

*Jacek Żarski*

**TENDENCJE ZMIAN KLIMATYCZNYCH  
WSKAŹNIKÓW POTRZEB NAWADNIANIA ROŚLIN  
W REJONIE BYDGOSZCZY**

---

***TRENDS IN CHANGES OF CLIMATIC INDICES  
FOR IRRIGATION NEEDS OF PLANTS  
IN THE REGION OF BYDGOSZCZ***

**Streszczenie**

Celem pracy była ocena stopnia istotności zmian wybranych klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w latach od 1981 do 2010 w rejonie Bydgoszczy, położonym w strefie o największej celowości lokalizacji inwestycji nawadniających pod względem kryterium klimatycznego w Polsce. W pracy wykorzystano wyniki pomiarów meteorologicznych, prowadzonych w sposób standardowy, w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP Bydgoszcz w Mochełku, położonej około 20 km od Bydgoszczy. Badaniami objęto 30-letni okres normalny 1981-2010. Uwzględniono szereg elementów meteorologicznych i wskaźników suszy meteorologicznej i rolniczej. Obliczeń dokonano dla okresu od 1 maja do 30 czerwca. W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono istotnych trendów zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy wraz z upływem lat od 1981 do 2010 roku. Stwierdzono natomiast poszerzenie zmienności czasowej opadów atmosferycznych i ewapotranspiracji, a zatem także klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin obliczonych na ich podstawie, w latach 1996-2010 w stosunku do poprzedniego 15-lecia 1981-1995.

**Słowa kluczowe:** nawadnianie, klimatyczne wskaźniki potrzeb nawadniania, zmiany klimatyczne

### Summary

*The aim of this study was to assess the significance of changes of selected climatic indices for irrigation needs of plants in the years 1981- 2010 in the region of Bydgoszcz, located in the zone with the highest desirability of the investment location in terms of irrigation climatic criteria in Poland. The paper uses results of meteorological measurements, carried out in the standard way, in the Research Station of the Faculty of Agriculture and Biotechnology 'Mochelek', University of Technology and Life Sciences, located approximately 20 km from Bydgoszcz.*

*The study involved 30-year normal period of 1981-2010. A number of meteorological elements and indicators of meteorological and agricultural drought were taken into account. The calculations were made for the period from 1 May to 30 June. The study results showed no significant trends of change climatic indices for irrigation needs of plants in the Bydgoszcz region over the years 1981 - 2010. In the period 1996-2010 compared to the previous 15 years (1981-1995) it has been stated a while broadening the time variability of precipitation and evapotranspiration, and also of the climatic indices for irrigation needs of plants, calculated on the basis of them.*

**Key words:** *irrigation, climatic indices for irrigation needs of plants, climate change*

### WSTĘP

Potrzeby nawadniania roślin wynikają głównie z uwarunkowań klimatycznych. Bezpośrednią przesłankę stosowania tego zabiegu na około 18% światowej powierzchni przeznaczonej pod uprawy stanowi stały lub sezonowy brak opadów atmosferycznych. W warunkach klimatycznych Polski nawadnianie ma zasadniczo charakter interwencyjny. Jego głównym celem jest uzupełnianie okresowych deficytów opadów w występujących bardzo często ale nieregularnie okresach posusznych, zwanych także okresami suszy rolniczej. Literatura naukowa dotycząca problematyki ilościowej charakterystyki susz, a zatem agrometeorologicznej oceny potrzeb nawadniania ze względu na kryterium klimatyczne, jest bardzo bogata. Najbardziej wszechstronną pozycję z tego zakresu, zawierającą oryginalne metody określania susz na tle dotychczasowych dokonań, stanowi monografia Łabędzkiego [2006]. Z tej i innych prac wynika także, że największe potrzeby stosowania nawodnień w Polsce dotyczą środkowej, nizinnej części kraju, określanej jako obszar szczególnie deficytowy w wodę dla rolnictwa [Koźmiński i Michalska 2010; Ostrowski i Łabędzki 2008; Rzekanowski i in. 2011; Żarski 2006; Żarski i Dudek 2009].

W ostatnich latach czołowym problemem naukowym stało się zagadnienie zmian klimatycznych [Starkel i Kundzewicz 2008]. W rozwiązywaniu tego problemu wyróżnić można cztery zasadnicze strategie badawcze dotyczące poznania klimatu minionych epok geologicznych, aktualnie obserwowanych zmian klimatycznych, ich prognozowania w najbliższej przyszłości oraz ustalenia skut-

ków tych zmian. W wielu pracach dotyczących wpływu obserwowanych i przewidywanych zmian klimatycznych na rolnictwo akcentuje się trzy zasadnicze zjawiska mogące mieć wpływ na zmiany potrzeb nawadniania terenów rolniczych w Polsce. Należą do nich: brak jednoznacznego obrazu odnośnie zmian ilości opadów atmosferycznych, zwiększanie się ewapotranspiracji i tym samym pogorszenie klimatycznych bilansów wodnych, a przede wszystkim niekorzystne zmiany w rozkładzie opadów, skutkujące wzrostem wariancji, a więc zwiększeniem ryzyka występowania susz o większej intensywności i zasięgu przestrzennym [Kędziora 2010; Kędziora i in. 2009; Kozyra i in. 2009; Kuchar i Iwański 2011; Leśny 2009; Łabędzki 2006; Łabędzki 2009].

Celem pracy jest ocena kierunku, zakresu i stopnia istotności zmian wybranych klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w latach od 1981 do 2010 w rejonie Bydgoszczy. Rejon ten położony jest w strefie o największych niedoborach opadów w Polsce, a więc największej celowości lokalizacji inwestycji nawadniających pod względem kryterium klimatycznego. Hipoteza badawcza zakładała, że w związku z obserwowanymi zmianami klimatycznymi, w rejonie Bydgoszczy zmienia się klimatyczne ryzyko uprawy roślin, w tym także potrzeba ich nawadniania.

## MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano wyniki pomiarów meteorologicznych, prowadzonych w sposób standardowy, zgodny z procedurami IMGW, w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP Bydgoszcz w Mochelku, położonej około 20 km od Bydgoszczy, na południowo-wschodniej krawędzi Wysoczyzny Krajeńskiej. Agrometeorologiczny punkt pomiarowy w Mochelku ( $\varphi=53^{\circ}13'$ ,  $\lambda=17^{\circ}51'$ ,  $h=98,5$  m npm) działa nieprzerwanie od 1949 roku. Położony jest na obszarze słabo zurbanizowanym i uprzemysłowionym z dala od wpływu lokalnych, miejskich czynników antropogenicznych.

Badaniami objęto 30-letni okres normalny 1981-2010. Uwzględniono następujące klimatyczne wskaźniki potrzeb nawadniania roślin [Łabędzki 2006]:

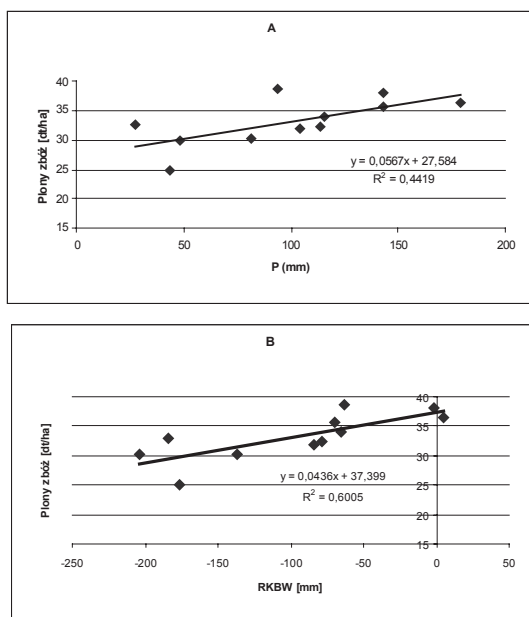
– pomierzoną (P) i przekształconą według funkcji  $f(P) = (P)^{1/3}$  znormalizowaną sumę opadów atmosferycznych,

– wskaźniki suszy meteorologicznej: względnego opadu RPI, standaryzowanego opadu SPI, klimatycznego bilansu wodnego KBW i standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego KBW<sub>s</sub> z wykorzystaniem wzoru na ewapotranspirację wskaźnikową według Bacia  $ET_o = 3d(v^{1/2}) + 4Q$ , gdzie d – niedosyt wilgotności powietrza w hPa, v – prędkość wiatru w  $\text{m s}^{-1}$ , Q – promieniowanie słoneczne całkowite w  $\text{kcal cm}^{-2}$ ,

– wskaźniki suszy rolniczej w uprawach roślin zbożowych: rolniczoklimatyczny bilans wodny RKBW z wykorzystaniem wzoru na ewapotranspira-

cję potencjalną (rzeczywistą w warunkach dostatecznego zaopatrzenia w wodę) według Grabarczyka  $ET = 0,32 [d+1/3t]$ , gdzie  $t$  – średnia temperatura powietrza oraz niedobory opadów atmosferycznych w stosunku do opadów optymalnych Klatta.

Obliczeń wymienionych klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin dokonano dla okresu 2-miesięcznego od 1 maja do 30 czerwca. Ze względu na dominację roślin zbożowych w strukturze zasiewów, warunki opadowe w tym okresie mają decydujący wpływ na rezultaty produkcji roślinnej w danym sezonie wegetacji. Założenie to dobrze dokumentują istotne zależności wysokości przeciętnych plonów zbóż w województwie kujawsko-pomorskim w latach 1999-2009 według danych GUS od sumy opadów atmosferycznych pomierzonych w Mochełku, a zwłaszcza wskaźnika RKBW, bilansującego warunki wodne uprawy roślin zbożowych, uwzględniającego oprócz opadów atmosferycznych, także temperaturę i niedosyt wilgotności powietrza (rys.1). Wartości współczynników determinacji  $R^2$  byłyby prawdopodobnie wyższe, gdyby uwzględniono wielopunktowe, pochodzące z obszaru całego województwa, dane meteorologiczne.



**Rysunek 1.** Zależność wysokości plonów zbóż w województwie kujawsko-pomorskim w latach 1999-2009 od ilości opadów atmosferycznych (A) oraz rolniczo-klimatycznego bilansu wodnego (B) w Mochełku w okresie maj-czerwiec

**Figure 1.** Dependence of the yield of cereals in the Kujawsko-Pomorskie in the years 1999-2009 on the amount of precipitation (A) and agro-climatic water balance (B) in Mochelek during May-June

W opracowaniu zastosowano charakterystyki i metody statystyczne oraz sposoby prezentacji wyników powszechnie stosowane w agroklimatologii. Szczególnie przydatna była metoda trendów z zastosowaniem równań regresji liniowej w odniesieniu do 30-letniego okresu pomiarowego [Garnier 1996, Kosowska-Cezak i in. 2000]. W celu określenia ewentualnego poszerzenia zmienności czasowej poszczególnych wskaźników, porównano ich wariancje w okresach 1981-1995 i 1996-2010.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Średnie wieloletnie wartości klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy w okresie maj-czerwiec wskazują na deficyt opadów atmosferycznych w stosunku do obliczonych różnymi metodami wymagań wodnych roślin. W odniesieniu do zbóż niedobory opadów wyznaczone na podstawie norm Klatta wynoszą średnio w wieloleciu około 35 mm, a obliczone w relacji do ewapotranspiracji potencjalnej Grabarczyka 85 mm (tab. 1). W tym drugim przypadku mogą to być wartości zawyżone, ponieważ rolniczoklimatyczny bilans wodny nie uwzględnia retencji wodnej gleby, wynikającej z opadów występujących w czasie poprzedzającym okres wzmożonych potrzeb wodnych roślin [Łabędzki 2006]. Ogólny obraz zaprezentowanych przeciętnych deficytów jest jednak zgodny z prezentowanymi wartościami średnich niedoborów wodnych zbóż w opracowaniu Ostrowskiego i Łabędzkiego [2008].

**Tabela 1.** Statystyka klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy w latach 1981-2010

**Table 1.** Statistics of climatic indices irrigation needs of plants in the region of Bydgoszcz in the years 1981-2010

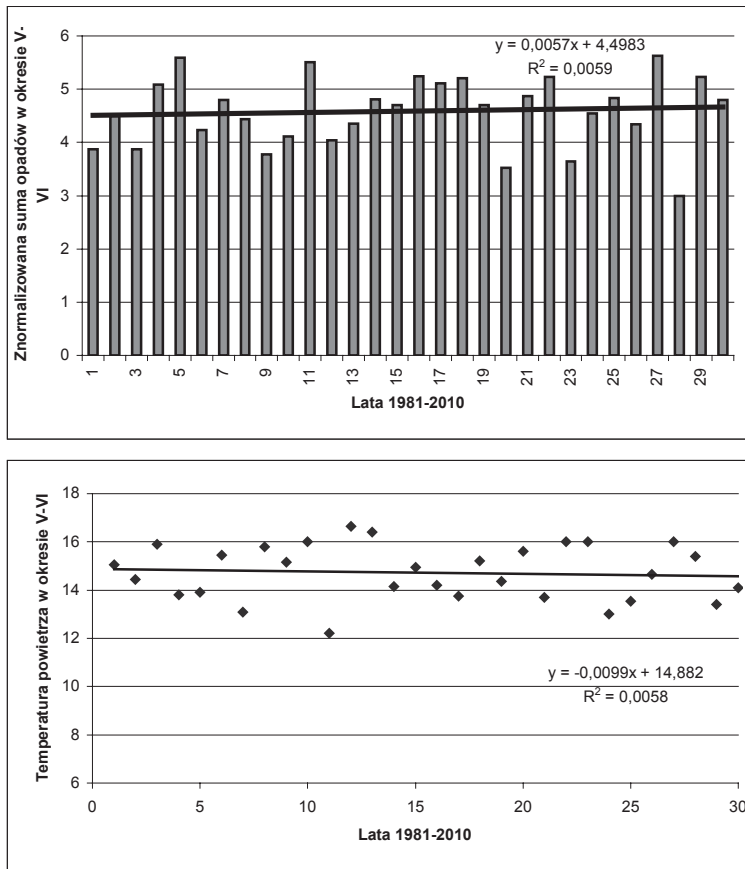
Wskaźnik	Średnio	Max	Min	Odchylenie standardowe	Trend zmienności	
					Zmiana na 10 lat	R <sup>2</sup>
Suma opadów (mm)	102,1	178,6	27,0	40,1	+5,1	0,013
Znormalizowana suma opadów	4,59	5,63	3,00	0,65	+0,06	0,006
Temperatura powietrza (°C)	14,7	16,7	12,2	1,14	-0,1	0,006
ET <sub>0</sub> według Baca (mm)	167,4	198,0	131,0	15,9	-1,6	0,008
ET według Grabarczyka (mm)	187,1	252,0	139,0	28,3	-1,1	0,001
Opady optymalne według Klatta (mm)	137,3	156,5	112,0	11,4	-1,0	0,006
RPI (%)	100	175,0	26,4	39,3	+5,0	0,013
SPI	0,00	1,60	-2,43	1,00	+0,09	0,006
KBW (mm)	-65,3	26,2	-165,0	52,4	+6,8	0,013
KBW <sub>s</sub>	0,00	1,75	-1,90	1,00	+0,13	0,013
RKBW (zboża) (mm)	-85,0	28,1	-203,5	63,1	+6,3	0,008
Niedobory opadów (zboża) (mm)	-35,2	55,1	-117,0	46,8	+6,1	0,013

**Tabela 2.** Porównanie zmienności czasowej klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy w latach 1981-1995 oraz 1996-2010  
**Table 2.** Comparison of a temporal variability of climatic indices for irrigation needs of plants in the region of Bydgoszcz in 1981-1995 and 1996-2010

Wskaźnik	Odchylenie standardowe 1981-1995	Odchylenie standardowe 1996-2010	Rozstęp 1981-1995	Rozstęp 1996-2010	Zwiększenie zmienności czasowej
Suma opadów (mm)	37,7	42,8	120,6	151,6	+
Znormalizowana suma opadów	0,57	0,74	1,81	2,63	+
Temperatura powietrza (°C)	1,26	1,03	4,4	3,0	-
ET <sub>o</sub> według Baca (mm)	13,3	18,6	49,5	67,0	+
ET według Grabarczyka (mm)	24,6	32,4	86,7	108,0	+
Opady optymalne według Klatta (mm)	12,6	10,3	44,5	30,0	-
RPI (%)	37,0	41,9	118	149	+
SPI	1,00	1,00	2,77	4,02	+
KBW (mm)	48,4	56,8	146,6	178,6	+
KBW <sub>s</sub>	1,00	1,00	2,80	3,41	+
RKBW (zboża) (mm)	58,8	68,3	185,3	208,9	+
Niedobory opadów (zboża) (mm)	48,2	45,8	145,8	145,6	-

Elementy meteorologiczne oraz obliczone na ich podstawie wskaźniki klimatyczne potrzeb nawadniania roślin wykazały bardzo dużą zmienność czasową. Przykładowo w badanym okresie normalnym 1981-2010 wskaźnik SPI wahał się od -2,43 (ekstremalna susza) do +1,60 (okres bardzo wilgotny), a rolniczo-klimatyczny bilans wodny od -203,5 mm (konieczność zastosowania 5-6 jednorazowych dawek wody) do +28,1 mm (nadmiary wodne). Zmienność czasowa elementów i wskaźników meteorologicznych, potwierdza interwencyjny charakter nawodnień w warunkach klimatycznych centralnej Polski [Rzekanowski i in. 2011].

Cechujące się bardzo dużą zmiennością z roku na rok wartości elementów i wskaźników klimatycznych potrzeb nawadniania nie wykazały w okresie od 1981 do 2010 istotnych trendów zmian. Trudno jest też mówić o zarysowanych tendencjach, bowiem współczynniki determinacji charakteryzujące zależności liniowe wahały się od 0,001 do 0,013 (tab. 1). Wykazano m.in. nieznaczny wzrost opadów i nieznaczny spadek (o 0,1°C na 10 lat) średniej temperatury powietrza (rys. 2).



**Rysunek 2.** Zmienność czasowa opadów atmosferycznych i temperatury powietrza w okresie maj-czerwiec w rejonie Bydgoszczy w latach od 1981 do 2010  
**Figure 2.** Temporal variability in precipitation and air temperature during May-June in the region of Bydgoszcz in the years from 1981 to 2010

Proste obliczenia statystyczne wykazały natomiast, że w okresie 15 lat 1996-2010, w stosunku do poprzedniego 15-lecia 1981-1995, nastąpiło poszerzenie zmienności czasowej większości badanych elementów i wskaźników meteorologicznych (tab. 2). Większe odchylenie standardowe i rozstęp dotyczyło opadów atmosferycznych oraz ewapotranspiracji, a zatem także wszystkich wskaźników obliczonych na ich podstawie (RPI, KBW, RKBW), przy czym w przypadku wskaźników standaryzowanych (SPI,  $KBW_s$ ) możliwe było tylko porównanie rozstępu. Z definicji tych wskaźników wynika bowiem, że odchylenie standardowe zawsze jest równe 1. Ponieważ w przypadku temperatury po-

wietrza zanotowano mniejsze jej wahania w ostatnim piętnastolecu, w stosunku do poprzedniego (tab. 2, rys. 2), zatem dotyczyło to także wskaźników obliczanych na podstawie tego parametru (opady optymalne Klatta, niedobory opadów). Uzyskane wyniki mogą zostać potraktowane jako potwierdzające symptomy obserwowanych, a przede wszystkim przewidywanych zmian klimatycznych, zgodnie z którymi wzrasta i wzrośnie wariancja opadów, a zatem nasili się ryzyko susz i konieczność stosowania interwencyjnych nawodnień [Kuchar i Iwański 2011; Łabędzki 2009].

## WNIOSKI

1. Nie stwierdzono istotnych trendów zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy wraz z upływem lat od 1981 do 2010 roku.

2. Stwierdzono poszerzenie zmienności czasowej opadów atmosferycznych i ewapotranspiracji, a zatem także klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin obliczonych na ich podstawie, w latach 1996-2010 w stosunku do poprzedniego 15-lecia 1981-1995.

## BIBLIOGRAFIA

- Garnier B.J. *Podstawy klimatologii*. IMGW Warszawa, 1996, s. 97-114.
- Kędziora A. *Zmiany klimatyczne i ich wpływ na warunki wodne krajobrazu rolniczego*. W: Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce pod red. Cz. Koźmińskiego, B. Michalskiej i J. Leśnego. Uniwersytet Szczeciński, 2010, 103-138.
- Kędziora A., Jankowiak J., Bieńkowski J. *Water conditions for plant production in Poland in the light of global climate changes*. In: Environmental aspects of climate change ed. Z. Szwejkowski. UWM Olsztyn, 2009, 37-56.
- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M. *Meteorologia i klimatologia. Pomiar, obserwacje, opracowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Lódź, 2000, s. 88-108.
- Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbca A. *Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce*. Studia i Raporty IUNG-PIB, zeszyt 14, 2009, 243-257
- Koźmiński Cz., Michalska B. *Niekorzystne zjawiska atmosferyczne w Polsce. Straty w rolnictwie*. W: Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce pod red. Cz. Koźmińskiego, B. Michalskiej i J. Leśnego. Uniwersytet Szczeciński, 2010, 9-54.
- Kuchar L., Iwański S. *Symulacja opadów atmosferycznych dla oceny potrzeb nawodnień roślin w perspektywie oczekiwanych zmian klimatycznych*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2011 (w druku).
- 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*. Wydawnictwo IMUZ Falenty, 2006, ss.107.
- Łabędzki L. *Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 2009. s. 7-18.



- Ostrowski J., Łabędzki L.(red.). *Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce*. Wydawnictwo IMUZ Falenty, 2008.
- Rzekanowski C., Żarski J., Rolbiecki S. *Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę*. Postępy Nauk Rolniczych, 2011 (w druku).
- Starkel L., Kundzewicz Z.W. *Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju*. Nauka, nr 1, 2008, 85-101.
- Żarski J. *Potrzeby i efekty nawadniania zbóż*. Rozdział w pracy zbiorowej *Nawadnianie roślin* pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka. PWRiL Poznań, 2006, 383-404.
- Żarski J., Dudek S. *Zmienność czasowa potrzeb nawadniania wybranych roślin w rejonie Bydgoszczy*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 2009, s. 141-149.

Prof. dr hab. Jacek Żarski  
Katedra Melioracji i Agrometeorologii  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy  
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6  
tel. 052 3749537,  
e-mail: zarski@utp.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Leszek Łabędzki*