

*Tadeusz Zawora, Agnieszka Ziernicka-Wojtaszek*

**EKSTREMALNE WARTOŚCI NIEDOBORÓW  
I NADMIARÓW OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH  
W ASPEKTCIE WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU NA  
PRZYKŁADZIE WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO**

---

***EXTREME VALUES OF PRECIPITATION  
DEFICIENCIES AND EXCESSES IN THE LIGHT OF  
CONTEMPORARY CLIMATE CHANGE BASED ON THE  
EXAMPLE FROM THE PODKARPACKIE PROVINCE***

**Streszczenie**

Przeprowadzono symulację wzrostu wartości i częstości występowania niedoborów opadów atmosferycznych dla ważniejszych roślin uprawnych łącznie w okresie wegetacyjnym kwiecień–październik na obszarze województwa podkarpackiego przy scenariuszu podniesienia się temperatury powietrza o 1, 2 i 3°C. Założono poziom agrotechniki z końca XX wieku oraz sumę i strukturę opadów atmosferycznych z okresu 1901–2000. Rolniczą efektywność opadów ustalono metodą regresji krokowej wielokrotnej dla zależności uwilgotnienia wierzchniej warstwy gleby od wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. Wykazano, że częstość okresów wegetacyjnych z niedoborami opadów wzrosła z 39% w okresie 1901–2000 do 59, 76 i 92% przy scenariuszu podniesienia się temperatury powietrza odpowiednio o 1, 2 i 3°C. Z prawdopodobieństwem 5% można się spodziewać wzrostu wartości niedoborów opadów z 136 mm w okresie 1901–2000 do 180, 237 i 295 mm przy wzroście temperatury odpowiednio o 1, 2 i 3°C.

**Słowa kluczowe:** niedobory opadów, nadmiary opadów, globalne ocieplenie, województwo podkarpackie

### Summary

*Simulation of the increase in values and the frequency of precipitation deficiencies for cultivated crops have been carried out for the growing season (April–October). This simulation pertains to the Podkarpackie Province and takes into account following temperature increase scenarios: 1, 2 and 3°C. In this paper the agro-technical level was assumed for the end of the 20<sup>th</sup> century and sums and precipitation structure was assumed for the long-term period 1901–2000. The agricultural efficiency of precipitation was established using the multi-step regression analysis. This procedure was initiated in order to determine the dependency for dampness of the cover soil in reference to air temperature and precipitation. This study indicates that precipitation frequency during growing season along with precipitation deficiency will increase from 39% (during the period 1901–2000) to 59, 76 and 92% respectively when we consider the above-mentioned temperature scenarios. There is a 5% probability of the increase of precipitation deficiencies during the period 1901–2000. Precipitation deficiencies will increase scenarios.*

**Key words:** *precipitation deficiency, precipitation excesses, global warming, Podkarpackie province from 136 mm to 180, 237 and 295 mm respectively under temperature increase*

### WSTĘP

Zmiany temperatury powietrza na obszarze Polski w II połowie XX wieku upoważniają do wydzielenia w tym okresie ostatniego 20-lecia, w którym zaznaczyło się wyraźne ocieplenie [Kozuchowski, Żmudzka 2001]. Wzrost ten w skali rocznej szacować można na podstawie przedstawionej przez autorów krzywej od 7,5 do 8,7°C pod koniec XX wieku. Przy zachowaniu obecnych tendencji obiegu węgla na Ziemi ilość dwutlenku węgla w atmosferze może podwoić się pod koniec bieżącego wieku. Spowoduje to podniesienie się średniej przypowierzchniowej temperatury wg różnych scenariuszy zmian klimatu w granicach 1–5°C [Górski 2002]. Na skutek ocieplenia zwiększy się długość okresu wegetacyjnego, a przy najbardziej prawdopodobnej zmianie średniej rocznej temperatury powietrza o 2,5°C nastąpi przesunięcie pięter klimatycznych w polskich Karpatach o około 500 m ku górze [Obrębska-Starkłowa i in. 1994]. Ocieplenie klimatu umożliwi uprawę roślin o większych wymaganiach termicznych. Opracowanie Špánika i in. [2004] dla terenu Słowacji przewiduje podniesienie się obszarów z sumą temperatur ponad 2800°C z wysokości 170 m n.p.m. w latach 1951–1980 do wysokości 290 m w roku 2010, 360 m w roku 2030 oraz do 570 m w roku 2075.

Oдноśnie opadów atmosferycznych nie stwierdzono ich istotnych zmian zarówno na stacji puławskiej o długoletnim homogenizowanym ciągu obserwacyjnym [Górski 2002] oraz w 125-letniej serii na obszarze dorzecza górnej Wisły [Cebulska i in. 2007]. Teorie zmian opadów w okresie ocieplenia klimatu nie znalazły na razie jednolitej oceny [Kozuchowski 1996]. Przy wyższych pro-

gnozowanych temperaturach powietrza nastąpi jednak wzrost ewapotranspiracji, co pociągnie za sobą pogorszenie bilansu wodnego terenów uprawnych i pogłębienie niedoborów wilgoci.

Celem opracowania było przeprowadzenie symulacji wzrostu niedoborów opadów atmosferycznych przy założonych scenariuszach podniesienia się temperatury powietrza o 1, 2 i 3°C, przy niezmiennych opadach i zachowaniu ich struktury oraz przy współczesnym poziomie agrotechniki na obszarze obecnego województwa podkarpackiego. Szczególną uwagę zwrócono na ekstremalne wartości niedoborów opadów.

### **METODYKA I MATERIAŁY BADAWCZE**

W opracowaniu wykorzystano miesięczne wartości sum opadów atmosferycznych z terenu obecnego województwa podkarpackiego z okresu wegetacyjnego (IV–X) w latach 1901–2000. Obliczono je jako średnie ważone ze stacji meteorologicznych mających długoletni ciąg obserwacji, takich jak: Głogów, Jarosław, Lesko, Rzeszów, Tarnów i Zdanów. Dla tego samego stuletniego okresu prześledzono treści komunikatów rolniczo-meteorologicznych o stanie ważniejszych upraw łącznie na koniec poszczególnych miesięcy okresu wegetacyjnego. Wartości opadów, przy wystąpieniu których stan roślin uprawnych w warunkach produkcyjnych określony był jako bardzo dobry, dobry lub przeciętny przyjęto za opady optymalne. Ze względu na zróżnicowany poziom agrotechniki na przestrzeni badanego stulecia, opady optymalne jako suma wartości z poszczególnych miesięcy od kwietnia do października wykazywały wyraźną dynamikę od 455 mm na początku badanego okresu do 512 mm przed wybuchem II wojny światowej i od 504 mm w okresie powojennym do 516 mm na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, aby po małej tendencji spadkowej w latach osiemdziesiątych ustabilizować się pod koniec wieku na 489 mm [Ziarnicka, Zawora 2007]. Konfrontując tę ostatnią wartość z sumami opadów atmosferycznych, otrzymano dla poszczególnych lat niedobory względnie nadmiary opadów z okresu wegetacyjnego (IV–X).

W kolejnym etapie opracowania ustalono relacje pomiędzy wartościami temperatury powietrza i opadów atmosferycznych a warunkami wegetacji ważniejszych roślin uprawnych. W tym celu wykorzystano publikowane w Miesięcznym Przeglądzie Agrometeorologicznym mapy uwilgotnienia wierzchniej warstwy gleby pod zbożami ozimymi dla kwietnia, maja i października oraz pod ziemniakami dla lipca i sierpnia. Wilgotność gleby oceniana była w 5-stopniowej skali jako kłóskowo niedostateczna, niedostateczna, dostateczna, nadmierna i kłóskowo nadmierna. Poszczególnym klasom przypisano umowne wartości: 0 dla kłóskowo niedostatecznego, 10 dla niedostatecznego, 20 dla dostatecznego, 30 dla nadmiernego i 40 dla kłóskowo nadmiernego. Dla 12 stacji meteorologicznych rozmieszczonych równomiernie na obszarze Polski skon-

struowano metodą regresji krokowej wielokrotnej modele zależności stanu uwilgotnienia gleby od wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. Uzyskane funkcje regresji spełniały w każdym przypadku warunek  $F > F_{kr}$ . Należy więc odrzucić hipotezę o nieistotności funkcji regresji z ryzykiem błędu określonym poziomem istotności ( $\alpha = 0,05$ ) i wnioskować o istotności funkcji regresji. Uzyskane modele pozwoliły ocenić o ile zwiększą się potrzeby opadowe ważniejszych roślin uprawnych łącznie, przy zachowaniu obecnego stanu wilgotności gleby i scenariuszu wzrostu temperatury powietrza o 1, 2 i 3°C. Niewiadomą była tu wartość opadów atmosferycznych przy danych: wilgotność wierzchniej warstwy gleby i odpowiednio podwyższona temperatura powietrza. Wyniki symulacji wykazały, że przy wzroście temperatury powietrza o 1°C należy spodziewać się średniego wzrostu potrzeb opadowych w skali przeciętnego miesiąca o 6,3 mm, natomiast przy wzroście 2°C o 14,5 mm, a przy 3°C o 22,7 mm, co przy 7 miesiącach okresu wegetacyjnego stanowi 44, 101 i 159 mm [Ziarnicka 2004]. Zakładając dotychczasową strukturę opadów, zmniejszono w kolejnych okresach wegetacyjnych 1901–2000 sumy opadów o wymienione wyżej wartości. Niedobory względnie nadmiary opadów obliczone jako różnice pomiędzy sumami opadów z okresu wegetacyjnego (IV–X) a wartością opadów optymalnych 489 mm za wspomniany okres pod koniec XX wieku.

Wartości niedoborów przedstawiono w postaci szeregów rozdzielczych i prawdopodobieństwie wystąpienia 3, 5, i 10% dla opadów z okresu 1901–2000 i dla scenariuszy podniesienia się temperatury o 1, 2 i 3°C.

## WYNIKI BADAŃ

W badanym 100-leciu średnia ważona suma opadów z wziętych pod uwagę stacji meteorologicznych w okresie wegetacyjnym (IV–X) wynosiła 513 mm. Wartość opadów optymalnych w tym okresie obliczona jako suma wartości optymalnych w poszczególnych miesiącach stanowiła 494 mm. Średni nadmiar opadów bez uwzględnienia naturalnych fluktuacji – wystąpienia okresów bardziej wilgotnych w latach 1901–1941, 1965–1981 i 1994–2000 oraz okresów bardziej suchych w latach 1942–1964 i 1982–1993 ocenić można na 19 mm. Jest to wartość dużo niższa niż podawana przez Hohendorfa [1948], którego badania przypadły na okres wilgotny o najniższym poziomie agrotechniki w opracowywanym stuleciu.

Niedobory wodne zaznaczyły się w 39% okresów wegetacyjnych. Najczęściej były to niedobory o najniższych wartościach do 50 mm (16%). W przedziale 51–100 mm częstość ich wyniosła 10%, zaś w zakresie 101–150 mm – 12%. Najwyższa wartość 172 mm wystąpiła w najsuchszym w badanym stuleciu okresie wegetacyjnym 1946 roku (tab. 1).

**Tabela 1.** Częstość (%) niedoborów opadów atmosferycznych w okresie wegetacyjnym IV–X przy założonych scenariuszach wzrostu temperatury powietrza o 1, 2 i 3°C na obszarze województwa podkarpackiego

**Table 1.** Frequency (%) of precipitation deficiencies during the growing season (April–October) under the following temperature increase scenarios (1, 2 and 3°C) in the Podkarpackie Province

Niedobór [mm] Deficiency [mm]	Okres Period			
	1901–2000	+ 1°C	+ 2°C	+ 3°C
1–50	16	21	16	11
51–100	10	16	20	20
101–150	12	10	37	12
151–200	1	11	10	24
201–250		1	12	9
251–300			1	14
301–350				2

Dla scenariusza wzrostu temperatury powietrza o 1°C częstość okresów wegetacyjnych, w których zaznacza się niedobory opadów wzrośnie do 59%. Najczęstsze wartości wystąpią w przedziale 1–50 mm (21%) i 51–100 mm (16%). W przedziale 151–200 mm częstość niedoborów wzrośnie z 1 do 11%. Wartość maksymalna osiągnie 216 mm (tab. 1).

Przy podniesieniu się temperatury powietrza o 2°C należy spodziewać się, że częstość okresów wegetacyjnych z niedoborami opadów zwiększy się prawie dwa razy w stosunku do tej, jaka występowała w latach 1901–2000 i wyniesie 76%. Klasą najczęstszą będą niedobory w przedziale 101–150 mm. Co ósmy rok wystąpią niedobory w przedziale wartości 201–300 mm. Najwyższe niedobory osiągną wartość 273 mm.

Wreszcie dla scenariusza wzrostu temperatury powietrza o 3°C należy przewidzieć zwiększenie się częstości okresów wegetacyjnych z niedoborami opadów do 92%. Najczęstszym przedziałem (24%) będą niedobory o wartości 151–200 mm. Największy niedobór szacować można na wartość 331 mm (tab. 1).

Otrzymane wyniki symulacji przedstawić można również w postaci wartości niedoborów opadów atmosferycznych, jakie wystąpią z określonym prawdopodobieństwem przykładowo 3, 5 i 10% (tab. 2).

Wyniki tak przeprowadzonej symulacji wskazują, że przykładowo w 100-leciu 1901–2000 o średniej temperaturze powietrza okresu wegetacyjnego (IV–X) wynoszącej 13,1°C, co 10 rok występowały niedobory o wartościach wyższych od 110 mm, natomiast przy podniesieniu się temperatury o 1°C, co 10 rok niedobór ten będzie wyższy od 154 mm. Odpowiednie wartości dla scenariusza podwyższenia się temperatury powietrza o 2 i 3°C zwiększą się do 211 i 269 mm.

**Tabela 2.** Prawdopodobieństwo wystąpienia wartości niedoborów opadów atmosferycznych dla scenariuszy wzrostu temperatury powietrza o 1, 2 i 3°C na obszarze województwa podkarpackiego

**Table 2.** Probability (%) of occurrence of deficient precipitation under the the following temperature increase scenarios (1, 2 and 3°C) in the Podkarpackie Province

Okres i scenariusz Period and scenario	Prawdopodobieństwo % Probability %		
	3%	5%	10%
1901–2000	140	136	110
+ 1°C	184	180	154
+ 2°C	241	237	211
+ 3°C	299	295	269

## WNIOSKI

Przeprowadzone symulacje wzrostu niedoborów opadów przy założonych scenariuszach podniesienia się temperatury powietrza, niezmienności struktury opadów i poziomie agrotechniki z końca XX w. upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

1. Przy nadmiarach opadów w okresie wegetacyjnym (IV–X), wynoszących w XX wieku na badanym obszarze 19 mm, niedobory opadów przy podniesieniu się temperatury o 1, 2 i 3°C będą wynosiły odpowiednio 20, 77 i 135 mm.

2. Podniesienie się temperatury powietrza o 1, 2 i 3°C spowoduje wzrost częstości okresów wegetacyjnych z niedoborami opadów odpowiednio 1,5, 2 i 2,4-krotnie w stosunku do częstości z okresu 1901–2000 wynoszącej 39%.

3. Wartość niedoborów opadów o prawdopodobieństwie wystąpienia 5% wzrośnie odpowiednio z 136 mm w okresie 1901–2000 do 180, 237 i 295 mm przy scenariuszach wzrostu temperatury 1, 2, i 3°C

4. Najwyższe wartości niedoborów opadów zwiększą się z 172 do 216 mm, 273 i 331 mm przy scenariuszach podniesienia się temperatury o 1, 2 i 3°C.

## BIBLIOGRAFIA

- Cebulska M., Twardosz R., Cichoński J. *Zmiany rocznych sum opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły w latach 1881–2030* [w:] *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, red. K. Piotrowicz, R. Twardosz. IGiGP UJ, Kraków 2007, s. 383–390.
- Górski T. *Współczesne zmiany agroklimatu Polski*. Mat. Konf. – Pamiętnik Puławski, z. 130, 2002, s. 241–250.
- Hohendorf E. *Niedobory i nadmiary opadów w Polsce*. Gospodarka Wodna, r. 8, nr 10, 1948, s. 276–287.
- Kożuchowski K. *Współczesne zmiany klimatyczne w Polsce na tle zmian globalnych*. Przegląd Geograficzny, t. LXVIII, z. 1–2, 1996, s. 79–98.

- Kożuchowski K., Żmudzka E. *Ocieplenie w Polsce. Skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*. Przegląd Geofizyczny, T. XLVI, z. 1–2, 2001, s. 81–90.
- Obrębska-Starkłowa B., Bednarz Z., Niedźwiedź T., Trepieńska J. *Klimat Karpat w okresie globalnego ocieplenia i prognozowane zmiany gospodarcze*. Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich, z. 37, 1994, s. 13–38.
- Špánik F., Hronský Š., Šiška B., Gálik M. *Global warming as a basis for a new agroclimatic regionalisation of vine in Slovakia*. Acta Agrophysica, Vol. 3(1), 2004, s. 179–188.
- Ziernicka A. *Globalne ocieplenie a efektywność opadów atmosferycznych*. Acta Agrophysica, Vol. 3(2), 2004, s. 393–397.
- Ziernicka A., Zawora T. *Zmienność opadów atmosferycznych w okresie wegetacyjnym w latach 1901–2000 na obszarze województwa podkarpackiego [w:] Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, red. K. Piotrowicz, R. Twardosz, IGI GP UJ, Kraków 2007, s. 391–396.

Dr hab. Tadeusz Zawora,  
Katedra Meteorologii i Klimatologii Rolniczej,  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,  
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków,  
012 6624126,  
e-mail: tzawora@ar.krakow.pl

Dr inż. Agnieszka Ziernicka-Wojtaszek,  
Katedra Meteorologii i Klimatologii Rolniczej,  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,  
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków,  
012 6624012,  
e-mail: aziernik@poczta.fm

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Józef Kolodziej