



IDENTYFIKACJA MIESIĘCY SUCHYCH I WILGOTNYCH W WOJEWÓDZTWIE OPOLSKIM NA PODSTAWIE WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW KLIMATYCZNYCH (1981–2010)

*Joanna Kopcińska, Barbara Skowera, Jakub Wojkowski, Ewelina Zajac,
Agnieszka Ziernicka-Wojtaszek*
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

IDENTIFICATION OF THE DRY AND THE WET MONTHS IN THE OPOLSKIE VOIVODESHIP ON THE BASIS OF CHOSEN CLIMATE INDEXES (1981 – 2010)

Streszczenie

Celem pracy było określenie częstości występowania miesięcy suchych i wilgotnych w województwie opolskim w miesiącach od maja do września w latach 1981–2010 tj. w okresie wyraźnego wzrostu temperatury w procesie globalnego ocieplenia. Miesiące suche i wilgotne identyfikowano na podstawie czterech wybranych wskaźników, do których należał: wskaźnik termiczno-opadowy *A*, wskaźnik standaryzowanego opadu *SPI*, wskaźnik hydrotermiczny *K* oraz wielkości niedoborów i nadmiarów opadu dla przykładowej rośliny uprawnej tj. ziemniaka późnego. Podjęto również próbę odpowiedzi na pytanie, który ze wskaźników najwierniej charakteryzuje warunki wilgotnościowe okresu wegetacyjnego.

Wykazano, że średnia częstość występowania miesięcy, w których obserwowano różne natężenie suszy wynosiła: na podstawie wskaźnika termiczno-opadowego *A* – 25%, według wskaźnika standaryzowanego opadu *SPI* – 35%, określona metodą wskaźnika hydrotermicznego Sieilianinowa – 36%, a na podstawie wielkości niedoborów opadu – 34%. Średnia częstość występowania miesięcy wilgotnych kształtowała się na-

stępująco: na podstawie wskaźnika termiczno-opadowego A – 23%, według wskaźnika standaryzowanego opadu SPI – 23%, określona metodą wskaźnika hydrotermicznego Sielianinowa – 16%, a na podstawie wielkości niedoborów opadu – 29%.

Stwierdzono również, że pomiędzy czterema badanymi wskaźnikami a plonami ziemniaka występuje współzależność. Najsilniejsza, istotna statystycznie okazała się korelacja wielkości plonu ze wskaźnikiem termiczno-opadowym A . Przy obserwowanym stałym wzroście temperatury i dużej zmienności opadów charakterystycznej dla klimatu Polski, do identyfikacji miesięcy suchych i wilgotnych w długich okresach bardziej słuszne wydaje się wykorzystywanie zespołowych wskaźników uwzględniających temperaturę powietrza i opady atmosferyczne.

Słowa kluczowe: wskaźnik hydrotermiczny K , wskaźnik standaryzowanego opadu SPI , wskaźnik termiczno-opadowy A , niedobór i nadmiar opadu, województwo opolskie

Abstract

The aim of the undertaken research was an evaluation of the frequency of the dry and the wet months in the Opole Voivodeship in the months of May to September in 1981–2010 years, in the view of the global warming. The dry and the wet months were characterized on the basis of hydrothermal index K , thermo-precipitation index A , standardized precipitation index SPI and the amount of the precipitation deficiencies and excesses of the late potato. The attempt of answering the question which of these indexes describe the moisture conditions of the vegetative season the best were undertaken.

It was proved that the average frequency of months, in which the different level of draught's intensity was observed, was equal to 25% on the basis of the thermo-precipitation index A , 35% standardized precipitation index SPI , 36% hydrothermal index K , and 34% on the basis of the deficiencies precipitation amount. The average frequency of the wet months were counted to all four indexes and the values were: 23% on the basis of the thermo-precipitation index A , 23% standardized precipitation index SPI , 16% hydrothermal index K , and 29% on the basis of the deficiencies precipitation amount.

The dependence between the four indexes and the yield of the potato were observed. The correlation between the potato yield and the thermo-precipitation index A turned out to be the most statistically significant. It seems reasonable, that in the term of the constant temperature growth and the strong disperse of the precipitation, typical for the

climate of Poland, the indexes, connected with the air temperature and precipitation, are the best indicators to classify the wet and the dry months.

Keywords: *hydrothermal index K, standardized precipitation index SPI, thermal – precipitation index A, precipitation deficiencies and excesses, Opolskie Voivodeship*

WSTĘP

Duża zmienność przebiegu pogody, w tym opadów atmosferycznych, będąca cechą klimatu szerokości umiarkowanych, powoduje zróżnicowanie warunków meteorologicznych wegetacji roślin uprawnych i występowanie okresów niedoborów lub nadmiarów opadów atmosferycznych. Charakterystykę tych okresów znaleźć można pracach Hohendorfa (1948), Dzieżyca i in. (1987a, 1987b), Ostrowskiego i in. (2008), Zawory i Ziernickiej–Wojtaszek (2008), Żarskiego i Dudka (2009), Radzkiej i Jankowskiej (2015a), Ziernickiej–Wojtaszek i in. (2015), Skowery i in. (2016).

Ocieplenie klimatu, które wyraźniej zaznaczyło się od lat 70. XX wieku, spowodowało oprócz wzrostu temperatury również wzrost częstości i intensywności występowania zjawisk ekstremalnych na świecie i w naszym kraju. Przejawiło się gwałtowną dynamiką następujących po sobie typów pogody, występowaniem długotrwałych susz oraz ekstremalnie wysokich opadów. Nastąpił spadek udziału cyrkulacji ze strumieniem zachodniej przy jednoczesnym wzroście częstości występowania układów, które sprzyjają południkowemu przepływowi mas powietrza przez obszar Europy (Kožuchowski 2003; Lorenc 2011). Na obszarze Polski obserwowany jest systematyczny wzrost współczynnika zmienności opadów, przy braku wyraźnych tendencji zmian sum opadów, zwłaszcza podczas okresu wegetacji. Współczynnik zmienności rocznych sum opadu wzrósł od wartości rzędu 0,10 do 0,16 w latach 1861–1990 (Kožuchowski 1996) i osiągnął wartość 0,17 w okresie 1971–2000 (Ziernicka–Wojtaszek 2006). Bardzo niekorzystnym zjawiskiem dla wegetacji roślin jest również zmniejszenie się stosunku opadów letnich do zimowych (Czarnecka, Nidzgorzka–Lencewicz 2012).

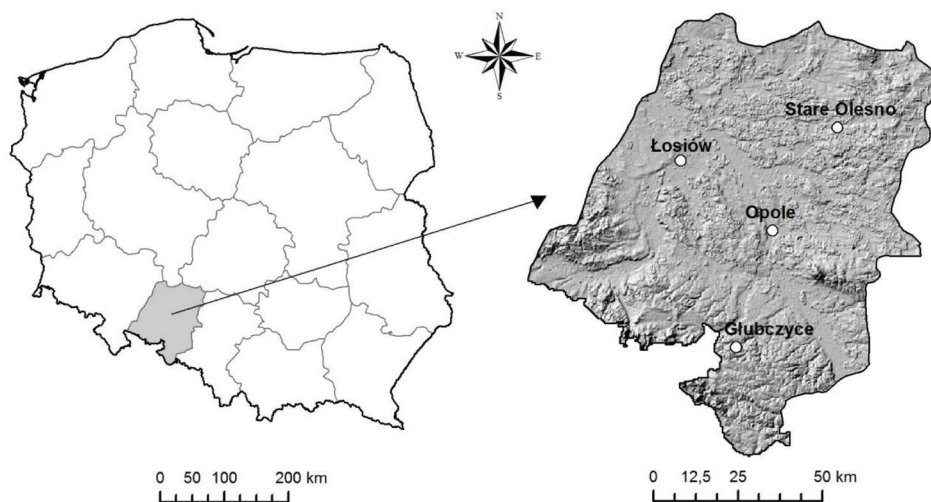
Susze w Polsce występują coraz częściej, mają większą intensywność i obejmują znaczne obszary kraju. Udokumentowane i obserwowane w Polsce w drugiej połowie XX wieku ocieplenie wyraża się przyrostem średniej rocznej temperatury powietrza o 0,9°C na 50 lat (Fortuniak i in. 2001). Utrzymujący się dalszy wzrost temperatury przy niezmiennącej się wielkości opadu prowadzi do częstszego pojawiania się suszy i wzrostu jej intensywności (Kędziora i in. 2014; Żmudzka 2004; Kożuchowski, Żmudzka 2001). Innym aspektem skrajności pogodowych niekorzystnym dla środowiska i rolnictwa, a będącym skutkiem

ocieplania klimatu, jest występowanie nadmiernej ilości opadów w następstwie opadów nawaalnych lub dłuższych okresów z opadami zwanych ciągami dni z opadem (Romanowicz i in. 2014; Zawora 1995).

Celem pracy było określenie częstości występowania miesięcy suchych i wilgotnych w województwie opolskim w miesiącach od maja do września w latach 1981–2010, tj. w okresie wyraźnego wzrostu temperatury i stanowiącego najnowszą normę klimatyczną zalecaną przez WMO. Podjęto również próbę odpowiedzi na pytanie, który ze wskaźników najwierniej charakteryzuje warunki wilgotnościowe okresu wegetacyjnego.

MATERIAŁ, METODA, OBSZAR BADAŃ

Materiał stanowiły dane miesięczne dotyczące średniej temperatury powietrza i sum opadów na obszarze województwa opolskiego z okresu 1981–2010. Dane pochodziły z trzech stacji meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (Stare Olesno, Opole, Głubczyce) oraz stacji Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Łosiowie (rys. 1). Wykorzystano także dane dotyczące plonu ziemniaka późnego w warunkach produkcyjnych województwa opolskiego z okresu 1981–2010, pozyskane z Roczników Statystycznych Głównego Urzędu Statystycznego.



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

Do identyfikacji miesięcy suchych i wilgotnych w okresie wegetacji wykorzystano cztery wskaźniki klimatyczne, które obliczono na podstawie wartości

temperatury powietrza i opadów atmosferycznych uśrednionych z czterech stacji meteorologicznych. Do wybranych wskaźników należał: wskaźnik termiczno-opadowy A , wskaźnik hydrotermiczny K , wskaźnik standaryzowanego opadu SPI oraz wielkości niedoboru i nadmiaru opadów dla obszaru zlewni Górnej Odry. Ostatni z wymienionych wskaźników został opracowany przez Dzieżyca i współautorów (1987b) i uwzględnił potrzeby opadowe roślin uprawianych na glebach lekkich, średnich i ciężkich. Do analizy, jako przykładową roślinę wybrano ziemniaka późnego uprawianego na glebie średniej. Wybór ten był podyktowany stosunkowo dużymi wymaganiami opadowymi i długim okresem wegetacji tej rośliny.

Wskaźnik termiczno-opadowy A , zwany również indeksem suchości, obliczono według formuły zaproponowanej przez Peda (1977).

$$A = \frac{t_i - t_m}{\sigma_t} - \frac{P_i - P_m}{\sigma_p} \quad (1)$$

gdzie:

t_i – średnia miesięczna temperatura powietrza w danym miesiącu [$^{\circ}\text{C}$],

t_m – średnia miesięczna temperatura powietrza z lat 1981–2010 [$^{\circ}\text{C}$],

P_i – suma miesięczna opadów atmosferycznych w danym miesiącu [mm],

P_m – średnia miesięczna suma opadów z lat 1981–2010 [mm],

σ_t – odchylenie standardowe średniej miesięcznej temperatury powietrza [$^{\circ}\text{C}$],

σ_p – odchylenie standardowe miesięcznej sumy opadów [mm].

Według Kolevej i Alexandrowa (2008) wartości wskaźnika A , które pozwalają klasyfikować warunki termiczno-opadowe obejmują następujące zakresy: oznaki suszy $1 < A < 2$, umiarkowana susza $2 < A < 3$, silna susza $A > 3$. Ujemne wartości indeksu charakteryzują okresy wilgotne. W niniejszej pracy przyjęto następującą klasyfikację wskaźnika A : miesiące suche $A > 1$, miesiące optymalne $1 \leq A \leq -1$, miesiące wilgotne $A < -1$.

Drugi z analizowanych wskaźników – wskaźnik standaryzowanego opadu SPI (Mc Kee i in. 1993) został wyznaczony zgodnie z metodą zaproponowaną przez Gąsiora i Musiał (2011). W pierwszym etapie zbadana została zgodność rozkładów opadów z rozkładem gamma w poszczególnych miesiącach (IV–IX). Dla rozkładów o dodatniej asymetrii, jakim jest rozkład gamma, można zastosować transformację pozwalającą przekształcić dany rozkład do rozkładu normalnego. Dość często stosowane transformacje to $y_1 = \sqrt[3]{x}$, $y_2 = \sqrt[3]{x + 10}$, $y_3 = \ln(x)$. Takie przekształcenie sum opadów zostało wykorzystane w niniejszej pracy. Zgodność przekształconych 30-letnich ciągów sum opadów z rozkładem normalnym sprawdzono testem Shapiro–Wilka.

Sumy opadów miesiąca kwietnia, czerwca i września przekształcono za pomocą transformacji drugiej (y_2), natomiast dla pozostałych miesięcy okresu wegetacyjnego (maj, lipiec, sierpień) wykorzystano transformację trzecią (y_3).

Wskaźnik standaryzowanego opadu *SPI* wyznaczono wg wzoru:

$$SPI = \frac{Y - \tilde{\mu}}{\tilde{\sigma}} \quad (2)$$

gdzie:

Y – zmienna losowa, której wartościami są miesięczne sumy opadów powstałe w wyniku transformacji przekształcającej rozkład gamma w rozkład normalny,
 $\tilde{\mu}$ – estymator parametru μ (średnia wartość znormalizowanego ciągu sum opadów),
 $\tilde{\sigma}$ – estymator parametru σ (odchylenie standardowe znormalizowanego ciągu sum opadów).

Ocena wilgotnościowa miesięcy została opracowana na podstawie wskaźnika względnego opadu $RPI = \frac{P}{P_m} \cdot 100\%$ (Kaczorowska 1962), gdzie: P_i – suma miesięczna opadów atmosferycznych w danym miesiącu [mm], P_m – średnia miesięczna suma opadów z lat 1981 – 2010 [mm]. Wykorzystano kryterium oceny wilgotnościowej miesięcy zaproponowane przez Tomaszewską (1994):

- miesiąc suchy < 75 %,
- miesiąc normalny 75 % ÷ 125 %,
- miesiąc wilgotny > 125 %.

W oparciu o przyjęte progi wskaźnika *RPI* dla poszczególnych miesięcy wyznaczono progi dla wskaźnika *SPI* (tab. 1) zgodnie z transformacją według wzorów:

$$\frac{\sqrt[3]{a\bar{X}+10}-\tilde{\mu}}{\tilde{\sigma}} \leq SPI \leq \frac{\sqrt[3]{b\bar{X}+10}-\tilde{\mu}}{\tilde{\sigma}}, \quad \frac{\ln(a\bar{X})-\tilde{\mu}}{\tilde{\sigma}} \leq SPI \leq \frac{\ln(b\bar{X})-\tilde{\mu}}{\tilde{\sigma}} \quad (3,4)$$

gdzie:

- a, b* – wartości progowe wskaźnika *SPI*,
- \bar{X} – średnia wartość opadów w okresie 30–letnim w danym miesiącu.

Tabela 1. Wartości progowe wskaźnika *SPI* wyznaczone dla województwa opolskiego (1981–2010)

Table 1. The threshold values designated *SPI* for the Opole Voivodship (1981–2010)

Charakterystyka miesiąca	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
Suchy	<-0,39	<-0,10	<-0,19	<-0,36	<-0,39
Normalny	-0,39÷0,73	-0,10÷0,09	-0,19÷0,67	-0,36÷0,71	-0,39÷0,73
Wilgotny	>0,73	>0,09	>0,67	>0,71	>0,73

Wskaźnik hydrotermiczny Sielianinowa *K* (Cherszkowicz 1971) obliczono według formuły:

$$K=(10 \cdot P)/(\sum t) \quad (5)$$

gdzie:

P – miesięczna suma opadów [mm],

$\sum t$ – suma średniej temperatury dobowej [$^{\circ}\text{C}$].

Wartości $K \leq 1,3$ oznaczają warunki hydrotermiczne z oznakami suszy atmosferycznej, $1,3 < K \leq 1,6$ warunki optymalne, $K > 1,6$ warunki wilgotne. Stosowanie wskaźnika hydrotermicznego K do oceny warunków hydrotermicznych w literaturze zalecane jest dla okresów z temperaturą powietrza $>10^{\circ}\text{C}$, a więc od maja do września.

Ostatnim wskaźnikiem wykorzystanym do identyfikacji miesięcy suchych lub wilgotnych był niedobór lub nadmiar opadów w kolejnych miesiącach wegetacji ziemniaka późnego dla gleb średnich. Obliczony został według podanych przez Dzieżyca i in. (1987b) dekadowych potrzeb opadowych dla ziemniaków późnych dla zlewni Górnej Odry. Potrzeby te skorygowano ze względu na temperaturę powietrza zgodnie z metodą zaproponowaną przez Klatta (za Żakowicz i Hewelke 2002). Wraz ze zmianą temperatury o 1°C w odniesieniu do temperatury średniej z wielolecia 1981–2010 zmniejszono lub podwyższano odpowiednio potrzeby opadowe o 5 mm. Każdy miesiąc okresu wegetacji ziemniaka późnego przeanalizowano pod kątem występowania niedoboru oraz nadmiaru opadów według procedury zaproponowanej przez Skowerę i in. (2016). Obliczono różnice pomiędzy opadami miesięcznymi a skorygowanymi potrzebami opadowymi $P_i - P_w$. Różnice ujemne oznaczają niedobór, a dodatnie nadmiar opadów. Obliczono również wartości odchylenia standardowego (σ) otrzymanych różnic $P_i - P_w$, co pozwoliło dokonać klasyfikacji wielkości niedoborów i nadmiarów opadu ziemniaków późnych. Na podstawie tej wielkości zestawiono w trzech klasach niedobory i nadmiary opadowe ziemniaka późnego w odniesieniu do wartości $P_i - P_w = 0$. Miesiąc, w którym $P_i - P_w < -0,5\sigma$ (wystąpił niedobór opadów w odniesieniu do potrzeb opadowych ziemniaka) przyjęto za suchy, $-0,5\sigma \leq P_i - P_w \leq 0,5\sigma$ uznano za optymalny pod względem opadów, $P_i - P_w > 0,5\sigma$ (wystąpił nadmiar opadów w odniesieniu do potrzeb opadowych ziemniaka) przyjęto za wilgotny.

W celu wykazania, który z uwzględnionych wskaźników najlepiej charakteryzuje warunki wilgotnościowe okresu wegetacji obliczono współczynniki korelacji pomiędzy wartościami analizowanych wskaźników w kolejnych miesiącach okresu wegetacji a plonem ziemniaka późnego. Przed wykonaniem obliczeń, plon w kolejnych latach 1981–2010 zredukowano ze względu na postęp agrotechniki i rozwój biologiczny odmian późnych ziemniaka. Redukcję plonów w stosunku do wartości średniej z wielolecia przeprowadzono na podstawie liniowego równania trendu.

WYNIKI I DYSKUSJA

Badanie częstości występowania miesięcy suchych, wilgotnych oraz optymalnych na podstawie przyjętych klas każdego z analizowanych wskaźników wykazało, że ich częstość była zróżnicowana. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Częstość (%) miesięcy suchych (s), optymalnych (o) i wilgotnych (w) w województwie opolskim w latach 1981–2010

Table 2. The frequency (%) of dry (s), optimal (o) and wet (w) months in the Opole Voivodeship in the years 1981–2010

Wskaźnik	Klasyfikacja miesiąca	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Średnia (Maj-Wrzesień)
A	s	27	27	17	23	30	25
	o	57	47	63	57	40	53
	w	17	27	20	20	30	23
SPI	s	33	30	37	40	37	35
	o	50	53	40	40	28	42
	w	17	17	23	20	36	23
K	s	30	27	27	50	47	36
	o	50	60	53	37	37	47
	w	20	13	20	13	16	16
Pi-P _w	s	27	30	30	53	30	34
	o	53	30	47	27	27	37
	w	20	40	23	20	43	29

Według wartości wskaźnika suchości *A* częstość miesięcy suchych stanowiła 25% przypadków (od 17% w lipcu do 30% we wrześniu), natomiast miesiące wilgotnych 23% (od 17% w maju do 30% we wrześniu). Miesiące optymalne występowały najczęściej, tj. 53% przypadków (od 40% we wrześniu do 63% w lipcu).

Częstość występowania miesięcy suchych identyfikowanych na podstawie wartości wskaźnika standaryzowanego opadu *SPI* wynosiła 35% (od 30% w czerwcu do 40% w sierpniu). Częstość miesięcy wilgotnych wynosiła 23% (od 17% w maju i czerwcu do 37%), natomiast warunki optymalne, według tej metody występowały w 42% przypadków (od 28% we wrześniu do 53% w czerwcu).

Wyznaczona na podstawie wskaźnika hydrotermicznego *K* częstość miesięcy suchych wynosiła 36% przypadków (od 27% w czerwcu i lipcu do 50% w sierpniu), natomiast miesiące wilgotne występowały rzadziej w porównaniu

do pozostałych metodach, w 16% przypadków (od 13% w czerwcu i sierpniu do 20% w maju i lipcu). Warunki optymalne występowały w 47% przypadków (od 37% w sierpniu i wrześniu do 60% w lipcu).

Według wielkości niedoborów i nadmiarów opadu P_i-P_w częstość miesięcy suchych wynosiła 34% przypadków (od 27% w maju do 53% w sierpniu). Warunki wilgotne występowały w 29% przypadków (od 20% w maju i sierpniu do 43% we wrześniu). Optymalne warunki dotyczyły 37% przypadków (od 27% w sierpniu i wrześniu do 53% w maju).

Tabela 3. Współczynniki korelacji rang Spearmana pomiędzy plonem ziemniaka późnego i miesięcznymi wartościami wskaźników A , SPI , K oraz P_i-P_w w województwie opolskim w latach 1981–2010

Table 3. Spearman's correlation coefficients between late potato yield and monthly values of A , SPI , K and P_i-P_w indicators in the Opolskie Voivodeship in the years 1981–2010

Wskaźnik	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
A	0,17	0,03	-0,45*	-0,17	-0,21
SPI	0,06	-0,13	0,39*	0,11	0,12
K	-0,01	-0,10	0,40*	0,12	0,15
P_i-P_w	-0,02	-0,09	0,41*	0,15	0,16

* – oznacza istotność dla $\alpha=0,05$

Na podstawie obliczonych korelacji pomiędzy wartościami poszczególnych wskaźników w kolejnych miesiącach a plonem ziemniaka, istotne statystycznie zależności uzyskano tylko w lipcu, a najsilniejsza korelacja plonu ziemniaka wystąpiła ze wskaźnikiem termiczno-opadowym A (tab. 3). W miesiącu tym, w przypadku odmian średniopóźnych i późnych występuje największe zapotrzebowanie na wodę pochodzącą z opadów, a występowanie niedoboru opadu w stosunku do zapotrzebowania powoduje obniżenie plonu tej rośliny. W pozostałych miesiącach wegetacji ziemniaka niedobór lub nadmiar opadów wpływa przede wszystkim na pogorszenie parametrów jakościowych plonu (Dmowski i in. 2004; Kołodziejczyk 2014; Radzka i in. 2015b).

Wykorzystane w niniejszej pracy wybrane wskaźniki miesięcy suchych i wilgotnych obliczane były na podstawie wartości miesięcznych sum opadu i temperatury powietrza. Wskaźniki te pozwalają na identyfikację szczególnie suszy atmosferycznej ale nie uwzględniają ważnych parametrów takich jak długość okresu bezopadowego, częstości opadów, występowania ciągów dni dzżystych czy też właściwości fizycznych gleby. Są one jednak często stosowane pracach z zakresu agrometeorologii do charakterystyki okresu wegetacji danej rośliny lub oceny termiczno-opadowych danego okresu na tle wielolecia.

Współczynnik hydrotermiczny K zaproponowany przez Sielianiowa w opracowaniach z zakresu rolnictwa często jest stosowany do charakterystyki okresu wegetacji roślin. Wskaźnik ten jest łatwy do obliczenia i dobrze nadaje się do identyfikacji okresów suchych w świetle postępującego ocieplenia klimatu, bowiem we wzorze zawiera się wartość temperatury powietrza. Jeśli założymy, że opady nie wykazują wyraźnego trendu zmian a rośnie temperatura powietrza, to wzrost natężenia suszy może być tą metodą dobrze udokumentowany.

Drugi z analizowanych – wskaźnik termiczno-opadowy A zaproponowany przez Peda (1977), uwzględniający średnią temperaturę i sumy opadu, pozwala identyfikować okresy suche i wilgotne na tle wartości wieloletnich (Kłysik, Wigbig 1992; Podstawczyńska 2010).

Wskaźnik standaryzowanego opadu SPI , również uwzględniający średnie wieloletnie wartości sumy opadów, wykorzystywany jest przez wielu autorów do monitorowania zarówno klimatu suchego jak i wilgotnego w różnych przedziałach czasowych (Łabędzki 2006; Tokarczyk 2008).

Mimo niewątpliwych zalet, wskaźniki te nie uwzględniają systematycznego wzrostu zmienności opadów atmosferycznych udokumentowanego w pracach Kożuchowskiego (1996) i Ziernickiej–Wojtaszek (2006). W badaniach przedstawionych w niniejszej pracy (z czterech analizowanych wskaźników) obliczenie wskaźnika SPI okazało się najbardziej pracochłonne. Niewątpliwą zaletą wskaźników A i SPI , jest porównanie danego okresu do wartości wieloletnich charakterystycznych dla danego obszaru, jednak niezbędny jest długi ciąg zgromadzonych danych.

Pozostałe wskaźniki: hydrotermiczny K oraz wielkości niedoborów i nadmiarów opadu P_i-P_w uwzględniające temperaturę, nie wymagają danych z długich okresów. W przypadku niedoborów i nadmiarów opadu P_i-P_w potrzebne są wartości temperatury i sumy opadów w danym przedziale czasowym i dodatkowo średnia wieloletnia temperatura powietrza. Po wprowadzeniu korekty potrzeb opadowych ze względu na temperaturę, wskaźnik ten jest łatwy do wykorzystania (Skowera i in. 2016). Niesie on prostą informację dla rolników o stopniu zabezpieczenia potrzeb opadowych konkretnej rośliny, gdyż uwzględnia jej faktyczne potrzeby opadowe oraz kategorie ciężkości agronomicznej gleby.

Silne, istotne statystycznie korelacje plonu ziemniaka z wartościami analizowanych wskaźników udowodniły ich przydatność w identyfikacji miesięcy suchych i wilgotnych.-

PODSUMOWANIE

W analizowanym 30–leciu 1981–2010 średnia częstość występowania miesięcy w których obserwowano różne natężenie suszy, na podstawie wskaźnika

termiczno–opadowego A wynosiła od 17 do 30%, według wskaźnika standaryzowanego opadu SPI od 30 do 40%, określona metodą wskaźnika hydrotermicznego K od 27 do 50%, a na podstawie wielkości niedoborów opadu P_i-P_w od 27 do 53%. Wszystkie metody wykorzystane w pracy najczęściej zidentyfikowały miesiące optymalnych pod względem wilgotnościowym. W sierpniu i wrześniu zauważono największe ich zróżnicowanie: od 27% według metody niedoborów i nadmiarów opadu P_i-P_w do 57% według wskaźnika termiczno–opadowego A . Częstość miesięcy wilgotnych wyznaczona poszczególnymi metodami również była znacznie zróżnicowana. Najmniej przypadków miesięcy wilgotnych obserwowano według wskaźnika hydrotermicznego K od 13 do 20%, w pozostałych metodach tylko w czerwcu występowały wyraźne różnice, od 17% według wskaźnika SPI do 40% według metody niedoborów i nadmiarów opadu P_i-P_w .

Przy obserwowanym stałym wzroście temperatury i dużej zmienności opadów, do identyfikacji miesięcy suchych i wilgotnych bardziej słuszne wydaje się wykorzystywanie wskaźników uwzględniających temperaturę. Potwierdzają to najsilniejsze istotne statystycznie korelacje pomiędzy plonami ziemniaka późnego a wartościami wskaźników obliczonych dla lipca – miesiąca o największych potrzebach opadowych tej rośliny.

PODZIĘKOWANIA

Badania zrealizowano w ramach tematu nr DS 3337/KEKiOP/2018 zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez MNiSW.

LITERATURA

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

Cherszkowicz, E. (1971). *Hydrothermischer Koeffizient (HTK) VI, VII, VIII*. Karte. Agraklimatische Ressourcen desterritoriums der sozialistischen Länder Europas, Sofia, 123.

Dmowski, L., Nowak, L., Chmura, K. (2004). Reakcja odmian ziemniaka o różnej długości wegetacji na zróżnicowane warunki wodno– nawozowe. Biuletyn IHAR, 232: 141–148.

Dzieżyc, J., Nowak, L., Panek, K. (1987a). *Średnie regionalne niedobory opadów i potrzeby deszczowania roślin uprawnych na glebach lekkich i średnich*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 314: 35–45.

Dzieżyc, J., Nowak, L., Panek, K. (1987b). *Dekadowe wskaźniki potrzeb opadowych roślin uprawnych w Polsce*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 314: 11–33.

Fortuniak, K., Kożuchowski, K., Żmudzka, E. (2001). *Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku*. Przegląd Geofizyczny 46, 4: 283–303.

Gąsiorek, E., Musiał, E. (2011). Porównanie i klasyfikacja warunków opadowych na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu i wskaźnika względnego opadu. *Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie* 11, 4 (36): 107–119.

Hohendorf, E. (1948). *Niedobory i nadmiary opadów w Polsce*. *Gospodarka Wodna*, 8(10): 276–287.

Kaczorowska, Z. (1962). *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*. Przegląd Geograficzny IG PAN, 33: 112.

Kędziora, A., Kępińska-Kasprzak, M., Kowalczak, P., Kundzewicz, Z.W., Miler, A.T., Pierzgałski, E., Tokarczyk, T. (2014). *Zagrożenia związane z niedoborem wody*. *Nauka*, (1):149–172.

Kłysik, K., Wibig, J. (1992). *The analysis of the variability of the aridity index in Poland in the period 1913–1990*. I Panheleńska Konferencja Meteorologii, Klimatologii i Fizyki Atmosfery, Saloniki, 21–23.05.199, 63–70.

Koleva, E., Alexandrov, V. (2008). *Drought in the Bulgarian low regions during the 20th century*. *Theoretical and Applied Climatology*, 92: 113–120.

Kołodziejczyk, M. (2014). *Wpływ warunków opadowo-termicznych na skład chemiczny oraz wybrane parametry jakości bulw średnio późnych i późnych odmian ziemniaka jadalnego*. *Annales UMCS. LXIX* (3) sec. E: 2–10.

Kożuchowski, K. (1996). *Współczesne zmiany klimatyczne w Polsce na tle zmian globalnych*. Przegląd Geograficzny, LXVIII(1–2): 79–98.

Kożuchowski, K. (2003). *Cyrkulacyjne czynniki klimatu Polski*. *Czasopismo Geograficzne*, 74(1–2): 93–105.

Kożuchowski, K., Żmudzka, E. (2001). *Ocieplenie w Polsce: Skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*. Przegląd Geograficzny, XLVI (1–2): 81–90.

Lorenc, H. (2011). *Susze i opady maksymalne w Polsce*. Seminarium PK GWP.

Łabędzki, L. (2006). *Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*. *Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie, Rozprawy naukowe i monografie*, 17: 107.

McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 179–184.

Ostrowski, J., Łabędzki, L., Kowalik, W., Kanecka-Geszke, E., Kasperska-Wołowicz, W., Smarzyńska, K., Tusiński, E. (2008). *Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce*. Falenty: Wydawnictwo IMUZ, 19 + 32 mapy.

Ped, D.A. (1977). *The analysis of two summer seasons with different weather conditions*. Trudy GNIC, 171: 3–19.

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. Forsyśiak, B., Poznań: Wyd. Nauk., 63–73.

Radzka, E., Jankowska, J. (2015a). *Niedobory i nadmiary opadów w okresie wegetacji ziemniaka późnego w środkowo-wschodniej Polsce (1971–2005)*. Acta Agrophysica, 22(1): 79–89.

Radzka, E., Rymuza, K., Lenartowicz, T. (2015b). *Wpływ opadów atmosferycznych na plonowanie średnio wczesnych odmian ziemniaka jadalnego w różnych rejonach Polski*. Acta Agrophysica, 22(4): 421–432.

Romanowicz, R.J., Nachlik, E., Januchta–Szostak, A., Starkel, L., Kundzewicz, Z.W., Byczkowski, A., Kowalczak, P., Żelaziński, J., Radczuk, L., Kowalik, P., Szamałek, K. (2014). *Zagrożenia związane z nadmiarem wody*. Nauka, (1): 123–148.

Skowera, B., Kopcińska, J., Ziernicka–Wojtaszek, A., Wojkowski, J. (2016). *Niedobory i nadmiary opadów w okresie wegetacji ziemniaka późnego w województwie opolskim (1981–2010)*. Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus, 15(3): 137–149.

Tokarczyk, T. (2008). *Wskaźniki oceny suszy stosowane w Polsce i na świecie*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 7: 167–182.

Tomaszewska, T. (1994). *Susze atmosferyczne na przestrzeni ostatniego czterdziestolecia*. Mater. Konf. XXV Zjazd Agrometeorologów. Olsztyn–Mierki, 27–29.09.1994, Olsztyn: Wydawnictwo ART., 169–178.

Zawora, T. (1995). *Ciągi dni z opadem w polskich Karpatach*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie. Ser. Rozprawy, 201: 68.

Zawora, T., Ziernicka-Wojtaszek, A. (2008). *Ekstremalne wartości niedoborów i nadmiarów opadów atmosferycznych w aspekcie współczesnych zmian klimatu na przykładzie województwa podkarpackiego*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 5: 23–29.

Ziernicka–Wojtaszek, A. (2006). *Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971–2000*. W: Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego. Praca zbiorowa pod red.: Trepińska J., Olecki Z., Kraków: IGiGP UJ, 139–148.

Ziernicka–Wojtaszek, A., Zuśka, Z., Pisulak, P. (2015). *Potrzeby opadowe roślin uprawnych w aspekcie współczesnych zmian klimatu*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3(1): 507–514.

Żakowicz, S., Hewelke, P. (2002). *Podstawy inżynierii środowiska*. Warszawa: Wyd. SGGW.

Żarski, J., Dudek, S. (2009). *Zmienność czasowa potrzeb nawadniania wybranych roślin w regionie Bydgoszczy*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3: 141–149.

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

dr Joanna Kopcińska
Katedra Zastosowań Matematyki
ul. Balicka 253C
31–149 Kraków
E-mail: rmkopcin@cyf-kr.edu.pl

Autor do korespondencji: dr hab. inż. Barbara Skowera
dr inż. Jakub Wojkowski
dr hab. inż. Agnieszka Ziernicka–Wojtaszek
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza
Al. Mickiewicza 24/28
30–059 Kraków
E-mail: rmskower@cyf-kr.edu.pl
rmwojkow@cyf-kr.edu.pl
aziernik@poczta.fm

dr inż. Ewelina Zając
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska
Al. Mickiewicza 24/28
30–059 Kraków
E-mail: rmszatko@cyf-kr.edu.pl

Wpłynęło: 15.04.2018

Akceptowano do druku: 09.05.2018