

Niektóre cechy wieloletniej zmienności temperatury powietrza w Polsce (1951-2010)

*Some features of long-term variability
in air temperature in Poland (1951-2010)*

ROBERT WÓJCIK

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - PIB
01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61; wojcik.robert_xl@wp.pl

MIROSLAW MIĘTUS

Instytut Geografii, Uniwersytet Gdański
80-952 Gdańsk, ul. Bażyńskiego 4; mietus@ug.gda.pl

Zarys treści. Celem pracy jest przedstawienie cech oraz określenie przestrzennego zróżnicowania zmienności średniej temperatury powietrza w Polsce w wieloleciu 1951-2010. Omówiono zmiany długookresowe (trendy), średnie dekadowe, wieloletnią zmienność anomalii temperatury oraz okresy cieplejsze i chłodniejsze.

Najważniejszą cechą zmienności temperatury powietrza jest występowanie na obszarze całego kraju statystycznie istotnego wzrostu średniej temperatury rocznej oraz wiosny i lata. Wzrost ten przejawia się m.in. w zdecydowanej dominacji anomalii dodatnich od końca lat 1980. Dekada 2001-2010 była (z wyjątkiem zimy) najcieplejszą od połowy XX wieku. Trend rosnący stwierdzono w lutym, marcu, kwietniu, maju oraz w lipcu i sierpniu. Wahania średniej rocznej temperatury w Polsce nie przekraczają $\pm 2^{\circ}\text{C}$ w stosunku do średniej wieloletniej, a zakres zmienności jest wyraźnie największy zimą (z maksimum w lutym). Stwierdzono duże podobieństwo przebiegu zmian średniej temperatury powietrza między poszczególnymi regionami, co świadczy o wielkoskalowym charakterze czynnika(ów) powodujących obserwowane zmiany.

Słowa kluczowe: zmienność klimatu, temperatura powietrza, średnie obszarowe, trendy, anomalie temperatury, Polska.

Wprowadzenie

Warunki klimatyczne i ich zmienność wywierają znaczący wpływ na różne dziedziny działalności człowieka, a szczególnie niekorzystne jest występowanie takich zjawisk jak fale mrozów i upałów, intensywne opady, powodzie, susze czy sztormy. Analiza wieloletnich serii pomiarów meteorologicznych umożliwia

poznanie zakresu wahań warunków klimatycznych oraz określenie kierunku i tempa zmian, jak również pozwala na spojrzenie na obecnie mierzone wartości elementów klimatu na tle warunków wieloletnich („normalnych”). Dysponując długimi seriami danych można też poszukiwać przyczyn zachodzących zmian klimatu. Zagadnienia te nabierają szczególnego znaczenia w kontekście szeroko dyskutowanej globalnej zmiany klimatu, której głównym przejawem jest systematyczny wzrost średniej temperatury powietrza. Według IPCC (2013) w okresie 1880-2012 średnia globalna temperatura wzrosła o 0,85°C, a w okresie 1906-2005 o 0,74°C (IPCC, 2007), rosła więc przeciętnie około 0,06-0,07°C na 10 lat, jednak w drugiej połowie tego wielolecia tempo ocieplenia wyraźnie wzrosło i było już niemal dwukrotnie większe – 0,13°C/10 lat. Wartość globalna nie oddaje jednak przestrzennego zróżnicowania tempa zmian, skłaniając do oceny zmienności warunków klimatycznych w skalach regionalnych lub lokalnych. Według The BACC Author Team (*Assessment of Climate Change...*, 2008) w rejonie Morza Bałtyckiego ocieplenie postępuje szybciej niż globalnie, wykazując przy tym znaczne różnice sezonowe.

Można wyróżnić dwa podstawowe cele niniejszej pracy. Pierwszym jest przedstawienie niektórych cech wieloletniej zmienności średniej temperatury powietrza w Polsce w 60-leciu 1951-2010. Drugim, związanym z rodzajem wykorzystanych danych, jest zademonstrowanie możliwości syntetycznego opisu czasowej i przestrzennej zmienności warunków termicznych za pomocą wartości średnich regionalnych. Ten sposób analizy pozwala na identyfikację podstawowych cech zmienności, z pominięciem mniej istotnych (z punktu widzenia monitoringu zmian klimatu) lokalnych własności pola temperatury. Nie bez znaczenia jest także możliwość porównania rezultatów z analizami przeprowadzonymi w innych krajach, czy też na poziomie regionalnym lub globalnym.

Przedstawione wyniki są rozwinięciem analizy dokonanej w ramach projektu KLIMAT i wcześniej częściowo omówionej m.in. przez D. Biernacika i innych (2010) oraz M. Marosza i innych (2011). Przedstawione poniżej wyniki stanowią w stosunku do wyżej wymienionych prac bardziej dogłębną analizę zmian i zmienności temperatury powietrza w Polsce po 1951 r. oraz rozszerzają zakres czasowy analizy do 2010 roku, zapewniając 60-letni okres badań.

Metody badań

Do opisu zmienności warunków termicznych posłużono się średnią obszarową temperaturą powietrza w roku, porach roku i miesiącach, obliczoną dla obszaru całego kraju i 7 podstawowych regionów fizycznogeograficznych Polski według podziału J. Kondrackiego (2002), tj. pobrażęży, pojezierzy, nizin, wyżyn, Podkarpacia, Sudetów i Karpat. W podziale tym uwzględniono czynniki istotne dla kształtowania się zróżnicowania przestrzennego warunków termicznych w Polsce, takie jak wysokość nad poziomem morza, rzeźba terenu, struktura

użytkowania terenu, a pośrednio także odległość od Morza Bałtyckiego oraz ilość docierającego promieniowania słonecznego. Wielkość tych regionów zapewnia ponadto dostępność serii pomiarowych o długości adekwatnej do celu analizy. Wykorzystanie wartości uśrednionych przestrzennie umożliwi syntetyczną ocenę zmian zachodzących na dużym terenie i pozwala na ograniczenie wpływu skutków potencjalnych niejednorodności poszczególnych serii pomiarowych, mogących istotnie „modyfikować” zmiany wieloletnie.

Do wyliczenia średniej obszarowej temperatury w Polsce wykorzystano dane z 45 stacji synoptycznych z okresu 1951-2010 (tab. 1). W regionach liczba stacji wyniosła od 2 (Sudety) do 13 (niziny), a głównym kryterium doboru stacji były

Tabela 1. Lista stacji meteorologicznych przypisanych do poszczególnych regionów
List of meteorological stations assigned to particular geographical regions

Region	Stacje Stations	Region	Stacje Stations	Region	Stacje Stations				
Pobrzeża	Świnoujście Szczecin Resko Kołobrzeg Koszalin Ustka Łeba Hel Elbląg	Niziny	Legnica Leszno Wrocław Opole Racibórz Kalisz Koło Łódź Warszawa Siedlce Białystok Włodawa Terespol	Wyżyny	Wieluń Katowice Kielce Lublin				
						Podkarpacie	Kraków Tarnów Sandomierz Rzeszów		
								Sudety	Jelenia Góra Kłodzko
				Pojezierza	Słubice Gorzów Wlkp. Zielona Góra Poznań Chojnice Toruń Płock Olsztyn Mikołajki Suwałki				

jak najmniejsze braki w seriach pomiarowych. Średnia obszarowa temperatura powietrza $[T_i]_{\text{obsz}}$ została wyznaczona jako średnia ważona uwzględniająca odległości wybranych stacji względem punktu centralnie położonego w danym regionie, co można opisać następującym wzorem (Miętus, 1996; Biernacki i inni, 2010):

$$[T_i]_{\text{obsz}} = \frac{\sum_{j=1}^k w_j T_{ij}}{\sum_{j=1}^k w_j}$$

gdzie: T_{ij} – średnia (roczna, sezonowa, miesięczna) temperatura powietrza na j -tej stacji w chwili i , k – liczba stacji w danym regionie, a w_j – to współczynnik wagowy każdej stacji zdefiniowany przez H. Alexanderssona (1986):

$$w_j = \exp(-dL_j)$$

gdzie: L_j – odległość j -tej stacji (w km) od geometrycznego środka obszaru, a współczynnik d w przypadku temperatury przyjmuje wartość $0,001 \text{ km}^{-1}$.

Tak obliczone wartości temperatury powietrza nie są oczywiście tożsame z rzeczywistą temperaturą występującą na danym obszarze – nie pozwala na to zbyt mała liczba dostępnych wieloletnich serii pomiarowych, zwłaszcza w przypadku regionów górskich, cechujących się dużym zróżnicowaniem przestrzennym pola temperatury. W przypadku Sudetów wartości są reprezentatywne dla pomiarów dokonywanych w kotlinach na wysokości około 350 m n.p.m., a w Karpatach – średniej wysokości około 515 m n.p.m. Ograniczenia te są odzwierciedleniem niewystarczającej gęstości punktów pomiarowych funkcjonujących nieprzerwanie od kilkudziesięciu lat. Wartości regionalne dają jednak wiarygodny pogląd na kierunek i wielkość zmian temperatury powietrza i stanowią cenne narzędzie w monitoringu zmian klimatu.

Do określenia kierunku i tempa zmian temperatury powietrza posłużono się trendem liniowym, którego istotność (na poziomie $\alpha = 0,05$) zweryfikowano testem F-Snedecora. Przeanalizowano również przebieg średnich dekadowych wartości temperatury powietrza (rok i pory roku). We wszystkich rozpatrywanych skalach czasowych przedstawiono graficznie wieloletni przebieg anomalii temperatury. Anomalia w niniejszej pracy oznacza odchylenie średniej temperatury powietrza (miesiąca, pory roku lub roku) od średniej wieloletniej (1951-2010). Zwrócono również uwagę na zakres zmienności temperatury powietrza i jego zróżnicowanie przestrzenne. Wygładzenie serii filtrem Gaussa z oknem 10-letnim pozwoliło wyróżnić w analizowanym wieloleciu okresy cieplejsze oraz chłodniejsze. Określono również średnie i ekstremalne wartości rocznej amplitudy temperatury powietrza w Polsce i w poszczególnych regionach.

Wyniki

Rok

Średnią temperaturę powietrza w okresie 1951-2010, zarówno w całym kraju, jak i w poszczególnych regionach fizycznogeograficznych, cechował istotny statystycznie trend rosnący. Tempo zmian średniej temperatury (tab. 2) w Polsce osiągnęło 0,22°C/10 lat i było nieznacznie mniejsze niż w okresie 1951-2008, kiedy wyniosło 0,24°C/10 lat (Biernacki i inni, 2010; Marosz i inni, 2011). Najszybciej temperatura wzrastała na pobrzeżach i w Karpatach (0,24°C/10 lat), wyraźnie wolniej na wyżynach i w Sudetach (0,18°C/10 lat). Warto zauważyć, że

Tabela 2. Miesięczne, sezonowe i roczne wartości współczynników trendu (°C na 10 lat) średniej temperatury powietrza w poszczególnych regionach i Polsce w wieloleciu 1951-2010

Monthly, seasonal and annual values for trend coefficients (°C per 10 years) in mean air temperature in Poland and in the analyzed geographical regions, as calculated for the 1951-2010 period

Okres <i>Time</i>	Pobrzeża <i>Shoreland</i>	Pojezierza <i>Lakelands</i>	Niziny <i>Lowlands</i>	Wyżyny <i>Uplands</i>	Podkarpatcie <i>Subcarpathia</i>	Sudety <i>The Sudetes</i>	Karpaty <i>The Carpathians</i>	Polska <i>Poland</i>
I	0,28	0,30	0,31	0,27	0,33	0,20	0,32	0,30
II	0,53	0,56	0,55	0,47	0,49	0,44	0,46	0,52
III	0,41	0,44	0,45	0,39	0,46	0,31	0,40	0,42
IV	0,39	0,37	0,31	0,28	0,29	0,26	0,32	0,33
V	0,35	0,30	0,29	0,29	0,36	0,32	0,41	0,32
VI	0,08	-0,04	-0,03	-0,02	0,10	0,07	0,18	0,02
VII	0,31	0,28	0,26	0,24	0,29	0,25	0,33	0,28
VIII	0,28	0,28	0,26	0,24	0,24	0,30	0,30	0,27
IX	0,10	0,09	0,07	0,04	0,01	0,05	0,03	0,07
X	0,02	0,02	0,07	0,02	0,05	0,07	0,09	0,04
XI	0,10	0,07	0,07	0,02	0,06	0,01	0,10	0,07
XII	0,04	0,01	-0,03	-0,12	-0,10	-0,11	-0,07	-0,03
Zima <i>Winter</i>	0,33	0,35	0,34	0,26	0,30	0,25	0,29	0,32
Wiosna <i>Spring</i>	0,38	0,37	0,35	0,32	0,37	0,30	0,38	0,36
Lato <i>Summer</i>	0,22	0,17	0,17	0,15	0,21	0,20	0,27	0,19
Jesień <i>Autumn</i>	0,07	0,06	0,07	0,02	0,04	0,04	0,08	0,06
Rok <i>Year</i>	0,24	0,22	0,22	0,18	0,21	0,18	0,24	0,22

* średnia wysokość stanowisk pomiarowych to 350 (Sudety) i 515 m n.p.m. (Karpaty)
average elevation of the stations is 350 (The Sudetes) and 515 m a.s.l. (The Carpathians).

tempo wzrostu średniej temperatury powietrza w Polsce w okresie 1951-2000 było nieznacznie słabsze – około $0,17-0,2^{\circ}\text{C}/10$ lat. Według E. Żmudzkiej (2009) zmiany te miały jedynie charakter tendencji, podczas gdy K. Fortuniak i inni (2001), K. Kożuchowski i E. Żmudzka (2001) oraz J. Degirmendzić i inni (2004) wskazują na trend rosnący. Różnice w ocenie charakteru zmian w tych pracach mogą wynikać z nieco innej liczby wykorzystanych stacji lub innej metody weryfikacji istotności statystycznej. W tym samym wieloleciu (1951-2000) istotne statystycznie ocieplenie stwierdzono na wielu stacjach Wybrzeża i Pojezierza Pomorskiego, a średnie tempo wzrostu temperatury wyniosło tam od około $0,2^{\circ}\text{C}$ (Hel, Świnoujście) do około $0,4^{\circ}\text{C}$ na 10 lat (Kołobrzeg, Toruń) (Filipiak, 2004), potwierdzając, że w północnej części kraju temperatura powietrza rośnie szybciej niż w przeciętnie w Polsce. Co ciekawe, spośród ekstremalnych wartości temperatury, wyraźnie większe i istotne statystycznie było tempo zmian temperatury minimalnej (Wibig i Głowicki, 2002; Miętus i Filipiak, 2004), nie potwierdzają tego jednak dane z reanalizy NCEP/NCAR z lat 1951-2005 (Przybylak i inni, 2007; Kejna i inni, 2009), a przyczyny tej niezgodności wyjaśniają M. Miętus i inni (2009). Z kolei jeśli chodzi o Wybrzeże, można zauważyć, że trend w okresie analizowanym w niniejszej pracy jest znacznie silniejszy od zmian zdiagnozowanych dla okresu 1836-1990 przez M. Miętusa (1996).

Długookresowy trend rosnący wyjaśnia około 21% wariacji średniej temperatury powietrza w Polsce w okresie 1951-2010, a w regionach – od około 14% (wyżyny) do 27% (Karpaty). Inną cechą wieloletniej zmienności temperatury powietrza w Polsce jest występowanie okresów chłodniejszych i cieplejszych. Wyniki przedstawione w tabeli 3 wskazują, że najchłodniejsze w Polsce było dziesięciolecie 1961-1970 ($7,4^{\circ}\text{C}$). W kolejnych dekadach temperatura systema-

Tabela 3. Średnia roczna temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$) w kolejnych dekadach wielolecia 1951-2010 w Polsce oraz regionach fizycznogeograficznych

Mean annual air temperature ($^{\circ}\text{C}$) in consecutive decades of the 1951-2010 period in Poland and the different geographical regions

Region	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Polska	7,6	7,4	7,6	8,0	8,3	8,6
Pobrzeża	7,7	7,5	7,8	8,2	8,5	8,7
Pojezierza	7,5	7,3	7,5	7,8	8,1	8,5
Niziny	7,8	7,6	7,8	8,2	8,5	8,8
Wyżyny	7,6	7,5	7,5	7,8	8,1	8,5
Podkarpacie	7,8	7,7	7,7	8,2	8,4	8,8
Sudety	7,1	6,9	7,2	7,4	7,7	7,9
Karpaty	6,7	6,8	7,0	7,3	7,5	7,9

* średnia wysokość stanowisk pomiarowych to 350 (Sudety) i 515 m n.p.m. (Karpaty)
average elevation of the stations is 350 (The Sudetes) and 515 m a.s.l. (The Carpathians).

tycznie wzrastała, osiągając w latach 2001-2010 średnią wartość $8,6^{\circ}\text{C}$. Analogiczny przebieg zmian średnich dekadowych wystąpił w regionach, jedynie w Karpatach najniższa średnia temperatura wyróżnia lata 1951-1960, a w kolejnych dekadach była coraz wyższa.

Więcej szczegółów dostarcza analiza wykresów przebiegu anomalii średniej temperatury w latach 1951-2010 (ryc. 1). Jeśli chodzi o średnią obszarową temperaturę powietrza w Polsce, kilkuletnie okresy wyraźnego ochłodzenia zaznaczyły się w połowie lat 1950., w latach 1962-1965, 1978-1981 oraz 1984-1987. Średnia temperatura była wtedy niższa od średniej wieloletniej (1951-2010) nawet o ponad 1°C . Największa ujemna anomalia wystąpiła w 1956 r. ($-1,8^{\circ}\text{C}$). Dodatkowo odchylenia średniej temperatury wyraźnie zaznaczają się od roku 1988, z wyjątkiem znacznie chłodniejszych lat 1996 i 2010, maksymalnie osiągając $+1,6^{\circ}\text{C}$ (2000 r.). Wygładzenie przebiegu anomalii filtrem Gaussa (ryc. 1) uwidacznia wyraźną okresowość wahań temperatury powietrza, odpowiadającą dominującemu w Polsce cyklowi 8-letniemu (Miętus, 1996; Fortuniak i inni, 2001; Miętus i Filipiak, 2004). Przebieg anomalii w poszczególnych regionach jest niemal identyczny jak w przypadku średniej obszarowej z Polski, co pokazuje, że wahania średniej rocznej temperatury na obszarze kraju cechują się daleko idącą spójnością przestrzenną. W żadnym regionie anomalie średniej rocznej temperatury powietrza nie przekroczyły 2°C poniżej lub powyżej średniej wieloletniej. Wyróżnia się nieco region pobrzeży, gdzie, ze względu na łagodzący wpływ Morza Bałtyckiego na warunki termiczne, wahania temperatury są mniejsze niż w pozostałych regionach – zakres zmienności w latach 1951-2010 wyniósł tam $3,1^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w innych regionach około $3,5^{\circ}\text{C}$. We wszystkich regionach (z wyjątkiem Karpat) rok 2010 okazał się najzimniejszym od 1996 lub 1997, a średnia temperatura powietrza była niższa od średniej z okresu 1951-2010.

Średnia roczna amplituda temperatury powietrza (różnica między średnią temperaturą w najcieplejszym i najchłodniejszym miesiącu) w Polsce w latach 1951-2010 wyniosła $21,8^{\circ}\text{C}$ (tab. 4), a jej wartości skrajne osiągnęły $16,7^{\circ}\text{C}$ (1989) i $29,6^{\circ}\text{C}$ (1963 r.). Spośród regionów fizycznogeograficznych najmniejszą średnią roczną amplitudę temperatury stwierdzono na pobrzeżach ($19,9^{\circ}\text{C}$); potwierdza to znane wcześniej prawidłowości rozkładu przestrzennego tej miary (Paszyński i Niedźwiedz, 1999; Woś, 1999). We wszystkich regionach zakres zmienności tej miary był dość szeroki (kilkanaście stopni). Nie stwierdzono istotnych statystycznie długookresowych zmian amplitudy rocznej temperatury powietrza, a jedynie bardzo słabe tendencje.

W Polsce najcieplejszym miesiącem najczęściej bywa lipiec – w 60-leciu 1951-2010 średnia obszarowa temperatura w tym miesiącu była najwyższa w 37 latach (tab. 5). Ponad połowę rzadziej najwyższą średnią temperaturę stwierdzono w sierpniu (17 przypadków), a sporadycznie w czerwcu (6 przypadków). Zróżnicowanie regionalne najsilniej zaznacza się w przypadku danych dla sierpnia, który najczęściej był najcieplejszym miesiącem w regionie pobrzeży (23 przypadki) i w Karpa-

Tabela 4. Średnia wartość rocznej amplitudy temperatury powietrza (°C) w Polsce i regionach fizycznogeograficznych oraz minimalna i maksymalna wartość tej miary w okresie 1951-2010. W nawiasie podano rok wystąpienia.

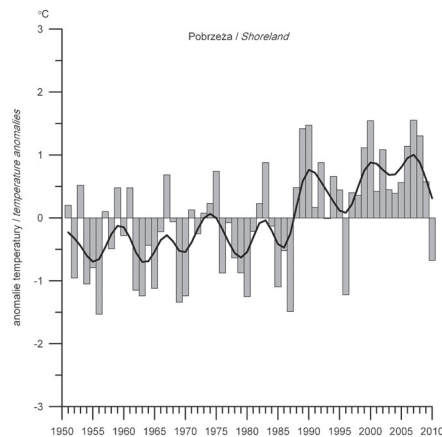
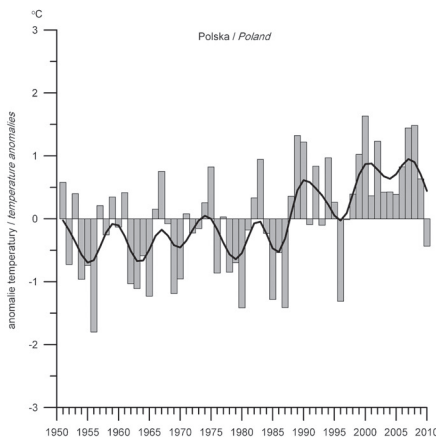
Mean value for the annual range in air temperature (°C) in Poland and the geographical regions, as well as minimal (min) and maximum (max) values for these over the 1951-2010 period. The year of occurrence is given in brackets.

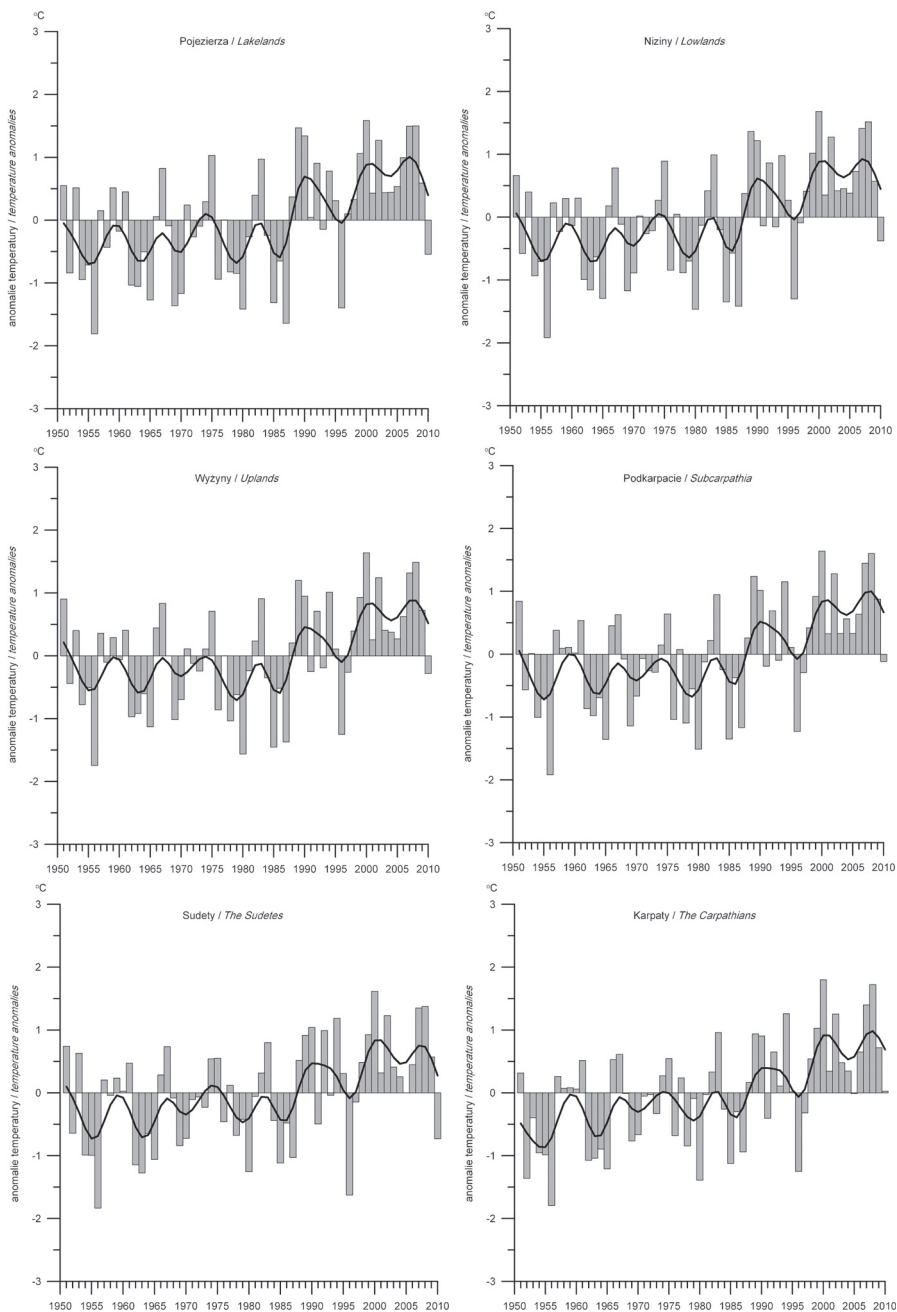
Region	Średnia / Mean	Minimalna / Min	Maksymalna / Max
Polska	21,8	16,7 (1989)	29,6 (1963)
Pobrzeża	19,9	15,5 (1989)	26,2 (2010)
Pojezierza	22,4	17,5 (1989)	30,3 (1963)
Niziny	22,6	17,0 (1989)	31,4 (1963)
Wyżyny	22,6	16,8 (1989)	30,9 (1963)
Podkarpacie	23,0	17,4 (1989)	31,1 (1963)
Sudety	21,0	15,3 (1974)	29,7 (1956)
Karpaty	21,6	16,3 (2008)	29,4 (1956)

* średnia wysokość stanowisk pomiarowych to 350 (Sudety) i 515 m n.p.m. (Karpaty)
average elevation of the stations is 350 (The Sudetes) and 515 m a.s.l. (The Carpathians).

tach (22 przypadki), najrzadziej zaś na nizinach i wyżynach (po 15 przypadków). Warto ponadto zauważyć, że czerwcowe maksimum temperatury nie wystąpiło od 1981 r., tylko na pojezierzach ostatni taki przypadek zdarzył się w 2007 r.

Wyraźnie większa jest różnorodność jeśli chodzi o najzimniejszy miesiąc w roku. W okresie 1951-2010 najczęściej w Polsce najniższą temperaturą cechował się styczeń, jednak taka sytuacja miała miejsce w mniej niż połowie przypadków (27 razy) (tab. 6). Nieco rzadziej najzimniejszym miesiącem bywał luty





Ryc. 1. Wieloletni (1951-2010) przebieg anomalii średniej rocznej temperatury powietrza w Polsce i poszczególnych regionach fizycznogeograficznych. Dodatkowa krzywa reprezentuje przebieg serii wygładzonej filtrem Gaussa z oknem 10-letnim

Long-term (1951-2010) course for anomalies in annual mean air temperature in Poland and the different analyzed geographical regions. Additional curve represents series filtered by 10-year-window Gaussian filter

Tabela 5. Najcieplejszy miesiąc roku – liczba przypadków w okresie 1951-2010
The hottest month of the year – number of cases in the 1951-2010 period

Region	Czerwiec / June	Lipiec / July	Sierpień / August
Polska	6	37	17
Pobrzeża	3	34	23
Pojezierza	8	36	16
Niziny	7	38	15
Wyżyny	7	38	15
Podkarpacie	7	36	17
Sudety	6	34	20
Karpaty	4	34	22

* średnia wysokość stanowisk pomiarowych to 350 (Sudety) i 515 m n.p.m. (Karpaty)
average elevation of the stations is 350 (The Sudetes) and 515 m a.s.l. (The Carpathians).

Tabela 6. Najzimniejszy miesiąc w ciągu roku – liczba przypadków w okresie 1951-2010
The coldest month of the year – number of cases in the 1951-2010 period

Region	Listopad <i>November</i>	Grudzień <i>December</i>	Styczeń <i>January</i>	Luty <i>February</i>	Marzec <i>March</i>
Polska	2	13	27	17	1
Pobrzeża	1	13	23	21	2
Pojezierza	2	14	25	18	1
Niziny	2	15	26	16	1
Wyżyny	1	11	29	18	1
Podkarpacie	2	10	34	13	1
Sudety	1	15	28	15	1
Karpaty	1	14	29	15	1

* średnia wysokość stanowisk pomiarowych to 350 (Sudety) i 515 m n.p.m. (Karpaty)
average elevation of the stations is 350 (The Sudetes) and 515 m a.s.l. (The Carpathians).

(17 przypadków) oraz grudzień (13 przypadków). Najniższa miesięczna temperatura może wystąpić także poza klimatologiczną zimą, lecz taka sytuacja ma charakter anomalny – w rozpatrywanym okresie dwukrotnie najzimniejszy był listopad (1988 i 1993), a jeden raz marzec (1952 r.). Zaznacza się znaczne zróżnicowanie przestrzenne pod względem częstości występowania najniższej temperatury w styczniu i lutym. W regionie pobrzeży minimum średniej miesięcznej temperatury powietrza wystąpiło z niemal jednakową częstością w styczniu i lutym (odpowiednio 23 i 21 przypadków). W pozostałych regionach zaznaczyła się wyraźna dominacja stycznia jako najzimniejszego miesiąca, z maksimum na Podkarpaciu (34 przypadki w styczniu, 13 w lutym).

Zima

Średnia temperatura w sezonie zimowym w Polsce w latach 1951-2010 wzrastała w średnim tempie $0,32^{\circ}\text{C}/10$ lat, jednak zmiana ta nie wykazała cech istotności statystycznej (tab. 2). Spośród regionów fizycznogeograficznych jedynie na pobrzeżach stwierdzono wzrost temperatury o charakterze trendu ($0,33^{\circ}\text{C}/10$ lat), a jedną z konsekwencji jest skrócenie termicznej zimy o niemal 4 tygodnie (Czernecki i Miętus, 2010). Porównanie wartości trendów z rezultatami wcześniejszych prac badawczych pokazuje, że tempo i kierunek zmian temperatury powietrza zimą są silnie uzależnione od okresu objętego analizą. M. Miętus (1996) wykazał, że zimą na Wybrzeżu występowało w latach 1837-1990 silne ocieplenie, osiągające $0,14^{\circ}\text{C}/10$ lat. W okresie 1891-1990 w północnej części Polski zaznaczył się niewielki spadek temperatury (Schönwiese i inni, 1994), podczas gdy w drugiej połowie XX wieku odnotowano już tendencję rosnącą rzędu $0,4^{\circ}\text{C}/10$ lat (Zmudzka, 2009). W latach 1951-2008 długookresowe zmiany temperatury zyskały charakter istotnego statystycznie trendu ($0,38^{\circ}\text{C}/10$ lat; Marosz i inni, 2011). W ostatnich dwóch dekadach zaznaczył się spadek temperatury powietrza w zimie, wykazujący zbieżność czasową z osłabieniem cyrkulacji strefowej (Wójcik i Miętus, 2012) i będący przejawem obserwowanego od końca lat 1980. ochłodzenia zimy, obejmującego znaczne obszary łądów półkuli północnej, w tym północną część Eurazji (Cohen i inni, 2012).

Poszczególne miesiące sezonu zimowego wykazują znaczne zróżnicowanie kierunku i wartości zmian długookresowych (tab. 2). W grudniu w żadnym z regionów nie stwierdzono istotnych statystycznie zmian temperatury powietrza, w północnej części kraju (pobrzeża, pojezierza) zaznaczyła się tendencja rosnąca, natomiast w centrum i na południu (niziny, wyżyny, Podkarpacie oraz Karpaty) – malejąca. Także w styczniu zmiany nie miały charakteru trendu, jednak uwidoczniła się dość wyraźna tendencja wzrostowa osiągająca w kraju $0,30^{\circ}\text{C}$ na 10 lat, a w regionach – od $0,20^{\circ}\text{C}$ w Sudetach do $0,33^{\circ}\text{C}$ na Podkarpaciu. Luty natomiast był miesiącem o wyraźnie największym tempie wzrostu temperatury w ciągu roku ($0,52^{\circ}\text{C}/10$ lat). Najszybsze i istotne statystycznie zmiany zachodziły na pobrzeżach, pojezierzach i nizinach, gdzie tempo wzrostu osiągnęło około $0,55^{\circ}\text{C}/10$ lat. Zaznaczało się zauważalne spowolnienie wzrostu średniej temperatury w Polsce w styczniu i w lutym w stosunku do wielolecia 1951-2000, kiedy to wyniosło odpowiednio $0,4^{\circ}\text{C}$ i $0,6-0,7^{\circ}\text{C}/10$ lat (Fortuniak i inni, 2001; Degirmendzić i inni, 2004; Zmudzka, 2009).

Zimą, podobnie jak w roku, wyraźnie najchłodniejsza była dekada 1961-1970 ze średnią temperaturą $-2,8^{\circ}\text{C}$, najcieplejszy natomiast był koniec XX wieku ($-0,6^{\circ}\text{C}$ w latach 1991-2000) (tab. 7). Podobną zmienność czasową można zaobserwować w poszczególnych regionach. Pewnym odstępstwem jest jedynie wystąpienie w Sudetach i Karpatach najcieplejszego okresu w latach 1971-1980.

Jedną ze znanych cech wyróżniających zimę są duże wahania średniej temperatury powietrza. Zakres zmian temperatury w latach 1951-2010 wyniósł w Polsce około $10,2^{\circ}\text{C}$, także w regionach przekracza $10,0^{\circ}\text{C}$, z maksimum na nizinach ($10,7^{\circ}\text{C}$) i w Sudetach ($10,9^{\circ}\text{C}$), jedynie na półwyspach był znacznie mniejszy ($9,1^{\circ}\text{C}$). Charakterystyczna jest także prawidłowość, że największe ujemne anomalie dość wyraźnie przewyższają anomalie dodatnie (ryc. 2), co zauważył już m.in. W. Smosarski (1923). Szczególnie duże ujemne odchylenia temperatury powietrza notowano w sezonach 1962/63 (anomalie wyniosła $-6,2^{\circ}\text{C}$ w stosunku do średniej z okresu 1951-2010) i 1969/70 ($-4,6^{\circ}\text{C}$), a także w połowie lat 1980., z maksimum w sezonie 1984/85 ($-4,3^{\circ}\text{C}$). Znacznie cieplejsze były lata 1988-1995, kiedy średnia temperatura była o niemal 2°C wyższa niż w wieloleciu, a w sezonach 1988/89 i 1989/90 anomalie wyraźnie przekroczyły $+3^{\circ}\text{C}$. Także sezony zimowe 1997/98, 2006/07 i 2007/08 zaznaczyły się jako wyjątkowo ciepłe (anomalie odpowiednio $+3,0^{\circ}\text{C}$, $+3,9^{\circ}\text{C}$ i $+3,0^{\circ}\text{C}$).

Tabela 7. Średnia temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$) zimy w kolejnych dekadach wielolecia 1951-2010 w Polsce oraz regionach fizycznogeograficznych

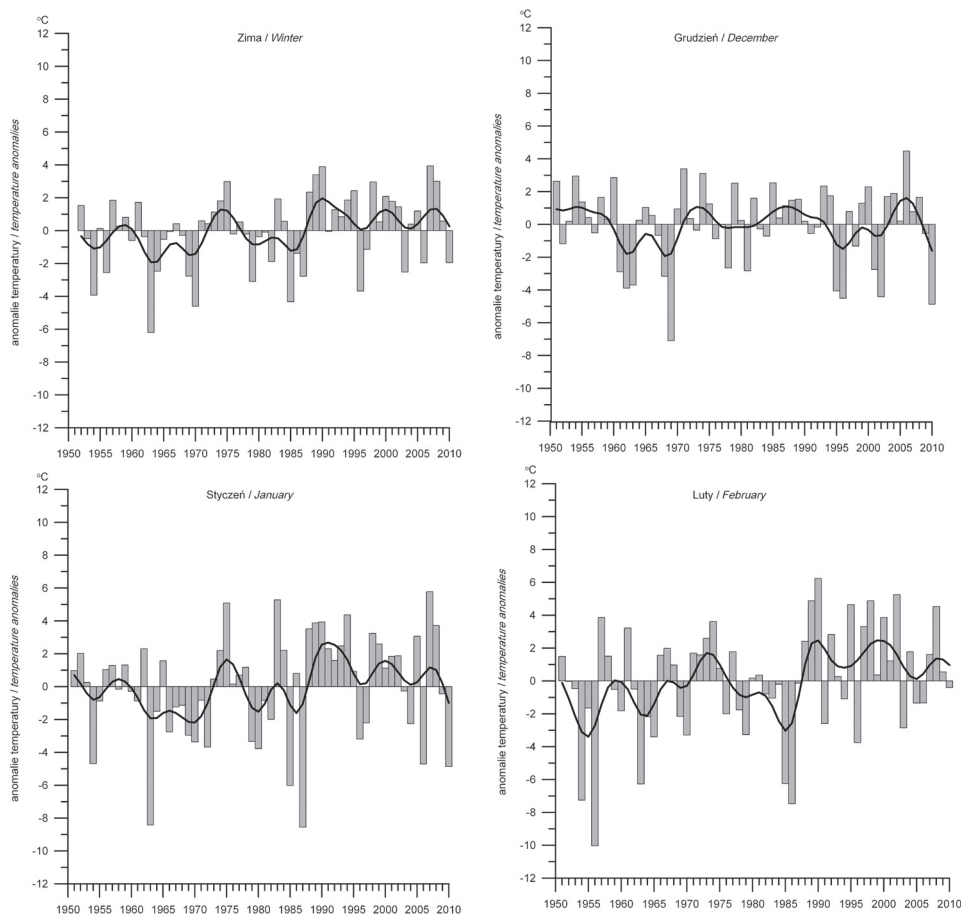
Mean winter air temperature ($^{\circ}\text{C}$) in consecutive decades of the 1951-2010 period in Poland and the different geographical regions analyzed

Region	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2008
Polska	-1,6	-2,8	-0,9	-1,1	-0,6	-0,7
Pobrzeża	-0,4	-1,5	0,1	0,1	0,8	0,7
Pojezierza	-1,8	-3,1	-1,2	-1,3	-0,7	-0,8
Niziny	-1,8	-3,0	-1,0	-1,2	-0,7	-0,8
Wyżyny	-1,9	-3,1	-1,4	-1,7	-1,2	-1,3
Podkarpacie	-1,9	-3,2	-1,3	-1,5	-1,1	-1,1
Sudety	-1,8	-2,7	-0,7	-1,4	-0,9	-1,0
Karpaty	-2,4	-3,4	-1,2	-1,8	-1,5	-1,6

* średnia wysokość stanowisk pomiarowych to 350 (Sudety) i 515 m n.p.m. (Karpaty)
average elevation of the stations is 350 (The Sudetes) and 515 m a.s.l. (The Carpathians).

Pośród miesięcy zaliczanych do klimatologicznej zimy najmniejszymi wahaniami temperatury cechuje się grudzień (ryc. 2) – zakres zmian średniej obszarowej temperatury powietrza w Polsce w latach 1951-2010 wyniósł około $11,6^{\circ}\text{C}$, a w regionach wahał się od około $10,0^{\circ}\text{C}$ w południowej części kraju (Podkarpacie, Sudety, Karpaty) do $13,0^{\circ}$ na pojezierzach. W przebiegu wieloletnim anomalii zaznaczył się wyraźnie chłodniejszy okres w latach 1960., a szczególnie rok 1969, kiedy temperatura była niższa od średniej wieloletniej o $7,1^{\circ}\text{C}$ (ryc. 2). Duże ujemne anomalie (ponad 4°C) wystąpiły również w ostatnim dwudziestoleciu (1995, 1996, 2002, 2010), niemniej odnotowano też w tym czasie najcieplejszy grudzień od połowy XX wieku (anomalie $+4,5^{\circ}\text{C}$ w 2006 r.). Wyraźnie

większym zakresem zmienności średniej temperatury powietrza odznacza się styczeń – średnio w Polsce około $14,3^{\circ}\text{C}$, a na nizinach i pojezierzach nawet nieco powyżej $15,0^{\circ}\text{C}$. Ekstremalne wartości anomalii średniej temperatury w styczniu w Polsce wyniosły $-8,6^{\circ}\text{C}$ (1987) i $+5,8^{\circ}\text{C}$ (2007). W przebiegu wieloletnim zaznaczyły się wyraźnie chłodniejsze od średniej okresy w latach 1963-1972, 1979-1982 i 1985-1987 (ryc. 2). Znacznie cieplej było przede wszystkim w latach 1988-1995, kiedy wystąpił ciąg znacznych dodatnich anomalii (rzędu $+2-3^{\circ}\text{C}$).



Ryc. 2. Wieloletni (1951-2010) przebieg anomalii średniej temperatury powietrza zimą oraz w grudniu, styczniu i lutym w Polsce. Dodatkowa krzywa reprezentuje przebieg serii wygładzonej filtrem Gaussa z oknem 10-letnim. W przypadku zimy rok 1952 na osi X oznacza sezon 1951/52, rok 1953 – sezon 1952/53, itd.

Long-term (1951-2010) course of anomalies for mean air temperature in Poland in winter as a whole, as well as December, January and February. Additional curve represents series filtered by 10-year-window Gaussian filter. In the case of winter, the year 1952 on the X axis refers to the winter of 1951/52, 1953 to 1952/53, and so on

Nieco mniejsze dodatnie anomalie cechowały lata 1998-2002. Pod koniec rozpatrywanego wielolecia wystąpiły znaczne (nawet rzędu 4-5°C) anomalie różnego znaku. Jeszcze większy niż w styczniu (i największy w roku) zakres zmienności temperatury powietrza cechuje luty – średnio w Polsce 16,3°C, w regionach od 13,8°C (pobrzeża) do 17,7°C (Sudety). Największa uśredniona dla obszaru kraju anomalia ujemna wyniosła -10,0°C (rok 1956, w Sudetach aż -12,0°C), dodatnia zaś +6,2°C (1990). W przebiegu wieloletnim wyróżniły się kilkuletnie okresy znacznego ochłodzenia w połowie lat 1950. i na początku 1960. oraz w połowie lat 1980. Anomalie dodatnie dominowały od roku 1988 (w niektórych latach nawet powyżej 4°C), niemniej kilkakrotnie w tym okresie wystąpiła średnia temperatura wyraźnie niższa od średniej wieloletniej (przede wszystkim 1991, 1996, 2003) (ryc. 2).

Wiosna

Wiosną w okresie 1951-2010 średnia temperatura powietrza wzrosła istotnie statystycznie we wszystkich rozpatrywanych regionach fizycznogeograficznych (tab. 1). Przeciętne tempo zmiany wyniosło 0,36°C/10 lat i było podobne jak w wieloleciu 1951-2000 (por. Żmudzka, 2009). Co ciekawe, w stuleciu 1891-1990 na terenie Polski stwierdzono niewielki spadek temperatury powietrza (Schönwiese i inni, 1994).

Spośród miesięcy wiosennych największe tempo wzrostu temperatury powietrza stwierdzono w marcu (tab. 2) – średnio o 0,42°C na 10 lat, wyraźnie mniejsze było jedynie w Sudetach (0,31°C/10 lat), gdzie można mówić tylko o tendencji wzrostowej. Wolniejszy, ale istotny statystycznie wzrost, średnio 0,33°C na 10 lat, stwierdzono w kwietniu, a jego wielkość wynosiła od 0,26°C w Sudetach do 0,39°C na pobrzeżach. Zbliżona wartość trendu rosnącego cechowała maj (0,32°C/10 lat), przy czym ocieplenie w tym miesiącu najszybciej postępowało w Karpatach (0,41°C/10 lat), a najwolniej na nizinach i wyżynach (0,29°C/10 lat). W porównaniu do okresu 1951-2000 (Fortuniak i inni, 2001; Kożuchowski i Żmudzka, 2001; Degirmendżić i inni, 2004) zaznaczyło się wyraźne spowolnienie wzrostu w marcu oraz nieznaczne przyspieszenie w kwietniu.

Systematyczny wzrost średniej temperatury powietrza wiosną znajduje swe odzwierciedlenie w przebiegu wartości średnich dekadowych. Najchłodniejsza okazała się dekada 1951-1960, w której średnia temperatura wyniosła 6,5°C (tab. 8). W kolejnych dekadach następował konsekwentny wzrost temperatury – do 8,0°C w latach 1991-2000 i 8,3°C w latach 2001-2010.

Wiosna, w porównaniu do zimy, cechuje się wyraźnie mniejszym zakresem zmienności średniej temperatury powietrza. W latach 1951-2010 w Polsce wyniósł około 5,3°C, bardzo zbliżone wartości wystąpiły w poszczególnych regionach, jedynie w Sudetach wartość ta była nieco mniejsza (4,8°C). Ekstremalne wartości anomalii średniej temperatury w Polsce nie przekroczyły $\pm 3,0^\circ\text{C}$

Tabela 8. Średnia temperatura powietrza (°C) wiosny w kolejnych dekadach wielolecia 1951-2010 w Polsce oraz regionach fizycznogeograficznych

Mean spring air temperature (°C) in consecutive decades of the 1951-2010 period in Poland and the different geographical regions analyzed

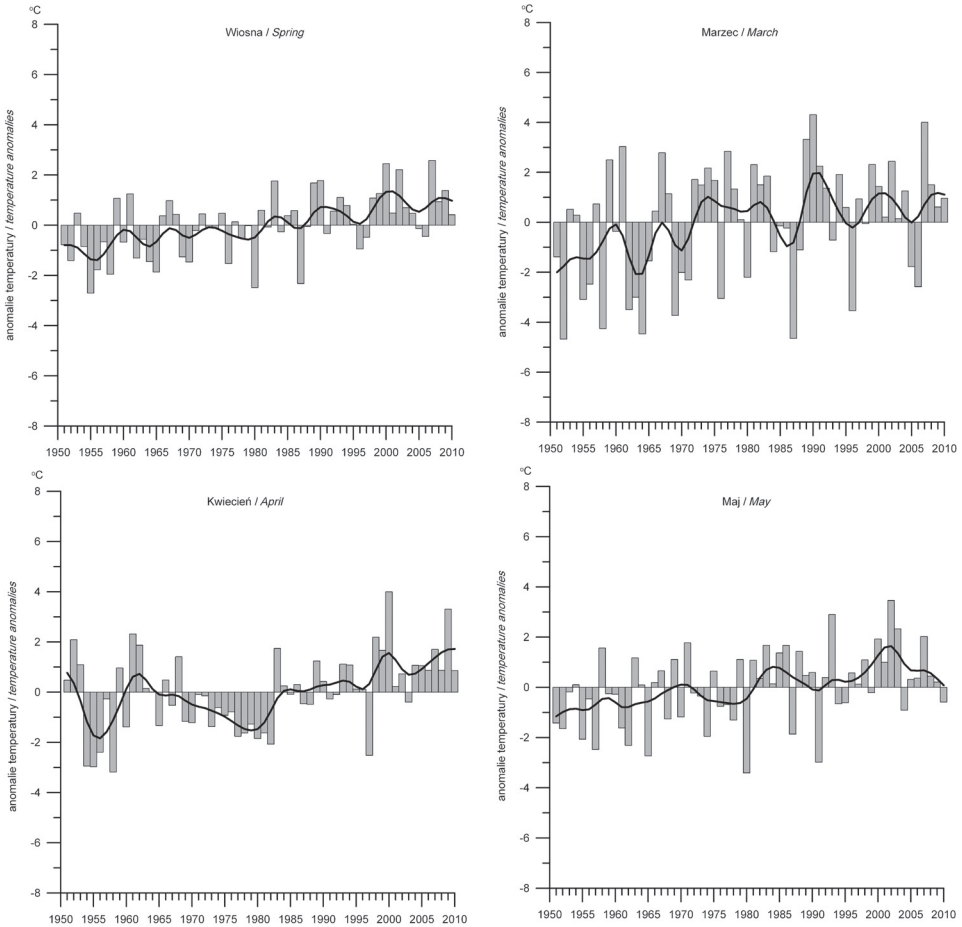
Region	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Polska	6,5	7,0	7,1	7,9	8,0	8,3
Pobrzeża	5,9	6,1	6,3	7,2	7,5	7,6
Pojezierza	6,4	6,8	6,9	7,8	7,9	8,2
Niziny	7,0	7,4	7,5	8,3	8,4	8,7
Wyżyny	6,8	7,3	7,3	8,0	8,1	8,5
Podkarpacie	7,0	7,7	7,7	8,5	8,5	9,0
Sudety	6,3	6,6	6,6	7,4	7,5	7,8
Karpaty	5,7	6,6	6,7	7,3	7,2	7,9

* średnia wysokość stanowisk pomiarowych to 350 (Sudety) i 515 m n.p.m. (Karpaty)
average elevation of the stations is 350 (The Sudetes) and 515 m a.s.l. (The Carpathians).

– wyniosły $-2,7^{\circ}\text{C}$ (1955) i $+2,6^{\circ}\text{C}$ (2007). Wyraźnie niższa od średniej temperatura powietrza dominowała do roku 1965, następnie ujemne anomalie występowały coraz rzadziej, jednak w niektórych latach (np. rok 1980 i 1987) nadal osiągały znaczne wartości (ponad 2°C) (ryc. 3). Najcieplejszy okres wystąpił na przełomie wieków, kiedy siedem kolejnych wiosen było cieplejszych od średniej wieloletniej, a wartości anomalii przekraczały $+2^{\circ}\text{C}$ (2000, 2002).

Śpośród miesięcy sezonu wiosennego zdecydowanie największym zakresem wahań temperatury powietrza odznacza się marzec (ryc. 3) – około $9,0^{\circ}\text{C}$, a w regionach od $8,3^{\circ}\text{C}$ (Pobrzeża) do $10,7^{\circ}\text{C}$ (Podkarpacie). Ekstremalne wartości anomalii temperatury w Polsce wyniosły $-4,7^{\circ}\text{C}$ (1952) i $+4,3^{\circ}\text{C}$ (1990). W przebiegu wieloletnim zaznacza się dominacja znacznych ujemnych anomalii temperatury do roku 1971, kilkuletnie ochłodzenie wystąpiło ponadto w połowie lat 1980. Ciepleszy okres wystąpił w latach 1970., a wyraźna dominacja dodatnich odchyień temperatury zaznaczyła się od 1989 r. W kwietniu zakres zmienności temperatury powietrza był wyraźnie mniejszy (około $7,2^{\circ}\text{C}$) i cechował się stosunkowo niewielkim zróżnicowaniem regionalnym. Skrajne wartości odchyień od średniej wieloletniej wyniosły $-3,2^{\circ}\text{C}$ (1958) i $+4,0^{\circ}\text{C}$ (2000). W okresie 1951-2010 niższa od przeciętnej temperatura panowała w połowie lat 1950. i w latach 1969-1982 (ryc. 3). Od 1983 r. średnia temperatura kwietnia systematycznie wzrastała, ujemne anomalie występowały rzadko i, z wyjątkiem 1997 r., osiągały bardzo niewielkie wartości. W maju zakres zmian średniej temperatury powietrza w Polsce był nieznacznie mniejszy niż w kwietniu i w stosunku do średniej wieloletniej wyniósł $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$. Zdecydowanie najmniejszy był na pobrzeżach ($6,1^{\circ}\text{C}$), w pozostałych regionach zawierał się w granicach $7,0-7,5^{\circ}\text{C}$. W przebiegu wielo-

letnim ujemne anomalie temperatury w maju przeważały do 1980 r., a wzrost temperatury zaznaczył się najsilniej na początku XXI w. Pod koniec analizowanego wielolecia (tj. od roku 2003) nastąpiło jednak stopniowe obniżenie temperatury powietrza w maju i zbliżanie się do wartości średniej wieloletniej (ryc. 3).



Ryc. 3. Wieloletni (1951-2010) przebieg anomalii średniej temperatury powietrza wiosną oraz w marcu, kwietniu i maju w Polsce. Dodatkowa krzywa reprezentuje przebieg serii wygładzonej filtrem Gaussa z oknem 10-letnim

Long-term (1951-2010) course of anomalies for mean air temperature in Poland in spring as a whole, as well as in March, April and May. Additional curve represents series filtered by 10-year-window Gaussian filter

Lato

Średnia temperatura lata w okresie 1951-2010 cechowała się istotnym statystycznie wzrostem we wszystkich regionach, choć tempo wzrostu temperatury ($0,19^{\circ}\text{C}/10$ lat) było wyraźnie mniejsze niż zimą i wiosną (tab. 2). Warto jednak zauważyć, że znak i wartość współczynnika trendu uległy wyraźnej zmianie w porównaniu do okresu 1951-2000 (brak zmian – Żmudzka, 2009) czy 1891-1990 (spadek temperatury – Schönwiese i inni, 1994). Trend rosnący jest więc konsekwencją bardzo cieplej dekady 2001-2010. Tempo ocieplenia wzrosło nawet nieznacznie w stosunku do okresu 1951-2008, w którym wyniosło $0,17^{\circ}\text{C}/10$ lat (Marosz i inni, 2011). Zaznaczyło się duże zróżnicowanie regionalne wartości trendu, widoczne zwłaszcza na przykładzie Karpat i wyżyn (odpowiednio $0,27^{\circ}\text{C}$ i $0,15^{\circ}\text{C}/10$ lat).

Spośród miesięcy sezonu letniego jedynie w czerwcu nie odnotowano, z wyjątkiem Karpat, istotnego statystycznie wzrostu średniej temperatury powietrza w Polsce. Co więcej, na obszarze pojezierzy, nizin i wyżyn zaznaczyła się słaba tendencja spadkowa (tab. 2). Taką tendencję wykryto już w okresie 1951-2000 (Fortuniak i inni, 2001; Kożuchowski i Żmudzka, 2001) i według E. Żmudzkiej (2009) może być powiązana ze wzrostową tendencją zachmurzenia. Lipiec i sierpień cechował istotny statystycznie wzrost temperatury powietrza (odpowiednio $0,28^{\circ}\text{C}$ i $0,27^{\circ}\text{C}/10$ lat), najwolniej postępujący na wyżynach ($0,24^{\circ}\text{C}/10$ lat), a najszybciej w Karpatach ($0,33^{\circ}\text{C}$ i $0,30^{\circ}\text{C}/10$ lat). Warto zauważyć, że w obu tych miesiącach jeszcze w latach 1951-2000 zaznaczała się tylko słaba tendencja wzrostowa (Degirmendżić i inni, 2004; Żmudzka, 2009).

Rozpatrując średnie dekadowe wartości temperatury powietrza lata (tab. 9) w Polsce, można zauważyć charakterystyczny przebieg, cechujący się nieznacznym spadkiem temperatury od lat 1950. do lat 1970. (średnio $16,5^{\circ}\text{C}$), a następnie jej wyraźnym i stałym wzrostem do $18,1^{\circ}\text{C}$ w pierwszej dekadzie XXI wieku. Podobny przebieg jest we wszystkich rozpatrywanych regionach.

Spośród sezonów klimatycznych lato odznacza się najmniejszym zakresem wahań temperatury powietrza ($3,8^{\circ}\text{C}$), ekstremalne wartości anomalii wyniosły $-1,7^{\circ}\text{C}$ (1962) i $+2,1^{\circ}\text{C}$ (1992). W regionach zakres ten jest nieco większy i nieznacznie przekracza $4,0^{\circ}\text{C}$. W okresie 1951-2010 temperaturę niższą od średniej notowano głównie w latach 1973-1981 i 1984-1987 – ujemne anomalie osiągały lub przekraczały (1978 i 1980) wtedy 1°C w stosunku do średniej wieloletniej temperatury (ryc. 4). Jako wyraźnie cieplejszy zaznaczył się przede wszystkim okres od 1992 r., w którym kilka sezonów letnich (1992, 2002, 2003, 2006, 2010) cechowało się temperaturą powietrza o około $1,5$ - 2°C wyższą od średniej, a w ostatnim dziesięcioleciu analizowanego okresu wystąpiły jedynie dodatnie anomalie średniej temperatury powietrza.

W czerwcu w Polsce występują najmniejsze wahania średniej temperatury powietrza spośród wszystkich miesięcy – zakres zmienności wyniósł jedynie 4,7°C, niewielki był zwłaszcza na pobrzeżach (4,0°C), w pozostałych regionach zawierał się między 5,0°C a 6,0°C. Skrajne wartości średniej temperatury powietrza w Polsce w czerwcu wystąpiły w 1985 (anomalia -2,1°C) i 1964 r.

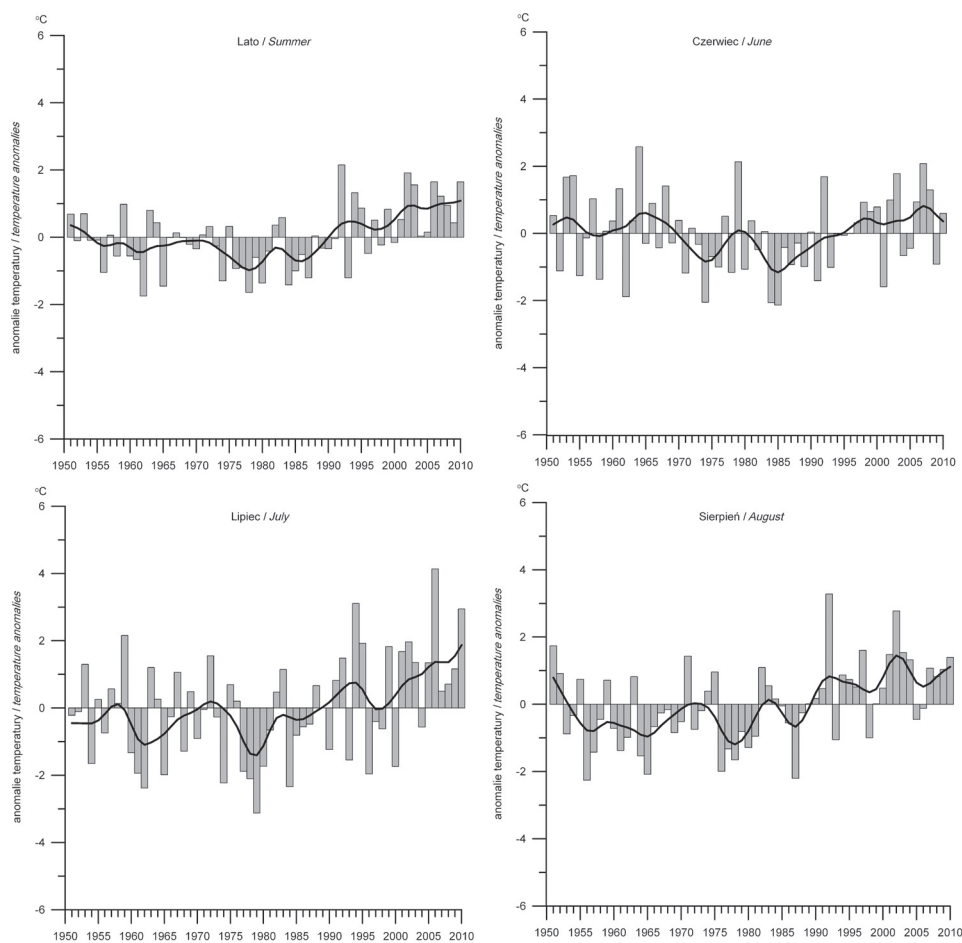
Tabela 9. Średnia temperatura powietrza (°C) lata w kolejnych dekadach wielolecia 1951-2010 w Polsce oraz regionach fizycznogeograficznych

Mean summer air temperature (°C) in consecutive decades of the 1951-2010 period in Poland and the different geographical regions analyzed

Region	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Polska	17,1	16,8	16,5	16,7	17,4	18,1
Pobrzeża	16,3	16,1	16,1	16,2	16,8	17,5
Pojezierza	17,1	16,9	16,7	16,7	17,4	18,2
Niziny	17,6	17,3	16,8	17,1	17,8	18,5
Wyżyny	17,4	17,0	16,4	16,7	17,5	18,2
Podkarpacie	17,7	17,3	16,7	17,2	18,0	18,7
Sudety	15,9	15,6	15,3	15,6	16,4	16,9
Karpaty	15,8	15,7	15,2	15,6	16,6	17,2

* średnia wysokość stanowisk pomiarowych to 350 (Sudety) i 515 m n.p.m. (Karpaty)
average elevation of the stations is 350 (The Sudetes) and 515 m a.s.l. (The Carpathians).

(+2,6°C). W przebiegu wieloletnim zaznaczyły się na przemian występujące anomalie dodatnie i ujemne w latach 1950. i 1960., ochłodzenie w kolejnych latach, a szczególnie w dekadzie 1981-1990, oraz postępujący wzrost temperatury od około 1985 r., z dominacją dodatnich odchyień temperatury od połowy lat 1990. (ryc. 4). W lipcu zmienność temperatury powietrza jest znacząco większa – zakres wahań średniej obszarowej temperatury w Polsce wynosi 7,3°C, w regionach – od 5,8°C (Karpaty) do 8,0°C (pojezierza). Skrajne wartości anomalii średniej temperatury w Polsce wyniosły -3,1°C (1979) i +4,1°C (2006). W wieloleciu 1951-2010 chłodniejsze okresy zaznaczyły się na początku lat 1960. i na przełomie lat 1970. i 1980. (ryc. 4). Od początku lat 1990. znacznie częściej występowały dodatnie anomalie temperatury, osiągające w niektórych latach (1994, 2006, 2010) wartości rzędu 3-4°C. Za szczególnie ciepłą uznać należy dekadę 2001-2010, kiedy średnia temperatura w Polsce była wyższa o około 1,5°C niż w całym wieloleciu. W sierpniu zakres zmian temperatury w Polsce wyniósł 5,6°C, regionalnie wahał się między 5,9°C (pobrzeża) a 7,4°C (Karpaty). Największe odchylenia stwierdzono w 1956 (-2,3°C) i 1992 r. (+3,3°C), a przebieg wieloletni (ryc. 4) wykazuje podobieństwo do zmian zachodzących w lipcu.



Ryc. 4. Wieloletni (1951-2010) przebieg anomalii średniej temperatury powietrza w sezonie letnim oraz czerwcu, lipcu i sierpniu w Polsce. Dodatkowa krzywa reprezentuje przebieg serii wygładzonej filtrem Gaussa z oknem 10-letnim

Long-term (1951-2010) course of anomalies for mean air temperature in Poland in summer as a whole, as well as in June, July and August. Additional curve represents series filtered by 10-year-window Gaussian filter

Jesień

Jesień jest sezonem z najmniejszymi zmianami długookresowymi temperatury powietrza w Polsce – w latach 1951-2010 zaznaczyła się jedynie słaba tendencja rosnąca (tab. 2). Równie niewielkie zmiany (do $0,10^{\circ}\text{C}/10$ lat) cechują także kolejne miesiące klimatologicznej jesieni. Warto jednak zauważyć, że w przypadku września i listopada nastąpiło odwrócenie kierunku tendencji zmian

w stosunku do wielolecia 1951-2000 (por. Fortuniak i inni, 2001; Degirmendźić i inni, 2004).

W sezonie jesiennym, podobnie jak latem, najchłodniejsza była dekada 1971-1980 (7,8°C), najcieplej natomiast było na początku XXI wieku (8,9°C; tab. 10). W przeciwieństwie jednak do lata, temperatura powietrza w sezonie jesiennym cechowała się wahaniami z dekady na dekadę, nie wykazując systematycznego wzrostu lub spadku. Analogiczny przebieg miał miejsce w poszczególnych regionach, z tym że na wyżynach, Podkarpaciu, w Sudetach i Karpatach równie ciepła lub nawet cieplejsza niż lata 2001-2010 była dekada 1961-1970.

Tabela 10. Średnia temperatura powietrza (°C) jesienią w kolejnych dekadach wielolecia 1951-2010 w Polsce oraz regionach fizycznogeograficznych

Mean autumn air temperature (°C) in consecutive decades of the 1951-2010 period in Poland and the different geographical regions analyzed

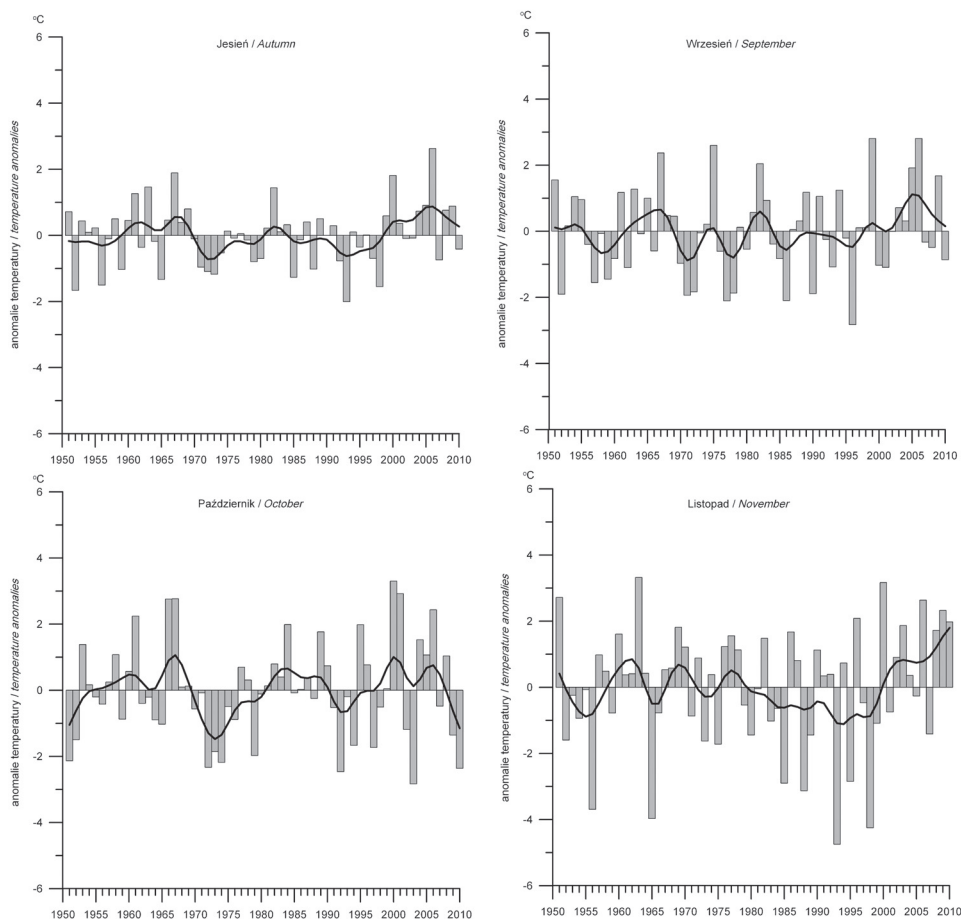
Region	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Polska	8,2	8,8	7,8	8,4	8,1	8,9
Pobrzeża	8,8	9,3	8,5	9,1	8,7	9,5
Pojezierza	8,0	8,5	7,7	8,2	7,8	8,7
Niziny	8,2	8,8	7,9	8,5	8,2	8,9
Wyżyny	8,1	8,7	7,5	8,1	7,9	8,6
Podkarpacie	8,3	9,1	7,9	8,5	8,2	9,0
Sudety	7,7	8,3	7,3	8,0	7,7	8,2
Karpaty	7,4	8,4	7,2	7,9	7,7	8,2

* średnia wysokość stanowisk pomiarowych to 350 (Sudety) i 515m n.p.m. (Karpaty)
average elevation of the stations is 350 (The Sudetes) and 515m a.s.l. (The Carpathians).

Różnica między najwyższą i najniższą średnią temperaturą powietrza jesieni w Polsce w okresie 1951-2010 wyniosła 4,6°C, a w poszczególnych regionach – od 4,0°C (Sudety) do 5,3°C (pobrzeża i pojezierza), zaznaczyła się przy tym znaczna różnica między Sudetami a Karpatami (niemal 1°C). W wieloletnim przebiegu anomalii zaznaczają się wyraźne, ale krótkotrwałe ochłodzenia na początku lat 1970. i w latach 1990. (ryc. 5) – odnotowano wtedy największą ujemną anomalię temperatury wynoszącą -2,0°C (1993). Ponadprzeciętne wartości temperatury przeważały w latach 1960. i od 1999 r., z maksimum w 2006 (anomalia +2,6°C).

Najmniejsze wahania temperatury spośród miesięcy jesiennych charakteryzują wrzesień – zakres zmienności średniej temperatury w latach 1951-2010 osiągnął 5,6°C, w regionach wyniósł od 5,7°C (pobrzeża, niziny) do 6,5°C (Karpaty). Skrajne wartości anomalii odnotowano w 1996 (-2,8°C) oraz 1999 i 2006 r. (+2,8°C). W październiku zakres wahań średniej temperatury powietrza w Polsce był nieco większy (6,1°C), wzrosło również zróżnicowanie regionalne – od 5,8°C na pobrzeżach do 7,8°C w Karpatach. Co ciekawe, skrajne

wartości anomalii temperatury wystąpiły w ciągu zaledwie kilku lat, tj. w 2000 (+3,3°C) i 2003 r. (-2,8°C). W okresie 1951-2010 (ryc. 5) wyraźne ochłodzenie zaznaczyło się na początku lat 1970. Znaczne dodatnie odchylenia temperatury wystąpiły w latach 1960. i 1980. oraz 2000-2008. Spośród miesięcy jesiennych listopad cechuje się wyraźnie największym zakresem zmienności średniej temperatury w Polsce (8,1°C) oraz znacznym zróżnicowaniem przestrzennym tej miary – od 7,2°C (pobrzeża) do 9,8°C (Karpaty), z dużą różnicą między Karpatami a Sudetami (niemal 1,5°C). Najzimniejszy w okresie 1951-2010 był listopad



Ryc. 5. Wieloletni (1951-2010) przebieg anomalii średniej temperatury powietrza w sezonie jesiennym oraz wrześniu, październiku i listopadzie w Polsce. Dodatkowa krzywa reprezentuje przebieg serii wygładzonej filtrem Gaussa z oknem 10-letnim

Long-term (1951-2010) course of anomalies for mean air temperature in Poland in autumn as a whole, and in September, October and November. Additional curve represents series filtered by 10-year-window Gaussian filter

1993 r., kiedy temperatura w Polsce była niższa od średniej wieloletniej o 4,7°C, najcieplejszy natomiast – w 1963 (anomalia +3,3°C). W przebiegu wieloletnim można wyróżnić kilkuletnie okresy ocieplenia w latach 1960. i 1970., liczne i duże ujemne anomalie w latach 1985-1999 oraz znaczny wzrost temperatury na początku XXI wieku (ryc. 5).

Podsumowanie i wnioski

W wieloleciu 1951-2010 na obszarze całego kraju stwierdzono istotny statystycznie wzrost średniej rocznej temperatury powietrza. Przeciętne tempo ocieplenia nieznacznie przekroczyło 0,2°C/10 lat. Trend rosnący cechował wiosnę (0,36°C/10 lat) i lato (niemal 0,2°C/10 lat), a spośród miesięcy – luty (ponad 0,5°C/10 lat – najszybszy wzrost), miesiące wiosenne oraz lipiec i sierpień. Należy podkreślić, że zimą w ostatnich latach zaznaczyło się wyhamowanie lub nawet odwrócenie kierunku zmian temperatury, jesienią natomiast tempo ocieplenia nieznacznie wzrosło w porównaniu do drugiej połowy XX wieku. Przestrzenne zróżnicowanie jest stosunkowo wyraźne – generalnie najszybciej ocieplenie postępuje w północnej części kraju (pobrzeża, pojezierza) i w Karpatach, a najwolniej – na wyżynach i w Sudetach.

W porównaniu do wielolecia 1951-2000 zaszła dość istotna zmiana rozkładu trendów w ciągu roku – tempo wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza utrzymało się (lub nawet nieznacznie wzrosło), ale w kształtowaniu ocieplenia wyraźnie wzrósł udział lata, a zmalał – zimy. Maksimum ocieplenia nadal występuje na przełomie zimy i wiosny, ale nieaktualne staje się wyraźne rozróżnienie między trendami zimy i lata, znamienne dla drugiej połowy XX wieku (Kozuchowski i inni, 2000).

W przebiegu wieloletnim anomalii temperatury powietrza uwidacznia się dominacja zmienności krótkookresowej, objawiającej się stosunkowo dużymi zmianami z roku na rok i występowaniem kilkuletnich okresów cieplejszych i chłodniejszych. Niemniej w przypadku średniej rocznej temperatury powietrza zaznaczył się ciąg lat cieplejszych od wartości średniej począwszy od roku 1988, z nielicznymi wyjątkami (np. 1996 i 2010). Podobne zmiany można zaobserwować wiosną i latem. Dekada 2001-2010 była najcieplejsza w analizowanym okresie pod względem zarówno średniej rocznej temperatury, jak i wartości sezonowych (z wyjątkiem zimy). W dekadzie tej aż 9 lat charakteryzowała temperatura roczna wyższa od normy (jedynie rok 2010 był chłodniejszy), a w trzech latach (2002, 2007 i 2008) anomalie średniej rocznej temperatury przekroczyły 1°C. Duże podobieństwo przebiegu zmian temperatury między poszczególnymi regionami świadczy o wielkoskalowym charakterze czynnika(ów) powodujących obserwowane zmiany.

Przeprowadzona analiza uśrednionych regionalnie serii potwierdziła ponadto znane prawidłowości czasowej i przestrzennej zmienności temperatury powietrza

w Polsce. Wahania średniej rocznej temperatury uśrednionej dla obszaru Polski nie przekraczają $\pm 2^{\circ}\text{C}$. W sezonach zakres zmian średniej temperatury wynosi od $3,9^{\circ}\text{C}$ latem do $10,2^{\circ}\text{C}$ zimą, a w przypadku miesiący – od $4,7^{\circ}\text{C}$ w czerwcu do $16,3^{\circ}\text{C}$ w lutym. W ujęciu przestrzennym względnie niewielki zakres wahań temperatury cechuje region pobraży. Cechą charakterystyczną przebiegu wieloletniego są znacznie większe wartości anomalii ujemnych w sezonie zimowym. W cyklu rocznym najcieplejszym miesiącem zdecydowanie najczęściej był lipiec (ponad 60% przypadków), a najzimniejszym – styczeń (45%).

Przedstawione rezultaty pokazują użyteczność uśrednionych regionalnie wartości temperatury powietrza. Wobec dużej spójności przestrzennej zmian tego elementu na obszarze Polski serie regionalne pozwalają na syntetyczny, ale i dokładny opis zmienności warunków termicznych na obszarze całego kraju. Dodatkowym atutem jest ograniczenie wpływu niejednorodności poszczególnych serii pomiarowych. Takie opracowania jak tu przedstawione umożliwiają monitorowanie zmienności temperatury powietrza, a zwłaszcza wykrywanie zmian cyklicznych i długookresowych, określanie zakresu wahań czy porównanie z tempem zmian zachodzących w większych skalach przestrzennych (Europa, kula ziemiska).

*

Wyniki niniejszej pracy zostały uzyskane częściowo w ramach projektu KLIMAT „Wpływ zmian klimatu na społeczeństwo, środowisko i gospodarkę (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)” nr POIG.01.03.01-14-011/08, Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Piśmiennictwo / References

- Alexandersson H., 1986, *A homogeneity test applied to precipitation data*, Journal of Climate, 6, s. 661-675.
- Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*, 2008, The BACC Author Team, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Biernacik D., Filipiak J., Miętus M., Wójcik R., 2010, *Zmienność warunków termicznych w Polsce po roku 1951. Rezultaty projektu KLIMAT*, [w:] E. Bednorz, L. Kolendowicz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Zmiany i ich konsekwencje*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Seria: Studia i Prace z Geografii i Geologii, 16, s. 9-21.
- Cohen J.L., Furtado J.C., Barlow M.A., Alexeev V.A., Cherry J.E., 2012, *Arctic warming, increasing snow cover and widespread boreal winter cooling*, Environmental Research Letters, 7, 014007.
- Czernecki B., Miętus M., 2010, *Wstępna analiza występowania i zmienności termicznych pór roku w wybranych regionach Polski na przykładzie Pasa Pobrzeży Południowobałtyckich i Wyżyn Polskich*, [w:] E. Bednorz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki termiczne i opadowe*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Seria: Studia i Prace z Geografii i Geologii, Poznań, 15, s. 9-26.

- Degirmendzić J., Kożuchowski 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, 24, s. 291-310.
- Filipiak J., 2004, *Zmienność temperatury powietrza na Wybrzeżu i Pojezierzu Pomorskim w drugiej połowie XX w.*, Seria: Monografie, IMGW, Warszawa.
- Fortuniak K., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Trendy i okresość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, Przegląd Geofizyczny, 46, 4, s. 283-303.
- IPCC, 2009, *Zmiana klimatu 2007: Raport Syntetyczny. Wkład Grup roboczych I, II i III do Czwartego Raportu Oceniającego Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu*, red. R.K. Pachauri, A. Reisinger, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- IPCC, 2013, *Summary for Policymakers*, [w:] *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* red. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley, Cambridge University Press, Cambridge, UK; New York, NY, USA.
- Kejna M., Araźny A., Maszewski R., Przybylak R., Uscka-Kowalkowska J., Vizi Z., 2009, *Daily minimum and maximum air temperature in Poland in the years 1951-2005*, Bulletin of Geography – Physical Geography Series, 2, s. 35-56.
- Kondracki J., 2002, *Geografia regionalna Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kożuchowski K., Degirmendzić J., Fortuniak K., Wibig J., 2000, *Trends to changes in seasonal aspects of the climate in Poland*, Geographia Polonica, 73, 2, s. 7-24.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Ocieplenie w Polsce: Skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*, Przegląd Geofizyczny, 46, 1-2, s. 81-90.
- Marosz M., Wójcik R., Biernacik D., Jakusik E., Pilarski M., Owczarek M., Miętus M., 2011, *Zmienność klimatu Polski od połowy XX wieku. Rezultaty projektu KLIMAT*, Prace i Studia Geograficzne, 47, WGiSR UW, s. 51-66.
- Miętus M., 1996, *Zmienność temperatury i opadów w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego i jej spodziewany przebieg do roku 2030*, Materiały Badawcze IMGW, Seria Meteorologia, 26, Warszawa.
- Miętus M., Filipiak J., 2004, *The temporal and spatial patterns of thermal conditions in the area of the southwestern coast of the Gulf of Gdańsk (Poland) from 1951 to 1998*, International Journal of Climatology, 24, 4, s. 499-509.
- Miętus M. (red.), Jakusik E., Owczarek M., Biernacik D., Wójcik R., 2009, *O przydatności rezultatów globalnych reanaliz NCEP i ERA-40 do opisu warunków termicznych w Polsce*, Seria Monografie IMGW, Warszawa.
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1999, *Klimat*, [w:] L. Starkel (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Przybylak R., Vizi Z., Araźny A., Kejna M., Maszewski M., Uscka-Kowalkowska J., 2007, *Poland's climate extremes index, 1951-2005*, Geographia Polonica, 80, 2, s. 47-58.
- Schönwiese C.-D., Rapp J., Fuchs T., Denhard M., 1994, *Observed climate trends in Europe 1891-1990*, Meteorologische Zeitschrift, 3, 1, s. 22-28.
- Smosarski W., 1923, *Temperatura i opady na Pomorzu podług obserwacji wieloletnich*, Roczniki Nauk Rolniczych, 9, 3, s. 504-520.
- Wibig J., Głowicki B., 2002, *Trends of minimum and maximum temperature in Poland*, Climate Research, 20, s. 123-133.
- Woś A., 1999, *Klimat Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Wójcik R., Miętus M., 2012, *Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu długookresowych zmian temperatury powietrza w Polsce*, [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikaszka, A. Widawski (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, 74, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, s. 385-398.

Żmudzka E., 2009, *Współczesne zmiany klimatu Polski*, *Acta Agrophysica*, 13, 2, s. 555-568.

[Wpłynęło: wrzesień 2013; poprawiono: styczeń 2014 r.]

ROBERT WÓJCIK, MIROSŁAW MIĘTUS

SOME FEATURES OF LONG-TERM VARIABILITY IN AIR TEMPERATURE IN POLAND (1951-2010)

The aim of the analysis presented here has been to describe long-term variability in air temperature in Poland over the 1951-2010 period. Certain spatial aspects have also been discussed.

In order to provide a representative and homogeneous temperature series, station data were averaged for 7 geographical regions of Poland, and for the country as a whole. The distinction drawn between shoreland, lakelands, lowlands, highlands, Subcarpathia, the Sudetes and the Carpathians is as adopted after Kondracki (2002). It takes account of such important factors underpinning spatial variability in temperature as altitude, relief, land use, and, indirectly (as a result of latitudinal distribution) also distance from the Baltic Sea and the amount of received solar radiation. In total, monthly average temperature values from 45 synoptic stations were used to calculate an area-averaged temperature for Poland (Table 1). Further study then entailed analysis of annual, seasonal and monthly series with a view to determining trends (at an adopted statistical significance of $\alpha=0.05$), decadal average temperature variability, the long-term course to be noted for air temperature anomalies and the range of variability.

The most significant feature of the long-term (1951-2010) variability in annual air temperature in Poland is the statistically significant increase that displays in every analysed region, with an average rate of change exceeding 0.2°C per decade (Table 2). At the seasonal level, an upward trend is to be noted for spring ($+0.36^{\circ}\text{C}/10$ years) and summer (almost $0.2^{\circ}\text{C}/10$ years). In line with this, the decade 2001-2010 was the hottest in the analyzed period (Table 3, 8-10), with the exception of winter (Table 7), for which a slight decrease in average air temperature relative to the 1991-2000 period could be observed. When set against the whole 1951-2000 period, the rate of annual warming remains approximately constant though the summer-season contribution to the warming trend is clearly increasing, while the winter contribution is reduced. On a monthly basis, statistically significant warming over the period is to be observed for February (by over $0.5^{\circ}\text{C}/10$ years – the highest rate for any month), during spring (i.e. in March, April and May), and in July and August. Analysis addressing the spatial distribution to the trend revealed that the highest rate of temperature increase is affecting northern Poland (the shoreland and lakeland belts) and the Carpathians, while the lowest rate of increases is to be observed for the highlands and the Sudetes.

The long-term course of air temperature anomalies is dominated by short-term variability, which manifests itself in relatively large changes from year to year and with the occurrence of short warm and cold periods. However, where annual series are concerned there has been a noticeable run of warmer years since 1988 (Fig. 1), with only a few exceptions (e.g. 1996 and 2010). A similar situation applies to spring (Fig. 3) and summer (Fig. 4). Furthermore, the spatial cohesion displayed by air-temperature variability indicates that observed changes in thermal conditions in Poland are mainly driven by large-scale factor(s). Fluctuations in annual air temperature averaged for Poland do not exceed $\pm 2^{\circ}\text{C}$. On the seasonal scale, variability range varies from 3.9°C in summer to 10.2°C in winter, while at the level of individual months the range is between 4.7°C in June and 16.3°C in February. Relatively small variations in air temperature characterise the Baltic coast (the shoreland belt). Another feature of long-term air temperature change in Poland is that the values for extreme negative anomalies in winter are clearly larger than the positive ones. In the annual cycle, July is most often the warmest month (in 60% of the years during the 1951-2010 period), while the minimal average air temperature has most often been recorded in January (in 45% of years).