INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr I/2/2017, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 257–273
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2017.1.2.019

OCENA SUSZY METEOROLOGICZNEJ W 2015 ROKU W PÓŁNOCNEJ CZĘŚCI CENTRALNEJ POLSKI Z WYKORZYSTANIEM WSKAŹNIKA HYDROTERMICZNEGO (HTC) W KONTEKŚCIE ZMIAN KLIMATYCZNYCH

Leszek Kuchar, Sławomir Iwański, Ewa Diakowska, Edward Gąsiorek
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

ASSESSMENT OF METEOROLOGICAL DROUGHT IN 2015 FOR NORTH CENTRAL PART OF POLAND USING HYDROTHERMAL COEFFICIENT (HTC) IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

Streszczenie

W pracy przedstawiono symulacje i ocenę wskaźnika hydrotermicznego (HTC) Sieljaninowa w 2015 roku w kontekście warunków aktualnych i oczekiwanych zmian klimatu dla potrzeb rolnictwa. Dla wybranej stacji meteorologicznej w centralnej Polsce wygenerowano dobowe wartości temperatur powietrza i opadów dla warunków aktualnych i oczekiwanych zgodnie z trzema typowymi dla Polski scenariuszami GISS Model E, zakładającymi podwojenie koncentracji CO2 – co jest spodziewane w latach 2050-2060.

Dla roku 2015 oraz dwóch 500-letnich serii temperatur powietrza i opadów obliczono w okresach kroczących 30-dniowych wskaźnik hydrotermiczny HTC w istotnych z punktu widzenie nawodnień okresach od kwietnia do września. Łącznie w każdym roku wyznaczono 154 wartości wskaźnika HTC. Przebieg średnich wartości wskaźnika hydrotermicznego przedstawiono na wykresach wraz z odchyleniami standardowymi, 90% i 50% obszarami ufności.

Artykuł został opublikowany na licencji Creative Commons BY-NC-ND licence
(http://creativecommons.org/licences/by-nc-nd/4.0/)

W badaniach wykazano, że rok 2015 należał do lat suchych bądź bardzo suchych w większości całego okresu wegetacji. Podobnie oceniony byłby w latach 2050-60 przy założeniu scenariusza zmian klimatu GISS. W pracy wykazano również, że wskaźnik HTC w sytuacjach nagłych dużych opadów przeszacowuje ocenę suszy meteorologicznej (zawyża wartości wskaźnika HTC).

Słowa kluczowe: temperatury powietrza, opady, wskaźnik hydrotermiczny, zmiany klimatyczne, produkcja roślinna, generator danych meteorologicznych, centralna Polska

Abstract

This paper attempts to evaluate a year 2015 from the point of view of present and future expected climate for the purpose of agriculture production using the hydrothermal index of Sieljaninov (HTC). Air temperature and total precipitation were simulated for conditions current and expected for a chosen meteorological station in Central Poland, according to the GISS Scenario (which is typical for Poland assuming the CO_2 concentration doubles, as is expected for the years 2050-2060). The year 2015 and two 500-year daily temperature and rainfall series were used for computing the hydrothermal index of Sieljaninov, with a 30-day window for vegetation periods, from April to September. The simulated hydrothermal index was presented on a graph during the vegetation period as a course of means with standard deviations, and 50% and 90% critical area.

The presented results show the year 2015 as dry or very dry within the vegetation period as well from the point of view of future climate changes according to the GISS Scenario. In case of heavy rainfall during the dry period of plant vegetation hydrothermal index show over estimation tendency.

Key words: *Temperature, Rainfall, Hydrothermal Coefficient, Climate Change, Crop Production Weather Generator, North Central Poland*

WSTĘP

Rok 2015 w odczuciu rolników, klimatologów a także innych specjalistów obserwujących pogodę i jej wpływ na środowisko, należał do szczególnych. W okresie wegetacji roślin od kwietnia do września występowało bardzo mało opadów, dodatkowo lipiec i sierpień charakteryzowały się w z znacznej mierze wysokimi temperaturami powietrza. W konsekwencji na znacznych obszarach kraju obserwowano susze rolnicze wraz z wszelkimi tego konsekwencjami (Łabędzki i Bąk 2015, MONITORING 2015). W rezultacie zadawano pytania na ile rok 2015 odbiegał od przeciętnych za okres ostatnich dziesięcioleci oraz w ja-

kim stopniu byłby to rok podobny do tych oczekiwanych w przyszłości zgodnie z przewidywanymi zmianami klimatycznymi.

Naturalnym problemem są tutaj także oceny zagrożeń i możliwości adaptacyjne rolnictwa, w szczególności krajowego (Allen i in. 1998, Doroszewski i in. 2012, Hunt i in. 2009, Kittel i in. 1998, Łabędzki 2006, Łabędzki i Bąk 2014, Smith i Pitts 1997, Treder 2011, Żarski 2011). Analiza scenariuszy zmian klimatycznych dla Polski wskazuje bowiem na istotny wzrost temperatur oraz problem deficytu wód opadowych – co w świetle słabych możliwości retencyjnych może mieć poważne konsekwencje dla rolnictwa (Dudek i in. 2009, Łabędzki 2006, Orlińska-Woźniak i in. 2013). Nie mniej jednak długi horyzont czasu dla oczekiwanych zmian daje możliwość kształtowania polityki adaptacyjnej oraz tworzenia wiedzy dla wspomagania decyzyjnego (Boken i in. 2005, Leśny 2009, Lloyd-Hughes i Saunders 2002, Miętus 2005, Narasimhan i Srinivasan 2005, Żarski i in. 2011).

Zgodnie z różnymi scenariuszami zmian klimatu dla Europy środkowej kilkustopniowemu wzrostowi temperatury towarzyszyć będzie najwyżej bardzo niewielki wzrost rocznych opadów wraz z ich redystrybucją w okresie roku – wzrostowi w okresie zimowym towarzyszyć będzie spadek w okresie letnim (IPCC 2007, IPCC 2013, Kuchar i Iwański 2011, Schmidt i in. 2006).

Jak wskazują autorzy prac (Boken i in. 2005, Kuchar i Bac, 2006) nie można także zapominać o efekcie rosnącej wariancji opadów i temperatur, które oznaczają częstsze pojawianie się sytuacji skrajnych, a więc także niekorzystnych w produkcji roślinnej.

Niniejsza praca ma na celu ocenę przebiegu pogody w roku 2015 z punktu widzenia zapotrzebowania na wodę w produkcji roślinnej. Jest kontynuacją wcześniej podjętych badań opartych na analizie serii opadowych symulowanych na lata 2050-2060 (Kuchar 2011, Kuchar i Iwański 2011, 2013, Kuchar i in. 2015) i analizie wskaźnika hydrotermicznego Sieljaninowa (HTC).

Badania wykonane zostały na symulowanych ciągach wartości dobowych opadów i temperatur powietrza generowanych dla warunków podwojenia koncentracji CO2 w atmosferze zgodnie ze scenariuszami emisyjnymi SRES.

Podobnie jak we wcześniej prowadzonych badaniach wybrano obszar centralnej Polski w rejonie Torunia jako szczególnie zagrożony przez susze. Z literatury wynika bowiem że w okresie, na przykład lat 1996-2005 na terenie tym, zależnie od gleby i gatunku roślin, wystąpiło od 8 do 16 posuch rolniczych (Dudek i in. 2009). W wymienionym okresie 25% posuch stanowiły posuchy intensywne (ciąg powyżej 20 dni braku wody łatwo dostępnej dla roślin), którym towarzyszyły bardzo duże spadki plonów, zależnie od gleb i uprawianych gatunków roślin, dochodzące nawet do braku opłacalności produkcji (Koźmiński 1986, Łabędzki 2006, Szwejkowski i in. 2005, Żarski 2011).

MATERIAŁY I METODY

Do badań wykorzystano posiadane dane klimatyczne dla miejscowości Toruń, podobnie jak we wcześniejszych pracach (Kuchar i Iwański 2011, 2013, Kuchar i in. 2015). Przyjęto też, że wybrana miejscowość ze względu na lokalizację, dobrze reprezentuje region północnej części centralnej Polski.

Ocenę warunków hydrotermicznych dla roku 2015, w okresie 1978-2014 poprzedzającym rok 2015, aktualnych warunków klimatycznych (symulacje na rok 2000) oraz w perspektywie do roku 2050-2060 przeprowadzono w oparciu o wskaźnik hydrotermiczny (HTC) Sieljaninowa (Sieljaninov 1966, Skowera i Puła 2004) dany w postaci:

$$HTC = \frac{10 \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i}$$

gdzie
n – długość rozważanego okresu w dniach;
P_i – wysokość opadów w i-tym dniu (mm);
t_i – średnia dobowa temperatura w i-tym dniu (°C);
(wskaźnik jest właściwie interpretowany, gdy t_i >10°C tj. dla średnich temperatur dobowych większych niż 10°C zgodnie ze skalą: stan skrajnie suchy (HTC≤0.4), bardzo suchy (0.4<HTC≤0.7), suchy (0.7<HTC≤1.0), dość suchy (1.0<HTC≤1.3) oraz optymalny (1.3<HTC≤1.6)).

Metodykę analizy współczynnika HTC przedstawiono w pracy Kuchara i in. (2015), zgodnie z którą dla każdego roku wyznaczano 154 wartości wskaźnika HTC w ruchomych okresach 30-dniowych (n=30) od 1 kwietnia do 30 września obliczając w ten sposób wartości na koniec każdego 30 dniowego okresu (1 kwietnia do 30 kwietnia, 2 kwietnia do 1 maja, ..., 1 września do 30 września). Wybór do badań wskaźnika hydrotermicznego HTC podyktowany był jego prostą konstrukcją i interpretacją fizyczną, powszechnym dostępem do wartości temperatur i opadów wymaganych do jego wyznaczania, a także jego trafnością do opisu suszy (Bartoszek i Banasiewicz 2007, Kuchar i in. 2015, Łabędzki 2006, Łabędzki i Bąk 2014, Ziernicka-Wojtaszek 2012, Yakovleva 1979). Niniejszy wybór potwierdza też wiele badań w Polsce, zgodnie z którymi dla okresów miesięcznych wskaźnik hydrotermiczny lepiej ilustruje warunki suszy w porównaniu do wskaźnika względnego opadu Kaczorowskiej RPI, wskaźnika standaryzowanego opadu SPI, oraz klimatycznego bilansu wodnego KBW (Ziernicka-Wojtaszek 2012). Uzasadnienie wyboru wskaźnika HTC do monitorowania suszy znaleźć można również w bogatej literaturze światowej, zwłaszcza dotyczącej susz w południowo wschodniej Europie, gdzie oprócz

lokalnie opracowanych lub adoptowanych wzorów jest powszechnie stosowany (Evarte-Bundere i Evarts-Bunders 2012, Monteva i in. 2010).

Do oceny warunków wodno-termicznych w 2015 roku wykorzystano dane meteorologiczne za okres 1978-2015 ze stacji meteorologicznej z Torunia dzieląc wskazany okres na dwa podzbiory lat: 1978-2014 i pojedynczo rok 2015. Dane pochodziły z sieci IMGW (1978-1997, 2015) oraz serwisu internetowego Tutiempo Global Climate Data (http://en.tutiempo.net/climate). Dodatkowo, w celu porównania roku 2015 do warunków aktualnych przyjętych jako rok 2000 oraz przyszłych na lata 2050-60 (podwojenie CO_2 zgodnie ze scenariuszem emisyjnym Special Report on Emissions Scenarios – SRES z grupy A_1B) wykorzystano model generowania danych meteorologicznych WGENK (Kuchar 2004, 2005) oraz typowy dla Polski scenariusz zmian klimatu – GISS Model E (Goddard Institute for Space Studies) (IPCC 2007, Kuchar 2005, Schmidt i in. 2006, www.giss.nasa.gov).

Dane dla tak zwanych warunków aktualnych (rok 2000) generowano ze względu na chęć porównania z danymi generowanymi na lata 2050-60 – jako tła dla roku 2015 (założono, jak w tego typu modelowaniu, że dane symulowane obciążone są podobnym błędem metody).

Zgodnie z wymogami modelu WGENK określono wartości miesięczne: dla temperatur minimalnych i maksymalnych, wariancje temperatur oraz sumy opadów wraz z wariancjami oraz liczby dni z opadem, prawdopodobieństwa warunkowe dni suchych pod warunkiem zaobserwowania dni mokrych oraz parametry α, β rozkładu prawdopodobieństwa gamma miesięcznych sum opadów.

Opisane wyżej elementy charakterystyki klimatycznej pozwoliły na wygenerowanie dwóch 500-letnich serii dobowych danych opadów dla warunków aktualnych oraz przyszłych zgodnych ze scenariusz GISS Model E.

Podobnie jak we wcześniejszej pracy (Kuchar i in. 2015) wybór zgodny ze scenariuszem SRES podyktowany był znacznie większą wiedzą w zakresie wypracowanych procedur obliczeniowych w odróżnieniu do nowej metodyki opartej na bilansowaniu energii Ziemi zawartej w najnowszym opracowaniu IPCC z 2013 roku (IPCC 2013).

Dane utworzone dla sytuacji zakładającej zmiany klimatu (lata 2050-2060) wygenerowano wykorzystując zbiorczą informację o scenariuszach GISS (Tabela 1) modyfikując aktualną charakterystykę klimatyczną (Kuchar 2005, Kuchar 2011).

Łącznie do badań wygenerowano 1000 lat obserwacji (po 500 lat dla scenariusza GISS i warunków aktualnych), wyznaczono 1038 ciągów po 154 wartości wskaźnika HTC (na każdy dzień roku w okresie od 30 kwietnia do 30 września). Liczba 38 dodatkowych ciągów w ogólnej liczbie 1038 ciągów wynika z uwzględnienia w obliczeniach 38 lat obserwacji 1978-2015.

Tabela 1. Charakterystyka oczekiwanych zmian temperatur powietrza i opadów dla Europy Centralnej w perspektywie do roku 2050/2060 (2xCO2) wg scenariusza GISS Model E.
Table 1. Expected changes of air temperatures and rainfall for Central Europe until 2050-2060 (2xCO2) according to GISS Model E scenario.

Model	Zmienna Variable	Parametr i okres czasu Parameter and Time Period	Zmiana Change
GISS Model E	Temperatura Temperature	średnia average – zima winter – lato summer odchylenie std. standard deviation – rok annual	 +2.8 C +2.0 C +9 %
	Opady Precipitation	średnia average – rok annual – lato summer odchylenie std. standard deviation – rok annual	 +10 % 0 % +15 %

WYNIKI

W tabeli 2 przedstawiono statystykę opisową wskaźnika hydrotermicznego (HTC) wyliczoną w oparciu o 500-letnie ciągi danych symulowanych dla średnich temperatur powietrza oraz sum opadów w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego dla scenariusza zmian klimatu GISS Model E, warunków aktualnych oraz roku 2015.

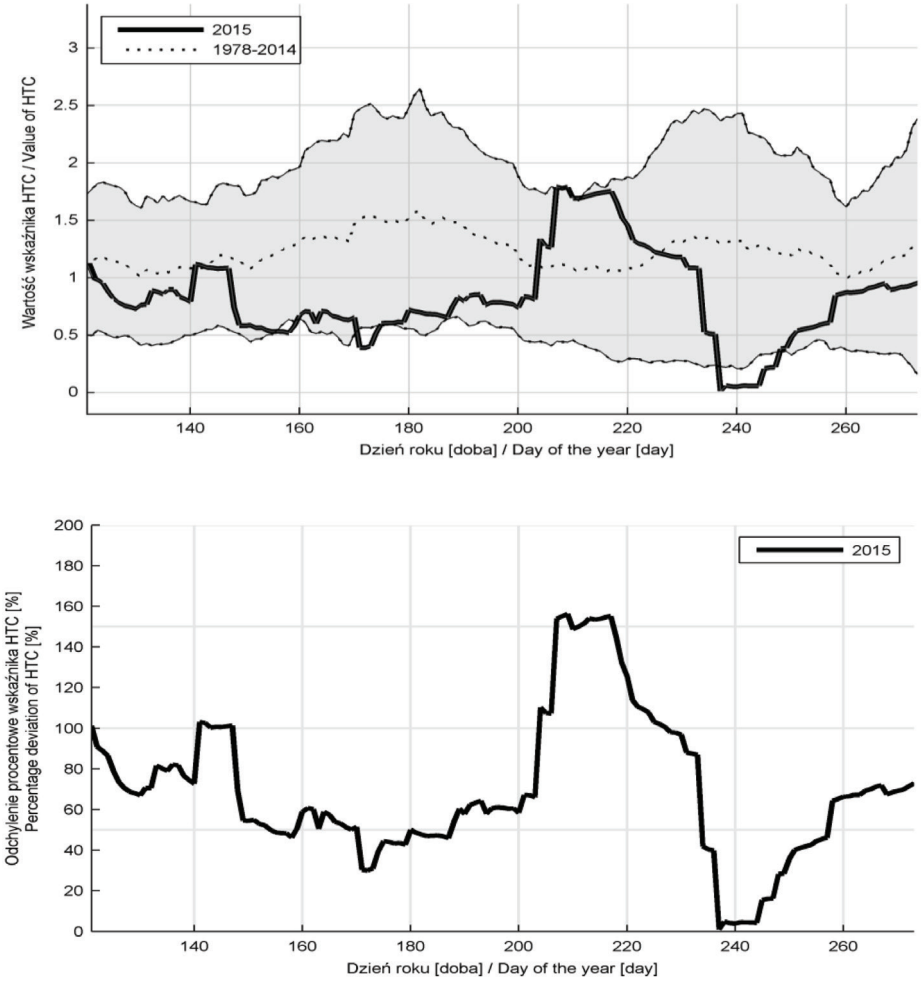
Analiza wartości miesięcznych wskaźnika hydrotermicznego (rysunek 1, wyżej) wskazuje, że po okresie optymalnego miesiąca kwietnia nastąpiły dwa suche i bardzo suche miesiące maja i czerwca; lipiec był miesiącem optymalnym w górnym stanie, natomiast sierpień to miesiąc skrajnie suchy. Wrzesień był już miesiącem na pograniczu suchego i dość suchego. W porównaniu do wartości symulowanych zgodnie ze scenariuszem zmian klimatu GISS wartości współczynnika HTC w maju, czerwcu i sierpniu nadal odbiegały od średnich, W szczególności miesiąc sierpień nadal był bardzo różniącym się od średnich oczekiwanych wartości.

Sztywny podział miesięczny może nie uwzględniać zmian występujących na przełomie miesiąca. Dlatego też zdecydowanie więcej informacji wnoszą wykresy na rysunku 1, gdyż wyliczone wartości oddają dynamikę zmian oraz identyfikują całe okresy krytyczne.

Tabela 2. Charakterystyka liczbowa wskaźnika hydrotermicznego (HTC) w różnych miesiącach okresu wegetacyjnego dla aktualnych warunków klimatycznych na rok 2000, scenariusza GISS Model E (lat 2050-2060) oraz roku 2015.
Table 2. Descriptive statistics of hydrothermal coefficient (HTC) for different months within a vegetation period for current climate (2000), future conditions (2050-2060) according to GISS Model E, and year 2015.

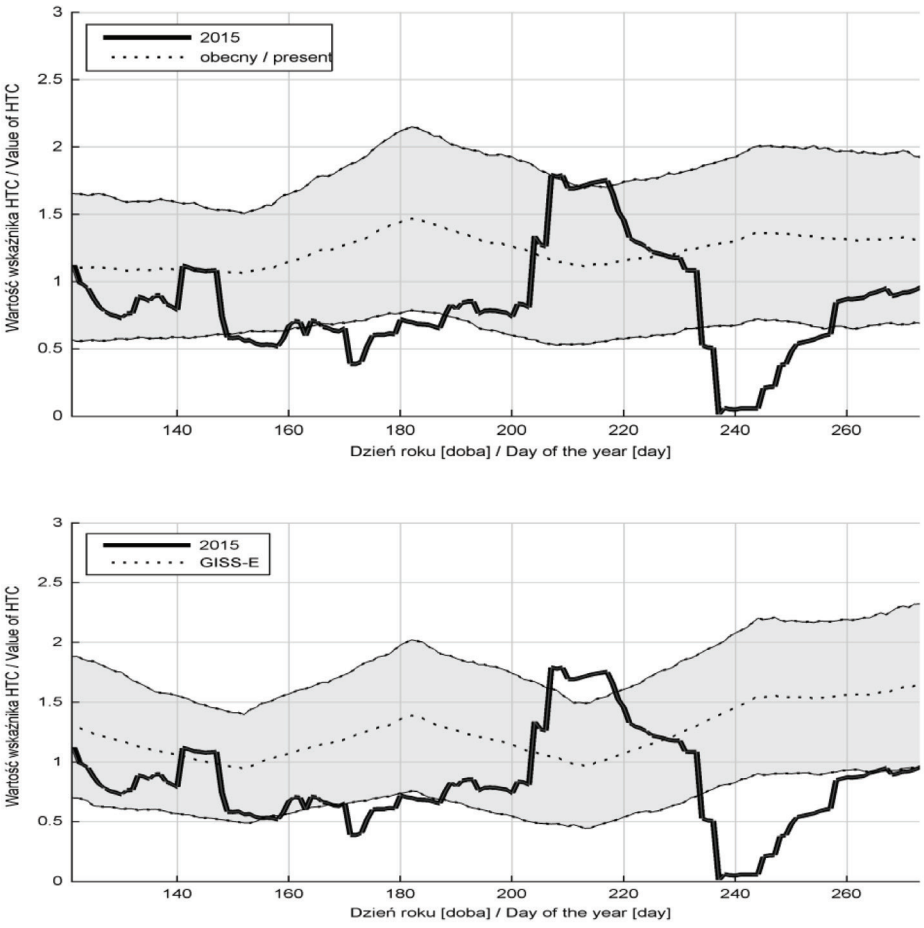
	Okres czasu Time Perion	Wartość średnia Mean	Odch. standard. Std. deviation	Maksimum Maximum	Miniumum Minimum
IV	2015	1,4			
	Aktualny klimat/ Current climate	1,1	0,56	3,3	0,02
	GISS – Model E	0,9	0,48	2,5	0,04
V	2015	0,6			
	Aktualny klimat/Current climate	1,0	0,42	2,6	0,18
	GISS – Model E	0,9	0,38	2,4	0,08
VI	2015	0,7			
	Obecny / present	1,6	0,71	4,6	0,08
	GISS – Model E	1,4	0,7	3,8	0,16
VII	2015	1,7			
	Obecny / present	1,0	0,49	3,0	0,07
	GISS – Model E	0,9	0,48	3,0	0,04
VIII	2015	0,1			
	Obecny / present	1,4	0,71	4,5	0,01
	GISS – Model E	1,3	0,65	4,5	0,09
IX	2015	1,0			
	Obecny / present	1,1	0,57	3,8	0,04
	GISS – Model E	0,9	0,48	2,9	0,01

Analiza zmian współczynnika HTC w roku 2015 na tle okresu historycznego 1978-2014 wskazuje na bardzo suchy okres 50 dni pomiędzy 150 do 200 dniem roku. Następnie szybkie zmiany zapasów wodnych w czasie 215-235 dnia roku, przy czym właśnie od około 235 dnia roku notowany jest stan skrajnie suchy trwający około dwóch tygodni. Brak wody w tym okresie, obok okresu wiosennego, jest najbardziej szkodliwy dla rolnictwa.



Rysunek 1. Przebieg wartości wskaźnika hydrotermicznego HTC dla roku 2015 w okresie wegetacji na tle wielolecia (1978-2014) z uwzględnieniem wartości średnich i odchyleń standardowych (średnie ± odchylenie standardowe) oraz przebieg zmian wskaźnika hydrotermicznego HTC dla roku 2015 w stosunku do średniej wieloletniej (dolny wykres) – Toruń, centralna Polska .

Figure 1. Simulation of hydrothermal coefficient HTC for 2015 and the period 1978-2014 (mean ± standard deviations region) during the vegetation period May-September (upper figure), and relative changes in 2015 according the period 1978-2014 (lower figure) – Toruń, Central Poland.



Rysunek 2. Przebieg wartości wskaźnika hydrotermicznego HTC dla roku 2015 w okresie wegetacji na tle obszaru wartości: średnie ± odchylenie standardowe, symulacje dla warunków aktualnych (górny wykres) i scenariusza GISS Model E (dolny wykres) – Toruń, centralna Polska.

Figure 2. Simulation of hydrothermal coefficients HTC for 2015 vs. regions (mean ± standard deviations) for present (2000) and future conditions (according GISS Model E) during the period May-September; lower and upper figure, respectively – Toruń, Central Poland.

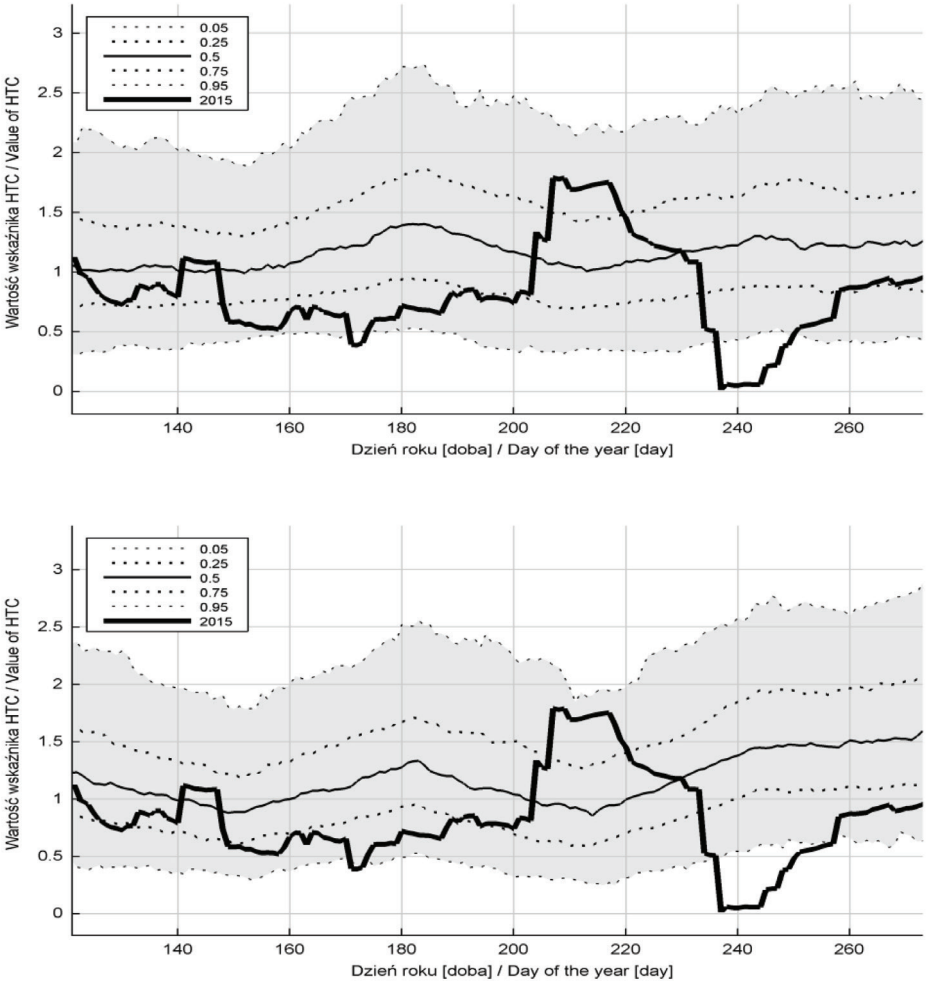
Procentowe zmiany współczynnika HCT dla roku 2015 w stosunku do przeciętnych wartości z wielolecia 1978-2014 zamieszczone zostały na rysunku 1 w części dolnej. Zmiany tych wartości, porównywanych do średnich wielolet-

nich mają charakterystyczny przebieg. W części początkowej okresu wegetacji (do ok. 150 dnia roku) wartości współczynnika zbliżone były do przeciętnych; po tym okresie nastąpił spadek i na przestrzeni około 50 dni wartości były na poziomie 50% wartości wieloletnich co odpowiada klasyfikacji suchy lub bardzo suchy okres. Dalej, w ciągu jednego tygodnia nastąpił wzrost współczynnika do poziomu 150% normy wieloletniej. Stan ten utrzymywał się około dekady, po czym nastąpił stały spadek trwający 3 tygodnie do wartości na poziomie kilku procent w stosunku do średniej wieloletniej (odpowiada to stanowi skrajnie suchemu HTC<0.4). Po blisko 10 dniach, od 245 dnia roku nastąpił wzrost wartości współczynnika do wielkości około 70% średniej wieloletniej w ostatnim 270 dniu badanego okresu. W całym okresie wegetacji czas, w którym wartości nie są mniejsze niż optymalne to około 20 dni (ponad 3 tygodnie po 205 dniu roku) – rysunek 1.

Na rysunku 2 przedstawiono symulacje przebiegu wartości współczynnika HTC na tle aktualnych i przyszłych warunków klimatycznych. Dla warunków aktualnych symulowano klimat na rok 2000, natomiast dla warunków oczekiwanych, zgodnie z postulatem podwojonej koncentracji CO2, która według scenariusza GISS Model E ma nastąpić w okresie roku 2050-2060 (w obu przypadkach posłużono się symulacjami dla uniknięcia błędów metody związanych z generowaniem danych). Wyniki symulacji wskazują na pewne różnice w ocenie roku 2015 w stosunku do klimatu aktualnego, jak i oczekiwanego na lata 2050-2060. W większości przebiegu wskaźnika HTC w okresie wegetacji mieści się w pasie średnia +/ – odchylenie standardowe z wyjątkiem trzech okresów w około dnia 170, 210 i 240 w roku. W przypadku dnia 170 symulacja wskazuje na warunki bardziej wilgotne i to głównie w przypadku scenariusza GISS.

Dla pozostałych dwóch terminów przebieg wskaźnika HTC wykazuje większe odchylenie (niższe HTC) dla okresu wiosennego i warunków aktualnych oraz okresu późnego lata (240 dzień roku) dla scenariusza GISS na lata 2050-60. W tym ostatnim przypadku okres suchy ma dłuższy i głębszy charakter w stosunku do oczekiwanych zmian głównie z tytułu mniejszych wartości odchyleń standardowych przy podobnych średnich. Powyższe różnice wynikają z redystrybucji opadów, różnego wzrostu temperatur w okresie roku a także zmian wariancji procesów.

Na rysunku 3 przedstawiono przebieg wskaźnika HTC na tle 50% i 90% pasów ufności dla średnich symulowanych przebiegów wskaźnika hydrotermicznego w okresie wegetacji dla aktualnych warunków (górny wykres) i przyszłych warunków klimatycznych zgodnych ze scenariuszem GISS Model E (dolny wykres). Analiza wykresów na rysunku w wskazuje, że rok 2015 prawie w całości mieścił się w 90% obszarach ufności z punktu widzenia klimatu na rok 2000 oraz roku 2050-2060. Natomiast okres około trzech tygodni w okolicach 240 dnia roku znacznie odbiegał od wartości z 90% przedziałów ufności.



Rysunek 3. Przebieg wartości wskaźnika hydrotermicznego HTC dla roku 2015 w okresie wegetacji na tle kwantyli: symulacje dla warunków aktualnych (2000) (górny wykres) i scenariusza GISS Model E (dolny wykres) – Toruń, centralna Polska .

Figure 3. Simulation of hydrothermal coefficient HTC for 2015 with confidence intervals: the present conditions (2000, upper figure) and future conditions according to GISS Model E (205-60, lower figure) during the period May-September – Toruń, Central Poland.

DYSKUSJA

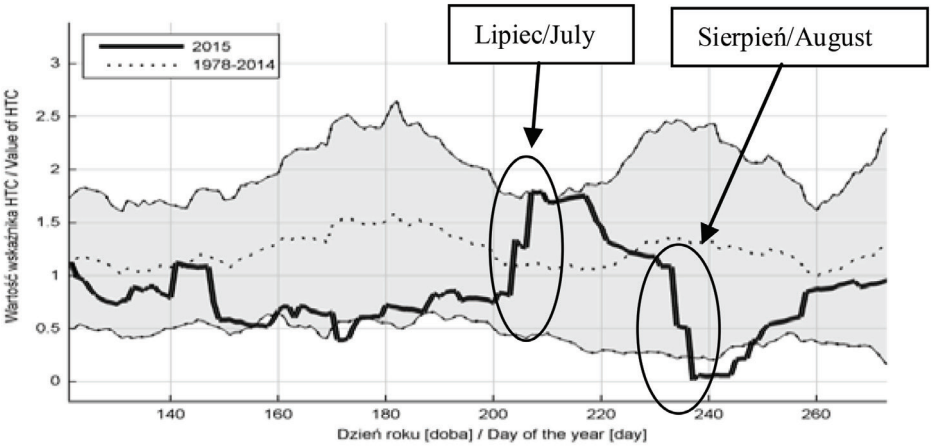
Analiza roku 2015 na tle wielolecia w oparciu o wskaźnik hydrotermiczny HTC dla centralnej Polski na przykładzie stacji meteorologicznej z Torunia wskazuje, że rok ten należał do lat suchych lub bardzo suchych w okresie wegetacji roślin (kwiecień-wrzesień). Był też okres czasu skrajnie suchy na przełomie sierpnia i września (HTC<0.4).

Ocena na tle oczekiwanego klimatu symulowanego na lata 2050-60 w oparciu o scenariusz zmian klimatu GISS oraz warunków klimatycznych symulowanych na rok 2000 wskazuje, że rok 2015 podobnie oceniany byłby w perspektywie 50 lat. Innymi słowy, gdyby w latach 2050-60 wystąpiłby rok o podobnym przebiegu jak rok 2015 byłby on podobnie identyfikowany – jako rok suchy lub bardzo suchy o okresach skrajnie suchych.

Analiza roku 2015 pozwoliła również ocenić możliwość stosowania współczynnika hydrotermicznego (HTC) do oceny suszy rolniczej. W okresie wegetacji dominowały niskie wartości współczynnika za wyjątkiem około 30-dniowego okresu pomiędzy 205 a 235 dniem roku. Na początku tego okresu wystąpiły dwa dni w niewielkim odstępie z opadem ponad 30mm. Zgodnie z wzorem na współczynnik HTC wartości skokowo zostały powiększone o kolejne dwie wielkości 0.5 zmieniając stan z ‘bardzo suchy’ na powyżej stanu ‘optymalny’. Skok wartości widoczny jest na rysunku 4. Należy sądzić, że efektywność opadów i potencjalne ich wykorzystanie przez rośliny, jak również zmiana wilgotności gleby, w rzeczywistości może odbiegać od sugerowanego wyliczoną wartością wskaźnika HTC. Ponadto, może zależeć od występującej gleby, jej wilgotności, orografii terenu (nastąpił np. spływ powierzchniowy) i występującej roślinności.

Dodatkowo należy zauważyć, że ze względu na budowę wzoru wykorzystującego dane z kolejnych dni po ponad miesiącu wspomniane wielkości opadów z lipca wypadają z wzoru wpływając na skokowe obniżenie indeksu HCT (rysunek 4). Gdyby założyć, że wspomniane dwa opady w lipcu nie są optymalnie wykorzystane, to należy sądzić, że współczynnik HCT przeszacowuje realny stan gleby z wodą użyteczną dla roślin. Tym samym w sytuacji dużej wariancji opadów należy sądzić, że współczynnik hydrotermiczny HCT nie oddaje w pełni stanu suszy w 2015 roku przeszacowując wartości współczynnika i przedstawiając stan suszy jako mniej groźny niż w rzeczywistości. Równocześnie prowadzone badania wskazują, że przebieg warunków pogodowych w 2015 roku i wspomniane dwa dni z wysokimi opadami wskazują na celowość podejmowania działań adaptacyjnych takich jak tworzenie i wykorzystanie zasobów wód otwartych dostępnych dla rolnictwa, stosowanie nawodnień, przystosowanie technologii uprawy gleby dla zwiększenia retencji wody w glebie, nowe rejonizacje dla obszaru Polski, studia nad odmianami roślin mające na celu

uzyskanie/dopasowanie do nowych warunków czy badania nad porównaniem klimatu (Leśny i in. 2009, Rolbiecki i in. 2007, Żarski i Dudek 2003).



Rysunek 4. Wpływ incydentów opadowych w 2015 roku na wartości współczynnika HTC – Toruń, centralna Polska .
Figure 4. Influence of rainfall occurrence during 2015 for the value of HTC – Toruń, Central Poland.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania dla północnej części centralnej Polski na przykładzie stacji meteorologicznej z Torunia prowadzą do następujących wniosków:

1. Ocena okresu wegetacyjnego roku 2015 w oparciu o wskaźnik hydrotermiczny HTC wskazuje, że rok ten należał do suchych lub bardzo suchych z wyjątkiem miesięcznego okresu miesięcznego okresu na przełomie lipca i sierpnia oraz skrajnie suchego okresu na przełomie sierpnia i września.
2. Symulacje warunków hydrotermicznych zgodnie ze scenariuszem zmian klimatu GISS wskazują, że rok 2015 byłby postrzegany w latach 2050-60 jako suchy lub bardzo suchy podobnie jak w warunkach aktualnego klimatu symulowanego na rok 2000.
3. Analiza warunków roku 2015 wskazuje na fakt, że w sytuacji wyższych opadów (dużej wariancji opadów) w suchych okresach wegetacji, wskaźnik hydrotermiczny HTC wykazuje tendencje do nieoszacowywania warunków suszy.

LITERATURA

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, 1998, s. 300.

Bartoszek K., Banasiewicz I. *Agrometeorologiczna charakterystyka okresu wegetacyjnego 2005 w rejonie Lublina na tle wielolecia 1951-2005,* Acta Agrophysica, 9(2), 2007, s. 275-283.

Boken V.K., Cracknell A.P., Heathcote R.L. (eds.). *Monitoring and predicting agricultural drought*, Oxford University Press, 2005, s. 472.

Doroszewski A., Jadczyszyn J., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopatka A., Koza P., Górski T., Wróblewska E. *Podstawy systemu monitoringu suszy rolniczej,* Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 12(2)**,** 2012, s. 77-91.

Dudek S., Kuśmierek-Tomaszewska R., Żarski J. *Klasyfikacja okresów posusznych na podstawie bilansu wody łatwo dostępnej w glebie*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 2009, s. 109–117.

Evarte-Bundere G., Evarts-Bunders P. *Using of the hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of distribution of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus Tilia,* Acta Biol. Univ. Daugavp., 12(2), 2012, s. 135-148.

Hunt E.D., Hubbard K.D., Wilhite D.A., Arkebauer T.M., Dutcher A.L. *The development and evaluation of a soil moisture index*, Int. J. Climatol., 29, 2009, s. 747–759.

IPCC *Fourth Assessment Report: Climate Change,* 2007 (AR4).

IPCC *Fifth Assessment Report: Climate Change,* 2013 (AR5).

Kittel T.G.F., Rosenbloom N.A., Painter T.H., Schimel D.S., Fisher H.H., Grimsdell A., Daly C., Hunt E.R. Jr. *The VEMAP Phase I Database: An Integrated Input Dataset for Ecosystem and Vegetation Modeling for the Conterminous United States,* Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. (VEMAP 1: U.S. Climate Change Scenarios Based on Models with Increased CO2) 1998.

Koźmiński Cz. *Przestrzenny i czasowy rozkład okresów bezopadowych trwających ponad 15 dni na terenie Polski*, ZPPNR, z. 268, PWN Warszawa, 1986, s. 17–36.

Kuchar L. *Using WGENK to generate synthetic daily weather data for modelling of agricultural processes*, Mathematics and Computer in Simulation, 65, 2004, s. 69-75.

Kuchar L. *Zmodyfikowany model WGENK generowania dobowych danych meteorologicznych na potrzeby modelowania agrometeorologicznego*, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 5, 2005, s. 185-195.

Kuchar L. *Weather Generation with a New Approach to Rainfall Variance Estimation and Seasonal Correlation of Variables for Crop Production*, Agrofizika, 4, 2011, s. 40-46.

Kuchar L., Bac S. *Szacowanie parowania potencjalnego w okresie zimowym za pomocą zmodyfikowanego wzoru Turca dla potrzeb modelowania hydrologicznego*, (w:) Kotecki A. (red.) Aktualne problemy rolnictwa, gospodarki żywnościowej i ochronie środowiska red, Wyd. AR Wrocław, 2006, s. 205-213.

Kuchar L., Iwański S. *Symulacja opadów atmosferycznych dla oceny potrzeb nawodnień roślin w perspektywie oczekiwanych zmian klimatycznych*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 5, 2011, s. 7–18.

Kuchar L., Iwański S. *Ocena opadów atmosferycznych dla potrzeb produkcji roślinnej w perspektywie lat 2050-2060 i wybranych scenariuszy zmian klimatu w północno-centralnej Polsce,* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, *2, 2013, s. 187-200.*

Kuchar L., Iwański S., Gąsiorek E., Diakowska E. *Symulacja warunków hydrotermicznych w północnej części centralnej Polski w perspektywie lat 2050-2060 dla potrzeb produkcji roślinnej i wybranych scenariuszy klimatycznych*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2, 2015, s. 319-334.

Leśny J. (red.). *Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures*. Acta Agrophysica, 169, 2009, s.152.

Lloyd-Hughes B., Saunders M.A. *A drought climatology for Europe,* Int. J. Climatol., 22, 2002, s. 1571-1592.

Łabędzki L. *Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*, Wyd. IMUZ, Falenty, 2006, s. 3–107.

Łabędzki L., Bąk B. *Meteorological and agricultural drought indices used in drought monitoring in Poland: a review.* Meteorol. Hydrol. Water Manag., 2, 2014, s. 3-13.

Łabędzki L., Bąk B. *Susza w Polsce w 2015 r. i ocena skutków na trwałych użytkach zielonych.* Wiad. Mel. i Łąk., 3, 2015, s. 102-106.

Miętus M. *Ekstremalne zjawiska klimatyczne z perspektywy IPCC* (w:) Bogdanowicz E., Kossowska-Cezak U., Szkutnicki J., (red.) Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne, Wyd. PTGF IMGW, Warszawa, 2005, s. 19-31.

MONITORING. *Monitoring, prognoza przebiegu i skutków oraz ocena ryzyka wystąpienia deficytu i nadmiaru wody na obszarach wiejskich*, http://agrometeo.itp.edu.pl, 2015.

Monteva M., Kazandjiev V., Georgijeva V. *Climate Change and the hydrothermal and evapotranspiration conditions in the planning regions of Bulgaria*, Fourteenth Int. Water Techn. Conf. IWTC 14, Cairo, Egypt, 2010, s. 3-14.

Narasimhan B., Srinivasan R. *Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring*, Agric. For. Meteorol. 133, 2005, s. 69-88.

Orlińska-Woźniak P., Wilk P., Gębala J. *Water availability in reference to water needs in Poland.* Meteorol. Hydrol. Water Manag., 1, 2013, s. 45-50.

Rolbiecki S., Długosz J., Orzechowski M., Smólczyński S. *Uwarunkowania glebowo-klimatyczne nawodnień w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy,* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2, 2007, s. 89–102.

Schmidt G.A., Ruedy R., Hansen J.E., Aleinov I., Bell N., Bauer M., Bauer S., Cairns B., Canuto V., Cheng Y., Del Genio A., Faluvegi G., Friend A.D., Hall T.M., Hu Y., Kelley M., Kiang N.Y., Koch D., Lacis A.A., Lerner J., Lo K.K., Miller R.L., Nazarenko L., Oinas V., Perlwitz Ja., Perlwitz Ju., Rind D., Romanou A., Russell G.L., Sato Mki., Shindell D.T., Stone P.H., Sun S., Tausnev N., Thresher D., Yao M.-S. *Present day atmospheric simulations using GISS ModelE: Comparison to in-situ, satellite and reanalysis data,* J. Climate, 19, 2006, s. 153-192.

Sieljaninov G.T. *Agroclimatic Map of the World*, Gidrometizdat, 1966, Leningrad.

Skowera B., Puła J. *Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000*, Acta Agrophysica, 3(1), 2004, s. 171-177.

Smith J.B., Pitts G.J. *Regional climate change scenarios for vulnerability and adaptation assessments,* Climatic Change, 36(1-2), 1997, s. 3-21.

Szwejkowski Z., Dragańska E., Banaszkiewicz B. *Niedobory i nadmiary opadów w okresie wegetacji ziemniaka późnego i buraka cukrowego w Polsce północno-wschodniej, w wieloleciu 1971–2000,* Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 5(14), 2005, s. 315–326.

Treder W., *Ocena przestrzennej zmienności występowania opadów w Polsce centralnej w sezonie wegetacyjnym roku 2010,* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 5, 2011, s. 29-37.

Tutiempo Global Climate Data (http://en.tutiempo.net/climate).

Yakovleva N.I. *A comparison between different aridity indices*. Proceedings of the Main Geophysical Observatory (*GGO*), 403, 1979, s. 3-13

Ziernicka-Wojtaszek A. *Porównanie wybranych wskaźników oceny suszy atmosferycznej na obszarze województwa podkarpackiego (1901-2000),* Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 12(2), 2012, s. 365–376.

Żarski J. *Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy,* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 5, 2011, s. 29-37.

Żarski J., Treder W., Dudek S., Kuśmierek-Tomaszewska R. *Ustalanie terminów nawadniania na podstawie prostych pomiarów meteorologicznych,* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 6, 2011, s. 101-108.

Prof. dr hab. Leszek Kuchar
Dr Sławomir Iwański
Dr Edward Gąsiorek
Mgr Ewa Diakowska (stażysta)
Katedra Matematyki
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Ul. Grunwaldzka 53
50-357 Wrocław
Leszek.Kuchar@gmail.com

Wpłynęło: 17.03.2016
Akceptowano do druku: 20.05.2016