



AGROKLIMATOLOGICZNA OCENA OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH OKRESU WEGETACYJNEGO W REJONIE BYDGOSZCZY

***Jacek Żarski, Stanisław Dudek, Renata Kuśmierek-Tomaszewska, Waldemar
Bojar, Leszek Knopik, Wojciech Żarski***

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy

AGRO – CLIMATOLOGICAL ASSESSMENT OF THE GROWING SEASON RAINFALL IN THE BYDGOSZCZ REGION

Streszczenie

Celem badań była agroklimatologiczna ocena wysokości opadów w skali lokalnej, zmierzająca głównie do określenia trendów ich zmian oraz ewentualnego narastania zmienności wraz z upływem czasu. W badaniach chodziło także o wykazanie wpływu wysokości opadów atmosferycznych na plonowanie wybranych roślin uprawnych w rejonie Bydgoszczy. Materiał stanowiły wyniki pomiarów opadów atmosferycznych, wykonywanych w sposób standardowy w Stacji Badawczej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, zlokalizowanej w miejscowości Mochle, położonej około 20 km od centrum miasta ($\varphi = 53^{\circ}13' N$, $\lambda = 17^{\circ}51' E$, $h = 98,5$ m n.p.m.) na obszarze słabo zurbanizowanym i uprzemysłowionym, w latach 1981-2010. Wykorzystano także wyniki plonowania wybranych roślin uprawnych (ziemniak, jęczmień, kukurydza na ziarno, strączkowe), pochodzące z produkcji na terenie województwa kujawsko-pomorskiego i własnych doświadczeń polowych. Wykazano, że średnie wieloletnie opady atmosferyczne w okresie wegetacyjnym pozwalają zaliczyć rejon Bydgoszczy do obszarów o najniższych opadach w Polsce. Opady te cechowała bardzo duża zmienność czasowa, powodująca klimatyczne ryzyko uprawy roślin. Największa zmienność czasowa dotyczyła miesiąca sierpnia. Nie stwierdzono nato-

miast poszerzenia zmienności czasowej sum opadów w latach 1996-2010, w porównaniu do okresu 1981-1995. Istotny trend wzrostu sum opadów w okresie od 1981 do 2010 stwierdzono tylko w miesiącu maju. Zarysowała się tendencja do spadku udziału opadów letnich (VI-VIII) w sumie rocznej, zgodna z projekcjami IPCC. Sumy opadów atmosferycznych wysoce istotnie wpływały na wysokość plonów wybranych upraw rolniczych. Najwyższe współczynniki korelacji uzyskano uzależniając plon od sumy opadów w miesiącach wzmożonych potrzeb wodnych roślin. Lepsze zależności opady-plon uzyskano wykorzystując wyniki plonowania w skali produkcyjnej, w porównaniu ze skalą doświadczeń polowych.

Słowa kluczowe: opady atmosferyczne, okres wegetacyjny, rejon Bydgoszczy, pogoda-plon

Summary

The aim of the research was an agro-climatologic assessment of the amount of rainfall on a local scale, mainly aimed to identify trends in their changes and a possible rise in their variability over time. In the studies also we wanted to demonstrate the impact of the amount of rainfall in the region of Bydgoszcz on the yield of some crops. Material for the study consists of rainfall measurements, carried out in a standard way in the years 1981-2010 at the Research Station of the University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz. Station is located in the village of Mochle, located approximately 20 km from the city centre ($\varphi=53^{\circ}13'N$, $\lambda=17^{\circ}51'E$, $h=98.5$ m above sea level) in sparsely urbanized and industrialized area. We also used data of the yield of selected crops (potato, barley, corn for grain, legumes), from the production in the region of Kujawy and Pomorze as well as from our own experimental field. It has been shown that the average long-term rainfall during the growing season allows for classifying Bydgoszcz region as the area with the lowest rainfall in Poland. Analyzed rainfalls were characterized by a very high variability in time, resulting in climatic risk of plant growing. The largest temporal variability related to August. However, there was no extension of the time variability of rainfall totals in the period 1996-2010, as compared to the period 1981-1995. The sole significant growth trend during the period 1981-2010 was found in May. It appeared a tendency to a decline in summer rainfall totals (VI-VIII) in the annual rainfall total, which is consistent with the IPCC projections. Rainfall totals had highly significant impact on yields of selected crops. The highest correlation coefficients were found in relations crop-rainfall in the months of increased water needs

of plants. Better correlations rainfall-crop were found using data from the production scale as compared with the scale of experimental field.

Key words: *rainfall, growing season, the Bydgoszcz region, weather-yield model*

WSTĘP

Najważniejszym meteorologicznym czynnikiem plonotwórczym, wpływającym bezpośrednio na wielkość i jakość produkcji rolniczej są opady atmosferyczne, które cechują się bardzo dużą zmiennością wysokości i rozkładu w poszczególnych sezonach wegetacyjnych. W warunkach klimatu umiarkowanego przejściowego między morskim a kontynentalnym, charakterystycznego dla centralnej części Polski, a zatem i rejonu Bydgoszczy, zmienność ta skutkuje dużymi wahaniami wskaźników wydajności produkcji roślinnej w kolejnych latach (Chmura i in. 2009, Bojar i in. 2012, Kuśmierek-Tomaszewska i in. 2013, Żarski i in. 2013). Wahania te są tym większe, im mniejsze są możliwości retencjonowania przez gleby wody, pochodzącej z opadów atmosferycznych. W rejonie Bydgoszczy znaczny udział stanowią gleby piaszczyste, zaliczane do kompleksów żytnych dobrych, słabych i bardzo słabych, cechujące się niską pojemnością wodną i głębokim zaleganiem wód gruntowych, ograniczającym możliwość podsiąku. Z analizy Grabarczyka i in. (1990) wynika, iż gleby te zajmują na obszarze byłego województwa bydgoskiego 46,4%, spośród 416,4 tys. ha gruntów ornych, położonych w granicach Krainy Wielkich Dolin.

Ważną cechą opadów atmosferycznych jest również fakt, iż w okresie wegetacyjnym stanowią one kompleksowy wskaźnik warunków pogodowych i wyznacznik innych plonotwórczych czynników meteorologicznych, korelując odwrotnie proporcjonalnie z sumami usłonecznienia rzeczywistego, temperaturą powietrza oraz niedosytem wilgotności. Jak wynika z badań Grabarczyka i in. (1994), można z dużą dokładnością wyznaczyć ewapotranspirację, a zatem klimatyczne bilanse wodne oraz wskaźniki potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych, na podstawie znajomości tylko sum opadów atmosferycznych.

Dane charakteryzujące warunki opadowe rejonu Bydgoszczy są dość liczne, jednak rozproszone w publikacjach dotyczących syntezy klimatu Polski, regionów lub nawet poszczególnych miejscowości. W publikacjach tych akcentowana jest przede wszystkim zmienność przestrzenna opadów lub ich charakterystyki średnie wieloletnie (Bąk 2003, Żarski i Dudek 1999, 2000). Tymczasem, w związku z przewidywanymi zmianami klimatu, ważniejszą kwestią stają się nie „stare” lecz „nowe” uwarunkowania klimatyczne rolnictwa

i opracowywanie procesów dostosowawczych (Kundzewicz i Kozyra 2011). W odniesieniu do opadów atmosferycznych, kwestię tę podejmowały w skali całej Polski między innymi Ziernicka-Wojtaszek (2006) oraz Czarnecka i Nidzgorska-Lencewicz (2012), dochodząc do wniosku, że wieloletnie sumy wysokości opadów atmosferycznych w Polsce nie wykazują istotnych trendów zmian. Jednak w odniesieniu do narastania zmienności opadów, autorki sformułowały przeciwstawne wnioski. Według badań Kuchara i Iwańskiego (2013) sumy opadów na lata 2050-2060 dla okresu wegetacji w centralnej Polsce w zależności od scenariusza zmian klimatu pozostaną na aktualnym poziomie (scenariusz GISS) lub zmniejszą się o około 30% (scenariusz HadCM3 oraz GFDL R14). Wszystkie scenariusze wskazują jednak wzrost wariancji opadów, nawet do 20%. Zdaniem Kundzewicza i Kozyry (2011) modele klimatyczne zgodnie pokazują, że opady atmosferyczne w niektórych obszarach średnich szerokości geograficznych zmniejszą się w czasie. Jednak, projekcje zmian opadów są niepewne, a czasem niezgodne nawet co do kierunku tych zmian.

W tym świetle celowe wydało nam się podjęcie badań dotyczących agroklimatologicznej oceny opadów w skali lokalnej, zmierzających zwłaszcza do określenia trendów ich zmian oraz ewentualnego narastania zmienności wraz z upływem czasu. W badaniach chodziło także o wykazanie wpływu wysokości opadów atmosferycznych na plonowanie wybranych roślin uprawnych w rejonie Bydgoszczy.

MATERIAŁ I METODY

Materiał stanowiły wyniki pomiarów opadów atmosferycznych, wykonywanych w sposób standardowy w Stacji Badawczej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, zlokalizowanej w miejscowości Mochle, położonej około 20 km od centrum miasta ($\varphi=53^{\circ}13' N$, $\lambda=17^{\circ}51' E$, $h=98,5$ m n.p.m.) na obszarze słabo zurbanizowanym i uprzemysłowionym. Jest to zatem punkt pomiarowy wolny od wpływu miejskich czynników antropogenicznych reprezentatywny dla rejonu Bydgoszczy, działający nieprzerwanie od 1949r. W trosce o jednorodność serii pomiarowej, działając w zgodzie z zaleceniami WMO, w pracy analizowano tylko sumy opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego w okresie 30-letnim (1981-2010). Wydłużenie serii wydatnie zwiększa co prawda materiał analityczny i możliwości wnioskowania, jednak ryzyko nie zachowania fundamentalnej w tego typu badaniach zasady porównywalności wyników pomiarów i obserwacji meteorologicznych jest znacznie większe. W efekcie może to prowadzić do błędnych wniosków ze względu na brak spełnienia warunku porównywalności miejsca pomiarów, przyrządów pomiarowych lub procedur uśredniania danych (Kuśmierek i in. 2012).

Zastosowano wskaźniki, sposoby prezentacji wyników oraz proste metody statystyczne powszechnie stosowane w opracowaniach klimatologicznych (Garnier 1996, Kossowska-Cezak i in. 2000). Przydatna była szczególnie metoda trendów z zastosowaniem równań regresji liniowej w odniesieniu do 30-letniego okresu pomiarowego. W celu określenia ewentualnego wzrostu zmienności czasowej opadów, odniesiono ich zakresy i współczynniki zmienności (CV) w okresie 1996 – 2010 do poprzedniego 15-lecia 1981-1995.

W pracy wykorzystano także dane dotyczące wysokości plonów wybranych upraw rolniczych w warunkach produkcyjnych w województwie kujawsko-pomorskim, korzystając z baz danych umieszczonych na stronach internetowych Głównego Urzędu Statystycznego – Baza Danych Regionalnych. Pod uwagę wzięto wysokość plonów w latach 2006-2012 następujących upraw: ziemniak, jęczmień, kukurydza uprawiana na ziarno oraz strączkowe. Wybór upraw i lat wiązał się z możliwością wykorzystania i porównania podobnych wyników plonowania uzyskanych w skali doświadczalnej. Ścisłe doświadczenia polowe z roślinami uprawianymi w Stacji Badawczej UTP w Mochelku koło Bydgoszczy na polach ustalonych według następstwa: ziemniak jadalny na oborniku, jęczmień jary browarny, bobik, kukurydza uprawiana na ziarno, prowadzono bowiem w tych samych latach. Były to doświadczenia z zastosowaniem różnych technologii nawadniania. Jednak, co oczywiste, w niniejszej pracy wykorzystano tylko plony pochodzące z uprawy w warunkach bez nawadniania. Doświadczenia w Mochelku prowadzono na glebie płowej wytworzonej z piasków fluwiogłacjalnych na płytce zalegającej glinie średniej, zaklasyfikowanej do klasy bonitacyjnej IVa i kompleksu przydatności rolniczej żytnej bardzo dobrego. Pod względem stopnia zwięzłości jest to gleba lekka na podłożu zwięzłym. Zastosowano prosty algorytm obliczeniowy, zwany modelem pogoda-plon typu statystyczno-empirycznego, pozwalający określić wpływ wysokości opadów atmosferycznych na wysokość plonowania wymienionych roślin uprawnych. Podstawowe narzędzie statystyczne wykorzystywane w opracowaniu stanowił współczynnik korelacji Pearsona i metody regresji liniowej. Zależność wielkości plonów wybranych upraw rolniczych od wysokości opadów atmosferycznych badano uwzględniając sumy opadów w różnych krokach czasowych (pojedynczy miesiąc lub okresy kilkumiesięczne, uwzględniając miesiące od kwietnia do września), stanowiących fragment lub całość okresu wzrostu i rozwoju badanych roślin. W pracy przedstawiono tylko zależności najbardziej istotne, które cechowały najwyższe współczynniki korelacji i determinacji.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średnia wieloletnia 1981-2010 suma opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego wynosiła w rejonie Bydgoszczy 307,6 mm (tab.1). Miesiącem

o najwyższej średniej sumie opadów był lipiec (69,8mm), a najniższej kwiecień (27,0mm). Zarówno pod względem rozkładu miesięcznego, jak i bezwzględnych ilości opadu, średnie wieloletnie charakterystyki są ogólnie zgodne z opisywanymi w literaturze (Bąk 2003, Żarski i Dudek 1999, 2000). Pozwalają one zaliczyć rejon Bydgoszczy do obszarów o najniższych średnich opadach atmosferycznych okresu wegetacyjnego (IV-IX) w Polsce.

Tabela 1. Charakterystyka zmienności sum opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy (1981-2010)

Table 1. Characterization of the variability of rainfall totals in a growing season in the Bydgoszcz region (1981-2010)

Miesiące Month	Średnia Mean	Maksymalna Maximum (rok)	Minimalna Minimum (rok)	Zakres Range	Odczylenie standardowe SD	Współczynnik zmienności CV
	mm	mm	mm	mm	mm	%
IV	27,0	77,0 (2006)	0,4 (2009)	76,6	16,4	60,7
V	49,3	111,5 (2002)	5,1 (1988)	106,4	30,0	60,9
VI	52,8	120,4 (1991)	15,5 (2008)	104,9	29,1	55,1
VII	69,8	146,1 (2001)	6,5 (1994)	139,6	38,2	54,7
VIII	62,6	210,5 (1985)	12,0 (1992)	198,5	45,4	72,5
IX	46,0	122,6 (2001)	3,6 (1982)	119,0	29,6	64,3
IV-IX	307,6	490,0 (1985)	139,1 (1992)	350,9	88,4	28,7
V-VI	102,1	178,6 (2007)	27,0 (2008)	151,6	40,1	39,3
VI-VII	122,6	226,6 (2001)	34,5 (1983)	192,1	52,4	42,7
VI-VIII	185,2	364,4 (1985)	64,2 (1992)	300,2	65,9	35,6

Opady atmosferyczne okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy cechowała bardzo duża zmienność czasowa. W badanym okresie wieloletnim 1981-2010, najwyższą sumę opadów zanotowano w 1985r. (490,0mm, a więc suma dorównująca niemal średniej sumie rocznej), a najniższą w 1992r.

(139,1mm – suma porównywalna z normą dwumiesięczną w okresie letnim). Współczynnik charakteryzujący zmienność sum opadów całego okresu wegetacyjnego wyniósł 28,7%. Zmienność ta była jeszcze bardziej wyraźna, jeżeli analizowało się ją w krótszych przedziałach. W odniesieniu do sumy lata (VI-VII) wynosiła ona 35,6%, w okresie wzmożonych potrzeb wodnych zbóż podstawowych (V-VI) kształtowała się na poziomie 39,3%, a w czasie krytycznym pod względem zapotrzebowania na wodę m.in. ziemniaka średniowczesnego i kukurydzy uprawianej na ziarno (VI-VII) – 42,7%. Zmienność sum miesięcznych opadów wynosiła od 54,7% w lipcu do 72,5% w sierpniu. Spośród wszystkich analizowanych 180 miesięcznych sum (30 lat x 6 miesięcy) najniższe opady wystąpiły w kwietniu 2009r. (zaledwie 0,4mm), a najwyższe w sierpniu 1985r. (aż 210,5mm).

Biorąc pod uwagę ekstrema zamieszczone w tab.1, można zauważyć, że występowały one zarówno w latach osiemdziesiątych XX wieku (6 spośród 20) i dziewięćdziesiątych (5 spośród 20). Najwięcej zanotowano w latach 2001-2010 (9), co może stanowić punkt wyjścia do analizy narastania ekstremalności warunków opadowych w cyklach miesięcznych. Jednak dane zamieszczone w tabeli 2 nie potwierdzają wzrostu zmienności czasowej miesięcznych i okresowych sum opadów. W zdecydowanej większości analizowanych przypadków, współczynniki zmienności opadów w 15-leciu 1996-2010 były bowiem mniejsze niż w poprzednim okresie 1981-1995. Wyjątek stanowił kwiecień i czerwiec, w których stwierdzono wzrost zmienności czasowej, przy czym jednoznaczny (także wzrost zakresu opadów) dotyczył tylko sum opadów kwietnia. Ogólny obraz tej prostej analizy nie pozwala na potwierdzenie powszechnych opinii o rosnącej zmienności opadów i jest zgodny z wnioskiem Czarneckiej i Nidzgorskiej-Lencewicz (2012), wyciągniętym na podstawie oceny sezonowych sum opadów w latach 1951-2010 w 38 stacjach meteorologicznych IMGW.

Zgodne z innym wnioskiem Czarneckiej i Nidzgorskiej-Lencewicz (2012), dotyczącym nie wykazania statystycznie istotnego trendu liniowego zmian wysokości sezonowych sum opadów w latach 1951-2000 na obszarze Polski oraz z wnioskiem Ziernickiej-Wojtaszek (2006), oceniającej wielolecie 1971-2000, są wyniki lokalnych badań własnych zamieszczone w tabeli 3. W 9 na analizowanych 10 przypadków, nie stwierdzono bowiem istotnych trendów, ani tendencji (bardzo niskie współczynniki korelacji i determinacji) zmian sum opadów wraz z upływem czasu od 1981 do 2010r. Istotny trend wzrostowy wykazano tylko w odniesieniu do sum opadów miesiąca maja (rys.1).

Badano zarówno bezwzględne, jak i znormalizowane za pomocą funkcji $f(P) = (P)^{1/3}$ sumy opadów. Jak podaje Łabędzki (2006) rozkład opadów w wieloleciu nie wykazuje charakteru rozkładu normalnego, zatem pewniejszą ocenę trendów i tendencji zmian uzyskuje się po normalizacji ciągów danych.

Tabela 2. Porównanie zmienności czasowej sum opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy w latach 1981-1995 oraz 1996-2010

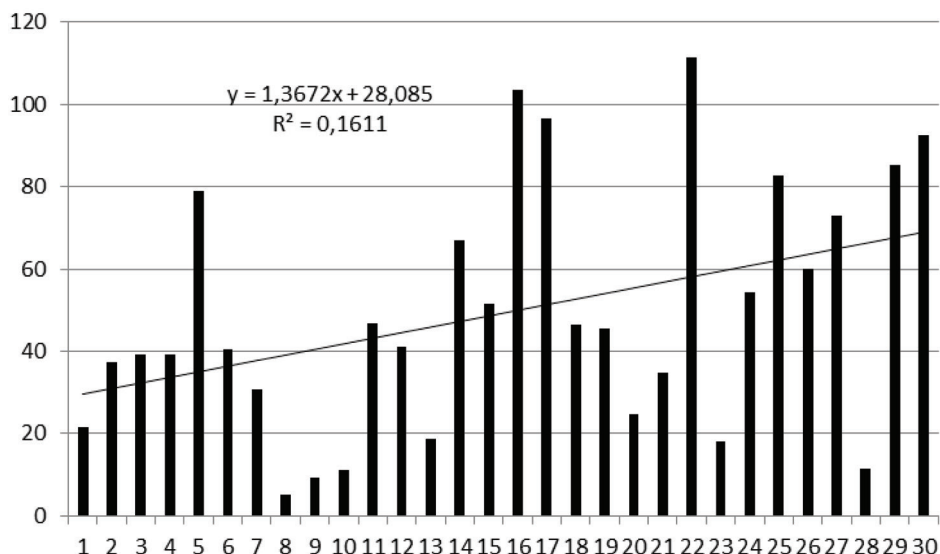
Table 2. Comparison of temporal variability of rainfall totals in a growing season in the years 1981-1995 and 1996-2010 in the Bydgoszcz region

Miesiące Month	Zakres Range 1981-1995	Zakres Range 1996-2010	Współczynnik zmienności CV 1981-1995	Współczynnik zmienności CV 1996-2010
IV	34,6	76,6	51,6	65,0
V	74,0	100,0	58,1	51,5
VI	101,3	90,0	47,6	62,6
VII	121,1	121,9	66,6	41,0
VIII	198,5	135,6	84,3	63,8
IX	91,7	105,9	67,7	63,2
IV-IX	350,9	269,7	31,5	24,1
V-VI	120,6	151,6	39,3	39,6
VI-VII	147,6	180,6	45,9	40,6
VI-VIII	300,2	168,8	45,0	25,7

Tabela 3. Trendy i tendencje zmian sum opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy wraz z wpływem lat od 1981 do 2010

Table 3. Trends and tendencies of rainfall totals variations in a growing season in the Bydgoszcz region in subsequent years of the period 1981-2010

Miesiące Month	Bezwzględne sumy opadów Absolute rainfall totals		Znormalizowane sumy opadów Normalized rainfall totals	
	Zmiana na 10 lat Change in 10 years	R ²	Zmiana na 10 lat Change in 10 years	R ²
IV	+3,0	0,0267	+0,03	0,0014
V	+13,7	0,1611*	+0,34	0,1309*
VI	-8,5	0,0667	-0,23	0,0875
VII	+7,8	0,0322	+0,18	0,0312
VIII	+7,3	0,0201	+0,16	0,0252
IX	+3,3	0,0096	+0,15	0,0262
IV-IX	+26,6	0,0700	+0,20	0,0723
V-VI	+5,1	0,0128	+0,06	0,0059
VI-VII	-0,7	0,0002	-0,004	0,0001
VI-VIII	+6,6	0,0078	+0,01	0,0148



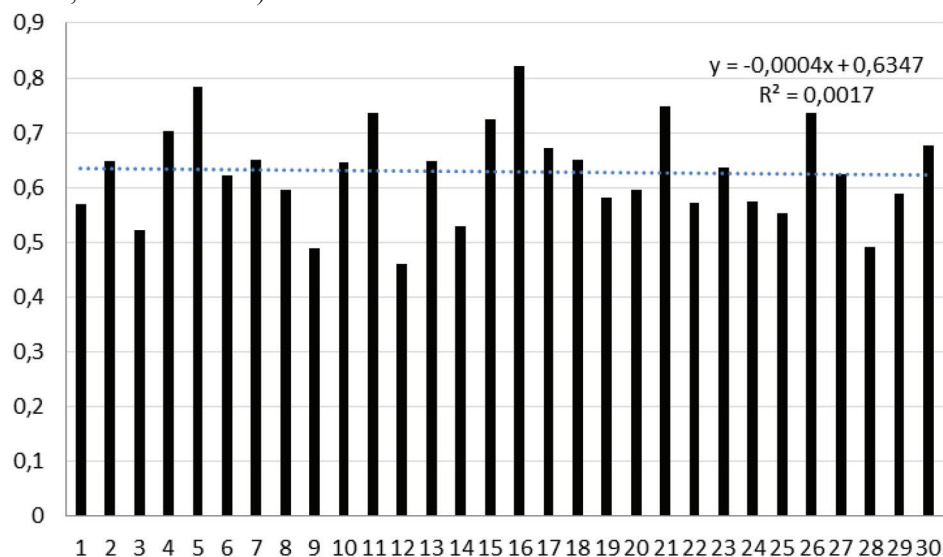
Rysunek 1. Trend zmienności sum opadów atmosferycznych w miesiącu maju w rejonie Bydgoszczy w latach od 1981 do 2010 (mm)

Figure 1. Trend of the variability of rainfall totals in May in the Bydgoszcz region in the years 1981-2010 (mm)

W ocenie lokalnych warunków opadowych rejonu Bydgoszczy nie stwierdzono żadnej ($R^2 = 0,0017$) zmiany udziału sumy opadów półrocza letniego w sumie rocznej (rys.2). Zarysował się natomiast malejący udział w niej opadów letnich (VI-VIII), co ilustruje rys.3. Stwierdzony malejący iloraz sumy opadów lata do sumy rocznych opadów jest zgodny z wynikami badań Czarneckiej i Nidzgorskiej-Lenceiwcz (2012) oraz projekcjami IPCC, sygnalizowanymi w pracy Kundzewicza i Kozyry (2011).

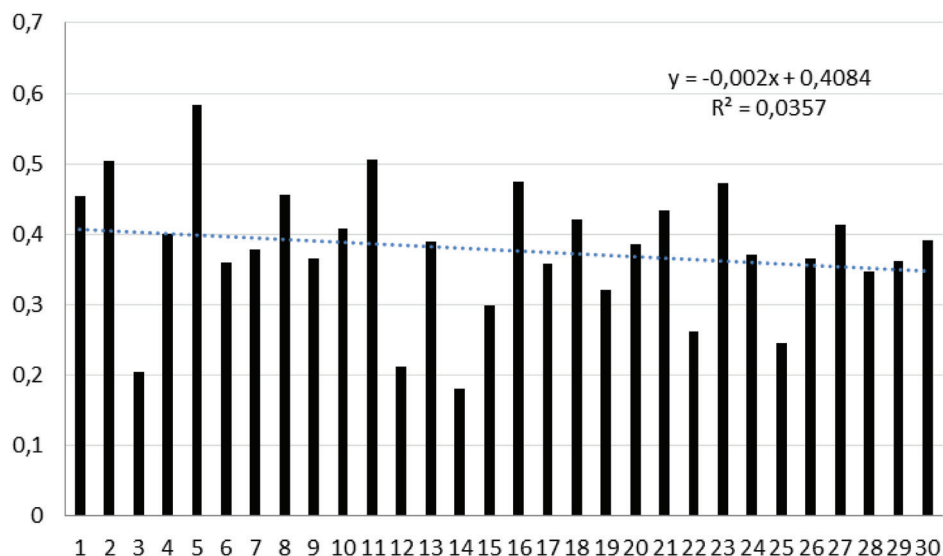
Analiza regresji liniowej wykazała istotny wpływ sum opadów atmosferycznych na plonowanie wybranych upraw rolniczych (tab. 4). Analizę tę wykonano co prawda na bardzo krótkiej serii ($N = 7$ lat), stąd współczynniki korelacji były bardzo wysokie, od 0,866 do 0,950. W badaniach chodziło nam jednak bardziej o zwrócenie uwagi na niezwykle istotną rolę warunków opadowych w kształtowaniu rozmiarów lokalnej produkcji roślinnej niż na uniwersalność i adekwatność równań matematycznych. Krótkie serie lat mają poza tym jeszcze jedną zaletę. Stosując je, zwłaszcza w latach obejmujących dość wyraźny wzrost wskaźników produktywności krajowego i regionalnego rolnictwa (2006-2012), unika się konieczności uwzględnienia postępu odmianowego i technologicznego. Uwzględnienie to z jednej strony sprawia, że serie dotyczące plonowania roślin stają się jednorodne i porównywalne, jednak z drugiej strony wprowadza dodat-

kowe błędy, wynikające z zastosowania statystycznych metod obróbki danych. Z danych zamieszczonych w tabeli 4 wynika, że najwyższe współczynniki korelacji uzyskano uzależniając wyniki plonowania od sumy opadów atmosferycznych w okresach wzmożonych potrzeb wodnych testowanych upraw. W przypadku jęczmienia był to okres V-VI, kukurydzy na ziarno V-VII, strączkowych i bobiku V-VII, ziemniaka średniowczesnego VI-VII, a ziemniaka uprawianego w skali produkcyjnej (a więc także odmian późniejszych) VI-VIII. Wynik ten jest całkowicie zgodny z rezultatami kompleksowych badań Chmury i in. (2009) oraz wcześniejszych badań własnych (Żarski i in. 2013). Zwraca uwagę fakt, iż z reguły wyższe współczynniki korelacji charakteryzowały związki opadów z plonowaniem roślin w warunkach produkcyjnych, niż w doświadczalnych, mimo znacznie mniejszego zakresu plonów i jego zmienności w latach. Do tej pory w badaniach agroklimatologicznych wykorzystujących modele pogoda-plon na ogół sięgano po dane doświadczalne, przeważnie wykonywane przez COBORU, zarzucając danym dotyczącym skali produkcyjnej małą zmienność i obiektywność. Zwrócenie uwagi na rolę opadów atmosferycznych w kształtowaniu produkcji rolniczej, przy założeniu ich wyraźnych zmian w niedalekiej przyszłości, stanowić może podstawę identyfikacji skutków potencjalnych zmian klimatycznych w regionalnej produkcji rolniczej, a także dokonania oceny możliwości reagowania na te zmiany (Dragańska 2010, Kuchar i Iwański 2013, Rozbicki 2013)



Rysunek 2. Zmienność ilorazu sumy opadów okresu wegetacyjnego (IV-IX) do sumy rocznej (I-XII) w rejonie Bydgoszczy w latach od 1981 do 2010

Figure 2. The variability of quotient of rainfall total in a growing season (IV-IX) to annual rainfall total (I-XII) in the Bydgoszcz region in the years 1981-2010



Rysunek 3. Zmienność ilorazu sumy opadów lata (VI-VIII) do sumy rocznej (I-XII) w rejonie Bydgoszczy w latach od 1981 do 2010

Figure 3. The variability of quotient of summer rainfall total (VI-VIII) to annual rainfall total (I-XII) in the Bydgoszcz region in the years 1981-2010

WNIOSKI

1. Średnie wieloletnie 1981-2010 wysokości opadów atmosferycznych w poszczególnych miesiącach, fragmentach i w całym okresie wegetacyjnym, ogólnie zgodne z dotychczasowymi opracowaniami, pozwalają zaliczyć rejon Bydgoszczy do obszarów o najniższych opadach w Polsce.
2. Opady atmosferyczne okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy, w latach 1981-2010 cechowała bardzo duża zmienność czasowa, powodująca klimatyczne ryzyko uprawy roślin. Największa zmienność czasowa dotyczyła miesiąca sierpnia. Nie stwierdzono poszerzenia zmienności czasowej sum opadów w latach 1996-2010, w porównaniu do okresu 1981-1995.
3. Istotny trend wzrostu sum opadów w okresie od 1981 do 2010 stwierdzono tylko w miesiącu maju. W pozostałych przypadkach uzyskano bardzo małe współczynniki korelacji i determinacji. Zarysowała się natomiast tendencja do spadku udziału opadów letnich (VI-VIII) w sumie rocznej, zgodna z projekcjami IPCC.

4. Sumy opadów atmosferycznych wysoce istotnie wpływały na wysokość plonów wybranych upraw rolniczych. Najwyższe współczynniki korelacji uzyskano uzależniając plon od sumy opadów w miesiącach wzmożonych potrzeb wodnych roślin. Lepsze zależności opady-plon uzyskano wykorzystując wyniki plonowania w skali produkcyjnej, w porównaniu ze skalą doświadczeń polowych.

Tabela 4. Charakterystyka zależności wysokości plonów od sumy opadów atmosferycznych w okresach wzmożonych potrzeb wodnych

Table 4. Characteristics of the dependency of yields on the rainfall totals during periods of increased water needs

Uprawa Crop	Skala Scale	Średni plon Average yield (dt ha ⁻¹)	Zakres plonów Range of yield (dt ha ⁻¹)	Wsp. zmienności CV (%)	Okres wzmożonych potrzeb wodnych Period of increased wa- tering needs	Zakres opadów Range of rainfall (mm)	Wsp. korelacji r	Przyrost plonów Increase in yield (dt ha ⁻¹ · 10mm ⁻¹)
Ziemniak Potato	P	207	155-238	15,0	VI-VIII	170-301	0,935**	5,0
Ziemniak średniowczesny Semi-early potato	D	286	140-441	37,7	VI-VII	46-249	0,935**	12,7
Jęczmień Barley	P	31,4	25,0-35,6	12,0	V-VI	27-179	0,950**	0,69
Jęczmień jary browarny Spring malting barley	D	38,4	19,8-56,0	32,4	V-VI	27-179	0,869*	2,09
Kukurydza na ziarno Corn for grain	P	55,2	38,9-65,6	17,8	VI-VII	46-249	0,948**	1,18
Kukurydza na ziarno Corn for grain	D	87,9	5,9-160,7	62,8	VI-VII	46-249	0,939**	6,54
Strączkowe Legumes	P	24,3	19,6-27,5	11,9	V-VII	86-283	0,892**	0,31
Bobik Field Bean	D	31,4	5,8-5,35	60,5	V-VII	86-283	0,866*	1,96

P – skala produkcyjna, D – skala doświadczenia polowe, P – scale of production, D – scale of experimental field

** istotność na poziomie 0,01, * istotność na poziomie 0,05 **significant at p=0,01, * significant at p=0,05

LITERATURA

- Bąk B. (2003). *Warunki klimatyczne Wielkopolski i Kujaw*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t.3, z.(9), 11-38
- Bojar W., Żarski J., Verburg R., Brouwer F. (2012). *Circumstances of climatic changes impacts on agricultural production taking attention regional characteristics*. Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, 61, 29-45
- Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L. (2009). Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 9, 33-44
- Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz M. (2012). *Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t.12, z.2(38), 45-60
- Dragańska E.W. (2012). *Prognoza rozwoju i plonowania kukurydzy uprawianej na ziarno w Polsce w aspekcie wybranego scenariusza zmian klimatu*. Rozprawy i monografie, 160, UWM Olsztyn, ss. 180
- Garnier B.J. (1996). *Podstawy klimatologii*. IMGW Warszawa, 97-114
- Grabarczyk S., Żarski J., Dudek S. (1994). *Zależność klimatycznych wskaźników niedoborów wodnych od opadów atmosferycznych*. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCLVII, 15-19
- Grabarczyk S., Peszek J., Rzekanowski C., Żarski J. (1990). *Rejonizacja potrzeb deszczowania w Krainie Wielkich Dolin*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 387, 73-87
- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M. (2000). *Meteorologia i klimatologia. Pomiary, obserwacje, opracowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa, 88-108
- Kuchar L., Iwański S. (2013). *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/I, 187-200
- Kundzewicz Z.W., Kozyra J. (2011). *Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich*. Polish Journal of Agronomy, 7, 68-81
- Kuśmerek-Tomaszewska R., Żarski J., Dudek S. (2012). *Meteorological automated weather station data application for plant water requirements estimation*. Computers and Electronics in Agriculture, vol.88, 44-51
- Kuśmerek-Tomaszewska R., Żarski J., Dudek S., Januszewska-Kłapa K. (2013). *Evaluation of needs and expected effects of sprinkler irrigation in potato cultivated in the Kujawsko-Pomorskie region*. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 1/III, 67-76
- Łabedzki L. (2006). *Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*. Wydawnictwo IMUZ Falenty, ss. 107
- Rozbicki T. (2013). *Zastosowanie modeli matematycznych do szacowania wielkości plonów pszenicy ozimej i jęczmienia jarego w aspekcie spodziewanych zmian klimatu*. Rozprawy i Naukowe Monografie, 430, SGGW Warszawa, ss. 123

- Ziernicka-Wojtaszek A. (2006). *Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971-2000*. Rozdział w monografii *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego* pod red. J. Trepińskiej i Z. Oleckiego. IGiGP Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, 139-148
- Żarski J., Dudek S. (1999). *Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w gminach województwa bydgoskiego*. Zeszyty Naukowe ATR w Bydgoszczy nr 217, Rolnictwo 43, 43-51
- Żarski J., Dudek S. (2000). *Charakterystyka warunków termicznych i opadowych województwa kujawsko-pomorskiego w aspekcie potrzeb ochrony środowiska*. Zeszyty Naukowe WSHE we Włocławku, t. VI, 85-98
- Żarski J., Dudek S., Kuśmierek-Tomaszewska R., Januszewska-Kłapa K. (2013). *Ocena potrzeb i przewidywanych efektów deszczowania zbóż jarych w regionie kujawsko-pomorskim*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 1/II, 97-107

W pracy wykorzystano wyniki badań wykonanych w ramach projektu
*FACCE JPI – MACSUR pt. „A detailed climate change risk assessment for
European agriculture and food security, in collaboration with international projects”*,
finansowanego przez NCBiR

Prof. dr hab. Jacek Żarski
zarski@utp.edu.pl

Dr Stanisław Dudek
Dr Renata Kuśmierek-Tomaszewska
Katedra Melioracji i Agrometeorologii
Wydział Rolnictwa i Biotechnologii
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6

Dr hab. Waldemar Bojar, prof. UTP
Dr hab. Leszek Knopik, prof. UTP
Mgr inż. Wojciech Żarski
Katedra Inżynierii Zarządzania
Wydział Zarządzania
85-790 Bydgoszcz, ul. Fordońska 430