

Katarzyna SZYGA-PLUTA

Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych

ZMIENNOŚĆ WYSTĘPOWANIA SUSZ W OKRESIE WEGETACYJNYM W POLSCE W LATACH 1966-2015

VARIABILITY OF DROUGHT OCCURRENCE DURING GROWING SEASON IN POLAND IN YEARS 1966-2015

Wstęp

Zmienność warunków pogodowych Polski powoduje częste występowanie zjawisk meteorologicznych odbiegających od warunków przeciętnych. Niedostatek opadów atmosferycznych, przy jednocześnie wysokiej temperaturze powietrza, skutkuje pojawianiem się susz o zróżnicowanym stopniu nasilenia, mających negatywne skutki szczególnie w czasie wzrostu i dojrzewania roślin. Długie okresy bezopadowe przyczyniają się do wyczerpania zasobów wody łatwo dostępnej w glebie, powodując wędnięcie lub słaby rozwój roślin uprawnych, a w następstwie spadek plonu (Bąk, Łabędzki 2008). Czynniki klimatyczne w połączeniu z nasilającą się antropopresją uznawane są za istotne elementy wpływające na wystąpienie suszy.

Próby opisu występowania i nasilenia zjawiska suszy podejmowano najczęściej poprzez: określenie niedoboru opadów w danym czasie, analizę częstości pojawiania się i czasu trwania okresów bezopadowych (Koźmiński, Kalbarczyk 2004) oraz za pomocą wskaźników opisujących stopień suchości podłoża przy uwzględnieniu opadów, temperatury powietrza lub parowania (Tomaszewska 1994; Farat i in. 1995; Bąk, Łabędzki 2002; Quiring, Papakryiakou 2003; Łabędzki, Bąk 2004; Puła, Skowera 2004; Kalbarczyk, Kalbarczyk 2005; Kanecka-Geszke, Smarzyńska 2007; Łabędzki 2007; Bąk, Łabędzki 2008; Hutorowicz i in. 2008; Gąsiorek, Musiał 2011; Wibig 2012; Ziernicka-Wojtaszek

2012b; Bartczak i in. 2014; Radzka 2015, Somorowska 2016). Przegląd stosowanych metod można znaleźć w starszym opracowaniu Przedpeńskiej (1971) oraz w aktualnych pracach na temat susz w Polsce, z uwzględnieniem osiągnięć literatury światowej, tj. Łabędzkiego (2006), Łabędzkiego i in. (2008), Ilnickiego i in. (2012) oraz Łabędzkiego i Bąka (2014). Syntetyczne opracowanie dotyczące pojawiania się susz w Polsce w latach 1981-1995 przedstawili Mager i in. (1999). Zdecydowanie rzadziej analizowane były uwarunkowania cyrkulacyjne tego zjawiska, tj. relacje między pojawianiem się okresów z deficytem opadów atmosferycznych a kierunkiem adwekcji powietrza. Wielu badaczy wskazuje, że występowaniu suszy sprzyja cyrkulacja antycyklonalna (Piotrowski 2010; Bąk, Maszewski 2012; Ziernicka-Wojtaszek 2012a; Bartoszek 2014). Próbe znalezienia związku między stanem stratosfery a występowaniem suszy meteorologicznej w Polsce podjęła również Pianko-Kluczyńska (2013).

Wyznaczenie okresów suszy atmosferycznej w okresie największego zapotrzebowania roślin na wodę zostało uznane za istotne dla rozpoznania nasilenia się tego zjawiska w przeszłości. Niniejsza praca ma na celu wyznaczenie okresów posusznych o różnym nasileniu w okresie wegetacyjnym w Polsce oraz porównanie rezultatów uzyskanych przy zastosowaniu wybranych wskaźników suszy atmosferycznej.

Dane i metody

W opracowaniu wykorzystano dane dotyczące średniej dobowej temperatury powietrza oraz dobowej sumy opadów atmosferycznych, w miesiącach od kwietnia do października z lat 1966-2015, z trzydziestu stacji pomiarowych IMGW-PIB (rys. 1). Na ich podstawie możliwe jest określenie zmienności wieloletniej oraz intensywności susz w Polsce, a także charakterystyka zróżnicowania przestrzennego występowania suszy w badanym okresie.

Susza atmosferyczna jest pierwszym etapem rozwoju suszy. Dębski (1953) zaproponował podział, w którym kolejnymi fazami po suszy atmosferycznej są susza glebowa, a następnie hydrologiczna. Susza atmosferyczna powodowana jest bezdeszczową pogodą, w połączeniu z niską wilgotnością powietrza i wysoką temperaturą. Określa się ją często poprzez analizę niedoboru opadów na danym obszarze w badanym przedziale czasowym. Do identyfikacji suszy służą różne wskaźniki; do niniejszego opracowania wybrano wskaźnik standaryzowanego opadu *SPI* (ang. *Standardized Precipitation Index*), wskaźnik względnego opadu *RPI* (ang. *Relative Precipitation Index*) i wskaźnik hydrotermiczny *K* Sielanianowa.

Wskaźnik standaryzowanego opadu *SPI* jest narzędziem opracowanym przez McKee i in. (1993). Wykorzystywany jest on w wielu krajach do operacyjnego monitorowania zagrożenia suszą (Vermes 1998). Bazuje na



Rys. 1. Mapa lokalizacji stacji wybranych do opracowania

Fig. 1. Map of locations of meteorological stations used in this work

prawdopodobieństwie wystąpienia opadu i nie uwzględniając innych czynników meteorologicznych pozwala określić deficyt opadu dla różnych skal czasowych (Tokarczyk 2008). Wykorzystując wieloletnie ciągi obserwacji w danym przedziale czasu należy poddać je normalizacji za pomocą funkcji przekształcającej, a następnie standaryzacji. Zestawienie (tab. 1) zaproponowane przez Łabędzkiego i Bąka (2004), które odpowiada polskim warunkom, stanowi modyfikację oryginalnej klasyfikacji opracowanej przez McKee i in. (1993). Pozwala ona interpretować jako okresy suche takie, w których wskaźnik *SPI* ma wartość poniżej $-0,50$. Wartości wyższe niż $-0,50$ odpowiadają okresom normalnym i wilgotnym.

Wskaźnik względnego opadu *RPI* stosowany jest do oceny nadmiaru lub niedoboru opadu. Określa się go jako iloraz sumy opadu zarejestrowanego w danym okresie i średniej sumy z wielolecia (Gąsiorek, Musiał 2011). W prezentowanym opracowaniu do wyznaczania charakteru badanego okresu zastosowano odrębne kryteria dla miesięcy oraz sezonów i roku (tab. 2).

Współczynnik hydrotermiczny *K* Sielanianowa jest kolejnym wskaźnikiem używanym do identyfikacji okresów suszy i rozpoznania jej nasilenia. W odróżnieniu od poprzednich uwzględnia on opady i temperaturę powietrza. Został wyznaczony jako iloraz sumy opadów atmosferycznych i sumy dobowych wartości temperatury powietrza w danym okresie (Kalbarczyk, Kalbarczyk 2005). Przy identyfikacji okresów suszy za pomocą współczynnika Sielanianowa posłużono się klasyfikacją Puły i Skowery (2004), w której wydzielono cztery klasy wartości wskaźnika (tab. 3).

Tabela 1. Klasyfikacja suszy według wskaźnika standaryzowanego opadu *SPI*
 Table 1. Classification of drought according to the Standardized Precipitation Index *SPI*

Rodzaj okresu/Type of the period	Zakres <i>SPI</i> / <i>SPI</i> range
Susza ekstremalna/Extreme drought	$\leq -2,00$
Susza silna/Strong drought	$-1,99 < SPI \leq -1,5$
Susza umiarkowana/Moderate drought	$-1,49 < SPI < -0,50$

Tabela 2. Klasyfikacja warunków opadowych
 na podstawie wskaźnika względnego opadu *RPI*

Table 2. Classification of pluvial conditions
 based on the Relative Precipitation Index *RPI*

Rodzaj okresu Type of the period	<i>RPI</i> [%] w miesiącu <i>RPI</i> [%] in months	<i>RPI</i> [%] w sezonie i roku <i>RPI</i> [%] in seasons and year
Skrajnie suchy/Extremely dry	$\leq 24,9$	$\leq 49,9$
Bardzo suchy/Severely dry	25,0-49,9	50,0-74,9
Suchy/Dry	50,0-74,9	75,0-89,9

źródło: opracowano na podstawie Kręgiel, Jarośnińska (2009)

Tabela 3. Klasyfikacja okresów suchych według współczynnika *K* Sielianinowa

Table 3. Classification of dry periods according to the *K* Sielianinov Index

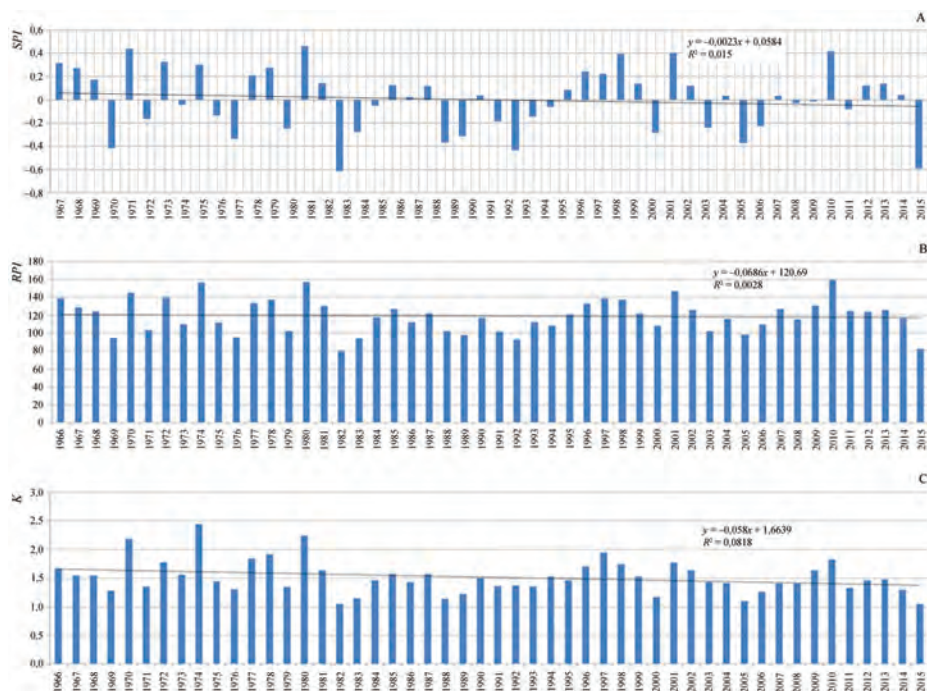
Rodzaj okresu/Type of the period	Zakres wskaźnika <i>K</i> / <i>K</i> index range
Skrajnie suchy/Extremely dry	$k \leq 0,4$
Bardzo suchy/Severely dry	$0,4 < k \leq 0,7$
Suchy/Dry	$0,7 < k \leq 1,0$
Dość suchy/Mild dry	$1,0 < k \leq 1,3$

Badanie różnicowania przestrzennego występowania suszy w Polsce poprzedzono analizą wieloletniego przebiegu średnich obszarowych wartości wybranych wskaźników suszy w badanym okresie. W ten sposób porównano wyniki uzyskane przy zastosowaniu różnych wskaźników uwzględniających nie tylko opady, ale i temperaturę powietrza. Przeanalizowano ocenę okresu wegetacyjnego pod względem suszy za pomocą zastosowanych wskaźników w poszczególnych latach oraz określono udział procentowy stacji, w których występowały okresy posuszne o określonej intensywności w kolejnych latach. Dokonano oceny występowania suszy o różnej intensywności w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego. Następnie porównano udział miesięcy o różnej intensywności suszy w ogólnej liczbie miesięcy w okresie wegetacyjnym w latach 1966-2015. Obliczona korelacja między wybranymi w opracowaniu wskaźnikami wskazuje na najsilniejszy związek między wynikami uzyskanymi przy zastosowaniu *RPI* i wskaźnika hydrotermicznego *K* Sielianinowa

(0,9). Najmniejsza korelacja występuje między *SPI* i *K* (0,3). Korelacja między *SPI* i *RPI* wynosi 0,5. Kolejnym etapem było wykreślenie map występowania suszy o różnej intensywności wyznaczonej za pomocą wybranych wskaźników oraz porównanie zróżnicowania przestrzennego tego zjawiska w okresie wegetacyjnym.

Przebieg wieloletni suszy atmosferycznej

Wartości wskaźników suszy atmosferycznej wykazują dużą zmienność w okresie wegetacyjnym w badanym wieloleciu. Ocena kolejnych lat pod względem niedoboru opadów, przy wykorzystaniu wszystkich zastosowanych wskaźników, daje porównywalne wyniki. Wyjątkowo suchy, według wskaźnika standaryzowanego opadu *SPI*, był okres wegetacyjny w latach 2015 i 1982 (rys. 2A). Przy dużych wahaniami wartości wskaźnik *SPI* wykazuje nieistotną statystycznie tendencję spadkową. Brak statystycznie istotnego trendu potwierdza również standardowa ocena trendu liniowego za pomocą współczynnika



Rys. 2. Przebieg średnich rocznych wartości wskaźnika *SPI* (A), *RPI* (B) i *K* Sielianinowa (C) w okresie wegetacyjnym w Polsce w latach 1966-2015

Fig. 2. Annual averages course of *SPI* (A), *RPI* (B) and the *K* Sielianinov index (C) values in the growing period in Poland in years 1966-2015

nachylenia linii regresji i testu Studenta. Wartości *RPI* świadczą o największym niedoborze opadów w latach 2015 i 1982 (rys. 2B), nie wykazując tendencji w badanym okresie. Taka sytuacja sugeruje brak długoterminowego trendu, czyli brak zagrożenia narastającym deficytem wody. Wskaźnik hydrotermiczny *K* Sielanianowa także wskazuje na wystąpienie najsilniejszej suszy w latach 1982 i 2015 (rys. 2C). Jednakże suchych okresów wegetacyjnych wg tego wskaźnika w badanych latach jest więcej: 2005, 1988, 1983, 2000, 1989 (kolejność zgodna z intensywnością). Dla współczynnika *K* Sielanianowa tendencja spadkowa jest zdecydowanie bardziej wyraźna (istotność statystyczna na poziomie 0,1), co wskazuje na tendencję do zwiększonej suchości. Świadczy to o znaczącym wpływie zmian temperatury powietrza na występowanie okresów suchych.

Przebieg wieloletni wybranych wskaźników obliczony dla obszaru Polski pozwala na wyznaczenie lat najbardziej suchych, czyli takich, w których



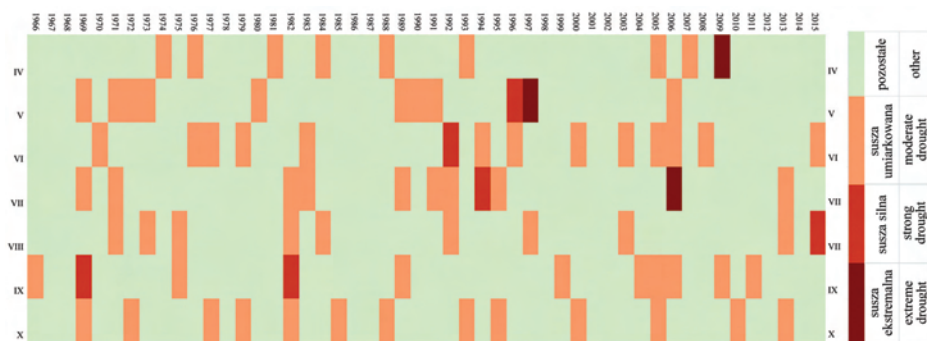
Rys. 3. Procentowy udział liczby stacji objętych suszami atmosferycznymi [%] wg wskaźnika *SPI* (A), *RPI* (B) i *K* Sielanianowa (C) w okresie wegetacyjnym w latach 1966-2015

Fig. 3. Percentage of station number covered by drought [%] according to *SPI* (A), *RPI* (B) and the *K* Sielanianov index (C) in the growing period in Poland in years 1966-2015

większość kraju charakteryzuje się deficytem opadów. Ze względu na lokalny charakter zjawiska suszy określony został odsetek stacji, w których pojawiła się susza z uwzględnieniem jej natężenia w kolejnych latach badanego okresu (rys. 3). Porównanie wykresów dla zastosowanych wskaźników pozwala na stwierdzenie, że *SPI* jest wskaźnikiem wyznaczającym zdecydowanie ostrzejsze kryterium przy wyznaczaniu okresów najbardziej intensywnej suszy w porównaniu zarówno z *RPI*, jak i *K*.

W przypadku wskaźnika *SPI* w latach 1969, 1992, 1994, 2009 i 2015 wyraźnie zaznacza się większy odsetek stacji z suszą ekstremalną (rys. 3A). Jednakże w bardzo suchym roku 1982 liczba stacji ekstremalnie suchych nie jest tak duża, jak można by się tego spodziewać, na korzyść większej liczby stacji z suszą silną oraz bardzo wysokim odsetkiem stacji z suszą umiarkowaną. Według *RPI* w latach 1969, 1982, 1988, 2000, 2005, 2009, 2010 i 2015 największy odsetek stacji charakteryzował się najbardziej suchym okresem wegetacyjnym (rys. 3B). Szczególnie dużą liczbą stacji charakteryzujących się skrajnie suchymi warunkami, wg wskaźnika hydrotermicznego *K*, odznacza się rok 1969 i 2006 (rys. 3C).

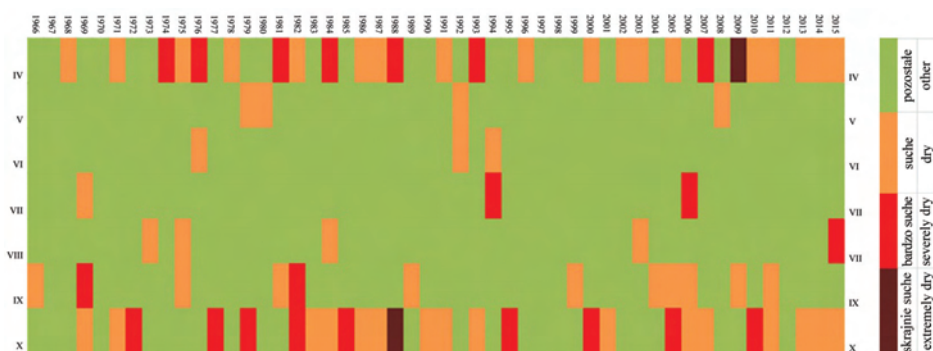
Kolejnym krokiem było sporządzenie klasyfikacji poszczególnych miesięcy okresu wegetacyjnego (Lorenc 2011) z uwzględnieniem intensywności suszy. Dokonano oceny kolejnych miesięcy w okresie wegetacyjnym w Polsce w poszczególnych latach za pomocą trzech wybranych wskaźników. Stwierdzono brak zgodności częstości występowania miesięcy suchych między wynikami uzyskanymi na podstawie wskaźników *RPI*, *SPI* i *K*. Zróżnicowanie oceny nasilenia suszy ma odzwierciedlenie w obrazie klasyfikacji poszczególnych miesięcy badanego okresu za pomocą różnych wskaźników. W przypadku *SPI* ekstremalnie suchymi miesiącami okazały się maj 1997, lipiec 2006 i kwiecień 2009. Suszą silną wg *SPI* charakteryzowało się sześć miesięcy: wrzesień 1969, wrzesień 1982, czerwiec 1992, lipiec 1994, maj 1996 i sierpień



Rys. 4. Klasyfikacja miesięcy wg wskaźnika *SPI* w okresie wegetacyjnym w Polsce w latach 1966-2015

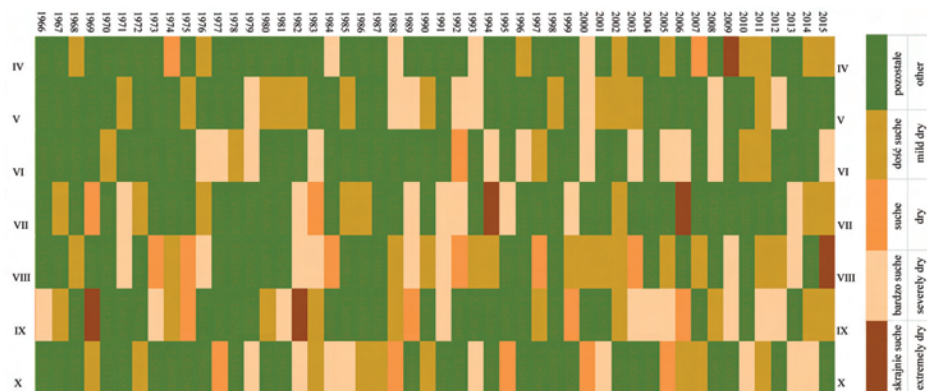
Fig. 4. Classification of months according to *SPI* in the growing period in Poland in years 1966-2015

2015. Największy niedobór opadów w kwietniu i październiku w większości lat badanego okresu widoczny jest w klasyfikacji miesięcy za pomocą *RPI* (rys. 5). Skrajnie suche okazały się w tym przypadku tylko dwa miesiące, tj. październik 1988 i kwiecień 2009. Znacznie bardziej zróżnicowane jest występowanie okresów suchych w klasyfikacji przeprowadzonej za pomocą współczynnika *K* Sielianinowa – co obrazuje zarówno wpływ zmian temperatury w okresie wegetacyjnym na ich występowanie, jak i zastosowanie rozszerzonego zakresu wartości wskaźnika (rys. 6). Skrajnie suchymi miesiącami wg *K* były wrzesień 1969, wrzesień 1982, lipiec 1994, lipiec 2006, kwiecień 2009 i sierpień 2015.



Rys. 5. Klasyfikacja miesięcy wg wskaźnika *RPI* w okresie wegetacyjnym w Polsce w latach 1966-2015

Fig. 5. Classification of months according to *RPI* in the growing period in Poland in years 1966-2015



Rys. 6. Klasyfikacja miesięcy wg wskaźnika *K* Sielianinowa w okresie wegetacyjnym w Polsce w latach 1966-2015

Fig. 6. Classification of months according to the Sielianinov *K* index in the growing period in Poland in years 1966-2015

Udział miesięcy o różnych cechach suszy

Okresy ekstremalnie suche występują najrzadziej, a największy udział mają susze o najmniejszym nasileniu (tab. 4). Niedobór opadów zgodnie z *SPI* i *RPI* występuje w nieco ponad 30% okresu wegetacyjnego w Polsce. Susze ekstremalne wg *SPI* stanowią zaledwie 2,0%, a silne 4,5% ogółu susz. Susze umiarkowane występują w 24,4% przypadków. Skrajnie suche okresy wyznaczone za pomocą *RPI* to 4,5%, bardzo suche 11,6%, a suche 16,2% wszystkich okresów z niedoborem opadu. Okresy suche wg wskaźnika *K* Sielanianowa, wyznaczanego na podstawie opadów i temperatury powietrza, stanowią

Tabela 4. Udział [%] miesięcy o różnych cechach suszy wg wskaźników *SPI*, *RPI* i *K* Sielanianowa w okresie wegetacyjnym w Polsce (1966-2015)

Table 4. Share [%] of months of different dry periods according to *SPI*, *RPI* and the *K* Sielanianov index in the growing period in Poland (1966-2015)

Wskaźnik Index	Rodzaj okresu Type of the period	Miesiące Months							Średnia Mean
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
<i>SPI</i>	Susza ekstremalna Extreme drought	2,0	1,4	1,4	2,4	2,3	2,3	2,4	2,0
	Susza silna Strong drought	4,4	3,7	4,5	4,7	4,8	4,3	4,8	4,5
	Susza umiarkowana Moderate drought	25,3	26,9	25,6	23,3	22,7	23,5	23,2	24,4
	Pozostałe Other	68,3	68,0	68,5	69,6	70,2	69,9	69,6	69,1
<i>RPI</i>	Skrajnie suchy Extremely dry	8,6	1,3	1,7	2,1	3,7	3,8	10,5	4,5
	Bardzo suchy Severely dry	23,3	8,4	5,5	5,3	6,6	12,1	20,1	11,6
	Suchy Dry	25,7	15,7	12,1	7,3	10,9	20,7	21,1	16,2
	Pozostałe Other	42,4	74,6	80,7	85,3	78,8	63,4	48,3	67,7
<i>K</i>	Skrajnie suchy Extremely dry	5,9	3,7	4,9	7,2	9,5	8,3	8,1	6,8
	Bardzo suchy Severely dry	8,9	11,1	11,9	10,6	13,7	14,6	13,0	12,0
	Suchy Dry	14,9	14,9	15,4	15,6	18,3	17,9	14,4	15,9
	Dość suchy Mild Dry	12,9	16,9	15,3	14,9	20,2	13,3	14,1	15,4
	Pozostałe Other	57,4	53,4	52,5	51,7	38,3	45,9	50,4	49,9

natomiast ponad połowę okresu wegetacyjnego. Większy udział miesięcy o cechach suszy w przypadku tego wskaźnika wynika z wydzielenia okresu dość suchego, czyli okresu o najmniejszym niedoborze opadów. Okresy skrajnie suche mają udział 6,8%, bardzo suche 12,0%, suche 15,9%, a dość suche 15,4% w okresie wegetacyjnym. Najbardziej intensywne okresy suszy występują zdecydowanie częściej w drugiej połowie okresu wegetacyjnego. Susze ekstremalne wg *SPI* pojawiają się częściej od lipca do października. Skrajnie suche miesiące wg *RPI* cechuje najwyższa frekwencja w październiku, a następnie w kwietniu. Według współczynnika *K* wyższy udział okresów skrajnie suchych charakteryzuje drugą połowę okresu wegetacyjnego z maksimum w sierpniu.

Zróźnicowanie przestrzenne suszy

Rozkład przestrzenny występowania okresów posusznych o różnej intensywności jest uzależniony od zastosowanego wskaźnika.

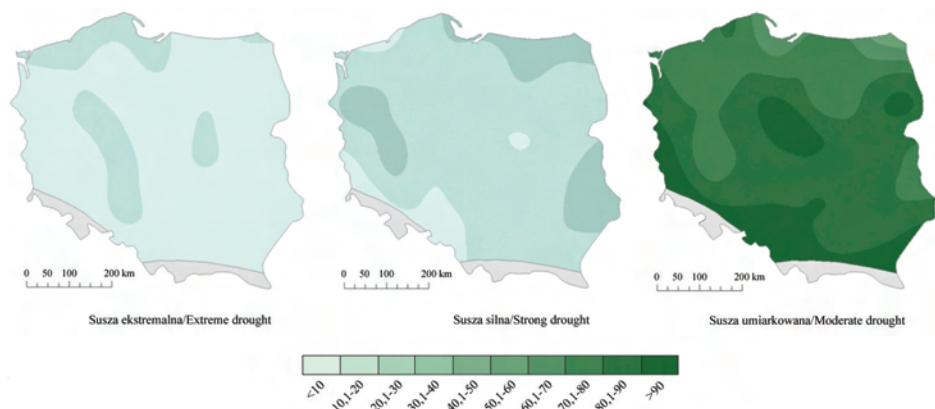
Susze ekstremalne w okresie wegetacyjnym, wydzielone za pomocą wskaźnika standaryzowanego opadu *SPI*, występują częściej na wybrzeżu, w pasie od Pojezierza Poznańskiego do Równiny Opolskiej oraz w środkowej części Niziny Mazowieckiej (rys. 7). Obszar największej liczby miesięcy z suszą silną to północno-wschodni skraj Polski, wschodnia część Wyżyny Lubelskiej oraz Pojezierze Lubuskie, natomiast najmniej ich pojawia się przede wszystkim w południowo-zachodniej części kraju. Susza umiarkowana występuje najczęściej na południu, w centralnej Polsce oraz na Podlasiu, a najrzadziej na północno-wschodnim skraju Polski oraz w rejonie Zatoki Gdańskiej.

Okresy skrajnie suche w czasie największego zapotrzebowania roślin na wodę, wydzielone na podstawie wskaźnika *RPI*, pojawiają się najrzadziej w środkowej części Pojezierza Mazurskiego oraz na Podkarpaciu, a najczęściej na Pojezierzu Pomorskim (rys. 8). Okresy bardzo suche występują częściej w pasieciągającym się od zachodniej części Niziny Śląskiej, gdzie jest ich najwięcej, do Pojezierza Mazurskiego. Najmniejsza ich liczba charakteryzuje Pojezierze Kaszubskie oraz obszar Wysoczyzny Siedleckiej. Zachodnia Polska i wybrzeże, a także Podlasie oraz Wysoczyzna Piotrkowska to obszary pojawiania się najmniej intensywnych susz. Najmniej ich występuje natomiast w południowo-wschodniej części z minimum na wschodzie Wyżyny Lubelskiej.

Największe zagrożenie skrajnymi suszami atmosferycznymi w okresie wegetacyjnym, wydzielonymi za pomocą wskaźnika hydrotermicznego *K* Sielianinowa, występuje na terenie środkowej i środkowo-zachodniej Polski (rys. 9). Najrzadziej występują one na Podkarpaciu oraz w północnej części Pojezierza Mazurskiego. Środkowa Polska, a szczególnie Nizina Wielkopolska, Nizina Śląska oraz Podlasie, charakteryzuje się najczęściej występującymi okresami bardzo suchymi. Najmniej ich pojawia się w południowo-wschodniej

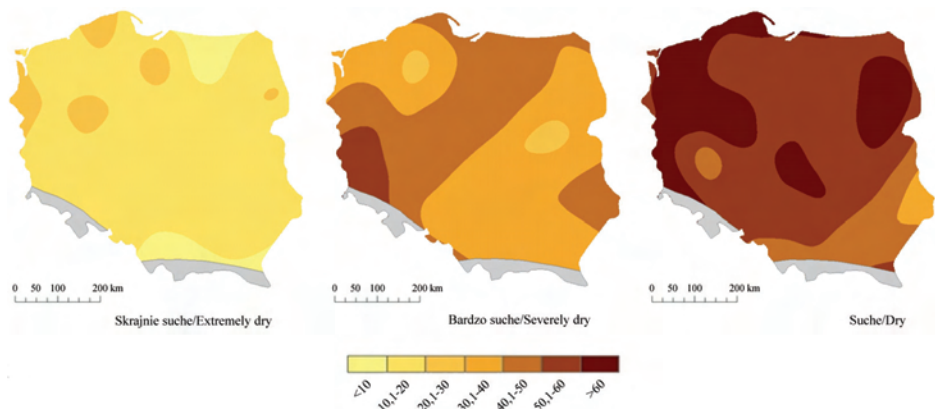
części kraju oraz na wybrzeżu. Większy obszar kraju obejmują okresy suche z maksimum na Pojezierzu Lubuskim oraz Wysoczyźnie Piotrkowskiej. Okresy dość suche występują najliczniej w środkowej i wschodniej Polsce.

Rozkład przestrzenny występowania susz w okresie wegetacyjnym w Polsce charakteryzuje bardzo duże zróżnicowanie, co świadczy o lokalnym charakterze tego zjawiska. Najbardziej suche są obszary w środkowej Polsce. Większą liczbą okresów suchych wyróżniają się także Przedgórze Sudeckie i Podkarpacie (wg *SPI*), Nizina Śląska i Podlaska oraz wybrzeże (wg *RPI*).



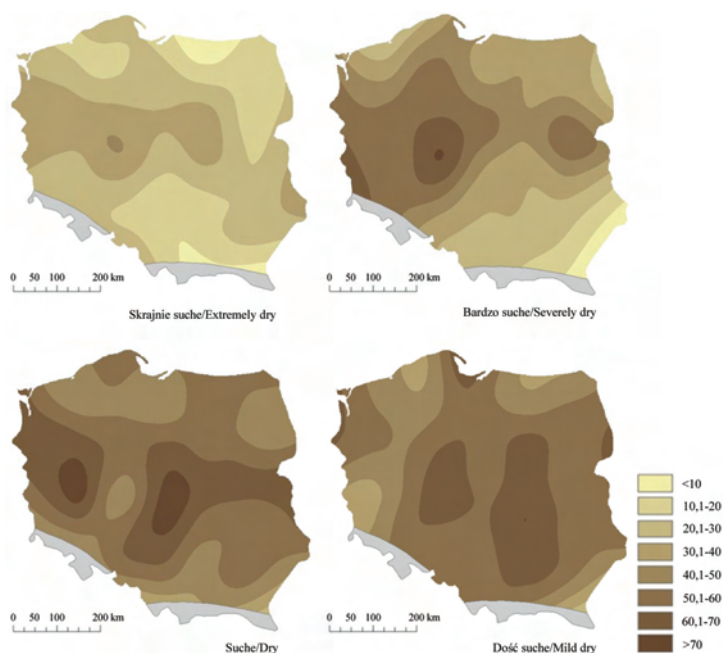
Rys. 7. Liczba miesięcy w latach 1966-2015 z ekstremalną, silną i umiarkowaną suszą wg wskaźnika *SPI* w okresie wegetacyjnym w Polsce

Fig. 7. Number of months in years 1966-2015 with the extreme, strong and moderate drought according to *SPI* in the growing period in Poland



Rys. 8. Liczba miesięcy skrajnie suchych, bardzo suchych i suchych w latach 1966-2015 wg wskaźnika *RPI* w okresie wegetacyjnym w Polsce

Fig. 8. Number of extremely, severely and moderately dry months in years 1966-2015 according to *RPI* in the growing period in Poland



Rys. 9. Liczba miesięcy skrajnie suchych, bardzo suchych, suchych i dość suchych w latach 1966-2015 wg wskaźnika *K* Sielianinowa w okresie wegetacyjnym w Polsce

Fig. 9. Number of extremely, severely dry and mild dry months in years 1966-2015 according to the Sielianinov *K* index in the growing period in Poland

Podsumowanie i wnioski

W latach 1966-2015 w okresie wegetacyjnym w Polsce okresy ekstremalnie suche występowały najrzadziej, największy udział miały susze o najmniejszym nasileniu. Wartości wskaźników suszy atmosferycznej wyliczone jako średnia obszarowa dla Polski wykazują dużą zmienność w okresie wegetacyjnym. Wcześniejsze badania (Farat i in. 1995) wykazały, że w rozpatrywanym okresie susze atmosferyczne wystąpiły w latach: 1969, 1976, 1982, 1983, 1989, 1992, 1994, 2002, 2005-2006 i swym zasięgiem objęły przeważający obszar kraju, co potwierdzają wartości wskaźników zastosowanych w niniejszym opracowaniu. Bartczak i in. (2014) stwierdzili, że charakterystyczną cechą jest grupowanie się okresów suchych w kilku- lub kilkunastoletnie okresy.

Rezultaty otrzymane przy zastosowaniu wybranych wskaźników do oceny niedoboru opadów pozwalają na stwierdzenie, że przy określeniu występowania susz wybór wskaźnika ma mniejsze znaczenie, natomiast ocena intensywności suszy nie jest jednoznaczna. Ocena suszy za pomocą *SPI* jest bardziej rygorystyczna niż w przypadku *RPI* i *K*. Podobnie twierdzą Bąk

i Łabędzki (2002) oraz Kalbarczyk i Kalbarczyk (2005). Potwierdzają to również wcześniejsze wyniki Gąsiora i Musiał (2011) uzyskane dla regionu Bydgoszczy, którzy stwierdzili, że klasyfikacja oparta na wskaźniku względnego opadu *RPI* nie jest równoważna klasyfikacji opartej na wskaźniku standaryzowanego opadu *SPI*. Podobne wyniki osiągnęli również autorzy badań oceniający liczbę i charakter okresów suszy atmosferycznej na wybranych obszarach Polski (Bąk, Łabędzki 2002). Dla okolic Szczecina w latach 1963-2002 liczba wykazanych miesięcy suchych za pomocą wskaźników *RPI* i *SPI* była zgodna, natomiast różnice uwidaczniały się w ocenie nasilenia zjawiska (Kalbarczyk, Kalbarczyk 2005). Rozbieżności w ocenie intensywności suszy ukazała analiza wskaźnika Sielianinowa, którego wartości odbiegały od pozostałych wskaźników z powodu wykorzystania w identyfikacji również czynnika termicznego. Ocena dokonana za pomocą wskaźnika Sielianinowa dla Pojezierza Mazurskiego przyniosła podobne wyniki odnośnie identyfikacji okresów suchych w skali roku (Hutorowicz i in. 2008). Wykazano, iż susza na Pojezierzu Iławskim ma najczęściej miejsce w sierpniu oraz we wrześniu, podobnie jak średnio w Polsce, natomiast w Pozortach-Tomaszkowie w lipcu i sierpniu. Susze atmosferyczne w Koniczynie, gdzie zlokalizowana jest Zintegrowana Stacja Monitoringu Środowiska, ocenione metodą *SPI* najczęściej występowały w marcu (dwadzieścia jeden razy) i kwietniu (osiemnaście razy) (Bąk i in. 2012). Odpowiada to wynikom uzyskanym dla obszaru Polski, gdzie wszystkie susze wyznaczane za pomocą standaryzowanego indeksu opadów *SPI* najczęściej identyfikowano wiosną, w maju i kwietniu. W badaniach mających na celu porównanie wskaźników suszy atmosferycznej na obszarze województwa podkarpackiego w latach 1901-2000 wykazano, że między metodami *SPI*, jak i *RPI* występują zależności empiryczne, przy czym otrzymane współczynniki determinacji wyniosły 0,7-0,9 i powyżej (Ziarnicka-Wojtaszek 2012b). Wykazano również, że średnia częstość występowania miesięcy posusznych określona metodą względnego opadu *RPI* i standaryzowanego opadu *SPI* wynosi 32%, a określona metodą Sielianinowa – 30%.

Rozkład przestrzenny suszy w Polsce zmienia się w zależności od zastosowanego wskaźnika ze względu na kryteria wydzielania okresów posusznych. Zmienia się on również w zależności od intensywności suszy. Jak stwierdzili Farat i in. (1995) przebieg warunków atmosferycznych decyduje o głębokości i zasięgu obszarowym zjawiska suszy. Stosowanie wskaźnikowej oceny suszy pozwala jednakże na łatwą interpretację wyników i umożliwia porównanie ich w regionach o różnych warunkach klimatycznych (Tokarczyk 2008). Zasięg wyróżniających się pod względem niedoboru opadów na podstawie niniejszego opracowania jest zgodny z dotychczasowymi rezultatami. Obszary najbardziej suche to przede wszystkim środkowa Polska, ale susze występują częściej także na Nizinie Śląskiej i Podlaskiej oraz na wybrzeżu. Według Farata i in. (1994) rejonu Polski najczęściej nawiedzane przez susze to Wielkopolska

i Kujawy. Poza tym susze występują na Nizinie Śląskiej, Podgórzu Sudeckim oraz Nizinach – Mazowieckiej i Podlaskiej. Radzka (2015) stwierdziła, że okresy najbardziej suche i ekstremalnie suche występowały częściej w zachodniej części, a umiarkowane we wschodniej części środkowo-wschodniej Polski.

Podsumowując należy stwierdzić, że do wyznaczania występowania okresów suszy w kolejnych latach znaczenie wyboru wskaźnika jest mniejsze niż w przypadku wyznaczenia okresów o różnej intensywności suszy. Występowanie suszy atmosferycznej w Polsce w okresie wegetacyjnym jest bardzo zróżnicowane, stąd niekompletna i niewystarczająca jest ocena suszy na podstawie uśrednionych wartości wskaźników dla całego obszaru Polski.

L i t e r a t u r a

- Bartczak A., Glazik R., Tyszkowski S., 2014, Identyfikacja i ocena intensywności okresów suchych we wschodniej części Kujaw, *Nauka Przyroda Technologie*, 8 (4), #46
- Bartoszek K., 2014, Występowanie susz atmosferycznych w okolicy Lublina i ich uwarunkowania cyrkulacyjne, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio E: Agricultura*, 69 (4), 49-61
- Bąk B., Kejna M., Uscka-Kowalkowska J., 2012, Susze meteorologiczne w rejonie stacji ZMŚP w Koniczynie (Pojezierze Chełmińskie) w latach 1951-2010, *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 12 (2), 19-28
- Bąk B., Łabędzki L., 2002, Assessing drought severity with the relative precipitation index (*RPI*) and the standardized precipitation index (*SPI*), *Journal of Water and Land Development*, 6, 29-49
- Bąk B., Łabędzki L., 2008, Zależność między suszą meteorologiczną a rolniczą w uprawie buraka cukrowego w okresie wiosennym na glebach o różnej retencji użytecznej, *Acta Agrophysica*, 11 (2), 335-344
- Bąk B., Maszewski R., 2012, Typy cyrkulacji atmosfery w regionie bydgosko-toruńskim podczas długotrwałej suszy meteorologicznej w latach 1989-1998, *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 12 (4), 17-29
- Dębski K., 1953, Rozważania na temat metod przewidywania suszy, *Przegląd Meteorologiczny i Hydrologiczny*, 3-4, 96-113
- Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Mager P., 1994, Obszary o największej częstości występowania susz w Polsce, *Gazeta Obserwatora IMGW*, 6
- Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Mager P., 1995, Susze na obszarze Polski w latach 1951-1990, *Materiały Badawcze IMGW. Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód*, 16, 140 s.
- 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), 107-119

- Hutorowicz H., Grabowski J., Olba-Zięty E., 2008, Częstotliwość występowania okresów posusznych i suchych w dwóch mezoregionach Pojezierza Mazurskiego, *Acta Agrophysica*, 12 (3), 663-673
- Ilnicki P., Farat R., Górecki K., Lewandowski P., 2012, Mit stepowienia Wielkopolski w świetle wieloletnich badań obiegu wody, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Poznań, 397 s.
- Kalbarczyk E., Kalbarczyk R., 2005, Identyfikacja okresów suszy atmosferycznej w okolicy Szczecina w latach 1963-2002, *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 5 (14), 171-183
- Kanecka-Geszke E., Smarzyńska K., 2007, Ocena suszy meteorologicznej w wybranych regionach agroklimatycznych Polski przy użyciu różnych wskaźników, *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumietus*, 6 (2), 41-50
- Koźmiński C., Kalbarczyk R., 2004, Okresy bezopadowe, [w:] *Atlas zasobów i zagrożeń klimatycznych Pomorza*, C. Koźmiński, B. Michalska (red.), Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Szczecin, s. 60
- Kręgiel B., Jarośnińska E., 2009, Obecny stan monitoringu zjawiska suszy w Polsce i na świecie, *Czasopismo Techniczne. Środowisko*, 106 (3-Ś), 87-99
- Lorenc H., 2011, Susze i opady ekstremalne w Polsce, seminarium PK GWP, dostępne online: <http://gwppl.org/data/uploads/prezentacje/Susze%20i%20opady%20maksymalne%20w%20Polsce.pdf> (22.03.20118)
- Łabędzki L., 2006, Susze rolnicze - zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji, *Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie*, 17, 107 s.
- Łabędzki L., 2007, Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index *SPI*, *Irrigation and Drainage*, 56, 67-77, DOI: 10.1002/ird.285
- Łabędzki L., Bąk B., 2004, Standaryzowany klimatyczny bilans wodny jako wskaźnik suszy, *Acta Agrophysica*, 3 (1), 117-124
- Łabędzki L., Bąk B., 2014, Meteorological and agricultural drought indices used in drought monitoring in Poland: a review, *Meteorology, Hydrology and Water Management*, 2 (2), 3-13, DOI: 10.26491/mhwm/34265
- Łabędzki L., Bąk B., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K., 2008, Związek między suszą meteorologiczną i rolniczą w różnych regionach agroklimatycznych Polski, *Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie*, 25, 136 s.
- Mager P., Kuźnicka M., Kępińska-Kasprzak M., Farat R., 1999, Zmiany natężenia i częstości pojawiania się susz w Polsce (1891-1995), [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski: ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka*, A. Dubicki i in. (red.), IMGW, Warszawa, 159-164
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, [w:] *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17 (22), 179-183

- Pianko-Kluczyńska K., 2013, The relationship between the state of the stratosphere and the occurrence of meteorological drought in Poland, *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (5), 561-567, DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0446
- Piotrowski P., 2010, Uwarunkowania cyrkulacyjne susz wiosennych w Polsce, [w:] *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki termiczne i opadowe*, E. Bednorz (red.), Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 147-158
- Przedpelska W., 1971, Zagadnienie susz atmosferycznych w Polsce i metody ich określania, *Prace PIHM*, 103, 3-24
- Puła J., Skowera B., 2004, Skrajne warunki pluwiometryczne w okresie wiosennym, *Acta Agrophysica*, 3 (1), 171-177
- Radzka E., 2015, The Assessment of atmospheric drought during vegetation season (according to standardized precipitation index *SPI*) in central-eastern Poland, *Journal of Ecological Engineering*, 16 (1), 87-91
- Quiring S.M., Papakryiakou T.N., 2003, An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies, *Agricultural and Forest Meteorology*, 118 (1-2), 49-62, DOI: 10.1016/S0168-1923(03)00072-8
- Somorowska U., 2016, Changes in drought conditions in Poland over past 60 years evaluated by the standardized precipitation-evapotranspiration index, *Acta Geophysica*, 64 (60), 2530-2549
- 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, [w:] *Materiały konferencyjne z XXV Zjazdu Agrometeorologów*, Olsztyn-Mierki, 27-29.09, Z. Szwejkowski (red.), Wydawnictwo ART., Olsztyn, 169-178
- Vermes L., 1998, How to work out a drought mitigation strategy. An ICID Guide, DVWK Guidelines for Water Management, Bonn, 309 s.
- Wibig J., 2012, Warunki wilgotnościowe w Polsce w świetle wskaźnika standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego, *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 12 (2), 329-340
- Ziarnicka-Wojtaszek A., 2012a, Cyrkulacyjne uwarunkowania susz rolniczych w województwie podkarpackim, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2, 153-162
- Ziarnicka-Wojtaszek A., 2012b, Porównanie wybranych wskaźników oceny suszy atmosferycznej na obszarze województwa podkarpackiego (1901-2000), *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 12 (2), 365-376

S t r e s z c z e n i e

Suszę atmosferyczną określa się często poprzez analizę niedoboru opadów na danym obszarze w badanym przedziale czasowym. Do identyfikacji suszy służą różne wskaźniki, z których w niniejszym opracowaniu wybrano: wskaźnik standaryzowanego opadu *SPI* (ang. *Standardized Precipitation Index*), wskaźnik względnego opadu *RPI*

(ang. *Relative Precipitation Index*) i wskaźnik hydrotermiczny *K* Sielanianowa. W opracowaniu wykorzystano dane dotyczące średniej dobowej temperatury powietrza oraz dobowej sumy opadów atmosferycznych z trzydziestu stacji IMGW-PIB w miesiącach od kwietnia do października z lat 1966-2015. Dokonano oceny okresu wegetacyjnego w kolejnych latach pod względem niedoboru opadów przy wykorzystaniu wybranych wskaźników w badanym okresie, przedstawiono liczbę miesięcy charakteryzujących się suszą o różnym stopniu nasilenia, ich udział w okresie wegetacyjnym oraz zróżnicowanie przestrzenne na badanym obszarze. Należy stwierdzić, że do wyznaczania występowania okresów suszy w kolejnych latach znaczenie wyboru wskaźnika jest mniejsze niż w przypadku wyznaczenia okresów o różnej intensywności suszy. Występowanie suszy atmosferycznej w Polsce w okresie wegetacyjnym jest bardzo zróżnicowane, stąd niekompletna i niewystarczająca jest ocena suszy na podstawie uśrednionych wartości wskaźników dla całego obszaru Polski.

Słowa kluczowe: susza, *SPI*, *RPI*, wskaźnik *K* Sielanianowa, Polska.

S u m m a r y

Atmospheric drought is often referred to by analyzing the rainfall deficit in a given area for a specified period. Different indicators are used to identify the drought, from which the Standardized Precipitation Index (*SPI*), Relative Precipitation Index (*RPI*) and the hydrothermal *K* Sielanianov Index have been selected. The data of average daily air temperature and daily precipitation totals from 30 IMGW-PIB stations in April-October from years 1966-2015 were used. An assessment of the growing period in the following years in terms of rainfall shortage using selected indicators over the analyzed period showed the number of months characterized by varying degrees of severity of drought, their share in the growing period and spatial variation in the studied area. It should be noted that to determine the occurrence of drought periods in subsequent years, the significance of the indicator choice is smaller than when drought intensities are determined. The occurrence of atmospheric drought in Poland during the vegetation period is very diverse, hence the drought assessment based on averaged values of indicators for the whole area of Poland is incomplete and insufficient.

Key words: drought, *SPI*, *RPI*, the *K* Sielanianov Index, Poland.