0,5	4,2	1,6	3,2	1,1	2,3
III	2,5	2,4	-0,8	2,6	-0,8	2,5	-1,2	2,2	-1,0	2,9	0,6	2,1	1,1	2,6	0,8	1,5	0,9	1,8
IV	8,0	1,6	-1,0	1,8	0,5	1,7	-0,9	2,1	-0,1	1,4	-0,8	0,7	0,3	1,0	1,1	1,7	1,2	1,1
V	13,7	1,7	-0,3	2,3	0,2	1,4	-1,0	1,2	-1,0	1,7	-0,4	1,7	1,1	1,2	0,3	1,9	0,9	1,5
VI	17,2	1,4	0,0	1,8	-0,2	1,3	0,0	1,4	0,4	1,4	0,0	1,5	-0,4	1,0	0,2	1,1	0,2	1,5
VII	18,9	1,6	0,0	1,0	0,3	1,2	-0,3	1,4	-0,8	1,6	-0,6	1,8	0,0	1,2	0,4	2,2	1,3	1,7
VIII	18,2	1,4	-0,5	1,5	0,1	1,2	-0,5	1,5	-1,1	0,9	-0,2	1,2	0,1	1,2	0,9	1,5	0,9	1,1
IX	13,8	1,4	-0,3	1,4	0,6	1,3	-0,5	1,3	-0,1	1,0	-0,5	1,6	-0,1	1,4	0,1	1,7	0,5	1,4
X	8,6	1,5	-0,8	1,6	-0,6	1,4	-0,1	1,2	0,5	1,4	-0,5	1,2	1,1	0,9	0,3	1,7	0,1	2,0
XI	3,7	1,8	-0,1	1,4	-0,9	1,8	-0,2	1,8	0,2	2,1	0,5	1,4	0,1	1,7	-0,6	2,5	0,8	1,2
XII	-0,1	2,5	-1,5	2,3	0,0	2,0	0,9	1,6	-1,8	2,9	1,3	2,1	1,0	1,8	0,2	2,6	-0,1	3,2
IV–IX	15,0	0,8	-0,4	0,8	0,2	0,6	-0,6	0,7	-0,5	0,8	-0,5	0,8	0,1	0,7	0,5	0,7	0,8	0,6
X–III	2,0	1,6	-0,8	1,8	-0,8	2,0	-0,4	0,9	-0,8	1,7	0,5	0,9	0,7	1,7	0,5	1,3	0,7	1,5
I–XII	8,5	0,9	-0,6	1,0	-0,3	0,9	-0,4	0,7	-0,7	0,7	0,0	0,7	0,5	1,1	0,5	0,8	0,6	0,6

Objaśnienia: kolor niebieski = różnice  $\Delta T$  ujemne, kolor pomarańczowy = różnice  $\Delta T$  dodatnie.

Explanations: blue colour = negative differences  $\Delta T$ , orange colour = positive differences  $\Delta T$ .

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.





Rys. 1. Przebieg średniej temperatury rocznej, półrocza letniego (IV–IX) i zimowego (X–III) w Bydgoszczy w latach 1931–2013 oraz trendy zmian temperatury – wszystkie trendy istotnie statystycznie ( $\alpha = 0,05$ ); źródło: opracowanie własne

Fig. 1. The course of mean annual, summer (April–September) and winter (October–March) half year periods temperature in Bydgoszcz in the years 1931–2013 and trends – all trends are statistically significant ( $\alpha = 0.05$ ); source: own elaboration

0,20°C na 10 lat. MAROSZ i in. [2011], analizując warunki termiczne w Polsce w latach 1951–2008 stwierdzili, że w badanym okresie zmiana średniej rocznej temperatury w kraju wyniosła 0,24°C na 10 lat, a w zachodniej części pasa pojezierzy – nawet 0,27°C na 10 lat. Statystycznie istotne rosnące trendy zmian zaobserwowano również w półroczach letnim i zimowym (rys. 1). Silniejszy trend charakteryzował półrocze zimowe (0,23°C na 10 lat). W poszczególnych latach temperatura tego sezonu charakteryzowała się większą zmiennością niż półrocza letniego. Według MAROSZA i in. [2011], w latach 1951–2008 wiosną i zimą zmiana temperatury, zarówno w regionie, w którym leży Bydgoszcz, jak i średnio w Polsce, przekroczyła 0,35°C na 10 lat. Jesienią zmiany były nieznaczne i nieistotne statystycznie. Autorzy wnioskuje również, że podstawową cechą zmienności temperatury w Polsce jest istotny statystycznie wzrost. ŁABĘDZKI i in. [2014], analizując krótszy okres (1971–2010) stwierdzili, że na obszarze Polski w półroczu letnim wzrost średniej temperatury wyniósł 0,47°C na 10 lat.

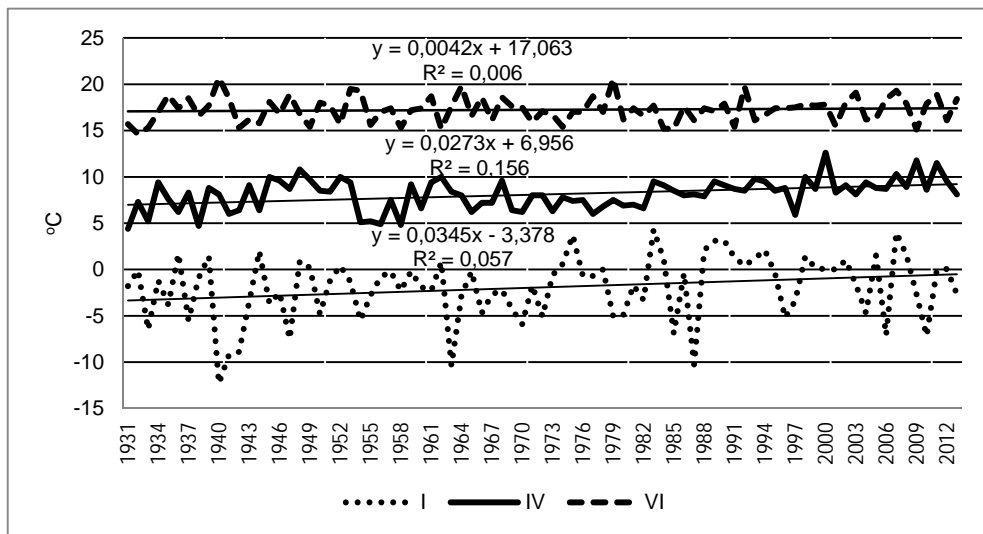
Stwierdzono statystycznie istotny rosnący trend temperatury powietrza w Bydgoszczy w styczniu, marcu, kwietniu, maju, sierpniu i październiku. W przypadku pozostałych sześciu miesięcy nie zaobserwowano istotnych trendów zmian. Niemniej zaznaczyły się tendencje (nieistotne statystycznie) wzrostu temperatury. Wszystkie trendy i tendencje były dodatnie. Najsilniejszy trend zmian średniej

miesięcznej temperatury stwierdzono w styczniu ( $0,34^{\circ}\text{C}$  na 10 lat), marcu ( $0,30^{\circ}\text{C}$  na 10 lat) i kwietniu ( $0,27^{\circ}\text{C}$  na 10 lat).

LASZYCA i KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA [2013], badając krótszą serię danych (1951–2010) ze stacji Bydgoszcz-Lotnisko stwierdzili istotny statystycznie dodatni trend zmiany temperatury następujących miesięcy: luty, marzec, kwiecień, maj i sierpień. DEGIRMENDŽIĆ i in. [2004], analizując obszar całej Polski zauważyli, że w drugiej połowie XX w. zmiany średniej temperatury rocznej, marca i maja wykazywały istotne dodatnie trendy. Autorzy podkreślili również, że w tych latach wystąpiła znaczna tendencja rosnąca temperatury powietrza i zauważyli, że większość wartości ekstremalnie wysokiej temperatury wystąpiła w ostatniej dekadzie ubiegłego wieku.

Wykresy przebiegu (wraz z linią trendu) średniej temperatury trzech charakterystycznych miesięcy w kolejnych latach od 1931 r. do 2013 r. przedstawiono na rysunku 2. Do analizy wybrano styczeń i kwiecień, charakteryzujące się istotnym statystycznie trendem rosnącym zmian temperatury oraz czerwiec charakteryzujący się brakiem takiego trendu. Są to miesiące reprezentujące trzy pory roku, odpowiednio zimą, wiosną i lato.

**Styczeń** charakteryzował się największą zmiennością temperatury z roku na rok (rys. 2). Niemniej, warto zwrócić uwagę na serię temperatury tego miesiąca w latach 1989–2002. Cechowała się małą zmiennością oraz na ogół większymi



Rys. 2. Przebieg średniej temperatury wybranych miesięcy w Bydgoszczy w latach 1931–2013 oraz trendy zmian temperatury – trendy istotne statystycznie ( $\alpha = 0,05$ ) dla stycznia i kwietnia; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. The course of mean temperature of selected months in Bydgoszcz in the years 1931–2013 and trends – trends are statistically significant ( $\alpha = 0,05$ ) for January and April; source: own elaboration

wartościami od średniej wieloletniej (wyjątek stanowiły bardzo chłodne styczenie w 1996 i 1997 r.). Od 2003 do 2013 r. obserwowano dużą zmienność temperatury tego miesiąca, a częstość występowania miesięcy chłodniejszych od wartości przeciętnej zwiększyła się. Temperatura **kwietnia**, przy małej zmienności w porównaniu z miesiącami zimowymi, od początku lat 80. była najczęściej wyższa od przeciętnej. Wyjątek stanowiły dwa lata – 1996 i 2013, w których bardzo późno rozpoczął się sezon wegetacyjny. **Czerwiec** charakteryzował się niewielką rosnącą tendencją zmian temperatury (trend nieistotny). ŁASZYCA i KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA [2013] znaleźli nawet lekko malejącą tendencję zmian temperatury tego miesiąca.

#### ANALIZA ROZKŁADU PRAWDOPODOBIEŃSTWA TEMPERATURY ORAZ KWANTYLOWA KLASYFIKACJA TERMICZNA MIESIĘCY, SEZONÓW I LAT

W publikacjach ROGUSKIEGO i in. [1996] oraz ŁABĘDZKIEGO i KASPERSKIEJ-WOŁOWICZ [2005] zastosowano rozkłady prawdopodobieństwa do oceny charakterystyk warunków termicznych i opadowych w rejonie Bydgoszczy i górnej Noteci z wykorzystaniem krótszych (co najmniej trzydziestoletnich) serii danych.

Wartości temperatury o różnym prawdopodobieństwie nieprzewyższenia  $p$ , otrzymane na podstawie analizy serii danych z Bydgoszczy w latach 1931–2013, zestawiono w tabeli 4. Temperatura o  $p = 1\%$  i  $p = 99\%$  odpowiada dokładnie wartościom skrajnym, to znaczy ekstremalnie najniższej i ekstremalnie najwyższej w badanym okresie (por. tab. 2). Temperatura o  $p = 20\%$  oznacza wartość, która wraz z mniejszymi stanowi 1/5 wszystkich przypadków (np. w styczniu mieści się w przedziale od  $-12,3$  do  $-4,9^{\circ}\text{C}$ ). Wartości temperatury o  $p = 50\%$  reprezentują medianę.

W badanym wielolecu mediana średniej temperatury rocznej, sezonowej i miesięcznej na ogół różniła się od średniej arytmetycznej o  $\pm 0,1$ – $0,2^{\circ}\text{C}$  (por. tab. 2). Różnice te były większe w przypadku grudnia o  $0,5^{\circ}\text{C}$ , stycznia  $0,7^{\circ}\text{C}$ , lutego  $0,3^{\circ}\text{C}$  i marca o  $0,4^{\circ}\text{C}$ . Rozkład temperatury tych miesięcy charakteryzował się większą asymetrią niż pozostałych ośmiu miesięcy. Wyniki testu Shapiro-Wilka, wykonanego dla okresów całego roku, półrocza letniego oraz większości miesięcy (z wyjątkiem stycznia, lutego, listopada i grudnia), wskazały na brak podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu serii danych.

W tabeli 5. zestawiono liczbę różnych okresów (rok, półrocze, miesiąc) w poszczególnych klasach, określoną według kwantylowej klasyfikacji termicznej (tab. 1) na podstawie wartości prawdopodobieństwa nieprzewyższenia (tab. 4). W latach 1931–2013 w Bydgoszczy okresów **calorocznych** sklasyfikowanych jako normalne ( $40\% \leq p \leq 60\%$ ) było 14, co stanowiło 16,9% wszystkich lat. Udział lat ekstremalnie chłodnych ( $p < 5\%$ ) wyniósł 4,8% oraz ekstremalnie ciepłych ( $p > 95\%$ ) – 3,6%. Ogólnie lata ciepłe ( $p > 60\%$ ) występowały nieco częściej (o jeden przy-

**Tabela 4.** Temperatura powietrza (°C) średnia miesięczna, sezonowa i roczna o określonym prawdopodobieństwo nieprzewyższenia  $p$  (%) w Bydgoszczy w latach 1931–2013

**Table 4.** Mean monthly, seasonal and annual air temperature (°C) of a particular probability of non-exceedance  $p$  (%) in Bydgoszcz in 1931–2013

Miesiąc Month	Temperatura o prawdopodobieństwie (%)							Temperature of a probability (%)						
	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99	
I	-12,3	-8,9	-6,9	-4,9	-3,4	-2,3	-1,2	-0,4	0,1	1,0	1,7	3,1	4,3	
II	-11,2	-7,7	-4,9	-3,2	-2,5	-1,0	-0,7	-0,1	0,6	1,9	2,9	3,8	5,9	
III	-3,7	-1,5	-1,0	0,2	0,8	2,1	2,9	3,5	4,0	4,5	5,3	5,9	7,3	
IV	4,4	5,1	6,0	6,4	7,3	8,0	8,3	8,7	9,1	9,5	10,0	10,3	12,6	
V	9,9	10,8	11,2	11,9	12,8	13,4	13,7	14,4	14,8	15,2	15,7	16,1	17,6	
VI	14,6	15,2	15,4	15,9	16,3	17,0	17,4	17,6	17,9	18,5	18,9	19,5	20,7	
VII	16,0	16,3	16,8	17,4	18,2	18,5	19,0	19,5	19,9	20,2	21,1	21,3	23,6	
VIII	15,0	15,9	16,4	17,0	17,3	17,6	18,0	18,7	19,0	19,4	19,8	20,0	21,5	
IX	10,8	11,6	12,0	12,6	13,0	13,4	13,7	14,1	14,4	14,9	15,6	16,2	17,3	
X	5,4	6,0	6,5	7,0	8,1	8,5	8,8	9,1	9,4	9,7	10,4	11,1	12,2	
XI	-1,2	0,5	1,4	2,4	3,1	3,5	3,8	4,2	4,7	5,2	5,9	6,2	6,6	
XII	-7,6	-4,4	-3,7	-2,6	-0,8	-0,1	0,5	1,0	1,4	2,0	2,8	3,1	4,7	
I–XII	6,2	6,8	7,3	7,6	8,0	8,4	8,5	8,8	9,0	9,2	9,8	9,9	10,5	
IV–IX	13,2	13,6	13,9	14,2	14,6	14,9	15,1	15,2	15,5	15,8	16,1	16,2	16,8	
X–III	-3,0	-0,6	0,2	0,8	1,4	1,7	2,2	2,6	2,8	3,3	3,8	4,2	5,4	

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

padek) niż lata chłodne ( $p < 40\%$ ) (tab. 5). Udział lat w poszczególnych klasach nieznacznie różnił się od określonego przez CZERNECKIEGO i MIĘTUSA [2011] udziału klas dla regionu Polski Zachodniej. Na przykład w badaniach tych autorów udział lat normalnych wyniósł ok. 15%.

**Półroczna letnie** zaklasyfikowane jako normalne stanowiły 14,5%. Udział sezonów ekstremalnie chłodnych i ekstremalnie ciepłych wyniósł po 6,0%. Sezonów chłodnych ( $p < 40\%$ ) było o jeden przypadek więcej niż ciepłych ( $p > 60\%$ ). **Półroczna zimowe** normalne stanowiły 21,7%. Częstość sezonów ekstremalnie chłodnych wyniosła 4,8%, a ekstremalnie ciepłych – 6,0%. Sezony chłodne wystąpiły częściej (o trzy przypadki) niż ciepłe (tab. 5).

**Miesiące** zaliczone do normalnych miały największy udział w badanej serii, a ich częstość wyniosła 23,6%. CZERNECKI i MIĘTUS [2011] dla regionu Polski Zachodniej określili udział tych miesięcy na ok. 20%.

Wartości średniej temperatury rocznej oraz półroczy letniego i zimowego przedstawiono na rysunku 3. Linia temperatury o  $p = 10\%$  stanowi granicę, poniżej której znajdują się wartości temperatury zaliczone do klas anomalnie i ekstremalnie chłodnych. Linia o  $p = 90\%$  to granica, powyżej której znajdują się wartości w klasach anomalnie i ekstremalnie ciepłych.

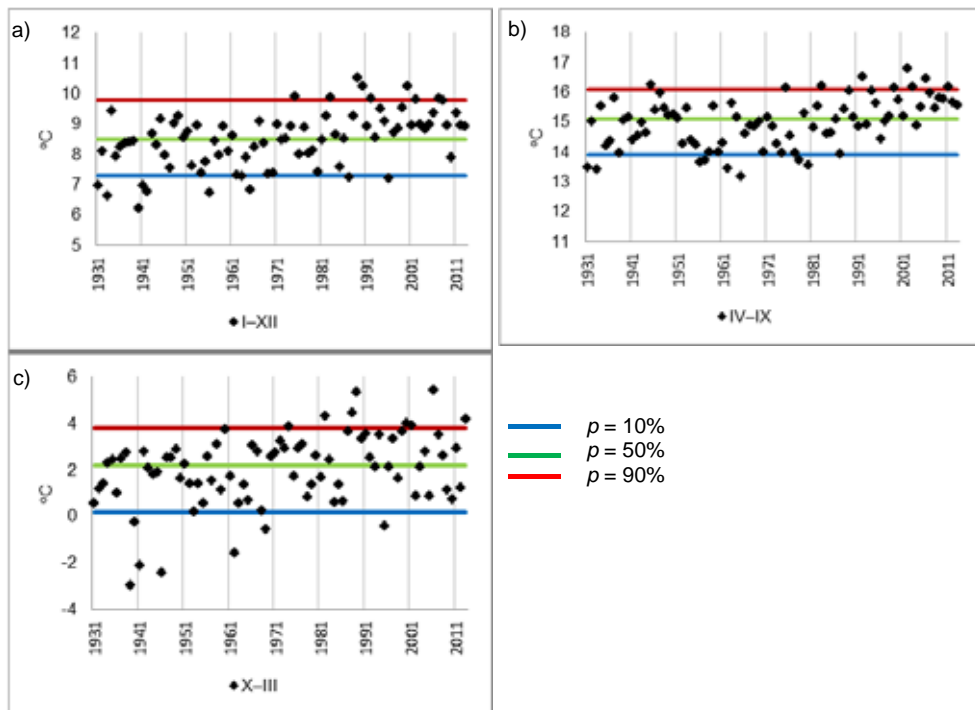
**Tabela 5.** Liczba lat w poszczególnych klasach według kwantylowej klasyfikacji termicznej**Table 5.** The number of years in different classes according to thermal quintile classification

Miesiąc Month	Numer klasy wg tabeli 1    Class number acc. to table 1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	4	4	8	8	8	18	9	8	8	5	3
II	4	4	8	8	8	18	9	9	7	4	4
III	3	5	7	9	9	18	8	8	8	4	4
IV	4	4	6	10	8	21	8	8	9	1	4
V	4	2	10	6	8	20	10	7	8	4	4
VI	2	6	8	8	8	20	9	7	7	4	4
VII	4	4	7	9	9	19	10	7	9	1	4
VIII	4	4	7	8	7	24	5	8	8	4	4
IX	4	2	10	8	7	20	9	7	8	4	4
X	4	4	3	13	8	22	8	5	8	4	4
XI	4	1	11	8	9	17	9	11	5	4	4
XII	4	4	8	8	9	18	8	8	8	4	4
I–XII	4	6	7	8	9	14	14	4	10	4	3
IV–IX	5	3	7	11	10	12	10	10	6	4	5
X–III	4	3	9	11	7	18	5	10	8	3	5

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

W badanym wieloleciu w Bydgoszczy średnia temperatura **roczna** cechowała się dużą zmiennością z roku na rok (rys. 3a). Szczególnie zmienną była dekada lat 80. (1981–1990), w której oprócz trzech lat normalnych, wystąpiły również dwa najcieplejsze lata w całym analizowanym okresie oraz jeden rok anomalnie chłodny. W kolejnych dwóch dekadach wszystkie lata, z wyjątkiem anomalnie chłodnego 1996 i chłodnego 2010 r., były cieplejsze od roku przeciętnego ( $p = 50\%$ ). Ekstremalnie ciepły był rok 2000. W pierwszej dekadzie XXI w., podobnie jak w latach 70. ubiegłego wieku, nie było lat anomalnie i ekstremalnie chłodnych. Zauważalna jest również tendencja ocieplenia, szczególnie pod koniec XX w. Takie tendencje zmian zachodzących w skali zarówno lokalnej, jak i globalnej przedstawiono w wielu publikacjach polskich i zagranicznych [BRÁZDIL i in. 2009; JĘDRYS, LEŚNY 2007; KLEIN TANK i in. 2002; MAROSZ i in. 2011; WERGEN i in. 2014]. W globalnym rejestrze pomiarów instrumentalnych, obejmujących okres od 1850 r., wśród 13 najcieplejszych lat kalendarzowych znajduje się aż 12 lat z przełomu XX i XXI w. [IPCC 2007 za KUNDZEWICZEM i in. 2009]. Tendencja wzrostu temperatury może utrzymać się również w przyszłości, co na podstawie analizy scenariuszy zmian klimatu przewidują DONATELLI i in. [2012] dla Europy oraz BĄK i ŁABĘDZKI [2014] dla regionu Bydgoszczy.

W latach 1981–2013 w Bydgoszczy przeważały **półroczna letnie** (rys. 3b) normalne i ogólnie ciepłe. W tym czasie nie wystąpiły takie, które można zaliczyć do



Rys. 3. Średnia temperatura w Bydgoszczy w kolejnych latach 1931–2013 oraz linie wartości temperatury o prawdopodobieństwie nieprzewyższenia  $p = 10, 50$  i  $90\%$ ; a) roczna, b) półrocza letniego (IV–X), c) półrocza zimowego (X–III); źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Mean temperature in Bydgoszcz in consecutive years 1931–2013 and temperature lines at the probability of non-exceedance  $p = 10, 50$  and  $90\%$ ; a) annual, b) summer half-year (April–September), c) winter half-year (October–March); source: own elaboration

ekstremalnie i anomalnie chłodnych (tylko w 1987 r. temperatura była na granicy klasy bardzo chłodnej). Natomiast czterokrotnie wystąpiły sezony ekstremalnie ciepłe i trzykrotnie anomalnie ciepłe (siedem z ośmiu przypadków w tych klasach w całym analizowanym wieloleciu). W tym okresie półrocza letnie cechowała mniejsza niż przeciętnie zmienność temperatury (por. tab. 3).

W latach 70. **półrocza zimowe** charakteryzowały się małą zmiennością temperatury (por. tab. 3). W tym dziesięcioleciu nie wystąpiły sezony ekstremalnie i anomalnie chłodne oraz ekstremalnie i anomalnie ciepłe (rys. 3c). W kolejnej dekadzie aż trzy półrocza były co najmniej anomalnie ciepłe, a w latach 90. wszystkie, z wyjątkiem anomalnie chłodnego 1995/1996, mieściły się w przedziale temperatury zbliżonej lub wyższej od mediany. W pierwszej dekadzie XXI w. obserwowano większe niż w poprzedniej dekadzie zróżnicowanie temperatury tego półrocza. Wystąpiły cztery lata z temperaturą znacznie niższą od mediany, a półrocze 2006/2007 było ekstremalnie ciepłe.

W ciągu ostatnich 33 lat (od 1981 r.) nie wystąpiły lata ani półrocza **ekstremalnie chłodne**. Ostatnim rokiem anomalnie chłodnym był 1996. Natomiast wszystkie lata i półrocza (z wyjątkiem sezonu letniego w 1945 r.) **ekstremalnie ciepłe** wystąpiły po 1981 r. Szczegółowe zestawienie okresów ekstremalnych i anomalnych znajduje się w tabeli 6.

**Tabela 6.** Lata wystąpienia ekstremalnych i anomalnych okresów w Bydgoszczy w latach 1931–2013 według kwantylowej klasyfikacji termicznej

**Table 6.** Years of extreme and abnormal periods in Bydgoszcz in 1931–2013 according to thermal quantile classification

Miesiąc Month	Ekstremalnie chłodny Extremely cold	Anomalnie chłodny Abnormally cold	Anomalnie ciepły Abnormally warm	Ekstremalnie ciepły Extremely warm
I	<b>1940</b> , 41, 63, 87	1942, 47, 2006, 10	1944, 88, 89, 90, 94	1975, <b>83</b> , 2007
II	<b>1940</b> , 47, 54, 56	1942, 63, 85, 86	1957, 2000, 02, 08	1989, <b>90</b> , 95, 98
III	<b>1942</b> , 64, 2013	1931, 32, 52, 58, 87	1961, 67, 77, 2012	1938, 89, <b>90</b> , 2007
IV	<b>1931</b> , 38, 56, 58	1933, 54, 55, 97	2007	1948, <b>2000</b> , 09, 11
V	1935, <b>65</b> , 80, 91	1957, 62	1971, 86, 2000, 03	1931, 37, 93, <b>2002</b>
VI	<b>1932</b> , 2009	1933, 42, 58, 62, 84, 85	1953, 54, 2003, 07	<b>1940</b> , 64, 79, 92
VII	1962, <b>65</b> , 74, 79	1954, 61, 96, 2000	1995	1959, 94, <b>2006</b> , 10
VIII	1931, <b>56</b> , 61, 87	1936, 40, 57, 65	1939, 42, 44, 82	1975, 92, 97, <b>2002</b>
IX	<b>1931</b> , 52, 57, 96	1978, 86	1934, 42, 47, 82	1975, <b>99</b> , 2005, 06
X	1936, 39, <b>46</b> , 2003	1931, 51, 92, 2010	1961, 89, 95, 2006	1967, 84, <b>2000</b> , 01
XI	<b>1941</b> , 65, 93, 98	1956	1938, 51, 77, 86	<b>1963</b> , 78, 2000, 06
XII	1933, <b>69</b> , 2002, 10	1946, 62, 95, 96	1949, 51, 54, 85	1971, 74, <b>2006</b> , 11
I–XII	1933, <b>40</b> , 42, 56	1931, 41, 63, 65, 87, 96	1975, 83, 92, 2007	<b>1989</b> , 90, 2000
IV–IX	1931, 33, 62, <b>65</b> , 80	1956, 57, 78	1975, 99, 2003, 11	1945, 83, 92, <b>2002</b> , 06
X–III	<b>1939/40</b> , 41/42, 46/47, 62/63	1940/41, 68/69, 95/96	1974/75, 2000/01, 01/02, 13/14	1982/83, 88/84, 89/90, <b>2006/07</b>

Objaśnienia: liczby pogrubione oznaczają rok, w którym okres był najchłodniejszy i najcieplejszy w serii 1931–2013; lata wyszczególnione według kolejności od najwcześniejszego.

Explanations: bold numbers indicate the year, in which the period was coldest and warmest in 1931–2013; the years specified in the chronological order.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Spośród sumarycznej liczby 89 **miesięcy** zakwalifikowanych do klas 1 i 2 (ekstremalnie i anomalnie chłodne) największą liczbę zarejestrowano w latach 30. i 50. XX w. (po 18), a najmniejszą w latach 70. (tylko 4). Wśród 90 miesięcy w klasach 10 i 11 (anomalnie i ekstremalnie ciepłe) najczęściej było w ostatnich dwóch dekadach, to znaczy w latach 90. i pierwszej dekadzie XXI w. (po 17), a najmniej w latach 50. i 60. (po 6).

W pierwszej części badanego okresu (do końca lat 60.) obserwowano przewagę lat, półroczy, miesięcy anomalnie chłodnych nad anomalnie ciepłymi. Liczba mie-

sięcy chłodnych była 2,4 razy większa niż miesięcy ciepłych. W drugiej części okresu (po 1970 r.) liczba miesięcy ciepłych była również 2,4 razy większa niż chłodnych.

## PODSUMOWANIE

Średnia temperatura powietrza w Bydgoszczy w latach 1931–2013 wyniosła 8,5°C. Charakteryzowała się dużą zmiennością, co jest nieodłączną cechą klimatu Polski. Miesiące półrocza zimowego wyróżniały się większą niż półrocza letniego zmiennością temperatury.

Zmiany temperatury charakteryzował istotny trend rosnący. Obejmował on okres zarówno całego roku (0,19°C na 10 lat), jak i półroczy zimowego i letniego. Istotnie statystycznie rosnące trendy zmian temperatury obserwowano również w sześciu miesiącach, w tym trzech wiosennych (marzec, kwiecień i maj).

Począwszy od dekady lat 70. średnia temperatura miesięcy zimowych i od dekady lat 80. również miesięcy letnich, była wyższa od średniej wieloletniej. Zmiany temperatury zarejestrowane w Bydgoszczy były zgodne z kierunkiem zmian obserwowanych na stacji położonej na obrzeżu miasta oraz w większej skali przestrzennej (w Polsce i Europie). Wpływ na zmiany temperatury w Bydgoszczy mogły mieć również przekształcenia antropogeniczne w obrębie miasta (np. procesy urbanizacyjne).

Dziesięciolecie 2001–2010 charakteryzowało się większą liczbą ciepłych miesięcy w półroczu letnim oraz większą liczbą chłodnych miesięcy w półroczu zimowym niż w dekadzie poprzedniej. Pomimo ogólnie rosnącego trendu zmian temperatury, częstość wystąpienia miesięcy i półroczy zimowych ekstremalnie i anomalnie chłodnych była większa w ostatnim dziesięcioleciu niż w poprzednich trzech dekadach.

Określone prawdopodobieństwa nieprzewyższenia średniej temperatury rocznej, półroczy i miesięcy były podstawą klasyfikacji termicznej badanych okresów. Wyszczególniono okresy, w których obserwowano ekstremalnie i anomalnie niską bądź wysoką temperaturę powietrza. Lata zaklasyfikowane jako normalne stanowiły 16,9% w badanym wieloleciu, półrocza letnie – 14,5% i półrocza zimowe – 21,7%.

Opracowany na podstawie 83-letniej serii pomiarowej temperatury rozkład prawdopodobieństwa wartości miesięcznych, półroczy i rocznych może być przydatny do analizy warunków termicznych w Bydgoszczy i obszarach o podobnym klimacie lokalnym – zarówno w latach minionych, jak i przyszłych. Na podstawie tych wartości oraz kryteriów kwantylowej klasyfikacji termicznej można ocenić czy dany miesiąc, półrocze lub rok należy do chłodnych ( $p < 40\%$ ), normalnych ( $40\% \leq p \leq 60\%$ ) czy ciepłych ( $p > 60\%$ ).



Podziękowanie: Niniejsza praca powstała dzięki wieloletniemu zaangażowaniu zespołu Ośrodka Badawczego ITP w Bydgoszczy pod kierunkiem prof. E. Hohendorfa, prof. W. Roguskiego i prof. L. Łabędzkiego.

## LITERATURA

- BAK B. 2003. Warunki klimatyczne Wielkopolski i Kujaw. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 3. Z. specj. (9) s. 14–38.
- BAK B., ŁABĘDZKI L. 2014. Thermal conditions in Bydgoszcz region in growing season of 2011–2050 in view of climate change. *Journal of Water and Land Development*. No. 23 s. 21–29.
- BORYCZKA J. 2001. Klimat Ziemi: przeszłość, teraźniejszość, przyszłość. *Prace i Studia Geograficzne*. T. 29 s. 55–72.
- BORYCZKA J., STOPA-BORYCZKA M. 2004. Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX–XXI wieku. *Acta Agrophysica*. T. 3 (1) s. 21–33.
- BRÁZDIL R., CHROMÁ K., DOBROVOLNÝ P., TOLASZ R. 2009. Climate fluctuations in Czech Republic during the period 1961–2005. *International Journal of Climatology*. Vol. 29 s. 223–242.
- CZERNECKI B., MIĘTUS M. 2011. Porównanie stosowanych klasyfikacji termicznych na przykładzie wybranych regionów Polski. *Przegląd Geofizyczny*. R. LVI. Z. 3–4 s. 201–233.
- DEGIRMENZIĆ J., KOZUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E. 2004. Changes of air temperature and precipitation in Poland in the period 1951–2000 and their relationship to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*. Vol. 24 s. 291–310.
- DONATELLI M., FUMAGALLI D., ZUCCHINI A., DUVEILLER G., NELSON R. L., BARUTH B. 2012. A EU27 database of daily weather data derived from climate change scenarios for use with crop simulation models. *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSS)* [online]. 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software. Managing Resources of a Limited Planet: Pathways and Visions under Uncertainty, Sixth Biennial Meeting. Leipzig, Germany. [Dostęp 09.02.2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2012-proceedings>
- FORTUNIAK K. 2003. Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne. *Studia eksperymentalne. Modele numeryczne i statystyczne. Rozprawy habilitacyjne Uniwersytetu Łódzkiego*. Łódź. Wydaw. UŁ. ISBN 83-7171-658-3 ss. 233.
- GREGORCZYK A., MICHALSKA B. 2011. Próba prognozowania rocznej temperatury powietrza w Szczecinie za pomocą wyrównywania wykładniczego. *Przegląd Geograficzny*. T. 83. Z. 3 s. 385–393.
- HOHENDORF E. 1948. 100 lat istnienia stacji meteorologicznej w Bydgoszczy. *Przegląd Meteorologiczny i Hydrologiczny*. Z. 1 s. 89–93.
- IMGW-PIB 2013. *Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej*. Nr 13 (137). ISSN 1730-6124 ss. 68.
- IPCC 2007. *Zmiana klimatu 2007: Raport Syntetyczny*. Wkład Grup roboczych I, II, i III do Czwartego Raportu Oceniającego Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu. Pr. zbior. Red. R.K. Pachauri, A. Reisinger. Warszawa 2009. Wydaw. IOŚ. ISBN 978-83-60312-01-8 ss. 112 (wersja polskojęzyczna).
- JĘDRYS K., LEŚNY J. 2007. Analiza zmienności temperatury powietrza w Poznaniu w latach 1973–2003. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 7. Z. 2a (20) s. 137–145.
- JONES P. D., NEW M., PARKER D. E., MARTIN S., RIGOR I. G. 1999. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*. T. 37. Z. 2 s. 173–199.
- KLEIN TANK A.M.G., WIJNGAARD J. B., KÖNNEN G. P., BÖHM R., DEMARÉE G., GOCHEVA A., MILETA M., PASHIARDIS S., HEJRLIK L., KERN-HANSEN C., HEINO R., BESSEMOULIN P., MÖLLER-WESTERMEIER G., TZANAKOU M., SZALAI S., PÁLSDÓTTIR T., FITZGERALD D., RUBIN S., CAPALDO

- M., MAUGERI M., LEITASS A., BUKANTIS A., ABERFELD R., VAN ENGELEN A. F. V., FORLAND E., MIETUS M., COELHO F., MARES C., RAZUVAEV V., NIEPLOVA E., CEGNAR T., ANTONIO LÓPEZ J., DAHLSTRÖM B., MOBERG A., KIRCHHOFFER W., CEYLAN A., PACHALIUK O., ALEXANDER L. V., PETROVIC P. 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *International Journal of Climatology*. Vol. 22 s. 1441–1453.
- KONDRACKI J. 2002. *Geografia regionalna Polski*. Warszawa. Wydaw. Nauk. PWN. ISBN 83-01-12479-2 ss. 440.
- KUNDZEWICZ Z.W., GERSTENGARBE F. W., ÖSTERLE H., WERNER P. C. 2009. Recent anomalies of mean temperature of 12 consecutive months – Germany, Europe, Northern Hemisphere. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 95 s. 417–422.
- LEWIŃSKA J. 2000. *Klimat miasta – zasoby, zagrożenia, kształtowanie*. Kraków. IGPIK. ISBN 83-86847-95-6 ss. 151.
- ŁABĘDZKI L., KASPERSKA-WOŁOWICZ W. 2005. Zmienność warunków meteorologicznych i ewapotranspiracji użytków zielonych w dolinie górnej Noteci w latach 1972–2003. W: *Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych*. Pr. zbior. Red. K. Krzemień, J. Trepińska, A. Bokwa. Kraków. Wydaw. IGiGP UJ. s. 225–238.
- ŁABĘDZKI L., BAK B., SMARZYŃSKA K. 2014. Spatio-temporal variability and trends of Penman-Monteith reference evapotranspiration (FAO-56) in 1971–2010 under climatic conditions of Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 23. No. 6 s. 2083–2091.
- ŁASZYCA E., KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA R. 2013. Ocena warunków termicznych w rejonie Bydgoszczy na przykładzie stacji lotnisko Bydgoszcz-Szwederowo. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 1/II/2013 s. 73–87.
- MAROSZ M., WÓJCIK W., BIERNACIK D., JAKUSIK E., PILARSKI M., OWCZAREK M., MIĘTUS M. 2011. Zmienność klimatu Polski od połowy XX wieku. *Rezultat projektu Klimat. Prace i Studia Geograficzne*. T. 47 s. 51–66.
- MICHALSKA B. 2009. Variability of air temperature in north western Poland. W: *Environmental aspects of climate change*. Pr. zbior. Red. Z. Szwejkowski. Olsztyn. Wydaw. UWM s. 89–107.
- MICHALSKA B. 2011. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Prace i Studia Geograficzne*. T. 47 s. 67–75.
- NYCKOWIAK J., LEŚNY J., OLEJNIK J. 2014. Changes in meteorological conditions in a Polish city, 1848–2009. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 23. No. 1 s. 149–155.
- PRZYBYLAK R., MASZEWSKI R. 2009. Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w regionie bydgosko-toruńskim w latach 1881–2005. *Acta Agrophysica*. T. 14(2) s. 427–447.
- ROGUSKI W., KASPERSKA W., ŁABĘDZKI L. 1996. Warunki termiczne i opadowe w Bydgoszczy w latach 1945–1994 na tle lat 1848–1930. *Wiadomości IMUZ*. T. 19. Z. 1 s. 7–20.
- SCHÖNWIESE CH.D. 1997. *Klimat i człowiek*. Warszawa. Wydaw. Prószyński i S-ka. ISBN 83-7180-099-1 ss. 188.
- WERGEN G., HENSE A., KRUG J. 2014. Record occurrence and record values in daily and monthly temperatures. *Climate Dynamics*. Vol. 42 s. 1275–1289.
- WIBIG J., FORTUNIAK K., KŁYSIK K. 2004. Rekonstrukcja serii temperatury powietrza w Łodzi z okresu 1903–2000. *Acta Geographica Lodziensia*. T. 89 s. 19–33.
- WIĘCŁAW M. 2009. Roczna i wieloletnia zmienność częstości występowania mas powietrza w Bydgoszczy. W: *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*. *Promotio Geographica Bydgiostiensia*. T. 4 s. 105–118.
- WOŚ A. 1996. *Zarys klimatu Polski*. Poznań. Wydaw. Nauk. UAM. ISBN 83-232-0755-0 ss. 301.

Wiesława KASPERSKA-WOŁOWICZ, Tymoteusz BOLEWSKI

## VARIABILITY OF AIR TEMPERATURE IN BYDGOSZCZ IN THE YEARS 1931–2013

**Key words:** *climate change, long term data series, quintile-based thermal classification, trend*

### S u m m a r y

The aim of the paper was to characterise thermal conditions and to analyse air temperature variability in Bydgoszcz in the years 1931–2013. The study included annual, summer half-year (April–September), winter half-year (October–March) and monthly mean temperatures. The average air temperature in the analysed long term period was 8.5°C.

We noticed a significant increasing trend in the mean annual air temperature in Bydgoszcz, which raised by 0.19°C per 10 years. Stronger increasing trend was observed for winter half-year (0.23°C per 10 years) than for summer half-year (0.14°C per 10 years). Winter months were characterised by greater temperature variability than summer months.

Distinct warming of the winter half-year was observed in the 1970s, that for summer half-year – one decade later.

We determined mean annual, half-year and monthly temperature for a given probability of non-exceedance. On this basis we performed thermal classification of examined periods (year, half-year, month). We specified periods with extremely and abnormally low or high air temperatures. The share of the extremely and abnormally cold years was 12.0% whereas that of extremely and abnormally warm years – 8.4%. Normal years accounted for 16.9% in the whole 83-year study period.

Due to the long data series of temperature in Bydgoszcz (83 years), the results of the analysis can be used for comparative analysis of other long lasting temperature series. They can also be useful for the analysis and assessment of climate change and assessment of thermal conditions either in the past or in the future.

**Adres do korespondencji:** dr inż. W. Kasperska-Wołowicz, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy ITP w Bydgoszczy, ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz; tel. + 48 52 375-01-07, e-mail: w.kasperska-wołowicz@itp.edu.pl