

**Michał Marosz, Robert Wójcik,  
Dawid Biernacik, Ewa Jakusik, Michał Pilarski,  
Małgorzata Owczarek, Mirosław Miętus**

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
01–673 Warszawa, ul. Podleśna 61  
e-mail: [michal.marosz@imgw.pl](mailto:michal.marosz@imgw.pl)

## **ZMIENNOŚĆ KLIMATU POLSKI OD POŁOWY XX WIEKU. REZULTATY PROJEKTU KLIMAT**

### **Poland's climate variability 1951–2008. KLIMAT project's results**

**Summary.** The paper deals with the temporal and spatial variability of thermal and pluvial conditions in Poland. The scope of analysis comprised over 50 years covering period 1951–2008. Aside the above mentioned characteristics sea level changes and the ice conditions on the coast of Baltic Sea were also investigated. The results show good concordance of the thermal characteristics variability in Poland with the global ones as the annual average temperature change for Poland exceeds  $0.20^{\circ}\text{C}$  per decade and it is even higher in winter and spring (over  $0.35^{\circ}\text{C}\cdot\text{decade}^{-1}$ ). There is also a significant increase in heat waves number and their duration. Pluvial characteristics variability is not as coherent and reveals areas of different change direction during analysed period.

**Słowa kluczowe:** klimat Polski, temperatura powietrza, opady atmosferyczne, poziom morza, zlodzenie Bałtyku

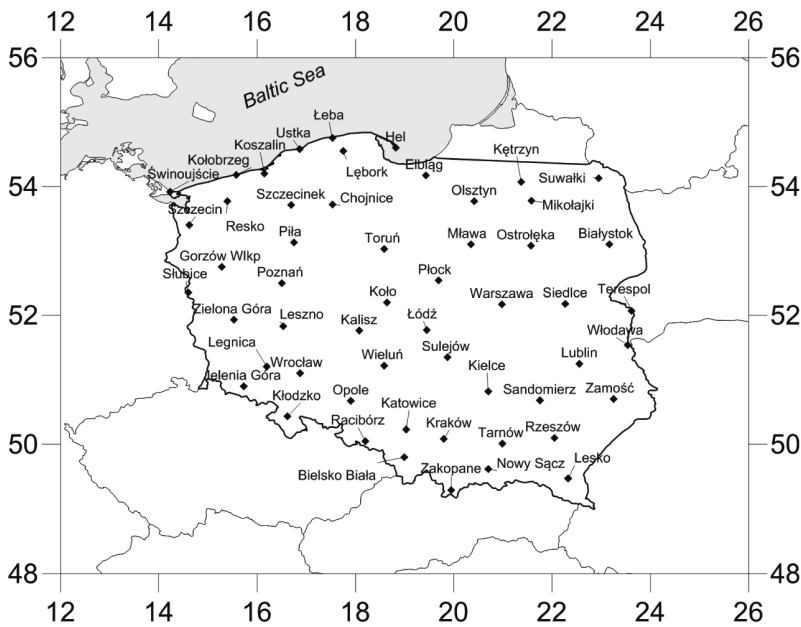
**Key words:** climate of Poland, air temperature, precipitation, sea level, Baltic Sea ice cover

## **WPROWADZENIE**

Zmiany obserwowane w systemie klimatycznym w skali globalnej skłaniają do głębszej analizy zmienności warunków klimatycznych w skalach regionalnych lub lokalnych. Pozwalają one na umiejscowienie zmian zachodzących w tych skalach na tle zmienności globalnej. W niniejszej publikacji przedsta-

wiono zmienność wybranych cech klimatu Polski w drugiej połowie XX wieku. Główny nacisk został położony na warunki termiczne i pluwialne – analizie poddano wartości średnie obszarowe (regionalne) temperatury powietrza w sezonach oraz zmiany sezonowych charakterystyk pluwialnych oparte na dobowych sumach opadu atmosferycznego. Dodatkowo zaprezentowano zmienność występowania fal ciepła i chłodu na wybranych stacjach. Z wielu względów, w tym również praktycznych/aplikacyjnych, istotne zdają się parametry nieco rzadziej włączane do analiz charakterystyk klimatologicznych Polski, a mianowicie zmienność poziomu morza oraz zlodzenia na polskim wybrzeżu Bałtyku.

Zakres czasowy analizy obejmował w przypadku charakterystyk termicznych okres 1951–2008 (fal ciepła i chłodu 1966–2008). W przypadku charakterystyk pluwialnych był on o 10 lat krótszy i obejmował wielolecie 1961–2008. W analizach zmienności poziomu morza oraz liczby dni ze zlodzeniem wykorzystano dane z okresu 1951–2008. Zakres przestrzenny badań obejmował obszar kraju (ryc. 1) (temperatura i opady), a w analizach związanych z Morzem Bałtyckim zaprezentowano wyniki z wybranych stacji (Swinoujście, Kołobrzeg, Ustka, Łeba, Hel, Gdynia, Gdańsk Port). Dane pochodziły z bazy danych IMGW, a ich jakość była weryfikowana.



Ryc. 1. Lokalizacja stacji synoptycznych wykorzystanych w analizie  
Fig. 1. Location of synoptic stations used in the research

W przypadku analizy zmienności temperatury powietrza posłużono się syntetycznymi wskaźnikami termicznymi – średnią obszarową temperaturą powietrza (Alexandersson 1986) w porach roku w 7 wybranych regionach fizycznogeograficznych oraz na obszarze całej Polski (dodatkowo z podziałem regionu 2 – pas pojezierzy i 3 – pas nizin na część wschodnią i zachodnią wzdłuż południka 19°E). Wyznaczając poszczególne regiony, wzorowano się na podziale Polski na regiony fizycznogeograficzne według Kondrackiego (2002) – Pobrzeża, pas pojezierzy, region nizin, wyżyny, Podkarpacie, Sudety i Karpaty (ryc. 2).



**Ryc. 2.** Podział Polski na regiony fizycznogeograficzne: 1 – Pobrzeża, 2 – pas pojezierzy (2E – część wschodnia, 2W – część zachodnia), 3 – pas nizin (3E – część wschodnia, 3W – część zachodnia), 4 – pas wyżyn, 5 – Podkarpacie, 6 – Sudety, 7 – Karpaty (opracowanie własne za Kondrackim 2002)

**Fig. 2.** Selected physical-geographical regions of Poland: 1 – coastal areas, 2 – lake districts (2E – eastern part, 2W – western part), 3 – lowlands (3E – eastern part, 3W – western part), 4 – highlands, 5 – Podkarpacie, 6 – Sudety, 7 – Karpaty (after Kondracki 2002)

Zmienność warunków pluwialnych w Polsce została scharakteryzowana na podstawie 48 stacji synoptycznych, z których pozyskano komplet danych z wieloletnia 1961–2008. W przypadku analizy charakterystyk pluwialnych wzięto pod uwagę roczne i sezonowe informacje o sumach opadów, liczbie dni z opadem oraz liczbie dni, w których suma opadu przekroczyła wieloletnią wartość kwantyla 90%. W przypadku ostatniego z wymienionych elementów wartość progowa (kwantyl 90%) została obliczona na podstawie dobowych sum opadów z okresu 1971–1990, z uwzględnieniem tylko dni z opadem (suma opadu  $\geq 0,1$  mm).

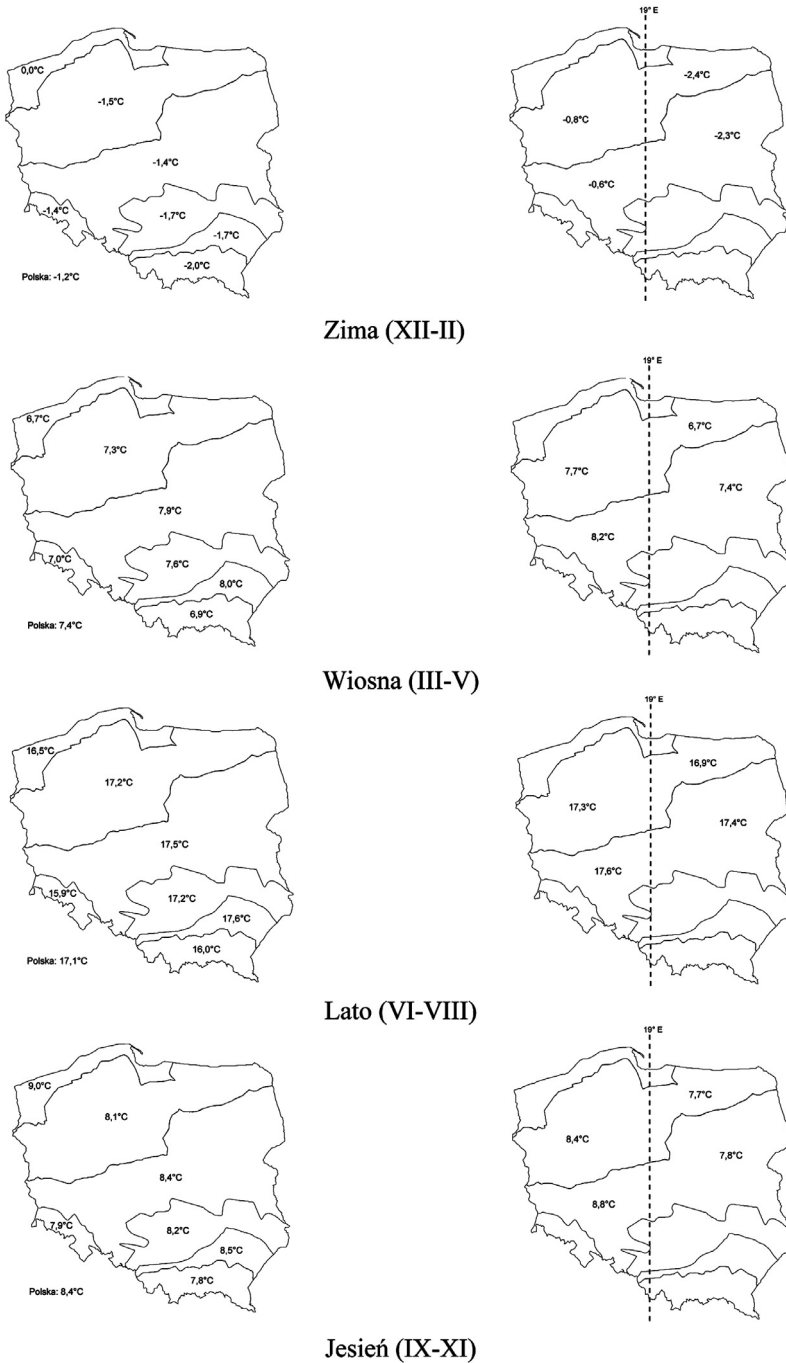
## TEMPERATURA POWIETRZA

Zimą najcieplejszym regionem, ze średnią temperaturą obszarową wynoszącą w rozpatrywanym wieloleciu  $0,0^{\circ}\text{C}$ , jest pas pobrzeży (ryc. 3). Na pozostałym obszarze kraju średnia temperatura w tym sezonie jest ujemna. Najzimniejszym regionem jest wschodnia część pojezierzy ( $-2,4^{\circ}\text{C}$ ). Wiosną z kolei najchłodniej ( $6,7^{\circ}\text{C}$ ) jest nad morzem (region 1), natomiast najcieplejszymi regionami są zachodnia część nizin ( $8,2^{\circ}\text{C}$ ) oraz Podkarpacie ( $8,0^{\circ}\text{C}$ ). Podobnie latem regiony te charakteryzują się najwyższą średnią obszarową temperaturą powietrza, wynoszącą  $17,6^{\circ}\text{C}$ . Najchłodniejszym okresem letnim w Polsce ( $15,9^{\circ}\text{C}$ ) charakteryzują się Sudety. Klimatologiczna jesień najcieplejsza jest w regionie 1 ( $9,0^{\circ}\text{C}$ ), natomiast najchłodniejsza we wschodniej części Pojezierzy ( $7,7^{\circ}\text{C}$ ) i Karpatach ( $7,8^{\circ}\text{C}$ ). Generalnie w regionach fizycznogeograficznych Polski znajdujących się na zachód od środkowego południka kraju ( $19^{\circ}\text{E}$ ) jest cieplej niż w tych leżących na wschodzie.

Warto zaznaczyć, że obliczona średnia obszarowa nie uwzględnia stacji wysokogórskich.

Przeprowadzona analiza rangowa utworzonych serii wskaźników wykazała, że najniższa temperatura w Polsce w sezonie zimowym wystąpiła na przełomie 1962/63 r., kiedy to średnia temperatura powietrza od grudnia do lutego wynosiła  $-7,5^{\circ}\text{C}$ , a także 1969/70 i 1984/85 ze średnią temperaturą w kraju poniżej  $-5,0^{\circ}\text{C}$ . Najcieplejsze zimy charakteryzowały się w każdym regionie dodatnią średnią temperaturą (powyżej  $2,0^{\circ}\text{C}$ ). Średnia temperatura zimą 2006/07 wynosiła w Polsce  $2,7^{\circ}\text{C}$ , a w rejonie nadmorskim (region 1) aż  $3,7^{\circ}\text{C}$ . Wiosną, podobnie jak w roku, najwyższą średnią temperaturę (w większości regionów przekraczającą  $10,0^{\circ}\text{C}$ ) stwierdzono w 2007 i 2000 r., natomiast najchłodniejszy okazał się rok 1955, ze średnią temperaturą na wiosnę niższą o ponad  $5,0^{\circ}\text{C}$  od najcieplejszych. Nieznacznie mniejszą zmiennością międzyroczną charakteryzuje się lato. Średnia obszarowa temperatura powietrza w tym sezonie w Polsce w najcieplejszych latach przekraczała  $19,0^{\circ}\text{C}$  (1992 i 2002), a w najchłodniejszych (1978 i 1962) wyniosła nieco ponad  $15,0^{\circ}\text{C}$ . Jesień we wszystkich regionach była cieplejsza niż wiosna. W 2006 r. średnia temperatura w Polsce osiągnęła  $11,0^{\circ}\text{C}$ , a w regionie 1 nawet  $12,0^{\circ}\text{C}$ . Najchłodniejsza jesień w kraju wystąpiła w roku 1993 ( $6,4^{\circ}\text{C}$ ), natomiast w Sudetach i Karpatach w 1952 r. (odpowiednio  $6,2^{\circ}\text{C}$  i  $5,7^{\circ}\text{C}$ ).

Cechą długookresowej zmienności średniej temperatury jest jej systematyczny, istotny statystycznie we wszystkich regionach wzrost w całym roku i na wiosnę. Również w średnich wartościach z zimy i lata zmiany są z reguły istotne statystycznie (z wyjątkiem wyżyn latem i zimą oraz Podkarpacia w zimie), natomiast jesienią niewielkie wzrosty są już nieistotne. Do podobnych wniosków doszedł Filipiak (2004), który stwierdził, iż jesień na Pomorzu charakte-



Ryc. 3. Średnia sezonowa temperatura powietrza w wyznaczonych regionach i w Polsce (1951–2008)

Fig. 3. Average seasonal air temperature of selected regions in Poland (1951–2008)

ryzuje się stabilizacją temperatury, a szczególnie silny trend jest obserwowany w tym rejonie w całym roku oraz w porze wiosennej i zimowej.

Wzrost temperatury powietrza w okresie 1951–2008 na obszarze Polski (tab. 1) w roku wynosi od 0,19°C (Wyżyny) do 0,27°C (Pobrzeża) na 10 lat. W przypadku wiosny i zimy szybkość zmian jest większa – wiosną wynosi od 0,30°C na 10 lat w Sudetach (region 6) do 0,40°C na 10 lat na Pobrzeżach, a zimą od 0,34°C na 10 lat w Karpatach (region 7) do 0,43°C na 10 lat na Pojezierzu Pomorskim (region 2W). Można zauważyć, że największe wzrosty średniej temperatury powietrza występują na północy i zachodzie kraju, z wyjątkiem okresu letniego, kiedy wartość współczynnika trendu jest największa w Karpatach (0,25°C na 10 lat).

**Tabela 1.** Wartości współczynników trendu (°C na 10 lat) średniej sezonowej temperatury powietrza w wyznaczonych regionach i Polsce w wieloleciu 1951–2008 (pogrubiono wartości istotne statystycznie na poziomie  $\alpha = 0,05$ )

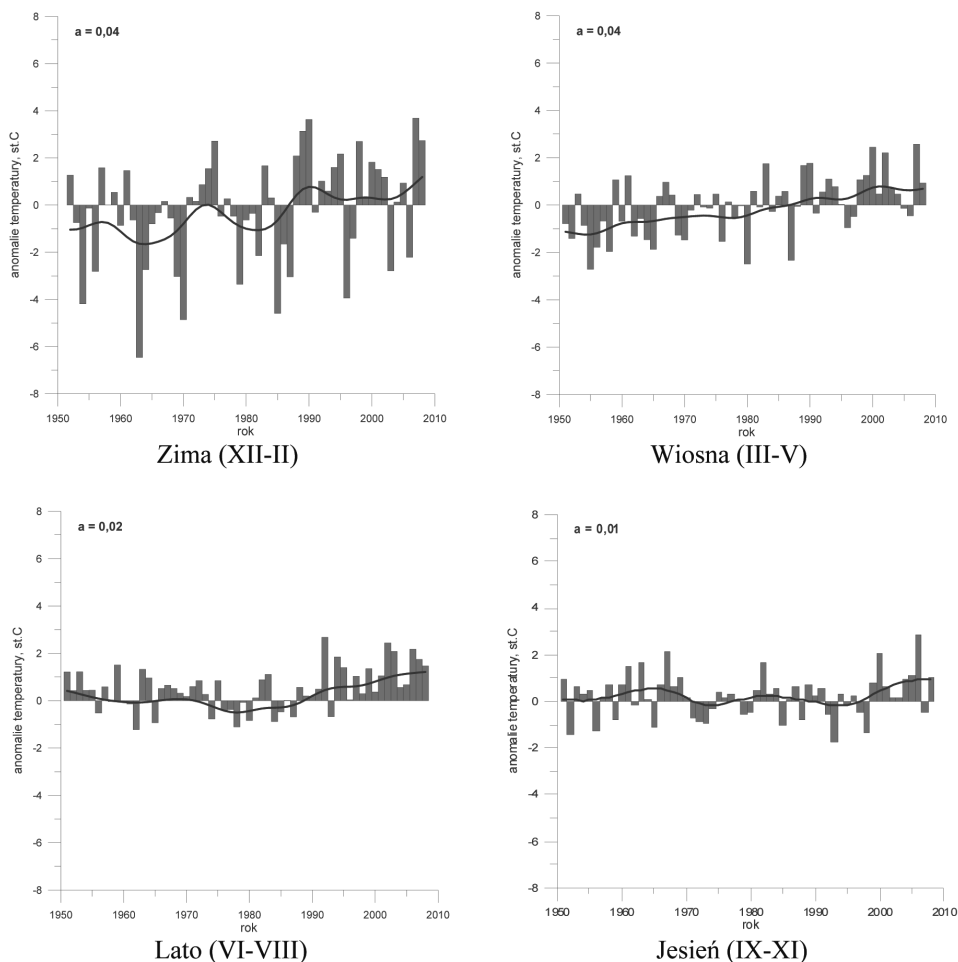
**Table 1.** Trend coefficients (°C per 10 years) of average seasonal air temperature in selected regions 1951–2008 (statistically significant – at 0.05 level – values were printed in bold)

Region Sezon	1	2	2W	2E	3	3W	3E	4	5	6	7	Polska
Zima	<b>0,40</b>	<b>0,42</b>	<b>0,43</b>	<b>0,41</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,39</b>	0,31	0,33	0,31	<b>0,34</b>	<b>0,38</b>
Wiosna	<b>0,40</b>	<b>0,38</b>	<b>0,40</b>	<b>0,34</b>	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>	<b>0,32</b>	<b>0,37</b>	<b>0,30</b>	<b>0,38</b>	<b>0,36</b>
Lato	<b>0,22</b>	<b>0,15</b>	<b>0,21</b>	0,07	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	0,08	0,13	<b>0,19</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,17</b>
Jesień	0,08	0,06	0,08	0,04	0,07	0,09	0,03	0,01	0,03	0,04	0,07	0,06
Rok	<b>0,27</b>	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	<b>0,21</b>	<b>0,24</b>	<b>0,25</b>	<b>0,21</b>	<b>0,19</b>	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,24</b>

Ponadto przeprowadzono analizę wartości anomalii średniej obszarowej temperatury powietrza w całym kraju w stosunku do wielolecia 1971–1990 (ryc. 4). Zdecydowanie największym zakresem wartości (od  $-8^{\circ}\text{C}$  do  $+4^{\circ}\text{C}$ ) charakteryzuje się zima. Uwagę zwraca okres wyraźnego obniżenia wartości anomalii w latach 1960. oraz dodatnie anomalie na przełomie lat 1980. i 1990.

Wiosną i jesienią w poszczególnych latach anomalie w stosunku do średniej z wielolecia 1971–1990 nie przekraczają  $\pm 3,0^{\circ}\text{C}$ . W sezonie wiosennym można zaobserwować wyraźnie chłodniejszy okres lat 1950. i 1960. oraz zdecydowanie cieplejsze dwie ostatnie dekady analizowanego okresu, co, jak zostało opisane wcześniej, skutkuje znacznymi dodatnimi trendami temperatury o tej porze roku. Z kolei jesień charakteryzuje się występowaniem niewielkich międzyrocznych wahań temperatury. W lecie, podobnie jak w całym roku, obserwujemy znaczny wzrost anomalii średniej obszarowej temperatury powietrza, szczegól-

nie wyraźny od lat 1990. (od roku 1997 występują jedynie dodatnie anomalie). Ponadto uwagę zwraca chłodniejszy okres lat 1970.



**Ryc. 4.** Anomalie średniej obszarowej temperatury powietrza w Polsce w poszczególnych porach roku w odniesieniu do wielolecia 1971–1990 ( $a$  – współczynnik kierunkowy równania trendu  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{rok}^{-1}$ )

**Fig. 4.** Seasonal area average temperature anomalies in Poland (reference period 1971–1990) ( $a$  – trend coefficient  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{year}^{-1}$ )

## FALE CIEPŁA I CHŁODU

O zachodzących w Polsce przekształceniach charakterystyk klimatycznych świadczą również zmiany liczby oraz czasu trwania kilkudniowych okresów ze szczególnie wysoką lub szczególnie niską w danym miejscu temperaturą powie-

trza, nazywanych „falami ciepła” i „falami chłodu”. W niniejszej pracy okresy te zdefiniowano na podstawie prac Morawskiej-Horawskiej (1991) oraz Miętusa i Filipiaka (2001) i wyznaczono na 23 stacjach w Polsce w latach 1966–2008 (wyniki dotyczące wybranych stacji przedstawiono w tab. 2). Średnio w roku w Polsce występuje od 3 do 5 fal ciepła oraz od 2 do 4 fal chłodu. Średni łączny czas ich trwania wynosi odpowiednio od 18 do 36 oraz od 13 do 28 dni w roku. Na całym obszarze Polski istotnie statystycznie (na poziomie  $\alpha = 0,05$  zmiany zachodzą w przypadku fal ciepła. Ich roczna liczba zwiększa się o niecały 1 dzień na 10 lat, a łączny roczny czas trwania zwiększa się o 5 do 8 dni na 10 lat. Świadczy to o systematycznym wydłużaniu się okresów ze szczególnie wysoką temperaturą powietrza. Największe wartości współczynników trendu liniowego obliczono na podstawie serii z Rzeszowa.

W przypadku fal chłodu rozpatrywane serie charakteryzują się tendencją spadkową lub też nie wykazują zmian. Wartości współczynników trendu liniowego wynoszą od  $-0,07$  do  $-0,54$  (na 10 lat), jedynie w Łodzi i Suwałkach wykazano istotny statystycznie spadek.

**Tabela 2.** Współczynniki trendu liczby fal ciepła/chłodu oraz ich długości (1966–2008). Współczynniki statystycznie istotne (na poziomie  $\alpha = 0,05$ ) zostały pogrubione  
**Table 2.** Trend coefficients of number of heat/cold waves and their total duration (1966–2008). Statistically significant (at 0.05 level) coeffs. have been bolded

	Liczba fal ciepła (liczba/10 lat)	Długość fal ciepła (dni/10 lat)	Liczba fal chłodu (liczba/10 lat)	Długość fal chłodu (dni/10 lat)
Białystok	<b>0,90</b>	<b>6,63</b>	-0,48	-3,52
Hel	<b>0,47</b>	<b>5,72</b>	-0,34	-2,49
Kraków	<b>0,83</b>	<b>8,96</b>	-0,07	-1,03
Lublin	<b>0,84</b>	<b>5,99</b>	-0,43	-2,23
Łódź	<b>0,70</b>	<b>6,36</b>	<b>-0,54</b>	<b>-3,98</b>
Poznań	<b>0,71</b>	<b>7,80</b>	-0,34	-3,31
Rzeszów	<b>0,95</b>	<b>8,32</b>	-0,03	-1,09
Suwałki	<b>0,68</b>	<b>8,07</b>	<b>-0,36</b>	<b>-4,09</b>
Szczecin	<b>0,79</b>	<b>7,48</b>	-0,20	-1,60
Toruń	<b>0,70</b>	<b>6,22</b>	-0,24	-1,66
Ustka	<b>0,62</b>	<b>6,07</b>	-0,41	-3,13
Warszawa	<b>0,51</b>	<b>5,11</b>	-0,19	-2,59
Wrocław	<b>0,59</b>	<b>6,58</b>	-0,28	-1,93
Zakopane	<b>0,35</b>	<b>5,16</b>	-0,52	-3,08



## WARUNKI PLUWIALNE

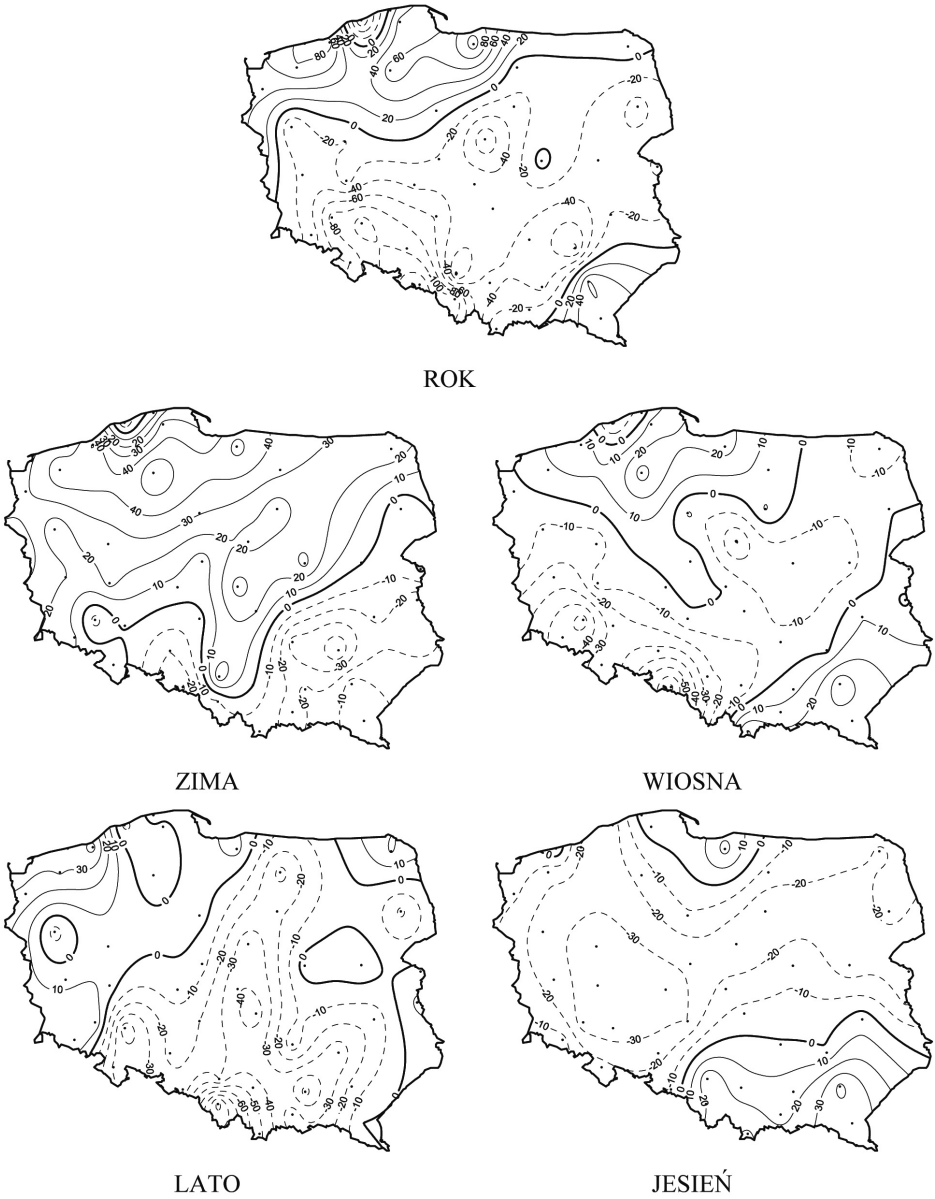
Roczne sumy opadów cechują się znacznym zróżnicowaniem zarówno pod względem wartości, jak i kierunku zmian w okresie 1961–2008 (ryc. 5). Wzrost opadów odnotowano na Pomorzu oraz Wybrzeżu – maksymalnie w Elblągu, o ponad 100 mm – oraz na południowo-wschodnich krańcach Polski (Lesko, Rzeszów). Środkowa i południowa część kraju odznacza się natomiast systematycznym spadkiem sum opadów, szczególnie wyraźnym na Dolnym Śląsku i Przedgórzu Sudeckim. Tym niemniej przedstawione zmiany mają jedynie charakter tendencji, istotne statystycznie (na poziomie  $\alpha = 0,05$ ) zmiany odnotowano tylko na dwóch punktach pomiarowych – we Wrocławiu i Raciborzu, gdzie w okresie 1961–2008 roczne sumy opadów uległy zmniejszeniu o ok. 110–140 mm.

Znacząco odmiennym rozkładem przestrzennym cechuje się zmiana liczby dni z opadem (ryc. 6); istotne zmiany wykryto w rejonie Zatoki Gdańskiej (Hel, Elbląg) oraz w Jeleniej Górze. Interesująco przedstawia się zwłaszcza przypadek południowo-zachodniej części kraju, gdzie wyraźny wzrost liczby dni z opadem jest stowarzyszony ze spadkiem sum opadów, co świadczy o zmniejszającej się wydajności opadów na tym obszarze.

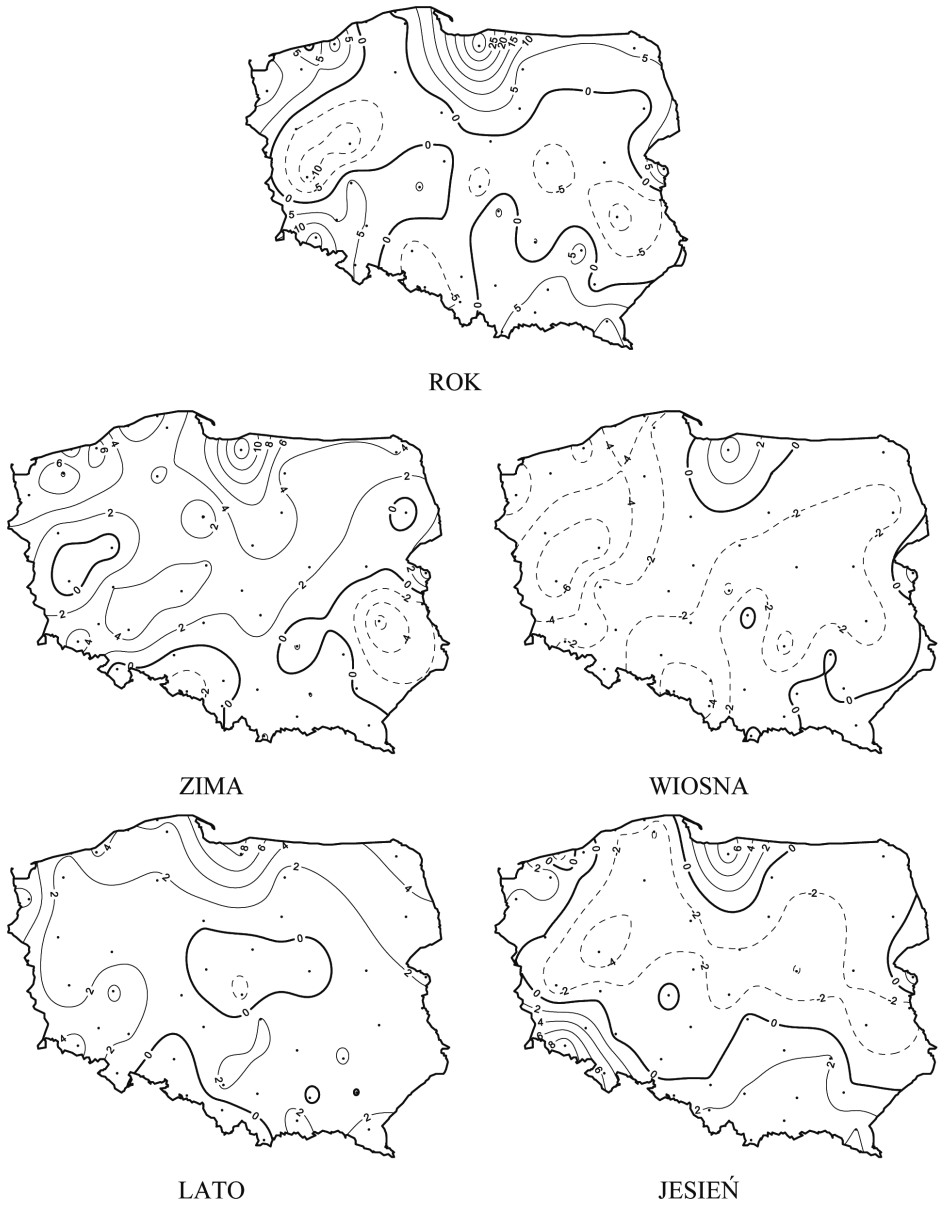
Podstawowe cechy struktury przestrzennej zmian liczby dni z opadem powyżej kwantyla 90% wykazują duże podobieństwo do opisanych wcześniej zmian sum opadów – wzrost na Pomorzu i Wybrzeżu oraz największe spadki w południowo-zachodniej Polsce (ryc. 7). Istotne statystycznie zmiany liczby dni z opadem powyżej kwantyla 90% obserwuje się w Lęborku (wzrost) oraz we Wrocławiu i Raciborzu (spadek). Podobieństwo rozkładu przestrzennego zmian w przypadku sum opadów i liczby dni z opadem powyżej kwantyla 90% oraz zgodność trendów tych dwóch elementów we Wrocławiu i Raciborzu sugerują, że zmiany rocznych sum opadów są w znacznej mierze kształtowane przez wzrost/spadek częstości występowania ekstremalnych incydentów opadowych.

W porze zimowej (ryc. 4) w okresie 1961–2008 w przeważającej części kraju stwierdzono wzrost sum opadów, szczególnie wyraźny na Pomorzu, gdzie zmiany osiągają 30–50 mm i lokalnie mają charakter trendu (Koszalin, Resko, Chojnice, Elbląg). Obszar odznaczający się spadkiem sum opadów jest ograniczony głównie do południowo-wschodniej części kraju; istotne statystycznie spadki rzędu 30–40 mm obserwuje się we Włodawie, Sandomierzu i Raciborzu. Bardzo zbliżony rozkład przestrzenny występuje w przypadku zmian liczby dni z opadem powyżej kwantyla 90%. Liczba dni z opadem cechuje się natomiast wzrostem niemal w całym kraju, przy czym charakter trendu zmiany uzyskują jedynie w Elblągu (wzrost o ok. 14 dni).

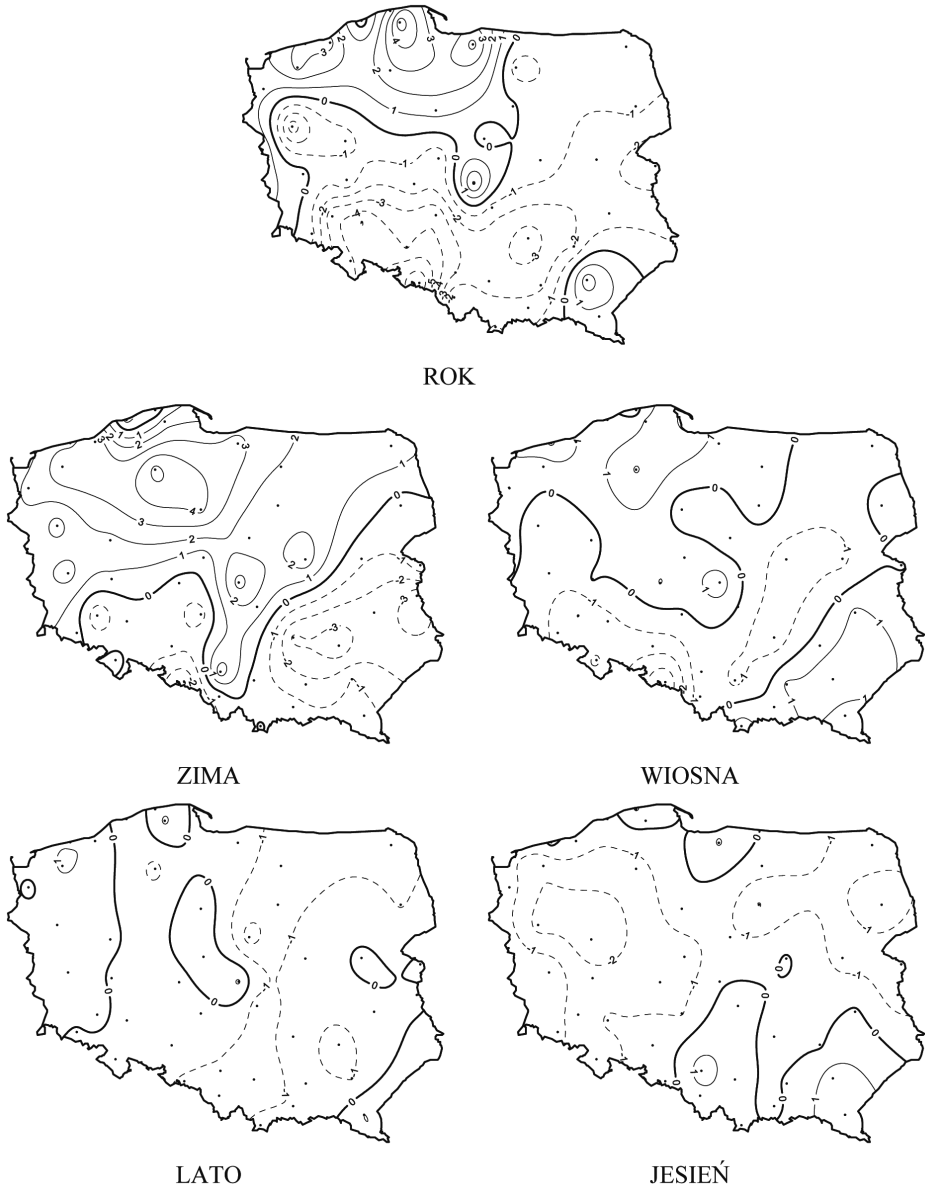
Na wiosnę (ryc. 4) największy wzrost sum opadów (rzędu 20–30 mm) odnotowano we wschodniej części Pomorza i Wybrzeża oraz w południowo-



Ryc. 5. Zmiany sumy opadów (mm) w Polsce w okresie 1961–2008  
Fig. 5. Changes of precipitation totals (mm) in Poland 1961–2008



**Ryc. 6.** Zmiany liczby dni z opadem w Polsce w okresie 1961–2008  
**Fig. 6.** Changes of number of wet days in Poland 1961–2008



**Ryc. 7.** Zmiany liczby dni z opadem powyżej kwantyla 90% w Polsce w okresie 1961–2008

**Fig. 7.** Changes of number of days with precipitation over 90<sup>th</sup> quantile in Poland 1961–2008

-wschodniej części kraju (trend w Rzeszowie). Zmiany o charakterze trendu obserwuje się jednak jedynie lokalnie w południowo-zachodniej części kraju, na Dolnym Śląsku i Przedgórzu Sudeckim, gdzie sumy opadów w okresie 1961–2008 uległy zmniejszeniu o ok. 30–50 mm (Legnica, Jelenia Góra, Opole), a w Raciborzu nawet o ponad 70 mm. Ujemne tendencje w przeważającej części kraju w porze wiosennej cechują liczbę dni z opadem. Największe istotne statystycznie zmiany (ponad 7 dni) odnotowano w Poznaniu i Zielonej Górze. Zmiany liczby dni z opadem powyżej kwantyla 90% znacznie lepiej korespondują ze zmianami sum opadów, tym niemniej są nieznaczne i generalnie nie przekraczają 1 dnia. Zmiany o charakterze trendu obserwuje się w Helu i Chojnicach (wzrost o 2–2,5 dnia) oraz Legnicy i Raciborzu (spadek o odpowiednio 2 i 4 dni).

Latem zmiany omawianych elementów nie wykazują istotności statystycznej. W przypadku sum opadów dominują tendencje ujemne – obejmują prawie całą południową część kraju oraz Mazowsze i Warmię, maksymalnie osiągając –94 mm w Bielsku-Białej (ryc. 4). Wzrost sum opadów odnotowano głównie w zachodniej części Pomorza. Liczba dni z opadem praktycznie w całym kraju nieznacznie wzrasta, najszybciej w rejonie Zatoki Gdańskiej (wzrost o około 8 dni). Zmiany liczby dni z opadem powyżej kwantyla 90% są niewielkie, tylko w pasie od Beskidów Zachodnich przez Mazowsze po Warmię i Mazury przekraczają 1 dzień (spadek liczby dni), nawiązując do obszaru o największych spadkach sum opadów. Jediną stacją cechującą się istotną statystycznie zmianą tego elementu jest Płock.

Jesienią przeważają ujemne tendencje sum opadów, w Wielkopolsce i na Dolnym Śląsku zmiany przekroczyły 30 mm (ryc. 4). Jediną stacją z istotnym statystycznie trendem jest Legnica. Wzrost sum opadów w omawianym wieloleciu odnotowano jedynie w rejonie Zatoki Gdańskiej oraz w południowo-wschodniej części kraju. Zbliżony, z wyjątkiem Przedgórza Sudeckiego, obraz zmian otrzymano w przypadku liczby dni z opadem. Istotne zmiany tego elementu obserwuje się z kolei jedynie w Elblągu i Jeleniej Górze (wzrost). Jeszcze wyraźniejsze podobieństwo do rozkładu przestrzennego zmian sum opadów występuje w przypadku liczby dni z opadem powyżej kwantyla 90%, przy czym zmiany tego elementu są generalnie niewielkie i przekraczają 2 dni jedynie w Poznaniu, Mławie i Gorzowie Wielkopolskim.

#### **ZMIANY ŚREDNIEGO, MAKSYMALNEGO I MINIMALNEGO POZIOMU MORZA NA POLSKIM WYBRZEŻU**

Zmiany poziomu morza wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku w okresie 1951–2008 określono, wykorzystując dane z 8 punktów pomiarowych: Świno-

ujście, Kołobrzeg, Ustka, Łeba, Władysławowo, Hel, Gdynia, Gdańsk Port. Na wszystkich stacjach zmienność średniego rocznego poziomu morza cechuje się statystycznie istotnym (na poziomie  $\alpha = 0,05$ ) trendem rosnącym (tab. 3). Podnoszenie się rocznego poziomu następuje w tempie ok.  $0,20 \text{ cm-rok}^{-1}$ , co jest równoznaczne ze wzrostem o ponad 10 cm w ciągu całego wielolecia (Jakusik i in. 2010). Również w sezonach obserwuje się znaczny wzrost, zwłaszcza zimą i wiosną, a w niektórych punktach pomiarowych (Władysławowo, Gdańsk, Gdynia) tempo wzrostu osiąga lub przekracza  $+0,30 \text{ cm-rok}^{-1}$ . Wyraźnie niższe, choć istotne statystycznie, jest tempo zmian średniego poziomu morza w porze letniej. Jesienią w przypadku niektórych stacji można mówić jedynie o tendencji wzrostowej.

Tempo wzrostu wartości kwantyla 95% poziomu maksymalnego jest większe niż w przypadku poziomu średniego. W całym roku wartości współczynnika trendu przekraczają wartość  $0,30 \text{ cm-rok}^{-1}$ , a wiosną osiągają  $0,45\text{--}0,50 \text{ cm-rok}^{-1}$ . W przypadku wartości kwantyla 5% poziomu minimalnego dominują trendy rosnące, jednak mniej liczne, z mniejszymi wartościami współczynnika trendu – nieprzekraczającymi  $0,40 \text{ cm-rok}^{-1}$ . Tempo wzrostu poziomu morza jest największe we wschodniej części polskiego wybrzeża (Władysławowo, rejon Zatoki Gdańskiej). Za wspomniany proces odpowiedzialne są nie tylko czynniki globalne, lecz także zmiany regionalnej cyrkulacji atmosferycznej.

**Tabela 3.** Zmiany (cm) średniego ( $\Delta H_{sr}$ ) oraz ekstremalnych wartości ( $\Delta H_{max}$  i  $H_{min}$ ) poziomu morza w okresie 1951–2008

**Table 3.** Mean ( $\Delta H_{sr}$ ) and extreme ( $\Delta H_{max}$  i  $\Delta H_{min}$ ) sea level changes in the period 1951–2008

Stacja	$\Delta H_{sr}$ (cm)	$\Delta$ kwantyl 5% $H_{min}$ (cm)	$\Delta$ kwantyl 95% $H_{max}$ (cm)
Świnoujście	9,8	4,4	19,8
Kołobrzeg	10,3	11,1	17,5
Ustka	10,7	10,4	18,5
Łeba	9,1	8,9	17,1
Władysławowo	13,7	16,7	19,4
Hel	10,4	12,1	16,5
Gdynia	13,5	14,4	19,2
Gdańsk Port	16,1	17,7	21,0

## ZŁODZENIE BAŁTYKU

Na polskim wybrzeżu średnia roczna liczba dni z lodem (XII–IV) w analizowanym okresie (1951–2008) wyniosła od niemal 20 w Świnoujściu do ok. 8 dni w Ustce, jedynie w Helu nie przekraczała 2 dni. Jednak podczas wyjątkowo surowych zim liczba dni z lodem może wynieść ok. 80–100 (z wyjątkiem Helu). Wzdłuż całego polskiego wybrzeża w wieloletnim okresie 1951–2008 odnotowano systematyczny spadek liczby dni z lodem (tab. 4). Największe tempo spadku liczby dni z lodem zanotowano w Świnoujściu (ok. 6 dni na 10 lat). Spory spadek wystąpił także na stacjach Zatoki Gdańskiej, który wyniósł w Gdyni ok. 4 dni, a w Gdańsku ok. 3 dni na 10 lat. Na tych stacjach zmiany są istotne statystycznie na poziomie  $\alpha = 0,05$ . W środkowej części wybrzeża (Kołobrzeg, Ustka) spadek liczby dni z lodem następuje nieco wolniej – ok. 2,5 dnia na 10 lat. W Helu, gdzie jest najmniejsza liczba dni ze zlodzeniem, zanotowano najwolniejsze i nieistotne statystycznie tempo zmian (0,4 dnia na 10 lat).

**Tabela 4.** Wartości średnie oraz współczynniki kierunkowe równania trendu liczby dni ze zlodzeniem (dni na 10 lat) na wybranych stacjach polskiego wybrzeża Bałtyku (1951–2008) (współczynniki istotne statystycznie na poziomie  $\alpha = 0,05$  pogrubiono)

**Table 4.** Averages and trend coefficients (days per 10 years) of number of days with ice for selected stations at Polish Baltic Sea coast (1951–2008) (statistically significant at 0.05 level were bolded)

Stacja	Średnia liczba dni ze zlodzeniem	Zmiana liczby dni ze zlodzeniem (dni na 10 lat)	Stacja	Średnia liczba dni ze zlodzeniem	Zmiana liczby dni ze zlodzeniem (dni na 10 lat)
Świnoujście	19,6	<b>-5,8</b>	Hel	1,6	-0,4
Kołobrzeg	10,3	-2,8	Gdynia	12,7	<b>-3,8</b>
Ustka	7,8	-2,5	Gdańsk	8,7	<b>-2,7</b>

## WNIOSKI

Przeprowadzone analizy potwierdzają tezę, że zmienność charakterystyk termicznych w Polsce jest zgodna z trendami obserwowanymi w ogólniejszych skalach przestrzennych. Podstawową cechą zmienności temperatury w Polsce w analizowanym okresie jest jej wzrost, który w większości z wyróżnionych regionów jest istotny statystycznie. Uwidacznia się to zwłaszcza w przypadku wartości średnich rocznych oraz sezonowych, z wyjątkiem jesieni, kiedy to zmiany są nieznaczne i nieistotne statystycznie. Zmiana średniej rocznej temperatury powietrza w Polsce przekracza  $+0,2^{\circ}\text{C}$  na 10 lat, a w przypadku wiosny

i zimy jest większa od  $0,35^{\circ}\text{C}$  na 10 lat. Stwierdza się również istotny przyrost liczby fal ciepła, a czas ich trwania zwiększa się średnio o 5 do 8 dni na 10 lat. Analiza zmienności warunków opadowych wykazała znaczne niejednorodności na obszarze kraju, co nie pozwala jednoznacznie potwierdzić hipotezy o zgodności z procesami w skali ogólniejszej. Roczne sumy opadów cechują się znacznym zróżnicowaniem zarówno pod względem wartości, jak i kierunku zmian w badanym okresie. Wzrosty sum opadów notuje się na Pomorzu i wybrzeżu, natomiast spadki w środkowej i południowej części kraju. Zmienność średniego rocznego poziomu Morza Bałtyckiego cechuje się statystycznie istotnym wzrostem, przekraczającym na większości stacji 10 cm w ciągu całego analizowanego wielolecia.

Niniejsza praca została zrealizowana 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 w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

<http://klimat.imgw.pl/>

## Literatura

- Alexandersson H., 1986, *A homogeneity test applied to precipitation data*. Jour. of Climate, 6, 661–675.
- Filipiak J., 2004, *Zmienność temperatury powietrza na Wybrzeżu i Pojezierzu Pomorskim w drugiej połowie XX w.* Monografie IMGW.
- Jakusik E., Wójcik R., Biernacik D., Miętus M., 2010, *Wpływ zmian pola barycznego nad Europą i Północnym Atlantykiem na zmiany średniego poziomu Morza Bałtyckiego w strefie polskiego wybrzeża*. [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), 2010, *Woda w badaniach geograficznych*, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kielce, s. 49–58.
- Kondracki J., 2002, *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Miętus M., Filipiak J., 2001, *Struktura czasowo-przestrzennej zmienności warunków termicznych w rejonie Zatoki Gdańskiej*. Mat. Bad. IMGW, seria Meteorologia, 32, 52, ss. 53.
- Morawska-Horawska M., 1991, *Fale ciepła i chłodu w Krakowie w stuleciu 1881–1980*. Wiad. IMGW, 14 (35), 1–4, 127–136.