



WARUNKI TERMICZNO-OPADOWE NA OBSZARZE WOJEWÓDZTWA OPOLSKIEGO W LATACH 1981–2010

Barbara Skowera, Jakub Wojkowski, Agnieszka Ziernicka–Wojtaszek
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

THE THERMAL-PRECIPITATION CONDITIONS IN THE OPOLE VOIVODESHIP IN THE 1981–2010 PERIOD

Streszczenie

Celem pracy była charakterystyka warunków termiczno-opadowych w województwie opolskim na podstawie wartości średnich miesięcznych temperatur powietrza i miesięcznych sum opadów atmosferycznych (1981–2010) ze stacji: Łosiów, Stare Olesno, Opole i Głubczyce. Obliczono podstawowe charakterystyki statystyczne warunków termiczno-opadowych, którymi były średnie 30-letnie wartości miesięcznych i rocznych temperatury powietrza oraz opadów atmosferycznych, odchylenia standardowe temperatury, współczynniki zmienności opadów atmosferycznych. Badano również czy występują tendencje zmian temperatury i opadów. Ponadto, wyznaczono daty początku i końca okresów termicznych oraz ich długości. Wyznaczone okresy to termiczna zima, okres gospodarczy, wegetacyjny, intensywnej wegetacji oraz dojrzewania odpowiadający okresowi termicznego lata. W ostatnim etapie prac obliczono wskaźnik suchości *A*.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że na obszarze województwa opolskiego średnia roczna temperatura powietrza wahała się od 8,0°C do 9,1°C i w przypadku dwóch miejscowości wystąpił istotny jej wzrost. Zaobserwowano również istotny wzrost temperatury miesięcznej w kwietniu i miesiącach letnich. Wzrost temperatury przełożył się na zmiany czasu trwania okresów termicznych, które na badanym obszarze były zróżnicowane co do długości. Zima trwała od 54 do 76 dni, okres gospodarczy od 246 do 260 dni, okres wegetacji od 221 do 235 dni,

okres intensywnej wegetacji od 161 do 176 dni, a okres termicznego lata od 90 do 111 dni.

Średnie roczne sumy opadów wynosiły od 586 mm w Głubczycach do 652 mm w Starym Oleśnie i cechowały się zmiennością od 17% do 21%. Stwierdzono istotne tendencje rosnące sum opadów rocznych w Łosiowie i Głubczycach oraz sum miesięcznych przede wszystkim w miesiącach: styczniu, lutym, listopadzie oraz w lipcu. Zmiany warunków termicznych i opadowych przełożyły się na zmiany wartości wskaźnika suchości; w miesiącach czerwiec i sierpień stwierdzono jego wzrost, a w styczniu spadek, co oznacza, że wzrasta zagrożenie suszą w miesiącach letnich a styczeń staje się coraz bardziej wilgotny.

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, opady, okresy termiczne, wskaźnik suchości, województwo opolskie

Abstract

*The aim of the study was the characteristics of thermal-precipitation conditions in the Opole voivodeship on the basis of mean monthly air temperature, and precipitation values from the 1981–2010 period from the Łosiów, Stare Olesno, Opole, and Głubczyce weather stations. Basic statistical characteristics of the thermal-precipitation conditions were calculated. They were mean monthly, and annual air temperature, and precipitation values over the 30-year period, standard temperature deviations, and precipitation variability coefficients. It was also studied whether there were trends of change as far as temperature, and precipitation were concerned. In addition, the dates of the beginning, and end of thermal periods, as well as their lengths were determined. The determined periods were: thermal winter, the economic period, vegetation period, intense vegetation period, and ripening period, corresponding to the period of thermal summer. During the last stage of study, dryness indicator *A* was calculated.*

On the basis of the calculations carried out, it was stated, that in the Opole voivodeship the mean annual air temperature ranged from 8.0°C, and 9.1°C, and in the case of two towns it increased significantly. A significant increase in monthly temperature was also observed in April, and in the summer months. The increase in temperature translated into changes in the length of thermal periods, which, in the studied area, differed in length. Winter lasted from 54 to 78 days, the economic period from 246 to 260 days, vegetation period from 221 to 235 days, intense vegetation period from 161 to 176 days, and the summer period from 90 to 111 days.

Annual precipitation means ranged from 586 mm in Głubczyce, to 652 mm in Stare Olesno, and were characterized by variability: from 17 to 21%. Significant increasing trends were stated in annual precipitation

totals in Łosiów, and Głubczyce, and in monthly precipitation totals, above all in January, February, November, and July.

The changes in thermal, and precipitation conditions translated into the changes in the dryness indicator values. From June to August, an increase in the value of the indicator was stated, and in January – a decrease, which means that there is an increasing threat of drought in the summer months, whereas January is more, and more humid.

Key words :air temperature, precipitation, thermal periods, dryness indicator; Opole voivodeship

WPROWADZENIE

Ocieplenie klimatu nasilające się od lat 80. dwudziestego wieku jest faktem potwierdzonym naukowo. Skutki społeczno-gospodarcze tego zjawiska odczuwalne są na całym świecie, ale mają różne kierunki i natężenie (Schönwiese i Rapp 1997, Hartmann i in. 2013). Na obszarze Polski również obserwuje się zróżnicowane regionalnie kierunki zmian warunków termiczno-opadowych. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza obserwowane na obszarze Polski mają różne nasilenie ale ten sam kierunek wzrostowy, natomiast w przypadku temperatury miesięcznej kierunki zmian są zróżnicowane regionalnie (Żmudzka 2012, Michalska 2011). W przypadku opadów atmosferycznych na większości obszaru Polski nie zauważono systematycznych zmian. Czarnecka i Nidzgorska-Lencewicz (2012) zwróciły uwagę na zmniejszenie udziału sum opadów półrocza ciepłego w rocznej sumie, wzrost sum opadów w półroczu chłodnym oraz słabe tendencje malejące opadów w ciepłym półroczu. Regionalizacje klimatyczne i rolniczo-klimatyczne obszaru Polski opracowane w pierwszej połowie XX wieku, w związku z systematycznym wzrostem temperatury wymagają aktualizacji zakresu wartości podstawowych elementów charakteryzujących warunki meteorologiczne wegetacji roślin. Elementy te to m.in. średnie wartości temperatury powietrza, sumy opadów, długości okresów termicznych ważnych z punktu widzenia rolnictwa, takich jak zima, okres gospodarczy, meteorologiczny okres wegetacji, okres intensywnej wegetacji oraz okres dojrzewania roślin (termicznego lata).

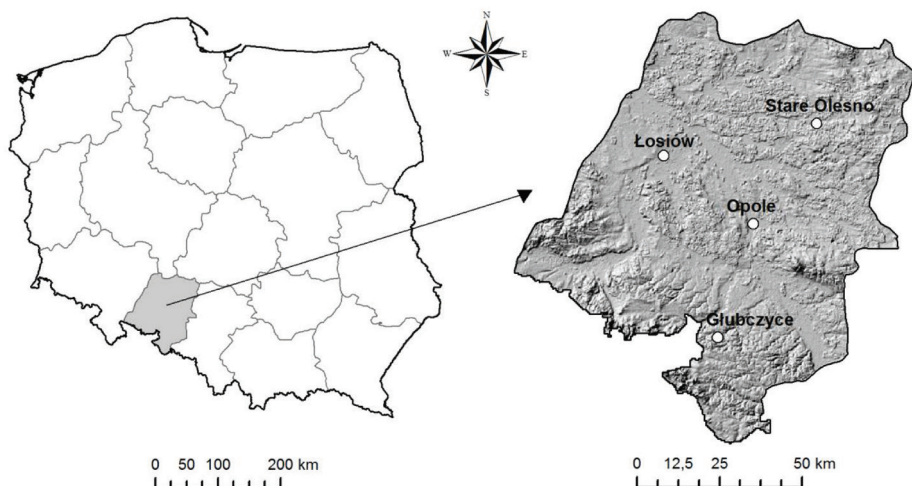
Według regionalizacji rolniczo-klimatycznej Gumińskiego (1948) oraz bonitacji warunków glebowo-przyrodniczych, obszar województwa opolskiego należy do najwyższej ocenianych pod względem agroklimatu (Górski, 1994). Bac (1991) w klasyfikacji agroklimatu w półroczu ciepłym obszar tego województwa ocenił jako wilgotny, ciepły i pochmurny. W ostatnich dziesięcioleciach wraz z systematycznym wzrostem temperatury powietrza na obszarze Polski obserwowano nasilenie występowania susz atmosferycznych oraz nadmiernych

opadów, które często przyczyniały się do obniżenia plonów roślin uprawnych (Kalbarczyk 2004, Żmudzka 2004, Kundzewicz i Matczak 2010). Autorzy niniejszego opracowania uznali za ważne uaktualnienie danych na temat podstawowych elementów i wskaźników klimatycznych dla potrzeb rolnictwa województwa opolskiego.

Celem pracy była charakterystyka warunków termiczno-opadowych na podstawie danych z okresu 1981–2010 z czterech stacji meteorologicznych położonych na obszarze województwa opolskiego.

MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano średnie miesięczne wartości temperatury powietrza oraz miesięczne sumy opadów atmosferycznych ze stacji meteorologicznych Stare Olesno, Opole i Głubczyce należących do sieci IMGW oraz stacji Łosiów należącej do Ośrodka Doradztwa Rolniczego z okresu 1981–2010 (rys. 1).



Rysunek 1. Położenie stacji meteorologicznych na obszarze województwa opolskiego
Figure 1. Location of meteorological stations in the Opole voivodeship

W pierwszym etapie pracy obliczono podstawowe charakterystyki statystyczne warunków termiczno-opadowych, którymi były średnie 30-letnie wartości miesięcznych i rocznych temperatury powietrza oraz opadów atmosferycznych, odchylenia standardowe temperatury, współczynniki zmienności opadów atmosferycznych. Ponadto, wyznaczono daty początku i końca okresów termicznych według kryterium Mereckiego (1915) i Romera (1945), którymi były:

- zima Z ($t_{\text{sr. dob.}} < 0,0^{\circ}\text{C}$)
- okres wegetacyjny OW ($t_{\text{sr. dob.}} \geq 5,0^{\circ}\text{C}$)
- okres intensywnej wegetacji OIW ($t_{\text{sr. dob.}} \geq 10,0^{\circ}\text{C}$)
- okres dojrzewania OD (lato) ($t_{\text{sr. dob.}} \geq 15,0^{\circ}\text{C}$)

Graniczną temperaturę okresu gospodarczego OG ($t_{\text{sr. dob.}} \geq 3,0^{\circ}\text{C}$) przyjęto według Atlasu klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce (2001).

Daty początku i końca okresów termicznych wyznaczono na podstawie średniej miesięcznej temperatury powietrza według kryterium zaproponowanego przez Gumińskiego (1948). Za początek i koniec okresu termicznego przyjmowano daty przekroczenia granicznej temperatury dla danego okresu. Na podstawie wyznaczonych średnich dat początku i końca danego okresu obliczono długości okresów termicznych dla wielolecia 1981–2010 oraz kolejnych dziesięcioleci.

W ostatnim etapie badań dokonano oceny wielolecia 1981–2010 pod względem warunków termiczno-opadowych na podstawie wskaźnika termiczno-opadowego A określanego również wskaźnikiem suchości, zdefiniowanego przez Peda (1977 za Podstawczyńską 2010). Wskaźnik ten jest obliczany jako różnica dwóch wskaźników cząstkowych, tzn. standaryzowanych odchyłeń średniej miesięcznej temperatury powietrza i standaryzowanych odchyłeń miesięcznych sum opadów atmosferycznych:

$$A = \frac{t_i - t_m}{\sigma_t} - \frac{P_i - P_m}{\sigma_p}$$

gdzie: t_i – średnia miesięczna temperatura powietrza w kolejnych latach, P_i – suma miesięczna opadów atmosferycznych w kolejnych latach, t_m – średnia wieloletnia temperatura powietrza, P_m – średnia wieloletnia suma opadów, σ_t – odchylenie standardowe średniej miesięcznej temperatury powietrza, σ_p – odchylenie standardowe miesięcznej sumy opadów.

Wskaźnik ten przyjmuje wartości dodatnie dla okresów suchych, co jest wynikiem dodatnich odchyłeń temperatury powietrza i ujemnych odchyłeń sum miesięcznych opadów, natomiast wartości ujemne wskaźnik A przyjmuje dla okresów wilgotnych, co z kolei jest wynikiem ujemnego odchylenia średniej miesięcznej temperatury powietrza i dodatniego odchylenia sum opadów. Według Kolevej i Alexandrowa (2008) wartości wskaźnika A o wartościach: $1 < A < 2$ wskazują na występowanie oznaków suszy, $2 < A < 3$ umiarkowaną suszę, $A > 3$ silną suszę.

Badano również czy w rozpatrywanym trzydziestoleciu występowały tendencje zmian temperatury powietrza, sum opadów oraz wskaźnika suchości. Do poszukiwania tych tendencji zastosowano nieparametryczną metodę współczynnika korelacji rangowej Spearmana stosowaną w pracach z zakresu klimatologii (Twardosz 1998). Metody nieparametryczne wykorzystywane są w przypadku

krótkich okresów badań lub braku cech rozkładu normalnego ciągu danych. Dane wykorzystane w niniejszym opracowaniu nie spełniały warunków rozkładu normalnego, co stwierdzono na podstawie wyników testu Shapiro-Wilka. Obliczono współczynniki korelacji pomiędzy wartościami danego elementu a kolejnymi latami okresu 1981–2010. Obliczenia wykonano za pomocą oprogramowania Statistica 12.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średnia roczna temperatura powietrza na obszarze województwa opolskiego w latach 1981–2010 wynosiła od 8,0°C w Starym Oleśnie do 9,1°C w Opolu i Łosiu (tab.1). Temperatura miesiąca najcieplejszego (lipca) wynosiła od 18,1°C w Starym Oleśnie do 19,4°C w Łosiu. Analogicznie wartości temperatury miesiąca najchłodniejszego (stycznia) w tych samych miejscowościach odpowiednio wynosiły od – 1,9°C do – 0,8°C. Wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza były wyższe od przedstawionych w Atlasie klimatu Polski (Lorenc, 2005) oraz podanych przez Wosia (2010) dla Opola z okresu 1951–2000; temperatura roczna była wyższa o ok. 0,5°C, a stycznia ok. 0,8°C i lipca ok. 0,9°C. Największe odchylenia standardowe temperatury występowały w miesiącach zimowych (od 2,2°C do 3,3°C), natomiast najmniejsze w miesiącach wiosennych i letnich (od 1,1°C do 1,8°C). Odchylenia standardowe temperatury powietrza w analizowanych miejscowościach, w kolejnych miesiącach cechowały się zbliżonymi wartościami, a największe różnice rzędu 0,4°C występowały w lutym.

Tabela 1. Statystyczne charakterystyki temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w województwie opolskim (1981– 2010)

Table 1. The statistical characteristics of the air temperature and the precipitation in the Opole voivodeship (1981– 2010)

Charakterystyki	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień	Rok
Łosiów													
t (°C)	-0,8	0,2	3,5	8,8	14,4	17,2	19,4	18,9	14,1	9,3	3,9	-0,1	9,1
S _t (–)	3,2	2,9	2,1	1,4	1,4	1,5	1,8	1,4	1,5	1,6	2,0	2,2	0,8
P (mm)	32	32	41	39	64	79	100	70	54	38	41	40	631
V (%)	45	56	58	50	64	53	71	59	57	74	40	46	21

Charakterystyki	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień	Rok
Stare Olesno													
t (°C)	-1,9	-1,1	2,6	7,8	13,2	16,0	18,1	17,5	12,9	8,3	3,3	-0,7	8,0
S _t (-)	3,4	3,3	2,0	1,4	1,4	1,3	1,6	1,2	1,3	1,7	2,1	2,2	0,8
P (mm)	38	34	42	40	76	75	83	75	54	41	47	46	652
V (%)	48	49	57	52	51	41	69	55	52	68	40	51	17
Opole													
t (°C)	-0,9	0,2	3,9	9,1	14,4	17,0	19,2	18,7	14,2	9,5	4,3	0,2	9,1
S _t (-)	3,4	3,2	2,0	1,4	1,4	1,2	1,5	1,1	1,4	1,7	2,1	2,2	0,8
P (mm)	31	28	36	36	62	79	91	72	51	37	37	38	600
V (%)	46	47	53	51	63	44	66	58	49	65	42	54	19
Głubczyce													
t (°C)	-1,3	-0,5	3,1	8,3	13,4	16,2	18,4	18,0	13,5	9,0	3,7	-0,4	8,5
S _t (-)	3,3	3,3	2,1	1,3	1,3	1,2	1,6	1,3	1,4	1,6	2,0	2,3	0,8
P (mm)	21	21	31	39	69	80	97	68	57	35	38	30	586
V (%)	64	62	63	52	51	40	70	54	66	70	55	48	21
Województwo opolskie													
t (°C)	-1,2	-0,3	3,3	8,5	13,8	16,6	18,8	18,3	13,7	9,0	3,8	-0,2	8,7
S _t (-)	3,3	3,1	2,0	1,4	1,3	1,3	1,6	1,2	1,4	1,6	2,0	2,2	0,8
P (mm)	31	29	37	38	68	78	93	71	54	38	41	39	617
V (%)	42	48	52	46	53	40	64	51	46	65	39	46	18

Objaśnienia: t – średnia miesięczna temperatura powietrza, S_t – odchylenie standardowe temperatury powietrza, P – średnia miesięczna suma opadów, V – współczynnik zmienności miesięcznej sumy opadów

Temperatura roczna w latach 1981–2010 nie wykazała istotnej tendencji rosnącej (tab. 2), natomiast wystąpiły istotne zmiany temperatury w miesiącach letnich i obserwowano je we wszystkich analizowanych miejscowościach. W chłodnym półroczu istotny wzrost temperatury wystąpił tylko w listopadzie Głubczycach (tab. 2). Tendencje zmian temperatury stwierdzone w niniejszej pracy, pomimo krótszego okresu badań, potwierdzają wyniki badań innych autorów dla dłuższych okresów. Autorzy ci zwracali uwagę na różne natężenie zmian temperatury rocznej i miesięcznej na obszarze Polski (Michalska 2011, Radzka 2014, Skowera i in. 2014, Żmudzka 2012).

Tabela 2. Współczynniki korelacji Spearmana pomiędzy temperaturą powietrza, sumą opadów i wskaźnikiem suchości a latami 1981–2010**Table 2.** The Spearman correlation coefficients between air temperature, precipitation, dryness indicator and the years 1981–2010

Współczynnik korelacji	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień	Rok
Łosiów													
r_t	-0,18	0,07	-0,07	0,41*	0,16	0,53*	0,45*	0,52*	0,12	-0,13	0,29	-0,10	0,36
r_p	0,44*	0,38*	0,23	0,12	0,10	-0,13	0,46*	-0,07	-0,06	0,15	0,38*	-0,12	0,38*
r_A	-0,36	-0,19	-0,18	0,15	0,09	0,40*	0,03	0,35	0,12	-0,12	-0,19	-0,02	x
Stare Olesno													
r_t	-0,03	0,16	-0,03	0,42*	0,00	0,32	0,43*	0,34	-0,08	-0,11	0,33	-0,10	0,30
r_p	0,35	0,37*	0,34	0,02	0,14	-0,07	0,24	-0,26	-0,05	0,07	0,39*	-0,12	0,30
r_A	-0,32	-0,17	-0,16	0,25	-0,07	0,19	0,18	0,34	0,03	-0,09	-0,06	0,01	x
Opole													
r_t	-0,03	0,18	-0,07	0,33	-0,12	0,34	0,37*	0,26	-0,13	-0,09	0,33	-0,09	0,22
r_p	0,06	0,17	0,28	0,03	0,13	-0,08	0,21	-0,20	-0,23	-0,08	0,34	-0,34	0,06
r_A	-0,06	0,04	-0,24	0,15	-0,13	0,29	0,11	0,28	0,06	0,03	-0,07	0,15	x
Głubczyce													
r_t	-0,03	0,20	-0,08	0,41*	-0,02	0,43*	0,42*	0,26*	-0,19	-0,19	0,39*	-0,06	0,23
r_p	0,58*	0,21	0,24	0,18	0,10	-0,19	0,33	0,06	0,05	0,22	0,35	-0,11	0,43*
r_A	-0,38*	-0,09	-0,26	0,18	-0,03	0,32	0,08	0,31	0,01	-0,09	-0,10	0,05	x
Województwo opolskie													
r_t	-0,05	0,16	-0,08	0,40*	-0,04	0,43*	0,43*	0,35	-0,08	-0,14	0,33	-0,10	0,27
r_p	0,39*	0,31	0,30	0,10	0,10	-0,15	0,38*	-0,16	-0,16	0,11	0,38*	-0,21	0,31
r_A	-0,32	-0,08	-0,25	0,18	-0,03	0,32	0,08	0,31	0,01	-0,07	-0,10	0,07	x

Objaśnienia: * – trend istotny statystycznie dla $\alpha = 0,05$, r_t – współczynnik korelacji Spearmana pomiędzy średnią temperaturą powietrza a latami 1981–2010, r_p – współczynnik korelacji Spearmana pomiędzy sumami opadów a latami 1981–2010, r_A – współczynnik korelacji Spearmana pomiędzy wskaźnikiem suchości a latami 1981–2010, x – nie obliczano danej charakterystyki.

W następnym etapie, na podstawie średniej miesięcznej temperatury powietrza wyznaczono daty początku i końca okresów termicznych oraz ich długości. Termiczna zima (Z) najwcześniej rozpoczynała się w Starym Oleśnie (10 grudnia), tam też najpóźniej się kończyła (24 lutego), natomiast najpóźniej zima pojawiała się w Opolu (16 grudnia), a najwcześniej kończyła się w Łosiu

(7 lutego). Na podstawie porównania średnich długości tego okresu w kolejnych dziesięcioleciach tylko w Łosiuie zauważono tendencję do wydłużania się zimy. Zima była również najkrótszym z wyznaczonych okresów termicznych i najbardziej zróżnicowanym, co do dat początku i końca oraz długości (52 do 72 dni) w porównaniu z pozostałymi okresami (tab. 3, tab. 4). Wynika to z większego zróżnicowania termicznego miesięcy zimowych w porównaniu z miesiącami ciepłego półrocza. Okres zimy na obszarze Polski jest najbardziej zróżnicowany co do długości – jest cechą klimatu umiarkowanego przejściowego (Atlas klimatu Polski 2005). Średnie daty początku i końca okresów termicznych tj. gospodarczego (OG), wegetacyjnego (OW), intensywnej wegetacji (OIW) i dojrzewania (OD) (termicznego lata) w latach 1981–2010 i kolejnych dziesięcioleciach tego trzydziestolecia przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Daty przejść przez wartości progowe okresów termicznych w województwie opolskim (1981–2010)

Table 3. Dates of passing through threshold values of thermal periods in the Opole voivodeship (1981–2010)

Stacja	Lata	$t \geq 0^{\circ}\text{C}$	$t \geq 3^{\circ}\text{C}$	$t \geq 5^{\circ}\text{C}$	$t \geq 10^{\circ}\text{C}$	$t \geq 15^{\circ}\text{C}$	$t \leq 15^{\circ}\text{C}$	$t \leq 10^{\circ}\text{C}$	$t \leq 5^{\circ}\text{C}$	$t \leq 3^{\circ}\text{C}$	$t \leq 0^{\circ}\text{C}$
Łosiów	1981–1990	6.02	12.03	25.03	25.04	29.05	4.09	13.10	8.11	22.11	22.12
	1991–2000	1.02	11.03	22.03	19.04	20.05	10.09	10.10	5.11	17.11	11.12
	2001–2010	11.02	14.03	23.03	20.04	18.05	10.09	10.10	13.11	26.11	12.12
	1981–2010	7.02	12.03	23.03	21.04	21.05	8.09	11.10	8.11	22.11	14.12
Stare Olesno	1981–1990	27.02	17.03	30.03	29.04	9.06	29.08	6.10	3.11	13.11	14.12
	1991–2000	20.02	18.03	29.03	28.04	4.06	1.09	3.10	1.11	12.11	7.12
	2001–2010	22.02	17.03	28.03	25.04	30.05	2.09	4.10	9.11	22.11	9.12
	1981–2010	24.02	17.03	29.03	27.04	4.06	1.09	4.10	4.11	17.11	10.12
Opole	1981–1990	18.02	10.03	21.03	21.04	21.05	9.09	14.10	8.11	23.11	23.12
	1991–2000	25.01	9.03	22.03	21.04	25.05	8.09	10.10	7.11	21.11	15.12
	2001–2010	6.02	10.03	22.03	18.04	20.05	8.09	11.10	16.11	27.11	14.12
	1981–2010	8.02	10.03	21.03	20.04	22.05	9.09	12.10	10.11	24.11	16.12
Głubczyce	1981–1990	23.02	15.03	26.03	27.04	7.06	5.09	12.10	5.11	14.11	17.12
	1991–2000	10.02	15.03	25.03	25.04	1.06	4.09	7.10	4.11	16.11	11.12
	2001–2010	18.02	16.03	26.03	23.04	27.05	4.09	7.10	13.11	25.11	11.12
	1981–2010	19.02	16.03	26.03	25.04	1.06	4.09	8.10	6.11	20.11	12.12

Na podstawie średnich dat w kolejnych dziesięcioleciach widoczne są coraz wcześniejsze daty początku lata, co wynika ze wzrostu temperatury w czerwcu.

W przypadku pozostałych okresów, średnie dziesięcioletnie daty nie wykazały tendencji do systematycznych zmian. Średnie 30-letnie długości wyznaczonych okresów wynosiły odpowiednio: gospodarczy (240 do 254 dni), wegetacyjny (215 do 220 dni), intensywnej wegetacji (157 do 172 dni) oraz termiczne lato (87 do 107 dni). Ze wszystkich wyznaczonych okresów termicznych najwyraźniej zarysowuje się coraz wcześniejsze i coraz dłuższe lato na trzech stacjach, nie zauważono takich tendencji w Opolu gdzie lato należy do najdłuższych na badanym obszarze (107 dni) (tab. 4). Wyznaczone na obszarze województwa opolskiego średnie daty początku i końca oraz czas trwania okresów termicznych w latach 1981–2010 różnią się od przedstawionych na mapach metodą izochron dat i długości analizowanych okresów (Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce 2001, Atlas klimatu Polski 2005, Niedźwiedź i Limanówka 1992). Wykazane różnice w datach i długości okresów na badanym obszarze są prawdopodobnie odzwierciedleniem współdziałania mezoregionalnych i makroregionalnych procesów klimatotwórczych. Systematyczny wzrost temperatury w ciepłym półroczu powoduje wydłużenie okresów termicznych (okresów: gospodarczego, wegetacji i dojrzewania), co jest widoczne szczególnie na przykładzie ostatniego dziesięciolecia 2001–2010. W świetle badań Żmudzkiej (2012) dotyczących zasobów termicznych obszaru Polski w latach 1951–2006, na obszarze województwa opolskiego zasoby te również się powiększają, co związane jest ze wzrostem temperatury w kwietniu, czerwcu i lipcu. Należy zwrócić uwagę, że obszar ten na tle agroklimatu Polski wyróżnia się najwyższymi ocenami (Górski 1994), a wzrost zasobów termicznych i tendencje malejące opadów w półroczu ciepłym (Czarnecka i Nidzgorska-Lencewicz 2012, Żmudzka 2012), może wpłynąć negatywnie na warunki produkcji rolniczej.

Jedną z cech reżimu opadowego obszaru Polski jest zmienność przestrzenna i czasowa. Widoczne jest to również na przykładzie zarówno sum rocznych i miesięcznych opadów oraz współczynników zmienności analizowanych miejscowości (tab. 1). Największa roczna suma opadów ale o najmniejszej zmienności wystąpiła w Starym Oleśnie (652 mm, $V = 17\%$), natomiast najmniejsza suma o największej zmienności wystąpiła w Głubczycach (586 mm, $V = 21\%$). W lipcu, miesiącu o najwyższych przeciętnych opadach, największa średnia miesięczna suma opadów obserwowana była w Łosiowie (100 mm, $V = 71\%$), a najmniejsza w Starym Oleśnie (83 mm, $V = 69\%$). W miesiącach zimowych cechujących się niższymi przeciętnymi opadami, najniższe sumy opadów stwierdzono w styczniu i lutym w Głubczycach (21 mm, $V = 64\%$ i 62%), a największe w grudniu w Starym Oleśnie (46 mm, $V = 51\%$). Współczynniki zmienności opadów miesięcznych i rocznych różniły się od wartości wieloletnich z innych regionów Polski dla wcześniejszych okresów (Majewski in. 2010, Bokwa i Skowera 2008, Ziarnicka-Wojtaszek 2006, Olechnowicz-Bobrowska i in. 2005). Współczynniki zmienności opadów rocznych, oprócz Starego Olesna ($V = 17\%$)

i miesięcznych oprócz marca w Opolu, były wyższe od wartości średnich dla obszaru Polski z lat 1971–2000 podawanych przez Ziarnicką-Wojtaszek (2006).

Tabela 4. Długości okresów termicznych w województwie opolskim (1981–2010)

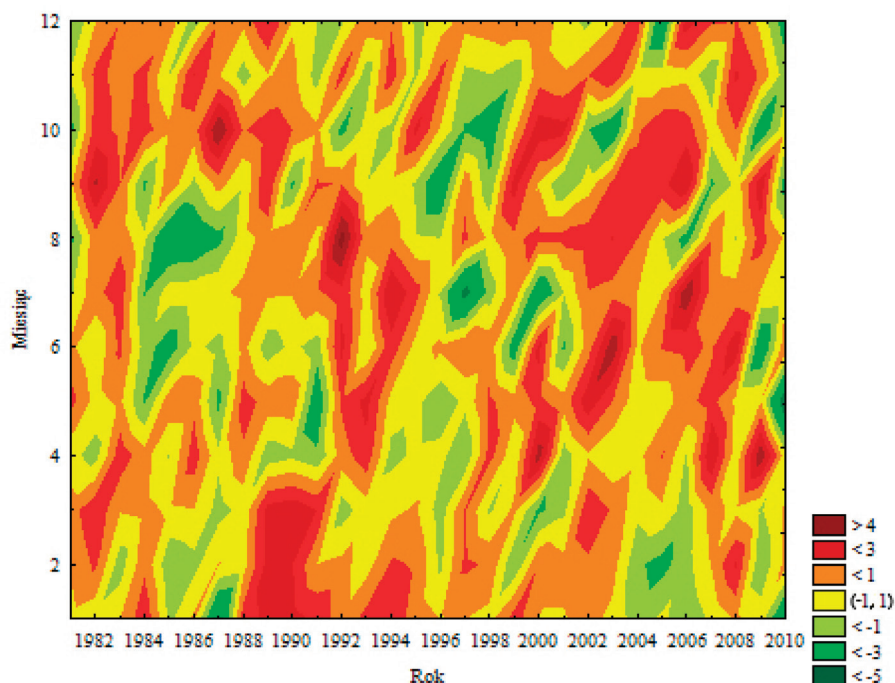
Table 4. Duration of thermal periods in the Opole voivodeship (1981–2010)

Stacja	Lata	Okresy termiczne				
		Z	OG	OW	OIW	OD
Łosiów	1981–1990	46	256	229	172	99
	1991–2000	52	252	229	175	114
	2001–2010	61	258	236	174	116
	1981–2010	55	256	231	174	111
Stare Olesno	1981–1990	75	242	219	161	82
	1991–2000	75	240	218	159	90
	2001–2010	75	251	227	163	96
	1981–2010	76	246	221	161	90
Opole	1981–1990	57	259	233	177	112
	1991–2000	41	258	231	173	107
	2001–2010	54	263	240	177	112
	1981–2010	54	260	235	176	111
Głubczyce	1981–1990	68	245	225	169	91
	1991–2000	61	247	225	166	96
	2001–2010	69	255	233	168	101
	1981–2010	69	250	226	167	96

Zauważono tendencje wzrostowe sum opadów o różnym nasileniu. Roczne sumy wykazują istotną statystycznie tendencję rosnącą w Łosiowie i Głubczycach (tab. 2). Miesięczne opady w ciepłym półroczu istotnie wzrosły tylko w lipcu w stacji Łosiów i średnio w województwie. W chłodnym półroczu sumy opadów wzrosły w styczniu w Łosiowie, Głubczycach oraz średnio w województwie, w lutym w Łosiowie i w Starym Oleśnie, natomiast w listopadzie w Łosiowie, w Starym Oleśnie, w Głubczycach oraz średnio w województwie (tab. 2). Wzrost opadów w tych miesiącach na badanym obszarze potwierdza opisaną przez Czarnecką i Nidzgorską-Lencewicz (2012) tendencję wzrostu opadów półroczna chłodnego na obszarze Polski i koresponduje z wynikami dla innych regionów Europy, na których obserwuje się zarówno wzrost opadów rocznych i zimowych, a spadek sum opadów letnich (Moberg i in. 2006). Rozkład czasowy i przestrzenny opadów atmosferycznych oprócz cyrkulacji atmosferycznej

uwarunkowany jest rzeźbą i pokryciem terenu (Niedźwiedź i in. 2009, Bokwa i Skowera, 2008). Stacje meteorologiczne, z których pochodzą wykorzystane w niniejszej pracy dane (temperatura powietrza i opady) położone są w różnych formach topograficznych. Opole (Nizina Śląska) i Łosiów (Wał Łosiowsko-Michałowski) znajdują się w ciepłej Dolinie Odry (180 i 178 m n.p.m), natomiast dwie pozostałe stacje położone są w formach wyżynnych. Stare Olesno znajduje się na wypukłej formie terenu a opady tam występujące są kształtowane głównie przez procesy cyrkulacji atmosfery (Garb Woźnicki; 230 m n.p.m.). Głubczyce położone są na Płaskowyżu Głubczyckim (290 m n.p.m) po stronie wschodniej pasma Sudetów. Góry te są barierą orograficzną dla wilgotnych mas powietrza polarnego, napływających z zachodu; opady są tam znacznie mniejsze niż po zachodniej stronie tego pasma (Kondracki 2011). Przedstawione, różniące się między sobą charakterystyki temperatury powietrza i opadów tj. średnia temperatura, sumy opadów, współczynniki zmienności oraz tendencje zmian temperatury i opadów na poszczególnych stacjach, niewątpliwie wynikają z wpływu rzeźby terenu na modyfikację lokalnych warunków termiczno-opadowych województwa opolskiego.

W ostatnim etapie badań obliczono wskaźnik suchości A . Na rysunku 2 przedstawiono rozkład średniej wartości tego wskaźnika z czterech uwzględnionych stacji meteorologicznych. Na podstawie obliczonych współczynników korelacji wartości wskaźnika A z latami 1981–2010, w trzech stacjach oraz średnio w województwie zauważono w styczniu dość wysokie ujemnie wartości współczynnika korelacji, ale tylko w przypadku Głubczyc była to wartość istotna statystycznie. Wynika z tego, że miesiąc ten jest coraz bardziej wilgotny; potwierdzają to tendencje rosnące sum opadów o różnym natężeniu w uwzględnionych stacjach (tab. 2). W miesiącach letnich; tj. w sierpniu i czerwcu, można zauważyć tendencje wzrostowe wskaźnika A w analizowanych stacjach, ale istotna dodatnia tendencja zmian tego wskaźnika wystąpiła tylko w czerwcu w Łosiu, gdzie istotnie wzrosła temperatura a opady nie wykazały tendencji rosnącej (tab. 2). Wyniki te wskazują, że na badanym obszarze przy utrzymaniu się tendencji rosnącej temperatury powietrza i braku tendencji wzrostowych opadów w czerwcu i sierpniu może wzrosnąć zagrożenie suszą. W lipcu natomiast, we wszystkich miejscowościach wystąpił istotny wzrost temperatury ale też tendencją wzrostową cechowały się sumy opadów (oprócz stacji Łosiów), w konsekwencji wskaźnik A nie wykazał istotnych statystycznie tendencji zmian. Podstawczyńska (2010) w badaniach warunków termiczno-opadowych w regionie łódzkim, na przykładzie ponad stuletnich obserwacji, zauważyła tendencje wzrostu wskaźnika suchości w sierpniu. W innych miesiącach tendencje zmian wskaźnika A uzyskane przez tę autorkę różnią się od otrzymanych dla województwa opolskiego w latach 1981–2010.



Rysunek 2. Wieloletni przebieg wskaźnika suchości w województwie opolskim w latach 1981–2010

Figure 2. Multi-annual course of the dryness indicator in the Opole voivodeship in the period 1981–2010

WNIOSKI

1. Na obszarze województwa opolskiego w analizowanym okresie 1981–2010 średnia roczna temperatura powietrza kształtowała się na poziomie od 8,0°C do 9,1°C.
2. Stwierdzono istotny wzrost średniej miesięcznej temperatury powietrza: w kwietniu w Łosiu, Starym Oleśniu, Głubczycach oraz średniej dla województwa; w czerwcu w Łosiu, Głubczycach i średniej dla województwa; w lipcu temperatura wzrosła we wszystkich miejscowościach; w sierpniu tylko w Łosiu a w listopadzie w tylko Głubczycach.
3. Istotny wzrost temperatury przełożył się na zmiany długości okresów termicznych; szczególnie widoczne jest to na przykładzie lata, które rozpoczyna się coraz wcześniej i coraz później się kończy.

4. Średnie długości okresów termicznych na badanym obszarze były zróżnicowane: zima trwała od 54 do 76 dni, okres gospodarczy od 246 do 260 dni, okres wegetacji od 221 do 235 dni, okres intensywnej wegetacji od 161 do 176 dni, a okres termicznego lata od 90 do 111 dni.
5. Średnie roczne sumy opadów wynosiły od 586 mm w Głubczycach do 652 mm w Starym Oleśnie i cechowała je zmienność od 17% do 21%.
6. Stwierdzono istotną tendencję rosnącą sum opadów rocznych w Łosiu i Głubczycach oraz miesięcznych; w styczniu w Łosiu, Głubczycach i średnich dla województwa; w lutym w Łosiu i Starym Oleśnie; w listopadzie w Łosiu, Starym Oleśnie i średnich dla województwa; w lipcu w Łosiu oraz średnich dla województwa.
7. Zmiany warunków termicznych i opadowych przełożyły się na wartości wskaźnika termiczno-opadowego; istotny statystycznie wzrost tego wskaźnika stwierdzono w czerwcu w Łosiu, a spadek w styczniu w Głubczycach.

LITERATURA

Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce (2001). Red. Koźmiński Cz., Michalska B., AR Szczecin, Uniwersytet Szczeciński.

Atlas klimatu Polski (2005). Red. Lorenc H., Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.

Bac S. (1991). *Ocena warunków agroklimatycznych dla potrzeb rolnictwa*. Acta Univ. Wratisl. Pr. Geogr., seria A, Geogr. Fiz., T. VI.

Bokwa A., Skowera B. (2008). *Wpływ rzeźby i użytkowania terenu na strukturę opadów atmosferycznych w okolicach Krakowa (1971–2005)*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich PAN Oddział w Krakowie nr 5: 51–61.

Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J., (2012). *Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie (IV–VI): t. 12. z. 2 (38): 45–60.

Górski T. (1994). *Bonitacja klimatyczna dla rolnictwa*. II.9. Atlas środowiska geograficznego Polski. PAN IGiPZ.Red. Przew. S. Kozłowski. Agencja reklamowo-wydawnicza A. Grzegorzcyk.

Gumiński R. (1948). *Próba wydzielenia dzielnic rolniczo-klimatycznych w Polsce*. Przegląd Meteorologiczny i Hydrologiczny. T. 1 z. 1: 7–20.

Hartmann D.L., Klein Tank A.M.G., Rusticucci M., Alexander L.V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F.J., Dlugokencky E.J., Easterling D.R., Kaplan A., Soden B.J., Thorne M. P.W., Zhai Wild P.M. (2013). *Observations: Atmosphere and Surface*. In: Climate Change, 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y.

Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kalbarczyk R. (2004). *Uwilgotnienie gleby a plonowanie ziemniaka w Polsce*. Acta Agrophysica. 3(3): 509-520.

Koleva E., Alexandrov V. (2008). *Drought in the Bulgarian low regions during the 20th century*. Theor. Appl. Climatol. 92: 113–120.

Kondracki J. (2011). *Geografia fizyczna*. PWN, Warszawa.

Kundzewicz Z.W., Matczak P. (2010). *Zagrożenia naturalnymi zdarzeniami ekstremalnymi*. Nauka. 4: 77-86.

Majewski G., Przewoźniczuk W., Kleniewska M. (2010). *Warunki opadowe na stacji meteorologicznej Ursynów SGGW w latach 1960–2009*. Przed. Nauk. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska. 2(48): 3-22.

Merecki M. (1915). *Klimatologia ziem Polskich*. Warszawa.

Michalska B. (2011). *Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce*. Prace i Studia Geograficzne. 47: 67–75.

Moberg A, Jones P.D., Lister D., Walther A., Brunet M., Jacobeit J., Alexander L.V., Della-Marta P.M., Luterbacher J., Yiou P., Chen D., Klein Tank A. M. G., Saladié O., Sigró J., Aguilar E., Alexandersson H., Almaraz C., Auer I., Barriendos M., Begert M., Bergström H., Böhm R., Butler C. J.; Caesar J; Drebs A.; Founda D.; Gerstengarbe F. W.; Micela G.; Maugeri M.; Österle H.; Pandzic K., Petrakis M., Srnc L., Tolasz R., Tuomenvirta H., Werner Peter C., Linderholm H., Philipp A., Wanner H., Xoplak E. (2006). *Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000*, J. Geoph. Res., vol. 111, D22106, doi:10.1029/2006JD007103.

Niedźwiedz T, Limanówka D. (1992). *Termiczne pory roku w Polsce*. Zesz. Nauk. UJ, Pr. Gegr., z. 90: 53-69.

Niedźwiedz T., Twardosz R., Walanus A. (2009). *Long-term variability of precipitation series in east central Europe in relation to circulation patterns*. Theor. Appl. Climatol., 98, 337–350, DOI 10.1007/s00704-009-0122-0.

Olechnowicz-Bobrowska B., Skowera B., Wojkowski J., Ziernicka-Wojtaszek A. (2005). *Warunki opadowe na stacji agrometeorologicznej w Garlicy Murowanej*. Acta Agrophysica 6(2): 455–463.

Podstawczyńska A. (2010). *Temperatura powietrza i opady atmosferyczne w regionie łódzkim w ostatnim stuleciu*, [W:] Torfowisko Żabieniec: warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach. Red.: J. Twardy, S. Żurek, J. Forysiak, B. Wyd. Nauk., Poznań: 63-73.

Radzka E. (2014). *Tendencje zmian temperatury powietrza okresu wegetacyjnego w środkowo-wschodniej Polsce (1971-2005)*. Acta Agrophysica. 21(1): 87-96.

Romer E. (1949). *Okresy gospodarcze w Polsce*. Prace Wroc.Tow. Nauk., ser. B, nr 20, Wrocław.

Schönwiese, C.D., Rapp, J. (1997). *Climate Trend Atlas of Europe Based on Observations 1891–1990*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Skowera B. Kopcińska J., Kopeć B. (2014). *Changes in thermal and precipitation conditions in Poland in 1971–2010*. Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam. 46 (2):153–162.

Twardosz R. (1998). *Wieloletnia zmienność liczby dni z opadem w Krakowie*. Acta Univ. Lodzensis Folia Geog. Physica. 3: 427–432.

Woś A. (2010). *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*. Wydawnictwo Naukowe UAM. Poznań.

Ziarnicka-Wojtaszek A., 2006. *Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971–2000*. W: J. Trepńska, Z. Olecki (red.), *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*: 139–148.

Żmudzka E. (2004). *Tło klimatyczne produkcji rolniczej w Polsce w drugiej połowie XX wieku*. Acta Agrophysica. 3(2): 399–408.

Żmudzka E. (2012). *Wieloletnie zmiany zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym i aktywnego wzrostu roślin w Polsce*. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie: 12, 2 (38): 377–389.

Badania zrealizowano w ramach tematu nr DS 3337/KEKiOP/2016 zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez MNiSW.

Dr inż. Barbara Skowera
Dr inż. Jakub Wojkowski
Dr hab. inż. Agnieszka Ziarnicka-Wojtaszek
Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza
Wydział Inżynierii środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Al. Mickiewicza 24-28, 30-059 Kraków
e-mail: rmskower@cyf-kr.edu.pl
rmwojkow@cyf-kr.edu.pl
aziarnik@poczta.fm

Wpłynęło: 14.04.2016

Akceptowano do druku: 03.06.2016