

Wpłynęło 28.10.2011 r.
Zrecenzowano 17.01.2012 r.
Zaakceptowano 10.04.2012 r.

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

PORÓWNANIE WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW OCENY SUSZY ATMOSFERYCZNEJ NA OBSZARZE WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO (1901–2000)

Agnieszka ZIERNICKA-WOJTASZEK ^{ABCDEF}

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza

Streszczenie

Na podstawie średnich ważonych z lat 1901–2000 wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego (kwiecień–październik) w województwie podkarpackim, określono natężenie suszy atmosferycznej w każdym miesiącu, przez obliczenie wskaźnika względnego opadu *RPI*, wskaźnika standaryzowanego opadu *SPI* i wskaźnika hydrotermicznego Sielianinowa *K*. W oparciu o zebrane z tego okresu komunikaty rolniczometeorologiczne o stanie upraw, metodą kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji ważniejszych roślin uprawnych, wyodrębniono miesiące suche, w których stan roślin był mierny i zły na skutek niedostatecznego uwilgotnienia. Wykazano, że średnia częstość występowania miesięcy posusznych określona metodą względnego opadu *RPI* i standaryzowanego opadu *SPI* wynosi 32%, określona metodą Sielianinowa – 30%, a wg kalendarza warunków pluwiotermicznych wegetacji roślin uprawnych – 27%. Przyjmując za reperową metodę kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji roślin uprawnych można zauważyć, że początek suszy poniżej 74% opadu normalnego zaznacza się tylko w maju i czerwcu, a w pozostałych miesiącach nieco poniżej tej wartości. Według metody *SPI* za początek suszy na badanym obszarze należy uznać wartość wskaźnika $-0,8$. Metoda Sielianinowa jest najbardziej zgodna z kalendarzem warunków meteorologicznych wegetacji ważniejszych roślin uprawnych. Między trzema badanymi metodami występuje ścisła współzależność, o czym świadczą wysokie współczynniki determinacji, rzędu 0,90.

Słowa kluczowe: susze, porównanie metod, województwo podkarpackie

WSTĘP

Posuchy, jak i inne meteorologiczne zjawiska ekstremalne będące konsekwencją naturalnej zmienności klimatu, obok wydarzeń politycznych i religijnych, były jednym z częstszych tematów kronikarskich zapisów u początków naszej państwowości. Liczne fragmenty oryginalnych źródeł historycznych w tłumaczeniu na archaizowaną polszczyznę, mówiące o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologicznych i meteorologicznych, w tym suszach pojawiających się na ziemiach polskich do XVI w., zebrali GIRGUŚ i STRUPCZEWSKI [1965]. Niejako dalszym ciągiem tych zapisów są kroniki BUJAKA [1976] i jego uczniów, którzy uważali, że w celu poznania historii społeczno-gospodarczej Polski niezbędne jest opracowanie, dotyczące klęsk elementarnych, które nawiedzały tereny państwa polskiego w czasach nowożytnych. Powstały więc kroniki obejmujące lata 1450–1700 oraz lata 1772–1848 w Galicji. Sporządzono również rejestr ekstremalnych zjawisk meteorologicznych, tj. powodzi, ostrych zim, a także – będących przedmiotem opracowania – susz, występujących na terenie Dolnego Śląska od XVI do połowy XIX w. [INGLOT 1968].

Udaną próbą kontynuacji tego nurtu badań, nie tylko z pozycji historii gospodarczej, ale i klimatologii, jest opracowanie WNEKA [1999] pt. „Dzieje klimatu Galicji w latach 1848–1913 – wpływ zjawisk meteorologicznych na społeczno-gospodarczy rozwój Galicji”. W pracy, oprócz metod właściwych historii gospodarczej, stosuje się równolegle wyniki obserwacji meteorologicznych ze stacji Kraków Obserwatorium Astronomiczne UJ, reprezentatywnej dla obszaru całej Galicji. Nieznacznie wcześniej, bo w roku 1993, ukazał się, w tłumaczeniu na język angielski, „Kalendarz warunków meteorologicznych wegetacji roślin uprawnych w Polsce południowo-wschodniej” autorstwa ZAWORY [1993], obejmujący lata 1901–1990, uzupełniony później przez autora o ostatnią dekadę XX w. Kalendarz zawiera zarówno średnie obszarowe wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych z poszczególnych miesięcy okresu wegetacyjnego (kwiecień–październik), jak również sformalizowane informacje o stanie roślin uprawnych oraz warunkach meteorologicznych wykonywania prac polowych i sprzętu roślin uprawnych, z podziałem na zboża ozime i jare, rośliny okopowe i użytki zielone w warunkach produkcyjnych, pozyskane na podstawie relacji korespondentów rolnych na koniec każdego miesiąca. Konfrontacja wyników obserwacji pluwiometrycznych i informacji o stanie upraw umożliwiła określenie krytycznych wartości temperatury powietrza i opadów atmosferycznych, w warunkach których następuje pogorszenie stanu roślin uprawnych z powodu niesprzyjających warunków meteorologicznych, w tym przypadku z powodu suszy.

Obecnie tego typu spostrzeżenia i obserwacje, właściwe metodom historii gospodarczej, są raczej uzupełnieniem informacji o ekologicznych i gospodarczych skutkach zjawiska suszy. Susze identyfikuje się i monitoruje za pomocą różnorodnych wskaźników meteorologiczno-rolniczych, jak np. ciągi dni bez opadu [KOŹ-

MIŃSKI 1986; SCHMUCK 1969], prawdopodobieństwo nieprzekroczenia określonej sumy opadu [MARCILONEK i in. 1980], wskaźniki względnego [KACZOROWSKA 1962; PRZEDPEŁSKA 1971] i standaryzowanego opadu [BAK, ŁABĘDZKI 2002], różnego rodzaju klimatyczne bilanse wodne, uwzględniające – oprócz wartości opadów atmosferycznych – również warunki ewapotranspiracji bądź parowania [BAC 1982] oraz wartości niedoborów wodnych roślin. Przegląd stosowanych metod można znaleźć w starszym opracowaniu PRZEDPEŁSKIEJ [1971], oraz w aktualnym i obszernym opracowaniu problematyki susz w Polsce z uwzględnieniem osiągnięć literatury światowej ŁABĘDZKIEGO [2006] oraz ŁABĘDZKIEGO i in. [2008].

Od dwudziestu kilku lat susze są przedmiotem wzmożonego zainteresowania badaczy, zwłaszcza klimatologów, hydrologów i rolników. Jest to spowodowane wyraźnym ociepleniem klimatu, jakie zaznaczyło się szczególnie w ostatnich dekadach XX w. [KOŻUCHOWSKI, ŻMUDZKA 2001], nie tylko na obszarze Polski, ale i w skali globalnej. Sygnalizowane jest także zwiększenie częstości występowania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych, w tym susz. Zgromadzenie Ogólne Narodów Zjednoczonych przyjęło uchwałę proklamującą lata 1990–2000 Międzynarodową Dekadą Zapobiegania Klęskom Żywiolowym.

Nowym podejściem w charakterystyce zjawiska suszy jest standaryzacja jej parametrów i wskaźników: opadów, ewapotranspiracji i bilansów wodnych, co umożliwia porównywalną ocenę zjawiska w różnych warunkach klimatycznych i okresach [ŁABĘDZKI, BAK 2002; ŁABĘDZKI 2006]. Równie ważnym problemem jest poszukiwanie ilościowych relacji między suszą atmosferyczną i rolniczą oraz przydatność wskaźników suszy atmosferycznej, określanej na podstawie elementów mierzonych na stacjach konwencjonalnych lub automatycznych, do określania intensywności suszy rolniczej. Wreszcie należy wspomnieć o teledetekcyjnych wskaźnikach stanu roślinności również wykorzystywanych do monitorowania zjawiska suszy. Wobec dużej ilości opracowań wykonanych różnymi metodami, częstym podejściem badawczym jest porównywanie metod identyfikacji susz kilkoma metodami jednocześnie i krytyczna ocena tych metod [ŁABĘDZKI 2006; PRZEDPEŁSKA 1971; PUKAL 2009].

Celem przedstawionego opracowania jest porównanie czterech wybranych metod oceny suszy na obszarze obecnego województwa podkarpackiego w 100-letnim okresie 1901–2000. Trzy z nich dotyczyły suszy meteorologicznej, a jedna rolniczej. Szukano odpowiedzi na następujące pytania: jaka jest częstość występowania susz identyfikowanych porównywanymi metodami w poszczególnych miesiącach, czy początek suszy według kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji jest zgodny z początkiem suszy według literaturowych wskaźników, jakie są wzajemne zależności między parametrami suszy meteorologicznej oraz czy, w świetle porównywanych metod, można zaobserwować zwiększenie częstości występowania susz w ostatnich latach w związku z postępami globalnego ocieplenia.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Na podstawie danych ze stacji o długoletnim ciągu obserwacji, znajdujących się na obszarze dzisiejszego województwa podkarpackiego (poprzednio krośnieńskiego, przemyskiego i rzeszowskiego, w okresie powojennym – rzeszowskiego, w okresie międzywojennym – zachodniej części województwa lwowskiego i wschodniej krakowskiego, przed I wojną światową – terenów pogranicznych Galicji Wschodniej i Zachodniej), takich jak stacje w: Tarnowie, Głogowie, Rzeszowie, Jarosławiu, Zdanowie i Lesku, po ujednoczeniu i sprawdzeniu materiału, obliczono średnie ważone obszarowe wartości temperatury i opadów atmosferycznych w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego (od kwietnia do października) stulecia 1901–2000. Operowanie średnimi obszarowymi było konieczne ze względu na to, że wykorzystane komunikaty o stanie upraw i warunkach wykonywania prac polowych i sprzętu ważniejszych roślin uprawnych na koniec miesiąca dotyczyły jednostek administracyjnych rządu dzisiejszych województw. Takie podejście z jednej strony uniemożliwiało badanie zmienności regionalnej zjawiska na zróżnicowanym fizjograficznie i klimatycznie obszarze, z drugiej jednak – stwarzało szansę uzyskania porównywalnych informacji o warunkach pluwiotermicznych wegetacji ważniejszych roślin uprawnych w warunkach produkcyjnych w nieprzerwanym okresie 100-letnim całego XX w.

Komunikaty o stanie roślin uprawnych były opracowywane już od końca XIX w. przez ówczesne Towarzystwa Rolnicze w Galicji – Krakowskie i Lwowskie, Centralne Towarzystwo Rolnicze w Królestwie Polskim z siedzibą w Warszawie, a po odzyskaniu niepodległości – przez GUS, Rolnicze Zakłady Doświadczalne, PIM, IUNG, PIHM, IMGW i publikowane w ogólnopolskich oraz regionalnych czasopismach i biuletynach o treści meteorologicznej, rolniczej i statystycznej takich jak: Tygodnik Rolniczy (1901–1919), Rolnik (1901–1939), Gazeta Rolnicza (1901–1939), Kwartalnik Statystyczny (1923–1939), Doświadczalnictwo Rolnicze (1926–1928), Miesięcznik Statystyczny (1919–1921), Wiadomości Meteorologiczne (1921–1939), Wiadomości Korespondenta Rolnego GUS (1932–1939 i 1945–1951), Wyniki doświadczeń terenowych z województwa rzeszowskiego (1950–1955), Statystyka Regionalna (1956–1967), Biuletyn Doświadczalnictwa Terenowego IUNG w woj. rzeszowskim (1958–1967), Biuletyn Agrometeorologiczny (1967–1999), Miesięczny Przegląd Agrometeorologiczny (1967–1999) i Dekadowy Biuletyn Agrometeorologiczny (1999–2000).

Korespondenci rolni oceniali zazwyczaj stan roślin uprawnych w stopniach kwalifikacyjnych 1–5. Jeśli stan roślin uprawnych pod koniec miesiąca był mierny (2) lub zły (1) warunki meteorologiczne kwalifikowano jako niekorzystne dla wegetacji – między innymi z powodu niedostatku opadów, niekiedy dodatkowo połączonego ze zbyt niskimi lub wysokimi wartościami temperatury powietrza. Konfrontacja miesięcznych wartości temperatury powietrza i miesięcznych sum opadów atmosferycznych z treścią komunikatów rolniczo-meteorologicznych, uśred-

nioną dla 4 grup roślin uprawnych (zboź jarych, zboź ozimych, roślin okopowych i użytków zielonych) umożliwiła ustalenie krytycznych wartości opadów atmosferycznych, od których w warunkach produkcyjnych rozpoczyna się zjawisko suszy rolniczej na badanym obszarze.

Dysponując miesięcznymi wartościami temperatury i opadów określono częstość występowania i natężenie suszy atmosferycznej metodami: względnego opadu *RPI* [PRZEDPEŁSKA 1971], standaryzowanego opadu *SPI* [LABĘDZKI, BĄK 2002] i Sielianinowa *K* [CHERSZKOWICZ 1973]. W metodzie *RPI*, w zależności od procentowego udziału opadów w danym miesiącu w odniesieniu do wartości średniej z wielolecia w tym miesiącu (do 25%, 25–49% i 50–74%), określa się rozpatrywany miesiąc jako skrajnie suchy, bardzo suchy bądź suchy. Wskaźnik standaryzowanego opadu obliczono wg równania $SPI = (P^{1/3} - \mu)/\sigma$, gdzie *P* oznacza miesięczną sumę opadów atmosferycznych, μ – wartość średnią znormalizowanego ciągu opadów z wielolecia, σ – średnie odchylenie standardowe znormalizowanego ciągu opadów z wielolecia. W zależności od wartości wskaźnika ($SPI \leq -2,0$; $-1,99 < SPI \leq -1,50$; $-1,49 < SPI \leq -0,50$) wyróżnia się miesiące o suszy ekstremalnej, silnej i umiarkowanej. Współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa, będący miarą efektywności opadu w danym miesiącu ma postać: $K = 10P/\Sigma t$, gdzie *P* oznacza miesięczną sumę opadów, a Σt – sumę dobowych wartości temperatury powietrza w danym miesiącu. W zależności od wartości współczynnika ($<0,4$, $0,4-0,7$, $0,8-1,0$ i $1,1-1,3$) wyróżnia się miesiące skrajnie suche, bardzo suche, suche i dość suche.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Z analizy częstości występowania susz klasyfikowanych wszystkimi metodami, niezależnie od stopnia ich nasilenia, wynika że przeciętnie susze na badanym obszarze występują z częstością 30%. Największa (32%) jest częstość susz klasyfikowanych metodą względnego i standaryzowanego opadu, nieco mniejsza (30%) – metodą współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa, a najmniejsza (27%) – metodą kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji ważniejszych roślin uprawnych (tab. 1). Susza określona metodą kalendarza najczęściej występowała w maju i kwietniu (34 i 33%), metodą względnego opadu *RPI* – w październiku i kwietniu (41 i 39%), metodą standaryzowanego opadu *SPI* – w kwietniu, czerwcu i październiku (38, 33 i 33%), a metodą współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa – we wrześniu i październiku (43 i 37%).

Interesujące jest porównanie wartości, od których – według różnych metod – rozpoczyna się susza. Początek suszy określony metodą względnego opadu *RPI* przypada, niezależnie od miesiąca, na wartość opadu równą i niższą niż 74% opadu normalnego. W metodzie kalendarza warunków meteorologicznych w każdym miesiącu ta granica jest inna. Tylko w maju i czerwcu wyniki obu metod były zgo-

Tabela 1. Częstość występowania susz atmosferycznych (%) w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego na obszarze województwa podkarpackiego określona różnymi metodami (1901–2000)

Table 1. Percent frequency of atmospheric droughts in the Podkarpackie Province determined by various methods (1901–2000)

Metoda Method	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Średnia Mean
Kalendarz Calendar	33	34	28	23	21	23	26	26,9
<i>RPI</i>	39	26	25	32	27	36	41	32,3
<i>SPI</i>	38	27	33	32	30	28	33	31,6
<i>K</i>	19	26	25	28	34	43	37	30,3

Objaśnienia: *RPI* – wskaźnik względnego opadu, *SPI* – wskaźnik standaryzowanego opadu, *K* – wskaźnik hydrotermiczny Sielianinowa.

Explanations: *RPI* – relative precipitation index, *SPI* – standardized precipitation index, *K* – hydro-meteorological index of Sielianinow.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

dne, w pozostałych miesiącach natomiast susza zaczynała się poniżej 74% opadu normalnego. W lipcu i sierpniu były to odpowiednio wartości 65 i 64%, a w kwietniu już 59%. W październiku różnica między dwoma metodami była największa i wynosiła 25%, a susza określona metodą kalendarza rozpoczynała się w warunkach opadów, stanowiących zaledwie 49% normy średniej wieloletniej (tab. 2).

Tabela 2. Początek suszy według metod *RPI*, *SPI* i Sielianinowa w porównaniu z wartościami wg kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji ważniejszych roślin uprawnych

Table 2. The beginning of drought according to *RPI*, *SPI* and Sielianinow methods compared with the values in the calendar of meteorological conditions of vegetation for more important crop plants

Początek suszy wg metody The beginning of drought acc. to method	Początek suszy wg kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji ważniejszych roślin uprawnych The beginning of droughts according to the calendar of meteorological conditions of vegetation for more important crop plants						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>RPI</i> – 74%	59	74	74	65	64	57	49
<i>SPI</i> – –0,5	–0,9	–0,7	–0,8	–0,8	–1,0	–0,9	–0,7
<i>K</i> – 1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	1,1	0,9	0,9

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Wartości, określające początek suszy metodą kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji najbardziej odbiegają od wartości współczynników, określających początek suszy w metodzie *SPI*. Są one bardziej zbliżone do wartości –1,0, przyjmowanej pierwotnie przez autorów metody za górną granicę przedziału klasy

suszy umiarkowanej, zmienionej na $-0,5$, w celu zwiększenia wykrywania susz łagodnych.

Według kalendarza, w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego susza rozpoczynała się przy różnych wartościach wskaźnika *SPI*. Najbardziej zbliżone do krytycznej $-0,5$ były wartości $-0,7$ notowane w maju i październiku. Nieco większe różnice wystąpiły w czerwcu i lipcu ($-0,8$) oraz w kwietniu i wrześniu ($-0,9$). Największa różnica wystąpiła w sierpniu, kiedy to wartość określona metodą kalendarza ($-1,0$) była dwukrotnie większa od określonej metodą *SPI* (tab. 2).

Największą zgodność z kalendarzem warunków meteorologicznych wegetacji roślin uprawnych wykazano w przypadku metody Sielianinowa. W tej metodzie posucha rozpoczyna się, gdy wartość współczynnika osiągnie $1,1$. Porównując wyniki metody kalendarza i Sielianinowa można zaobserwować ich zupełną zgodność w lipcu i sierpniu. W pozostałych miesiącach okresu wegetacyjnego wartości minimalnie odbiegały od siebie. Maj i czerwiec to okres, w którym susza wg kalendarza zaczynała się, gdy wartości współczynnika wynosiły $1,2$, natomiast w kwietniu $-1,0$. Największą różnicę odnotowano we wrześniu i w październiku, kiedy warunki niekorzystne z powodu niedoboru opadu wg kalendarza zaczynały się, gdy współczynnik Sielianinowa wynosił $0,9$ (tab. 2).

Istnieją ściśle zależności empiryczne między wskaźnikami suszy atmosferycznej na badanym obszarze, najściślej między wskaźnikiem *RPI* a *SPI* ($R^2 \sim 0,99$). Współczynniki determinacji R^2 zależności między *RPI* a *K* oraz *SPI* a *K* w poszczególnych miesiącach wynoszą od $0,7$ do $0,9$ (tab. 3). Zależności te są najsilniejsze od czerwca do września.

W celu sprawdzenia tezy o zwiększaniu się częstości występowania susz wraz z postępującym ociepleniem klimatu porównano te częstości w dwu 15-leciach ostatniego 30-lecia XX w. Były to okresy 1971–1985 i 1986–2000. W tym ostatnim okresie ocieplenie było bardzo wyraźne. Przeciętna częstość występowania suszy, niezależnie od miesiąca i kategorii jej natężenia, wynosiła w pierwszym i drugim rozpatrywanym okresie odpowiednio $0,30$ i $0,34$ wg wskaźnika *RPI*, $0,24$ i $0,31$ wg wskaźnika *SPI* i $0,27$ i $0,33$ wg wskaźnika *K*. Oznacza to, na przykładzie wskaźnika *SPI*, że w latach 1971–1985 suchy był co czwarty rok, natomiast w następnym 15-leciu – prawie co trzeci rok. Według kalendarza różnica jest nieco mniej wyraźna, ponieważ częstość susz wynosiła odpowiednio $0,23$ i $0,24$. Warto jednak zauważyć, że w okresie 1971–1985 nie notowano przypadków niedostatecznych opadów w połączeniu z ekstremalnie wysoką temperaturą powietrza, natomiast w okresie 1986–2000 zanotowano trzy takie przypadki. I odwrotnie, o ile w 15-leciu 1971–1986 zanotowano 6 przypadków niedostatecznych opadów w połączeniu ze zbyt niską temperaturą powietrza, to w następnym 15-leciu zanotowano jedynie dwa takie przypadki.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych porównań można zauważyć, że duża zmienność warunków meteorologicznych, szczególnie opadów atmosferycznych,

Tabela 3. Zależności empiryczne między wskaźnikami suszy meteorologicznej na obszarze województwa podkarpackiego (1901–2000)
Table 3. Empirical relationships between meteorological drought indices in the Podkarpackie Province (1901–2000)

Miesiąc Month	Zależności między Empirical relationships between		
	$RPI - SPI$	$RPI - K$	$SPI - K$
IV	$y = -5E - 05 x^2 + 0,0335 x - 2,6969$ $R^2 = 0,9963$	$y = -5E - 05 x^2 + 0,0346 x - 0,4504$ $R^2 = 0,7374$	$y = 0,0478 x^2 + 1,0939 x + 2,3693$ $R^2 = 0,7364$
V	$y = -9E - 05 x^2 + 0,0446 x - 3,454$ $R^2 = 0,9953$	$y = 8E - 06 x^2 + 0,0193 x - 0,119$ $R^2 = 0,8971$	$y = 0,1223 x^2 + 0,8279 x + 1,7724$ $R^2 = 0,8975$
VI	$y = -8E - 05 x^2 + 0,0446 x - 3,5276$ $R^2 = 0,9966$	$y = -8E - 07 x^2 + 0,0208 x - 0,1298$ $R^2 = 0,9583$	$y = 0,0998 x^2 + 0,7564 x + 1,8287$ $R^2 = 0,9588$
VII	$y = -7E - 05 x^2 + 0,0369 x - 2,8963$ $R^2 = 0,9967$	$y = 7E - 06 x^2 + 0,0185 x - 0,0268$ $R^2 = 0,9819$	$y = 0,1511 x^2 + 0,9039 x + 1,7596$ $R^2 = 0,9809$
VIII	$y = -9E - 05 x^2 + 0,0444 x - 3,426$ $R^2 = 0,9976$	$y = 7E - 06 x^2 + 0,0161 x - 0,0177$ $R^2 = 0,9772$	$y = 0,0974 x^2 + 0,6876 x + 1,5668$ $R^2 = 0,9767$
IX	$y = -7E - 05 x^2 + 0,0351 x - 2,6984$ $R^2 = 0,9945$	$y = 4E - 05 x^2 + 0,0088 x + 0,1997$ $R^2 = 0,9587$	$y = 0,2375 x^2 + 0,9382 x + 1,3979$ $R^2 = 0,9478$
X	$y = -5E - 05 x^2 + 0,0266 x - 2,0069$ $R^2 = 0,9791$	$y = 3E - 05 x^2 + 0,0171 x + 0,067$ $R^2 = 0,8411$	$y = 0,4587 x^2 + 1,627 x + 1,7612$ $R^2 = 0,8336$

Objaśnienia: R^2 – współczynnik determinacji; pozostałe, jak pod tabelą 1.

Explanations: R^2 – coefficient of determination; other as in Tab. 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

w poszczególnych latach i miesiącach, powodująca występowanie posuch atmosferycznych stwarza konieczność szybkiej i prostej oceny wysokości opadów, najlepiej w odniesieniu do normy średniej wieloletniej. Tak więc metoda *RPI* pozostaje metodą bieżącej, szybkiej oceny niedoborów wodnych, jednak cytowane w literaturze wartości opadów, poniżej których zaczyna się ich niedobór [PRZEDPELSKA 1971] nie mogą być uniwersalne i mają tylko regionalne znaczenie. Ze względu na znaczny udział obszarów górskich i pogórskich w obszarze województwa podkarpackiego, krytyczne wartości opadów, od których zaczyna się ich niedostatek dla większości roślin uprawnych wynoszą przeważnie mniej niż 74%. Sygnalizowane w literaturze zwiększenie częstości występowania susz w ostatnich kilkudziesięciu latach jest spowodowane nie tyle zmniejszeniem się sumy opadów, ile raczej udokumentowanym zwiększeniem współczynnika zmienności opadów [KOŻUCHOWSKI 1996] i wzrostem temperatury [ŻMUDZKA 2004]. Zastosowane w opracowaniu metody, zwłaszcza *RPI* i *SPI*, są wrażliwe na zmienność opadów, a metoda Sieliana nowa jest również wrażliwa na wzrost wartości temperatury powietrza.

Od roku 2005 jest w Polsce wdrażany system ubezpieczeń upraw rolnych i zwierząt gospodarskich z dofinansowaniem z budżetu państwa do składek producentów rolnych z tytułu zawarcia umów ubezpieczenia m.in. od ryzyka wystąpienia szkód, w produkcji roślinnej (tj. uprawach zbóż, kukurydzy, rzepaku, rzepiku, chmielu, tytoniu, warzyw gruntowych, drzew i krzewów owocowych, truskawek, ziemniaków, buraków cukrowych i roślin strączkowych) spowodowanych przez huragan, powódź, deszcz nawalny, grad, piorun, obsunięcie się ziemi, lawinę, suszę, ujemne skutki przezimowania oraz przymrozki wiosenne. Ustawa z dnia 7 lipca 2005 r. [Ustawa... 2005] po raz pierwszy wprowadziła prawną definicję suszy, autorstwa Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. W myśl ustawy „susza – oznacza szkody spowodowane wystąpieniem, w dowolnym sześciodekadowym okresie od dnia 1 kwietnia do dnia 30 września, spadku klimatycznego bilansu wodnego poniżej wartości określonej dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb”. Wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych upraw, faz rozwojowych i gleb ustalono w drodze rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi [Rozporządzenie... 2010]. System ma za zadanie wskazać obszary, na których potencjalnie wystąpiły straty spowodowane warunkami suszy w uprawach uwzględnionych w ustawie o dopłatach do ubezpieczeń upraw rolnych i zwierząt gospodarskich w Polsce. Wobec faktu, że funkcjonowanie systemu pociąga za sobą określone, niejednokrotnie trudne do przewidzenia skutki finansowe dla firm ubezpieczeniowych, istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań zjawiska suszy, lepszego jej powiązania z postęпами i skutkami globalnego ocieplenia na obszarze Polski, a także z zachodzącymi zmianami w systemach uprawy i poziomie stosowanej agrotechniki.

WNIOSKI

1. Częstość występowania miesięcy suchych na obszarze województwa podkarpackiego wg kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji roślin uprawnych można określić na 27%. Częstość susz meteorologicznych jest nieco większa – 30% wg metody Sielianinowa i 32% wg metod *RPI* i *SPI*.

2. Przyjmując za reperową metodę kalendarza warunków meteorologicznych wegetacji roślin uprawnych – początek suszy meteorologicznej można określić na 74% opadu normalnego w maju i czerwcu w metodzie *RPI*, w pozostałych miesiącach – w granicach 49–65% normy. W metodzie *SPI* jest to wartość wskaźnika rzędu –0,8, w metodzie Sielianinowa – rzędu 1,1, zgodna z wartością powszechnie przyjmowaną.

3. Między metodami istnieją ściśle zależności empiryczne, a otrzymane wartości współczynników determinacji wynoszą 0,7–0,9 i powyżej.

4. Niezależnie od stosowanej metody obserwuje się zwiększenie częstości występowania suszy meteorologicznej o 12–13% w porównywanych 15-leciach 1971–1985 i 1986–2000.

LITERATURA

- BAC S. (red.) 1982. Agroklimatyczne podstawy melioracji wodnych w Polsce. Warszawa. PWRiL. ISBN 83-09005-16-4 ss. 312.
- BAK 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*. No 6 s. 89–105.
- BUJAK F. 1976. Wybór pism. Red. H. Madurowicz-Urbańska. Warszawa. PWN ss. 634.
- CHERSZKOWICZ E. 1971. Agrarklimatische Rayonierung von fünf landwirtschaftlichen Hauptkulturen auf dem Territorium der sozialistischen Länder Europas. Sofia. Bolgarskaja Akademia Nauk ss. 122.
- GIRGUŚ R., STRUPCZEWSKI W. 1965. Wyjątki ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meteorologicznych na ziemiach Polskich w wiekach od X do XVI. Warszawa. PIHM ss. 214.
- INGLOT S. 1968. Zjawiska klimatyczno-meteorologiczne na Śląsku od XVI do połowy XIX wieku. *Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego*. Ser. B 139 s. 9–52.
- KACZOROWSKA Z. 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Geograficzne*. IG PAN. Z. 33 ss. 113.
- KOŻUCHOWSKI K. 1996. Współczesne zmiany klimatyczne w Polsce na tle zmian globalnych. *Przegląd Geograficzny*. T. 68. Z. 1–2 s. 79–98.
- KOŻUCHOWSKI K., ŻMUDZKA E. 2001. Ocieplenie w Polsce: Skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. *Przegląd Geofizyczny*. T. 46. Z. 1–2 s. 81–90.
- KOZMIŃSKI C. 1986. Przestrzenny i czasowy rozkład okresów bezopadowych trwających ponad 15 dni na terenie Polski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 268 s. 17–36.
- ŁABĘDZKI L. 2006. Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie*. Nr 17. ISBN 83-88763-63-6 ss. 107.

- ŁABĘDZKI L., BĄK B. 2002. Monitoring suszy za pomocą wskaźnika standaryzowanego opadu. Woda Środowisko Obszary Wiejskie. T. 2. Z. 2(5) s. 9–19.
- 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. Nr 25. ISBN 978-83-61875-03-1 ss. 137.
- MARCILONEK S., KOSTRZEWA S., PŁYWACZYK A. 1980. Oddziaływanie drenowania na stosunki wodne gleb ornych średnio związłych w latach 1970–1978. Zeszyty Naukowe AR Wrocław. Melioracje. Z. 23. Nr 128 s. 81–84.
- PRZEDPELSKA W. 1971. Zagadnienie susz atmosferycznych w Polsce i metody ich określania. Prace PIHM. Z. 103 s. 3–24.
- PUKAL K. 2009. Porównanie metod oceny niedoborów opadów atmosferycznych na obszarze Polski Południowo-Wschodniej. Praca magisterska. Kraków. UR.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 1 kwietnia 2010 r. w sprawie wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb. Dz.U. 2010. Nr 75 poz. 480.
- SCHMUCK A. 1969. Meteorologia i klimatologia dla WSR. Warszawa. PWN ss. 316.
- Ustawa z dnia 7 lipca 2005 r. o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt. Dz.U. 2005. Nr 150 poz. 1249 z późn. zm.
- WNEK K. 1999. Dzieje klimatu w Galicji w latach 1848–1913. Wpływ zjawisk meteorologicznych na społeczno-gospodarczy rozwój Galicji. Kraków. Historia Iagellonica. ISBN 83-90917-74-2 ss. 176.
- ZAWORA T. 1993. Calendar of meteorological conditions affecting vegetation of the cultivated plants in south-east Poland over 1901–1990. Zeszyty Naukowe UJ. Prace Geograficzne. Z. 95 s. 223–227.
- ŻMUDZKA E. 2004. Tło klimatyczne produkcji rolniczej w Polsce w drugiej połowie XX w. Acta Agrophysica. Vol. 3(2) s. 399–408.

Agnieszka ZIERNICKA-WOJTASZEK

**COMPARISON OF SELECTED INDICES
FOR THE ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC DROUGHT
IN THE PODKARPACKIE PROVINCE IN THE YEARS 1901–2000**

Key words: *comparison of methods, drought, Podkarpackie Province*

S u m m a r y

In this article weighted mean air temperature and precipitation values in the Podkarpackie Province were calculated for each month of the vegetation period of the years 1901–2000. The intensity of atmospheric drought for each month was determined based on several indices: relative precipitation index (*RPI*), standardized precipitation index (*SPI*) and hydrometeorological index devised by Sielianinow. The authors examined numerous agricultural and meteorological bulletins available for the years 1901–2000, which presented the status of cultivated crops. Based on the above-mentioned materials a meteorological calendar was devised for cultivated crops, which enabled to determine dry months when the condition of crops was poor due to insufficient moisture.

It was shown that the mean frequency of dry months determined with *RPI* and *SPI* was 32%, that based on the Sielianinow index was 30% and that based on the pluvio-thermal calendar was 27%. With reference to the latter method we can observe that the beginning of drought below 74% of

standard precipitation occurred only in May and June. In the remaining months it was slightly below this value. According to the *SPI*, the beginning of drought occurred at -0.8 value of this index. Noteworthy, the Sielianinow method was most concordant with the meteorological calendar of crops, when we consider the critical value of the index, which determines the commencement of drought. There was a close correlation between the three methods presented in this article, which was confirmed by a high value of the coefficient of determination (0.9).