INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 2/I/2013, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 187–200
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

OCENA OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH DLA POTRZEB PRODUKCJI ROŚLINNEJ W PERSPEKTYWIE LAT 2050-2060 I WYBRANYCH SCENARIUSZY ZMIAN KLIMATU W PÓŁNOCNO-CENTRALNEJ POLSCE

Leszek Kuchar, Sławomir Iwański
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

RAINFALL EVALUATION FOR CROP PRODUCTION UNTIL 2050-2060 AND SELECTED CLIMATE CHANGE SCENARIOS FOR NORTH CENTRAL POLAND

Streszczenie

W pracy przedstawiono symulacje i ocenę zmian opadów atmosferycznych dla potrzeb nawadniania roślin w kontekście oczekiwanych zmian klimatu. Do badań wybrano stację meteorologiczną w centralnej Polsce i symulowano opady dla warunków aktualnych i warunków przewidywanych zgodnie z trzema typowymi scenariuszami zmian klimatu GISS Model E, HadCM3 i GFDL R15, które zakładały podwojenie koncentracji CO2 do roku 2050-2060.

Wygenerowane cztery 500-letnie serie opadowe (symulujące aktualne warunki klimatyczne oraz zgodne z trzema rozważanymi scenariuszami) porównywano między sobą analizując kluczowe dla nawodnień okresy czasu wybrane na przestrzeni miesięcy od maja do sierpnia. Dla symulowanych danych i rozważanych okresów przedstawiono rozkłady prawdopodobieństwa sum opadów, charakterystyki liczbowe zmiennych losowych oraz kwantyle rozkładów prawdopodobieństwa. Wykazano zróżnicowane zmiany średnich sum opadów od niewielkich do 30 procentowych spadków w rozważanych okresach i wzrost wariancji (do 20 procent) w zależności od scenariusza. W kontekście nawodnień przedstawione rozkłady prawdopodobieństw oznaczają większe ryzyko susz i po-

trzebę zapewnienia wymagań wodnych roślin w okresie maj - sierpień. Wyniki wskazują także na konieczność zastosowania modelu kompleksowego uwzględniającego również inne zmienne meteorologiczne i zjawiska wpływające na możliwość wykorzystania wód opadowych.

Słowa kluczowe: opady, zmiany klimatu, produkcja roślinna, generator danych meteorologicznych, Północno-Centralna Polska

Summary

The paper presents an attempt to evaluate rainfall in the context of expected climate changes for the purposeof irrigating. Total precipitation for a chosen meteorological station in Central Poland was simulated for current and expected conditions according by means of GISS Model E, HadCM3 and GFDL R15 scenarios (doubling the CO2 concentration is assumed as typical for Poland and it is expected for years 2050-2060). Four 500-year daily rainfall series were compared among themselves so as to analyse the crucial irrigating periods from May to September. For simulated data probability density function of total rainfall were estimated in examined periods, and next used for tail area approximation.

The presented results show changes of average sums of rainfall (a 30 per cent drop) in the considered periods and scenario, as well as much greater variance (a 20-per cent increase). In the context of irrigation it implies a greater risk of drought and shows the need-for ensuring water requirements for plants in critical periods.

The results stress the need for using the comprehensive model taking en bloc meteorological variables into account.

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

WSTĘP

Obserwacje pogody i klimatu w minionych latach w Polsce wskazują na pewne zmiany zachodzące w atmosferze ziemskiej. Zmiany te potwierdzają powszechnie obserwowane reakcje w przyrodzie opisywane w poważnych opracowaniach naukowych. W tej sytuacji naturalne są pytania dotyczące zagrożeń i możliwości adaptacyjnych, w szczególności w rolnictwie [Budzyński i Krasowicz 2008, Kittel i in. 2000, Smith i Pitts 1997, Treder 2011, Żarski 2011].

W tym kontekście bardzo ważny staje się problem ewentualnego deficytu wód opadowych i nawadniania roślin [Dzieżyc 1988, Lamm i Trooien 2003, Łabędzki 2009]. Chociaż aktualnie nawodnienia w Polsce stosuje się w bardzo ograniczonym zakresie (głównie ze względów ekonomicznych) to oczekiwane zmiany klimatu w perspektywie 40-50 lat wskazują na ich użycie w znacznie większej skali [Dzieżyc i Nowak 1993, Howell i in. 1997, Mazurczyk i in. 2004, Żarski i Dudek 2003]. Długi horyzont dla oczekiwanych zmian pozwala również

na spokojne śledzenie sytuacji światowej, w tym zmian klimatycznych w innych regionach świata, rachunek kosztów, przygotowanie infrastruktury, bazy technicznej, ewentualne decyzje i konsekwentne ich wdrażanie [Leśny 2009] .

Zgodnie z różnymi scenariuszami zmian klimatu w Europie centralnej kilkustopniowemu wzrostowi temperatury towarzyszyć będzie (w najlepszym wypadku) bardzo niewielki wzrost rocznych opadów wraz z ich redystrybucją w okresie roku – wzrost w okresie zimowym i spadek w okresie letnim [IPCC 2007, Kuchar i Iwański 2011, Schmidt i in. 2006, Stouffer i in. 1994].

W Polsce, w sytuacji mniejszych możliwości retencji i jednocześnie znacznego wzrostu parowania w całym okresie roku problem ten nabiera szczególnego znaczenia. Tym samym w okresie wegetacji należy oczekiwać spadku wody użytecznej dla roślin, przy prawdopodobnym szybkim wyczerpaniu zapasów pozimowych [Dzieżyc 1988, Grabarczyk 1987]. Nie należy także zapominać o efekcie rosnącej wariancji opadów, który oznacza częstsze pojawianie się sytuacji skrajnych, a więc także niekorzystnych dla produkcji roślinnej [Kuchar i Iwański 2011, Smith i Pitts 1997].

W efekcie o przyszłości nawodnień zadecyduje bilans ekonomiczny, którego istotną składową będzie koszt związany z uzupełnieniem wody do wartości korzystnej dla produkcji oraz ogólna sytuacja światowa w rolnictwie.

Celem niniejszej pracy jest analiza zmian opadów atmosferycznych w latach 2050-2060 w oparciu o wybrane scenariusze zmian klimatu dla wybranej stacji z północno-centralnej Polski wraz z próbą wskazania potencjalnej roli nawadniania roślin dla zmieniających się warunków klimatycznych w kontekście strategii rozwoju rolnictwa i wspomagania decyzyjnego [Drupka i in. 2001, Kuchar i Iwański 2011]. Praca jest kontynuacją wcześniej podjętych badań [Kuchar i Iwański 2011, Kuchar 2011] z wykorzystaniem nowszych metod.

Dla przeprowadzenia badań wybrano obszar centralnej Polski w rejonie Bydgoszczy jako szczególnie zagrożony brakiem opadów atmosferycznych. Z prac Żarskiego i Dudka [2003] wynika bowiem, że w latach 1996-2005 na terenie tym, zależnie od gleby i gatunku roślin, wystąpiło od 8 do 16 posuch rolniczych. W wymienionym okresie 25% posuch stanowiły posuchy intensywne (ciąg powyżej 20 dni braku wody łatwo dostępnej dla roślin), którym towarzyszyły nawet bardzo duże spadki plonów, zależnie od gleb i uprawianych gatunków roślin, dochodzące nawet do granicy nieopłacalności produkcji [Koźmiński 1986, Łabędzki 2006, Szwejkowski i in. 2005, Żarski 1992].

MATERIAŁY I METODY

Podobnie jak we wcześniejszej pracy [Kuchar i Iwański 2011] badania przeprowadzono na bazie dobowych danych opadowych za lata 1991-2010 dla miejscowości Toruń. Dane pozyskano na serwerze Tutiempo.net (www.tutiempo.net 2012) i dla zweryfikowania ich wartości porównano wielko-

ści miesięczne z danymi Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB. Przyjęto też, że wybrana miejscowość ze względu na lokalizację, dobrze reprezentuje region północnej części centralnej Polski.

Dla określania tak zwanej charakterystyki klimatycznej, niezbędnej do generowania danych syntetycznych (zgodnie z wymogami wykorzystywanego modelu WGENK) wyznaczono wartości miesięczne: sumy opadów, ich wariancje, liczby dni z opadem, prawdopodobieństwa warunkowe dni suchych pod warunkiem zaobserwowania dni mokrych oraz parametry α, β rozkładu prawdopodobieństwa gamma miesięcznych sum opadów [Kuchar 2004, 2005, Richardson 1985].

Opisane wyżej elementy charakterystyki klimatycznej pozwoliły na wygenerowanie czterech 500-letnich serii dobowych opadów dla warunków aktualnych oraz przyszłych. Jako warunki aktualne /w niniejszych badaniach/ należy rozumieć warunki klimatyczne dla roku 2000 (środek w serii danych 1991-2010), podobnie jak te przewidywane w scenariuszach zakładające podwojenie koncentracji CO_2 i oczekiwane na lata 2050-2060: GISS Model E **(Goddard Institute for Space Studies)**, HadCM3 (Hadley Center) oraz GFDL R15 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) [IPCC 2007, Kuchar 2005, Schmidt i in. 2006, www.giss.nassa.gov 2012]. Tym samym symulowane 500-letnie serie są możliwymi realizacjami klimatu dla określonych warunków [Kuchar 2004, 2005, Lesny 2009, Richardson 1985]. Wspomniane scenariusze wybrano jako najbardziej realne z grupy scenariuszy umiarkowanych A_1B według Special Report on Emissions Scenarios (SRES) a więc najbardziej prawdopodobnych dla warunków Polski.

W badaniach posługiwano się ciągami danych generowanych zakładając, że zarówno w przypadku serii dla warunków aktualnych jak i oczekiwanych na datę podwojenia CO_2, błędy metody będą jednakowe.

Dane utworzone dla sytuacji zakładającej zmiany klimatu (lata 2050-2060) wygenerowano wykorzystując zbiorczą informację o scenariuszach GISS, HadCM3 oraz GFDL (Tabela 1) i modyfikując aktualną charakterystykę klimatyczną [Kuchar 2005]. Wykorzystano też nową wersję modelu WGENK lepiej odwzorowującą wariancję opadów dobowych [Kuchar 2011].

Dla porównania warunków opadowych (aktualne vs. przyszłe, zgodne z trzema przyjętymi scenariuszami) serie danych zagregowano w różnych okresach czasu, określając dla nich podstawowe miary statystyczne. Dla tych samych okresów roku oszacowano również parametry rozkładu prawdopodobieństwa gamma oraz obliczono wybrane kwantyle [Dowdy i in. 2004, Kuchar i Iwański 2011].

Tabela 1. Charakterystyka zmian opadów dla Europy Centralnej w perspektywie do roku 2050/2060 (2xCO_2) wg scenariuszy GISS Model E , HadCM3 i GFDL R15 w porównaniu do roku 2000
Table 1. Changes in rainfall distribution for Central Europe until 2050-2060 (2xCO_2) according to GISS Model E, HadCM3 and GFDL R15 scenarios and reference year of 2000

Model	Parametr i okres czasu Zmiana Parameter and Time Period Change
GISS Model E	średnia average - rok annual +10 % - lato summer 0 % odchylenie std. standard deviation - rok annual +15 %
HadCM3	średnia average - rok annual +1 % - lato summer -9 % odchylenie std. standard deviation - rok annual +7 % - lato summer +24 %
GFDL R15	średnia average - rok annual 0 % - lato summer -20 % odchylenie std. standard deviation - rok annual +20 %

WYNIKI

W tabeli 2 przedstawiono statystykę opisową sum opadów w różnych okresach roku, dla wybranych scenariuszy zmian klimatu oraz warunków aktualnych, wyliczoną w oparciu o 500-letnie ciągi danych symulowanych. Analiza wygenerowanych danych wskazuje, że w dłuższych okresach czasu (okresy czteromiesięczne) sumy opadów mogą utrzymywać się na podobnym poziomie, jednak w okresach krótszych (okresy dwumiesięczne) wielkości te będą mniejsze od wartości notowanych dla klimatu dzisiejszego. Pomimo, że wszystkie trzy scenariusze należą do grupy scenariuszy liberalnych A1B według kryteriów określonych przez SRES, to istnieje wyraźny ich podział ze względu na średnie wielkości opadów. Mianowicie, scenariusze HadCM3 oraz GFDL przewidują znacznie uboższe warunki opadowe w okresie wegetacji na czas podwojenia koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze. Dzieje się tak w szczególności dla miesięcy czerwiec, lipiec, sierpień. Różnice te w okresach czerwiec-lipiec oraz lipiec – sierpień mogą dochodzić nawet do 30 – 40 mm. Jednocześnie, w rozważanych okresach wariancja sum opadów pozostaje na podobnym poziomie lub rośnie. W rezultacie nałożenie się obu zjawisk może implikować wzrost prawdopodobieństwa warunków niekorzystnych. O „rozchwianiu" klimatu świadczą

również bezwzględne minima i maksima dla wszystkich czterech rozważanych sytuacji. W symulowanych wartościach pojawiają się bardzo niskie wartości minimalne, a w sytuacjach rosnących wariancji można zaobserwować również duże wartości maksymalne. Zmianom towarzyszy asymetria (rys. 5) (wynikająca z rozkładu gamma), zgodnie z którą w większym stopniu rosną wartości maksymalne niż minimalne.

Tabela 2. Charakterystyka liczbowa opadów w różnych okresach roku wyznaczona na podstawie 500-letnich danych symulowanych dla warunków aktualnych (2000) i lat 2050-2060 (wg scenariusza GISS Model E, HadCM3, GFDL) oraz wybranymi prawdopodobieństwami dla wartości krytycznych

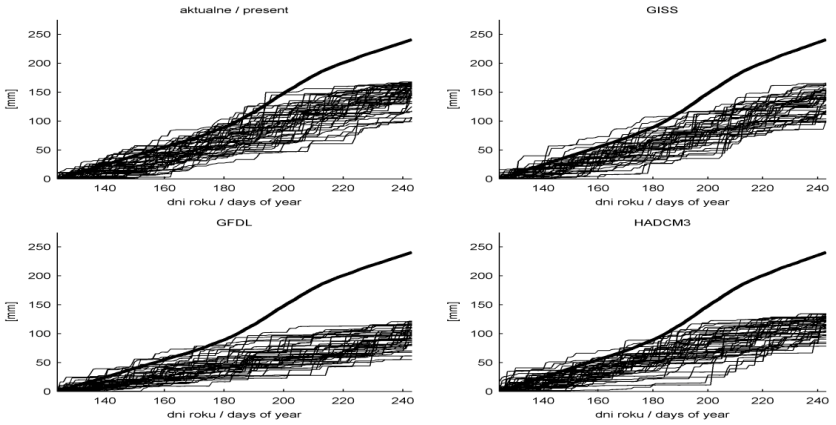
Table 2. Statistics of rainfall within a year for present (2000) and future (2050-2060, according to GISS Model E, HadCM3 and GFDL Scenario) conditions, and probabilities for critical rainfall values

Okres Period	Model Model	Średnia Mean	Odch. standard. Std. deviation	Maksimum Maximum	Minimum Minimum	$P(X<\mu 0.5\sigma)$	$P(X<\mu-\sigma)$
IV-V	aktualnie	74.6	27.0	171.7	12.2	0.33	0.13
	GISS-E	78.5	29.5	180.0	19.5	0.30	0.13
	GFDL-R15	68.4	28.8	166.4	14.0	0.44	0.24
	HADCM3	73.4	27.3	168.6	14.6	0.36	0.16
IV-VIII	aktualnie	273.9	60.7	458.3	130.6	0.33	0.16
	GISS-E	276.1	65.3	498.2	102.6	0.31	0.15
	GFDL-R15	220.5	63.1	486.2	73.3	0.66	0.48
	HADCM3	244.0	67.2	523.4	108.2	0.55	0.36
V-VI	aktualnie	89.9	28.2	187.3	21.5	0.32	0.16
	GISS-E	90.3	30.9	191.4	20.4	0.36	0.17
	GFDL-R15	72.7	29.9	191.7	14.2	0.57	0.38
	HADCM3	80.5	31.7	265.0	8.2	0.47	0.28
V-VII	aktualnie	182.2	50.9	357.4	60.9	0.33	0.16
	GISS-E	182.9	55.1	401.2	51.7	0.31	0.17
	GFDL-R15	139.7	53.5	358.8	27.5	0.66	0.49
	HADCM3	156.8	55.6	355.3	33.9	0.54	0.37
V-VIII	aktualnie	239.5	58.4	411.1	98.9	0.34	0.15
	GISS-E	239.9	62.3	475.0	97.7	0.30	0.14
	GFDL-R15	185.6	60.5	444.8	55.2	0.68	0.52
	HADCM3	208.3	64.9	475.1	77.4	0.55	0.39
VI-VII	aktualnie	134.8	45.5	312.8	33.3	0.33	0.14
	GISS-E	133.5	49.1	291.2	31.2	0.34	0.19
	GFDL-R15	100.3	48.3	330.5	6.4	0.64	0.42
	HADCM3	112.6	50.1	316.0	21.9	0.56	0.37
VII-VIII	aktualnie	133.8	48.1	326.2	21.8	0.34	0.15
	GISS-E	132.9	49.6	313.3	26.0	0.34	0.16
	GFDL-R15	97.7	48.7	240.2	7.2	0.67	0.42
	HADCM3	113.9	52.3	354.6	17.1	0.51	0.32

W tabeli 2 zamieszczono również przykładowo prawdopodobieństwa sum opadów $P(X<\mu-0.5\sigma)$ i $P(X<\mu-\sigma)$ w rozważanych okresach dla wartości krytycznych opadów $\mu-0.5\sigma$ oraz $\mu-\sigma$. Prawdopodobieństwa te wyznaczono w oparciu o rozkład gamma (wykresy umieszczono na rysunku 5), zakładając jako bardzo istotne te wartości krytyczne, które są mniejsze niż wartości: średnia minus połowa odchylenia standardowego oraz średnia minus odchylenie standardowe. Uzyskane wartości prawdopodobieństw w większości przypadków rosną (jest tak zawsze dla scenariuszy zmian klimatu HadCM3 oraz GFDL). Wzrost prawdopodobieństw $P(X<\mu-0.5\sigma)$, $P(X<\mu-\sigma)$ oznacza, że małe sumy opadów pojawią się częściej, z większym prawdopodobieństwem w stosunku do aktualnych sum opadów. Analiza tabeli wskazuje, że prawdopodobieństwa wystąpienia małych sum opadów w rozważanych okresach rosną nawet dwukrotnie (scenariusz GFDL). Dla bardzo liberalnego scenariusza GISS wartości rozważanych prawdopodobieństw pozostają na podobnym poziomie.

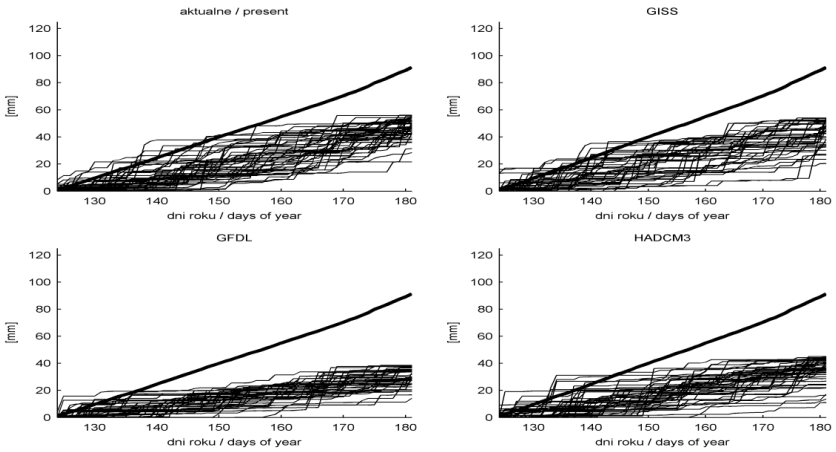
Na rysunkach 1-4 przedstawiono skumulowane opady, agregowane w czterech okresach roku (maj-sierpień, maj-czerwiec, czerwiec-lipiec oraz lipiec-sierpień) dla 50 lat (10% wszystkich symulowanych lat) o najniższych sumach symulowanych na koniec każdego z rozważanych okresów. Symulacje dla trzech rozważanych scenariuszy uzupełniono symulacjami dla warunków aktualnych, będących tłem ocenianych zmian. Tłem na wykresach jest średni przebieg skumulowanych opadów, utworzony jako suma wartości średnich opadów każdego dnia dla warunków klimatycznych roku 2000. Z tego też powodu, w końcowej części wykresu średni przebieg ogranicza z góry pozostałe. Do analizy zdefiniowano cztery okresy w roku zawierające miesiące w których potencjalnie stosuje się nawadniania roślin. Z kolei wybór 10% przypadków o najniższych zagregowanych opadach pozwala ocenić zagrożenia płynące z oczekiwanych zmian klimatycznych w perspektywie do lat 2050-2060 tj. oczekiwanego podwojenia CO_2 w atmosferze.

Wykresy dla okresu maj – sierpień wskazują, że wiązki przebiegów w przypadku ciągów otrzymanych dla trzech rozważanych scenariuszy GISS, HadCM3 oraz GFDL są nieznacznie przesunięte w dół w stosunku do ciągów utworzonych dla warunków aktualnych. Ponadto ciągi te są bardziej rozproszone. Oznacza to, że w rozważanych okresach zagregowane sumy opadów są mniejsze jednak o większej wariancji. W okresach krótszych i przesuniętych w stronę miesięcy letnich tendencja ta staje bardziej wyraźna. Ponadto w okresach tych symulacje dla scenariuszy GFDL i HadCM bardziej odbiegają od liberalnego scenariusza GISS.



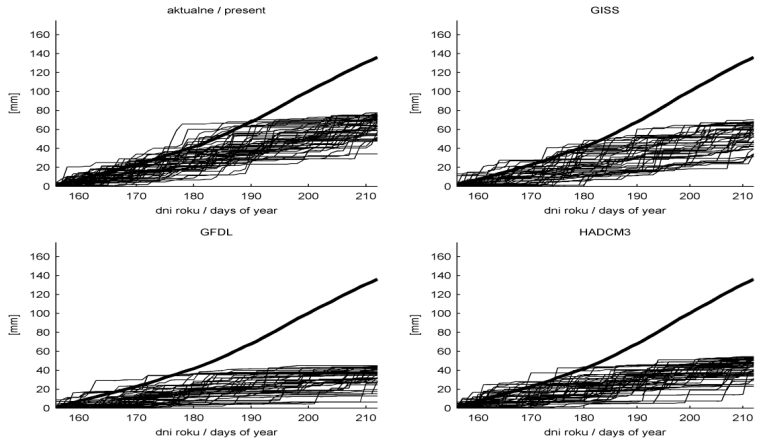
Rysunek 1. Symulowane przebiegi skumulowanych sum opadów w okresie maj-sierpień dla 50 lat (10% wszystkich symulowanych lat) o najniższych sumach dla przyszłych warunków (2050-2060, scenariusze GISS Model E, GFDL R15, HadCM3) na tle średniego przebiegu warunków aktualnych (2000)

Figure 1. Symulation of rainfall course agregated during May-August for 50 of 500 years with lowest total for present (2000) and future (2050-2060, GISS Model E, GFDL R15, HadCM3 Scenarios) conditions with average course for 2000

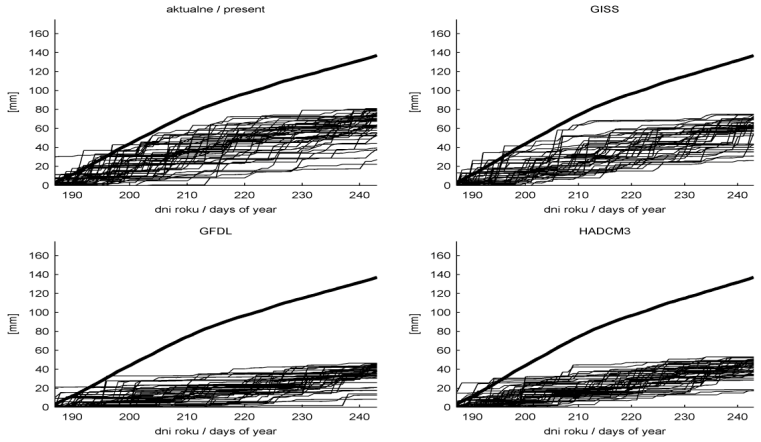


Rysunek 2. Symulowane przebiegi skumulowanych sum opadów w okresie maj-czerwiec dla 50 lat (10% wszystkich symulowanych lat) o najniższych sumach dla przyszłych warunków (2050-2060, scenariusze GISS Model E, GFDL R15, HadCM3) na tle średniego przebiegu warunków aktualnych (2000)

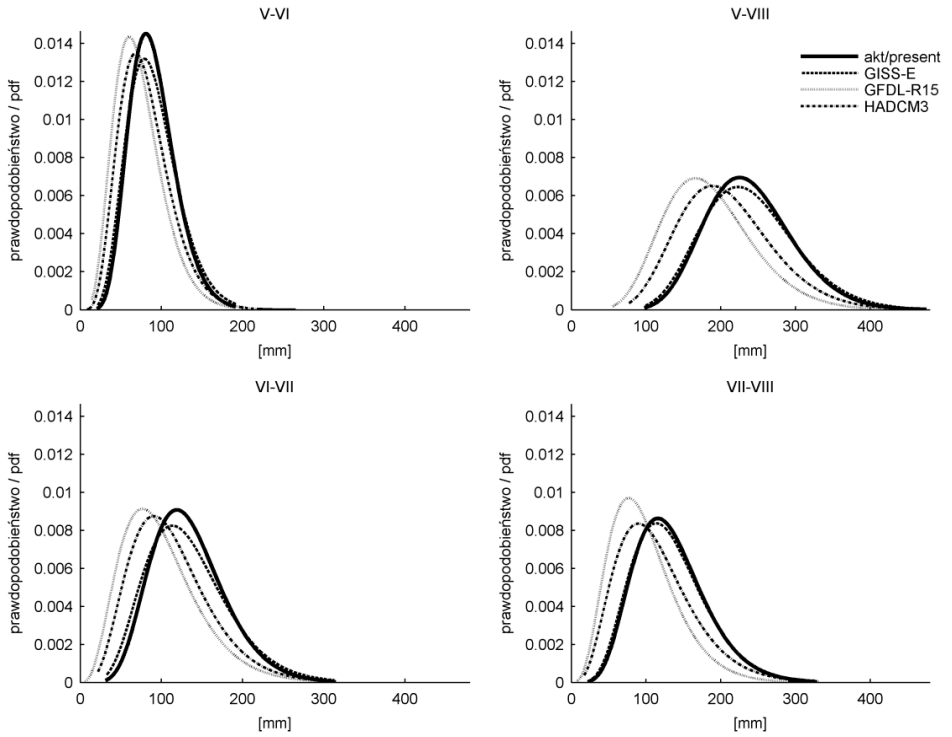
Figure 2. Symulation of rainfall course agregated during May-June for 50 of 500 years with lowest total for present (2000) and future (2050-2060, GISS Model E, GFDL R15, HadCM3 Scenarios) conditions with average course for 2000



Rysunek 3. Symulowane przebiegi skumulowanych sum opadów w okresie czerwiec-lipiec dla 50 (10% wszystkich symulowanych lat) lat o najniższych sumach dla przyszłych warunków (2050-2060, scenariusze GISS Model E, GFDL R15, HadCM3) na tle średniego przebiegu warunków aktualnych (2000)
Figure 3. Symulation of rainfall course agregated during June-July for 50 of 500 years with lowest total for present (2000) and future (2050-2060, GISS Model E, GFDL R15, HadCM3 Scenarios) conditions with average course for 2000



Rysunek 4. Symulowane przebiegi skumulowanych sum opadów w okresie lipiec-sierpień dla 50 lat (10% wszystkich symulowanych lat) o najniższych sumach dla przyszłych warunków (2050-2060, scenariusze GISS Model E, GFDL R15, HadCM3) na tle średniego przebiegu warunków aktualnych (2000)
Figure 4. Symulation of rainfall course agregated during July-August for 50 of 500 years with lowest total for present (2000) and future (2050-2060, GISS Model E, GFDL R15, HadCM3 Scenarios) conditions with average course for 2000



Rysunek 5. Rozkłady prawdopodobieństwa gamma sum opadów w wybranych okresach czasu dla warunków aktualnych (2000) i przyszłych (2050-2060, scenariusze GISS Model E, GFDL R15, HadCM3) – estymacja parametrów w oparciu o 500-letnie dane symulowane

Figure 5. Probability density function (pdf) Gamma of total rainfall (different periods) for present (2000) and future (2050-2060, GISS Model E, GFDL R15, HadCM3) climate conditions – parameters estimation based on 500 simulated years

Realizacja w przyszłości scenariusza GFDL lub HadCM wskazuje na znaczny wzrost ryzyka suszy i posuch rolniczych oraz konieczność stosowania nawodnień. Analiza wykresów wskazuje też na inne niebezpieczeństwo wynikające z potencjalnych zmian klimatu - opady w okresie maj - sierpień maleją (w okresie rocznym nieznacznie wzrastają), ale dodatkowo wzrośnie temperatura [IPCC 2007, Kuchar i Iwański 2011, Łabędzki 2009, Schmidt i in. 2006], co spowoduje wzrost parowania.

Procesowi towarzyszy też duży wzrost wariancji.

DYSKUSJA

Przedstawione symulacje opadów dla trzech scenariuszy zmian klimatu w perspektywie lat 2050-60 przeprowadzone dla północnej części centralnej Polski wskazują na zróżnicowane warunki zależnie od rozważanego modelu klimatycznego. W przypadku scenariusza GISS Model E, w stosunku do warunków aktualnych, oczekiwany jest nieznaczny lub nieistotny z punktu widzenia produkcji roślinnej wzrost opadów w okresie wegetacji od kwietnia do sierpnia lub maja do sierpnia. Jednak dla dwóch pozostałych scenariuszy oczekiwany jest znaczny spadek opadów, nawet o ponad 50 mm w tych okresach. W szczególności symulacje dla scenariusza GFDL w okresach kwiecień-sierpień i maj-sierpień wykazują niepokojące zmniejszenie opadów aż o 53-54 mm (blisko 30%). Jednocześnie symulowanym zmianom sum opadów towarzyszy wzrost odchyleń standardowych opadów dla wszystkich trzech scenariuszy w zakresie do 11-12% z asymetrią w kierunku wielkości maksymalnych. Ponieważ, zgodnie ze znanymi scenariuszami liczba dni z opadem w badanych okresach nie ulegnie istotnym zmianom [Schmidt i in. 2006], liczba posuch w tych okresach nie powinna również ulec większym zmianom. Jednak, ze względu na wzmożone (być może jedynie relatywnie) procesy parowania przy wyższej temperaturze średnio o ponad 2-2.5ºC, towarzyszyć im będą znaczne większe deficyty wody użytecznej.

Fakt ten oznacza znacznie większe potrzeby nawadniania roślin, szczególnie na lekkich glebach [Grabarczyk i in. 1994, Rolbiecki i in. 2007]. O ich stosowaniu najprawdopodobniej zadecydują względy ekonomiczne.

W okresach dwumiesięcznych: maj-czerwiec, czerwiec-lipiec i lipiec-sierpień zmiany dla symulowanych sum opadów są podobne do rozważanych symulacji dłuższych okresów – nieznaczne różnice w przypadku symulacji dla scenariusza GISS oraz istotnie mniejsze sumy dla scenariuszy HadCM3 oraz GFDL (35 mm, okresy: czerwiec-lipiec, lipiec-sierpień); spadek symulowanych opadów wynosi do 20 %. Dla wszystkich scenariuszy odnotowany jest również wzrost wariancji opadów, który dodatkowo ilustrowany jest różnicą maksymalnego i minimalnego symulowanego opadu.

Przeprowadzone badania wskazują również na konieczność odpowiedzi na pytanie dotyczące wykorzystania zasobów wodnych dla potrzeb produkcji roślinnej. Pełny obraz oczekiwanych zmian będzie można uzyskać po wykonaniu symulacji z wykorzystaniem modeli opisujących wzrost roślin, zasoby wody w glebie, modeli sterujących nawadnianiem oraz generowanych danych meteorologicznych [Howell i in. 1997, Kittel i in. 2000, Kuchar 2005].

Mając jednocześnie długą perspektywę oczekiwanych zmian klimatycznych można byłoby również podjąć inne działania adaptacyjne, takie jak tworzenie i wykorzystanie zasobów wód otwartych dostępnych dla rolnictwa, przystosowanie technologii uprawy gleby dla zwiększenia retencji wody w glebie,

nowe rejonizacje upraw dla obszaru Polski, badania odmianowe roślin mające na celu uzyskanie/dopasowanie do nowych warunków czy studia porównawcze klimatu [Leśny 2009]. W tych ostatnich celem byłoby pozyskiwanie informacji o uprawach w krajach, w których aktualne warunki odpowiadają przyszłym, oczekiwanym w Polsce.

WNIOSKI

1. Symulowane sumy opadów dla okresu wegetacji maj-sierpień oraz dwumiesięcznych okresów maj-czerwiec, czerwiec-lipiec, lipiec-sierpień, w oparciu o trzy scenariusze zmian klimatu GISS Model E, HadCM3 oraz GFDL R14 na lata 2050-2060 dla północnej części centralnej Polski, wskazują na zróżnicowane zmiany. W przypadku scenariusza GISS opady pozostają na podobnym poziomie podczas, gdy dla scenariuszy HadCM3 oraz GFDL R14 oczekiwany jest ich spadek nawet o 30%. Zmianom opadów towarzyszy wzrost wariancji zależny od długości rozważanych okresów i scenariuszy – nawet do 20%. Analiza otrzymanych rozkładów prawdopodobieństwa wskazuje, że zmiany opadów implikują większe ryzyko deficytu wody użytecznej dla roślin oraz rosnące potrzeby nawadniania roślin.

2. Symulacje opadów dla okresu wegetacyjnego sugerują konieczność kompleksowych badań symulacyjnych wzrostu roślin z uwzględnieniem innych zmiennych meteorologicznych (promieniowanie całkowite, temperatura powietrza, parowanie) w celu określania potrzeb wodnych. Studia powinny prowadzić do oceny możliwości adaptacyjnych do nowych warunków klimatycznych z uwzględnieniem potrzeb nawadniania oraz aspektów ekonomicznych.

BIBLIOGRAFIA

Budzyński W., Krasowicz S. *Produkcja zbóż w Europie i w Polsce na przełomie XX i XXI wieku*, Fragmenta Agronomica, 1(97), 2008, s. 50–66.

Dowdy S., Wearden S., Chilko D. *Statistic for Research*, Wiley-Interscience NY, 2004, 627 ss.

Drupka S., Gruszka J., Kuźniar A. *Practical method of sprinkler irrigation scheduling in theKujawy region,* Przegląd Naukowy WIiKŚ SGGW, 22, 2001, s. 29–39.

Dzieżyc J. *Rolnictwo w warunkach nawadniania,* PWN Warszawa, 1988, 415 ss.

Dzieżyc J., Nowak L. *Deszczowanie, Rozdział w pracy zbiorowej „Czynniki plonotwórcze plonowanie roślin" pod red. J. Dzieżyca,* PWN Warszawa-Wrocław, 1993, s. 329–352.

Grabarczyk S. *Efekty, potrzeby i możliwości nawodnień deszczownianych w różnych regionach Kraju,* Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 314, 1987, s. 49–64.

Grabarczyk S., Dudek S., Grzelak B., Peszek J., Rzekanowski C., Żarski J. *Możliwości produkcyjne gleby bardzo lekkiej w warunkach deszczowania*, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 414, 1994, s. 145–152.

Howell T.A., Schneider A.D., Evett S.R. *Subsurface and surface microirrigation of corn*, Trans. ASAE, 40 (3), 1997, s. 635-641.

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

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,* CD-ROM, NCAR and UCAR Boulder, CO (USA), 2000.

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., 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

Lamm F.R., Trooien T.P. *Subsurface drip irrigation for corn production: a reviev of 10 years of research in Kansas*, Irrig Sci., 22, 2003, s. 195–200.

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

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

Łabędzki L. *Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 2009, s. 1-18.

Mazurczyk W., Wierzbicka A., Lutomirska B. *Klimatyczne uwarunkowania produkcji biomasy ziemniaka w Polsce Centralnej,* Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 500, 2004, s. 219–224.

The NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS) at Columbia University in New York City http://www.giss.nasa.gov/.

Richardson C.W. *Weather simulation for crop management models*, Trans. of the ASAE, 28, 1985, s. 1602–1606.

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 Model E: Comparison to in-situ, satelite and reanalysis data, J. Climate, 19, 2006, s. 153-192.

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

Stouffer R.J., Manabe S., Vinnikov K.Ya. *Model assessment of the role of natural variability in recent global warming*, Nature, 367, 1994 , s. 634-636.

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.

WWW.tutiempo.net, Web page, 2012.

Żarski J. *Efekty deszczowania zbóż jarych na glebie bardzo lekkiej*, Zeszyty Naukowe ATR Bydgoszcz, 180, Roln. 32, 1992, s. 101–108.
Żarski J. *Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy,* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 5, 2011, s. 29-37.
Żarski J., Dudek S. *Rola deszczowania w kształtowaniu plonowania wybranych upraw polowych,* Pamiętnik Puławski, 132, 2003, s. 443–449.

Prof. dr hab. Leszek Kuchar
Dr Sławomir Iwański
Katedra Matematyki
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Ul. Grunwaldzka 53
50-357 Wrocław
Leszek.Kuchar@gmail.com