

Wpłynęło 28.10.2011 r.
Zrecenzowano 17.01.2012 r.
Zaakceptowano 10.02.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

WIELOLETNIE ZMIANY ZASOBÓW TERMICZNYCH W OKRESIE WEGETACYJNYM I AKTYWNEGO WZROSTU ROŚLIN W POLSCE

Elwira ŻMUDZKA ABCDEF

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Klimatologii

Streszczenie

W pracy podjęto zagadnienie współczesnych zmian zasobów termicznych w sezonie wegetacyjnym w Polsce. Zasoby termiczne określono na podstawie sum nadwyżek średnich dobowych wartości temperatury powietrza powyżej progu 5°C i 10°C (tzw. sumy efektywne temperatury). Wykorzystano dane codzienne z lat 1951–2006 z 10 stacji synoptycznych IMGW z obszaru Polski nizinnej. Posłużono się także serią uśrednioną obszarowo. Określono zakres zmian oraz wieloletnie trendy i fluktuacje zasobów termicznych. Najmniejsze sumy efektywne temperatury w okresie wegetacyjnym pojawiały się w różnych regionach Polski w różnych latach, natomiast skrajnie duże występowały na przeważającym obszarze Polski i koncentrowały się na przełomie XX i XXI wieku. Wykazano istotny wzrost zasobów termicznych oraz przestrzenne zróżnicowanie tempa tego procesu na obszarze Polski. Sumy temperatury powyżej progu 5°C wzrastały w Polsce w tempie 4,0°C na rok, a powyżej 10°C – 2,6°C na rok.

Słowa kluczowe: *okres aktywnego wzrostu roślin, okres wegetacyjny, Polska, sumy efektywne temperatury, zmiany*

WSTĘP

Cechą charakterystyczną zmian klimatu Polski w drugiej połowie XX w. było ocieplenie (np. KOŻUCHOWSKI, ŻMUDZKA [2001; 2002], ŻMUDZKA [2004a]). Niezależnie od regionu, kierunek zmian czasowych średniej rocznej temperatury był ten sam, jednak zmiany te zachodziły w różnym tempie (najsilniejszy wzrost temperatury wystąpił w zachodniej części Polski). Uwidoczniło się to nieznacznie

Adres do korespondencji: dr hab. E. Żmudzka, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Klimatologii Instytut Geografii Fizycznej, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa; tel. +48 22 552-06-40, e-mail: elwiraz@uw.edu.pl

w rozkładzie przestrzennym średniej temperatury powietrza na obszarze kraju [ŻMUDZKA 2004b]. Inną cechą charakterystyczną ocieplenia było jego sezonowe zróżnicowanie. Znaczący wzrost temperatury wystąpił wiosną, złagodzeniu uległy zimy (średnia temperatura powietrza w Polsce w ostatnim 10-leciu XX wieku zimą zbliżyła się do wartości 0°C i wynosiła $-0,7^{\circ}\text{C}$), w czerwcu oraz jesienią wystąpiło niewielkie oziębienie [KOZUCHOWSKI, ŻMUDZKA 2001]. Konsekwencją sezonowo zróżnicowanych tendencji zmian temperatury powietrza były zmiany terminów rozpoczęcia i zakończenia oraz czasu trwania termicznego okresu wegetacyjnego. Stwierdzono coraz wcześniejsze jego rozpoczynanie się (o 0,23 dnia na rok), ale jednocześnie niewielkiemu przyśpieszeniu uległo jego zakończenie (o 0,06 dnia na rok) [ŻMUDZKA, DOBROWOLSKA 2001]. Czas trwania okresu wegetacyjnego na obszarze Polski wydłużył się w ciągu 50-lecia o 8 dni. Wyniki te korespondują z rezultatami badań innych autorów, którzy podjęli zagadnienie zmian długości i terminów rozpoczynania się i kończenia wybranych okresów termicznych w poszczególnych regionach Polski, jak i w całym kraju (np. GÓRSKI [2002; 2006], WOŚ [2006], KOŹMIŃSKI [2009]). Na przykład, w Polsce Południowo-Wschodniej okresy wegetacyjny i intensywnej wegetacji wydłużyły się, głównie ze względu na wcześniejsze ich rozpoczynanie się o 2–6 dni w latach 1971–2000 w porównaniu z okresem 1951–1980 [SKOWERA, KOPEĆ 2008]. Względnie niewielka, mimo ocieplenia, zmiana długości okresu wegetacyjnego była spowodowana zmianami reżimu termicznego – skróceniu uległa zima, wydłużyły się natomiast przede wszystkim przedwiosnie i przedzimie oraz w niewielkim stopniu wiosna [FORTU-
NIAK i in. 2001; KOZUCHOWSKI, ŻMUDZKA 2001].

Wydłużając okres badań o pierwsze lata XXI w., można zauważyć, że tempo wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza w Polsce zwiększyło się z 0,018 do 0,020 $^{\circ}\text{C}$ na rok. Oprócz niewielkiego zwiększenia tempa wzrostu temperatury, stwierdzono także zmianę rozkładu sezonowego tego procesu. Do występujących w drugiej połowie XX w. trendów dodatnich temperatury w sezonie zimowym i wiosennym dołączył istotny wzrost temperatury latem [MAROSZ i in. 2011; MI-
CHALSKA 2009; ŻMUDZKA 2009]. Jak wiadomo, jest to okres, w którym procesy wegetacji przebiegają najintensywniej. Ponadto zmianie z ujemnego na dodatni uległ trend temperatury jesienią. Te przemiany rozkładu sezonowego ocieplenia sprawiły, że wydłużenie o ok. 8 dni okresu wegetacyjnego w ostatnich latach (2001–2009) w Polsce w stosunku do wielolecia 1971–2000 było skutkiem głównie coraz późniejszego kończenia się tego okresu [NIERÓBCA i in. 2011].

Istotne znaczenie dla wegetacji i produkcji roślinnej, oprócz czasu trwania okresu sprzyjającego rozwojowi roślin, mają także zasoby termiczne. Głównym celem niniejszych badań jest odpowiedź na pytanie, jak i o ile zmieniły się te zasoby w okresie wegetacyjnym oraz w okresie aktywnego wzrostu roślin w Polsce w drugiej połowie XX w. i w pierwszych latach wieku XXI. Do charakterystyki zasobów termicznych wykorzystano wskaźnik agroklimatyczny, którym są sumy efektywne temperatury. Są to sumy odchyłeń dodatnich średniej dobowej tempera-

tury powietrza od wartości progowej, stanowiącej minimum biologiczne rośliny, w okresie jej fazy fenologicznej [NIEDŹWIEDŹ 2003].

METODY BADAŃ

W analizie wykorzystano dane codzienne z lat 1951–2006 z 10 stacji synoptycznych IMGW, położonych w części nizinnej Polski (poniżej 300 m n.p.m.). Na ich podstawie zestawiono serię uśrednioną obszarowo. Wybrane stacje są zlokalizowane w różnych regionach fizycznogeograficznych. Ponadto reprezentują one obszary, w których stwierdzono najsilniejszy i najłagodniejszy wzrost średniej rocznej temperatury powietrza na obszarze Polski w drugiej połowie XX wieku. Do pewnych porównań wykorzystano także dane z lat 1966–2006 ze stacji górskich, zlokalizowanych w Tatrach – Zakopanego (podnóże gór) i Kasprowego Wierchu (stacja szczytowa).

Dane codzienne posłużyły do wyznaczenia średnich dat początku i końca termicznego okresu wegetacyjnego oraz zasobów termicznych. Za klimatyczny okres wegetacyjny uznaje się sezon, w którym średnia dobowa temperatura powietrza wynosi co najmniej 5°C. Wegetacja niektórych gatunków roślin zaczyna się już, gdy temperatura wynosi 1–3°C, gatunki ciepłolubne wymagają nieco wyższych wartości temperatury (np. kukurydza 11°C). Warunki tzw. aktywnego wzrostu zapewniają wartości temperatury ponad 10°C. Dobrą miarą tempa wegetacji mogą być sumy wartości temperatury, przekraczające pewien próg termiczny – tzw. zero fizjologiczne. Dlatego też zasoby termiczne określono, obliczając sumy nadwyżek średnich dobowych wartości temperatury powietrza powyżej progu 5 i 10°C.

Określono podstawowe charakterystyki rozkładu (średnią arytmetyczną, medianę i skośność) oraz obliczono miary dyspersji analizowanych ciągów: wartości odchylenia standardowego σ i współczynnika zmienności C_v (stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej wieloletniej, wyrażony w %). Kierunek i istotność tendencji zmian sum efektywnych temperatury określono, wyznaczając równania trendu liniowego (istotność trendu oceniano, obliczając statystykę F) oraz stosując test rangowy Manna-Kendalla [MITCHELL 1966]. Fluktuacje uśrednionych obszarowo sum temperatury opisano na podstawie przebiegu kumulowanych odchyleń od ich średniej wieloletniej 1951–2006 [DROZDOV, GRIGOREVA 1972].

WYNIKI I DYSKUSJA

Okres wegetacyjny na obszarze Polski nizinnej w latach 1951–2006 trwał średnio 223 dni, to jest od 31 marca do 8 listopada (tab. 1). Najkrócej trwał na północno-wschodzie (<200 dni), najdłużej na południo-zachodzie, zwłaszcza wzdłuż Odry (>230 dni w roku). Początek okresu wegetacji następował najwcześniej w południowo-zachodniej połowie kraju (trzecia dekada marca), najpóźniej na północo-

-wschodzie i na wybrzeżu (druga dekada kwietnia). Najwcześniej sezon ten kończył się na północo-wschodzie (ostatnia pentada października), najpóźniej na północo-zachodzie kraju (początek drugiej dekady listopada). Różnice średnich terminów rozpoczęcia się i końca okresu wegetacyjnego na obszarze Polski sięgały trzech tygodni. W poszczególnych latach długość okresu wegetacyjnego zmienia się w dość szerokim zakresie [ŻMUDZKA, DOBROWOLSKA 2001]. Znacznie zmienia się także liczba dni z temperaturą co najmniej 5°C – na przykład w Suwałkach w badanym wieloleciu wahała się ona między 182 w latach 1970 i 1992 a 231 w roku 2006, natomiast w Legnicy między 220 w roku 1952 a 282 w roku 2000.

Tabela 1. Średnie daty początku i końca oraz średnia długość okresu wegetacyjnego w Polsce (1951–2006)

Table 1. Mean dates of the beginning, the end and the average duration of the vegetation season in Poland (1951–2006)

Stacja Station	Okres wegetacyjny Vegetation season		
	początek beginning	koniec end	czas trwania, dni duration, days
Świnoujście	2 IV	12 XI	225
Słubice	25 III	12 XI	233
Legnica	24 III	10 XI	232
Poznań	29 III	8 XI	225
Hel	15 IV	12 XI	212
Warszawa	31 III	8 XI	223
Katowice	26 III	9 XI	229
Suwałki	14 IV	27 X	197
Włodawa	1 IV	29 X	212
Rzeszów	30 III	9 XI	225
Polska	31 III	8 XI	223

Źródło: wyniki własne na podstawie danych IMGW.

Source: own study based on Institute of Meteorology and Water Management data.

Wielkość zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym, zdefiniowana jako suma odchyleń dodatnich średnich dobowych wartości temperatury od progu 5°C, jest na obszarze Polski zróżnicowana. Wynika to zarówno z różnej długości okresu wegetacyjnego (tu rozumianego jako liczba dni z temperaturą co najmniej 5°C), jak i wartości nadwyżek temperatury w stosunku do określonego progu. W nizinnej części Polski sumy te zmieniają się od 1600 (Suwałki 1638,1°C) do ponad 2000°C (Legnica 2031,3°C) – tabela 2. W górach zasoby termiczne są mniejsze i maleją wraz z wysokością nad poziomem morza. Przykładowo w Tatrach sumy nadwyżek średnich dobowych wartości temperatury powietrza powyżej progu 5°C wynoszą od 1331,5°C w Zakopanem do 320,8°C na Kasprowym Wierchu (średnie z lat 1966–2006) [ŻMUDZKA 2010].

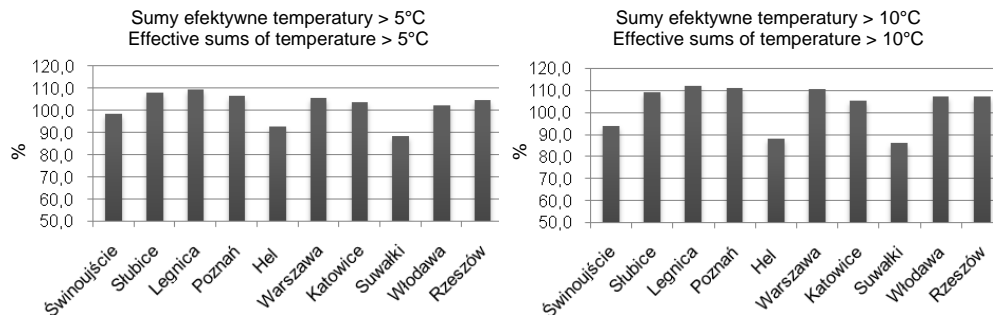
Tabela 2. Podstawowe charakterystyki rozkładu sum efektywnych temperatury (°C) powyżej progu 5°C w wybranych stacjach meteorologicznych w Polsce w latach 1951–2006**Table 2.** Basic characteristics of the distribution of the effective sums of temperature exceeding the threshold of 5.0°C in selected weather stations in Poland in the years 1951–2006

Stacja Station	Suma Sum			Mediana Median	Percentyl		Skośność Skewness <i>A</i>
	średnia average	najmniejsza (rok) lowest (year)	największa (rok) highest (year)		0,05	0,95	
Świnoujście	1822,2	1528,0 (1962)	2281,0 (2006)	1809,1	1617,6	2041,9	0,44
Słubice	1999,8	1679,9 (1962)	2486,2 (2006)	2013,3	1745,5	2220,8	0,24
Legnica	2031,3	1702,6 (1980)	2423,2 (2006)	2035,2	1759,2	2318,8	0,23
Poznań	1979,5	1666,5 (1980)	2457,4 (2006)	1977,0	1715,0	2226,2	0,34
Hel	1719,0	1450,0 (1965)	2137,7 (2006)	1710,0	1465,4	1903,7	0,13
Warszawa	1955,7	1622,9 (1965)	2386,5 (2006)	1962,4	1669,2	2203,0	0,16
Katowice	1927,3	1587,2 (1980)	2273,8 (2000)	1921,8	1662,0	2204,2	0,11
Suwałki	1638,1	1318,3 (1987)	1988,3 (2002)	1641,1	1362,0	1907,5	-0,01
Włodawa	1898,5	1541,6 (1978)	2234,2 (1963)	1898,1	1631,3	2156,8	-0,12
Rzeszów	1938,4	1600,8 (1977)	2287,5 (2005)	1933,8	1700,6	2193,6	0,04
Polska	1855,1	1597,2 (1980)	2263,0 (2006)	1854,4	1633,4	2075,9	0,36

Źródło: wyniki własne na podstawie danych IMGW.

Source: own study based on Institute of Meteorology and Water Management data.

W regionie północno-wschodnim zasoby termiczne stanowią mniej niż 90% średnich zasobów w Polsce (rys. 1). Zjawiskiem niekorzystnym jest tam także duża zmienność sum nadwyżek średniej dobowej temperatury powyżej 5°C, na co wskazuje duża wartość współczynnika zmienności (tab. 3). Względnie małe są także średnie sumy efektywne temperatury na terenach, pozostających pod łącznym wpływem Atlantyku i Morza Bałtyckiego. Najkorzystniejszym regionem pod



Rys. 1. Zasoby termiczne w wybranych stacjach meteorologicznych (% średnich zasobów w Polsce) w latach 1951–2006; źródło: wyniki własne na podstawie danych IMGW

Fig. 1. Thermal resources in selected weather stations (% of the average resources in Poland) in the years 1951–2006; source: own study based on Institute of Meteorology and Water Management data

Tabela 3. Wybrane miary zmienności, współczynniki kierunkowe trendu liniowego oraz ocena rangowa (statystyka Manna-Kendalla) trendu zmian sum efektywnych temperatury powyżej progu 5°C w wybranych stacjach meteorologicznych w Polsce w latach 1951–2006

Table 3. Selected variability measures, the directional coefficients of the linear trend and rank statistics (Mann-Kendall statistics) of the trend in changes of the effective sums of temperature exceeding the threshold of 5.0°C in selected weather stations in Poland in the years 1951–2006

Stacja Station	Zakres zmian Range of changes °C	Odchylenie standardowe Standard deviation °C	Współczynnik zmienności Coefficient of variations %	Współczynnik kierunkowy trendu °C·rok ⁻¹ Directional coeffi- cient of the trend °C·year ⁻¹	Ocena rango- wa trendu Rank statistic of the trend
Świnoujście	753,0	152,2	8,4	4,46*	0,31*
Słubice	806,3	166,7	8,3	5,49*	0,34*
Legnica	720,6	170,5	8,4	5,31*	0,33*
Poznań	790,9	172,2	8,7	4,67*	0,30*
Hel	687,7	144,5	8,4	3,86*	0,28*
Warszawa	763,6	166,4	8,5	3,76*	0,25*
Katowice	686,6	164,4	8,5	5,28*	0,37*
Suwałki	670,0	155,5	9,5	1,83	0,13
Włodawa	692,6	153,6	8,1	1,56	0,12
Rzeszów	686,7	157,9	8,1	4,66*	0,33*
Polska	665,8	142,6	7,7	4,03*	0,31*

Objaśnienia: * – istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$.

Explanations: * – coefficients statistically significant at $\alpha = 0.05$.

Źródło: wyniki własne na podstawie danych IMGW.

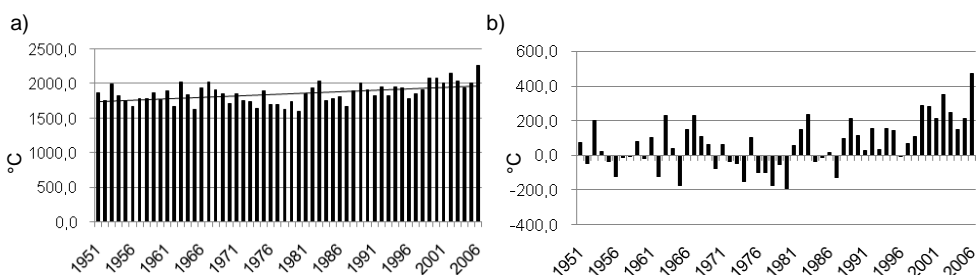
Source: own study based on Institute of Meteorology and Water Management data.

względem zasobów termicznych jest południowy zachód Polski, gdzie sumy nadwyżek temperatury powyżej 5°C przekraczają o 7–10% średnią krajową, a powyżej 10°C – o 9–12%.

Polska Północno-Zachodnia i Środkowa wyróżnia się dużym zakresem zmian sum efektywnych temperatury w okresie wegetacyjnym; wynosi on ponad 750°C (w Słubicach nawet ponad 800°C). Wartości A (skośność) różne od 0 wskazują na rozkłady asymetryczne. Na przeważającym obszarze Polski jest to asymetria dodatnia, tylko w części północno-wschodniej – ujemna (tab. 2).

Wyjątkowo małe sumy nadwyżek średnich dobowych wartości temperatury powietrza powyżej progu 5°C wystąpiły w latach 60. ubiegłego wieku w północno-zachodniej i środkowej Polsce, na przełomie lat 70. i 80. na południu oraz w 1987 r. na północo-wschodzie. W Suwałkach było to tylko 1318,3°C, a w Legnicy 1702,6°C. W Tatrach wyjątkowo małe sumy, które wystąpiły w 1978 r., wynosiły od 134,1°C na Kasprowym Wierchu do 978,0°C w Zakopanem (1966–2006) [ŻMUDZKA 2010]. Skrajnie duże sumy efektywne temperatury stwierdzono natomiast na przeważającym obszarze Polski na początku XXI wieku (od 1988,3°C

w Suwałkach do ponad 2450°C w Poznaniu i Słubicach). W wysokogórskiej części Tatr w 2003 r. suma ta przekroczyła 500°C. Wyjątek stanowiła Włodawa, gdzie wyjątkowo duża suma, wynosząca 2234,2°C, wystąpiła w 1963 r. Na poszczególnych stacjach spośród 10 największych sum 5–7 z nich wystąpiło w latach 1990–2006. W przypadku średniej obszarowej były to wszystkie lata po 1999 r. (z wyjątkiem roku 2004) – rysunek 2.



Rys. 2. Przebieg wieloletni sum efektywnych temperatury powyżej progu 5°C (a) i ich odchylen od średniej 1951–1980 (b); źródło: wyniki własne na podstawie danych IMGW

Fig. 2. Long-term course of the effective sums of temperature exceeding the threshold of 5.0°C (a) and their deviations from the mean for the period 1951–1980 (b); source: own study based on Institute of Meteorology and Water Management data

Podsumowując, można stwierdzić, że najmniejsze zasoby termiczne w okresie wegetacyjnym pojawiały się w różnych regionach Polski w różnych latach, natomiast skrajnie duże występowały na przeważającym obszarze Polski i koncentrowały się na przełomie XX i XXI wieku.

Podobne prawidłowości można stwierdzić w odniesieniu do sum nadwyżek średnich dobowych wartości temperatury powietrza powyżej progu 10°C. Podobne jest zarówno zróżnicowanie przestrzenne na obszarze Polski tak zdefiniowanych zasobów termicznych (w analizowanym wieloleciu zmieniają się one od 774,7 w Suwałkach do 1004,8°C w Legnicy), jak i rozkład regionalno-czasowy najmniejszych i największych sum (tab. 4). Na ogół są to te same lata, co w przypadku temperatury efektywnej powyżej 5°C. Można zauważyć jedynie niewielkie różnice, na przykład najmniejsza suma roczna nadwyżek średnich dobowych wartości temperatury powietrza powyżej progu 10°C w Warszawie wystąpiła nie w 1965 r., jak w przypadku sumy nadwyżek temperatury powyżej 5°C, ale w 1978 r. Największe sumy w Katowicach i Legnicy wystąpiły w 2003 r., a nie, jak w przypadku sum powyżej 5,0°C, odpowiednio w latach 2000 i 2006. Na uwagę zasługują także tak zdefiniowane zasoby termiczne w Słubicach. Sumy efektywne temperatury powyżej 5°C wskazują, że jest to region najkorzystniejszy pod względem zasobów termicznych (podobnie, jak okolice Legnicy). Zasoby te, określone na podstawie nadwyżek temperatury w stosunku do progu 10°C, są tam natomiast mniejsze niż w Poznaniu i Warszawie.

Tabela 4. Podstawowe charakterystyki rozkładu sum efektywnych temperatury powyżej progu 10°C w wybranych stacjach meteorologicznych w Polsce w latach 1951–2006

Table 4. Basic characteristics of the distribution of the effective sums of temperature exceeding the threshold of 10.0°C in selected weather stations in Poland in the years 1951–2006

Stacja Station	Suma, °C Sum, °C			Mediana Median °C	Percentyl		Skośność Skewness A
	średnia average	najmniejsza (rok) lowest (year)	największa (rok) highest (year)		0,05	0,95	
Świnoujście	842,5	596,4 (1962)	1162,5 (2006)	837,8	679,5	1030,2	0,31
Słubice	979,5	732,4 (1962)	1338,4 (2006)	996,3	780,0	1171,7	0,18
Legnica	1004,8	744,5 (1978)	1300,8 (2003)	1009,6	795,4	1227,1	0,14
Poznań	995,4	733,8 (1980)	1350,1 (2006)	1003,0	787,2	1204,5	0,25
Hel	788,8	561,2 (1962)	1070,3 (2006)	800,6	602,5	931,4	0,06
Warszawa	992,4	714,5 (1978)	1311,3 (2006)	980,1	758,1	1170,1	0,00
Katowice	945,2	665,7 (1978)	1203,3 (2003)	939,8	747,9	1162,8	0,05
Suwałki	774,7	520,6 (1987)	1089,8 (2002)	757,1	551,4	960,3	-0,04
Włodawa	961,2	640,7 (1978)	1255,0 (1963)	965,0	757,9	1132,4	-0,23
Rzeszów	963,8	660,0 (1977)	1220,4 (2001)	960,6	771,0	1180,3	-0,12
Polska	897,4	690,1 (1978)	1180,5 (2006)	905,4	723,1	1058,7	0,21

Źródło: wyniki własne na podstawie danych IMGW.

Source: own study based on Institute of Meteorology and Water Management data.

Stwierdzone na obszarze Polski przemiany warunków termicznych [KOZUCHOWSKI, ŻMUDZKA 2001; 2002; ŻMUDZKA 2004a] uwidaczniają się w istotnym zwiększeniu zasobów termicznych oraz przestrzennym zróżnicowaniu tego procesu. Na obszarze całej Polski wystąpił dodatni trend sum efektywnych temperatury zarówno powyżej progu 5, jak i 10°C. W latach 1951–2006 sumy nadwyżek średnich dobowych wartości temperatury powietrza powyżej progu 5°C zwiększały się w tempie od 1,5–2,0°C na rok we wschodniej części Polski nizinnej do ponad 5,0°C na rok na zachodzie i południowym zachodzie kraju (tab. 3), co przekłada się na wzrost odpowiednio o 5 i 15%. W górach, reprezentowanych przez stację na Kasprowym Wierchu, wystąpiła także tendencja wzrostowa – w latach 1966–2006 wyniosła ona 3,4°C na rok [ŻMUDZKA 2010]. W przypadku sum nadwyżek temperatury powyżej progu 10°C tendencje zmian wynosiły od 0,4–0,7 (wschodnia część kraju) do 3,5–3,7°C na rok (region południowo-zachodni). Trendy zmian zasobów termicznych nie były istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$ jedynie na północ-wschodzie Polski (Suwałki i Włodawa) – tabela 5. Zróżnicowanie przestrzenne tendencji zmian zasobów termicznych koresponduje zatem z rozkładem przestrzennym tendencji zmian średniej rocznej temperatury powietrza. Jak wykazano [FORTUNIAK i in. 2001; ŻMUDZKA 2004a], współczesne ocieplenie zaznaczyło się wyraźniej w regionach ciepłych niż w chłodnej części kraju. Tym samym kontrasty termiczne na obszarze Polski stały się nieco większe.

Tabela 5. Wybrane miary zmienności, współczynniki kierunkowe trendu liniowego oraz ocena rangowa (statystyka Manna-Kendalla) trendu zmian sum efektywnych temperatury powyżej progu 10°C w wybranych stacjach meteorologicznych w Polsce w latach 1951–2006

Table 5. Selected variability measures, the directional coefficients of the linear trend and rank statistics (Mann-Kendall statistics) of the trend in changes of the effective sums of temperature exceeding the threshold of 10.0°C in selected weather stations in Poland in the years 1951–2006

Stacja Station	Zakres zmian Range of changes °C	Odchylenie standardowe Standard deviation °C	Współczynnik zmienności Coefficient of variations %	Współczynnik kierunkowy trendu, °C·rok ⁻¹ Directional coeffi- cient of the trend, °C·year ⁻¹	Ocena ran- gowa trendu Rank statistics of the trend
Świnoujście	566,1	113,1	13,4	2,95*	0,27*
Słubice	606,0	126,8	12,9	3,73*	0,32*
Legnica	556,3	129,9	12,9	3,46*	0,30*
Poznań	616,3	136,9	13,8	2,89*	0,21*
Hel	509,1	108,8	13,8	2,48*	0,22*
Warszawa	596,8	136,4	13,7	2,25*	0,17
Katowice	537,6	126,3	13,4	3,46*	0,31*
Suwałki	569,2	128,3	16,6	0,71	0,05
Włodawa	614,3	126,7	13,2	0,42	0,03
Rzeszów	560,4	120,0	12,5	2,96*	0,28*
Polska	490,5	111,9	12,5	2,64*	0,24*

Objaśnienia: * – istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$.

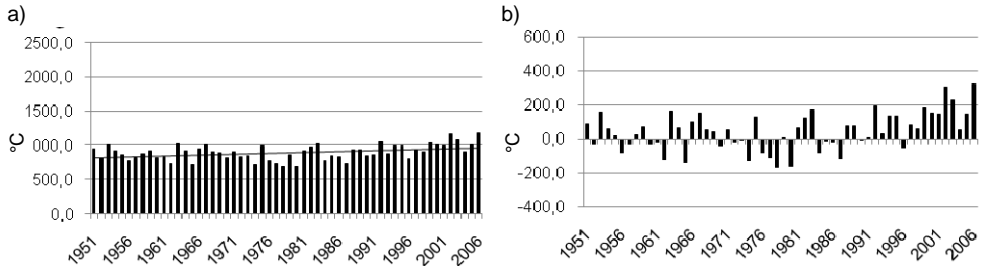
Explanations: * – coefficients statistically significant at $\alpha = 0.05$.

Źródło: wyniki własne na podstawie danych IMGW.

Source: own study based on Institute of Meteorology and Water Management data.

W nizinnej części Polski sumy efektywne temperatury powyżej progu 5°C zwiększały się w tempie 4,0°C na rok, a powyżej 10°C – 2,6°C na rok. Współczynniki kierunkowe trendu oznaczają przyrost analizowanych sum w 56-leciu odpowiednio o 225,7 i 147,8°C, a trend liniowy objaśnia 21 i 15% ich wariancji. W obu przypadkach są to zmiany istotne statystycznie (rys. 2, 3). Warto także zaznaczyć, że w badanym wieloleciu na obszarze Polski nizinnej istotnie zwiększyła się liczba dni ze średnią temperaturą co najmniej 5°C i 10°C. Wzrastały one w tempie ~0,3 dnia na rok, czyli ok. 16 dni w ciągu 56 lat. Trend liniowy objaśnia odpowiednio 15 i 26% zmienności liczby tych dni.

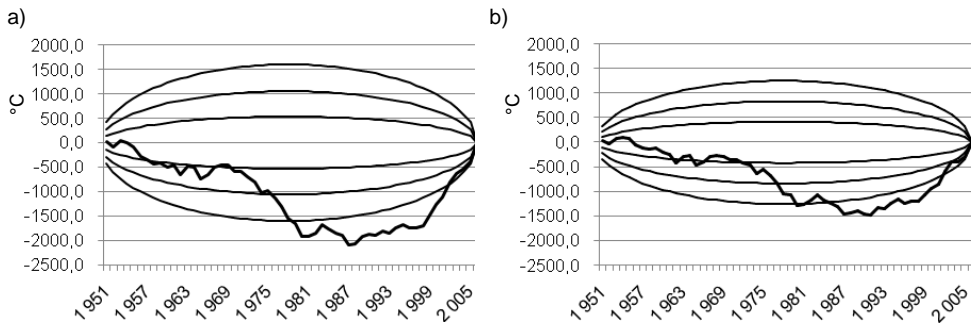
Kształt krzywej odchyień sum efektywnych temperatury od średnich sum wieloletnich potwierdza występowanie w analizowanym 56-leciu na obszarze Polski rosnącego trendu zmian zasobów termicznych. Kumulowane odchylenia przekraczają wartość 3 odchyień standardowych, wskazując na występowanie nielosowych fluktuacji w szeregu czasowym na poziomie $\alpha = 0,01$ [DROZDOV, GRIGOREVA 1972]. Wykres kumulowanych odchyień sum efektywnych temperatury od średnich sum wieloletnich umożliwia ustalenie daty przejścia od ujemnych do do-



Rys. 3. Przebieg wieloletni sum efektywnych temperatur powyżej progu 10°C i ich odchyłeń od średniej 1951–1980; źródło: wyniki własne na podstawie danych IMGW

Fig. 3. Long-term course of the effective sums of temperature exceeding the threshold of 10.0°C (a) and their deviations from the mean for the period 1951–1980 (b); source: own study based on Institute of Meteorology and Water Management data

datnich anomalii zasobów termicznych w Polsce: krzywa odchyłeń wskazuje na rok 1988, można jednak zauważyć także pierwszą oznakę ocieplenia, przypadającą na rok 1982 (rys. 4). Widoczna jest zatem wyraźnie analogia do wykresu, na którym przedstawiono kumulowane odchylenia średnich rocznych wartości uśrednionej obszarowo temperatury powietrza w Polsce od średniej z 50-lecia 1951–2000 [FORTUNIAK i in. 2001].



Rys. 4. Kumulowane odchylenia sum efektywnych temperatur powyżej progu 5°C (a) i 10°C (b) w Polsce w okresie 1951–2006 od średnich 56-letnich. Zaznaczono zakres 1, 2 i 3 odchyłeń standardowych; źródło: wyniki własne na podstawie danych IMGW

Fig. 4. Cumulative deviations of the effective sums of temperature exceeding the threshold of 5.0°C (a) and 10.0°C (b) in Poland in the period 1951–2006 from the 56-year mean; the ranges of 1, 2 and 3 standard deviations are marked; source: own study based on Institute of Meteorology and Water Management data

PODSUMOWANIE

Cechą charakterystyczną ewolucji warunków termicznych w Polsce po 1950 r. jest wzrost temperatury powietrza. Istotny wzrost temperatury wystąpił między innymi w cieplej części roku. Przełożył się on na:

- wydłużenie okresu wegetacyjnego i intensywnej wegetacji (w nizinnej części Polski liczba dni ze średnią temperaturą co najmniej 5°C i 10°C zwiększała się w tempie ~0,3 dnia na rok),
- znaczące zwiększenie zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym i aktywnego wzrostu roślin (w nizinnej części Polski sumy efektywne temperatury powyżej progu 5°C wzrastały w tempie 4,0°C na rok, a powyżej 10°C – 2,6°C na rok).

Zwiększenie zasobów termicznych na obszarze Polski było przestrzennie zróżnicowane. Szczególnie silne wystąpiło w regionach najkorzystniejszych pod względem agroklimatycznym. Zróżnicowanie przestrzenne wzrostu zasobów termicznych było uwarunkowane zarówno różnym przyrostem długości okresu wegetacyjnego i aktywnego wzrostu roślin w poszczególnych częściach Polski, jak i zróżnicowanym zwiększeniem nadwyżek temperatury względem progu 5 i 10°C.

Wydłużanie się okresu wegetacyjnego i okresu intensywnej wegetacji oraz zwiększenie zasobów termicznych w tych okresach ma bezpośrednie i pośrednie konsekwencje dla wegetacji i produkcji roślinnej. Takie zmiany klimatu termicznego stwarzają bowiem możliwości:

- uprawy międzyplonów i poplonów ścierniskowych;
- wcześniejszego siewu roślin oraz wcześniejszego rozpoczynania prac agrotechnicznych;
- wprowadzenia do uprawy roślin o większych wymaganiach cieplnych niż uprawiane tradycyjnie, np. soi, prosa, winorośli;
- zmniejszenia ryzyka uprawy roślin ciepłolubnych i poszerzenia areалу uprawy tych roślin (np. w środkowej i północno-zachodniej części Polski).

Zwiększenie kontrastów termicznych na obszarze Polski w warunkach ogólnego wzrostu zasobów termicznych może być zatem wykorzystane do wprowadzenia nowych odmian roślin uprawnych czy poszerzenia różnorodności gatunkowej.

Stwierdzone zmiany warunków termicznych mogą mieć jednak także skutki niekorzystne dla rolnictwa [NIERÓBCA 2009]. Zmniejszenie produktywności niektórych upraw może być skutkiem stresu gorąca, pogarszającego się salda wodnego. Wzrastająca temperatura może sprzyjać rozwojowi chwastów ciepłolubnych, szkodników czy pojawianiu się nowych chorób roślin.

LITERATURA

- DROZDOV O.A., GRIGOREVA A.S. 1972. Charakteristika cikličnosti osadkov na territorii SSSR i svjaz' s cikličnostju cirkulacii atmosfery. Leningrad. Gidrometeoizdat.
- FORTUNIAK K., KOZUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E. 2001. Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku. *Przegląd Geofizyczny*. T. 46. Nr 4 s. 283–303.
- GÓRSKI T. 2002. Współczesne zmiany agroklimatu Polski. *Pamiętnik Puławski*. Z. 130 s. 242–250.
- GÓRSKI T. 2006. Zmiany warunków agroklimatycznych i długości okresu wegetacyjnego w ostatnim stuleciu. W: *Długotrwałe przemiany krajobrazu Polski w wyniku zmian klimatu i użytkowania ziemi*. Poznań. IGBP Global Change s. 65–77.
- KOŹMIŃSKI Cz. 2009. Variability of agricultural periods in the Polish zone of the Baltic Sea Coast. W: *Environmental aspects of climate change*. Pr. zbior. Red. Z. Szwejkowski. Olsztyn. UWM s. 109–122.
- KOŹUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E. 2001. Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. *Przegląd Geofizyczny*. T. 4. Nr 1–2 s. 81–90.
- KOŹUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E. 2002. Cyrkulacja atmosferyczna i jej wpływ na zmienność temperatury powietrza w Polsce. *Przegląd Geograficzny*. T. 74. Nr 4 s. 591–604.
- MAROSZ M., WÓJCIK R., BIERNACIK D., JAKUSIK E., PILARSKI M., OWCZAREK M., MIĘTUS M. 2011. Zmienność klimatu Polski od połowy XX wieku. *Prace i Studia Geograficzne*. 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. UWM s. 89–107.
- MITCHELL J.M. 1966. Climatic change. Report of a working group of the Commission for Climatology. WMO Technical Note No 79. Geneva ss. 79.
- NIEDŹWIEDŹ T. (red.) 2003. *Słownik meteorologiczny*. Warszawa. IMGW. ISBN 83-88897-25-X ss. 495.
- NIERÓBCA A. 2009. Skutki zmian klimatycznych dla rolnictwa w Polsce – ocena zagrożeń. W: *Zmiany klimatyczne a rolnictwo w Polsce – ocena zagrożeń i sposoby adaptacji*. Pr. zbior. Red. J. Kozyra, A. Nieróbca, K. Mizak. Puławy. IUNG-PIB.
- NIERÓBCA A., KOZYRA J., MIZAK K., PUDELKO R. 2011. Zmiany długości okresu wegetacyjnego w Polsce i prognozy na lata 2011–2030. W: *Streszczenia prac. XXXV Ogólnopolski Zjazd Agroklimatologów i Klimatologów z udziałem gości zagranicznych*. 7–10 września 2011. Wrocław-Pokrzywna k/Głuchołaz. Wrocław. UP s. 38.
- SKOWERA B., KOPEĆ B. 2008. Okresy termiczne w Polsce południowo-wschodniej (1971–2000). *Acta Agrophysica*. Nr 12(2) s. 517–526.
- WOŚ A. 2006. Termiczne pory roku w Poznaniu w drugiej połowie XX wieku. W: *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*. Pr. zbior. Red. J. Trepińska, Z. Olecki. Kraków. IGiGP UJ s. 117–126.
- ŻMUDZKA E. 2004a. Tło klimatyczne produkcji rolnej w Polsce w drugiej połowie XX wieku. *Acta Agrophysica*. T. 3(2) s. 399–408.
- ŻMUDZKA E. 2004b. Tendencje zmian a zróżnicowanie przestrzenne elementów klimatu w Polsce w drugiej połowie XX wieku. W: *Badania geograficzne w poznawaniu środowiska*. Pr. zbior. Red. Z. Michalczyk. Lublin. Wydaw. UMCS s. 452–458.
- ŻMUDZKA E. 2009. Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agrophysica*. T. 13(2) s. 555–568.
- ŻMUDZKA E. 2010. Sygnał globalnego ocieplenia w Tatrach. *Tatry*. T. 1(31) s. 44–47.
- ŻMUDZKA E., DOBROWOLSKA M. 2001. Termiczny okres wegetacyjny w Polsce – zróżnicowanie przestrzenne i zmienność czasowa. *Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW*. Nr 21 s. 75–80.

Elwira ŻMUDZKA

**LONG-TERM CHANGES OF THERMAL RESOURCES
IN THE VEGETATIVE PERIOD AND THE ACTIVE GROWTH OF PLANTS
IN POLAND**

Key words: *changes, effective sums of temperature, Poland, the period of active plant growth, vegetative period*

S u m m a r y

This paper deals with the problem of contemporary changes of thermal resources in the vegetative period in Poland. Thermal resources were specified using the sums of surpluses of mean daily air temperature values above the threshold of 5°C and 10°C (the so called effective sums of temperatures). Daily data from the period 1951–2006 used in the study come from ten synoptic IMGW stations in Polish lowlands. Spatially averaged data series were also used. The range of changes and long-term trends and fluctuations of thermal resources were established. The smallest sums of effective temperatures in the growing season occurred in different regions of Poland and during different periods while extremely high ones appeared in most parts of our country and were concentrated at the turn of the 20th and 21st centuries. The results show a significant increase in thermal resources and spatial differentiation of the rate of this process in Poland. Temperature sums above the threshold of 5°C increased in Poland at a rate of 4.0°C per year and those above the 10°C threshold – at a rate of 2.6°C per year.