

**UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
im. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH W BYDGOSZCZY
WYDZIAŁ ROLNICTWA I BIOTECHNOLOGII**



Mgr inż. Katarzyna Januszewska-Kłapa

**TENDENCJE ZMIAN
KLIMATYCZNEGO RYZYKA UPRAWY ROŚLIN
W WYBRANYCH MIEJSCOWOŚCIACH
WOJEWÓDZTWA
KUJAWSKO-POMORSKIEGO**

Promotor:
Prof. dr hab. inż. Jacek Żarski

Bydgoszcz 2015

Spis treści

1.	Wstęp i cel badań	3
2.	Przegląd literatury	4
3.	Materiał źródłowy i metody badań.....	24
3.1.	Położenie stacji pomiarowych.....	24
3.2.	Podstawowe dane meteorologiczne.....	26
3.3.	Wskaźniki agrometeorologiczne ujęte w opracowaniu i metody ich wyznaczania	26
3.3.1.	Termiczne okresy rolnicze	26
3.3.2.	Przymrozki przygruntowe	27
3.3.3.	Wskaźniki posuch atmosferycznych	27
3.3.4.	Wskaźnik posuch rolniczych.....	28
3.4.	Opracowanie wyników	29
4.	Wyniki badań	29
4.1.	Temperatura powietrza	30
4.2.	Okres gospodarczy	39
4.3.	Okres wegetacyjny	43
4.4.	Okres aktywnego wzrostu roślin	47
4.5.	Okres dojrzewania roślin.....	53
4.6.	Przymrozki przygruntowe	58
4.6.1.	Liczba dni z przymrozkiem.....	58
4.6.2.	Daty występowania przymrozków oraz długość okresu bez przymrozków	64
4.7.	Opady atmosferyczne	71
4.7.1.	Sumy opadów atmosferycznych.....	71
4.7.2.	Liczba dni z opadem.....	78
4.8.	Posuchy atmosferyczne	84
4.9.	Posuchy rolnicze.....	89
5.	Dyskusja wyników	96
6.	Wnioski	107
	Literatura	109
	Spis tabel	120
	Spis rysunków	123
	Streszczenie	125

1. WSTĘP I CEL BADAŃ

Klimatyczne ryzyko uprawy roślin wynika z bardzo częstego ale nieregularnego występowania elementów i zjawisk pogodowych, które negatywnie bezpośrednio lub pośrednio wpływają na wzrost, rozwój i plonowanie roślin uprawnych, a także uniemożliwiają lub utrudniają wykonanie zabiegów agrotechnicznych, przyczyniając się do obniżenia produkcyjnych, a zatem i ekonomicznych efektów produkcji roślinnej.

Spośród wielu niekorzystnych elementów i zjawisk pogodowych największe zagrożenie dla produkcji roślinnej powodują susze meteorologiczne i będące ich następstwem susze rolnicze, a także przymrozki, gradobicia, nadmierne opady powodujące powodzie, lokalne zalania i podtopienia, huragany oraz skrócenie okresów klimatyczno-rolniczych. Zjawiska te w istotny sposób zwiększają ryzyko produkcyjne w rolnictwie. Każde z nich cechuje oddzielna specyfika, każde wywołuje różne, ujemne skutki w produkcji roślinnej, wpływając zazwyczaj negatywnie na środowisko przyrodnicze i agroekosystemy w danym regionie.

W ostatnich latach coraz częściej dostrzegalne zagrożenia i katastrofy związane z pogodą wzbudzają ogromne zainteresowanie społeczne. Zdaniem wielu naukowców nasilenie ekstremalnych zjawisk pogodowych związane jest z zachodzącymi zmianami klimatycznymi pod wpływem czynników antropogenicznych. Wymaga to dalszych badań dotyczących nie tylko obserwowanych i przewidywanych zmian klimatu, ale także ich skutków dla zagospodarowania przestrzennego kraju i poszczególnych regionów.

W związku z tym, iż klimatyczne ryzyko uprawy roślin w regionie kujawsko-pomorskim, a zwłaszcza jego zmiany w ostatnich latach nie są dotąd dobrze poznane, zdecydowano się przeprowadzić ocenę tendencji zmian elementów i zjawisk klimatycznych wywierających niekorzystny wpływ na produkcję roślinną. Stworzy ona możliwość poznania wybranych wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin w regionie kujawsko-pomorskim, z uwzględnieniem ich zmienności przestrzennej i czasowej. Opracowanie takie pozwoli na oszacowanie ryzyka produkcji określonych gatunków roślin i jego porównanie w różnych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.

Oczekiwanym wynikiem podjętego tematu jest również potwierdzenie lub zaprzeczenie hipotezie o ukierunkowanych zmianach wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin oraz o nasilaniu się występowania niekorzystnych zjawisk pogodowych, w związku z globalnym ociepleniem.

Hipoteza robocza badań zakłada zatem, że w związku z obserwowanymi i przewidywanymi globalnymi zmianami klimatycznymi, których najbardziej charakterystycznymi symptomami jest wzrost temperatury powietrza oraz zwiększenie ekstremalności stanów pogodowych, również w regionie kujawsko-pomorskim zmienia się klimat i klimatyczne ryzyko uprawy roślin.

Głównym celem podjętych badań jest agroklimatologiczna ocena zmienności czasowej wybranych wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin w trzech miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.

Cele szczegółowe badań obejmują:

- określenie kierunku, zakresu i stopnia istotności zmian wybranych wskaźników, charakteryzujących klimatyczne ryzyko gospodarowania rolniczego w wybranych miejscowościach regionu kujawsko-pomorskiego w wielolecium 1981-2010, stanowiącym najbardziej aktualny okres normalny,
- ocenę zmienności czasowej tych wskaźników w latach 1996-2010, w porównaniu z poprzednim 15-leciem 1981-1995, prowadzącą do wykazania ewentualnego narastania ekstremalności stanów pogodowych, a zatem zwiększania się klimatycznego ryzyka uprawy roślin wraz z upływem czasu.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

Na przestrzeni dziejów klimat naszej planety zmienił się wielokrotnie [Kundzewicz i Juda-Rezler 2010], a okresy chłodniejsze przeplatały się z cieplejszymi [Kundzewicz i Kędziora 2010]. Istnieją na to liczne dowody skrupulatnie zbadane przez naukowców reprezentujących różne dziedziny. W przeszłości klimat był podstawowym czynnikiem, który decydował o możliwości osiedlania się ludzi, a jego ciągłe przeobrażenia doprowadzały do poważnych zmian w gospodarce [Mirkowska 2009]. Szerokie badania na ten temat stały się możliwe dzięki regularnym pomiarom i obserwacjom meteorologicznym, które rozpoczęły się pod koniec XVIII wieku [Bański i Błażejczyk 2005]

W ostatnich latach zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo stały się dominującym problemem naukowym [IPCC 2007, Starkel i Kundzewicz 2008, Czarnecka i in. 2009, Eitzinger i in. 2009, Kozyra i in. 2009, Mrówczyński i in. 2009]. To, że typowe dla danego obszaru stosunki radiacyjne, cyrkulacyjne i pogodowe określone na podstawie wieloletnich, co najmniej 30-letnich, obserwacji meteorologicznych ulegają zmianie pozostaje faktem, natomiast zarówno przyczyny, jak i kierunek tych zmian są w dalszym ciągu kwestią dyskusyjną [Kozuchowski i in. 1999].

Według Iglesiasa i innych [2007], aktualnie dla rolnictwa jednym z najważniejszych wyzwań staje się problem adaptacji do obserwowanych zmian klimatycznych. Inicjatywy, które polegają na ocenie zagrożeń oraz budowaniu polityki klimatycznej podejmowane są obecnie w poszczególnych krajach, a także w ramach całej Unii Europejskiej.

Zdaniem Żarskiego [2011], aby precyzyjnie określić i naukowo rozwiązać problem zmian klimatycznych, należy wyróżnić cztery zasadnicze strategie badawcze. Dotyczą one kolejno poznania klimatu minionych

epok geologicznych, oceny zmian klimatycznych występujących współcześnie, określenia prognoz zmian klimatycznych w najbliższej przyszłości, a także ustalenia skutków tych zmian, zwłaszcza dla produkcji rolniczej.

Nadzwyczajne zagrożenia i katastrofy związane z przebiegiem pogody zawsze towarzyszyły człowiekowi. Obserwowane współcześnie są najprawdopodobniej wynikiem coraz bardziej widocznych i eksponowanych zmian klimatycznych. Na podstawie wielu badań zmiany te mają zasięg zarówno globalny – planetarny, jak również kontynentalny, krajowy, lokalny i punktowy. Zmiany warunków atmosferycznych dotyczą głównie sezonowych cykli przebiegu pogody, co w konsekwencji wpływa na funkcjonowanie środowiska przyrodniczego, a w szczególności rolnictwa [Leśny 2009]. Autor podkreśla, że spośród wielu niekorzystnych, ekstremalnych zjawisk pogodowych, największe zagrożenie dla produkcji roślinnej powodują susze meteorologiczne, a także, będące ich następstwem susze glebowe i rolnicze, przymrozki, gradobicia, nadmierne opady powodujące powodzie, lokalne zalania i podtopienia oraz huragany. Zjawiska te w istotny sposób zwiększają ryzyko produkcyjne w gospodarce rolnej. W badaniach koordynowanych przez Leśnego [2009] zidentyfikowano wzrost zagrożenia z powodu narastania susz - zjawisk ekstremalnych, szczególnie niekorzystnych dla produkcji rolniczej.

Każde niekorzystne dla rolnictwa zjawisko pogodowe cechuje oddzielną specyfiką, każde wywołuje różne, zazwyczaj ujemne skutki w rolnictwie, a przede wszystkim w produkcji roślinnej. Niekorzystny wpływ na środowisko i agroekosystemy w danym regionie zależy nie tylko od rodzaju, czasu trwania, natężenia oraz zasięgu przestrzennego, ale również od podatności środowiska, społeczeństwa i rolnictwa na ujemne działanie tych zjawisk [Kaca i in. 2011].

Rezultaty przeprowadzonych dotychczas badań potwierdzają częstsze występowanie ekstremalnych zjawisk meteorologicznych w przejściowych porach roku, co jest potwierdzeniem zachodzących zmian klimatu. Wystąpiły zarówno susze, jak i powodzie, wyjątkowo długie i mroźne zimy, a także bardzo ciepłe sezony wiosenne, jesienne i zimowe [Bobiński i Meyer 1992, Cebulak i in. 1996, Olechnowicz-Bobrowska 1996]. Ich nasilenie zaobserwowano szczególnie w ostatnim 20-leciu XX wieku [Skowera i Puła 2004].

Równoległe do prób odtworzenia klimatycznej historii naszej planety, trwają dociekania dotyczące czynników, które wywołują obserwowane, jak i przyszłe zmiany [Mirkowska 2009, Kundzewicz i Juda-Rezler 2010, Kundzewicz i Kędziora 2010]. Nie tylko zasięg ale również przyczyny tych zmian bywają różnie oceniane [Górski 2002].

Czwarty raport IPCC [Alcamo i in. 2007], przedstawił kolejne dowody wskazujące na zachodzące w ostatnich latach zmiany klimatu: wzrost temperatury powietrza na powierzchni Ziemi, podnoszenie się poziomu wody w oceanach, zanikanie lodowców górskich czy zmniejszanie się zasięgu lodu w obszarach arktycznych i antarktycznych [Bindoff i in. 2007, Lemke i in. 2007, Wolny i in. 2004].

Kundzewicz i Juda-Rezler [2010] uważają, że wcześniejsze zmiany klimatu odbywały się bez znaczącej ingerencji ludzkiej. Wywołane były bowiem czynnikami naturalnymi: aktywnością Słońca, okresową zmianą parametrów orbitalnych, czy naturalną zmianą atmosfery ziemskiej [Kundzewicz i Kędziora 2010]. Jednak obecnie, gdy na Ziemi żyje niespełna 7 mld. ludzi, zachodzące zmiany klimatu w znacznej mierze są wywołane działalnością ludzką, bowiem rosną emisje oraz atmosferyczne stężenie dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu [Kundzewicz i Juda-Rezler 2010].

Innego zdania jest Haman [2008], który twierdzi, iż człowiek wpływał na ewolucję klimatyczną niemal od początku istnienia ludzkości, przede wszystkim poprzez zmiany szaty roślinnej w wyniku działalności rolniczej oraz emisję szkodliwych zanieczyszczeń. Od początku XIX wieku, a nawet i później, wpływ ten miał charakter głównie lokalny, bez znaczących skutków globalnych. Te natomiast zostały zauważone dopiero w drugiej połowie ubiegłego stulecia, gdy przybrały niepokojącą skalę. Powodowało je niszczenie ozonu stratosferycznego (powyżej ok. 20 km) przez gazy pochodzenia przemysłowego, czego efektem było zwiększenie dopływu szkodliwego promieniowania ultrafioletowego oraz wzrost stężenia gazów szklarniowych w troposferze powodujący z kolei wzrost temperatury powietrza w warstwie przyziemnej, szczególnie wyraźny na przestrzeni ostatnich trzech dekad.

Obecnie antropopresja ma coraz większy udział w globalnych zmianach klimatu, które powodują narastanie częstości i intensywności ekstremalnych zjawisk pogodowych w skali regionalnej i lokalnej [Kaca i in. 2011]. Zmiany spowodowane działalnością człowieka, głównie spalaniem paliw kopalnych, stwarzają poważne problemy dla rolnictwa. Jest ono czułe na oddziaływanie klimatu i związanych z nim zjawisk atmosferycznych (usłonecznienie, temperatura oraz opady). Wynika to z biologicznego charakteru procesów produkcyjnych w gospodarce rolnej [Bański i Błażejczyk 2005].

W raporcie Międzynarodowego Zespołu do spraw Zmian Klimatu [IPCC 2007], w którym została przedstawiona ocena bieżącego stanu wiedzy na temat zmian klimatu, ich konsekwencji, jak również możliwości adaptacji i przeciwdziałania, zawarte jest jednoznaczne stwierdzenie: „Większość zaobserwowanego wzrostu średniej temperatury globalnej od połowy XX wieku jest bardzo prawdopodobnie spowodowana, wywołanym przez człowieka wzrostem stężenia gazów cieplarnianych”. W wyniku rozwoju rolnictwa wzrasta stężenie podtlenku azotu, a produkcja ryżu, hodowla bydła oraz topnienie wiecznej zmarzliny przyczyniają się do podwyższenia stężenia metanu w atmosferze [Kundzewicz i Juda-Rezler 2010].

Zdaniem Wosia [1999] trafność tezy o antropogenicznych przyczynach ocieplenia potwierdza wzrost średniej temperatury dolnej troposfery o 0,5°C w ciągu ostatnich 100 lat. W wieloleciu 1900-2004 Fortuniak i in. [2001] zaobserwowali zmiany temperatury na powierzchni Ziemi wynoszące około 0,4-0,8°C. Dostępne w literaturze rezultaty badań Kożuchowskiego i Żmudzkiej [2001], Górskiego [2002] oraz Zawory [2005], na podstawie notowań stacji

meteorologicznych, szacują, że w Polsce wzrost średniej temperatury powietrza w XX wieku wyniósł około 0,9-1,0°C.

W latach 1951-2000 Żmudzka [2004] stwierdziła istotny wzrost temperatury powietrza wiosną. Tego samego zdania jest Leśny [2009]. Również zimy nie są już takie srogie, najsilniejszą tendencją rosnącą temperatury powietrza zaobserwował Fortuniak i in. [2001] na przełomie zimy i wiosny. Także Michalska i Kalbarczyk [2005] wskazują na istotnie statystyczny wzrost temperatury szczególnie widoczny w okresie zimowym i wiosennym.

Na szczególną uwagę zasługuje ostatnie 20-lecie XX wieku, ponieważ nie ulega wątpliwości, że w skali globalnej nastąpił przyrost tempa ocieplenia, zintensyfikowany wyraźnie w latach 90-tych [Levitus i in. 2001, Hansen i in. 2002]. Jest ono widoczne, prócz sezonu zimowo-wiosennego (I-V), również w miesiącach ciepłych. Pod koniec XX wieku w lecie pojawiły się wysokie wartości temperatury, a jedynie jesienie były nieco chłodniejsze niż przeciętnie w 50-leciu [Żmudzka 2004]. Fortuniak i in. [2001] wykazali, że w latach 70-tych XX wieku względnie ciepłym zimom towarzyszyły chłodne lata.

Według Kundzewicza i współautorów nie ulega wątpliwości, że klimat ziemski ociepla się. Każdy kolejny rok z ostatniego 20-lecia wpisuje się w obraz cieplejszego świata. Dziesięciolecie 2000-2009 okazało się zdecydowanie najcieplejsze w historii globalnych bezpośrednich pomiarów temperatury powietrza [Kundzewicz i Juda-Rezler 2010, Kundzewicz i Kędziora 2010].

Według Klein Tanka i Könnena [2003], wzrost temperatury powietrza w minionych dekadach wynika raczej ze wzrostu ekstremów ciepła niż ze spadków ekstremów zimna. Innego zdania są Alexander i in. [2006], którzy uważają, że w Europie zmiany ekstremalnych wartości temperatury minimalnej uzyskują wyższe wartości aniżeli maksymalnej. Oznacza to, iż ogólne warunki pogodowe stają się raczej mniej zimne a nie bardziej gorące. Mager i in. [2009], analizując dane meteorologiczne z 49 polskich stacji pomiarowych stwierdzili, że ocieplenie, które zostało zaobserwowane w latach 80-tych XX wieku, trwa nadal.

Autorzy Raportu IPCC [2007] podkreślają, że obserwowane globalne ocieplenie zwiększa ryzyko wystąpienia oraz intensywność susz, fal upałów, burz, gwałtownych spadków temperatury i śnieżyc czyli zjawisk szczególnie niekorzystnych dla rolnictwa. Jego sygnałami są również znaczne straty w produkcji rolnej w Polsce, odnotowane po 2000 roku [Górski i in. 2008].

Według Kundzewicza i Judy-Rezler [2010] oraz Kundzewicza i Kędziora [2010] brakuje alternatywnego sposobu poważnego wyjaśnienia przyczyn globalnego ocieplenia w ostatnich dekadach oprócz intensyfikacji efektu cieplarnianego oraz zubożenia szaty roślinnej naszej planety. Nie sposób rozwiązać ten problem, ponieważ zdania są podzielone. Nie należy jednak lekceważyć oddziaływania czynnika antropogenicznego na przebieg warunków pogody na Ziemi, gdyż zdaniem części naukowców [Mirkowska 2009], wpływa on bardzo istotnie na sytuację klimatyczną. Nie brak jednak głosów [Corti i in.

1999], że obserwowany wzrost temperatury jest przejawem naturalnych fluktuacji, przy których zostaje podważona hipoteza o decydującej roli czynników antropogenicznych.

Szczególną rolę w badaniach nad charakterystyką i spodziewanymi zmianami agroklimatu, zarówno całej Polski, jak i poszczególnych jej regionów, przypisuje się temperaturze powietrza. To właśnie jej zmienność kształtuje warunki wzrostu, rozwoju i plonowania roślin, a także stanowi ważny wskaźnik klimatycznego ryzyka uprawy. Na podstawie średniej temperatury powietrza wyznacza się wiele wskaźników, które przedstawiają termiczne uwarunkowania produkcji rolniczej w danym regionie [Żarski i in. 2010].

Zazwyczaj przyjmuje się [Katz i Brown 1992], że wyższym temperaturom powietrza musi towarzyszyć częstsze występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych, wpływających bardzo istotnie zarówno na rośliny, jak i na rolnictwo. Zależność ta podlega jednak szerokiej dyskusji, ponieważ wyniki analiz nie zawsze są jednoznaczne [Niedźwiedź 2000].

Badania Kozuchowskiego i Żmudzkiej [2001], nad zmianami temperatury powietrza w Polsce, w okresie 1951-2000, wykazały rosnącą tendencję o prawie 0,2°C na dekadę. Dla dwu ostatnich dekad XX wieku wartość ta wynosi 0,3°C za dekadę [Górski 2002, Żmudzka 2004]. Deputat [1999] oraz Demidowicz i in. [1999] uważają, że tak duże zmiany temperatury powodują konsekwencje w rolnictwie.

Kończący dwudzieste stulecie rok 2000 okazał się w Polsce najcieplejszy w ciągu ostatniego półwiecza. Średnia temperatura powietrza, obliczona na podstawie danych z 51 stacji meteorologicznych osiągnęła 9,5°C i była najwyższa z serii lat 1951-2000. Ukształtowała się ona pod wpływem wyjątkowo ciepłych przejściowych pór roku – wiosny i jesieni. Średnie kwietnia i października, podobnie jak średnia roczna, były najwyższe w całym pięćdziesięcioleciu [Kozuchowski i Żmudzka 2001].

Żarski i in. [2010] przedstawiają wyniki badań, w których średnia wieloletnia roczna temperatura powietrza w rejonie Bydgoszczy w okresie 1949-2008 wynosiła 7,8°C. Przebieg roczny był typowy dla umiarkowanego i przejściowego klimatu Polski, który charakteryzuje się przeciętnie najniższą temperaturą powietrza w styczniu (średnio -2,2°C), najwyższą natomiast w lipcu (średnio 18,0°C). We wszystkich analizowanych przedziałach czasowych temperatury powietrza cechowała bardzo duża zmienność czasowa. Również inne publikacje Żarskiego i in. [2001, 2004, 2007, 2009] przedstawiają znaczącą zmienność czasową różnych wskaźników agrometeorologicznych, obliczonych na podstawie temperatury powietrza, w rejonie kujawsko-pomorskim.

Biorąc pod uwagę dane ze stacji Bydgoszcz-IMUZ, średnia roczna temperatura powietrza w okresie 1851-2000 wynosiła 8,1°C. Najchłodniejsze w tym okresie były dziesięciolecia 1851-1860 i 1871-1880 (średnia roczna temperatura powietrza wynosiła 7,5°C), a najcieplejsze 1981-1990 oraz 1991-2000 (9,0°C). W tym samym okresie obserwowano zmiany średniej temperatury

w poszczególnych porach roku. W okresie zimy (XII-II) temperatura wynosiła średnio $-1,2^{\circ}\text{C}$, przyjmując wartości od $-8,4$ do $3,6^{\circ}\text{C}$. W trzydziestoleciu 1971-2000 zimy stały się wyjątkowo ciepłe: 1971-1980 ($-0,1^{\circ}\text{C}$), 1981-1990 ($-0,2^{\circ}\text{C}$), 1991-2000 ($0,1^{\circ}\text{C}$). Podobny trend zanotowano latem, podczas którego średnia temperatura miała wartość odpowiednio $17,8$; $18,0$; $18,6^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w całym analizowanym okresie $17,7^{\circ}\text{C}$. Temperatura powietrza wzrosła także wiosną – w ostatnich trzech dekadach XX wieku zanotowano odpowiednio $7,9$; $8,8$ oraz ponownie $8,8^{\circ}\text{C}$, a także jesienią - $8,5$; $9,1$ i $8,5^{\circ}\text{C}$. Średnia temperatura wiosny i jesieni w latach 1851-2000 wynosiła $7,5$ i $8,2^{\circ}\text{C}$ [Bąk 2003]. Na widoczny wzrost temperatury powietrza w Bydgoszczy, szczególnie w ostatnich dekadach XX wieku, który wskazuje na ocieplenie klimatu w tym mieście zwracają uwagę także Kamińska i Musiał [2007].

Mówiąc o ocieplaniu się klimatu okolic Bydgoszczy musimy być jednak bardzo ostrożni ze względu na różne równania trendów linowych z dominacją trendów nieistotnych, jak również stwierdzony brak nasilenia się okresów o anomalnych i ekstremalnych warunkach termicznych [Żarski i in. 2010]. W ostatnim 15-leciu badanego okresu wieloletniego zanotowano ogółem 7 okresów o ekstremalnych, bądź anomalnych warunkach termicznych, stanowi to 27% wszystkich takich przypadków. Na tej podstawie nie można wnioskować, że w rejonie Bydgoszczy w ostatnich latach ekstrema termiczne występowały częściej niż zwykle. Autorzy pragną także zauważyć, że były to w niewielkiej przewadze miesiące ekstremalnie lub anomalnie zimne, w porównaniu z ekstremalnie lub anomalnie ciepłymi

Wieloletnie serie pomiarów powietrza mają ogromne znaczenie w badaniach nad współczesnymi zmianami klimatu. Bardzo dużą rolę w tych badaniach odgrywają temperatury ekstremalne – maksymalna i minimalna [Żarski i in. 2007]. Wyniki te są znaczące również w agroklimatologii, a ich zmienność kształtuje klimatyczne ryzyko uprawy roślin oraz decyduje, przede wszystkim w okresie zimowym, o późniejszych warunkach ich wzrostu, rozwoju i plonowania [Koźmiński i Michalska 2001].

Według badań Żarskiego i in. [2007] w latach 1971-2005 średnią temperaturę maksymalną cechował w rejonie Bydgoszczy wzrost, a średnią temperaturę minimalną spadek wraz z upływem czasu. Twierdzenie o wzroście ekstremalnych sytuacji termicznych łagodzi jednak fakt, iż równania trendów liniowych były istotne tylko w nielicznych krokach czasowych (4 przypadki na analizowanych 30). Z innych badań o charakterze regionalnym [Banaszkiewicz i in. 2002] wynika, że średnia miesięczna temperatura powietrza na obszarze Polski północno-wschodniej w okresie 1951-1995 wykazała niewielkie trendy wzrostowe w miesiącach zimowych. Również średnia roczna oraz temperatury ekstremalne (maksymalna i minimalna) uległy podwyższeniu.

Zmiana klimatu jest obecnie jednoznaczna pod względem wzrostu temperatury, co wynika ze zwiększenia stężenia CO_2 w atmosferze [Ceccarelli i in. 2010], a także metanu i tlenków azotu oraz zmniejszenia ilości ozonu w stratosferze [Kamińska i Musiał 2007]. Należy zwrócić uwagę na zmiany

wynikające z emisji gazów cieplarnianych oraz możliwości sterowania procesami przyrodniczymi w produkcji rolnej w taki sposób, iż mogą one ograniczyć tempo tych zmian. Uważa się, że działalność rolnicza ma coraz większy wpływ na wzrost emisji gazów cieplarnianych. Wskazuje się także na możliwość sekwestracji znaczących w skali globalnej ilości węgla w glebach użytkowanych rolniczo, jak również zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w produkcji rolnej [Kaca i in. 2011].

W naszej atmosferze najważniejszymi gazami szklarniowymi są para wodna i dwutlenek węgla [Kędziora 2008]. Para wodna występuje w bardzo zmiennej koncentracji (lokalnie od niemal zera do 4% masy powietrza) i jest odpowiedzialna za 97% efektu cieplarnianego obserwowanego w pobliżu powierzchni Ziemi [Haman 2008]. Na jej ilość w atmosferze nie mamy bezpośredniego wpływu, ponieważ zależy ona głównie od temperatury troposfery [Kędziora 2008]. Na drugim miejscu jest dwutlenek węgla (koncentracja ok. 0,04%), następnie metan, podtlenek azotu i kilka innych tzw. gazów śladowych. Koncentracja tych gazów stale wzrasta [IPCC 2001, Kędziora 2008]. Na przestrzeni dwudziestego wieku zaobserwowano ok. 25% wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze [Haman 2008], również wskutek ograniczenia możliwości wiązania węgla przez roślinność z powodu wylesień [Kundzewicz i Juda-Rezler 2010].

Jednak zmiany klimatu to nie tylko wzrost temperatury, to również większa zmienność warunków pogodowych z roku na rok [Alcamo i in. 2007] a w konsekwencji zmiana terminów faz rozwojowych oraz optymalnych warunków termicznych i opadowych, niezbędnych do prawidłowego wzrostu, a także wysokiego plonowania roślin uprawnych. Często z globalnymi zmianami klimatu utożsamia się tylko wzrost temperatury oraz dwutlenku węgla, pomijając inne zmienne klimatyczne, takie jak opady, zachmurzenie, parowanie, prędkość wiatru czy przymrozki. Jednak okazuje się, że i one podlegają tym zmianom.

Na większości obszarów półkuli północnej zanotowano wzrost opadów atmosferycznych w tempie od 0,5 do 1% na dekadę, szczególnie zauważalny jesienią i zimą [Kundzewicz i Kędziora 2010]. Według Bańskiego i Błażejczyka [2005] w Polsce sumy roczne opadów wynoszą zasadniczo 500-700mm, a ich największe natężenie przypada na okres letni, tj. czas największej transpiracji roślin. Nadmierne lub gwałtowne opady atmosferyczne między innymi w postaci gradu mogą niszczyć rośliny.

Cechą charakterystyczną opadów jest duża zmienność ich wysokości oraz rozkładu w poszczególnych sezonach wegetacyjnych. W warunkach klimatu umiarkowanego przejściowego między morskim a kontynentalnym, który jest typowy dla województwa kujawsko-pomorskiego, zmienność ta przejawia się dużymi wahaniami wskaźników wydajności produkcji roślinnej w kolejnych latach [Chmura i in. 2009, Bojar i in. 2012, Żarski i in. 2014].

Nawet na niewielkich obszarach sumy opadów, a także trendy ich zmian mogą być zupełnie różne. Przykładem są trendy zmian opadów w Polsce.

W Sudetach zaobserwowano wzrost opadów o 17 mm na każde 10 lat natomiast na Kujawach trend jest ujemny i wynosi -3,4mm na 10 lat [Bański i Błażejczyk 2005].

Są lata, w których występuje duże zróżnicowanie zarówno przestrzenne, jak i czasowe sytuacji ekstremalnych na terenie Polski, np. susza na Podlasiu i powódź w Karpatach. Zróżnicowanie czasowe sprawia, że na tym samym obszarze w ciągu jednego sezonu letniego mogą występować po sobie zarówno dotkliwe niedobory, jak i nadmiary opadów. Po obfitych opadach w lipcu 1997 wystąpił na znacznym obszarze Polski długi okres z opadami znacznie poniżej średniej z wielolecia. Podobnie po długotrwałej suszy w czerwcu i lipcu 2006 wystąpił okres wysokich opadów w sierpniu 2006 [Starkel i Kundzewicz 2008]. Największa zmienność opadów (ponad 25%) cechuje Kujawy, wschodnią część Pomorza, Żuławy oraz Wyżynę Lubelską [Łabędzki i Bąk 2004].

Na Kujawach, gdy opady są wyjątkowo niskie, a okresy bezopadowe długie (sięgające nawet do 38 kolejnych dni), poziom wody gruntowej na łąkach nadnoteckich spada nawet poniżej 100cm, przy poziomie optymalnym wynoszącym 40 cm [Bański i Błażejczyk 2005].

Zmienia się rozkład sezonowy opadów. W Polsce kubatura opadów zimowych rośnie, a letnich pozostaje bez zmian. Wzrasta zatem stosunek sumy opadów w półroczu chłodnym, do sumy opadów w półroczu ciepłym [Kundzewicz i Juda-Rezler 2010]. Coraz częściej zimą maleją opady śniegu i mniejsza jest grubość pokrywy śnieżnej, a rośnie objętość i częstotliwość zimowych deszczy [Starkel i Kundzewicz 2008, Kundzewicz i Juda-Rezler 2010, Kundzewicz i Kędziora 2010]. W cieplejszym klimacie zanotowano intensywniejsze opady, które przedzielają dłuższe okresy posuszne [Kundzewicz i Kędziora 2010].

Z badań Żmudzkiej [2004] wynika, że w drugiej połowie XX wieku w Polsce wysokość opadów nie wykazała istotnego trendu zmian pomimo, że pod koniec lat 90-tych nastąpił wzrost ilości opadów. Pozostaje ona na podobnym poziomie, jak w latach 1961-1990 [Górski 2002, Liszewska i Osuch 1999]. Z kolei zdaniem Kacy i in. [2011] oraz Kundzewicza [2000] zaobserwowane tendencje zmniejszania ilości opadów przy niekorzystnej zmianie ich rozkładu w ciągu roku, w warunkach wzrostu temperatury powietrza, świadczą o dostrzegalnych zmianach klimatu.

Polska należy do krajów o najmniej korzystnym bilansie wodnym w Europie [Kamińska i Musiał 2007]. Szczególnie niekorzystny dla produkcji roślinnej rozkład opadów występuje w rejonie Kujaw. W okolicach Bydgoszczy sumy opadów atmosferycznych mierzonych standardowymi deszczomierzami Hellmanna są niższe od średniej sumy opadów w Polsce, wynoszącej 600 mm [Kasperska-Wołowicz i in. 2003]. Tego samego zdania są Dzieżyc i in. [1990], podkreślając że największe niedobory opadów, niezależnie od rodzaju roślin i związku gleby, występują w środkowej, nizinnej części kraju, określanej przez Romera jako Kraina Wielkich Dolin, a szczególnie na Kujawach.

Potwierdzają to również liczne badania m.in. Bąka [2003], Łabędzkiego i Bąka [2004], Łabędzkiego [2007b] oraz Żarskiego [2011].

W rejonie Bydgoszczy średnia roczna suma opadów wynosi 500 mm, a w półroczu letnim (IV-IX) około 300mm. [Atlas klimatyczny Polski 1979, Atlas klimatu Polski 2005]. Z kolei pomiary Roguskiego i in. [1996] w okresie 1961-1990 wykazały 515mm średnio rocznie, a w okresie wegetacyjnym 320 mm. Zbliżone wartości podaje Woś [1994] oraz Kasperska-Wołowicz i in. [2003].

Na podstawie rozkładu temperatury i opadu w Polsce Bąk [2003] opierając się na kryteriach Schmucka [1969] zakwalifikował obszar Kujaw do regionów najcieplejszych pod względem termicznym, natomiast pod względem opadowym - do regionów bardzo suchych.

W Polsce najwięcej dni z opadami występuje w okresie zimowym, ale najwyższe opady notuje się w okresie letnim. Także w Bydgoszczy najbardziej obfity w opady był lipiec i sierpień (miesiące letnie), a najuboższe styczeń i luty (miesiące zimowe) [Bąk 2003]. Autor pisze również, że opady wiosenne w tym regionie charakteryzują się dużą wartością współczynnika zmienności opadów.

Czasowy rozkład opadów ma duży wpływ na gospodarkę wodną i produkcję roślinną. W okresie wegetacji roślin najbardziej prawdopodobne ($p=50\%$) niedobory opadów w Bydgoszczy wynoszą 226 mm, w rejonie Kruszwicy 201 mm, a w dolinie Noteci górnej 228 mm. W latach bardzo suchych ($p=10\%$), niedobory przedstawiają się następująco: 378, 360 i 390 mm. Największe niedobory notowane są w maju, czerwcu oraz lipcu [Łabędzki 2007b]. Pozwala to zaliczyć te rejony do obszarów szczególnie deficytowych w wodę dla rolnictwa. Według Rzekanowskiego i in. [2011] za takie obszary uznaje się tereny z najniższymi opadami atmosferycznymi w okresie wegetacyjnym, szczególnie niekorzystnymi klimatycznymi bilansami wodnymi, a także zwiększoną częstotliwością występowania długotrwałych okresów bezopadowych.

Na Kujawach warunki pluwiotermiczne są uznawane za główny czynnik, limitujący wzrost roślin uprawnych oraz poziom ich plonowania [Łabędzki i Adamski 2010]. Kamińska i Musiał [2007], na podstawie przebiegu zmienności ewapotranspiracji i opadów atmosferycznych w wieloleciu 1945-1996 w Bydgoszczy twierdzą, iż ewapotranspiracja znacznie przewyższa opady. Przewaga ta zaznacza się w ostatnich dekadach XX wieku.

Rozpatrując warunki pluwiotermiczne produkcji rolniczej mamy na myśli również potrzeby opadowe danej rośliny. To według Dzieżyca i in. [1990] ilość mm opadów naturalnych w okresie od siewu lub początku wegetacji na wiosnę do zbioru, optymalnie rozłożonych w danym okresie i wystarczających (w danych warunkach siedliska) do uzyskania wysokiego plonu. Zdaniem Karczmarczyka i Nowaka [2006], wymagania wodne roślin zależą głównie od genotypu, długości trwania okresu wegetacyjnego oraz fazy wzrostu i rozwoju, jak również warunków środowiskowych, które decydują o intensywności transpiracji.

Niedobory opadów dla roślin powodują obniżenie plonów tym większe, im większy jest niedobór i bardziej niekorzystny jest rozkład w okresie wegetacji, a szczególnie w czasie największych potrzeb opadowych rośliny w danych warunkach środowiska i agrotechniki. Żarski i Dudek [2009] definiują niedobory opadów jako różnicę między wskaźnikami potrzeb roślin a opadami rzeczywistymi, jakie wystąpiły w całym okresie wegetacji lub niektórych fazach wzrostu i rozwoju roślin.

Z dostępnych w literaturze badań Dzieżyca i in. [1987] wynika, że niezależnie od typu lat, zwięzłości gleby i rejonu największe niedobory opadów wykazują: koniczyna czerwona, buraki pastewne i cukrowe oraz kapusta biała późna, mniejsze niedobory mają: lucerna, bobik, łubin żółty, ziemniaki wczesne i późne, natomiast zdecydowanie najmniejsze: żyto, pszenica ozima, jęczmień jary i owies. Przeciętne niedobory opadów na glebach lekkich wahają się w zależności od rośliny od 50 do 127 mm. Największe niedobory wykazują buraki pastewne i koniczyna czerwona (100 mm), natomiast najmniejsze zboża ozime (50 mm). Dla roślin motylkowych oraz okopowych zdecydowanie największe niedobory opadów występują w strefie środkowej Polski, mniejsze w południowej, a najmniejsze w strefie północnej, podobnie dla roślin warzywnych.

Obecnie na przeważającej części obszaru Polska posiada niekorzystne warunki wodne. Jest to często skutkiem susz, które w ciągu 25 lat pojawiają się coraz częściej, są coraz intensywniejsze i obejmują znacznie większe obszary kraju [Łabędzki 2006]. Susze (w niektórych publikacjach zwane zamiennie posuchami) rolnicze w warunkach klimatycznych Polski Rzekanowski i in. [2011] zaliczają do zjawisk nieregularnych lecz częstych. Wynika to z podstawowej cechy przejściowego klimatu Polski, którą stanowi bardzo duża zmienność warunków pogodowych w tych samych okresach kalendarzowych kolejnych lat [Żarski i in. 2013]. Przejawia się brakiem regularnej ilości opadów atmosferycznych. Susze stają się coraz bardziej dokuczliwe, a przesuszenie wielu obszarów jest wyraźne [Łabędzki 2009a].

Systematyczne obserwacje susz w ostatnim pięćdziesięcioleciu wskazują na nasilanie się na obszarze naszego kraju tego ekstremalnego zjawiska meteorologicznego. Susze pojawiają się coraz częściej, są coraz intensywniejsze i obejmują znaczne ilości kraju, wywołując ujemne skutki w rolnictwie a zwłaszcza w produkcji roślinnej [Kaca i in. 2011]. Stwarzają poważny problem ekonomiczny, społeczny i środowiskowy [Kanecka-Geszke i Smarzyńska 2007, Łabędzki 2007a].

W zależności od wielkości niedoboru opadów, ich rozkładu na przestrzeni lat, roku czy w okresie wegetacyjnym, a także jego wpływu na atmo-, hydro-, pedo-, agrosferę, Kaca i in. [2011] wyróżniają suszę meteorologiczną, hydrologiczną, glebową lub rolniczą. Bezpośrednim skutkiem suszy jest zakłócenie bilansu wodnego obszaru, które jest spowodowane niedoborem opadów oraz dużym parowaniem terenowym – susza meteorologiczna, a także nadmierne przesychanie gleby – susza glebowa. Obniżenie poziomu wód

gruntowych i zmniejszenie przepływu wody w rzekach prowadzi do suszy hydrologicznej. Mówiąc o suszy rolniczej mamy na myśli niedobór wody niekorzystnie wpływający na wzrost, rozwój i plonowanie roślin uprawnych.

Posuchy atmosferyczne i glebowe (rolnicze) zaliczane są do najważniejszych niekorzystnych, a zarazem ekstremalnych zjawisk pogodowych, które składają się na klimatyczne ryzyko uprawy roślin w Polsce [Kozłowski i Michalska 2001, Dudek i in. 2009, Radzka i in. 2009, Żarski i Dudek 2009]. To długie okresy wywołane brakiem opadów bądź powtarzającymi się opadami mniejszymi niż średnie, które występują w czasie wegetacji roślin [Żarski i in. 2005]. Łabędzki [2004] przedstawia suszę jako zjawisko naturalne, stanowiące normalną, powtarzającą się cechę klimatu. W późniejszej pracy [Łabędzki 2008] susza określana jest jako czasowo powtarzająca się anomalia atmosferyczna, odchylenie od sytuacji normalnej.

Dudek i in. [2009] uważają, że właściwa posucha rolnicza zaczyna się dopiero wówczas, gdy przez tydzień wystąpił brak wody łatwo dostępnej w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu, a jej intensywność wzrasta w cyklach tygodniowych.

W ostatnich trzech dekadach XX wieku zanotowano wzrost zakresu występowania susz. Pod wpływem ocieplenia, które powoduje wzrost parowania i wysychanie, susze stały się częstsze, bardziej intensywne i dłuższe [Kundzewicz i Kędziora 2010].

Zdaniem Dai i in. [2004] od roku 1970 wzrosła ponad dwukrotnie globalna powierzchnia obszarów bardzo suchych. W ostatnich latach zanotowano szereg dotkliwych, wielkoobszarowych susz, anomalii atmosferycznej związanej z okresem bezopadowym lub okresów z opadem znacznie niższym od wartości średniej [Kanecka-Geszke i Smarzyńska 2007], który powoduje znaczny spadek dostępności wody w określonym czasie i obszarze.

Susze należą zarówno do zjawisk atmosferycznych jak i hydrologicznych pojawiających się okresowo i w różnych porach roku. Ich częstości, czasu trwania oraz nasilenia nie można określić, a terminu występowania nie sposób przewidzieć [Kanecka-Geszke i Smarzyńska 2007].

Suszę na terenie Polski notowano w kronikach od XIV wieku. Zjawisko to w naszym kraju pojawia się raz na 4-5 lat, przy czym obserwuje się ciągi lat z niedoborem opadu wywołującym susze i następujące po nich ciągi lat z nadmiarem opadu lub z opadem zbliżonym do średniego [Bąk i Łabędzki 2002, Łabędzki 2004, 2006, Mager i in. 2009].

Na występowanie suszy najbardziej narażone są regiony: Pojezierza Pomorskie i Mazurskie, Niż środkowopolski i Nizina Śląska. Te ekstremalne zjawiska meteorologiczne występują tutaj najczęściej i charakteryzują się największą intensywnością [Kaca i in. 2011]. Natomiast najbardziej wilgotne są regiony południowe: Wyżyna Małopolska, Sudety i Karpaty [Skowera i Puła 2004].

Zdaniem Żmudzkiej [2004], wysokie wartości temperatury w okresie letnim w połączeniu z niedostatkami opadów (przede wszystkim w latach 1981-

1994) przyczyniły się do wystąpienia w Polsce okresów posuchy, a nawet suszy. Cebulak i in. [1996] oraz Olechnowicz-Bobrowska [1996] również zaobserwowali, iż w 1992 i 1994 roku pojawiły się dotkliwe susze letnie.

Susze występujące w latach 1951-2006 charakteryzowały się różnym nasileniem, długością trwania oraz okresem występowania. W tym okresie zanotowano 30 susz atmosferycznych. Łączny czas ich trwania wyniósł około 200 miesięcy, co stanowi 30% analizowanego okresu [Łabędzki 2006]. W 1992 roku wystąpiła susza najsilniejsza, o największym zasięgu, przybierając charakter kłęski. Objęła swym zasięgiem prawie cały obszar Polski. Największe szkody wyrządziła w północno-zachodniej i środkowej części kraju. W niektórych regionach stwierdzono jej występowanie od kwietnia do września, czyli przez cały okres wegetacyjny [Kaca i in. 2011]. Autorzy oceniają, że susza 1992 roku przyczyniła się do zmniejszenia zbiorów ziemiopłodów o 25%. Zbiory zbóż, ziemniaków i pasz objętościowych łącznie, wyrażone w jednostkach zbożowych, w porównaniu do roku 1991, uległy obniżeniu o 31%. Płony siana z łąk średnio w kraju, zmniejszyły się o 27% w porównaniu do średniej z lat 1986-1990.

W rejonie Kujaw wraz z występowaniem długotrwałej suszy zanotowano wysoką temperaturę powietrza i gleby, bardzo duże nasłonecznienie i ujemny klimatyczny bilans wody [Łabędzki 2007a]. Najbardziej dotkliwe skutki suszy zaobserwowano w latach 2005-2006 w województwach lubuskim, kujawsko-pomorskim, pomorskim, podlaskim oraz wielkopolskim. Spowodowały one ogromne straty w rolnictwie, zwłaszcza na łąkach i pastwiskach (40-100%), w uprawach zbóż jarych (20-60%), zbóż ozimych (15-50%), rzepaku (15-45%), ziemniaków i buraków cukrowych (20-60%), warzyw (30-60%) [Kaca i in. 2011]. Jak podają Bąk i Łabędzki [2008] w warunkach klimatycznych Kujaw susze meteorologiczne pojawiają się co drugi rok. Prawie równie często występują susze rolnicze, lecz ich liczba uzależniona jest od zdolności retencjonowania wody przez glebę.

Spośród badanych roślin przez Dudka i in. [2009] większą liczbę okresów posusznych, określonych na podstawie bilansowania zapasu wody łatwo dostępnej w korzeniowej warstwie gleby, odnotowano w uprawie zbóż jarych i kukurydzy, charakteryzujących się dłuższym okresem wzmożonego zapotrzebowania na wodę, mniejszą natomiast w przypadku ziemniaka i bobiku. Dni posuszne bywają najbardziej dotkliwe dla produkcji rolniczej, gdy występują w nieprzerwanych ciągach czyli okresach posusznych. Im dłuższy jest to okres, tym większe negatywne oddziaływanie oraz jego skutki.

Czasowy rozkład częstości pojawiania się posuchy atmosferycznej jest charakterystyczny dla danego regionu. Według Schmucka [1969] najbardziej narażony na posuchę jest pas środkowej, nizinnej części Polski. Uważa on, że ciągi bezopadowe, trwające krócej niż 9 dni, nie powodują szkód w okresie wegetacyjnym. Ciąg bezopadowy kończy dzień z opadem równym bądź większym od 1 mm lub dwa kolejne dni o łącznej sumie opadów równej lub większej od 1 mm. Dzięki metodzie okresów bezdeszczowych istnieje

możliwość ustalenia początku, końca i czasu trwania każdej posuchy, nie uwzględnia się natomiast warunków wilgotności gleby w okresie poprzedzającym posuchę oraz zjawiska parowania.

Wśród wielu wskaźników suszy meteorologicznej, ostatnio często i bardzo szeroko stosowanym jest wskaźnik standaryzowanego opadu SPI [Łabędzki 2006, Bąk i Łabędzki 2008]. Według autorów jest on przydatny przy przestrzennym analizowaniu okresów niedoboru i nadmiaru opadów. Normalizacja i standaryzacja ciągów pomiarowych opadu umożliwia ocenę suszy meteorologicznej w różnych warunkach klimatycznych i przedziałach czasowych.

Na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu SPI [Bąk i Łabędzki 2002] oraz wskaźnika względnego opadu RPI (stosunek sumy opadów w danym okresie do średniej sumy wieloletniej w tym okresie) i jego klasyfikacji [Bąk 2003 za Kaczorowską 1962] stwierdzono, że w ostatnim dwudziestolecu XX wieku na obszarze Kujaw w okresie wegetacyjnym susza występowała w latach 1982-1984, 1989, 1991-1994 oraz 2000. W sezonie wegetacyjnym 1982 roku na tym terenie roczne opady były prawie o połowę mniejsze od średnich z lat 1951-1990. W bardzo suchym 1989 roku opad był tak mały, że prawdopodobieństwo jego wystąpienia było mniejsze od 1% [Łabędzki 2007b], tę suszę zaliczono do ekstremalnej [Bąk 2003].

Długotrwała susza w 1992 roku przybrała charakter kłęski [Bąk 2003]. Towarzyszyła jej wysoka temperatura powietrza i gleby, bardzo duże nasłonecznienie oraz ujemny klimatyczny bilans wodny. Ocenia się, że spowodowała zmniejszenie plonów o 25% [Łabędzki 2007b]. Również według tego autora co roku, od kwietnia do września pojawia się w rejonie Kujaw średnio około 50-60 dni z posuchą atmosferyczną. Stanowi to 30% dni w tym okresie. W wieloleciu 1945-2004 okres posuszny średnio trwał 21-22 dni. Charakterystyczne jest występowanie w tym regionie okresów posusznych, nie tylko w latach suchych i średnich, ale również w latach mokrych [Łabędzki i Adamski 2010].

W wieloleciu 1861-2006 w rejonie Bydgoszczy, najwięcej susz meteorologicznych (292) powodował niedobór 1-miesięcznej sumy opadów. Trwały one najkrócej, średnio 2,4 miesiąca. Niedobór 4-letniej sumy opadów wywołał znacznie mniej susz (20) lecz ich czas trwania był wyraźnie dłuższy, średnio 40,5 miesiąca [Łabędzki 2008].

Obserwacje susz meteorologicznych i rolniczych w rejonie Bydgoszczy prowadzili również Dudek i in. [2009]. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzili, iż w latach 1996-2005 wystąpiło od 8-16 posuch rolniczych. Były one uzależnione od rodzaju gleby oraz gatunku rośliny. Dominowały posuchy umiarkowane (ciąg 7-13 dni braku wody łatwo dostępnej). Posuchy intensywne (ciąg 14-20 dni) i bardzo intensywne (ciąg powyżej 20 dni) stanowiły 24% ogólnej liczby okresów posusznych.

Rezultaty przeprowadzonych dotychczas badań Kasperskiej-Wołowicz i in [2003], w okresie wegetacyjnym, w okolicy Bydgoszczy wskazują, że każdego

roku można spodziewać się wystąpienia posuchy atmosferycznej trwającej 11-15 dni dwukrotnie, trwającej 16-20 dni – jeden raz oraz trwającej dłużej niż 20 dni - co drugi rok. W okresie wegetacji roślin zagrożenie wystąpieniem posuchy dotyczy każdego miesiąca, a w szczególności kwietnia, maja, czerwca i września. W tym czasie może wystąpić około 50-60 dni bez opadów.

Negatywne skutki suszy w rolnictwie widoczne są w postaci zmniejszenia plonu upraw, w porównaniu z wielkością średnią wieloletnią i zależą od wielu czynników. Głównie od długości trwania, stopnia nasilenia, fazy wzrostu i rozwoju roślin a także gatunku roślin oraz regionu geograficznego [Kaca i in. 2011]. Wskazuje się, że rolnicy jako uważni obserwatorzy pogody bardzo sprawnie reagują na zmiany w klimacie, dostosowując przez cały czas kalendarz prac w gospodarstwie do warunków atmosferycznych [Olesen i Bindi 2002].

Zdaniem Żarskiego i in. [2005] największy wpływ na stopień szkodliwości posuch w produkcji roślinnej mają warunki glebowe. Najmniej odporne są gleby bardzo lekkie i lekkie na przepuszczalnym podłożu, w których występuje niewielka ilość części spławianych i próchnicy, mała retencja wodna, a także ograniczona możliwość podsiąku, w porównaniu z glebą lekką na podłożu związłym [Dudek i in. 2009]. Z publikacji Bąka i Łabędzkiego [2008] wynika, że najczęściej susze pojawiają się na glebach najslabszych, a najrzadziej na glebach ciężkich. Również w siedliskach łąkowych najczęściej występują na glebach murszastych i murszowatych, mających małe zdolności do retencjonowania wody [Bąk 2003]. W takich warunkach glebowych, w czasie wzmożonego zapotrzebowania roślin w wodę, nawet kilka dni bez opadu ma wpływ na zmniejszenie ilości, a często również i pogorszenie jakości plonu.

Susze jesienne i wczesnowiosenne zazwyczaj powodują zmniejszenie plonów zbóż ozimych, wiosenne natomiast zbóż jarych, pierwszego odrostu siana oraz wydajności pastwisk. Susze letnie wpływają na ogół ujemnie na plonowanie ziemniaków, buraków cukrowych, drugiego odrostu siana, a także pastewnych upraw polowych [Kaca i in. 2011].

Bąk i Łabędzki [2008], wskazują na ścisły związek między warunkami meteorologicznymi a wzrostem i rozwojem roślin. Wyczerpanie zasobów wody, zmniejszenie ewapotranspiracji, wędnięcie lub słaby rozwój roślin a przede wszystkim spadek plonu, to najważniejsze skutki suszy rolniczej.

Skuteczną metodę łagodzącą niekorzystny wpływ susz na plon roślin uprawnych stanowią nawodnienia [Żarski i in. 2005, 2011] Mają one w Polsce zasadniczo charakter interwencyjny, uzupełniają okresowy niedobór opadów atmosferycznych w stosunku do wymagań wodnych roślin uprawnych [Rzekanowski i in. 2011]. Są niezbędne w czasie trwania okresu wegetacyjnego, w krótszych lub dłuższych okresach, szczególnie w regionach, w których występują częste i silne susze [Kaca i in. 2011]. Znaczenie nawodnień w polskim rolnictwie powinno się zwiększać wraz z intensyfikacją rolnictwa i negatywnymi skutkami zmian klimatu [Łabędzki 2009b].

Zdaniem niektórych badaczy, zmiany klimatyczne powodują wzrost ekstremalnych sytuacji pogodowych, niekorzystnych dla rolnictwa. Pomimo cieplejszych zim wydłuża się okres, w którym mogą wystąpić groźne dla produkcji roślinnej spadki temperatury powietrza poniżej 0°C, czyli przymrozki. Przymrozki, które występują tuż przy gruncie określa się jako przygruntowe, a notowane w klatce meteorologicznej - jako całkowite [Wilczyński i in. 2005 za Trojan 1972]. Są one bardzo niebezpiecznym zjawiskiem meteorologicznym dla upraw, najbardziej niebezpieczne są przymrozki późnowiosenne i wczesnojesienne [Radomski 1968, Koźmiński 1976].

Ze względu na ich negatywne znaczenie gospodarcze, podczas charakterystyki przymrozków powinno się zwrócić szczególną uwagę na czas trwania oraz faktyczną liczbę dni przymrozkowych [Wilczyński i in. 2005 za Czarnowskim 1978]. Aby precyzyjnie określić stopień zagrożenia roślin, według Dragańskiej i in. [2004] należy zbadać intensywności, czas pojawienia się oraz wrażliwość i fazy rozwojowe rośliny. Bardzo istotne są także informacje dotyczące występowania, tzw. ciągów dni przymrozkowych ponieważ wiadomo, że większe szkody wyrządzi przymrozek łagodniejszy, lecz trwający kilka dni z kolei, niż silny ale jednodniowy [Koźmiński 1976].

Wilczyński i in. [2005] za szczególnie niebezpieczne zjawisko dla świata roślin uważają przymrozki wiosenne, zwane późnymi, ponieważ w tym czasie na roślinach zaczynają pojawiać się pąki liściowe i pędowe, bardzo wrażliwe na nagłe spadki temperatury. Pierwszy przymrozek jesienny, a nawet fala krótkotrwałych mrozów, może wystąpić bardzo wcześnie, a najpóźniejszy przymrozek wiosenny - bardzo późno. Dowodem tego jest sytuacja w 2007 roku. Majowe przymrozki, mimo wysokich temperatur średnich w pierwszym półroczu, spowodowały znaczne straty w sadownictwie [Starkel i Kundzewicz 2008].

W Polsce szczególnie niebezpieczne są przymrozki występujące na wiosnę i wczesną jesienią. Rośliny w tym czasie kwitną lub wydają owoce. Spadki temperatur poniżej 0°C wpływają niekorzystnie na młode pąki kwiatowe, kiełkujące ziemniaki, powodując ich wymarzenie bądź niszczenie owoców. Przeciwdziałanie tym zjawiskom polega głównie na umieszczeniu plantacji powyżej den dolin i na innych obszarach gdzie przymrozki występują bardzo rzadko [Bański i Błażejczyk 2005].

Najczęściej za dzień przymrozkowy przyjmuje się dzień z temperaturą minimalną niższą od 0°C. Kolasiński [2008] za Koźmińskim i Michalską [2003] podaje, że przymrozki występują wtedy, gdy temperatura minimalna spada poniżej 0°C, a średnia dobowa jest wyższa od 0°C. Z takimi dniami spotykamy się najczęściej na wiosnę i na jesieni, czyli na początku i końcu okresu wegetacyjnego.

Z badań Kolasińskiego [2008] przeprowadzonych na przykładzie Falent wynika, że zarówno wiosną, jak i jesienią, występowała duża zmienność liczby dni przymrozkowych z roku na rok. Najczęściej wystąpiły lata z 5 dniami przymrozkowymi na wiosnę (7 lat), i 4 dniami na jesieni. W czasie okresu

wegetacyjnego przymrozki występują zazwyczaj w kwietniu (średnio 5,3 dnia) i październiku (4,1 dnia). Potencjalna długość okresu od daty najwcześniejszego zaniku przymrozków na wiosnę do daty najpóźniejszego ich pojawienia się jesienią (długość okresu bezprzymrozkowego) wynosiła 245 dni. Wydłużanie okresu bez przymrozków jest związane z wcześniejszym zanikaniem przymrozków na wiosnę oraz z coraz wcześniejszym ich pojawianiem się jesienią.

Z kolei badania Dragańskiej i in. [2004], wykonane na podstawie pomiarów temperatury powietrza w latach 1971-2000 wykazały, że długość okresu bezprzymrozkowego wyznaczona na wysokości 200cm wahała się od 143 dni w Gołdapi do 173 w Mikołajkach. Najkrótszy okres bez przymrozków zanotowano w 1977 roku w Gołdapi – 109 dni, kiedy to ostatni przymrozek wiosenny wystąpił 1 czerwca, zaś pierwszy jesienny 19 września. Najdłuższy okres bez przymrozków (215 dni) zaobserwowano w Elblągu w 2000 roku. Pierwsze przymrozki jesienne odnotowano średnio w październiku. Analiza liczby dni z przymrozkami w poszczególnych miesiącach, pozwoliła stwierdzić, że w kwietniu i w październiku przymrozki pojawiły się najczęściej.

Liczba dni z przymrozkiem w dużym stopniu zależy od warunków lokalnych. Przymrozki znacznie częściej pojawiają się w obniżeniach terenu niż na wzniesieniach. Według Bąka [2003] za Kasperską [1996] przymrozki wiosenne w latach 1945-1994 w Bydgoszczy kończyły się średnio 19 maja, chociaż w 1986 r. zanotowano je nawet 22 czerwca. Jesienne natomiast rozpoczęły się średnio 25 września, jednak w tym samym roku wystąpił już 9 września. Najdłuższy okres bezprzymrozkowy trwał 178 dni (1967 r.), a najkrótszy 80 dni (1986 r.).

W publikacjach dotyczących przymrozków przedstawia się dane z pomiarów standardowych na wysokości 2 m [Limanówka i in. 1993, Kołodziej i Węgrzyn 2000a]. Jednak najlepiej zagrożenie przymrozkami roślin uprawnych określa temperatura minimalna przy powierzchni gruntu [Kołodziej i Węgrzyn 2000b], mierzona na wysokości 5 cm nad powierzchnią gruntu.

Z badań Wilczyńskiego i in. [2005] wynika, że w okresie 1971-2000 początek wystąpienia przymrozków wczesnych – przygruntowych oraz całkowitych, a także terminy zakończenia przymrozków późnych – wykazywał bardzo dużą zmienność. Okres wiosenny charakteryzował się prawie dwukrotnie większą liczbą przymrozków przygruntowych oraz całkowitych niż jesienny. Często zdarzyło się, że przymrozki przygruntowe pojawiały się w pełni sezonu letniego. Zatem, tego szkodliwego zjawiska możemy spodziewać się w całym sezonie wegetacyjnym.

Kolasiński [2008], po przeanalizowaniu wystąpienia dni przymrozkowych w latach 1966-2005 w Falentach, w okresie wegetacyjnym, czyli od kwietnia do października, stwierdził, że liczba dni z przymrozkami systematycznie spada. Jednocześnie, według badań tego autora, wydłuża się okres bezprzymrozkowy. Pierwsze dni z temperaturą ujemną pojawiają się na jesieni coraz później, a zanikanie przymrozków na wiosnę zachodzi coraz wcześniej.

Podobną tendencję zaobserwowali Dudek i in. [2012] na podstawie danych za lata 1971-2005, pochodzących z Mochelka koło Bydgoszczy. W pracy dotyczącej przymrozków przygruntowych wykazali również, że przymrozki okresu wegetacyjnego najczęściej występują w kwietniu (58,0%), a w dalszej kolejności w październiku (26,1%), maju (11,6%) i wrześniu (2,8%). Sporadycznie notowano je w czerwcu i sierpniu. Ważnym ustaleniem badań w rejonie Bydgoszczy było wykazanie, na podstawie analizy trendów, zmniejszania się liczby dni przymrozkowych w całym okresie wegetacyjnym we wszystkich klasach intensywności. Jednak trend istotny dotyczył tylko liczby dni z przymrozkiem słabym i wynosił $-0,19$ dnia rok⁻¹.

Zarówno zachodzące zmiany klimatu, jak i towarzyszące im anomalie klimatyczne, których nasilenie obserwujemy od ostatniej dekady XX wieku, mają duży wpływ na rolnictwo. Zimy są bardzo ciepłe, wcześniej rozpoczyna się wiosna i lato [Skowera i Kopeć 2008]. Występuje duża zmienność typów pogody, charakterystyczna dla klimatu Polski. Konsekwencją tego jest zróżnicowanie przestrzenne pojawiania się i czasu trwania termicznych pór roku. Pory roku występujące na obszarze Polski cechują się także znacznym zróżnicowaniem przebiegu w następujących po sobie latach. Daty początku okresów termicznych zmieniają się w zależności od cyrkulacji atmosferycznej, wysokości nad poziomem morza oraz długości geograficznej [Skowera i Kopeć 2008].

Do ważniejszych wskaźników agroklimatycznych należą przede wszystkim czas trwania oraz temperatura wybranych okresów, istotnych dla przebiegu wegetacji roślin. Zdaniem Niedźwiedzia i Limanówki [1992] podstawą do określenia czasu trwania tych okresów oraz termicznych pór roku jest wyznaczenie dat przejścia temperatury przez następujące progi termiczne: 0°C , $2,5^{\circ}\text{C}$, 5°C , 10°C , i 15°C .

W badaniach klimatologicznych zwykle stosuje się podział na cztery pory tzw. kalendarzowe, składające się z trzech miesięcy. Ponadto często wyróżnia się termiczne pory roku rozumiane jako okresy o ustalonych przedziałach średniej dobowej temperatury powietrza. W ten sposób wyznaczone pory roku wykazują dużą zmienność w długości i datach początku. Jest ona charakterystyczna dla klimatu Polski, który należy do typu klimatu umiarkowanego przejściowego [Bartoszek i Cichoń 2008].

Przy wydzieleniu okresów termicznych Niedźwiedź i Limanówka [1992] wzorowali się na pracach, m.in. Romera [1949] i uwzględnili następujące pory roku oraz okresy termiczne biorąc pod uwagę wartości średniej dobowej temperatury powietrza t:

zima $t < 0^{\circ}\text{C}$, przedwiosnie $0^{\circ}\text{C} \leq t < 5^{\circ}\text{C}$, wiosna $5^{\circ}\text{C} \leq t < 10^{\circ}\text{C}$, przedlecie $10^{\circ}\text{C} \leq t < 15^{\circ}\text{C}$, lato (okres dojrzewania) $t \geq 15^{\circ}\text{C}$, polecie $15^{\circ}\text{C} > t \geq 10^{\circ}\text{C}$, jesień $10^{\circ}\text{C} > t \geq 5^{\circ}\text{C}$, przedzimie $5^{\circ}\text{C} > t \geq 0^{\circ}\text{C}$, okres gospodarczy $t > 2,5^{\circ}\text{C}$, okres wegetacji $t > 5^{\circ}\text{C}$, okres intensywnej wegetacji $t > 10^{\circ}\text{C}$.

Zima jest porą roku najbardziej zmienną ze wszystkich, zarówno pod względem daty początku i końca, jak i długości trwania [Kossowska-Cezak

2005]. Charakteryzują ją średnie dobowe temperatury powietrza poniżej 0°C [Franków 2008]. Najwcześniej pojawia się ona w górach – 24 października na Kasprowym Wierchu, a 24 listopada w Zakopanem. W pierwszej dekadzie grudnia dociera do Warszawy oraz Bydgoszczy, a dopiero w drugiej dekadzie grudnia pojawia się na Dolnym Śląsku. Bałtyk opóźnia nadejście zimy do 3 stycznia. Przeciętna długość trwania zimy w Polsce wynosi od ponad 120 dni w górach do 50 dni nad morzem. W rejonie Bydgoszczy trwa ona średnio 90 dni i kończy się 3 marca, w momencie podniesienia średniej dobowej temperatury powietrza powyżej 0°C [Niedźwiedź i Limanówka 1992].

Termiczna wiosna, a jednocześnie okres wegetacyjny rozpoczyna się, gdy średnia dobowa temperatura powietrza przekroczy próg 5°C. Pod koniec marca wiosna wkracza na Dolny Śląsk i do Wielkopolski. Na początku kwietnia dostrzegamy ją na Kujawach, następnie na Pojezierzu Kaszubskim i Suwalskim (10 kwietnia). We wschodniej części wybrzeża pojawia się w połowie kwietnia, w Sudetach 30 maja, a w Tatrach dopiero 10 czerwca. W przeważającej części Polski wiosna trwa nie dłużej niż miesiąc, od 24 dni na wschodzie do 32 dni na zachodzie, tylko na wybrzeżu wydłuża się do 34-36 dni [Niedźwiedź i Limanówka 1992]. Od początku do połowy maja w nizinnej części Polski średnia dobowa temperatura powietrza podnosi się powyżej 10°C i rozpoczyna się tzw. przedlecie a wraz z nim okres intensywnej wegetacji roślin. Zróżnicowanie czasu trwania tej pory roku jest niewielkie.

Kiedy średnie temperatury dobowe podnoszą się powyżej 15°C zaczyna się termiczne lato, a wraz z nim okres dojrzewania roślin. Zaczyna się on pod koniec maja we wschodniej Polsce nad Bugiem oraz w Kotlinie Sandomierskiej i dalej w dolinie Wisły, na odcinku Sandomierza po Bydgoszcz. Na pojezierzach lato pojawia się w pierwszej połowie czerwca, a nad morzem w ostatnich dniach tego miesiąca. W województwie Kujawsko-Pomorskim lato trwa średnio 90 dni. W tym regionie kończy się ono 31 sierpnia, gdy średnia dobowa temperatura powietrza obniża się poniżej 15°C i rozpoczyna się polecie, trwające średnio w Polsce 35-40 dni, nie wykazując większego zróżnicowania przestrzennego [Niedźwiedź i Limanówka 1992].

Według badań Bartoszka i Cichoń [2008], lato jest najdłuższą porą roku, ale zmienność długości jest taka sama jak przedwiośnia i wiosny, a datę początku nieznacznie mniejsza niż zimy. W latach 1999, 2000, 2002, 2003 zanotowano większą częstość występowania dłuższych okresów letnich (≥ 110 dni). Również Kossowska-Cezak [2005] uważa, iż lato jest najdłuższą porą roku (99 dni) i względnie mało zmienną, co do terminów występowania jak i długości.

Z chwilą spadku średniej temperatury powietrza poniżej 10°C rozpoczyna się termiczna jesień, a kończy okres intensywnej wegetacji roślin. W większej części Polski ma to miejsce w pierwszej dekadzie października. Jesień trwa przeciętnie przez 30 dni i kończy się, gdy temperatura spadnie poniżej 5°C. Jest jednocześnie zakończeniem okresu wegetacyjnego, a tym samym początkiem przedzimia. Na Kujawach koniec okresu wegetacyjnego notuje się przeciętnie

5 listopada [Niedźwiedz i Limanówka 1992]. Ze względu na zakres temperatur, jesień jest porą roku symetryczną do wiosny. Uwidacznia się to zarówno w czasie trwania obu pór roku, jak i w średniej temperaturze tych okresów [Franków 2008].

Przejściowość klimatu znajduje potwierdzenie w występowaniu na obszarze Polski dwóch dodatkowych pór roku: przedwiośnia, które poprzedza wiosnę właściwą, charakteryzującego się chłodną pogodą z opadami deszczu i śniegu oraz przedzimia, występującego po słonecznej i cieplej jesieni, o pogodzie chłodnej i słotnej [Kozuchowski 2004]. Przedwiośnie i przedzimie są stałą cechą warunków klimatycznych w przejściowym klimacie Polski [Franków 2008].

Na podstawie wartości progowych temperatury powietrza można wyróżnić, oprócz termicznych pór roku, również okresy ważne z punktu widzenia gospodarowania rolniczego: okres gospodarczy ze średnią dobową temperaturą wyższą od 2,5°C, okres wegetacyjny $t > 5^{\circ}\text{C}$, okres intensywnej wegetacji $t > 10^{\circ}\text{C}$ [Woś 1999] oraz okres dojrzewania $t > 15^{\circ}\text{C}$ i zimowego spoczynku roślin poniżej 0°C. Koźmiński i Michalska [2003] zwrócili uwagę na fakt, że w wyniku wprowadzania nowych technologii, istnieje większe oddziaływanie na glebę ciężkiego sprzętu uprawowego, w związku z czym konsystencja gleby musi być bardziej zwarta, dlatego za początek okresu gospodarczego przyjmuje się także datę przejścia średniej temperatury powietrza przez próg 3°C.

Na szczególną uwagę zasługuje wydzielony przez Romera [1949] okres gospodarczy, niezwykle ważny dla organizacji prac agrotechnicznych. Najdłuższy, trwający ponad 260 dni notuje się w zachodniej części Polski, ku wschodowi stopniowo ulega skróceniu, do poniżej 230 dni w południowo-wschodniej części Polski. W okolicy Bydgoszczy wynosi on 250 dni [Niedźwiedz i Limanówka 1992].

Według szczegółowych badań Wójcika i Marciniaka [1989], początek okresu gospodarczego w regionie kujawsko-pomorskim przypada od 12 lutego do 6 kwietnia, średnio 18 marca, a koniec od 31 października do 20 stycznia, przy średniej dacie 21 listopada. Długość okresu gospodarczego waha się od 214 do 333 dni, przy średniej długości wynoszącej 249 dni. Liczby te świadczą o dużej zmienności tych wskaźników z roku na rok, przy braku statystycznie istotnych trendów zmian w analizowanym okresie (1931-1980). Przedstawione tendencje dat początku i końca dają w efekcie wydłużenie czasu trwania okresu gospodarczego o 9,2 dnia w ciągu 50 lat.

Okres wegetacyjny trwa najdłużej (ponad 225 dni) nad środkową Odrą oraz na Nizinie Śląskiej a także w zachodniej części Kotliny Sandomierskiej. Skraca się ku północnemu-wschodowi do 197 dni w Suwałkach [Niedźwiedz i Limanówka 1992]. Nieco inny zakres długości trwania tego okresu podają Bański i Błazejczyk [2005]: od około 230 dni na Nizinie Śląskiej do 180 dni na Pojezierzu Suwalskim.

Daty początku okresu wegetacyjnego w Bydgoszczy wahają się od 12 marca do 18 kwietnia przy średniej dacie 3 kwietnia, natomiast daty końca od

15 października do 24 listopada – średnio 4 listopada. Jeżeli chodzi o długość trwania tego okresu, to wynosi ona od 192 do 247 dni, przy średniej 216 dni. Podobnie jak w przypadku okresu gospodarczego, również i tu występuje bardzo duża zmienność czasowa w analizowanym 50-leciu [Wójcik i Marciniak 1989].

Górski [2002] ocenia, że ocieplenie spowodowało wydłużenie się okresu wegetacyjnego o około 10 dni, co przyczynia się do zmiany warunków agroklimatycznych w Polsce, w stosunku do występujących w latach 1961-1990. Wyższa temperatura okresu wegetacyjnego przyspiesza rozwój roślin, zmieniając terminy kolejnych faz fenologicznych [Deputat 1999], a to z kolei niespodziewanie modyfikuje jakość i ilość plonu [Węgrzyn 2007b]. Zdaniem Żmudzkiej [2004] najdłuższy okres wegetacyjny (średnio powyżej 220dni) wystąpił w Polsce w ostatnim 10-leciu XX wieku, ale również w latach 1961-1970.

W produkcji roślinnej termin początku okresu wegetacyjnego jest jednym z podstawowych wskaźników określających przede wszystkim warunki wzrostu oraz rozwoju roślin, wpływając na przebieg faz rozwojowych roślin uprawnych, a także możliwość optymalnego wykonania prac polowych [Węgrzyn 2007a].

Zarówno wyjątkowo wczesny początek okresu wegetacyjnego występujący na przeważającej części Polski w roku 1990 m.in. w Warszawie – 20 lutego [Kossowska-Cezak 2005], jak i wyjątkowo późny, odnotowany w 1955 roku, wzbudzają ogromne zainteresowanie i dyskusje na temat zmian warunków klimatycznych danego regionu [Węgrzyn 2007a]. W Lublinie, jak i na przeważającym obszarze kraju, okres wegetacyjny w 2005 roku Bartoszek i Banasiewicz [2007] wyróżnili na tle wielolecia ze względu na dość dużą liczbę przypadków anomalii pogodowych. Pojawiły się fale ciepła, suszy atmosferycznej i glebowej oraz nawalnych opadów.

Przeprowadzone obliczenia przez Żarskiego i in. [2001] na podstawie okresu wieloletniego 1951-2000 wykazały w Mochelku koło Bydgoszczy, który jest reprezentatywny dla całego regionu, istotne trendy wydłużania się czasu trwania okresu wegetacyjnego i termicznego lata, skracanie się długości trwania termicznej zimy oraz wzrostu sum opadów atmosferycznych. Jednak biorąc pod uwagę lata 1971-2000, Żarski i in. [2004] stwierdzili, że daty początku i końca oraz długości trwania okresów rolniczych nie wykazały istotnych trendów zmian. Nie potwierdzono również istotnych zmian najważniejszych charakterystyk okresu wegetacyjnego wraz z upływem lat od 1949 do 2008 [Żarski i in. 2009].

Obserwowany w XX wieku wzrost temperatury powietrza przyczynił się do wydłużenia okresu wegetacyjnego [Liszewska i Osuch 1999, Górski 2002, Zawora 2005]. W Europie Środkowej w dekadzie 1991-2000 zaznaczyła się tendencja do występowania wyraźnie cieplejszych od normy okresów wegetacyjnych i utrzymuje się nadal [Bartoszek i Banasiewicz 2007]. Wpływa to nie tylko na termin siewu roślin, ale również na zmiany pozostałych terminów prac agrotechnicznych [Kozyra i Górski 2004]. Zaistniała sytuacja

stwarza możliwość uprawy w większym zakresie międzyplonów i poplonów ścierniskowych [Kozyra i in. 2009]. Przyspieszenie tempa rozwoju ma szczególne znaczenie dla roślin klimatu cieplejszego - kukurydzy, soi, prosa, słonecznika [Deputat 1999]. Uprawa tych roślin była jedynie możliwa w cieplejszych regionach Polski – na Dolnym Śląsku i w Kotlinie Sandomierskiej [Kozyra i in. 2009]. Wyższa temperatura, zdaniem Ziernickiej-Wojtaszek i Zawory [2007], może przyczynić się do zwiększenia areалу upraw ciepłolubnych, szczególnie winorośli. Mogą być one nową atrakcją agroturystyczną. Wzrost ten decyduje również o zmianach zasięgu regionów plwiotermicznych w okresie wyraźnego ocieplenia klimatu na obszarze Polski, szczególnie w ostatnim dziesięcioleciu XX wieku [Ziarnicka-Wojtaszek i Zawora 2008].

Fluktuacje klimatyczne w ostatnich dekadach lat przekraczają granice typowej cykliczności warunków pogodowych, objawiając się nasileniem ekstremalnych opadów deszczu, intensywnych susz oraz fal upałów [Kozuchowski 1996, Kossowska-Cezak 2005].

Efekt zmian klimatu obserwuje się w całej gospodarce, czego przykładem mogą być zmiany czasu występowania faz fizjologicznych, czy terminów zabiegów agrotechnicznych. Poszczególne gatunki roślin uprawnych w zależności od fazy rozwojowej wykazują zróżnicowane wymagania odnośnie optymalnych warunków termicznych i opadowych.

Zdaniem Kozyry i Górskiego [2004] obserwowane zmiany klimatu powinny być impulsem do podjęcia dalszych studiów nad wpływem zmian klimatycznych, nie tylko na poziomie kraju, lecz również w skali regionów. W związku z tym, iż zmiany klimatycznego ryzyka uprawy roślin w województwie kujawsko-pomorskim nie są dotąd dobrze rozpoznane [Żarski i in. 2007], zdecydowano się przeprowadzić ocenę tendencji zmian czynników klimatycznych szkodliwych i niekorzystnych w uprawie roślin. Wykonanie stosownych obliczeń oraz ich analiza powinna wzbogacić wiedzę z zakresu charakterystyk zmienności klimatu i ewentualnych zmian klimatycznych obserwowanych w analizowanym regionie.

3. MATERIAŁ ŹRÓDŁOWY I METODY BADAŃ

3.1. POŁOŻENIE STACJI POMIAROWYCH

Wyniki pomiarów meteorologicznych wykorzystane w niniejszym opracowaniu zostały pozyskane z Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych - Stacja Doświadczalna Oceny Odmian w Chrząstowie oraz z dwóch Zakładów Doświadczalnych Oceny Odmian w Głębokim i Głodowie. Wszystkie punkty doświadczalne znajdują się w województwie kujawsko-pomorskim.

SDOO Chrząstowo położona jest w północno-zachodniej części regionu na Pojezierzu Krajeńskim (powiat nakielski, gmina Nakło nad Notecią).

Współrzędne geograficzne stacji:

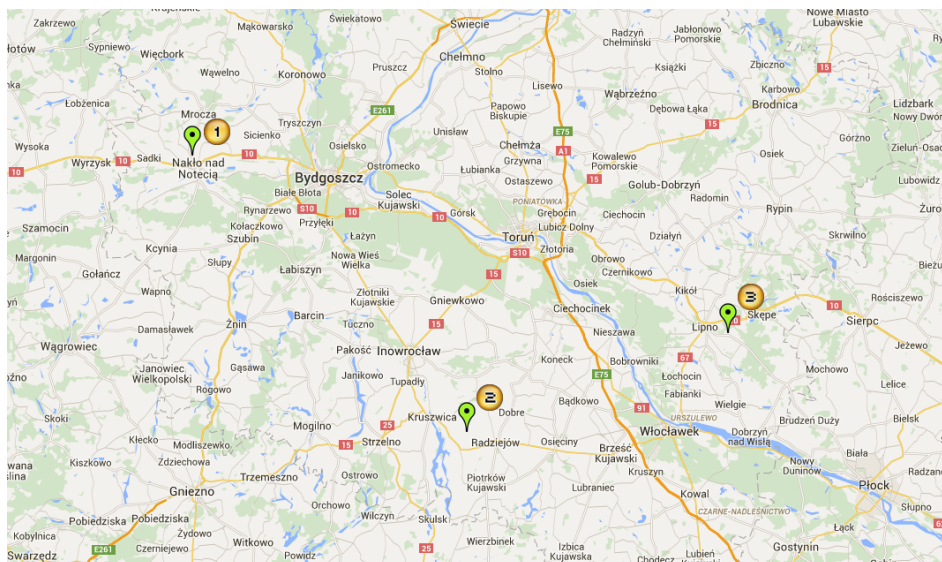
(rys.1). Powierzchnia użytków rolnych wynosi ogółem 514,6 ha, w tym płodozmian doświadczalny 248,9 ha. Kompleksy przydatności rolniczej gleb to pszeniczny bardzo dobry, pszeniczny dobry, żytni bardzo dobry, żytni dobry. Klasy bonitacji gleb: II-VI. Według opracowania Żarskiego i Dudka [2000] wykonanego na podstawie wielolecia 1966-1995 średnia roczna temperatura powietrza w rejonie Stacji wynosi 8,0°C, a roczna suma opadów 533 mm.

Zakład Doświadczalny Oceny Odmian w Głębokim znajduje się w południowej części województwa kujawsko-pomorskiego na Pojezierzu Gnieźnieńskim (Równina Inowrocławska), w powiecie inowrocławskim i gminie Kruszwica. Położenie geograficzne:

Powierzchnia użytków rolnych wynosi ogółem 45,2 ha, w tym płodozmian doświadczalny 41,6 ha. Kompleksy przydatności rolniczej gleb: pszeniczny bardzo dobry, pszeniczny dobry, żytni bardzo dobry. Klasy bonitacji gleb: II-IVa. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi 8,1°C, a suma rocznych opadów atmosferycznych 526 mm [Żarski i Dudek 2000].

Zakład Doświadczalny Oceny Odmian w Głodowie – powiat lipnowski, gmina Lipno - położone jest w południowo-wschodniej części regionu na Pojezierzu Dobrzyńskim. Współrzędne geograficzne punktu pomiarowego:

Powierzchnia użytków rolnych Zakładu Doświadczalnego wynosi ogółem 28,5 ha, w tym płodozmian doświadczalny 18,1 ha. Kompleksy przydatności rolniczej gleb to żytni bardzo dobry, żytni dobry, żytni słaby. Klasy bonitacji gleb: IIIa-VI. Średnia temperatura roczna z wielolecia 1966-1995 wynosi 8,0°C, a roczna suma opadów: 540 mm [Żarski i Dudek 2000].



Rysunek 1. Położenie stacji pomiarowych: 1 – Chrzastowo, 2 – Głębokie, 3 – Głodowo

3.2. PODSTAWOWE DANE METEOROLOGICZNE

Do wyznaczenia wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin w badanych miejscowościach regionu kujawsko-pomorskiego wykorzystano podstawowe dane meteorologiczne pochodzące z najbardziej aktualnego okresu normalnego, obejmującego wielolecie 1981-2010. Dane te dotyczyły:

- średnich miesięcznych temperatur powietrza [°C],
- dobowych wysokości opadów atmosferycznych w okresie od 1 kwietnia do 30 września [mm],
- dobowych minimalnych temperatur przy gruncie (na wysokości 5cm) [°C] w okresie od 1 marca do 31 października.

Wyniki pomiarów temperatury powietrza mierzonej w Chrzastowie, Głębokim i Głodowie standardowo za pomocą termometrów zwykłych rtęciowych na wysokości 2 m od powierzchni gruntu w klatce meteorologicznej poddano weryfikacji poprzez porównanie z danymi pochodzącymi ze Stacji Badawczej UTP zlokalizowanej w Mochelku koło Bydgoszczy. Porównanie polegało na analizie regresji liniowej i korelacji. W przypadku ewidentnych różnic średniej miesięcznej w danej stacji w stosunku do Mochelka i dwóch dalszych badanych miejscowości, przyjęto zamiast wartości zakwestionowanej, średnią temperaturę z trzech pozostałych punktów pomiarowych. Taka sytuacja miała miejsce w 16 przypadkach na 1086 analizowanych (30 lat x 12 miesięcy x 3 miejscowości + 6 wyników z 2011 roku dotyczących średniej temperatury powietrza stycznia i lutego, niezbędnych do opracowania średniej temperatury w zimie), co stanowiło zaledwie 1,5% pozyskanych danych. 14 z wymienionych 16 zakwestionowanych średnich miesięcznych temperatur dotyczyła Chrzastowa, w tym 10 okresu między październikiem 1991 roku a wrześniem 1992 roku.

3.3. WSKAŹNIKI AGROMETEOROLOGICZNE UJĘTE W OPRACOWANIU I METODY ICH WYZNACZANIA

3.3.1. Termiczne okresy rolnicze

W pracy poddano analizie nieprzerwane ciągi średniej miesięcznej temperatury powietrza z lat 1981-2010. Na podstawie wartości tych temperatur w kolejnych latach, dla każdej z analizowanych miejscowości i dla każdego roku, wyznaczono daty początku, końca oraz długości trwania termicznych okresów rolniczych. Posłużono się metodą rachunkową, wykorzystując wzory Gumińskiego [Kozmiński i Michalska 2003].

Określenie dat przy wzroście temperatury:

gdzie:

- x - liczba dni liczona od 15 dnia miesiąca poprzedzającego,
- t_p - temperatura proggu,
- t_1 - temperatura średnia w miesiącu poprzedzającym temperaturę proggu,
- t_2 - temperatura średnia w miesiącu następnym po temperaturze proggu.

Określenie dat przy spadku temperatury (objaśnienia jak wyżej):

Wyznaczono początek i koniec oraz długość trwania następujących okresów rolniczych, przyjmując określone przez Koźmińskiego i Michalską [2003] progi termiczne:

- okres gospodarczy - powyżej 3,0°C,
- okres wegetacyjny - powyżej 5,0°C,
- okres aktywnego wzrostu roślin - powyżej 10,0°C,
- okres dojrzewania roślin - powyżej 15,0°C,

3.3.2. Przymrozki przygruntowe

Ocenę występowania przymrozków przygruntowych w badanych miejscowościach regionu kujawsko-pomorskiego przeprowadzono na podstawie analizy dobowych wartości temperatury minimalnej mierzonej przy gruncie na wysokości 5 cm. Przymrozki określano w dniach, w których zanotowano temperaturę minimalną przy gruncie niższą od 0°C. Wzięto pod uwagę okres od 1 kwietnia do 31 października, dzieląc go umownie na wiosenny: od 1 kwietnia do 30 czerwca, późnowiosenny: od 1 maja do 30 czerwca oraz jesienny: od 1 sierpnia do 31 października. Określono następujące wskaźniki przymrozków przygruntowych: liczbę dni z przymrozkiem wiosennym, liczbę dni z przymrozkiem późnowiosennym, liczbę dni z przymrozkiem jesiennym, całkowitą liczbę dni przymrozkowych w sezonie wegetacji, datę ostatniego przymrozku wiosennego, datę pierwszego przymrozku jesiennego, długość trwania okresu bez przymrozków. W opracowaniu uwzględniono także liczbę dni z przymrozkiem silnym o spadku temperatury minimalnej przy gruncie do -4,0°C i poniżej, z uwzględnieniem okresu wiosennego i jesiennego.

3.3.3. Wskaźniki posuch atmosferycznych

Ocenę posuch atmosferycznych, podobnie jak wcześniej wymienionych wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin, przeprowadzono osobno dla każdej z trzech analizowanych miejscowości. Wykorzystano dane opadowe z okresu wieloletniego 1981-2010.

Uwzględniono następujące wskaźniki posuchy atmosferycznej: sumę opadów atmosferycznych, w odniesieniu do badań trendów zmian wraz z upływem czasu także znormalizowaną sumę opadów, liczbę dni z opadem wynoszącym co najmniej 0,1mm, liczbę dni z opadem większym od 9,9mm oraz wskaźnik względnego opadu (RPI). Wskaźniki te wyznaczono dla miesięcy półrocza letniego (bezwzględne i znormalizowane sumy opadów oraz wskaźniki RPI), a także dla półrocza letniego (IV-IX) i ważnych z punktu widzenia produkcji rolniczej okresów dwumiesięcznych: od 1 maja do 30 czerwca (V-VI) oraz od 1 lipca do 31 sierpnia (VII-VIII) (wszystkie wskaźniki). Założono, że warunki opadowe w pierwszym z tych okresów mają duże znaczenie dla ujętych w dalszej analizie zbóż jarych, a w lipcu i w sierpniu decydują o plonowaniu ziemniaka i kukurydzy. Bezwzględne sumy opadów atmosferycznych poddano normalizacji za pomocą funkcji przekształcającej [Łabędzki 2006]

Wskaźnik relatywnego opadu (RPI) wyrażony jest w procentach jako stosunek sumy opadu P w badanym okresie (miesięcznym, dwumiesięcznym, kwartalnym, półrocznym lub rocznym) danego roku do wartości średniej wieloletniej w tym samym okresie [Łabędzki 2006]. Definiowany jest wzorem:

$$RPI = \frac{P}{\bar{P}} \cdot 100$$

gdzie:

P – suma opadów atmosferycznych w badanym okresie danego roku,

– wartość średnia wieloletnia opadów w tym samym okresie.

Na podstawie otrzymanych wielkości RPI w % określono stopień uwilgotnienia analizowanych kroków czasowych, kierując się przedstawionymi poniżej wartościami progowymi, określonymi w pracy Łabędzkiego [2006], a w odniesieniu do okresów dwumiesięcznych w publikacji Dembka i in. [2015].

Nazwa okresu	Miesiąc	Półrocze ciepłe (IV-IX)	Okresy dwumiesięczne
Skrajnie suchy	0-24,9	0-49,9	0-36
Bardzo suchy	25,0-49,9	50,0-74,9	37-62
Suchy	50,0-74,9	75,0-89,9	63-82
Przeciętny	75,0-125,9	90,0-110,9	83-118
Wilgotny	126,0-150,9	111,0-125,9	119-137
Bardzo wilgotny	151,0-200,0	126,0-150,0	138-175
Skrajnie wilgotny	Powyżej 200,0	Powyżej 150,0	Powyżej 175

3.3.4. Wskaźnik posuch rolniczych

Oceny posuch rolniczych dokonano na podstawie wielkości niedoborów opadów atmosferycznych, obliczonych w stosunku do opadów optymalnych

Klatta. Wyznaczono je wykorzystując średnie miesięczne temperatury powietrza oraz miesięczne sumy opadów atmosferycznych dla każdego roku z wielolecia 1981-2010 i dla każdej z 3 analizowanych miejscowości. Obliczeń dokonano dla następujących upraw i okresów: zboża jare (okres wegetacji IV-VII, okres wzmożonego zapotrzebowania na wodę V-VI), ziemniak średnio wczesny (okres wegetacji V-VIII, okres wzmożonego zapotrzebowania na wodę VII-VIII), kukurydza (okres wegetacji V-IX, okres wzmożonego zapotrzebowania na wodę VII-VIII). Przyjęto wskaźniki opadów optymalnych Klatta dla gleb średnich, uwzględniając poprawkę ze względu na wartość temperatury powietrza. Na każdy 1°C poniżej lub powyżej średniej temperatury przyjętej przez Klatta, odpowiednio dodawano lub odejmowano 5 mm opadu [Grabarczyk 1983]. Niedobory opadów atmosferycznych obliczono jako różnice między opadami rzeczywistymi i optymalnymi.

3.4. OPRACOWANIE WYNIKÓW

W pracy zastosowano metody statystyczne oraz sposoby prezentacji wyników powszechnie stosowane w badaniach agroklimatologicznych. W szczególności wyznaczono wartości średnie wieloletnie danego wskaźnika oraz ekstremalne w badanym wieloleciu. Dla każdego z ciągów liczbowych wyznaczono także odchylenie standardowe, które pozwala na ocenę zmienności czasowej danego parametru. W celu określenia zmian poszczególnych wskaźników wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 r., zastosowano metodę trendów z wykorzystaniem równań regresji liniowej [Garnier 1996, Kossowska-Cezak i in. 2000].

W celu określenia ewentualnego poszerzenia zmienności czasowej (ekstremalności) poszczególnych wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin, porównano ich odchylenia standardowe oraz zakres (różnica między maksimum i minimum) w okresach 15 letnich: 1981-1995 i 1996-2010.

4. WYNIKI BADAŃ

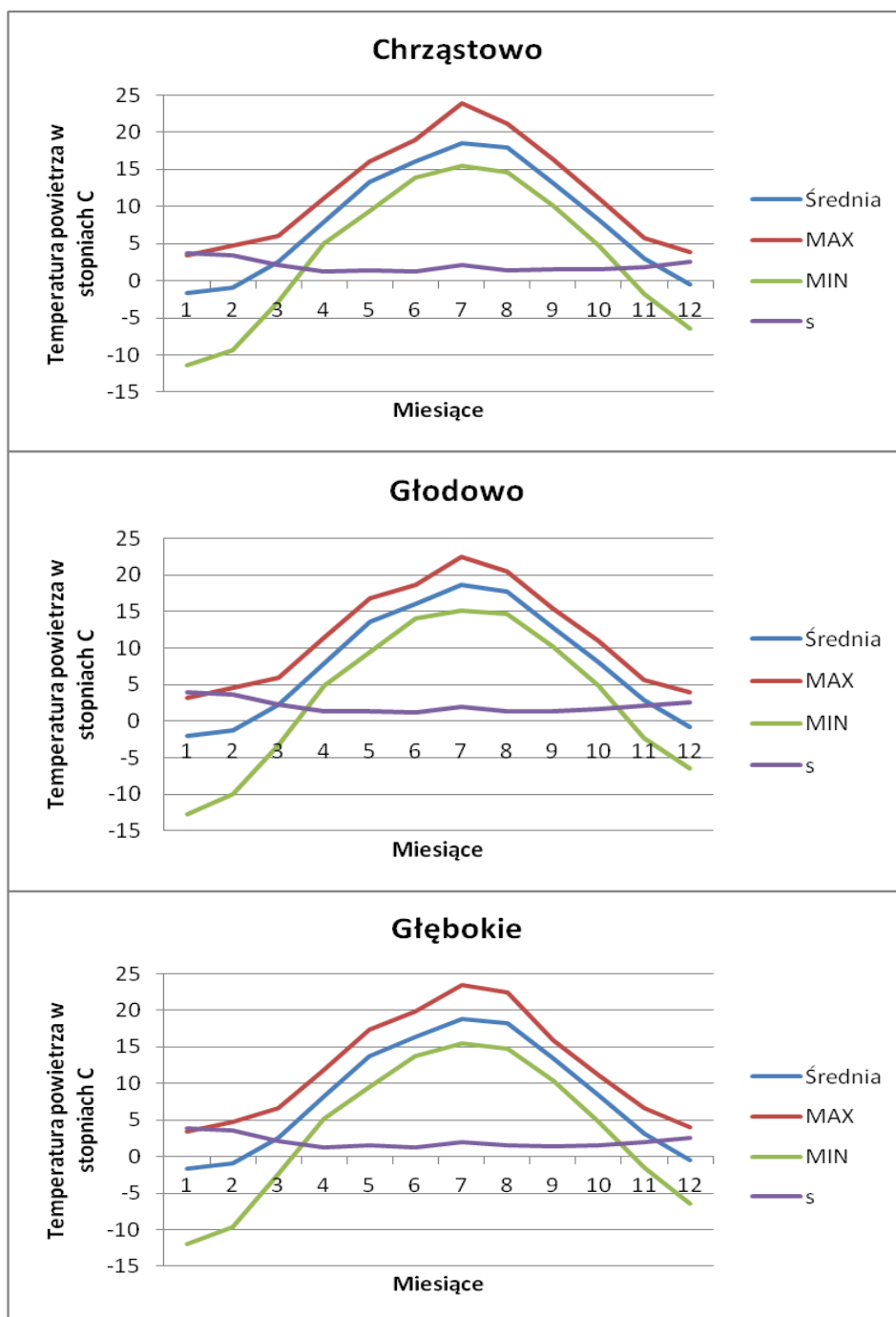
W rozdziale zostaną kolejno omówione wskaźniki określające termiczne warunki produkcji roślinnej, obejmujące temperaturę powietrza, klimatologiczne okresy rolnicze oraz przymrozki, a następnie warunki opadowe produkcji rolniczej, w tym posuchy atmosferyczne i rolnicze. Zgodnie z celami pracy, podczas analizy poszczególnych wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin w trzech miejscowościach regionu kujawsko-pomorskiego zostanie przeprowadzona agrometeorologiczna ocena ich wartości i zmienności czasowej, próba określenia kierunku, zakresu i stopnia istotności zmian w badanym wieloleciu oraz ocena ewentualnego poszerzenia ekstremalności na podstawie porównania wskaźników zmienności czasowej w okresie 1996-2010 w stosunku do okresu 1981-1995.

4.1. TEMPERATURA POWIETRZA

Temperaturę powietrza, stanowiącą podstawowy parametr meteorologiczny oraz podstawę do wyznaczenia wskaźników agrometeorologicznych opracowano w 20 krokach czasowych, obejmujących miesiące, rok, półrocze letnie, pory roku oraz dwa okresy ważne z punktu widzenia potrzeb wodnych głównych grup użytkowych roślin uprawnych: V-VI (zboża), VII-VIII (okopowe, kukurydza).

Przebieg roczny średniej wieloletniej temperatury powietrza w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego okazał się bardzo zbliżony (rys.2). Cechą charakterystyczną tego przebiegu, typowego dla klimatu umiarkowanego przejściowego Polski, był stopniowy wzrost temperatury od miesiąca najchłodniejszego w roku (styczeń) do miesiąca najcieplejszego (lipiec), a potem jej stopniowy spadek od lipca do grudnia. Podobne przebiegi roczne, choć mniej płynne, dotyczyły najwyższych i najniższych w wieloleciu 1981-2010 średnich miesięcznych temperatur powietrza. Dość charakterystyczne i bardzo podobne w porównywanych miejscowościach przebiegi roczne dotyczyły także odchylenia standardowego miesięcznych temperatur powietrza.

Średnia wieloletnia roczna temperatura powietrza cechowała się porównywalnymi wartościami od 8,3°C w Głębokim do 8,0°C w Głodowie (tab.1). W położonym w południowej części województwa Głębokim notowano najcieplejsze półrocze letnie (14,8°C wobec 14,5°C w pozostałych miejscowościach), pory roku i większość miesięcy. Najniższe temperatury powietrza w zdecydowanej większości analizowanych kroków czasowych dotyczyły Głodowa, a pośrednie Chrzastowa. Warto jednak podkreślić, iż zanotowane różnice między średnimi wieloletnimi temperaturami w porównywanych miejscowościach nie były duże, maksymalnie osiągając 0,5°C (maj, sierpień, wrzesień).



Rysunek 2. Przebiegi roczne średnich wieloletnich, najwyższych i najniższych w wieloleciu średnich miesięcznych temperatur powietrza oraz odchylenia standardowego (s)

Tabela 1. Średnia wieloletnia (1981-2010) temperatura powietrza w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego [°C] wraz z charakterystykami zmienności czasowej

Miesiąc Okres	Chrząstowo				Głodowo				Głębokie			
	Średnia	MAX Rok	MIN rok	s	Średnia	MAX rok	MIN rok	s	Średnia	MAX rok	MIN rok	s
I	-1,7	3,4 2007	-11,4 1987	3,7	-2,0	3,2 1983	-12,7 1987	3,9	-1,7	3,4 83,07	-12,0 1987	3,9
II	-0,9	4,7 1990	-9,4 1986	3,4	-1,2	4,6 1990	-10,0 1986	3,6	-0,9	4,8 1990	-9,6 1986	3,6
III	2,5	6,1 1990	-2,8 1987	2,1	2,3	6,0 1990	-3,3 1987	2,2	2,6	6,6 1990	-2,4 1987	2,2
IV	7,9	11,2 2000	5,0 1997	1,3	7,9	11,5 2000	4,9 1997	1,3	8,2	11,8 2000	5,2 1997	1,3
V	13,3	16,0 1993	9,4 1991	1,4	13,6	16,8 2002	9,5 1991	1,4	13,8	17,4 1993	9,6 1991	1,5
VI	16,0	18,9 1992	13,9 84,91	1,3	16,1	18,6 2007	14,0 1984	1,2	16,4	19,8 1992	13,8 1985	1,3
VII	18,6	23,9 1994	15,5 84,96	2,1	18,6	22,4 2006	15,2 1984	1,9	18,8	23,5 1994	15,5 1984	2,0
VIII	18,0	21,2 1992	14,6 1987	1,4	17,8	20,5 2002	14,6 1987	1,3	18,3	22,4 1992	14,8 1987	1,5
IX	13,1	16,3 1999	10,1 1996	1,5	12,9	15,5 1999	10,3 1996	1,3	13,4	15,9 99,06	10,4 1996	1,4
X	8,2	11,2 2000	4,7 2003	1,6	8,1	11,0 2000	4,9 2003	1,6	8,4	11,2 00,01	4,7 2003	1,6

XI	3,0	5,7 2000	-1,8 1993	1,9	2,9	5,7 2000	-2,4 1993	2,1	3,2	6,6 2006	-1,5 1993	2,0
XII	-0,5	3,9 2006	-6,4 2010	2,5	-0,8	3,9 2006	-6,5 2010	2,6	-0,5	4,0 2006	-6,5 2010	2,6
I-XII	8,1	9,4 2000	6,1 1996	0,9	8,0	9,3 2008	6,0 1987	0,9	8,3	9,6 2000	6,4 1987	0,9
IV-IX	14,5	16,0 1995	12,8 1987	0,8	14,5	16,0 2002	12,8 1987	0,7	14,8	16,7 1992	13,0 1987	0,9
XII-II	-1,0	2,5 89/90	-5,8 95/96	2,4	-1,3	2,2 88/89	-6,3 84/85	2,5	-1,0	2,7 89/90	-6,0 95/96	2,5
III-V	7,9	9,8 2000	5,1 1987	1,1	7,9	9,8 2000	4,9 1987	1,1	8,2	10,2 2000	5,3 1987	1,1
VI-VIII	17,5	20,2 1992	15,4 1987	1,2	17,5	19,6 1995	15,6 1984	1,1	17,8	21,3 1992	15,7 1987	1,3
IX-XI	8,1	10,6 2006	5,8 1993	1,0	8,0	10,3 2006	5,5 1993	1,0	8,3	11,1 2006	6,3 1993	1,0
V-VI	14,7	16,6 1992	11,7 1991	1,1	14,9	17,0 2002	11,9 1991	1,1	15,1	17,5 1992	12,1 1991	1,2
VII-VIII	18,3	21,4 1994	15,8 1987	1,5	18,2	20,7 1995	15,9 1987	1,4	18,6	22,0 1992	16,0 1987	1,5

MAX – najwyższa średnia w wieloleciu, MIN – najniższa średnia w wieloleciu, S – odchylenie standardowe

Temperaturę powietrza cechowała duża zmienność w takich samych okresach kolejnych lat badanego wielolecia, o czym świadczą zaprezentowane w tabeli 1 wartości odchylenia standardowego oraz ekstremalnych średnich temperatur w wieloleciu. Najwyższe odchylenie standardowe i najwyższy rozstęp wartości dotyczył stycznia, a w dalszej kolejności lutego, grudnia, marca, listopada i lipca. Przykładowo w najchłodniejszym ze wszystkich miesięcy styczniu, charakteryzującym się średnią wieloletnią temperaturą powietrza $-2,0^{\circ}\text{C}$, zanotowano w Głodowie w 1983 roku temperaturę średnią $3,2^{\circ}\text{C}$, a w 1987 roku $-12,7^{\circ}\text{C}$. Różnica między najwyższą i najniższą średnią temperaturą stycznia wyniosła zatem aż $15,9^{\circ}\text{C}$. W miesiącach półroczna letniego różnice te były dużo mniejsze, jednak warto porównać w Chrzastowie niezwykle upalny lipiec 1994 r. ($23,9^{\circ}\text{C}$) oraz najchłodniejszy ($15,5^{\circ}\text{C}$), zanotowany w latach 1984 i 1996. Spośród pór roku (okresy 3-miesięczne) zdecydowanie największą zmiennością czasową cechowała się zima ($s= 2,4-2,5$ zależnie od miejscowości), a spośród porównywanych okresów 2-miesięcznych ważnych z punktu widzenia uprawy roślin okres VII-VIII ($s= 1,4-1,5$).

Analizując lata występowania najwyższych i najniższych średnich temperatur powietrza w wieloleciu 1981-2010 można stwierdzić, że biorąc pod uwagę wszystkie miejscowości, ekstrema wystąpiły aż w 24 różnych latach na rozpatrywanych 30. Ekstremów nie stwierdzono zatem tylko w 6 następujących latach: 1981, 1982, 1998, 2004, 2005 i 2009. Więcej najwyższych i najniższych średnich temperatur zanotowano w latach 1981-1995 (wcześniejsze 15-lecie): 22-27 zależnie od miejscowości, a mniej w latach 1996-2010 (późniejsze 15-lecie): od 13 w Głębokim do 18 w Głodowie. Ekstrema w porównywanych miejscowościach w większości przypadków występowały w tych samych latach. W porównaniu do Chrzastowa, w Głębokim zgodność lat ich występowania wynosiła 87,5% przypadków, a w Głodowie 65,0% przypadków. Spośród lat, najwięcej ekstremów zanotowano w chłodnym roku 1987 (najchłodniejszy styczeń, marzec, sierpień, półrocze letnie, wiosna, okres VII-VIII we wszystkich miejscowościach, oraz cały rok i lato w 2 miejscowościach) oraz w ciepłym 2000 roku, w którym zanotowano najcieplejszy w wieloleciu kwiecień, październik i wiosnę we wszystkich analizowanych stacjach oraz listopad i cały rok w dwóch miejscowościach.

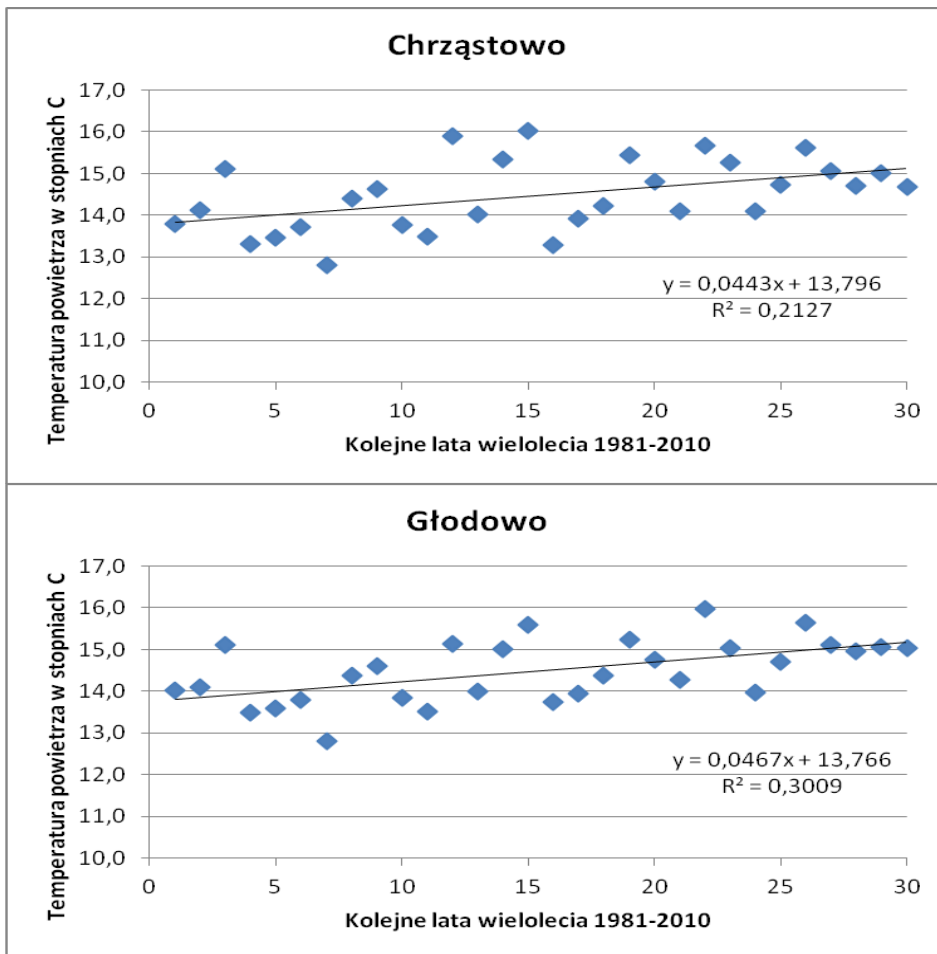
W rozpatrywanym okresie normalnym 1981-2010 temperaturę powietrza cechowały różne, opisane równaniem regresji, zmiany wraz z upływem czasu, które okazały się istotne w 15 na analizowanych 60 kroków czasowych (tab.2). Wszystkie istotne trendy zmian wskazywały wzrost temperatury powietrza wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 i dotyczyły kwietnia, półroczna letniego, lata i okresu VII-VIII w każdej miejscowości oraz dodatkowo czerwca, lipca i sierpnia w Głodowie. W pozostałych przypadkach nie stwierdzono istotnych ukierunkowanych zmian temperatury powietrza. Warto zwrócić uwagę, że aż w 5 miesiącach (styczeń, marzec, maj, październik, grudzień) w każdej miejscowości stwierdzono tendencję do spadku

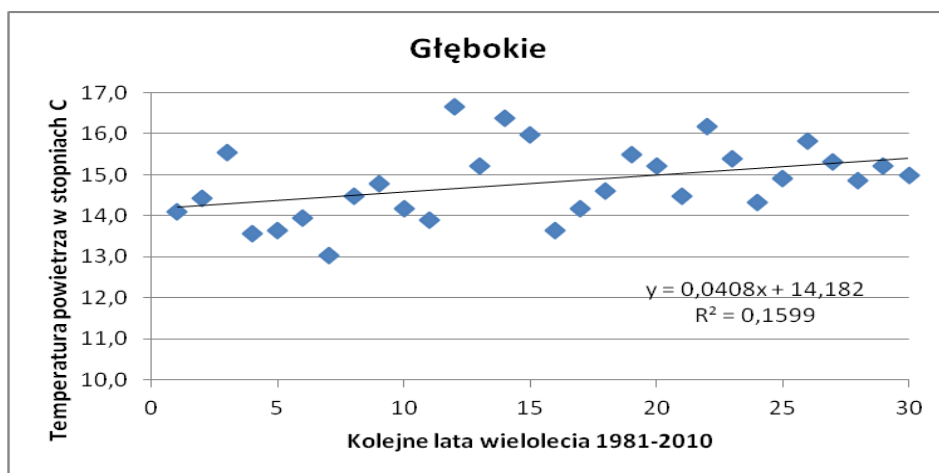
temperatury powietrza wraz z upływem czasu. Przykładowe, najbardziej istotne trendy wzrostu temperatury w wieloleciu 1981-2010, dotyczące półrocza letniego (IV-IX), przedstawiono na rys.3.

Tabela 2. Zmiany temperatury powietrza [°C] w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w wieloleciu od 1981 do 2010 roku wraz ze współczynnikami korelacji (r) charakteryzującymi zależność liniową.

Miesiąc Okres	Chrzastowo		Głódowo		Głębokie	
	Zmiana na 10 lat	r	Zmiana na 10 lat	r	Zmiana na 10 lat	r
I	-0,17	0,04	-0,26	0,06	-0,31	0,07
II	0,67	0,17	0,79	0,19	0,77	0,19
III	-0,03	0,01	-0,01	0,00	-0,08	0,03
IV	0,64	0,43*	0,60	0,40*	0,61	0,40*
V	-0,08	0,05	-0,11	0,07	-0,02	0,00
VI	0,50	0,35	0,61	0,44*	0,51	0,33
VII	0,78	0,33	0,94	0,44*	0,79	0,35
VIII	0,47	0,29	0,52	0,363*	0,44	0,26
IX	0,34	0,21	0,23	0,15	0,11	0,07
X	-0,30	0,16	-0,29	0,16	-0,31	0,17
XI	0,46	0,21	0,57	0,24	0,56	0,25
XII	-0,19	0,07	-0,17	0,06	-0,24	0,08
I-XII	0,26	0,25	0,29	0,30	0,24	0,22
IV-IX	0,44	0,461*	0,47	0,55**	0,41	0,40*
XII-II	0,02	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00
III-V	0,18	0,15	0,16	0,13	0,17	0,13
VI-VIII	0,58	0,41*	0,69	0,54**	0,58	0,40*
IX-XI	0,17	0,15	0,17	0,16	0,12	0,11
V-VI	0,21	0,16	0,25	0,21	0,25	0,18
VII-VIII	0,63	0,364*	0,73	0,48**	0,62	0,362*

wartość krytyczna współczynnika korelacji 0,361 ($\alpha=0,05$), 0,463 ($\alpha=0,01$)





Rysunek 3. Trendy wzrostu temperatury powietrza półrocza letniego (IV-IX) w okresie od 1981 do 2010 roku

Tabela 3. Porównanie wskaźników zmienności czasowej temperatury powietrza w okresach 1981-1995 i 1996-2010 w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Miesiąc Okres	Chrzastowo					Głódowo					Głębokie				
	s		zakres		+/-	s		zakres		+/-	s		zakres		+/-
	86-95	96-10	86-95	96-10		86-95	96-10	86-95	96-10		86-95	96-10	86-95	96-10	
I	4,0	3,4	14,6	11,3	-	4,3	3,6	15,9	11,8	-	4,1	3,7	15,4	12,4	-
II	3,9	3,0	14,1	9,9	-	4,1	3,0	14,6	10,0	-	4,1	3,1	14,4	10,0	-
III	2,2	2,1	8,9	7,7	-	2,3	2,2	9,3	7,7	-	2,2	2,2	9,0	7,4	
IV	1,0	1,5	3,6	6,2	+	1,0	1,5	3,6	6,6	+	1,2	1,5	4,4	6,6	+
V	1,6	1,3	6,6	4,6	-	1,7	1,2	6,8	5,0	-	1,8	1,3	7,8	4,7	-
VI	1,4	1,1	5,0	3,7	-	1,2	1,1	3,9	4,3		1,5	1,1	6,0	4,0	-
VII	2,3	2,0	8,4	7,1	-	1,9	1,8	6,5	6,5		2,1	1,8	8,0	7,1	-
VIII	1,7	1,2	6,6	4,9	-	1,4	1,0	5,7	4,5	-	1,8	1,1	7,6	4,4	-
IX	1,2	1,7	3,8	6,2	+	1,2	1,5	3,8	5,2	+	1,3	1,5	4,7	5,5	+
X	1,3	1,9	5,4	6,5	+	1,4	1,8	5,2	6,1	+	1,3	1,9	5,0	6,5	+
XI	2,0	1,8	7,0	7,0		2,1	2,1	7,3	7,6		1,9	2,0	6,7	7,9	+
XII	2,1	2,9	7,0	10,3	+	2,0	3,1	7,0	10,4	+	2,1	3,0	7,1	10,5	+
I-XII	1,0	0,8	3,1	3,3		0,9	0,8	3,1	2,9	-	1,0	0,8	3,2	3,2	
IV-IX	1,0	0,7	3,2	2,4	-	0,8	0,6	2,8	2,2	-	1,1	0,7	3,6	2,6	-
XII-II	2,7	2,1	8,3	6,2	-	2,8	2,2	8,5	6,6	-	2,8	2,3	8,7	6,6	-
III-V	1,0	1,2	4,0	3,9		1,1	1,1	4,4	3,4		1,2	1,1	4,4	3,7	-
VI-VIII	1,5	0,9	4,8	2,6	-	1,3	0,8	4,0	2,5	-	1,6	0,8	5,6	2,8	-
IX-XI	0,9	1,1	3,5	4,2	+	0,9	1,0	3,7	4,1	+	0,8	1,1	3,4	4,6	+
V-VI	1,3	1,0	4,9	2,8	-	1,1	1,0	3,8	3,4	-	1,4	1,0	5,4	3,3	-
VII-VIII	1,8	1,2	5,7	3,8	-	1,5	1,1	4,9	3,7	-	1,9	1,1	6,0	3,7	-

s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

Na podstawie porównania wskaźników zmienności czasowej temperatury powietrza w okresie 1996-2010 (późniejsze 15-lecie) w stosunku do okresu 1981-1995 (wcześniejsze 15-lecie) można stwierdzić, że w zdecydowanej większości okresów obserwowano zmniejszenie zmienności czasowej średnich miesięcznych i okresowych temperatur powietrza (tab.3). Na 60 analizowanych przypadków (3 miejscowości x 20 kroków czasowych) spadek ekstremalności miał miejsce w 35 (58,3%), wzrost wskaźników występował w 16 przypadkach (26,7), a pozostałych sytuacjach tendencja była niejednoznaczna. Wzrost ekstremalności dotyczył kwietnia, grudnia, jesieni oraz miesięcy jesiennych. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż stwierdzone zmiany odchylenia standardowego oraz zakresu (różnica pomiędzy najwyższą i najniższą wartością w danym 15-leciu) były na ogół identyczne we wszystkich analizowanych miejscowościach.

4.2. OKRES GOSPODARCZY

Termiczny okres gospodarczy z ustaloną temperaturą powietrza powyżej progu 3,0°C stanowi ważny wskaźnik oceny jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej, określający możliwości prowadzenia prac polowych. Porównując podstawowe charakterystyki tego okresu można stwierdzić, że w wieloleciu 1981-2010 były one bardzo podobne w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego. Średnia data początku okresu gospodarczego przypadała na 11-13 III, a końca na 18-19 XI, w zależności od miejscowości. W rezultacie średnia długość tego okresu wynosiła od 251 dni w Głodowie do 254 dni w Głębokim (tab. 4).

Tabela 4. Charakterystyka wskaźników okresu gospodarczego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Średnio	MAX rok	MIN rok	s (liczba dni)	Tendencja zmian od 1981 do 2010	
						Zmiana na 10 lat	r
Data początku	Chrzastowo	12 III	1 IV 1987	25 I 1990	17	-1,0	0,07
	Głodowo	13 III	3 IV 1987	27 I 1990	17	-0,7	0,04
	Głębokie	11 III	1 IV 1987	23 I 1990	17	-1,0	0,05
Data końca	Chrzastowo	18 XI	18 I 2006	30 X 1993, 1998	15	+4,2	0,25
	Głodowo	18 XI	16 I 2006	28 X 1993	15	+4,5	0,27
	Głębokie	19 XI	18 I 2006	30 X 1993, 1998	15	+4,3	0,26
Długość trwania (liczba dni)	Chrzastowo	252	304 1990	222 1988	21	5,2	0,22
	Głodowo	251	301 1990	220 1993	21	5,2	0,22
	Głębokie	254	306 1990	226 1988	22	5,3	0,21

MAX – najpóźniejsza data w wieloleciu lub największa długość, MIN – najwcześniejsza data lub najmniejsza długość, s – odchylenie standardowe, r – współczynnik korelacji charakteryzujący zależność liniową

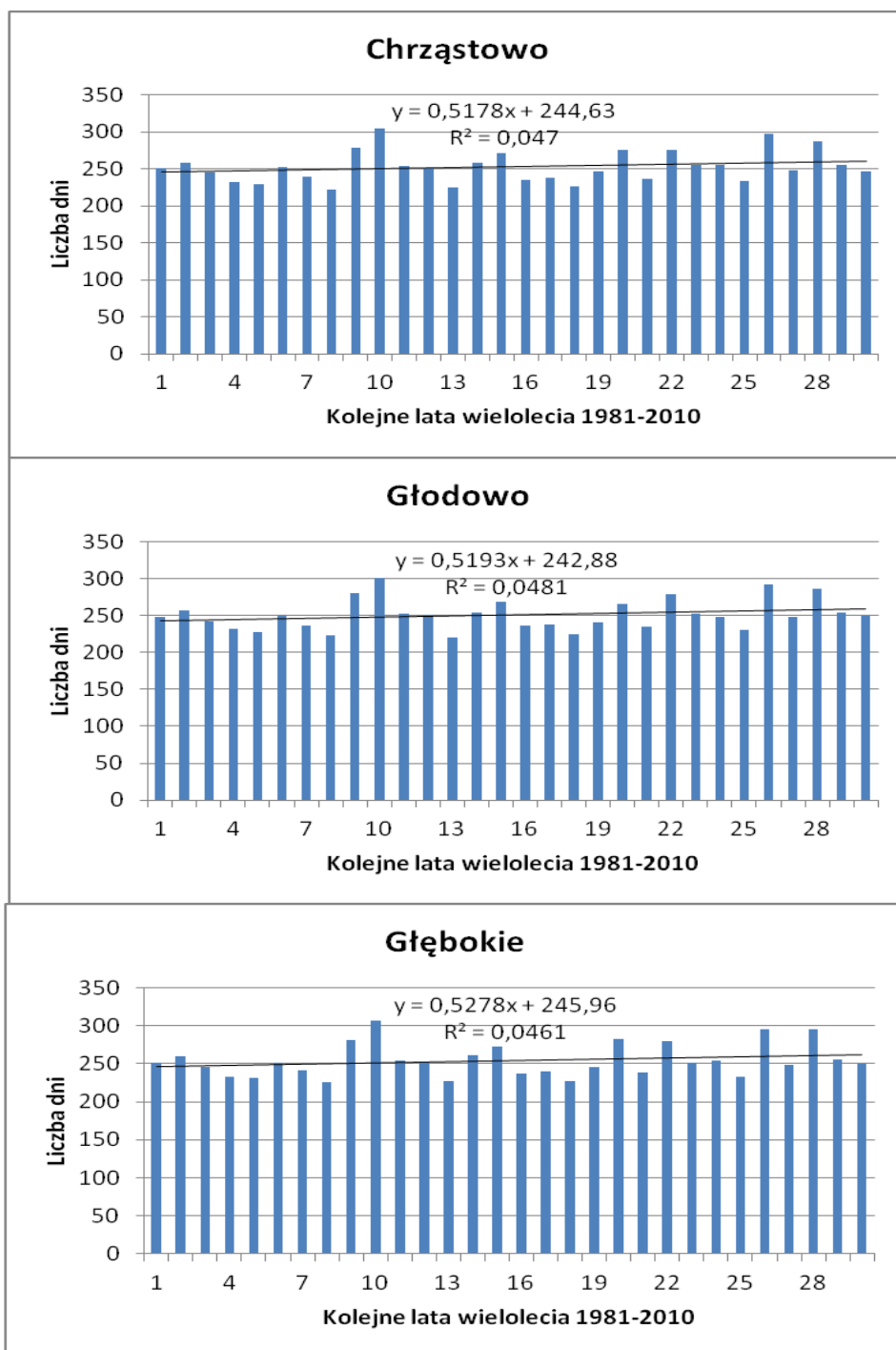
Okres gospodarczy cechował się bardzo dużą zmiennością czasową, o czym świadczą wysokie wartości odchylenia standardowego. W 1990 roku rozpoczął się już w połowie trzeciej dekady stycznia i trwał 301-306 dni, w zależności od miejscowości, a więc o 50-52 dni dłużej niż przeciętnie. Z kolei w latach 1988 i 1993 zakończył się już pod koniec października i trwał 220-226, czyli o 28-31 dni krócej niż średnio w wieloleciu. Okres gospodarczy 2006 r. zakończył się dopiero 16-18 stycznia następnego roku, a więc około tygodnia wcześniej w stosunku do daty rozpoczęcia w 1990 roku.

Niekorzystnym elementem pogodowym składającym się na klimatyczne ryzyko uprawy roślin jest skrócenie okresu gospodarczego, wynikające z jego późniejszego w stosunku do daty przeciętnej rozpoczęcia lub wcześniejszego zakończenia. Przyjmując jako wyznacznik wartość odchylenia standardowego w stosunku do średniej (ponad 2 tygodnie w odniesieniu do dat i 3 tygodnie w odniesieniu do długości trwania), można stwierdzić, że liczba przypadków skrócenia okresu gospodarczego wynosi 4-6, a częstotliwość 13,3-20,0% lat,

w zależności od miejscowości (tab. 5). Skrócony okres gospodarczy miał miejsce we wszystkich miejscowościach w latach 1985, 1988, 1993, 1998, w Chrząstowie i Głębokim także w 1984 r., a w Głębokim dodatkowo w 2005 r. Skrócenie długości trwania okresu gospodarczego w wymienionych latach wynikało zazwyczaj z jego wcześniejszego zakończenia, a rzadziej z późniejszego rozpoczęcia. Datę początku późniejszą co najmniej o 2 tygodnie w stosunku do przeciętnej zanotowano w 4-5 latach na analizowanych 30. We wszystkich miejscowościach były to lata 1987, 1996, 2005 i 2006, w Chrząstowie także 1988 r., a w Głębokim 1984 r.

Tabela 5. Skrócenie okresu gospodarczego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Liczba przypadków	Lata wystąpienia	Częstotliwość (%)
Data początku późniejsza o co najmniej 2 tygodnie	Chrząstowo	5	1987, 1988, 1996, 2005, 2006	16,6
	Głodowo	4	1987, 1996, 2005, 2006	13,3
	Głębokie	5	1984, 1987, 1996, 2005, 2006	16,6
Data końca wcześniejsza o co najmniej 2 tygodnie	Chrząstowo	4	1985, 1988, 1993, 1998	13,3
	Głodowo	4	1985, 1988, 1993, 1998	13,3
	Głębokie	4	1985, 1988, 1993, 1998	13,3
Długość trwania skrócona o co najmniej 3 tygodnie	Chrząstowo	5	1984, 1985, 1988, 1993, 1998	16,6
	Głodowo	4	1985, 1988, 1993, 1998	13,3
	Głębokie	6	1984, 1985, 1988, 1993, 1998, 2005	20,0



Rysunek 4. Długość okresu gospodarczego w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Jak wynika z przeprowadzonej analizy regresji liniowej, poszczególne wskaźniki charakteryzujące okres gospodarczy we wszystkich miejscowościach nie wykazały istotnych zmian wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 (tab. 4). Zaznaczyła się natomiast tendencja do wcześniejszego rozpoczynania się okresu gospodarczego (o około 1 dzień), a zwłaszcza późniejszego zakończenia (o około 4 dni). W rezultacie, w badanych miejscowościach stwierdzono tendencję do wydłużania się okresu gospodarczego w wieloleciu 1981-2010 o 5,2-5,3 dnia/10 lat (rys. 4).

Tabela 6. Porównanie zmienności czasowej wskaźników okresu gospodarczego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010

Wskaźnik	Miejscowość	s (liczba dni)		zakres (liczba dni)		+/-
		1981-1995	1996-2010	1981-1995	1996-2010	
Data początku	Chrzastowo	19	14	66	47	-
	Głodowo	20	14	66	47	-
	Głębokie	20	15	67	51	-
Data końca	Chrzastowo	10	18	30	80	+
	Głodowo	10	18	29	78	+
	Głębokie	10	18	29	79	+
Długość trwania (liczba dni)	Chrzastowo	22	21	82	71	-
	Głodowo	22	20	81	68	-
	Głębokie	22	22	80	68	

s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

Porównanie odchylenia standardowego i zakresu wartości poszczególnych wskaźników charakteryzujących okres gospodarczy w wieloleciu 1996-2010 i 1981-1995, wykazało poszerzenie zmienności czasowej daty końca i zmniejszenie ekstremalności daty początkowej (tab.6). Zmniejszenie ekstremalności dotyczyło także długości trwania badanego okresu w Chrzastowie oraz Głodowie, w Głębokim natomiast odchylenie standardowe charakteryzujące zmienność czasową było takie same w porównywanych 15-letniach i wynosiło 22 dni.

4.3. OKRES WEGETACYJNY

Klimatologiczny okres wegetacyjny, określany jako przedział czasowy z ustaloną temperaturą powietrza powyżej progu 5,0°C jest najważniejszym wskaźnikiem określającym zmienność czasowo-przestrzenną warunków termicznych produkcji rolniczej. Z porównania podstawowych charakterystyk tego okresu wynika, że w badanym wieloleciu 1981-2010 były one bardzo zbliżone w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego. Średnia data początku okresu wegetacyjnego przypadała na 26-28

III, a końca na 3-5 XI w zależności od miejscowości. W efekcie przeciętna długość trwania tego okresu wynosiła w Chrzastowie i Głodowie 221, a w Głębokim 225 dni (tab. 7).

Tabela 7. Charakterystyka wskaźników okresu wegetacyjnego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Średnio	MAX rok	MIN rok	s (liczba dni)	Tendencja zmian od 1981 do 2010	
						Zmiana na 10 lat	r
Data początku	Chrzastowo	28 III	14 IV 1997	21 II 1990	10	-0,9	0,08
	Głodowo	28 III	15 IV 1997	24 II 1990	10	-1,3	0,12
	Głębokie	26 III	11 IV 1997	18 II 1990	10	-0,6	0,05
Data końca	Chrzastowo	3 XI	24 XI 2006	14 X 2003	9	+0,7	0,07
	Głodowo	3 XI	26 XI 2006	15 X 2003	9	+1,0	0,10
	Głębokie	5 XI	3 XII 2006	14 X 2003	10	+1,6	0,14
Długość trwania (liczba dni)	Chrzastowo	221	263 1990	195 1997	14	1,7	0,11
	Głodowo	221	259 1990	194 2003	14	2,3	0,15
	Głębokie	225	266 1990	196 2003	14	2,2	0,14

MAX – najpóźniejsza data w wieloleciu lub największa długość, MIN – najwcześniejsza data lub najmniejsza długość, s – odchylenie standardowe, r – współczynnik korelacji charakteryzujący zależność liniową

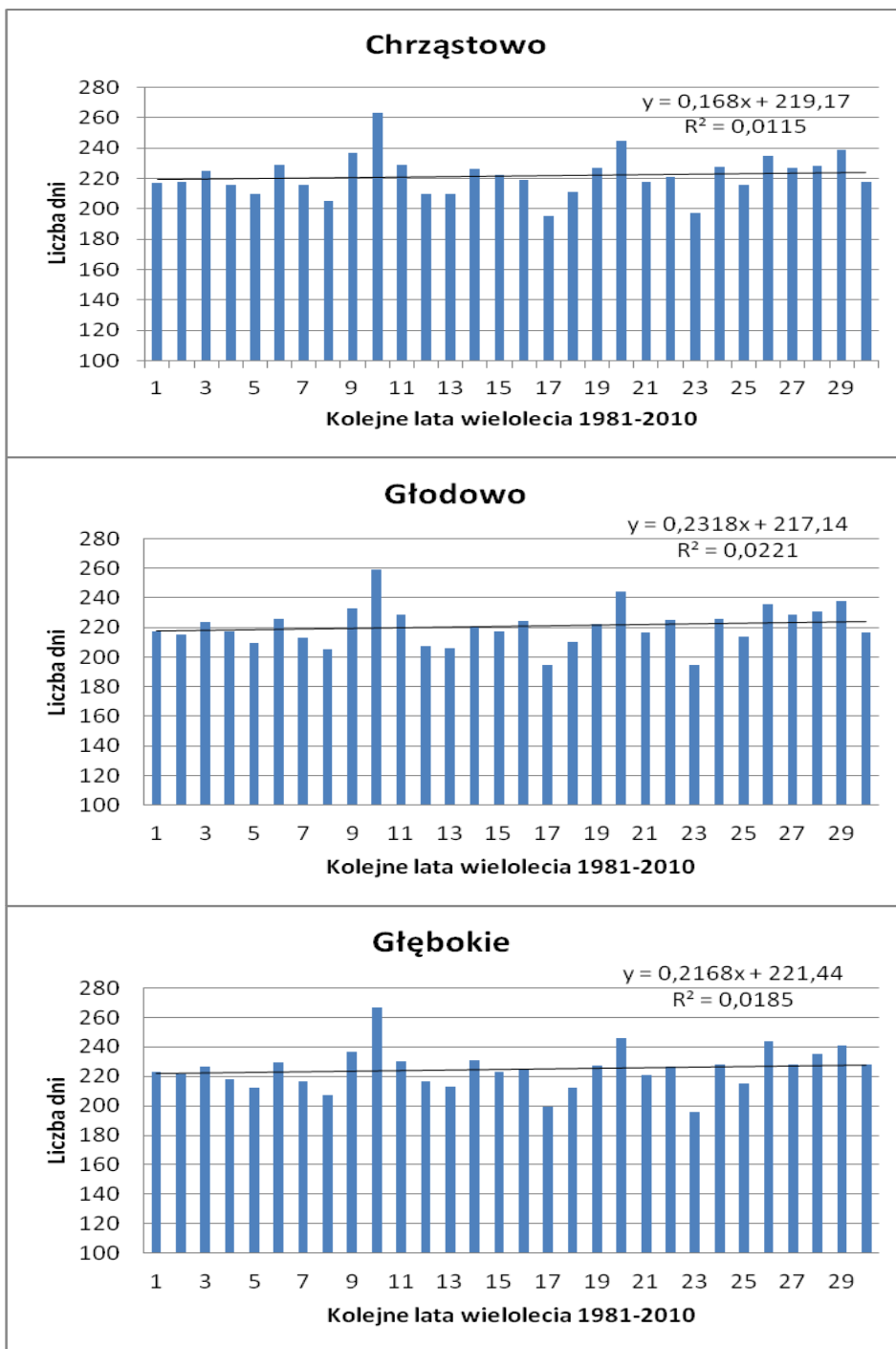
Podobnie jak okres gospodarczy, również okres wegetacyjny cechowała bardzo duża zmienność czasowa, o czym świadczą wysokie wartości odchylenia standardowego. W 1990 roku rozpoczął się już na przełomie II i III dekady lutego (najwcześniej w Głębokim, a najpóźniej w Głodowie) i trwał 259-266 dni, zależnie od miejscowości, a zatem był o 38-42 dni dłuższy niż przeciętnie. Z kolei w 2003 roku zakończył się już w połowie października i trwał w Głodowie i Głębokim 194-196 dni, czyli o 27-29 dni krócej niż średnio w wieloleciu. Przyczyną skrócenia długości trwania okresu wegetacyjnego w 1997 roku było zbyt późne jego rozpoczęcie, dopiero 11-15 kwietnia, zależnie od miejscowości. W rezultacie najkrótszy w badanym wieloleciu okres wegetacji w Chrzastowie trwał w 1997 roku tylko 195 dni i był o 26 dni krótszy od przeciętnego. Okres wegetacji w 2006 r. zakończył się

dopiero na przełomie listopada i grudnia, a więc 3-4 tygodnie później w stosunku do średniej daty końca.

Niekorzystnym elementem pogodowym składającym się na klimatyczne ryzyko uprawy roślin jest skrócenie okresu wegetacyjnego, wynikające z jego późniejszego w stosunku do daty przeciętnej rozpoczęcia, wcześniejszego zakończenia i w efekcie krótszego trwania. Przyjmując jako wyznacznik wartość odchylenia standardowego w stosunku do średniej (około 10 dni w odniesieniu do dat i 2 tygodnie w odniesieniu do długości trwania), można stwierdzić, że liczba przypadków skrócenia okresu wegetacyjnego wynosi 3-4, a częstotliwość 10,0-13,3% lat, w zależności od miejscowości (tab. 8). Skrócony okres wegetacyjny wystąpił we wszystkich miejscowościach w latach 1988, 1997 i 2003, a w Głodowie także w roku 1993. Skrócenie długości trwania okresu wegetacyjnego w wymienionych latach wynikało na ogół z jego wcześniejszego zakończenia (1988, 1993 i zwłaszcza 2003 r.), albo z późniejszego rozpoczęcia (1997 r.). Datę początku późniejszą co najmniej o 10 dni w stosunku do przeciętnej zanotowano w 3-4 latach na analizowanych 30. We wszystkich miejscowościach były to lata 1982, 1987 i 1997, a w Chrzastowie i Głębokim także 1996 r.

Tabela 8. Skrócenie okresu wegetacyjnego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Liczba przypadków	Lata wystąpienia	Częstotliwość (%)
Data początku późniejsza o co najmniej 10 dni	Chrzastowo	4	1982, 1987, 1996, 1997	13,3
	Głodowo	3	1982, 1987, 1997	10,0
	Głębokie	4	1982, 1987, 1996, 1997	13,3
Data końca wcześniejsza o co najmniej 10 dni	Chrzastowo	4	1992, 1993, 1998, 2003	13,3
	Głodowo	4	1992, 1993, 1998, 2003	13,3
	Głębokie	4	1988, 1993, 1998, 2003	13,3
Długość trwania skrócona o co najmniej 2 tygodnie	Chrzastowo	3	1988, 1997, 2003	10,0
	Głodowo	4	1988, 1993, 1997, 2003	13,3
	Głębokie	3	1988, 1997, 2003	10,0



Rysunek 5. Długość okresu wegetacyjnego w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Z przeprowadzonej analizy regresji liniowej wynika, że poszczególne wskaźniki charakteryzujące okres wegetacyjny we wszystkich miejscowościach nie wykazały istotnych zmian wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 (tab. 7). Współczynniki korelacji charakteryzujące zależności wartości tych wskaźników od czasu wynosiły 0,05-0,15. Zaznaczyła się jednak tendencja do wcześniejszego rozpoczynania się okresu wegetacyjnego (o około 1 dzień) oraz późniejszego zakończenia (także o około 1 dzień). W efekcie, w analizowanych miejscowościach regionu kujawsko-pomorskiego stwierdzono tendencję do wydłużania się okresu wegetacyjnego w wieloleciu 1981-2010 o 1,7–2,3 dni/10 lat, w zależności od miejscowości (rys. 5).

Tabela 9. Porównanie zmienności czasowej wskaźników okresu wegetacyjnego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010

Wskaźnik	Miejscowość	s (liczba dni)		zakres (liczba dni)		+/-
		1981-1995	1996-2010	1981-1995	1996-2010	
Data początku	Chrząstowo	12	8	45	30	-
	Głódowo	11	8	46	32	-
	Głębokie	12	8	48	26	-
Data końca	Chrząstowo	7	11	24	41	+
	Głódowo	7	11	22	42	+
	Głębokie	6	12	23	50	+
Długość trwania (liczba dni)	Chrząstowo	14	13	58	49	-
	Głódowo	14	14	54	50	
	Głębokie	14	14	59	50	

s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

Porównanie odchylenia standardowego i zakresu wartości poszczególnych wskaźników charakteryzujących okres wegetacyjny w okresach 15-letnich 1996-2010 i 1981-1995, wykazało zwiększenie zmienności czasowej daty końca i zmniejszenie ekstremalności daty początkowej (tab. 9). Zmniejszenie ekstremalności dotyczyło także długości trwania badanego okresu w Chrząstowie. Z kolei w Głódowie oraz w Głębokim odchylenie standardowe charakteryzujące zmienność czasową było identyczne w porównywanych 15-letniach i wynosiło 14 dni, ale zakres wartości był mniejszy w wieloleciu 1996-2010, w porównaniu z 1981-1995.

4.4. OKRES AKTYWNEGO WZROSTU ROŚLIN

Okres aktywnego wzrostu roślin, obejmujący przedział czasowy z ustaloną temperaturą powietrza powyżej progu 10,0°C rozpoczynał się przeciętnie w wieloleciu 1981-2010 w badanych miejscowościach regionu kujawsko-

pomorskiego w połowie III dekady kwietnia, najwcześniej w Głodowie, a najpóźniej w Chrzastowie. Data końca tego okresu również była bardzo podobna w analizowanych punktach i przypadała przeciętnie na połowę I dekady października. W rezultacie przeciętna długość trwania tego okresu wynosiła w Chrzastowie i Głodowie 162, a w Głębokim 165 dni (tab. 10).

Tabela 10. Charakterystyka wskaźników okresu aktywnego wzrostu roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Średnio	MAX rok	MIN rok	s (liczba dni)	Tendencja zmian od 1981 do 2010	
						Zmiana na 10 lat	r
Data początku	Chrzastowo	27 IV	19 V 1991	9 IV 2000	7	-2,4	0,29
	Głodowo	26 IV	18 V 1991	9 IV 2000	7	-2,3	0,29
	Głębokie	25 IV	17 V 1991	7 IV 2000	7	-2,6	0,31
Data końca	Chrzastowo	5 X	22 X 2000	17 IX 1996	8	+0,2	0,02
	Głodowo	4 X	21 X 2000	20 IX 1986	8	+0,4	0,04
	Głębokie	6 X	22 X 2000	24 IX 1986, 96	8	0	0,00
Długość trwania (liczba dni)	Chrzastowo	162	196 2000	139 1991	12	2,6	0,20
	Głodowo	162	196 2000	139 1991	11	2,7	0,20
	Głębokie	165	198 2000	142 1991	11	2,5	0,20

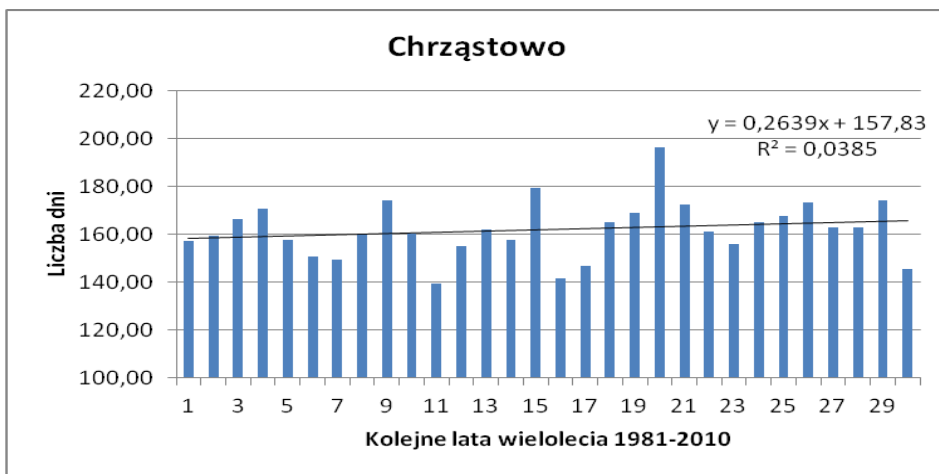
MAX – najpóźniejsza data w wieloleciu lub największa długość, MIN – najwcześniejsza data lub najmniejsza długość, s – odchylenie standardowe, r – współczynnik korelacji charakteryzujący zależność liniową

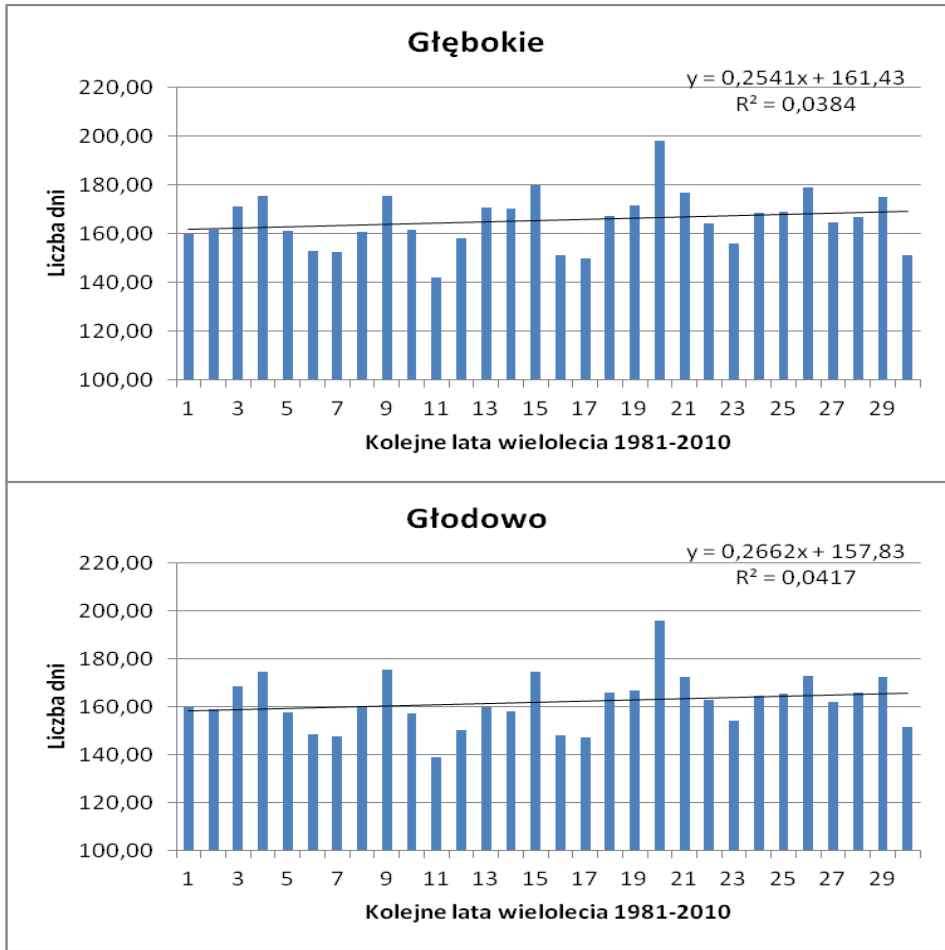
Daty początku i końca oraz długość trwania okresu aktywnego wzrostu cechowała w wieloleciu 1981-2010 bardzo duża zmienność czasowa. Najwcześniej, bo już 7-9 kwietnia okres ten rozpoczął się w 2000 roku, zaś najpóźniej, bo dopiero 17-19 maja w 1991 roku. Najpóźniejsza data końca omawianego okresu przypadała w 2000 roku na początek trzeciej dekady października, zaś najwcześniej kończył się on na przełomie drugiej i trzeciej dekady września w latach 1986 (Głodowo, Głębokie) i 1996 (Chrzastowo, Głębokie). Ze względu na najwcześniejszy początek i najpóźniejszy koniec, okres aktywnego wzrostu roślin był najdłuższy w 2000 r. i trwał 196-198 dni, a więc o ponad miesiąc dłużej w stosunku do średniej długości. Z kolei w 1991 roku, ze względu na późne rozpoczęcie, był najkrótszy i trwał 139-142 dni, a zatem o 23 dni krócej niż przeciętnie.

Niekorzystnym elementem pogodowym składającym się na klimatyczne ryzyko uprawy roślin jest skrócenie okresu aktywnego wzrostu roślin, wynikające z jego późniejszego w stosunku do daty przeciętnej rozpoczęcia lub wcześniejszego zakończenia. Przyjmując jako wyznacznik wartość odchylenia standardowego w stosunku do średniej (około 7 dni w odniesieniu do dat i 10 dni w odniesieniu do długości trwania), można stwierdzić, że liczba przypadków skrócenia okresu aktywnego wzrostu roślin wynosiła 6-7, a częstotliwość 20,0-23,3% lat, w zależności od miejscowości (tab. 11). Skrócony okres aktywnego wzrostu roślin wystąpił we wszystkich miejscowościach w latach 1986, 1987, 1991, 1996, 1997 i 2010, a w Głodowie dodatkowo w 1992 roku. Skrócenie długości trwania omawianego okresu wynikało albo z opóźnienia daty początkowej (lata 1987, 1991, 1997) albo z wcześniejszego zakończenia (lata 1986, 1996, 2010). Opóźnienie rozpoczęcia okresu aktywnego wzrostu roślin występowało z częstotliwością 13,3-16,7%, a przyspieszenie zakończenia – 13,3-20,0%, w zależności od miejscowości.

Tabela 11. Skrócenie okresu aktywnego wzrostu roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Liczba przypadków	Lata wystąpienia	Częstotliwość (%)
Data początku późniejsza o co najmniej 7 dni	Chrząstowo	5	1982, 1987, 1991, 1997, 2010	16,7
	Głodowo	4	1982, 1987, 1991, 1997	13,3
	Głębokie	4	1982, 1987, 1991, 1997	13,3
Data końca wcześniejsza o co najmniej 7 dni	Chrząstowo	6	1986, 1992, 1993, 1996, 2003, 2010	20,0
	Głodowo	6	1986, 1992, 1993, 1996, 2003, 2010	20,0
	Głębokie	4	1986, 1996, 2003, 2010	13,3
Długość trwania skrócona o co najmniej 10 dni	Chrząstowo	6	1986, 1987, 1991, 1996, 1997, 2010	20,0
	Głodowo	7	1986, 1987, 1991, 1992, 1996, 1997, 2010	23,3
	Głębokie	6	1986, 1987, 1991, 1996, 1997, 2010	20,0





Rysunek 6 Długość okresu aktywnego wzrostu roślin w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Z przeprowadzonej analizy regresji liniowej wynika, że poszczególne wskaźniki charakteryzujące okres aktywnego wzrostu roślin we wszystkich miejscowościach nie wykazały istotnych zmian wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 (tab. 10). Zaznaczyła się jednak tendencja do wcześniejszego rozpoczynania się tego okresu o 2,3-2,6 dnia na 10 lat, zależnie od miejscowości oraz w znacznie mniejszym stopniu - późniejszego zakończenia (o około 0,2 dnia na 10 lat w Chrząstowie i 0,4 dnia na 10 lat w Głodowie). W rezultacie, w analizowanych miejscowościach regionu kujawsko-pomorskiego stwierdzono dość wyraźną tendencję ($r = 0,20$) do wydłużania się okresu aktywnego wzrostu roślin w wieloleciu 1981-2010 o 2,5–2,7 dni/10 lat, w zależności od miejscowości (rys. 6).

Tabela 12. Porównanie zmienności czasowej wskaźników okresu aktywnego wzrostu roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010

Wskaźnik	Miejscowość	s (liczba dni)		zakres (liczba dni)		+/-
		1981-1995	1996-2010	1981-1995	1996-2010	
Data początku	Chrząstowo	7	7	30	27	
	Głodowo	7	6	28	26	-
	Głębokie	8	6	32	27	-
Data końca	Chrząstowo	7	9	24	34	+
	Głodowo	8	9	27	29	+
	Głębokie	7	9	24	27	+
Długość trwania (liczba dni)	Chrząstowo	10	13	40	55	+
	Głodowo	11	12	37	49	+
	Głębokie	10	13	38	48	+

s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

Porównanie odchylenia standardowego i zakresu wartości poszczególnych wskaźników charakteryzujących okres aktywnego wzrostu roślin w okresach 15-letnich 1996-2010 i 1981-1995, wykazało zwiększenie zmienności czasowej daty końca we wszystkich miejscowościach i zmniejszenie ekstremalności daty początkowej w Głodowie i Głębokim (tab. 12). Zwiększenie zmienności czasowej dotyczyło także długości trwania badanego okresu we wszystkich badanych punktach pomiarowych ze względu na wyższe wartości odchylenia standardowego i większe różnice pomiędzy maksimum i minimum w wieloleciu 1996-2010, w stosunku do okresu poprzedniego 1981-1995.

4.5. OKRES DOJRZEWANIA ROŚLIN

Okres dojrzewania, obejmujący przedział czasowy z ustaloną temperaturą powietrza powyżej progu 15,0°C, odpowiadający termicznemu latu, rozpoczynał się przeciętnie w wieloleciu 1981-2010 w badanych miejscowościach regionu kujawsko-pomorskiego na przełomie maja i czerwca, najwcześniej w Głodowie, a najpóźniej w Chrząstowie. Data końca tego okresu również była bardzo podobna w analizowanych punktach i przypadała przeciętnie 2-4 września, zależnie od miejscowości. W rezultacie średnia długość trwania tego okresu wynosiła w Chrząstowie 93 dni, w Głodowie 94 dni, a w Głębokim 98 dni (tab. 13).

Tabela 13. Charakterystyka wskaźników okresu dojrzewania roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Średnio	MAX rok	MIN rok	s (liczba dni)	Tendencja zmian od 1981 do 2010	
						Zmiana na 10 lat	r
Data początku	Chrząstowo	3 VI	6 VII 1984	11 V 1993	14	-3,6	0,23
	Głodowo	1 VI	10 VII 1984	9 V 2002	14	-3,4	0,21
	Głębokie	30 V	5 VII 1984	5 V 1993	14	-3,0	0,19
Data końca	Chrząstowo	3 IX	20 IX 2006	9 VIII 1987	9	+3,6	0,35
	Głodowo	2 IX	17 IX 2006	9 VIII 1987	8	+3,2	0,35
	Głębokie	4 IX	20 IX 2006	11 VIII 1987	8	+2,5	0,26
Długość trwania (liczba dni)	Chrząstowo	93	120 2002	53 1987	17	7,2	0,37*
	Głodowo	94	122 2002	52 1984	16	6,6	0,36
	Głębokie	98	122 2002	59 1984	17	5,5	0,29

MAX – najpóźniejsza data w wieloleciu lub największa długość, MIN – najwcześniejsza data lub najmniejsza długość, s – odchylenie standardowe, r – współczynnik korelacji charakteryzujący zależność liniową, * - zależność istotna na poziomie 0,05

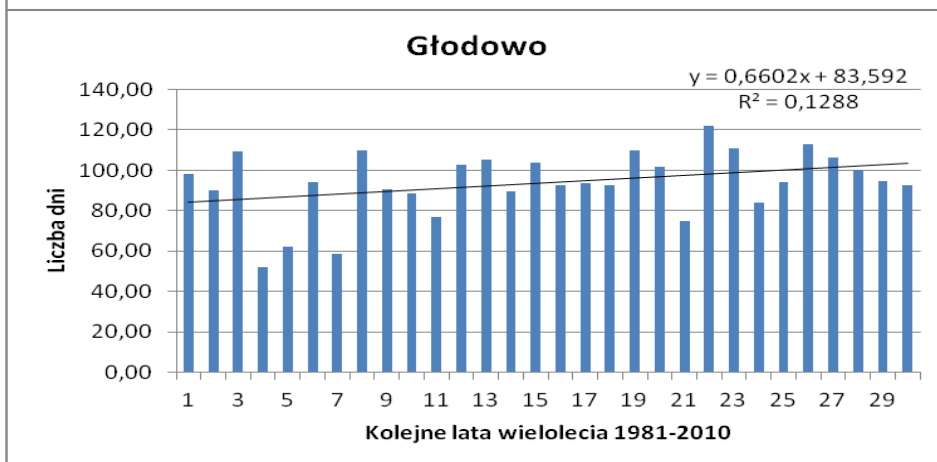
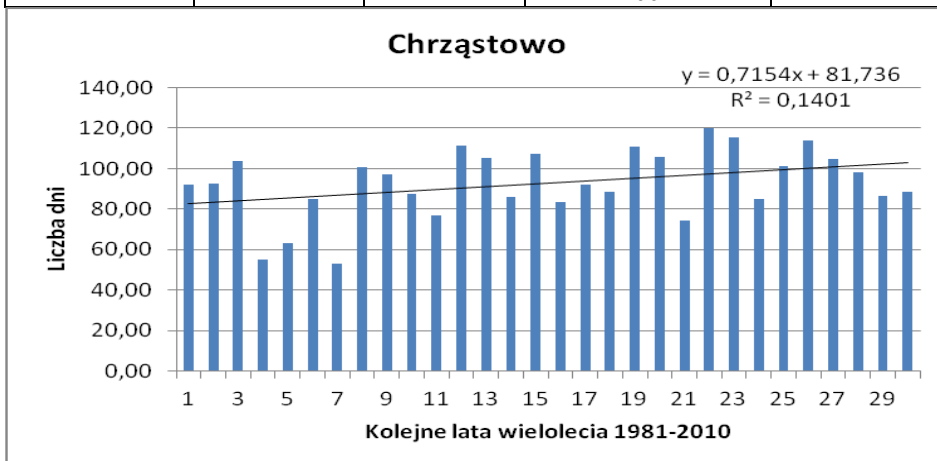
Daty początku i końca oraz długość trwania okresu dojrzewania roślin, podobnie jak to miało miejsce w przypadku wcześniej omówionych wskaźników, cechowała w wieloleciu 1981-2010 bardzo duża zmienność czasowa. Najwcześniej, bo już 5-11 maja okres ten rozpoczął się w 1993 roku w Chrzastowie i Głębokim oraz w 2002 roku w Głodowie, zaś najpóźniej, bo dopiero w pierwszej dekadzie lipca w 1984 roku. Najpóźniejsza data końca termicznego lata przypadła w 2006 roku pod koniec drugiej dekady września. Z kolei w 1987 roku lato zakończyło się już na przełomie pierwszej i drugiej dekady sierpnia. Maksymalna i minimalna długość okresu dojrzewania roślin różniła się o ponad dwa miesiące. Najdłużej trwające lato wystąpiło w 2002 roku i trwało 120-122 dni, zależnie od miejscowości. Z kolei najkrótsze, trwające niespełna dwa miesiące zanotowano w 1984 r. w Głodowie i Głębokim oraz w 1987 roku w Chrzastowie.

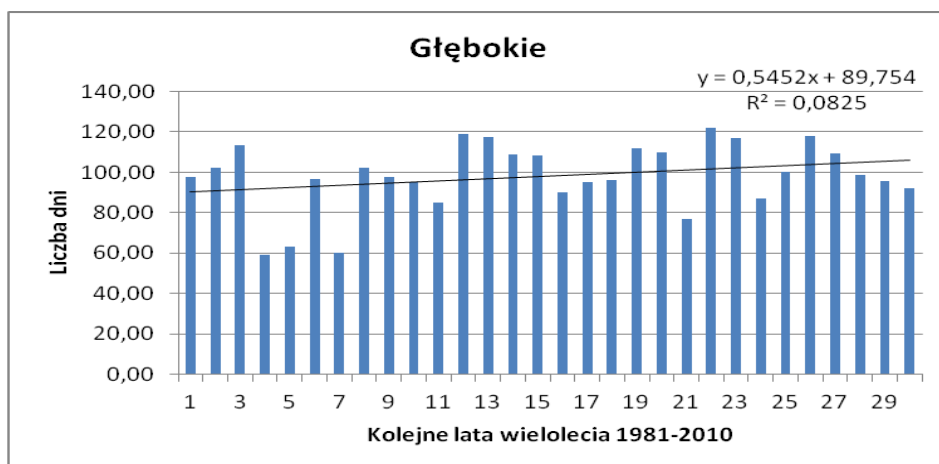
Niekorzystnym elementem pogodowym składającym się na klimatyczne ryzyko uprawy roślin jest skrócenie okresu dojrzewania roślin, wynikające z jego późniejszego w stosunku do daty przeciętnej rozpoczęcia lub wcześniejszego zakończenia. Przyjmując jako wyznacznik wartość odchylenia standardowego w stosunku do średniej (około 14 dni w odniesieniu do daty początku i długości trwania oraz 10 dni w odniesieniu do daty końca lata), można stwierdzić, że liczba przypadków skrócenia okresu dojrzewania roślin wynosiła 4-5, a częstotliwość 13,3-16,7% lat, w zależności od miejscowości (tab. 14). Skrócony okres dojrzewania roślin wystąpił we wszystkich miejscowościach w latach 1984, 1985, 1987 i 2001, a w Chrzastowie i Głodowie także w 1991 roku. Skrócenie długości trwania omawianego okresu wynikało na ogół z opóźnienia daty początkowej, a w roku 1987 także z bardzo wczesnego zakończenia lata. Opóźnienie rozpoczęcia okresu dojrzewania roślin występowało z częstotliwością 13,3-16,7%, a przyspieszenie zakończenia – 6,7-13,3% lat, w zależności od miejscowości.

Tabela 14. Skrócenie okresu dojrzewania roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Liczba przypadków	Lata wystąpienia	Częstotliwość (%)
Data początku późniejsza o co najmniej 14 dni	Chrzastowo	5	1984, 1985, 1987, 1991, 2001	16,7
	Głodowo	4	1984, 1985, 1991, 2001	13,3
	Głębokie	5	1984, 1985, 1987, 1991, 2001	16,7
Data końca wcześniejsza o co najmniej 10 dni	Chrzastowo	4	1986, 1987, 1993, 1998	13,3
	Głodowo	3	1986, 1987, 1993	10,0
	Głębokie	2	1986, 1987	6,7
Długość	Chrzastowo	5	1984, 1985, 1987,	16,7

trwania skrótowa o co najmniej 14 dni			1991, 2001	
	Głodowo	5	1984, 1985, 1987, 1991, 2001	16,7
	Głębokie	4	1984, 1985, 1987, 2001	13,3





Rysunek 7. Długość okresu dojrzewania roślin w kolejnych latach 1981-2010 wraz z trendem i tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Z przeprowadzonej analizy regresji liniowej wynika, że 8 spośród analizowanych 9 wskaźników charakteryzujących okres dojrzewania roślin we wszystkich miejscowościach nie wykazało istotnych zmian wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 (tab. 13). W Chrząstowie stwierdzono natomiast istotny trend zwiększenia się długości lata o 7,2 dni na każde 10 lat. W pozostałych przypadkach zaobserwowano tendencję do wcześniejszego rozpoczynania się lata (współczynniki korelacji 0,19-0,23), a zwłaszcza jego późniejszego kończenia (współczynniki korelacji (0,26-0,35). W rezultacie w Głodowie i Głębokim stwierdzono dość wyraźną tendencję ($r = 0,29-0,36$) do wydłużania się okresu dojrzewania roślin w wieloleciu 1981-2010 o 5,5–6,6 dni/10 lat, w zależności od miejscowości (rys. 7).

Tabela 15. Porównanie zmienności czasowej wskaźników okresu dojrzewania roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010

Wskaźnik	Miejscowość	s (liczba dni)		zakres (liczba dni)		+/-
		1981-1995	1996-2010	1981-1995	1996-2010	
Data początku	Chrząstowo	15	12	56	37	-
	Głodowo	17	11	61	41	-
	Głębokie	17	11	61	38	-
Data końca	Chrząstowo	9	8	32	27	-
	Głodowo	8	7	30	23	-
	Głębokie	9	7	37	24	-
Długość trwania (liczba dni)	Chrząstowo	19	14	58	45	-
	Głodowo	19	12	58	47	-
	Głębokie	20	13	60	45	-

s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

Porównanie odchylenia standardowego i zakresu wartości poszczególnych wskaźników charakteryzujących okres dojrzwania roślin w okresach 15-letnich 1996-2010 i 1981-1995, wykazało zmniejszenie zmienności czasowej wszystkich badanych wskaźników we wszystkich analizowanych miejscowościach (tab.15). Zarówno odchylenie standardowe, jak i różnica między maksimum i minimum daty początkowej i końcowej oraz długości trwania termicznego lata były w każdym przypadku mniejsze w 15-leciu 1996-2010, w porównaniu z wieloleciem 1981-1995.

4.6. PRZYMROZKI PRZYGRUNTOWE

4.6.1. Liczba dni z przymrozkiem

Liczba przygruntowych przymrozków w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego cechowała się w wieloleciu 1981-2010 wyraźnym zróżnicowanym przestrzennym, wynikającym z lokalnych warunków fizjograficznych. Największą liczbę przymrozków zarówno wiosennych, późnowiosennych, jak i jesiennych notowano w Głodowie, nieco mniejszą w Głębokim, a zdecydowanie najmniejszą w Chrzastowie. Takie zróżnicowanie przestrzenne dotyczyło wszystkich przymrozków, niezależnie od ich intensywności (tab.16), a także przymrozków silnych (tab. 17), które w Głodowie występowały znacznie liczniej, stanowiąc 35,9% wszystkich przymrozków, w porównaniu z Głębokim (31,3%), a zwłaszcza z Chrzastowem (24,6%).

Tabela 16. Liczba dni z przymrozkiem przygruntowym w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Średnio	MAX rok	MIN rok	s (liczba dni)	Tendencja zmian od 1981 do 2010	
						Zmiana na 10 lat	r
Liczba przymrozków wiosennych	Chrzastowo	12,5	25 1992	4 1984	5,2	+0,6	0,10
	Głodowo	19,8	43 1989	2 1986	9,6	-1,2	0,11
	Głębokie	18,3	28 1981	5 1984	6,1	-0,1	0,02
Liczba przymrozków późno wiosennych	Chrzastowo	2,1	9 1992	0 8 lat	2,3	+0,04	0,02
	Głodowo	5,7	25 1989	0 5 lat	5,7	-1,1	0,18
	Głębokie	4,4	11 1991,95	0 1987,10	3,1	+0,1	0,02
Liczba przymrozków jesiennych	Chrzastowo	7,4	18 1992	0 1989, 04	4,6	+0,2	0,04
	Głodowo	11,7	26 1994	2 2004	6,4	-0,7	0,09
	Głębokie	10,1	23 1988	0 1984	5,4	-0,1	0,01
Całkowita liczba przymrozków w okresie IV-X	Chrzastowo	19,9	43 1992	6 1984,89	7,9	+0,8	0,09
	Głodowo	31,5	59 1994	6 1984	13,0	-1,9	0,13
	Głębokie	28,4	47 1988	5 1984	9,4	-0,2	0,02

MAX – największa liczba, MIN – najmniejsza liczba, s – odchylenie standardowe, r – współczynnik korelacji charakteryzujący zależność liniową

Występowanie przygruntowych przymrozków cechowało się bardzo dużą zmiennością czasową. We wszystkich analizowanych miejscowościach i w odniesieniu do wszystkich rodzajów przymrozków stwierdzono wysokie wartości odchylenia standardowego w stosunku do średniej arytmetycznej. W przypadku całkowitej liczby przymrozków współczynnik zmienności czasowej wynosił 33-41% zależnie od miejscowości, przy czym bardziej zmienne było występowanie przymrozków jesiennych, w porównaniu z wiosennymi. W odniesieniu do przymrozków występujących mniej licznie (przymrozki późno wiosenne, przymrozki silne) odchylenie standardowe nierzadko przewyższało średnią wieloletnią liczbę dni z przymrozkiem.

Tabela 17. Liczba dni z przymrozkiem przygruntowym silnym ($T_{MIN5} < -3,9^{\circ}C$) w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Średnio	MAX rok	MIN rok	s (liczba dni)	Tendencja zmian od 1981 do 2010	
						Zmiana na 10 lat	r
Liczba przymrozków wiosennych Silnych	Chrzastowo	2,9	8 2009	0 98,99,04	2,1	+0,1	0,04
	Głódowo	6,9	21 1982	0 1984,86	5,3	-1,0	0,16
	Głębokie	5,8	13 1988	1 1998,06	3,3	-0,8	0,21
Liczba przymrozków jesiennych Silnych	Chrzastowo	2,0	11 2003	0 15 lat	2,9	+0,1	0,05
	Głódowo	4,4	16 2003	0 6 lat	4,6	+0,2	0,04
	Głębokie	3,1	11 1988	0 10 lat	3,3	+0,4	0,11
Całkowita liczba silnych przymrozków w okresie IV-X	Chrzastowo	4,9	15 2003	0 98,99,04	3,8	+0,2	0,05
	Głódowo	11,3	30 1997	1 1984	7,6	-0,7	0,09
	Głębokie	8,9	24 1988	1 1998	5,2	-0,4	0,06

MAX – największa liczba, MIN – najmniejsza liczba, s – odchylenie standardowe, r – współczynnik korelacji charakteryzujący zależność liniową

Przymrozki wiosenne występowały w każdym roku badanego wielolecia. Najmniejszą ich liczbę (4-5 dni) zanotowano w 1984 r., w Chrzastowie i Głębokim oraz w 1986 r., w Głódowie (2 dni). Maksymalną liczbę przymrozków wiosennych (43 dni), biorąc pod uwagę także zróżnicowanie

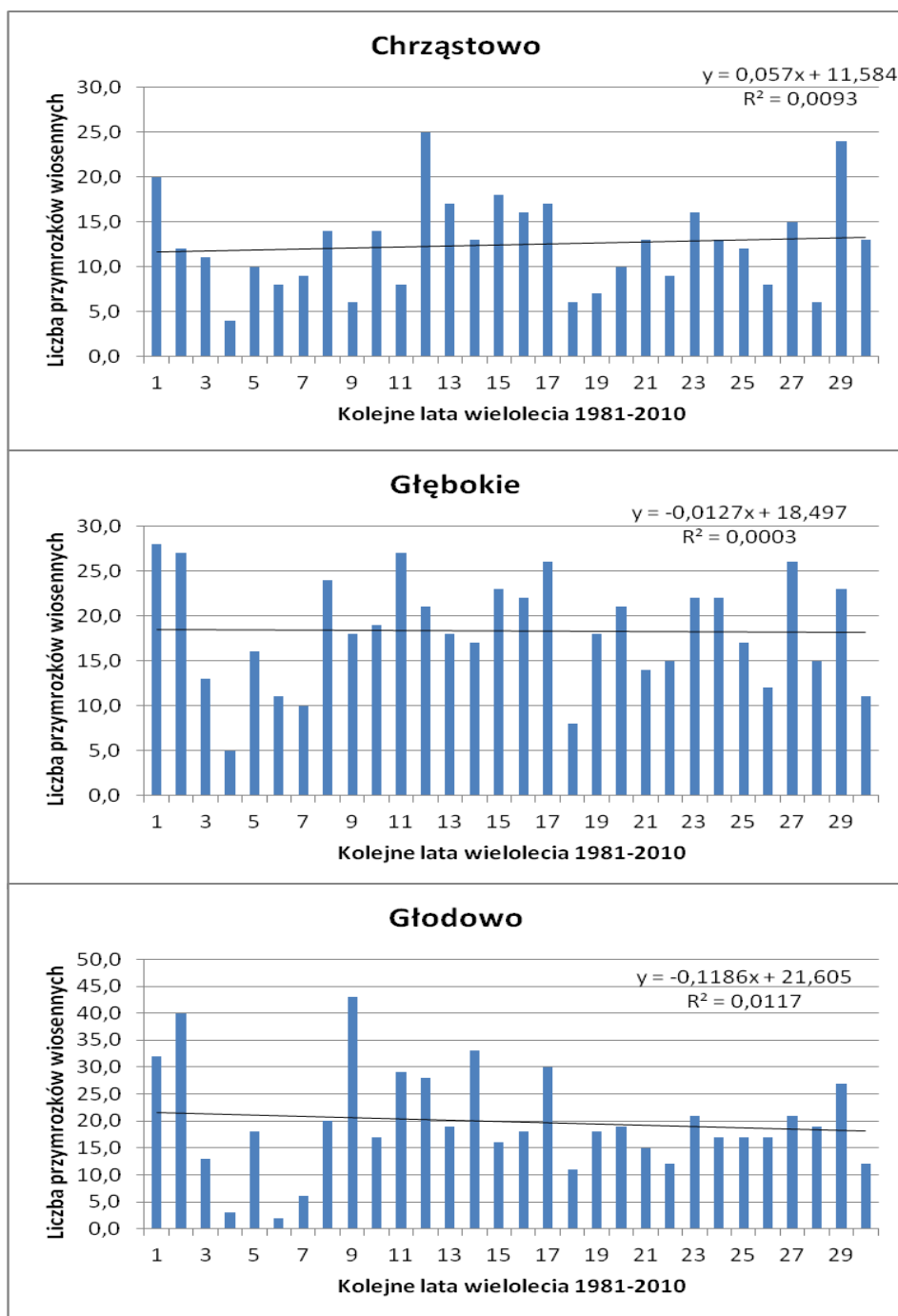
przestrzenne, odnotowano w 1989 roku w Głodowie. Częstotliwość występowania przymrozków późno wiosennych była różna w porównywanych miejscowościach i wynosiła 93,3% lat w Głębokim, 83,3% lat w Głodowie i 73,3% lat w Chrzastowie. Maksymalna liczba dni z przygruntowym przymrozkiem późno wiosennym wynosiła aż 25 (Głodowo w 1989 roku).

Mniej liczne, w porównaniu z wiosennymi, przymrozki jesienne odnotowano każdego roku wielolecia 1981-2010 w Głodowie. W Głębokim nie wystąpiły tylko w 1984r., a w Chrzastowie w 1989 i 2004r. Maksymalna ich liczebność w danym roku wynosiła od 18 w Chrzastowie (1992r.) do 26 w Głodowie (1994r.).

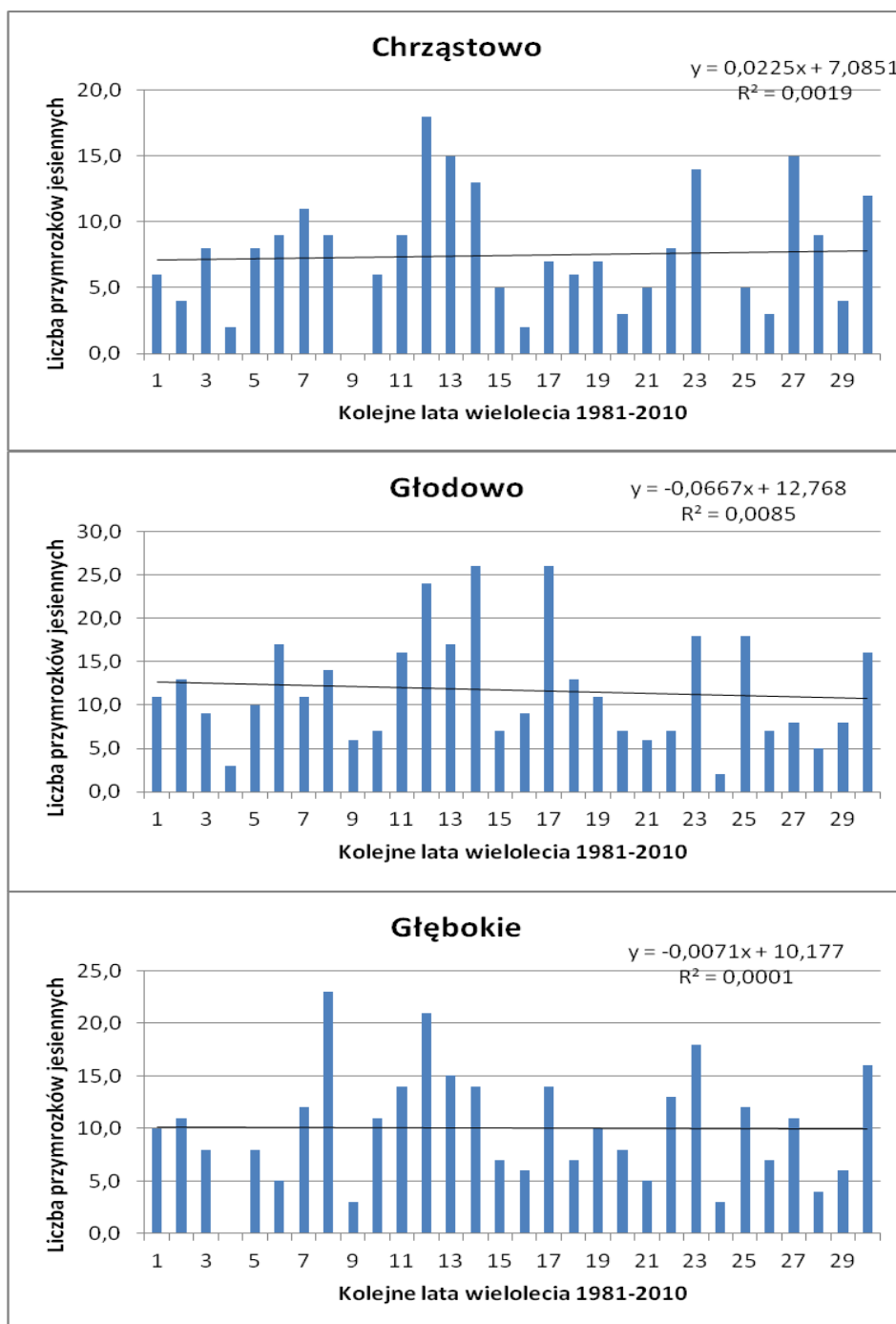
Przymrozki silne, oznaczające spadek temperatury powietrza do $-4,0^{\circ}\text{C}$ i poniżej występowały z dużą częstotliwością wiosną (wszystkie analizowane lata w Głębokim, 28 lat w Głodowie i 27 lat w Chrzastowie). Maksymalną ich liczbę (aż 21) stwierdzono wiosną 1982r. w Głodowie. Jesienią występowały one z mniejszą częstotliwością, wynoszącą 50-80% lat zależnie od miejscowości. Maksymalną ich liczebność (16 dni) odnotowano także w Głodowie, w 2003 roku.

Analiza zależności liczby przymrozków od upływu czasu nie wykazała istotności zachodzących zmian. W każdym z analizowanych 21 przypadków współczynniki korelacji charakteryzujące wspomnianą zależność były nieistotne (tab. 16 i 17). Najwyższy współczynnik korelacji ($r = 0,18$) cechował zależność zmian liczby przymrozków późno wiosennych od upływu czasu, od 1981 do 2010 w Głodowie (tab. 16) oraz spadku liczebności przymrozków wiosennych silnych w Głębokim ($r = 0,21$) (tab. 17).

Jak pokazano na rysunkach 8 i 9 tendencje zachodzących zmian w liczebności przymrozków wraz z upływem czasu były różne w analizowanych miejscowościach. W Chrzastowie można zauważyć nieistotną tendencję do wzrostu liczby zarówno wiosennych, jak i jesiennych. Z kolei w Głodowie zaobserwowano spadek liczby przymrozków wraz z upływem lat od 1981 do 2010. Podobne tendencje dotyczyły tendencji zmian występowania przymrozków silnych (tab. 17).



Rysunek 8. Liczba dni z przymrozkiem przygruntowym wiosennym w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego



Rysunek 9. Liczba dni z przymrozkiem przygruntowym jesiennym w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Tabela 18. Porównanie zmienności czasowej liczby dni z przymrozkiem przygruntowym w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010

Wskaźnik	Miejscowość	s (liczba dni)		zakres (liczba dni)		+/-
		1981-1995	1996-2010	1981-1995	1996-2010	
Liczba przymrozków wiosennych	Chrzastowo	5,6	4,9	21	18	-
	Głodowo	12,7	5,2	41	19	-
	Głębokie	6,8	5,5	23	18	-
Liczba przymrozków późno wiosennych	Chrzastowo	2,6	1,9	9	7	-
	Głodowo	7,2	3,3	25	9	-
	Głębokie	3,5	2,7	11	9	-
Liczba przymrozków jesiennych	Chrzastowo	4,8	4,4	18	15	-
	Głodowo	6,5	6,3	23	24	-
	Głębokie	6,2	4,5	23	15	-
Całkowita liczba przymrozków w okresie IV-X	Chrzastowo	9,2	6,6	37	19	-
	Głodowo	15,7	9,5	53	37	-
	Głębokie	11,2	7,5	42	25	-

s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

Tabela 19 Porównanie zmienności czasowej liczby dni z przymrozkiem przygruntowym silnym ($T_{MIN5} < -3,9^{\circ}C$) w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010

Wskaźnik	Miejscowość	s (liczba dni)		zakres (liczba dni)		+/-
		1981-1995	1996-2010	1981-1995	1996-2010	
Liczba przymrozków wiosennych Silnych	Chrzastowo	2,0	2,2	6	8	+
	Głodowo	6,3	4,1	21	14	-
	Głębokie	3,5	3,1	11	8	-
Liczba przymrozków jesiennych Silnych	Chrzastowo	2,7	3,0	8	11	+
	Głodowo	4,3	5,0	13	16	+
	Głębokie	3,7	3,0	11	10	-
Całkowita liczba silnych przymrozków w okresie IV-X	Chrzastowo	3,7	4,1	12	15	+
	Głodowo	7,8	7,5	25	28	-
	Głębokie	5,3	5,1	22	18	-

s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

Porównanie odchylenia standardowego i zakresu wartości poszczególnych wskaźników charakteryzujących liczbę występowania przymrozków w okresach 15-letnich 1996-2010 i 1981-1995, wykazało zmniejszenie zmienności czasowej 11 na 12 badanych wskaźników we wszystkich analizowanych

miejsowościach (tab. 18). Zarówno odchylenie standardowe, jak i różnica między maksimum i minimum daty początkowej, końcowej oraz długości trwania termicznego lata były w każdym przypadku mniejsze w 15-leciu 1996-2010, w porównaniu z wieloleciem 1981-1995. Wyjątek dotyczył tylko zakresu wartości liczby przymrozków jesiennych w Głodowie.

W przypadku liczby przymrozków silnych (tab. 19) zmiany parametrów określających zmienność czasową były niejednoznaczne i zależne od miejscowości. W Chrząstowie stwierdzono wzrost zmienności czasowej występowania przymrozków silnych w 15-leciu 1996-2010, w porównaniu z latami 1981-1995, w Głębokim odnotowano spadek, a w Głodowie zmniejszenie zmienności występowania przymrozków wiosennych, ale zwiększenie zmienności czasowej przymrozków jesiennych

4.6.2 Daty występowania przymrozków oraz długość okresu bez przymrozków

Podobnie jak liczba przygruntowych przymrozków, również daty ich występowania w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego cechowały się w wieloleciu 1981-2010 wyraźnym zróżnicowanym przestrzennym, wynikającym z lokalnych warunków fizjograficznych. Wyraźne zróżnicowanie przestrzenne dotyczyło także długości trwania okresu bez przymrozków (tab. 20).

Najwcześniej (przeciętnie 9 maja) przymrozki wiosenne ustępowały, a najpóźniej (średnio 9 października) jesienne pojawiały się w Chrząstowie. W związku z tym średnia długość okresu bez występowania przymrozków wynosiła w Chrząstowie 152 dni i była aż o 32 dni większa niż w Głodowie i o 26 dni większa niż w Głębokim. W Głodowie i Głębokim wiosenne przymrozki ustępowały dopiero w trzeciej dekadzie maja, a jesienne pojawiały się już w połowie trzeciej dekady września.

Daty występowania przymrozków przygruntowych cechowały się w wieloleciu 1981-2010 bardzo dużą zmiennością czasową. Wiosną w 2000 roku w Głębokim i Głodowie wystąpiły pod koniec czerwca, z kolei w 2002 roku w Chrząstowie ustąpiły już 10 kwietnia. Jesienią 1984 r. w Głębokim oraz 1989 i 2004 roku w Chrząstowie przymrozki jesienne pojawiły się dopiero na początku listopada, natomiast w 1989r. w Głodowie pojedynczy przymrozek odnotowano już na początku sierpnia. W efekcie zmienność długości trwania okresu bez przymrozków, biorąc pod uwagę zarówno zróżnicowanie czasowe, jak i przestrzenne, wahała się od zaledwie 46 dni w sezonie wegetacji 1989 r. w Głodowie do aż 189 dni w okresie wegetacji 1996 r. w Chrząstowie.

Trendy i tendencje zmian dat występowania przymrozków oraz długości okresu bez przymrozków były różne w analizowanych miejscowościach. Analiza regresji wykazała istotny trend wcześniejszego ustępowania przymrozków wiosennych w Głodowie ($r = 0,362^*$), ale w Głębokim, a zwłaszcza w Chrząstowie data ostatniego przymrozków wiosennego nie

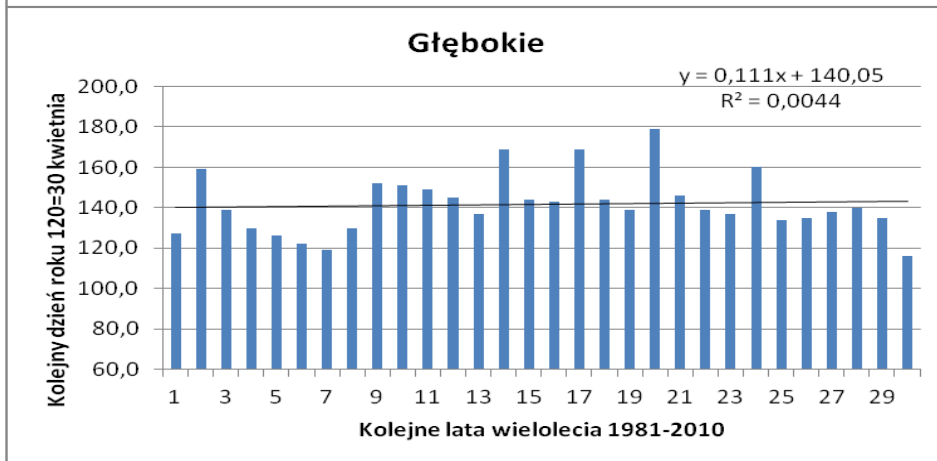
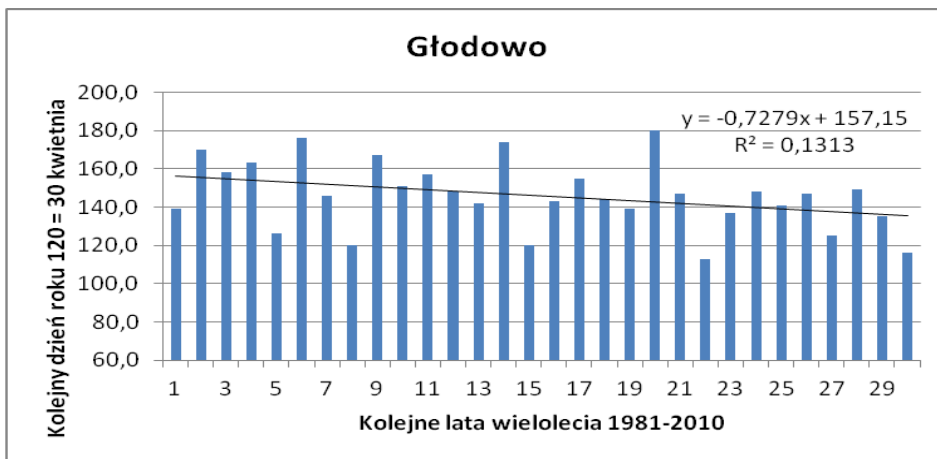
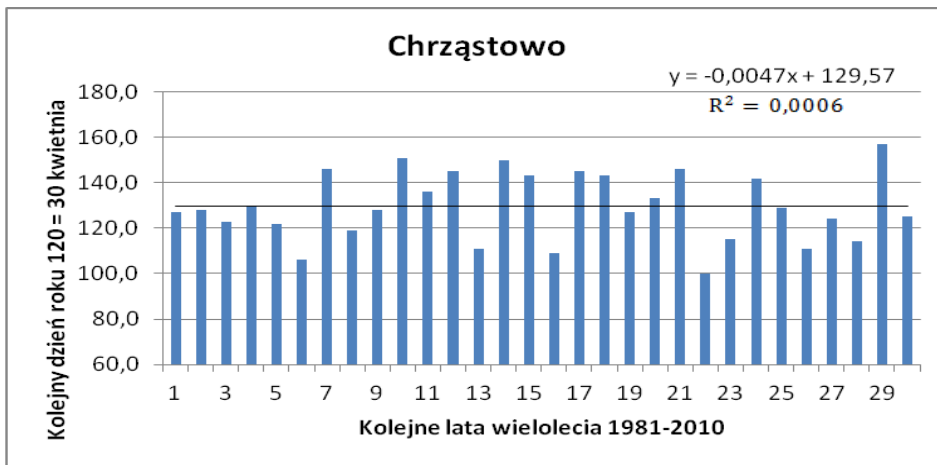
zmieniała się wraz z upływem czasu (tab. 20, rys. 10). W odniesieniu do daty pierwszego przymrozku jesiennego zależności liniowe były co prawda nieistotne (tab. 20), ale zauważyć można bardzo wyraźną tendencję do późniejszego pojawiania się przymrozków jesiennych wraz z upływem czasu w Głodowie (o 4,6 dnia na 10 lat) oraz w Chrzastowie (o 4 dni na 10 lat) (rys. 11).

Zmiana długości trwania okresu bez przymrozków wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 najbardziej wyraźna (współczynnik korelacji bliski wartości krytycznej) była w Głodowie – przyrost aż o 11,9 dnia na 10 lat. Tendencja do wydłużania się tego okresu charakteryzowała także warunki Chrzastowa (przyrost o 4 dni na 10 lat), natomiast w Głębokim stwierdzono niewielkie (o 0,7 dnia na 10 lat) i nieistotne zmniejszenie się długości trwania okresu bez występowania przygruntowych przymrozków (rys. 12).

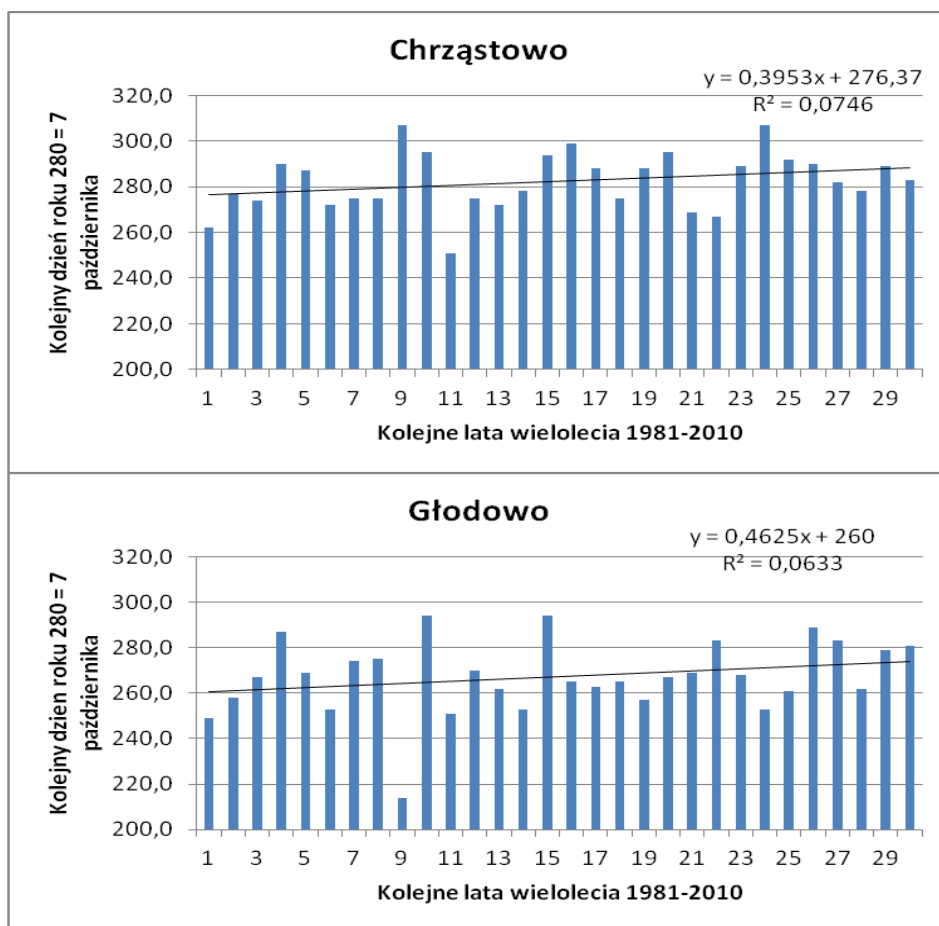
Tabela 20. Daty występowania oraz długość okresu bez przymrozków przygruntowych w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

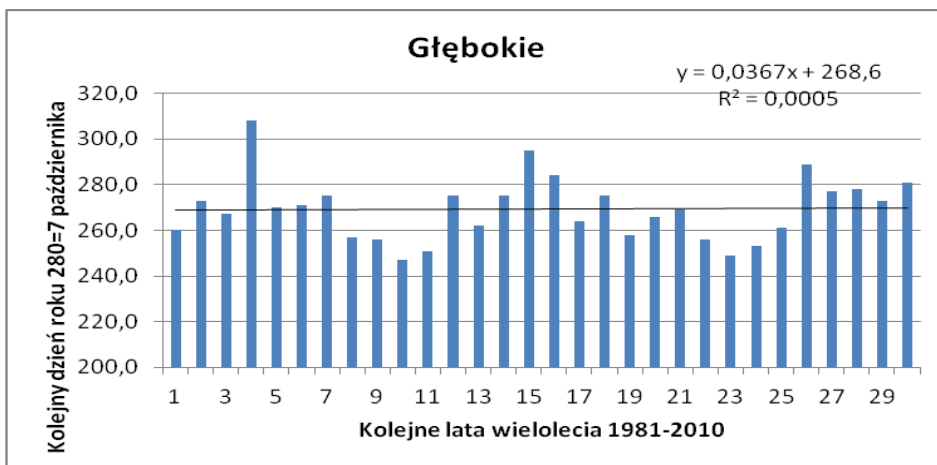
Wskaźnik	Miejscowość	Średnio	MAX rok	MIN rok	s (liczba dni)	Tendencja zmian od 1981 do 2010	
						Zmiana na 10 lat	r
Data ostatniego przymrozku wiosennego	Chrzastowo	9 V	6 VI 2009	10 IV 2002	15	-0,05	0,00
	Głodowo	26 V	29 VI 2000	23 IV 2002	18	-7,3	0,36*
	Głębokie	22 V	28 VI 2000	26 IV 2010	15	+1,1	0,07
Data pierwszego przymrozku jesiennego	Chrzastowo	9 X	3 XI 1989,04	8 IX 1991	13	+ 4,0	0,27
	Głodowo	24 IX	21 X 1990,95	2 VIII 1989	16	+4,6	0,25
	Głębokie	26 IX	4 XI 1984	4 IX 1990	14	+0,4	0,02
Długość okresu bez przymrozków	Chrzastowo	152	189 1996	114 1991	18	4,0	0,19
	Głodowo	120	173 1995	46 1989	29	11,9	0,36
	Głębokie	126	177 1984	86 2000	22	-0,7	0,03

MAX – najpóźniejsza data w wieloleciu lub największa długość, MIN – najwcześniejsza data lub najmniejsza długość, s – odchylenie standardowe, r – współczynnik korelacji charakteryzujący zależność liniową, * - zależność istotna na poziomie 0,05

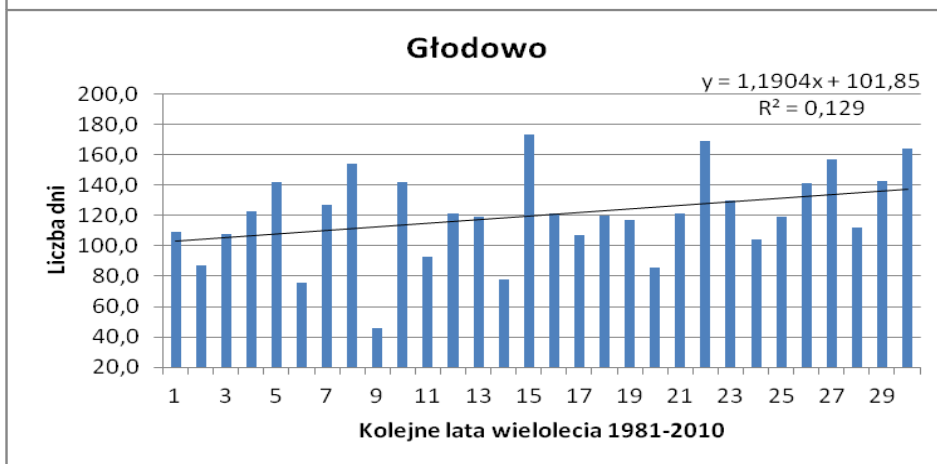
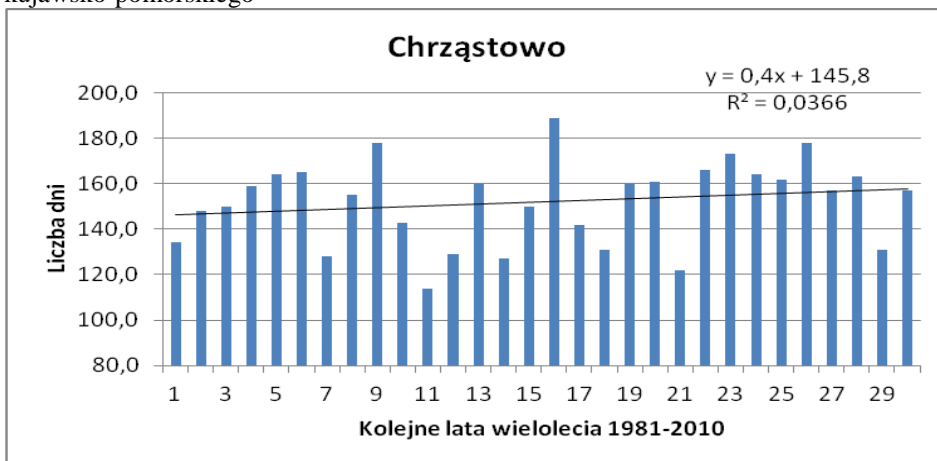


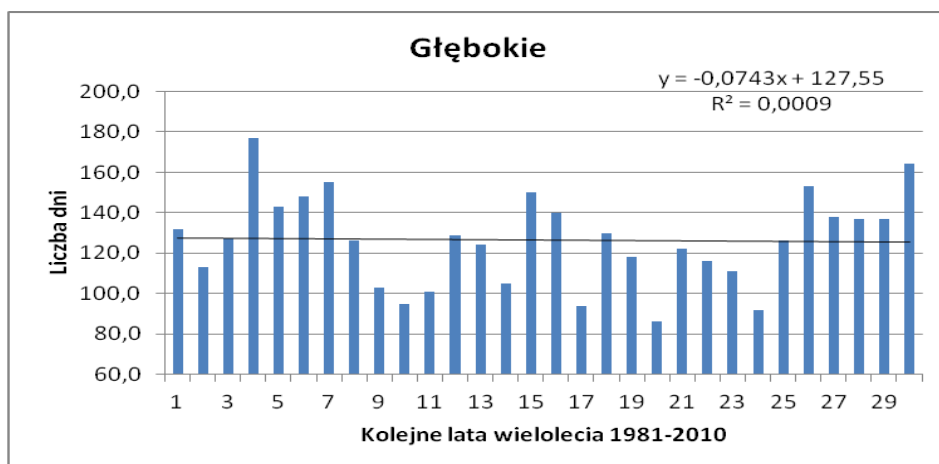
Rysunek 10. Data ostatniego przymrozku przygruntowego wiosennego w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego





Rysunek 11. Data pierwszego przymrozku przygruntowego jesienno w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego





Rysunek 12. Długość okresu bez przymrozków przygruntowych w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Tabela 21. Porównanie zmienności czasowej dat występowania przymrozków oraz długości okresu bez przymrozków w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010

Wskaźnik	Miejscowość	s (liczba dni)		zakres (liczba dni)		+/-
		1981-1995	1996-2010	1981-1995	1996-2010	
Data ostatniego przymrozku wiosennego	Chrząstowo	14	16	45	57	+
	Głodowo	18	16	56	67	
	Głębokie	14	15	50	63	+
Data pierwszego przymrozku jesiennego	Chrząstowo	14	11	56	40	-
	Głodowo	20	11	80	36	-
	Głębokie	16	12	61	40	-
Długość okresu bez przymrozków	Chrząstowo	18	18	64	67	
	Głodowo	33	23	127	83	-
	Głębokie	23	22	82	78	-

s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

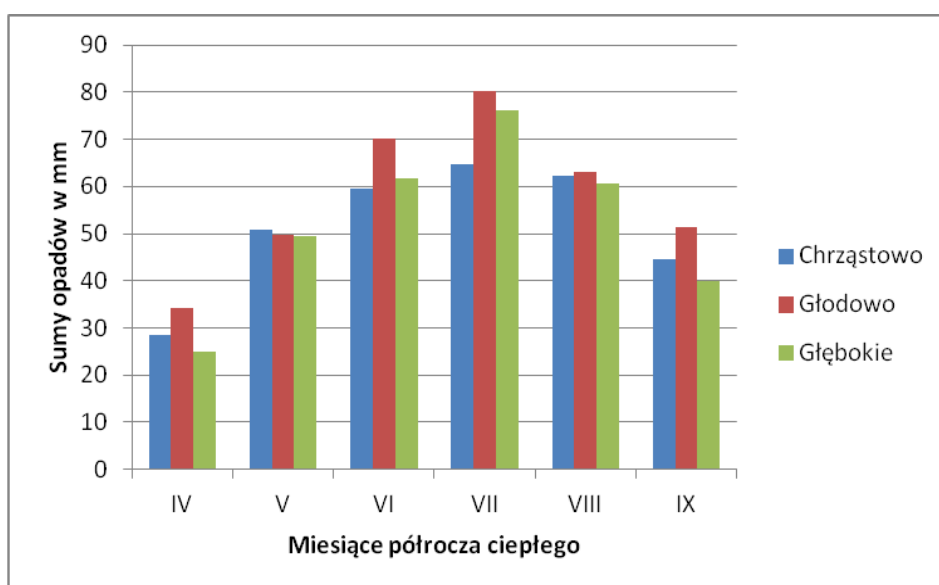
Porównanie odchylenia standardowego i zakresu wartości poszczególnych wskaźników charakteryzujących daty występowania przymrozków oraz długość okresu bez przymrozków w okresach 15-letnich 1996-2010 i 1981-1995, wykazało zwiększenie zmienności czasowej daty ostatniego przymrozku wiosennego w Chrząstowie i Głębokim oraz zmniejszenie zmienności czasowej daty pierwszego przymrozku jesiennego we wszystkich miejscowościach. Długość okresu bez przymrozków była mniej zmienna w latach 1996-2010, w porównaniu do lat 1981-1995, w Głodowie i Głębokim, podczas gdy

w Chrzastowie nie stwierdzono różnic odchylenia standardowego i niewielki wzrost zakresu wartości (tab. 21).

4.7 OPADY ATMOSFERYCZNE

4.7.1. Sumy opadów atmosferycznych

Opady atmosferyczne, których wysokość decyduje bezpośrednio o bieżącym zaopatrzeniu roślin w wodę, opracowano w 9 krokach czasowych, obejmujących poszczególne miesiące półrocza ciepłego, półrocze ciepłe (suma opadów w okresie IV-IX) oraz dwa okresy ważne z punktu widzenia potrzeb wodnych głównych grup użytkowych roślin uprawnych: V-VI (zboża), VII-VIII (kukurydza, okopowe).



Rysunek 13. Porównanie miesięcznych sum opadów atmosferycznych półrocza ciepłego (IV-IX) w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Tabela 22. Średnie wieloletnie (1981-2010) sumy opadów atmosferycznych w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego [mm] wraz z charakterystykami zmienności czasowej

Miesiąc Okres	Chrzastowo				Głódowo				Głębokie			
	Średnia	MAX rok	MIN rok	s	Średnia	MAX rok	MIN rok	s	Średnia	MAX rok	MIN rok	s
IV	28,5	83,5 1999	0,9 2009	16,7	34,2	131,8 1999	1,2 2009	23,6	25,0	85,3 1999	4,2 1988	18,0
V	50,9	99,7 1985	7,2 1989	24,7	49,7	143,3 2010	19,3 1990	24,3	49,4	103,6 1996	8,7 1989	24,6
VI	59,5	127,5 1984	9,9 2010	35,8	70,0	151,1 1999	22,0 2000	35,0	61,8	137,2 1988	13,0 2006	30,6
VII	64,7	130,8 1981	3,9 1994	32,0	80,2	148,8 2001	24,0 2006	38,0	76,1	162,4 2010	19,9 1989	43,8
VIII	62,2	174,8 1985	13,4 2003	42,0	63,0	159,1 2006	16,6 1997	33,4	60,5	209,0 1985	12,0 1999	41,2
IX	44,6	119,1 2001	6,4 1982	28,2	51,4	168,0 1993	4,6 1989	41,9	39,9	107,7 2001	2,7 1982	27,1
IV-IX	310,4	451,0 2001	135,7 1989	83,7	348,6	519,9 2001	223,0 1983	80,0	312,7	500,8 2010	105,3 1989	91,0
V-VI	110,4	195,2 2007	32,8 1989	44,1	119,7	208,7 2009	54,3 2000	38,7	111,2	187,9 1985	48,5 1989	37,7
VII-VIII	126,9	235,5 2010	40,2 1983	49,0	143,3	255,6 2010	64,5 1989	45,4	136,6	282,3 2010	40,4 1989	61,9

MAX – najwyższa suma w wieloleciu, MIN – najniższa suma w wieloleciu, s – odchylenie standardów

Rozkład opadów atmosferycznych w poszczególnych miesiącach półrocza ciepłego był charakterystyczny dla umiarkowanego przejściowego klimatu centralnej Polski. W każdej analizowanej miejscowości najmniejszą średnią wieloletnią sumę opadów notowano w kwietniu, następnie wzrastała ona do lipca, w którym opady były najwyższe, a w sierpniu i we wrześniu obserwowano spadek sumy opadów (rys. 13).

Z porównania miesięcznych i okresowych sum opadów atmosferycznych w poszczególnych miejscowościach wynika, że najwyższe sumy notowano w Głodowie (średnia wieloletnia suma okresu IV-IX 348,6mm, a około 10% niższe w Chrzastowie i Głębokim, w którym suma opadów półrocza ciepłego wynosiła odpowiednio 310,4 i 312,7 mm (tab. 22). W maju i w sierpniu średnie wieloletnie opady były bardzo podobne we wszystkich trzech miejscowościach. W pozostałych miesiącach okresu IV-IX, najwyższe sumy opadów notowano w Głodowie (rys. 13). W okresach szczególnie ważnych dla produkcji roślinnej, większe zróżnicowanie przestrzenne opadów wystąpiło w lipcu i sierpniu, a mniejsze w miesiącach wzmożonych potrzeb wodnych zbóż i rzepaku (V-VI). W pierwszym przypadku zróżnicowanie wynosiło 16,4mm, a w drugim 9,3 mm (tab. 22).

Daleko większe od zróżnicowania przestrzennego było zróżnicowanie czasowe opadów, wyrażające się bardzo dużymi różnicami sum miesięcznych i okresowych opadów w kolejnych latach analizowanego okresu 1981-2010. Ilustrację tej zmienności stanowią zamieszczone w tabeli 22 wartości odchylenia standardowego oraz najwyższe i najniższe sumy opadów w wieloleciu. Biorąc pod uwagę okres półrocza letniego i wszystkie analizowane miejscowości można stwierdzić, że najwyższa suma (519,9 mm w bardzo wilgotnym 2001 r. w Głodowie) była blisko 5-krotnie większa od najniższej sumy 105,3 mm, zanotowanej w skrajnie suchym 1989 roku w Głębokim. Najwyższe i najniższe sumy opadów w okresach wzmożonych potrzeb wodnych ważnych gospodarczo roślin różniły się ponad 6-krotnie w okresie V-VI i 7-krotnie w okresie VII-VIII. Rozpatrując sumy miesięczne opadów w poszczególnych miejscowościach, można stwierdzić, że najwyższą zanotowano w sierpniu 1985 r. w Głębokim (aż 209,0 mm), a najniższą w kwietniu 2009 r. w Chrzastowie (zaledwie 0,9 mm). W lipcu 1994 roku w Chrzastowie zanotowano tylko 3,9 mm deszczu, w 1981 r., w tej samej miejscowości opady wyniosły 130,8 mm. Lata występowania maksymalnych i minimalnych miesięcznych i okresowych sum opadów w poszczególnych miejscowościach różniły się znacznie bardziej niż miało to miejsce w przypadku temperatury powietrza. We wszystkich miejscowościach te same lata występowania sum ekstremalnych dotyczyły tylko kwietnia 1999 r. oraz okresu VII-VIII 2010 r. (najwyższe sumy opadów).

Tabela 23. Zmiany bezwzględnych sum opadów atmosferycznych [mm] w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w wieloleciu od 1981 do 2010 roku wraz ze współczynnikami korelacji (r) charakteryzującymi zależność liniową

Miesiąc Okres	Chrzastowo		Głódowo		Głębokie	
	Zmiana na 10 lat	r	Zmiana na 10 lat	r	Zmiana na 10 lat	r
IV	+ 2,4	0,13	+3,8	0,14	+4,2	0,20
V	+ 6,1	0,22	+12,3	0,44*	+5,8	0,21
VI	- 6,9	0,17	-8,0	0,20	-14,9	0,43*
VII	+ 4,3	0,12	+10,7	0,25	+12,8	0,26
VIII	+ 9,4	0,20	+7,6	0,20	+0,5	0,01
IX	+ 2,2	0,07	-3,1	0,07	-1,1	0,03
IV-IX	+17,6	0,19	+23,2	0,26	+7,3	0,07
V-VI	- 0,7	0,01	+4,3	0,10	-9,1	0,21
VII-VIII	+ 13,7	0,25	+18,3	0,35	+13,3	0,19

wartość krytyczna współczynnika korelacji 0,361 ($\alpha=0,05$), 0,463 ($\alpha=0,01$)

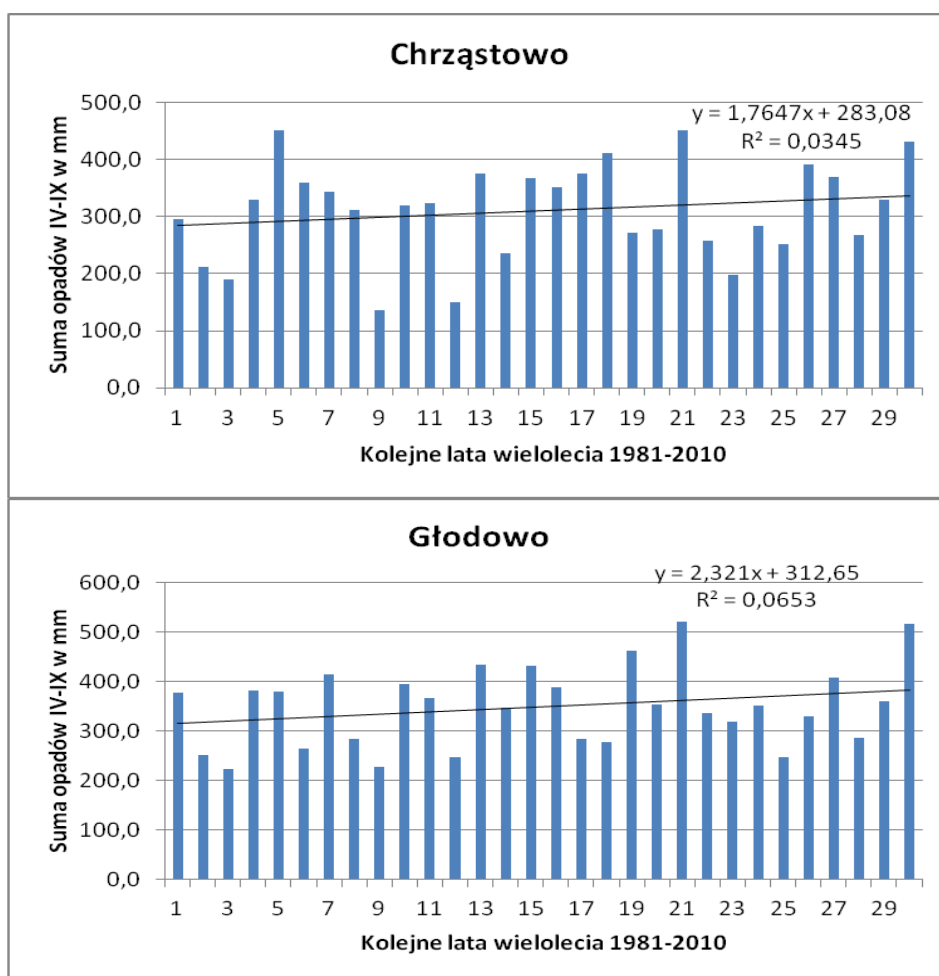
Tabela 24. Zmiany znormalizowanych sum opadów atmosferycznych [mm] w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w wieloleciu od 1981 do 2010 roku wraz ze współczynnikami korelacji (r) charakteryzującymi zależność liniową

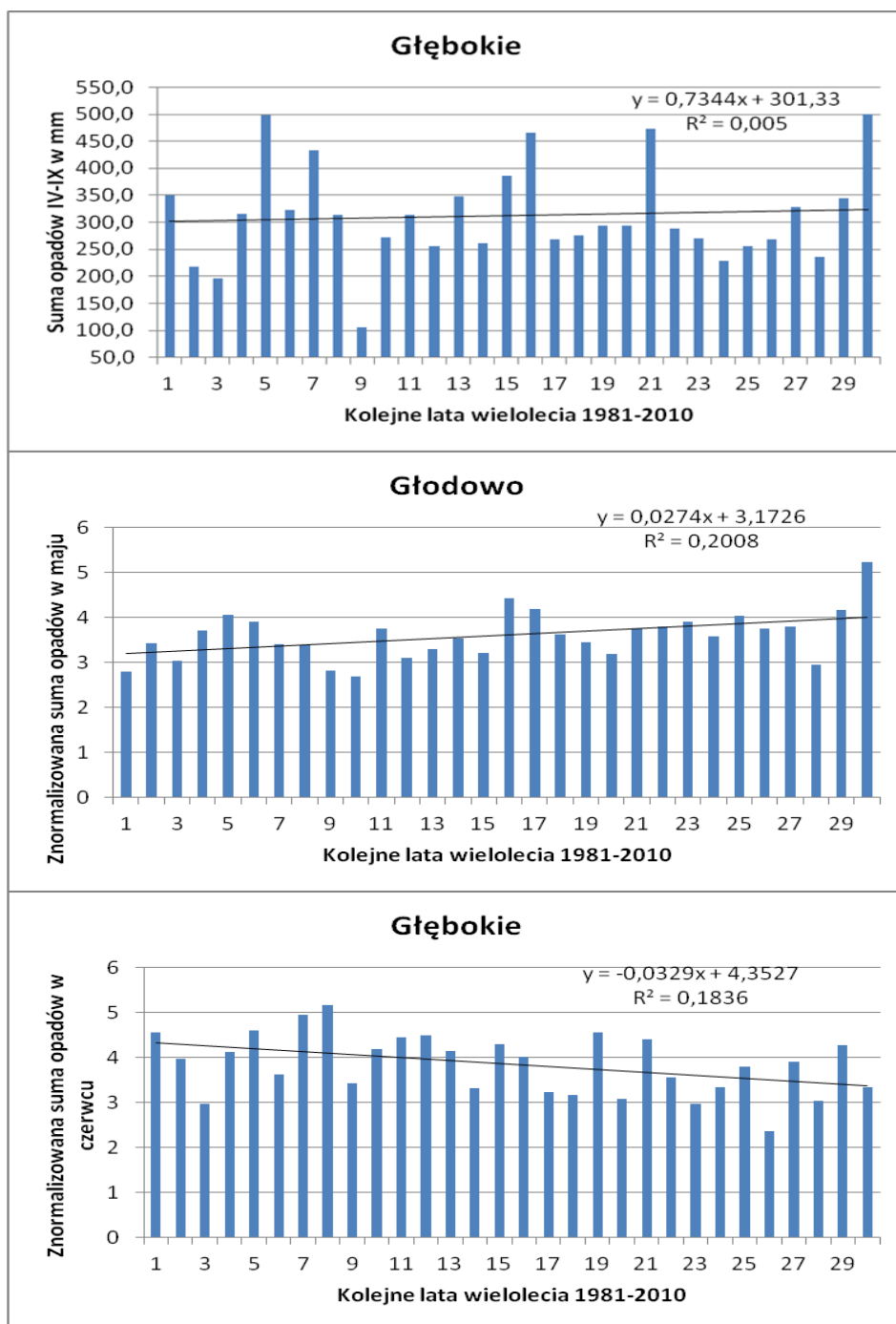
Miesiąc Okres	Chrzastowo		Głódowo		Głębokie	
	Zmiana na 10 lat	r	Zmiana na 10 lat	r	Zmiana na 10 lat	r
IV	+0,01	0,01	+0,05	0,06	+0,1	0,19
V	+0,16	0,20	+0,3	0,45*	+0,2	0,24
VI	-0,20	0,21	-0,2	0,22	-0,3	0,43*
VII	+0,13	0,14	+0,2	0,22	+0,2	0,24
VIII	+0,17	0,18	+0,1	0,13	+0,01	0,01
IX	+0,10	0,12	-0,04	0,03	+0,02	0,03
IV-IX	+0,14	0,19	+0,2	0,26	+0,1	0,09
V-VI	-0,03	0,04	+0,04	0,06	-0,1	0,19
VII-VIII	+0,20	0,26	+0,2	0,33	+0,2	0,21

wartość krytyczna współczynnika korelacji 0,361 ($\alpha=0,05$), 0,463 ($\alpha=0,01$)

Trendy i tendencje zmian miesięcznych i okresowych sum opadów w poszczególnych miejscowościach w wieloleciu od 1981 do 2010 roku opracowano na podstawie wartości bezwzględnych (nieznormalizowanych) (tab. 23) oraz znormalizowanych, stosując funkcję pierwiastkową 3-stopnia (tab. 24). W obu przypadkach uzyskano podobne wyniki. Spośród analizowanych 27 zmian (9 kroków czasowych x 3 miejscowości) opadów atmosferycznych wraz z upływem czasu od 1981 do 2010, istotny trend stwierdzono tylko w odniesieniu do sumy opadów maja w Głódowie (istotny wzrost opadów o 12,3 mm na 10 lat) oraz do sumy opadów czerwcowych w Głębokim (istotny spadek o 14,9 mm na 10 lat). W pozostałych przypadkach można było zauważyć mniej lub bardziej wyraźne tendencje zmian opadów. Na

ogół były to tendencje wzrostu opadów, za wyjątkiem czerwca (wszystkie miejscowości), września (Głodowo i Głębokie w odniesieniu do bezwzględnych sum opadów) oraz okresu wzmożonych potrzeb wodnych zbóż i rzepaku (Chrząstowo i Głębokie). W całym półroczu ciepłym stwierdzono tendencję wzrostu opadów, najbardziej zauważalną w Głodowie (wzrost opadów o 23,2 mm na 10 lat), a najmniej wyraźną w Głębokim (wzrost sumy opadów o 7,3 mm na 10 lat) (rys. 14).





Rysunek 14. Wybrane trendy i tendencje zmian opadów atmosferycznych w okresie od 1981 do 2010 roku w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Tabela 25. Porównanie wskaźników zmienności czasowej opadów atmosferycznych w okresach 1981-1995 i 1996-2010 w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Miesiąc Okres	Chrząstowo					Głódowo					Głębokie				
	CV		zakres		+/-	CV		zakres		+/-	CV		zakres		+/-
	81- 95	96- 10	81- 95	96- 10		81- 95	96- 10	81- 95	96- 10		81- 95	96- 10	81- 95	96- 10	
IV	47	64	40	83	+	47	77	54	131	+	51	76	33	79	+
V	56	41	92	75	-	36	46	48	118	+	58	42	82	80	-
VI	55	65	109	102		41	60	97	129	+	41	50	111	82	
VII	63	36	127	86	-	46	42	102	125		59	53	136	138	
VIII	69	66	156	150	-	37	65	90	142	+	74	64	188	122	-
IX	64	65	87	106	+	78	76	163	102	-	64	73	98	97	
IV-IX	31	23	315	254	-	23	23	210	274		31	28	392	272	-
V-VI	38	43	159	162	+	27	37	102	154	+	33	35	139	116	
VII- VIII	45	31	174	160	-	29	30	137	189	+	51	40	233	224	-

CV – współczynnik zmienności w %, zakres (MAX-MIN) w mm, + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

Z porównania współczynnika zmienności opadów oraz zakresu wartości ekstremalnych w piętnastolecu 1996-2010 w stosunku do poprzedniego 1981-1995 wynika, że wzrost ekstremalności stwierdzono w 10 przypadkach na analizowanych 27 (najwięcej w Głódowie) oraz spadek również w 10 przypadkach (najwięcej w Chrząstowie). W odniesieniu do 7 kroków (najwięcej w Głębokim) nie stwierdzono jednoznacznych zmian zmienności czasowej w porównywanych 15-leciach, bowiem miary statystyczne cechowały się przeciwnymi kierunkami. Porównując kierunek zmian ekstremalności w analizowanych miejscowościach w odniesieniu do wszystkich 9 kroków czasowych można stwierdzić, że jednoznaczna zmiana (wzrost ekstremalności w latach 1996-2010, w porównaniu do okresu 1981-1995) dotyczyła tylko sum opadów w kwietniu. W pozostałych krokach czasowych zmiany były różne. Na przykład we wrześniu w Chrząstowie stwierdzono wzrost ekstremalności opadów, w Głódowie spadek, a w Głębokim brak jednoznacznych zmian w tym zakresie (tab. 25).

4.7.2 Liczba dni z opadem

Średnia wieloletnia liczba dni z opadem o wysokości co najmniej 0,1 mm wynosiła w półroczu ciepłym od 70,2 w Głębokim do 74,6 w Chrzastowie (tab. 26), z czego porównywalne i bardzo zbliżone liczby około 25 dni, dotyczyły okresów wzmożonych potrzeb wodnych roślin V-VI i VII-VIII we wszystkich trzech miejscowościach. W przypadku liczby dni z opadami o wysokości co najmniej 10,0 mm zróżnicowanie przestrzenne było znacznie większe. Najwięcej dni z opadami wysokimi notowano w Głodowie (10,5 dnia w okresie IV-IX, 3,6 dnia w okresie V-VI i 4,7 dnia w okresie VII-VIII), mniej w Głębokim (odpowiednio 9,2, 3,2 i 4,7), a najmniej w Chrzastowie (odpowiednio 7,8, 2,6 i 3,7), w którym ogólna liczba dni z wszystkimi opadami była największa.

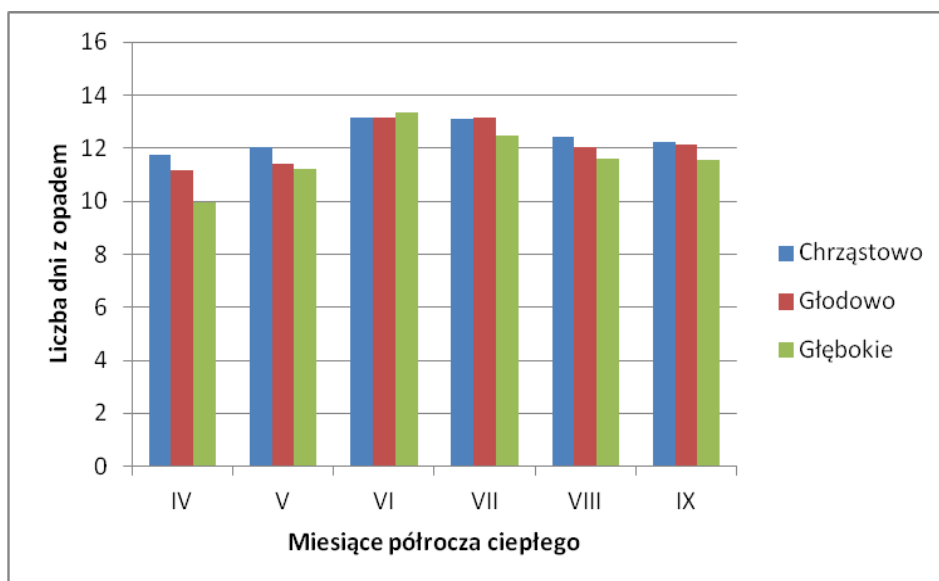
Najwięcej dni z opadem notowano w czerwcu, a w dalszej kolejności w lipcu. Największe zróżnicowanie między miejscowościami stwierdzono w kwietniu, w którym ich liczba była najmniejsza (rys. 15). Opady wysokie (co najmniej 10 mm) występowały najczęściej w lipcu, a zdecydowanie najrzadziej w kwietniu (rys. 16). W kwietniu, maju i w sierpniu ich liczba była mniej zróżnicowana w badanych miejscowościach, w pozostałych miesiącach zróżnicowanie przestrzenne tego elementu było dość wyraźne.

Podobnie jak miało to miejsce w przypadku sum opadów atmosferycznych, liczba dni z opadem cechowała się w badanym wieloleciu bardzo dużą zmiennością czasową, daleko większą od zróżnicowania przestrzennego. Biorąc pod uwagę najwyższe i najniższe liczby dni z opadem w kolejnych półroczach ciepłych można stwierdzić, że różniły się one około dwukrotnie, a w kolejnych okresach wzmożonych potrzeb wodnych roślin uprawnych około trzykrotnie. Najwięcej dni z opadem w półroczu letnim zanotowano w 2001 roku w Chrzastowie (106), a najmniej w 1983 roku w Głębokim (42). W okresie wzmożonych potrzeb wodnych zbóż i rzepaku było to odpowiednio 38 i 11 dni, a w okresie wzmożonych wymagań wodnych okopowych i kukurydzy 37 i 12 dni. W przypadku opadów wysokich, zróżnicowanie czasowe było jeszcze bardziej zauważalne. Na przykład w półroczu ciepłym 2001 r. w Głębokim zanotowano aż 19 dni z takim opadem, z kolei w roku 1989 tylko 1 dzień. W niektórych latach i miejscowościach w okresach wzmożonych wymagań wodnych roślin w ogóle nie stwierdzono opadów 10,0 mm i wyższych, z kolei w innych latach było ich nawet 11 (tab. 26).

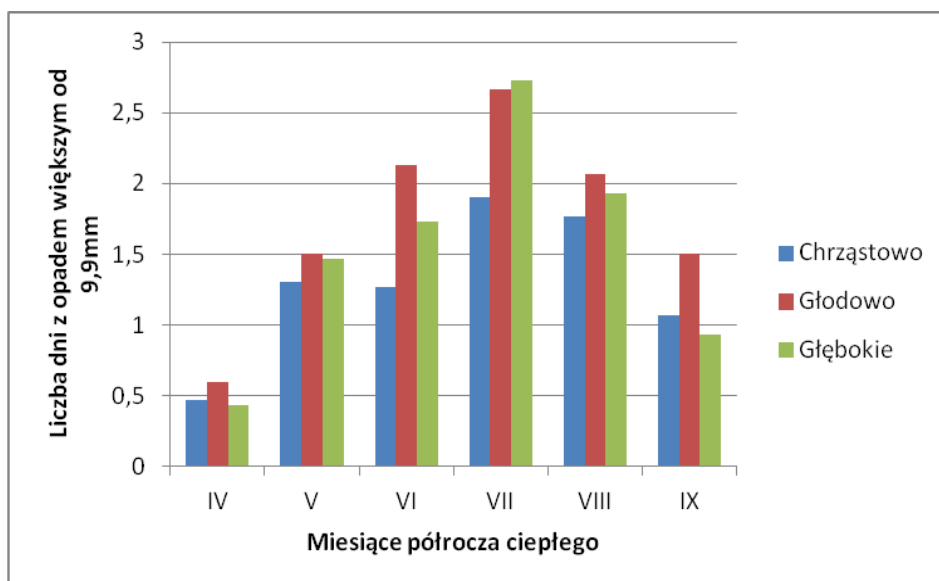
Tabela 26. Liczba dni z opadem atmosferycznym w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010

Wskaźnik	Miejscowość	Średnio	MAX rok	MIN rok	s (liczba dni)	Tendencja zmian od 1981 do 2010	
						Zmiana na 10 lat	r
Liczba dni z opadem IV-IX	Chrzastowo	74,6	106 2001	52 1983	12,4	+ 4,0	0,28
	Głodowo	73,0	94 2010	48 1989	11,9	+ 4,3	0,32
	Głębokie	70,2	97 1996	42 1983	12,3	+4,4	0,32
Liczba dni z opadem V-VI	Chrzastowo	25,2	37 2004	12 1992	6,7	+ 2,1	0,27
	Głodowo	24,5	37 2010	11 1992	5,8	+ 1,9	0,28
	Głębokie	24,6	38 1984,91	11 1983	6,3	+0,7	0,10
Liczba dni z opadem VII-VIII	Chrzastowo	25,5	37 1998	12 1983,94	6,6	+ 2,5	0,33
	Głodowo	25,2	34 2000,07	13 1983	6,1	+2,8	0,40*
	Głębokie	24,1	35 1987	12 1983	6,0	+2,8	0,41*
Liczba dni z opadem > 9,9mm IV-IX	Chrzastowo	7,8	16 2001	1 1989	3,7	+ 0,3	0,07
	Głodowo	10,5	19 2010	5 4 lata	3,8	+1,7	0,39*
	Głębokie	9,2	19 2001	1 1989	4,1	+0,3	0,06
Liczba dni z opadem > 9,9mm V-VI	Chrzastowo	2,6	5 4 lata	0 1989,02	1,5	0,0	0,00
	Głodowo	3,6	8 2010	1 4 lata	1,7	+0,9	0,44*
	Głębokie	3,2	7 1985,96	0 1983,06	1,8	-0,3	0,16
Liczba dni z opadem > 9,9mm VII-VIII	Chrzastowo	3,7	7 4 lata	0 1992	2,1	+ 0,2	0,10
	Głodowo	4,7	10 2010	1 1989	2,2	+ 0,8	0,34
	Głębokie	4,7	11 1985,10	0 1989	2,7	+0,5	0,16

MAX – największa liczba, MIN – najmniejsza liczba, s – odchylenie standardowe, r – współczynnik korelacji charakteryzujący zależność liniową

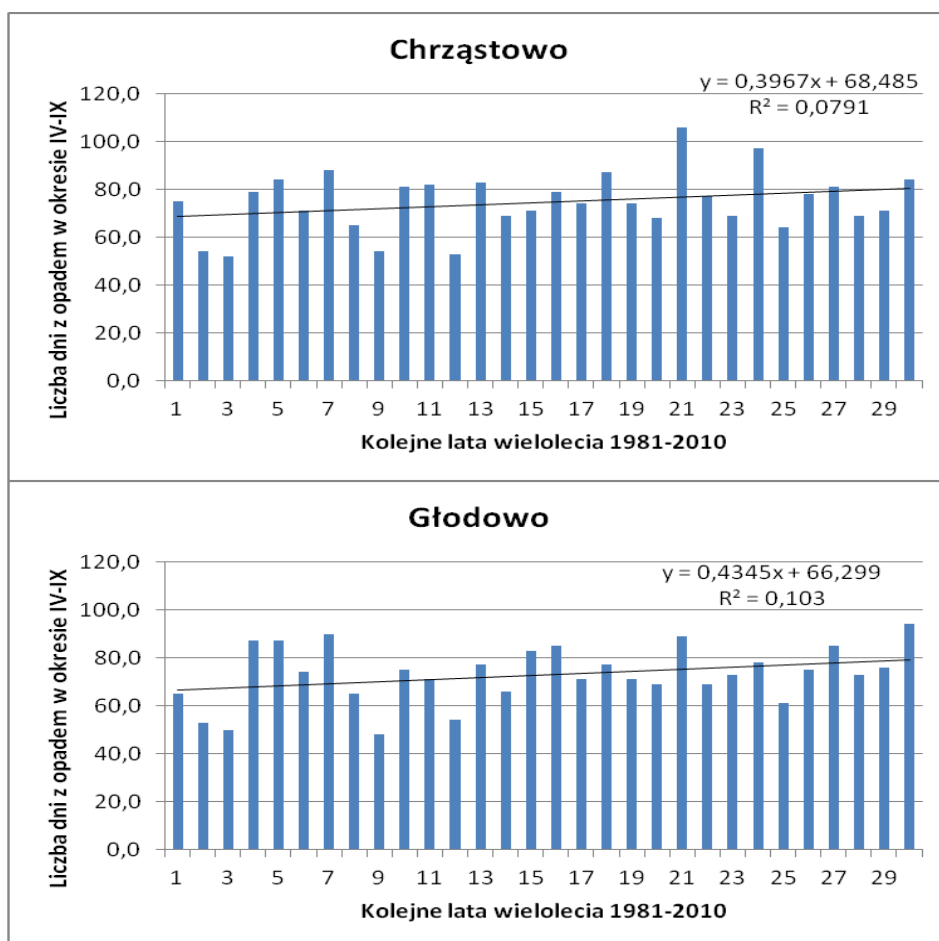


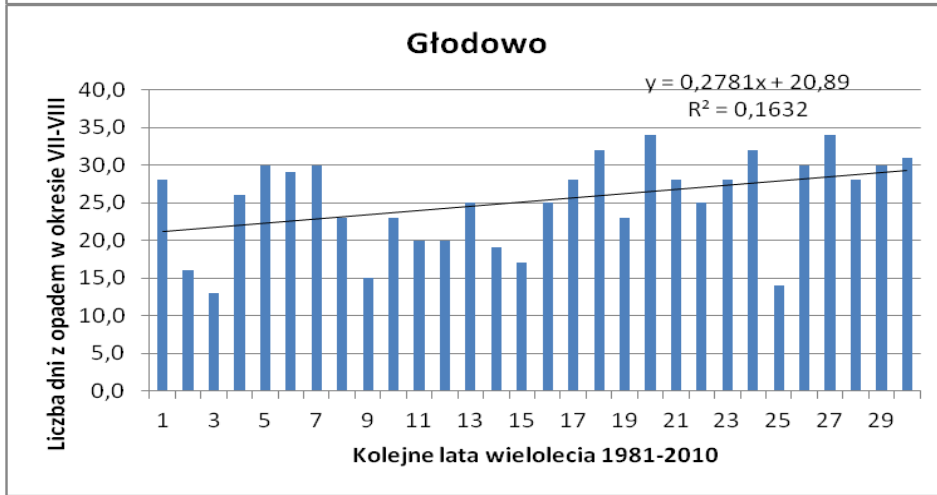
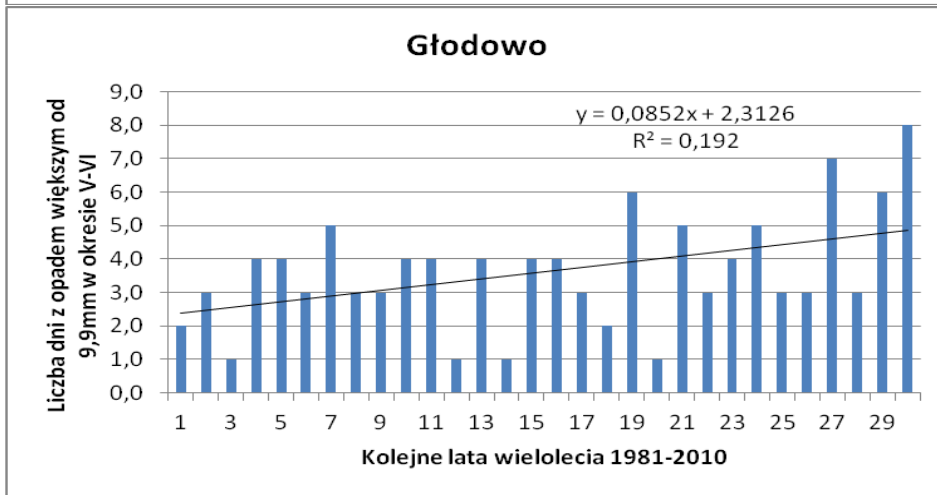
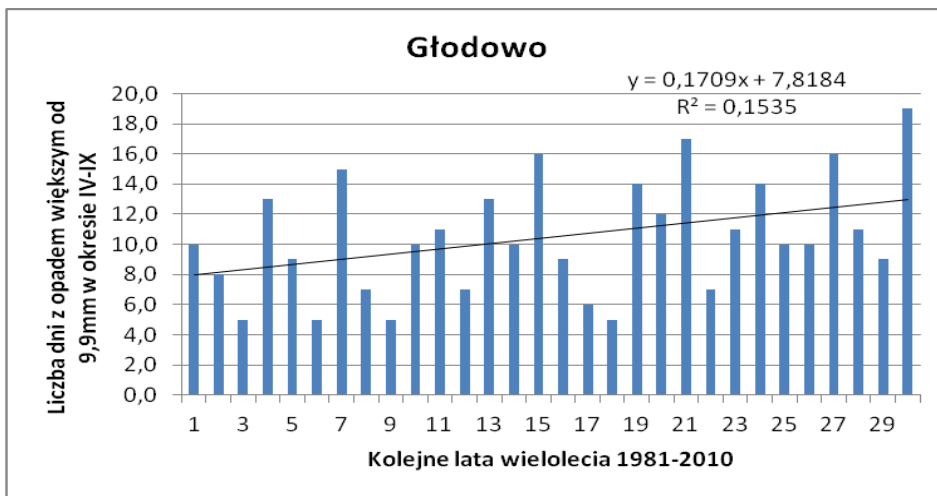
Rysunek 15. Porównanie liczby dni z opadem w miesiącach półrocza ciepłego (IV-IX) w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

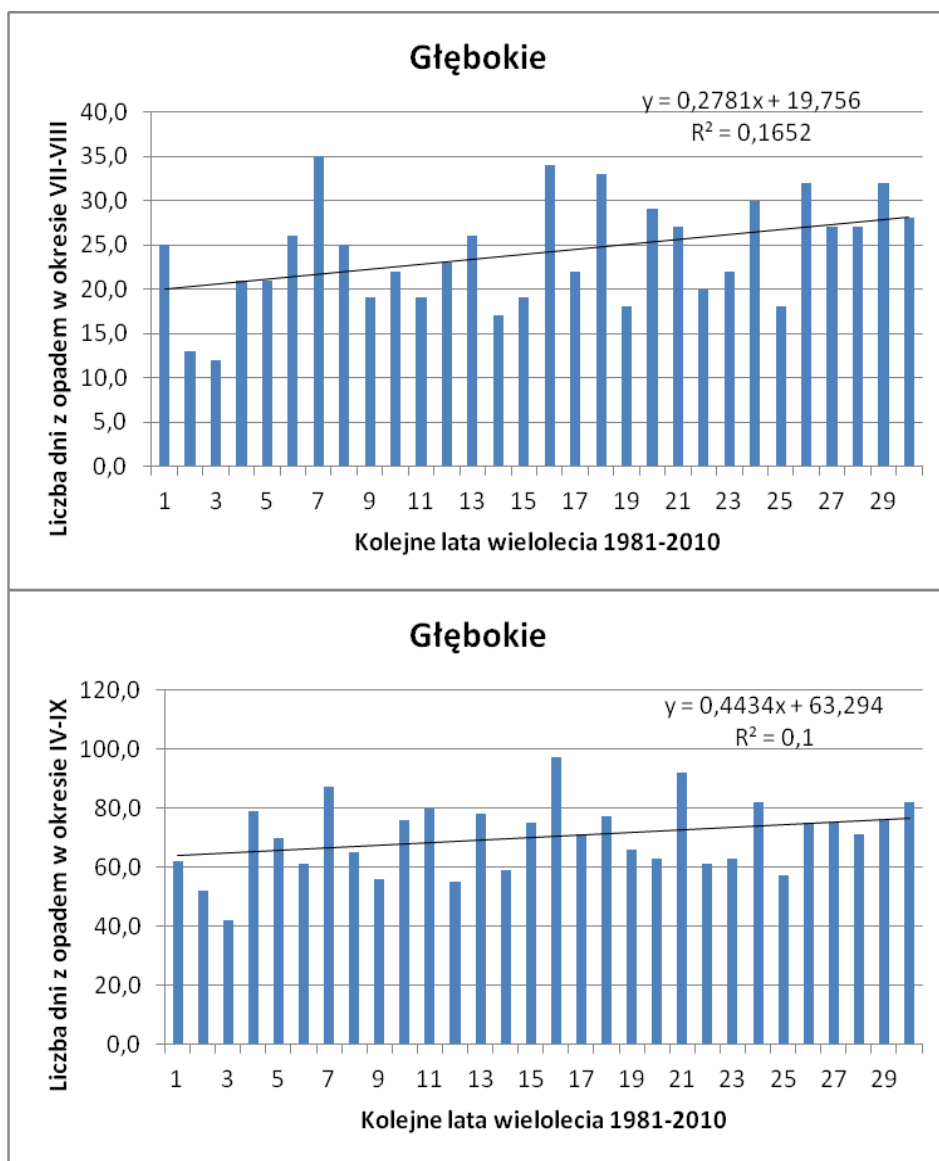


Rysunek 16. Porównanie liczby dni z opadem większym od 9,9 mm w miesiącach półrocza ciepłego (IV-IX) w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 26, liczba dni z opadem wykazywała trendy i tendencje wzrostowe wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 roku. Tylko w jednym przypadku zanotowano brak tendencji (liczba dni z opadem większym od 9,9 mm w okresie V-VI w Chrząstowie) i również w jednym nieznaczną tendencję spadkową (ten sam wskaźnik i okres w Głębokim). W odniesieniu do liczby dni z opadem co najmniej 0,1 mm i półrocza ciepłego tendencja wzrostu ich liczby wynosiła od 4,0 do 4,4 na 10 lat, w zależności od miejscowości (rys. 17). W czterech przypadkach stwierdzono istotne trendy wzrostu liczby dni z opadem w wieloleciu 1981-2010. Dotyczyły one wzrostu liczby dni z opadem wynoszącym co najmniej 0,1 mm w Głodowie oraz w Głębokim w okresie VII-VIII (przyrost liczby w obu miejscowościach wynosił 2,8 na 10 lat), a także wzrostu liczby dni z opadem wynoszącym co najmniej 10,0 mm w Głodowie, zarówno w całym półroczu ciepłym, jak i w okresie wzmożonego zapotrzebowania na wodę roślin zbożowych i rzepaku. Istotne trendy zmian przedstawiono na rysunku 17.







Rysunek 17. Wybrane trendy i tendencje zmian liczby dni z opadem atmosferycznym w okresie od 1981 do 2010 roku w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Porównanie zmienności czasowej liczby dni z opadem atmosferycznym w okresach 15-letnich 1981-1995 i 1996-2010 (tab. 27) dowodzi, że w większości analizowanych przykładów (2 wskaźniki x 3 okresy x 3 miejscowości) stwierdzono zmniejszenie zmienności czasowej liczby dni z opadem > 0,0 mm (6 przypadków na analizowanych 9) oraz zwiększenie

zmienności czasowej opadów > 9,9 mm we wszystkich okresach w Głodowie. Podobnie jak u wcześniej analizowanych wskaźników agroklimatycznych, wystąpiły także niejednoznaczne zmiany, nie pozwalające stwierdzić, w którym z porównywanych okresów 15-letnich zmienność czasowa liczby dni z opadem była większa (5 przypadków).

Tabela 27. Porównanie zmienności czasowej liczby dni z opadem atmosferycznym w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010

Wskaźnik	Miejscowość	s (liczba dni)		zakres (liczba dni)		+/-
		1981-1995	1996-2010	1981-1995	1996-2010	
Liczba dni z opadem IV-IX	Chrząstowo	12,6	11,4	36	42	
	Głodowo	14,0	8,7	42	33	-
	Głębokie	12,6	11,3	45	40	-
Liczba dni z opadem V-VI	Chrząstowo	6,8	6,3	23	23	-
	Głodowo	5,7	5,9	21	19	
	Głębokie	7,4	5,1	27	17	-
Liczba dni z opadem VII-VIII	Chrząstowo	7,0	5,3	21	17	-
	Głodowo	5,7	5,1	17	20	
	Głębokie	5,7	5,4	23	16	-
Liczba dni z opadem > 9,9mm IV-IX	Chrząstowo	4,0	3,4	13	13	-
	Głodowo	3,5	4,0	11	14	+
	Głębokie	4,1	4,3	17	14	
Liczba dni z opadem > 9,9mm V-VI	Chrząstowo	1,5	1,5	5	5	
	Głodowo	1,3	1,9	4	7	+
	Głębokie	1,7	1,9	7	7	
Liczba dni z opadem > 9,9mm VII-VIII	Chrząstowo	2,3	1,9	7	6	-
	Głodowo	1,8	2,4	7	8	+
	Głębokie	2,9	2,6	11	10	-

s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej

4.8 POSUCHY ATMOSFERYCZNE

Przeprowadzona na podstawie wskaźnika względnego opadu RPI klasyfikacja stopnia uwilgotnienia poszczególnych miesięcy półrocza ciepłego, całego okresu IV-IX oraz okresów ważnych z punktu widzenia produkcji roślinnej dowodzi, że posuchy atmosferyczne stanowią częsty, pojawiający się nieregularnie, niekorzystny element agroklimatu rejonu kujawsko-pomorskiego. Łączna liczba miesięcy i okresów skrajnie suchych, bardzo suchych i suchych wynosiła we wszystkich analizowanych miejscowościach 311 na 810 analizowanych (9 kroków czasowych x 30 lat x 3 miejscowości), a zatem występowały one w wieloletniu 1981-2010 z częstotliwością 38,4%. Było ich więcej niż miesięcy i okresów przeciętnych (32,0%) oraz wilgotnych, bardzo

wilgotnych i skrajnie wilgotnych (łącznie 29,6%). Wśród zidentyfikowanych posuch atmosferycznych dominowały miesiące i okresy suche (częstotliwość 19,9%), następnie bardzo suche (14,7%), a najrzadziej występowały skrajnie suche (3,8% wszystkich analizowanych kroków czasowych).

Rozpatrując zmienność przestrzenną występowania posuch atmosferycznych, można zauważyć, że najczęściej występowały one w Głębokim (113 przypadków, częstotliwość 41,8%), rzadziej w Chrzastowie (odpowiednio 102 i 37,7%), a najrzadziej w Głodowie (96 miesięcy i okresów suchych, bardzo suchych i skrajnie suchych, częstotliwość 35,5%).

Szczególnie niekorzystnych dla produkcji rolniczej miesiące i okresów skrajnie suchych zidentyfikowano 31: najwięcej bo aż 15 w Chrzastowie (tab. 18), 11 w Głębokim (tab. 20), a najmniej bo tylko 5 w Głodowie (tab. 19). Dotyczyły one głównie kwietnia (6 przypadków) i września (7 przypadków), a w najmniejszym stopniu lipca (tylko lipiec 1994 r. w Chrzastowie). Pełną zgodność w zakresie klasyfikacji stopnia uwilgotnienia w odniesieniu do analizowanych miejsc pomiarowych uzyskano tylko w nielicznych przypadkach. Skrajnie suchy jednocześnie we wszystkich miejscowościach był tylko kwiecień 2009 roku oraz wrzesień w 1982 i 1989 roku. W odniesieniu do całego półrocza ciepłego (IV-IX) skrajnie suche warunki wystąpiły tylko w roku 1989 w Chrzastowie i Głębokim (w Głodowie był to okres bardzo suchy) oraz w 1992 roku w Chrzastowie (w Głodowie był to okres bardzo suchy, a w Głębokim suchy).

Niekorzystne, suche, bardzo i skrajnie suche miesiące i okresy cechowała bardzo duża nieregularność występowania. Często występowały one przez 3, a nawet 4 kolejne lata (na przykład cztery kolejne maja w latach 1987-1990 w Chrzastowie i Głębokim), jednak częściej były przeplatane okresami przeciętnymi i wilgotnymi. Większość miesięcy i okresów skrajnie suchych występowała w pierwszym 15-leciu 1981-1995 (20), w porównaniu z późniejszym okresem 15-letnim 1996-2010 (11). Podobną prawidłowość stwierdzono w odniesieniu do miesięcy i okresów bardzo suchych: 63 w latach 1981-1995 i 56 w latach 1996-2010. Nie można zatem stwierdzić, iż wraz z upływem lat wzrastała częstość pojawiania się posuch atmosferycznych, a zwłaszcza stawiać tezę, że ten niekorzystny element klimatycznego ryzyka uprawy roślin występuje obecnie znacznie częściej niż w poprzednich latach.

1981									
1982									
1983									
1984									
1985									
1986									
1987									
1988									
1989									
1990									
1991									
1992									
1993									
1994									
1995									
1996									
1997									
1998									
1999									
2000									
2001									
2002									
2003									
2004									
2005									
2006									
2007									
2008									
2009									
2010									
Uwilgotnienie	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX	V-VI	VII-VIII
Skrajnie suchy	2	2	2	1	1	2	2	2	1
Bardzo suchy	3	3	6	5	6	4	3	2	4
Suchy	7	5	6	4	6	7	6	5	5
Przeciętny	10	11	4	10	9	9	8	13	10
Wilgotny	3	1	6	6	2	2	7	2	5
Bardzo wilgotny	3	8	3	3	3	3	4	5	4
Skrajnie wilgotny	2	0	3	1	3	3	0	1	1

Rysunek 18. Poziom uwilgotnienia poszczególnych miesięcy i okresów według wskaźnika RPI w kolejnych latach 1981-2010 w Chrzastowie

1981									
1982									
1983									
1984									
1985									
1986									
1987									
1988									
1989									
1990									
1991									
1992									
1993									
1994									
1995									
1996									
1997									
1998									
1999									
2000									
2001									
2002									
2003									
2004									
2005									
2006									
2007									
2008									
2009									
2010									
Uwilgotnienie	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX	V-VI	VII-VIII
Skrajnie suchy	2	0	0	0	0	3	0	0	0
Bardzo suchy	3	3	5	4	5	8	5	5	3
Suchy	5	6	6	8	6	3	5	4	7
Przeciętny	13	15	10	10	10	8	11	13	10
Wilgotny	1	4	5	2	5	1	6	5	7
Bardzo wilgotny	5	1	3	6	3	3	3	3	2
Skrajnie wilgotny	1	1	1	0	1	4	0	0	1

Rysunek 19. Poziom uwilgotnienia poszczególnych miesięcy i okresów według wskaźnika RPI w kolejnych latach 1981-2010 w Głodowie

1981									
1982									
1983									
1984									
1985									
1986									
1987									
1988									
1989									
1990									
1991									
1992									
1993									
1994									
1995									
1996									
1997									
1998									
1999									
2000									
2001									
2002									
2003									
2004									
2005									
2006									
2007									
2008									
2009									
2010									
Uwilgotnienie	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX	V-VI	VII-VIII
Skrajnie Suchy	2	2	1	0	2	2	1	0	1
Bardzo Suchy	5	3	4	6	3	6	3	6	6
Suchy	8	6	7	8	7	6	9	2	7
Przeciętny	6	9	8	6	12	5	9	13	7
Wilgotny	4	5	5	2	2	5	3	5	3
Bardzo wilgotny	3	4	4	6	1	4	2	4	4
Skrajnie wilgotny	2	1	1	2	3	2	3	0	2

Rysunek 20. Poziom uwilgotnienia poszczególnych miesięcy i okresów według wskaźnika RPI w kolejnych latach 1981-2010 w Głębokim

4.9 POSUCHY ROLNICZE

Posuchy rolnicze, określone za pomocą wskaźnika niedoborów opadów atmosferycznych w stosunku do opadów optymalnych Klatta, stanowią stały element agroklimatu regionu kujawsko-pomorskiego. W większości przypadków, także w przeciętnych warunkach opadowych, produkcja roślinna odbywa się w warunkach posusznych, tzn. w warunkach występowania niedoborów opadowych i wodnych. Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 28, przeciętne niedobory opadów w uprawie zbóż jarych na glebach średnio zwięzłych wynoszą w okresie wegetacji (IV-VII) od 6,8 do 35,4 mm, a w okresie wzmożonych potrzeb wodnych (V-VI) od 18,8 do 29,7 mm, zależnie od analizowanej miejscowości. W uprawie ziemniaka również występują przeciętne niedobory opadów we wszystkich miejscowościach, zarówno w całym okresie wegetacji, jak i w okresie wzmożonego zapotrzebowania na wodę. Wynoszą one od 7,5 do 32,0 mm zależnie od okresu bilansowania i miejscowości, przy czym najniższe, podobnie jak w uprawie zbóż jarych, dotyczą Głódowa. Zrównoważoną przeciętną ilość opadów w stosunku do wymagań opadowych stwierdzono tylko w warunkach Głódowa w odniesieniu do uprawy kukurydzy. W Chrzęstowie i Głębokim również i w tej uprawie notuje się przeciętne niedobory opadów atmosferycznych.

Podstawową cechą gospodarowania w warunkach agroklimatu analizowanych miejscowości regionu kujawsko-pomorskiego jest bardzo duża zmienność czasowa zaopatrzenia roślin w wodę w kolejnych okresach ich wegetacji oraz okresach wzmożonych potrzeb wodnych. Zmienność tę dobrze ilustrują rysunki 21-23, na których przedstawiono niedobory i nadmiary opadów atmosferycznych w kolejnych okresach wzmożonego zapotrzebowania na wodę zbóż jarych, kukurydzy i ziemniaków, uprawianych na glebach średnich. W przypadku zbóż jarych różnica między najwyższym niedoborem i nadmiarem opadów wynosiła aż 333,9mm w całym okresie wegetacji i 187,8mm w dwumiesięcznym okresie krytycznym pod względem zaopatrzenia w wodę. Jeszcze większe różnice, przekraczające 400 mm w okresie wegetacji i wynoszące około 250 mm w okresach wzmożonych potrzeb wodnych, występowały w uprawie kukurydzy i ziemniaka (tab. 28).

Na przykład w 1989 roku niedobory opadów w uprawie kukurydzy wynosiły w okresie wegetacji 212,0 mm, zaś cztery lata wcześniej (1985 r.) zanotowano nadmiar opadów, wynoszący 206,1 mm.

Tabela 28. Niedobory opadów atmosferycznych wybranych upraw w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010 (mm)

Uprawa Okres	Miejscowość	Średnio	MAX rok	MIN rok	s (mm)	Tendencja zmian od 1981 do 2010	
						Zmiana na 10 lat	r
Zboża jare IV-VII	Chrzastowo	-35,4	-165,8 1992	92,1 1997	65,5	-3,2	0,04
	Głodowo	-6,8	-131,7 1983	168,1 1999	71,9	+8,5	0,10
	Głębokie	-33,9	-159,8 1989	79,9 2001	73,3	-1,5	0,02
Zboża jare V-VI	Chrzastowo	-26,1	-111,6 2008	61,2 1985	48,9	-2,8	0,05
	Głodowo	-18,8	-93,2 2000	76,2 2009	43,1	+1,7	0,04
	Głębokie	-29,7	-102,3 2000	58,4 1985	44,5	-11,6	0,23
Kukurydza V-IX	Chrzastowo	-18,0	-209,2 1992	160,4 1985	95,8	+5,2	0,05
	Głodowo	14,3	-124,8 1983	173,1 2010	84,4	+8,4	0,09
	Głębokie	-20,7	-212,0 1989	206,1 1985	103,1	-6,0	0,05
Kukurydza VII-VIII	Chrzastowo	-15,9	-126,8 1994	85,2 1985	56,0	+7,4	0,12
	Głodowo	1,3	-78,7 2005	93,6 2010	47,2	+11,0	0,20
	Głębokie	-9,0	-102,6 1989	144,3 1985	67,1	+7,2	0,09
Ziemniak V-VIII	Chrzastowo	-32,0	-203,1 1992	156,4 1985	79,6	+4,6	0,05
	Głodowo	-7,5	-139,8 1992	155,1 2010	71,2	+12,8	0,16
	Głębokie	-28,8	-179,1 1989	212,7 1985	91,8	-4,4	0,04
Ziemniak VII-VIII	Chrzastowo	-30,9	-141,8 1994	70,2 1985	56,0	+7,4	0,12
	Głodowo	-13,7	-93,7 2005	78,6 2010	47,2	+11,0	0,20
	Głębokie	-24,0	-117,6 1989	129,3 1985	67,1	+7,2	0,09

MAX – największy niedobór, MIN – największy nadmiar, s – odchylenie standardowe, r – współczynnik korelacji charakteryzujący zależność liniową

W uprawie zbóż jarych znaczące, przekraczające 50 mm niedobory opadów w okresie V-VI wystąpiły w Chrzastowie i Głębokim w 9 latach, przy czym największe zanotowano w Chrzastowie w 1989, 1992, 2000 i 2008 roku, a w Głębokim w 1983, 1989, 2000, 2006 i 2008 r. Z kolei w Głodowie częstotliwość wystąpienia okresów krytycznych cechujących się znaczącymi niedoborami opadów w uprawie zbóż jarych wynosiła 5 lat na analizowanych 30 w Głodowie 5 latach: 1983, 1992, 1994, 2000 i 2008 r. (rys. 21). W uprawie kukurydzy (rys. 22) i ziemniaka (rys. 23) najbardziej znaczące niedobory opadów zanotowano w Chrzastowie w latach 1983, 1992 i 1994 (przekraczały 100 mm), w Głodowie w 1989, 1992 i 2005 (przekraczały 75 mm), a w Głębokim w latach 1989, 1992 i 1994 (ok. 100 mm w uprawie kukurydzy i ponad 100 mm w uprawie ziemniaka).

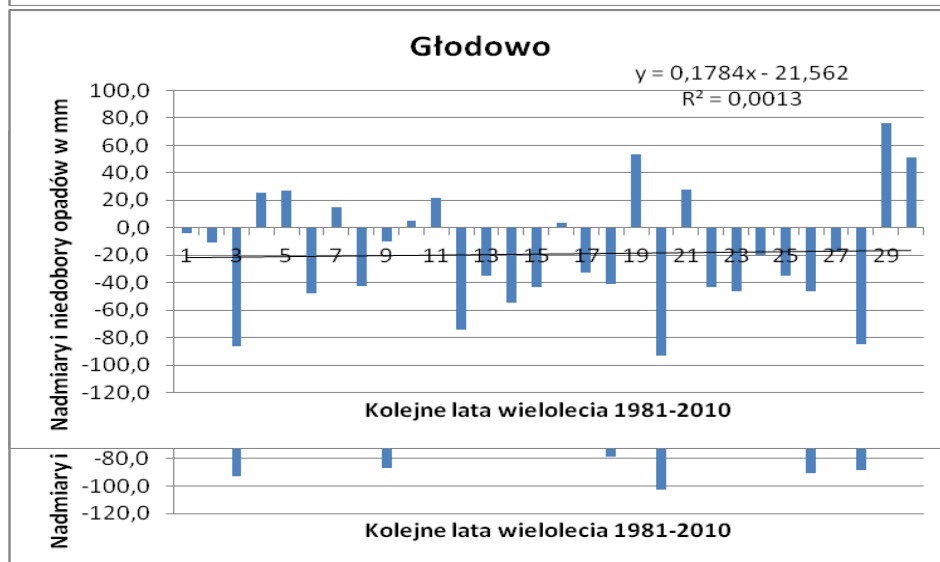
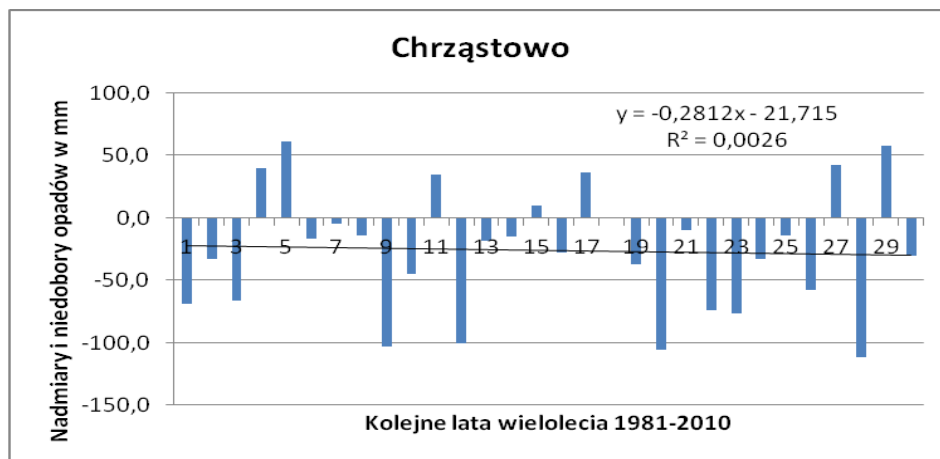
Przeprowadzona analiza korelacji i regresji nie wykazała w żadnym z analizowanych 18 przypadków (3 uprawy x 2 okresy x 3 miejscowości) istotnego trendu zmian niedoborów opadowych wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 (tab. 28, rys. 21-23). Współczynniki korelacji wynosiły od 0,02 do 0,23, w współczynniki regresji od -11,6 do +12,8, w zależności od uprawy, okresu bilansowania i miejscowości. W 12 przypadkach stwierdzono tendencję dodatnią (zmniejszanie niedoborów opadowych wraz z upływem czasu). Dotyczyła ona we wszystkich przypadkach Głódowa oraz uprawy kukurydzy i ziemniaka w odniesieniu do okresu krytycznego VII-VIII. W 6 przypadkach na 18 analizowanych wystąpiła tendencja ujemna (zwiększanie się niedoborów opadowych wraz z upływem lat od 1981 do 2010). Dotyczyła ona najczęściej Głębokiego oraz uprawy zbóż jarych w Chrzastowie (tab. 28).

Porównanie wskaźników charakteryzujących zmienność czasową niedoborów opadowych w latach 1981-1995 i 1996-2010 wykazało, że w 10 przypadkach na analizowanych 18 stwierdzono mniejszą ekstremalność niedoborów opadowych w latach 1996-2010, w porównaniu z wcześniejszym 15-leciem. (tab. 29). W 5 przypadkach (najczęściej w Głodowie) stwierdzono wzrost zmienności czasowej warunków zaopatrzenia roślin w wodę, a w trzech przypadkach oceniono, że zmiany były niejednoznaczne. Nie można zatem jednoznacznie stwierdzić, że w ostatnich latach narasta ekstremalność warunków pogodowych prowadzących do coraz częstszych susz albo nadmiernego uwilgotnienia.

Tabela 29. Porównanie zmienności czasowej niedoborów opadów atmosferycznych wybranych upraw w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010

Wskaźnik	Miejscowość	s (mm)		zakres (mm)		+/-
		1981-1995	1996-2010	1981-1995	1996-2010	
Zboża jare IV-VII	Chrzastowo	70	62	220,7	203,2	-
	Głódowo	61	79	191,4	279,8	+
	Głębokie	75	73	232,6	233,0	
Zboża jare V-VI	Chrzastowo	48	51	164,4	169,1	+
	Głódowo	37	50	113,1	169,4	+
	Głębokie	47	42	151,5	131,4	-
Kukurydza V-IX	Chrzastowo	106	87	369,6	261,1	-
	Głódowo	90	82	264,2	285,1	
	Głębokie	114	95	418,1	288,8	-
Kukurydza VII-VIII	Chrzastowo	63	45	212,0	148,7	-
	Głódowo	45	48	148,7	172,3	+
	Głębokie	74	60	246,9	206,3	-
Ziemniak V-VIII	Chrzastowo	94	64	359,5	182,3	-
	Głódowo	71	71	223,3	258,5	
	Głębokie	106	78	391,8	242,8	-
Ziemniak VII-VIII	Chrzastowo	63	45	212,0	148,7	-
	Głódowo	45	48	148,7	172,3	+
	Głębokie	74	60	246,9	206,3	-

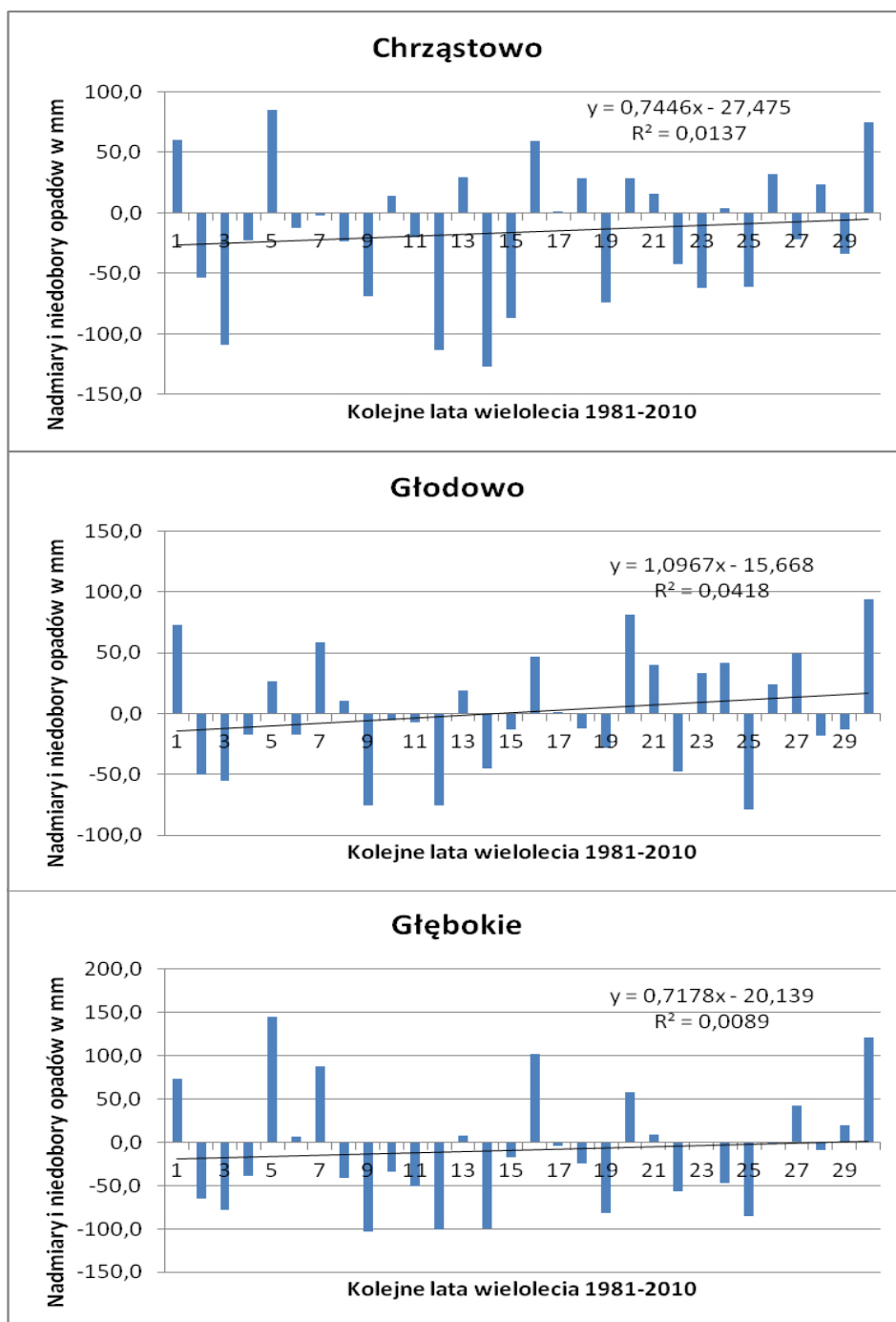
s- odchylenie standardowe, zakres (MAX-MIN), + zwiększenie, - zmniejszenie zmienności czasowej



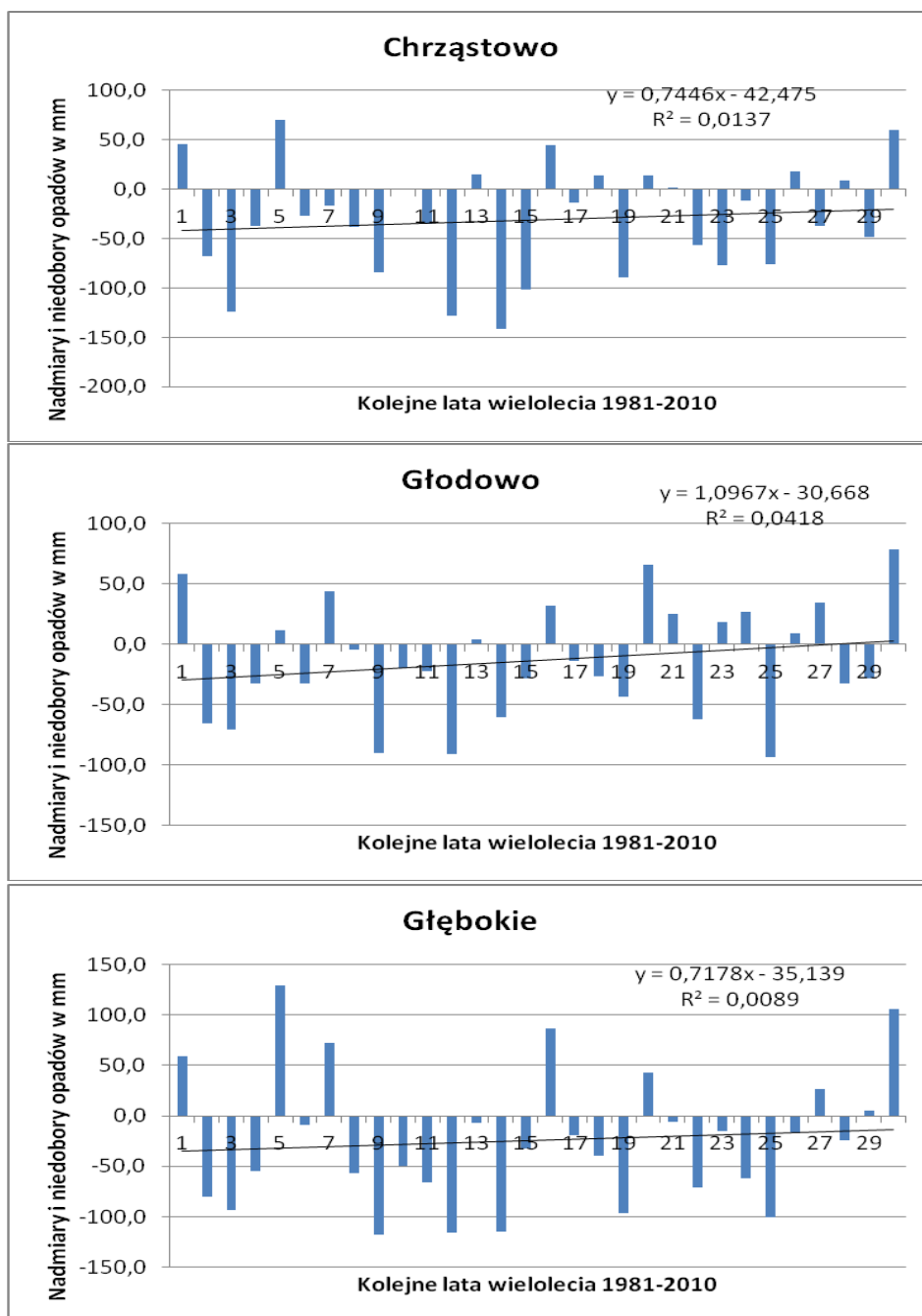
Nadmiary i
-80,0
-100,0
-120,0

Kolejne lata wielolecia 1981-2010

Rysunek 21. Niedobory opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych (V-VI) zbóż jarych w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.



Rysunek 22. Niedobory opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych (VII-VIII) kukurydzy w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego



Rysunek 23. Niedobory opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb

wodnych (VII-VIII) ziemniaka w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

5 DYSKUSJA WYNIKÓW

Wykonana ocena zmian wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 roku w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego, pozwoliła na szczegółową analizę, która w większości przypadków (166 na 189 analizowanych) wskazała na brak istotnych trendów zmian. W związku z tym, hipoteza badawcza o ukierunkowanych zmianach wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin w województwie kujawsko-pomorskim, zgodnych z projekcjami globalnych zmian klimatycznych, nie została w odniesieniu do większości wskaźników potwierdzona. Należy jednak zwrócić uwagę na tendencje, które zarysowały się w przypadku analizy niektórych badanych parametrów agroklimatycznych. Mogą one świadczyć o powoli narastających zmianach, które w przyszłości będą kształtować warunki wzrostu, rozwoju i plonowania roślin uprawnych.

Przede wszystkim należy podkreślić, iż pojawiły się przesłanki wzrostu temperatury powietrza, prowadzące do zarysowanych tendencji zmian długości trwania okresów rolniczych, a także decydujące o warunkach termicznych w okresach krytycznych - największego zapotrzebowania roślin na wodę. Na podstawie badań własnych wzrost temperatury powietrza wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 został określony poprzez istotne trendy zmian. Odnotowano je we wszystkich punktach pomiarowych w kwietniu, w czasie trwania półrocza letniego, lata oraz w VII i VIII jak również w czerwcu, lipcu i sierpniu na Pojezierzu Dobrzyńskim. Dzięki tym zależnościom zaobserwowano tendencje do wydłużania się w wieloleciu 1981-2010 długości trwania w dniach okresu gospodarczego i wegetacyjnego, a także okresów aktywnego wzrostu oraz dojrzewania roślin.

Potwierdzenie znajdujemy w opracowaniu Boryczki i Stopy-Boryczki [2007], którzy zaobserwowali na obszarze Europy środkowej w ostatnich 20 latach XX wieku wzrost adwekcji powietrza z zachodu, jednak to może wyjaśniać jedynie tendencje do wcześniejszego końca zimy a tym samym i wcześniejszego rozpoczynania okresu gospodarczego oraz wegetacyjnego. Również Kundzewicz i Kędziora [2010] zauważyli wiele zmian w systemach biologicznych związanych z fenologią, wynikających ze wzrostu temperatury powietrza. Mowa jest tu o wcześniejszym nadejściu wiosny, kwitnieniu czy przylocie ptaków. Zdaniem wymienionych autorów także wydłuża się i wcześniej zaczyna czas wzrostu i rozwoju roślin, panują wyższe niż dotychczas temperatury powietrza, zimy są łagodniejsze. Te współistniejące czynniki wywołują zarówno korzystne, jak i negatywne skutki w gospodarce rolnej. Wcześniejsze rozpoczęcie okresu wzrostu i rozwoju roślin, intensywnej wegetacji oraz dojrzewania jest aspektem korzystnym, decydującym o wielkości i jakości otrzymanego plonu, prowadzącym do zwiększenia

produkcji nie tylko roślinnej ale i zwierzęcej, jak również do poszerzenia ich zmienności gatunkowej.

Jednocześnie w badaniach własnych wykazano, iż istotny wzrost temperatury powietrza odnotowano tylko w 15 na analizowanych 60 kroków czasowych. W związku z tym nie podlega dyskusji, iż w większości przypadków nie nastąpiły istotne zmiany średnich temperatur powietrza w wieloletnim okresie 1981-2010. Uzyskane wyniki mogą być zatem jedynie częściowym potwierdzeniem symptomów obserwowanych, a zwłaszcza przewidywanych wzrostów temperatury powietrza, zgodnie z teorią globalnego ocieplenia.

Kundzewicz [2000] podkreśla zaobserwowane i wyraźnie udokumentowane tendencje wzrostu temperatury powietrza oraz spadku ilości opadów przy niekorzystnej zmianie ich rozkładu sezonowego w ciągu roku, co dowodzi o narastających zmianach klimatu. Natomiast badania Żarskiego [2011, 2012] na podstawie danych meteorologicznych ze Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP Bydgoszcz w Mochelku, wskazują na nieznaczny spadek (o $0,1^{\circ}\text{C}$ na 10 lat) średniej temperatury powietrza ale i w tym przypadku współczynnik determinacji kształtujący się na poziomie 0,006, wskazywał brak istotności przedstawianego wskaźnika. Tendencję do spadku temperatury wraz z upływem czasu odnotowano również we własnej analizie wyników. Miało to miejsce we wszystkich analizowanych miejscowościach w styczniu, marcu, maju, październiku oraz grudniu.

Proste obliczenia statystyczne, mające na celu porównanie wskaźników zmienności czasowej temperatury powietrza w okresie 1996-2010 w stosunku do okresu 1981-1995 na terenie województwa kujawsko-pomorskiego, wykazały w większości analizowanych przedziałów czasowych (35 na 60) zmniejszenie zmienności czasowej średnich miesięcznych oraz okresowych temperatur powietrza, a co za tym idzie czynników klimatycznego ryzyka uprawy roślin. Nie można zatem twierdzić, iż w ostatnich latach, w stosunku do poprzednich, narasta ekstremalność stanów pogodowych, wyrażonych za pomocą temperatury powietrza.

Okres gospodarczy to czas z ustaloną temperaturą powietrza powyżej 3°C . W rejonie Bydgoszczy, na podstawie badań Żarskiego i in. [2012], długość trwania tego okresu wynosiła przeciętnie w badanym 30-leciu 249 dni, a wraz z upływem lat zaznaczyła się tendencja do późniejszego jego rozpoczynania oraz kończenia. W badaniach własnych natomiast zarówno w Chrzastowie, Głodowie jak i Głębokim zaznaczyła się tendencja do wcześniejszego notowania daty początku tego okresu o około 1 dzień oraz późniejszego notowania daty zakończenia – o około 4 dni. Przyczyniło się to do wydłużenia okresu gospodarczego w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego o około 5 dni na 10 lat. W konsekwencji średnia długość tego okresu wynosiła od 251 dni w Głodowie do 254 dni w Głębokim. Mimo zarysowanych tendencji, w badanym wieloletnim okresie zanotowano również przypadki skrócenia okresu gospodarczego o co najmniej 3 tygodnie,

z częstotliwością 13,3–20,0% lat, w zależności od miejscowości. To bardzo niekorzystny aspekt wpływający na uprawę i plonowanie roślin uprawnych.

Dla uprawy roślin duże znaczenie ma znajomość długości trwania okresów rolniczych, a w szczególności najważniejszego, agroklimatycznego wskaźnika rolniczej przestrzeni produkcyjnej. To właśnie okres wegetacyjny wyznacza terminy prac polowych w gospodarstwach, decyduje o wydajności plonu głównego, a także umożliwia ocenę wzrostu i rozwoju roślin. Zmienność i różnorodność przebiegu pogody w poszczególnych latach prowadzi często do nadmiernego skrócenia okresu wegetacyjnego. Szczególnie niekorzystnie na wyniki produkcji rolniczej wpływa opóźnienie początku tego okresu [Żmudzka 2004]. Autorka przedstawiła wyniki obserwacji z lat 1951-2000, które potwierdzają zmiany terminów rozpoczęcia i zakończenia oraz czasu trwania termicznego okresu wegetacyjnego. Przyczyną tego są sezonowo zróżnicowane tendencje zmian temperatury powietrza.

Według Fortuniaka i in. [2001] w dwóch ostatnich 10-leciach XX wieku okres wegetacyjny średnio w Polsce rozpoczynał się wcześniej, zaledwie o jeden dzień. Natomiast wraz ze spadkiem temperatury od września do grudnia odnotowano niewielkie przyspieszenie końca sezonu wegetacyjnego. W związku z tym, czas jego trwania w stosunku do przedziału czasowego 1951-1980 był średnio w Polsce krótszy o 3 dni. Następstwa te zostały spowodowane zmianami reżimu termicznego. W latach 1981-2000 znacznemu skróceniu uległa zima, wydłużyły się natomiast przedwiośnie i przedzimy oraz w niewielkim stopniu wiosna. Podobne wyniki uzyskali Żarski [2012] oraz Żarski i in. [2012]. Ich zdaniem, długość okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy wraz z upływem lat 1981-2010, uległa skróceniu - według równania regresji od 225 dni na początku wielolecia do 218 dni na końcu badanego przedziału czasowego. Okres ten zaczynał się później o 1,3 dnia, natomiast kończył wcześniej o 1,1 dnia na każde 10 lat. Przedstawione wyniki znajdują potwierdzenie również w pracach autorów zarówno dla całego kraju [Koźmiński i Michalska 2001, Żmudzka i Dobrowolska 2001], jak i regionu [Wójcik i Marciniak 1989, Żarski i Dudek 2000, Żarski i in. 2004]. Nieznaczne różnice wynikają z odmiennych okresów wieloletnich, przyjętych w opracowaniach.

W badaniach własnych zaobserwowane zmiany warunków termicznych wskazują na tendencję wydłużenia czasu trwania okresu wegetacyjnego zarówno w Chrzastowie, Głodowie, jak i w Głębokim. Ma to pozytywne znaczenie dla plonowania i prowadzi do obniżenia ryzyka uprawy roślin. Data początku tego okresu, wraz z upływem lat, stawała się wcześniejsza średnio ok. 1 dzień w ciągu każdego dziesięciolecia. Data końca natomiast ulegała opóźnieniu także o 1 dzień. W konsekwencji, średnia długość trwania wegetacji roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego wahała się w granicach od 221 w Chrzastowie i Głodowie do 225 w miejscowości Głębokie. Jednak niski współczynnik korelacji wskazuje na to, iż trend liniowy nie został statystycznie udowodniony.

Na podstawie wyników własnych, okres aktywnego wzrostu roślin, średnio w województwie przypadał od 25 kwietnia do 6 października. W przedziale czasowym 1981-2010, we wszystkich analizowanych punktach pomiarowych, zarysowała się wyraźna tendencja do wydłużania tego okresu o 2,5-2,7 dnia na 10 lat. Wynikało to przede wszystkim z przyspieszenia daty początku na całym terenie oraz opóźnienia daty końca tego przedziału czasowego na Pojezierzu Krajeńskim i Dobrzyńskim. Podobne rezultaty uzyskali Żarski i in. [2012]. W swym opracowaniu dowiedli, iż zgodnie z równaniem regresji, długość trwania okresu aktywnego wzrostu roślin, w latach 1981-2010, w rejonie Bydgoszczy wynosiła 162 dni. Analizując pozyskane dane meteorologiczne nie sposób pominąć faktu, iż niezależnie od ogólnej tendencji do wydłużania się okresu aktywnego wzrostu, odnotowano w wieloleciu 1981-2010 6-7 przypadków jego skrócenia co najmniej o 10 dni, w zależności od miejscowości. Przyczyniło się do tego opóźnienie rozpoczęcia bądź wcześniejsze zakończenie. Wyniki badań wskazują na bardzo dużą zmienność czasową tego wskaźnika w analizowanym wieloleciu. Skrócenie okresu aktywnego wzrostu roślin uprawnych jest niekorzystnym czynnikiem, składającym się na klimatyczne ryzyko uprawy roślin.

Średnia w rejonie Bydgoszczy długość okresu dojrzewania [Żarski i in. 2012] wynosiła 94 dni. Trwał on przeciętnie od 1 czerwca do 3 września i wraz z upływem lat od 1981 do 2010 nie wykazał istotnych tendencji zmian. Odnotowano jedynie tendencje do późniejszego rozpoczynania się oraz kończenia tego okresu, które wyniosły 0,5 dnia na 10 lat, lecz były nieistotne. Według własnych wyników badań, okres dojrzewania w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego trwał 93-98 dni. Średnio był datowany w trzech miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego na 1 czerwca do 4 września. Wraz z upływem czasu w Chrzastowie stwierdzono istotny trend jego wydłużenia o 7,2 dni/10 lat, natomiast w Głodowie oraz Głębokim zaobserwowano jedynie wyraźną tendencję do jego wydłużania. Zarówno w badaniach Żarskiego [2012], jak i w analizach własnych, czas trwania termicznego lata w 30-leciu objętym badaniami, był rekordowo długi w roku 2002, co stanowiło pewnego rodzaju anomalię. Różnicę znajdujemy natomiast w datach początku tego okresu. Według Żarskiego [2012] istnieją przesłanki do późniejszego rozpoczynania się natomiast z uzyskanych prac własnych wynika, iż wraz z upływem lat od 1981 do 2010, data początku uległa przyspieszeniu pomimo tego, że skrajne daty rozpoczęcia wahały się w granicach od I dekady maja do I dekady lipca. Okres dojrzewania w wieloleciu 1981-2010 cechowała bardzo duża zmienność czasowa. Podobnie jak w przypadku wcześniej omawianego wskaźnika, także i w tym przypadku odnotowano w 13,3-16,7% przypadków lata, w którym okres dojrzewania był co najmniej 2 tygodnie krótszy od przeciętnego, co stanowi niekorzystny element pogody dla roślin.

Zarówno wysoki wzrost temperatury powietrza jak i jej spadek są czynnikami, które mogą spowodować poważne straty w rolnictwie.

Podwyższenie temperatury wpływa zarówno na szybszy wzrost i rozwoju roślin uprawnych, ale również chwastów. Jednocześnie łagodne zimy oraz wyższa temperatura wiosną i latem sprzyjają rozwojowi szkodników roślin uprawnych [Kozyra i in. 2009]. Zdaniem Skowery i Kopeć [2008] zbyt wczesne przekroczenie progów termicznych 5°C może być także przyczyną niskiego plonowania, które wynika ze spadku temperatury powietrza poniżej 0°C , powodując wymarzenie roślin podczas przymrozków wiosennych. Skutkiem tego jest mniejsza efektywność produkcyjna i ekonomiczna gospodarstwa.

Na podstawie obliczeń statystycznych wariancji i rozstępów porównano zmienność czasową wskaźników okresów rolniczych w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego. Wykazano, iż w latach 1996-2010, w porównaniu z wcześniejszym 15-leciem 1981-1995, nastąpiło poszerzenie zmienności czasowej w 12 spośród 36 analizowanych charakterystyk termicznych okresów rolniczych, dotycząc głównie okresu aktywnego wzrostu roślin. W pozostałych przypadkach, w odniesieniu do charakterystyk stwierdzono zmniejszenie zmienności czasowej omawianych wskaźników lub brak jednoznacznych zmian. Badania Żarskiego i in. [2012] w latach 1981-2010, wykonane w celu oceny kierunku, zakresu oraz stopnia istotności zmian wskaźników charakteryzujących termiczne okresy rolnicze, potwierdzają bardzo dużą niestabilność czasową tych okresów w rejonie Bydgoszczy. Zdaniem autorów niestabilność ta jest charakterystyczną cechą umiarkowanego i przejściowego agroklimatu Polski. Wyniki własne znajdują potwierdzenie również w badaniach, przedstawionych w monografii Żarskiego [2012]. Autor stwierdził, iż zmienność czasowa daty początku okresu wegetacji oraz długości trwania czasu między początkiem wiosny a końcem jesieni, była zdecydowanie mniejsza w 15-leciu 1996-2010, w porównaniu z poprzednim 1981-1996. W przypadku daty końca stwierdzono wzrost ekstremalności tego czynnika w latach 1996-2010, w porównaniu z okresem 1981-1995.

W badaniach własnych zanotowano duże zróżnicowanie przestrzenne średnich charakterystyk przygruntowych przymrozków, które wynikało z lokalnych warunków fizjograficznych. W przypadku liczby dni ze spadkiem temperatury poniżej 0°C , zarówno wiosną jak i jesienią, odnotowano niewielką tendencję do wzrostu liczby przymrozków wiosennych, późno wiosennych oraz jesiennych wraz z upływem lat na Pojezierzu Krajeńskim. Na pozostałym obszarze, oprócz liczby przymrozków późno wiosennych w Głębokim, wraz z upływem lat od 1981 do 2010 zaznaczyła się tendencja do zmniejszenia się tej liczby w odniesieniu do wszystkich rodzajów przymrozków.

Żarski [2012], badając tendencje zmian agroklimatu rejonu Bydgoszczy w latach 1981-2010 również zauważył bardzo dużą zmienność występowania przymrozków „z roku na rok”. Analizując wzrost oraz spadek odnotowanych liczby dni przymrozkowych w województwie kujawsko-pomorskim, wyniki badań własnych są nieco odmienne. Może to wynikać z ujęcia w pracy własnej trzech punktów pomiarowych, natomiast Żarski [2012] oparł się na danych z jednej stacji. Jednak, zarówno w jednym, jak i drugim opracowaniu, na

podstawie wartości uzyskanych współczynników korelacji nie stwierdzono istotnych tendencji zmian.

Najbardziej groźne dla roślin, potrafiące wyrządzić największe szkody w rolnictwie są przymrozki przygruntowe określane jako silne, zarówno wiosną jak i jesienią. Należą do jednych z najważniejszych czynników klimatycznego ryzyka uprawy roślin. W wieloleciu 1981-2010 występowały one bardzo często wiosną, natomiast jesienią odnotowano ich nieco mniej. Zarówno maksymalną liczbę spadków temperatury powietrza do $-4,0^{\circ}\text{C}$ i poniżej wiosną i jesienią odnotowano na Pojezierzu Dobrzyńskim, co może świadczyć o specyficznych lokalnych warunkach fizjograficznych, sprzyjających ich występowaniu.

Podobnie jak liczba przymrozków przygruntowych, również daty ich występowania jak i długości trwania okresu bez przymrozków charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem przestrzennym oraz czasowym. Wyniki te także znajdują potwierdzenie w artykule Żarskiego [2012].

Choć przymrozki majowe – zwane często „zimnymi ogrodnikami” są dla roślin najgroźniejsze [Dudek i in. 2012], analizując datę występowania ostatniego przymrozku wiosennego w badanym wieloleciu generalnie nie stwierdzono zmiany mającej istotne znaczenie. Stwierdzono, że w Chrzastowie i Głodowie trend zmienności przyjął wartość ujemną wskazującą przyspieszenie ustępowanie tego niekorzystnego zjawiska. W Europie Centralnej Scheifinger i in. [2003] prowadząc badania nad datą wystąpienia ostatniego przymrozku wiosennego, stwierdzili również, iż zjawisko to pojawiało się wcześniej wraz z upływem lat od 1951-1997.

Biorąc pod uwagę datę pierwszego przymrozku jesiennego, w pracy Żarskiego [2012] w rejonie Bydgoszczy, zaznaczyła się tendencja do wcześniejszego ich wystąpienia. Było to zjawisko niekorzystne powodujące obniżenie jakości plonów. Z kolei wyniki pracy własnej oraz Dudka i in. [2012] pokazują, iż wraz z upływem lat 1981-2010 warunki meteorologiczne dotyczące daty wystąpienia pierwszej ujemnej temperatury w okresie jesiennym stawały się bardziej sprzyjające ze względu na późniejsze ich występowanie. Jest to zjawisko korzystne, wpływające dodatnio na możliwości uprawy roślin na analizowanym obszarze. Jednak na podstawie równań regresji liniowej możemy jedynie mówić o zarysowanej tendencji do późniejszego ich występowania, ponieważ zależności były nieistotne. Daty te okazały się typowe dla centralnej części kraju lecz były wcześniejsze niż występujące na zachodzie, a późniejsze od pojawiających się w północno-wschodniej Polsce [Dragańska 2004, Koźmiński i in. 1990, Koźmiński i Michalska 2001].

W okresie 1981-2010 w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego nie stwierdzono również udowodnionej statystycznie tendencji zróżnicowania długości okresu bez przymrozków. Zarówno w pracy własnej jak i Dudka i in. [2012], znajdujemy wyniki świadczące o symptomach wydłużania się tego okresu. Także w rejonach takich krajów europejskich jak Czechy, Białoruś, Szwajcaria czy Finlandia, w ciągu ostatnich sześćdziesięciu

lat, odnotowano tendencję zmniejszania się liczby dni z przymrozkiem przygruntowym oraz zwiększenia się długości okresu bez występowania przymrozków [Heino i in. 1999, Loginov i in. 2007].

W wielu opracowaniach [Żarski i in. 1988, Koźmiński i in. 1990, Koźmiński i Michalska 2001, 2010, Woś 1999] znajdujemy informacje dotyczące charakterystyk agroklimatycznych przymrozków dla centralnej, nizinnej części Polski, które dobrze korespondują z zaprezentowanymi w pracy własnej charakterystykami przymrozków występujących w województwie kujawsko-pomorskim w latach 1981-2010.

Na podstawie uzyskanych charakterystyk występowania spadków temperatury powietrza poniżej 0°C, zarówno liczba przygruntowych przymrozków wiosennych, późno wiosennych, jesiennych oraz całkowita ich liczba w okresie wegetacji roślin, jak również przymrozków silnych, cechowała się dużą zmiennością czasową z roku na rok. Analiza porównawcza wariancji wskaźników liczby przymrozków, dat występowania i długości trwania okresu bez przymrozków w latach 1981-1995 oraz 1996-2010, nie potwierdza symptomów rozpatrywanych zmian klimatycznego ryzyka uprawy roślin na Pojezierzu Krajeńskim, Gnieźnieńskim czy Dobrzyńskim ze względu na brak istotnych trendów zmian wraz z upływem czasu od 1981 do 2010. W większości przypadków (20 na analizowanych 30) nie stwierdzono także wzrostu ekstremalności badanych wskaźników, co pozwala na potwierdzenie wyników badań Żarskiego [2012] oraz Koźmińskiego i Michalskiej [2001, 2010].

Jednym z ważniejszych, negatywnych skutków anomalnych, jak również ekstremalnych zjawisk pogodowych jest niekorzystny wpływ na zasoby wodne, prowadzący głównie do ich ograniczenia i wzrostu deficytów w rolnictwie, zwłaszcza w okresach największego zapotrzebowania w wodę roślin uprawnych.

Przeciętne warunki opadowe brano pod uwagę w okresie wzmożonych potrzeb wodnych zbóż jarych, przypadające na okres maja-czerwca oraz ziemniaków średnio wczesnych i kukurydzy uprawianej na ziarno – lipca i sierpnia, jak również w półroczu ciepłym (kwiecień – wrzesień), były podobne we wszystkich punktach pomiarowych województwa kujawsko-pomorskiego, wykazując średnie niedobory opadów. Ogólny obraz przedstawionych przeciętnych deficytów był zgodny z prezentowanymi wartościami średnich niedoborów wodnych zbóż w pracy Ostrowskiego i Łabędzkiego [2008].

Według badań Żarskiego [2011] na deficyt wód opadowych narażony jest obszar całej Polski a szczególnie niedoboru opadów można spodziewać się na terenie Bydgoszczy. Średnie wieloletnie wartości klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w tym rejonie wskazują na deficyt wody w stosunku do wymagań roślin w maju i czerwcu, przy nieznacznym wzroście ilości opadów atmosferycznych w tym przedziale czasowym.

W odniesieniu do okresu krytycznego w uprawie zbóż jarych, w badaniach własnych stwierdzono natomiast ujemny współczynnik kierunkowy równań

regresji, wskazujący na obniżenie ilości opadów atmosferycznych w Chrzastowie i Głębokim. Przyjął on natomiast wartość dodatnią w Głębokim, wskazując na nieznaczny wzrost opadów. Odnotowano również fakt iż na podstawie współczynników korelacji, charakteryzujących zależność liniową sum opadów atmosferycznych w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w wieloleciu 1981-2010, tylko w czerwcu jednoznacznie można było wskazać na zmniejszanie się wysokości opadów atmosferycznych wraz z upływem czasu na całym analizowanym terenie. W pozostałych miesiącach półrocza ciepłego oraz w dwumiesięcznym okresie lipca i sierpnia w całym regionie sytuacja była odmienna. Analiza wskaźnika opadów atmosferycznych wykazała przyrost opadów atmosferycznych wraz z upływem lat. Może świadczyć to o poprawie warunków uprawy roślin na całym analizowanym terenie. Jednak, należy nadmienić, że we wszystkich przypadkach zależności wysokość opadu – upływ lat w wieloleciu 1981-2010 były nieistotne. Brak istotności trendu zmian wysokości opadów atmosferycznych znajduje potwierdzenie we wniosku zawartym w opracowaniu Czarneckiej i Nidzgorskiej-Lancewicz [2012]. Autorki, na podstawie weryfikacji 60-letnich obserwacji, nie udowodniły statystycznie istotnych trendów zmian sezonowych opadów w Polsce oraz ich narastającej ekstremalności.

Na podstawie badań własnych, w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego, również nie można jednoznacznie stwierdzić zwiększenia bądź zmniejszenia zmienności czasowej opadów atmosferycznych okresach 1981-1995 i 1996-2010. Wystąpiło bowiem 10 przypadków zwiększenia ekstremalności opadów i także 10 ich zmniejszenia.

Biorąc pod uwagę rozkład miesięczny opadów oraz bezwzględne ilości opadu, charakterystyki średnie wieloletnie znajdują potwierdzenie w artykułach innych autorów [Bak 2003, Żarski i Dudek 1999, 2000, Żarski i in. 2014]. Świadczą one, że rejon województwa kujawsko-pomorskiego należy do obszarów cechujących się najniższymi średnimi opadami atmosferycznymi okresu półrocza letniego (IV-IX) w Polsce. Fakt ten sprawia iż klimatyczne ryzyko uprawy roślin na tym terenie, biorąc pod uwagę warunki zaopatrzenia roślin w wodę, jest większe niż w innych rejonach kraju.

Wykonana analiza agroklimatologiczna liczby dni z opadem wskazała na ich wzrost wraz z upływem czasu. Zarówno w czasie trwania półrocza ciepłego (IV-IX) jak również w okresach krytycznych na niedobór wody dla zbóż (V-VI) oraz okopowych i kukurydzy (VII-VIII) tendencja zmian „z roku na rok” we wszystkich przypadkach przyjęła wartości dodatnie. Świadczy to częstszych opadach deszczu wraz z upływem lat. W przypadku liczby dni z opadem większym od 9,9 mm w rozpatrywanych przedziałach czasowych tylko w okresie maja i czerwca w Głodowie uzyskano odmienny wynik.

Omawiane charakterystyki występowania opadów w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego nie wykazały

w większości analizowanych przypadków istotnych trendów zmian wraz z upływem lat od 1981-2010. Analiza porównawcza wariacji wskaźników w latach 1981-1995 i 1996-2010 również nie potwierdziła symptomów ewentualnych zmian klimatycznego ryzyka uprawy roślin na tym obszarze ze względu na występowanie opadów atmosferycznych bowiem tylko w 3 przypadkach na analizowanych 18 odnotowano wzrost zmienności czasowej liczby dni z opadami w wieloleciu 1996-2010, w stosunku do okresu 1981-1995.

Spośród wielu niekorzystnych zjawisk największe zagrożenie dla rolnictwa powodują susze meteorologiczne oraz będące ich następstwem susze rolnicze, stanowiące nieodłączny element agroklimatu centralnej oraz nizinnej części Polski. Systematyczne obserwacje Kacy i in. [2009] z ostatniego pięćdziesięciolecia wskazują na nasilanie się susz na obszarze naszego kraju. To zjawiska niekorzystne, zaliczane do klimatycznego ryzyka gospodarowania. Charakteryzują się one dużą częstotliwością, nieregularnym występowaniem oraz nieciągłością przestrzenną [Żarski 2012]. W Polsce, w ostatnich latach, zwłaszcza od 1992 roku, susza występuje coraz częściej. Jest ogromnym problemem gospodarczym dla całego kraju ze względu na duże straty w plonach a tym samym przychodach rolnika, a także przyczyną wzrostu cen artykułów żywnościowych [Doroszewski i in. 2012].

Według Kundzewicza i Kędziory [2010] oraz Kacy i in. [2011], pewnym sygnałem większych niż dotychczas wahań plonowania w Polsce może być właśnie, stwierdzona w ostatnich latach większa liczba susz, a także częstsze, nieregularne występowanie zjawisk atmosferycznych uznawanych za niekorzystne dla rolnictwa. Tego samego zdania są również Koźmiński i Michalska [2001]. Potwierdza to także trzeci i czwarty raport IPCC [2001, 2007], w myśl którego w Europie w ostatnich dekadach lat wzrosła liczba przypadków meteorologicznych zjawisk szkodliwych.

Wyniki badań własnych, w których za pomocą wskaźnika suszy atmosferycznej względnego opadu RPI, wyznaczono poziom uwilgotnienia poszczególnych miesięcy i okresów w kolejnych latach 1981-2010, w poszczególnych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego nie potwierdzają jednoznacznie powyższych stwierdzeń. Wykazano w nich bardzo dużą nieregularność występowania niekorzystnych suchych, bardzo suchych i skrajnie suchych miesięcy i okresów. Jednak większość analizowanych miesięcy i okresów skrajnie suchych występowała w 15-leciu 1981-1995 (20), w porównaniu z późniejszym okresem późniejszym 1996-2010 (11). Podobną prawidłowość stwierdzono w odniesieniu do analizowanych kroków czasowych bardzo suchych: 63 w latach 1981-1995 i 56 w latach 1996-2010. Nie można zatem jednoznacznie stwierdzić, iż wraz z upływem lat wzrastała częstość pojawiania się posuch atmosferycznych, a zwłaszcza stawiać tezę, że ten niekorzystny element klimatycznego ryzyka uprawy roślin występuje w ostatnich latach znacznie częściej niż w poprzednich latach. Należy jednak zgodzić się, że prognozowane zmiany klimatu [Stuczyński i in. 2000, Watson

i in. 1997] uzasadniają konieczność bieżącego prowadzenia monitoringu występowania, intensywności i zasięgu suszy.

Wyniki badań własnych dotyczące niedoborów opadów atmosferycznych w uprawie wybranych grup użytkowych i gatunków upraw rolniczych jako wskaźników posuchy rolniczej wskazały jednoznacznie, iż w przeciętnych warunkach opadowych mamy w województwie kujawsko-pomorskim do czynienia z deficytem wody w produkcji polowej. Określone liczbowo przeciętne niedobory opadów okazały się na ogół zgodne z podawanymi we wcześniejszych pracach opracowanych dla rejonu Bydgoszczy [Żarski i Dudek 2009, Żarski 2011, Żarski 2012] lub centralnej części Polski [Grabarczyk 1983, Ostrowski i Łabędzki 2008, Koźmiński i Michalska 2010]. W badaniach własnych akcentowano bardzo dużą zmienność czasową warunków zaopatrzenia roślin w wodę, które w okresach krytycznych opracowywanych upraw różniły się nawet o około 190 mm w przypadku zbóż jarych i aż o około 250 mm w uprawie kukurydzy i ziemniaków. Nie wykazano przy tym istotnego pogłębiania się niedoborów opadowych wraz z upływem czasu. Przeciwnie w większości przypadków stwierdzono tendencje do zmniejszania się wskaźnika posuch rolniczych wraz z upływem czasu. Ponadto także w większości analizowanych przypadków dotyczących 3 upraw i 3 miejscowości zaobserwowano spadek ekstremalności występowania niedoborów opadowych w wieloleciu 1996-2010, w porównaniu z 15-leciem 1981-1995, co świadczy o zmniejszaniu częstotliwości występowania zarówno susz rolniczych, jak i okresów o nadmiernym uwilgotnieniu. Określone w badaniach własnych lata występowania intensywnych susz rolniczych w uprawie zbóż jarych, kukurydzy i ziemniaków były zgodne z określonymi we wcześniejszych pracach Żarskiego i in. [2013a,b,c] na podstawie wskaźnika SPI oraz niedoboru opadów w stosunku do wartości optymalnej wyznaczonej na podstawie doświadczeń polowych z nawadnianiem roślin. Jak wykazano w tych pracach nawadnianie roślin jest zabiegiem skutecznie łagodzącym skutki susz, prowadzącym do znaczących przyrostów plonów, poprawy jakości i stabilizacji plonowania w latach.

Podsumowując wyniki badań można stwierdzić, iż opracowane dla warunków trzech wybranych miejscowości położonych na obszarze województwa kujawsko-pomorskiego wartości parametrów agrometeorologicznych, w tym wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin, cechowały się niewielkim zróżnicowaniem przestrzennym. Dotyczy to zwłaszcza warunków termicznych, w mniejszym stopniu opadowych, a w najmniejszym stopniu charakterystyk przymrozków. Ich przeciętne, średnie wieloletnie w okresie 1981-2010 wartości, były przy tym zgodne z podawanymi we wcześniejszych opracowaniach agrometeorologicznych dotyczących kraju i regionu. Wszystkie parametry i wskaźniki charakteryzowała za to bardzo duża zmienność czasowa. Nie wykazano przy tym w przeważającej większości przypadków (166 na 189 analizowanych) istotnych trendów zmian badanych elementów agroklimatu wraz z upływem czasu. Ponadto nie stwierdzono

narastania ich ekstremalności. Jak wykazało porównanie zmienności czasowej w 15-leciach: wcześniejszym 1981-1995 i późniejszym 1996-2010, zanotowano 104 przypadki większej zmienności w okresie 1981-1995, dwukrotnie mniej (52 przypadki) większej niestabilności czasowej w latach 1996-2010 i 33 przypadki niejednoznacznych zmian. Prowadzi to do ogólniejszego wniosku, że klimatyczne ryzyko uprawy roślin na terenie województwa kujawsko-pomorskiego w ciągu lat 1981-2010, składających się na najbardziej aktualny okres normalny, nie podlegało ukierunkowanym, jednoznacznym zmianom.

6 WNIOSKI

1. Wartości i przebiegi roczne temperatury powietrza w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego były typowe dla klimatu centralnej części Polski. Temperatura powietrza cechowała się niewielką zmiennością przestrzenną i bardzo dużą zmiennością czasową, zwłaszcza w miesiącach zimowych.
2. Temperaturę powietrza charakteryzowały różne, opisane równaniami regresji liniowej, zmiany wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 roku, które okazały się istotne w 25% analizowanych przypadków. Wszystkie istotne zmiany wskazywały na wzrost temperatury i dotyczyły kwietnia, półrocza letniego, lata oraz okresu wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy i ziemniaków (VII-VIII).
3. Średnie daty początku i końca oraz długość trwania okresów rolniczych były podobne w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego, cechowały się bardzo dużą zmiennością czasową i poza przyrostem długości okresu dojrzewania w warunkach Chrzastowa, nie wykazywały istotnych trendów zmian wraz z upływem czasu. Wszystkie okresy rolnicze cechowała jednak tendencja zwiększenia długości trwania w wieloleciu 1981-2010.
4. Charakterystyki przygruntowych przymrozków w wybranych miejscowościach regionu charakteryzowały się w wieloleciu 1981-2010 wyraźnym zróżnicowaniem przestrzennym, wynikającym z lokalnych warunków fizjograficznych. Najmniej korzystne warunki pod tym względem występowały w warunkach Głodowa, a najbardziej korzystne w warunkach Chrzastowa.
5. Liczba dni z przymrozkami przygruntowymi, daty ich występowania oraz długości okresu bez przymrozków cechowały się bardzo dużą zmiennością czasową, nie wykazując istotnych trendów i różne tendencje zmian w badanym wieloleciu. W warunkach Głodowa stwierdzono trend do wcześniejszego ustępowania przymrozków wiosennych.
6. Wysokości i rozkłady opadów atmosferycznych w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego były typowe dla klimatu centralnej części Polski. W warunkach Pojezierza Dobrzyńskiego występowały w półroczu letnim wyższe opady (ok. 350mm), w porównaniu do pozostałych miejscowości (ok. 310mm).
7. Opady atmosferyczne cechowała bardzo duża zmienność z „roku na rok”, różnice w latach występowania ekstremów oraz w większości przypadków tendencje wzrostowe wraz z upływem czasu. W warunkach Głodowa stwierdzono trend wzrostu opadów w maju, a w Głębokim trend obniżania się opadów w czerwcu.
8. Liczba dni z opadem atmosferycznym w wieloleciu 1981-2010 charakteryzowała się małym zróżnicowaniem przestrzennym, dużą zmiennością czasową oraz w większości tendencjami wzrostowymi.

W czterech przypadkach stwierdzono istotne trendy wzrostu liczby dni z opadem wraz z upływem czasu.

9. Posuchy atmosferyczne stanowiły częsty, pojawiający się nieregularnie w 38,4% lat, niekorzystny element agroklimatu województwa kujawsko-pomorskiego. Największa częstotliwość posuch atmosferycznych cechowała warunki Głębokiego, a najmniejsza Głodowa. Więcej miesięcy i okresów skrajnie i bardzo suchych wystąpiła w wieloleciu 1981-1995, w porównaniu z okresem 1996-2010.
10. Produkcja roślinna na obszarze województwa kujawsko-pomorskiego w wieloleciu 1981-2010 odbywała się w warunkach występowania przeciętnych niedoborów opadowych. Podstawową, niekorzystną cechą gospodarowania była bardzo duża zmienność czasowa zaopatrzenia roślin w wodę w kolejnych sezonach wegetacji i okresach wzmożonych potrzeb wodnych roślin.
11. Nie stwierdzono istotnych trendów zmian niedoborów opadowych w uprawie zbóż jarych, ziemniaków i kukurydzy w wieloleciu 1981-2010. W większości przypadków wystąpiła tendencja zmniejszania się tych niedoborów wraz z upływem czasu.
12. Porównując zmienność czasową badanych wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin w wieloleciach 1981-1995 i 1996-2010, dwukrotnie więcej przypadków większej niestabilności czasowej zanotowano we wcześniejszym wieloleciu, w porównaniu z późniejszym.
13. Parametry agrometeorologiczne i wskaźniki klimatycznego ryzyka uprawy roślin w ciągu lat 1981-2010, składających się na najbardziej aktualny okres normalny, nie podlegały w większości ukierunkowanym, istotnym zmianom. Nie stwierdzono również w większości przypadków, wzrostu ich ekstremalności. Twierdzenie o obserwowanych zmianach warunków agroklimatycznych województwa kujawsko-pomorskiego należy zatem traktować z dużą ostrożnością.

LITERATURA

- [1] Alcamo J., Moreno J.M., Nováky B., Bindi M., Corobov R., Devoy R.J.N., Giannakopoulos C., Martin E., Olesen J.E., Shvidenko A., 2007. Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, s.541-580.
- [2] Alexander L., Zhang X., Peterson T., Caesar J., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M., Vazquez-Aguirre J., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*. Vol., 111. D05109, s.1-22.
- [3] Atlas klimatu Polski, 2005, Warszawa, IMGW.
- [4] Atlas klimatyczny Polski, 1979, Warszawa, IMGW.
- [5] Banaszek B., Szwejkowski Z., Nowicka A., 2002. Klimat Pojezierza Mazurskiego Cz. II. Tendencje zmian podstawowych elementów meteorologicznych w regionie. *Fragmenta Agronomica*, (XIX), nr2 (74), s.297-305.
- [6] Bański J., Błażejczyk K., 2005. Globalne zmiany klimatu i ich wpływ na światowe rolnictwo. W Dybowski G. (red.), *Wpływ procesu globalizacji na rozwój rolnictwa na świecie. Program wieloletni 2005-2009*, 17, IERiGŻ PIB, Warszawa, s.204-23.
- [7] Bartoszek K., Banasiewicz I., 2007. Agrometeorologiczna charakterystyka okresu wegetacyjnego 2005 w rejonie Lublina na tle wielolecia 1951-2005 *Acta Agrophysica*, 9(2), s.275-283.
- [8] Bartoszek K., Cichoń M., 2008. Termiczne pory roku w rejonie Czesławic k. Nałęczowa (1963–2005). *Annales*, VOL. LXIII (1) SECTIO, s.1-9.
- [9] Bąk B., 2003. Warunki klimatyczne Wielkopolski i Kujaw. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. t.3, z. specj. (9), s.11-38.
- [10] Bąk B., Łabędzki L., 2002. Assessing drought severity with the relative precipitation index (RPI) and the standardized precipitation index (SPI). *J. Water Land Develop.* no.6, s.89–105.
- [11] Bąk B., Łabędzki L., 2008. Zależność między suszą meteorologiczną a rolniczą w uprawie buraka cukrowego w okresie wiosennym na glebach o różnej retencji użytecznej. *Acta Agrophysica*, 11(2), s.335-344.
- [12] Bindoff N.L., Willebrand J., Artale V., Cazenave A., Gregory J., Gulev S., Hanawa K., Quéré C. Le., Levitus S., Nojiri Y., Shum C.K., Balley L.D., Unnikrishnan A., 2007. Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the*

- Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [13] Bobiński E., Meyer W., 1992. Susza hydrologiczna w Polsce w latach 1989-1992 na tle wielolecia 1982-1992. *Gospodarka Wodna*, 12, s.267-277.
- [14] Bojar W., Żarski J., Verburg R., Brouwer F., 2012. Circumstances of climatic changes impacts on agricultural production ta king attention region al characteristics. *Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management*, 61, s.29-45.
- [15] Boryczka J., Stopa-Boryczka., 2007. Okresowe wahania temperatury powietrza w Europie w XIX i XXI wieku i ich przyczyny. *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych. IG i GP UJ, Kraków*, s.163-173.
- [16] Cebulak E., Czekierda D., Falarz M., Limanówka D., Niedźwiedź T., Ustrnul Z., 1996. Climate variability in Poland during last 45 years. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, z.102, s.395-402.
- [17] Ceccarelli S., Grando S., Maatougui M., Michael M., Slash M., Haghparast R., Rahmanian M., Taheri A., Al-Yassin A., Benbelkacem A., Labdi M., Mimoun H., Nachit M., 2010. Climate Change and Agriculture Plant breeding and climate changes. *The Journal of Agricultural Science*, 148, s.627-637.
- [18] Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L., 2009. Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr9, s.33-44.
- [19] Corti S., Molteni F., Palmer T. N., 1999. Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes. *Nature*, 398, s.799-802.
- [20] Czarnecka M., Nidzgorska-Lancewicz., 2012. Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t.12, z.2(38), s.45-60.
- [21] Czarnecka M., Koźmiński C., Michalska B., 2009. Climatic risk for plant cultivation in Poland. W: J. Leśny (ed.), *Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures, Acta Agrophysica*, nr169, *Rozprawy i Monografie* (1), s.78-96.
- [22] Dai A., Trenberth K.E., Quan T., 2004. Aglobal data set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorology*, 5, s.1117-1130.
- [23] Dembek R., Żarski J., Łyszczarz R. 2015. Niedobory opadów na łąkach dwu- i trzykośnych w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr III/1/2015, s. 569-582.
- [24] Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Krasowicz S., Kuś J., 1999. Prawdopodobne zmiany w produkcji roślinnej w związku ze

- spodziewanymi zmianami klimatu Polski. Ogólnopolska konferencja naukowa nt. Zmiany i zmienność klimatu Polski. Łódź, 4-6 listopada 1999. Materiały konferencyjne, UŁ, Łódź, s.43-48.
- [25] Deputat T., 1999. Konsekwencje zmian klimatu w fenologii wybranych roślin uprawnych. Ogólnopolska konferencja naukowa nt. Zmiany i zmienność klimatu Polski. Łódź, 4-6 listopada 1999. Materiały konferencyjne, UŁ, Łódź, s.49-56.
- [26] Doroszewski A., Jadczyzyn J., Kozyra J., Pudelko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopata A., Koza P., Górski T., Wróblewska E., 2012. Podstawy monitoringu suszy rolniczej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t.12, z.2(38), s.77-91.
- [27] Dragańska E., Rynkiewicz I., Panfil M., 2004. Częstotliwość i intensywność występowania przymrozków w Polsce północno – wschodniej w latach 1971-2000. *Acta Agrophysica*, 3(1), s.35-41.
- [28] Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Żarski J., 2009. Klasyfikacja okresów posusznych na podstawie bilansu wody łatwo dostępnej w glebie. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr3, s.109-117.
- [29] Dudek S., Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R., 2012. Tendencje zmian występowania przymrozków przygruntowych w rejonie Bydgoszczy. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t.12, z.2(38), s.93-106.
- [30] Dzieżyc J., Badura U., Nowak L., Panek K., 1990. Zarys rejonizacji potrzeb deszczowania podstawowych roślin uprawnych w Polsce. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 387, s.103-115.
- [31] Dzieżyc J., Nowak L., Panek K., 1987. Średnie regionalne niedobory opadów i potrzeb deszczowania roślin uprawnych na glebach lekkich i średnich. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 314, s.35-47.
- [32] Eitzinger J., Leśny J., Serba T., Juszczak R., Olejnik J., 2009. Adaptation of Agriculture in European Regions at Environmental Risks under climate change – project implementation. In: *Climate change and agricultural in Poland Impacts, Mitigations and Adaptation Measures*. Ed. by Leśny J. *Acta Agrophysica*, Nr169, Rozprawy i Monografie (1), s.7-18.
- [33] Fortuniak K., Kozuchowski K., Żmudzka E., 2001, Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku, *Przegląd Geofizyczny* 46, z. 4, s.283-303.
- [34] Franków K., 2008. Termiczne pory roku na Pomorzu Zachodnim w Stacji Geoekologicznej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Storkowie w latach 1987-2007. W: *Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią. Seria A – Geografia Fizyczna*, t.59, s.77–88.
- [35] Garnier J.B., 1996. Podstawy klimatologii. IMGW Warszawa, s.97-114.
- [36] Grabarczyk S., 1983. Nawadnianie. Podstawy agrotechniki. PWRiL Warszawa, s.94-96.
- [37] Górski T., Kozyra J., Doroszewski A., 2008. Field crop losses in Poland due to extreme weather conditions: case studies. W: *The influence of*

- extreme phenomena on the natural environment and human living conditions. Pr. Zbior. Red. S. Liszewski. Łódź. ŁTN, s.35–49.
- [38] Górski T., 2002: Współczesne zmiany agroklimatu Polski. Pamiętnik Puławski, 130, s.241-250.
- [39] Haman K., 2008. Naturalne i antropogeniczne przyczyny zmian klimatu. Nauka (1), s.119-127.
- [40] Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K., 2002. Global warming continues. Science, 295, s.275.
- [41] Heino R., Bråzdil R., Førland E., Tuomenvirta H., Alexandersson H., Beniston M., Pfister C., Rebetez M., Rosenhagen G., Rösner S., Wibig J., 1999. Progress in the study of climatic extremes in Northern and Central Europe. Climatic Change. Vol.42. No.1, s.151-181.
- [42] IPCC, 2001. Climate Change 2001, Synthesis report of the 3-rd assessment (www.ipcc.ch).
http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/english/pdf/spm.pdf,
 27.10.2011. godz.17.15.
- [43] IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>, 27.10.2011. godz. 16.50.
- [44] Iglesias A., Avis K., Benzie M., Fisher P., Harley M., Hodgson N., Horrocks L., Moneo M., Webb J., 2007. Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector. AGRI-2006-G4-05. Report to European Commission Directorate - General for Agriculture and Rural Development. ED05334. Issue Number 1. December , AGRI/2006-G4-05.
- [45] Kaca E., Łabędzki L., Miatkowski Z., Lubbe I., 2009. Rolnictwo w obliczu ekstremalnych zjawisk pogodowych. Mat. Konf. Nauk. „Współczesne wyzwania kształtowania środowiska i gospodarowania wodą w obszarach wiejskich” Warszawa, 16-17.11.2009, s.6-8.
- [46] Kaca E., Łabędzki L., Lubbe I., 2011. Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu ekstremalnych zjawisk pogodowych. Postępy Nauk Rolniczych nr1, s.37-49.
- [47] Kamińska J., Musiał E., 2007. Wahania klimatu w Bydgoszczy w wieloletniu 1945-1996. Inżynieria ekologiczna nr18, s.37-38.
- [48] Kanecka-Geszke E., Smarzyńska K., 2007. Ocena suszy meteorologicznej w wybranych regionach agroklimatycznych Polski przy użyciu różnych wskaźników. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus 6 (2) 2007, s.41–50.
- [49] Karczmarczyk S., Nowak L., 2006. Nawadnianie roślin. PWRiL Poznań, s.67-68, 81, 101-102.
- [50] Kasperska-Wołowicz W., Łabędzki L., Bąk B., 2003. Okresy posuszne w rejonie Bydgoszczy. Woda Środowisko Obszary Wiejskie, tom 3, z. specj.9, s.39-56.

- [51] Katz R.W., Brown B.G., 1992. Extreme events in a changing climate. Variability is more important than averages. *Climate Change*, 21, s.289-302.
- [52] Kędziora A., 2008. *Podstawy agrometeorologii.*, PWRiL, Poznań.
- [53] Klein Tank A.M.G., Können G.P., 2003. Trends In indices of daily temperature and precipitation extremes In Europe, 1946-1999. *Journal of Climate*. Vol.16, Iss.22, s.3665-3680.
- [54] Kolasiński J., 2008. Przymrozki wiosenne i jesienne -występowanie i tendencje zmian w okresie 1966-2005 (na przykładzie Falent). *Przegląd Geograficzny*, z.3-4, s.303-310.
- [55] Kołodziej J., Węgrzyn A., 2000a. Czasowy i przestrzenny rozkład przymrozków na Lubelszczyźnie (1971-1990). I. Przymrozki na wysokości 200 cm nad powierzchnią gruntu. *Annales UMCS, Sec. E, v, vol. LV, 22*, s.205-226.
- [56] Kołodziej J., Węgrzyn A., 2000b. Czasowy i przestrzenny rozkład przymrozków na Lubelszczyźnie (1971-1990). II. Przymrozki na wysokości 5 cm nad powierzchnią gruntu. *Annales UMCS, Sec. E, vol. LV, 23*, s.227-246.
- [57] Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M., 2000. *Meteorologia i klimatologia. Pomiary, obserwacje, opracowania.* Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa, s.88-108.
- [58] Kossowska-Cezak U., 2005. Zmiany termicznych pór roku w Warszawie w okresie 1933–2004, *Przegląd Geofizyczny*, z.3-4, s.265-277.
- [59] Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbca A., 2009. Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, z.14, s.243-257.
- [60] Kozyra J., Górski T., 2004. Wpływ zmian klimatu na uprawę roślin w Polsce. *Klimat – Środowisko – Człowiek*. Polski Klub Ekologiczny, Okręg Dolnośląski. Wrocław, s.41-50.
- [61] Koźmiński Cz., Górski B., Michalska B., 1990. (red.) *Atlas klimatyczny elementów i zjawisk szkodliwych dla rolnictwa w Polsce*. Puławy. IUNG. Ser. R232/B, s.78.
- [62] Koźmiński Cz., Michalska B., 2003. *Agrometeorologia i klimatologia*. AR Szczecin, s. 49-58.
- [63] Koźmiński Cz., Michalska B., 2001. (red.) *Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce*. AR Szczecin, UW Szczeciński, s.81.
- [64] Koźmiński Cz., Michalska B., 2010. Niekorzystne zjawiska atmosferyczne w Polsce. *Straty w rolnictwie*. W: *Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce pod red. Cz. Koźmińskiego, B. Michalskiej i J. Leśnego*. UW Szczeciński, s.9-54.
- [65] Koźmiński Cz., 1976. Występowanie ciągów dni przymrozkowych w okresie wegetacyjnym na terenie Polski. *Przegląd Geograficzny XLVIII*, 1, s.75-93.

- [66] Kożuchowski K., 1996. Współczesne zmiany klimatyczne w Polsce na tle zmian globalnych. *Przegląd Geograficzny*, 31, 2, s.139-152.
- [67] Kożuchowski K., 2004. O klimacie Polski według Wacława Nałkowskiego. *Przegląd Geofizyczny XLIX*, z.1-2, s.71-78.
- [68] Kożuchowski K., Degirmendzić J., Fortuniak K., Wibig J., 1999. Tendencje zmian sezonowych aspektów klimatu w Polsce. Ogólnopolska konferencja naukowa nt. Zmiany i zmienność klimatu Polski. Łódź, 4-6 listopada 1999. Materiały konferencyjne, UŁ, s.129-142.
- [69] Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001. Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. *Przegląd Geofizyczny*, t.46, nr1-2, s.81-90.
- [70] Kuchar L., Iwański S., 2011. Symulacja opadów atmosferycznych dla oceny potrzeb nawodnień roślin w perspektywie oczekiwanych zmian klimatycznych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 5, s.7-11.
- [71] Kundzewicz Z., 2000. Gdyby mała wody miarka... Zasoby wodne dla trwałego rozwoju. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s.195.
- [72] Kundzewicz Z., Juda-Rezler K., 2010. Zagrożenia związane ze zmianami klimatu. *Nauka*, nr 4, s.69-76.
- [73] Kundzewicz Z. W., Kędziora A., 2010. Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko i gospodarkę (obserwacje i projekcje). *Studia i Raporty IUNG-PIB*, z.19, s.115-132.
- [74] Lemke P., Ren J., Alley R.B., Allison I., Carrasco J., Flato G., Fujii Y., Kaser G., Mote P., Thomas R.H., Zhang T., 2007. Observations: Changes in Snow, Ice, and Frozen Ground. In *Climate Change 2007: The Physical Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds). Cambridge University Press: Cambridge, New York.
- [75] Leśny J. (red.), 2009. Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures. *Acta Agrophysica*, 169, s.1-152.
- [76] Levitus S., Antonov J.I., Wang J., Delworth T.L., Dixon K.W., Broccoli A.J., 2001. Anthropogenic warming of Earth's climate system. *Science*, 292, s.267-294.
- [77] Limanówka D., Niedźwiedz T., Ustrnul Z., 1993. Prawdopodobieństwo występowania wybranych ekstremalnych charakterystyk termicznych w Polsce. *Zeszyty IGiPZ PAN*, nr18, s.31-37.
- [78] Liszewska M., Osuch M., 1999. Analiza wyników globalnych modeli klimatu dla Europy Środkowej i Polski. W: *Zmiany i zmienność klimatu Polski*. Mat. Konf. Nauk. UŁ, Łódź, s.129-142.
- [79] Loginov V., Mikutskii V., Kuznetsov G., 2007. Statistical and Probability Analysis of Frost In Belarus. *Russian Meteorology and Hydrology*. Vol.32. No.10, s.651-657.
- [80] Łabędzki L., 2004. Problematyka susz w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary-Wiejskie*, z.4(1), s.47-66.

- [81] Łabędzki L., 2006. Susze rolnicze – zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda Środ. Obsz. Wiej. Rozpr. Nauk. Monog. 17, s.107.
- [82] Łabędzki L., 2007a. Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI. *Irrig. Drain.* 56 (1), s.67–77.
- [83] Łabędzki L., 2007b. Potrzeby wodne roślin uprawnych i potrzeby nawodnień w zlewni rzeki Zgłowiączki. *WIRZ*, nr 4, s.2-12.
- [84] Łabędzki L., 2008. Ocena częstotliwości susz o różnym czasie trwania przy użyciu wskaźnika standaryzowanego opadu spi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z.526, s.105-112.
- [85] Łabędzki L., 2009a. Expected development of irrigation in Poland in the context of climate change. *J. Water Land Develop.* 13b: 17–29.
- [86] Łabędzki L., 2009b. Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 3, s.7-18.
- [87] Łabędzki L., Adamski P., 2010. Związek między opadami uśrednionymi a uwilgotnieniem gleby w uprawie buraków cukrowych na Kujawach., *Woda-Środowisko-Obszary-Wiejskie*, t.10, z.3(31), s.165–174.
- [88] Łabędzki L., Bąk B., 2004. Zróżnicowanie wskaźnika suszy atmosferycznej SPI w sezonie wegetacyjnym w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary-Wiejskie*, t.4, z.2a, s.111-122.
- [89] Mager. P., Kasprowic T., Farat R., 2009. Change of air temperature and precipitation In Poland In 1966-2006. *Acta Agrophysica*, Nr169, Rozprawy i Monografie (1), s.19-38.
- [90] Michalska B., Kalbarczyk E., 2005. Long term changes in air temperature and precipitation on Szczecińska lowland *Electronic Journal of Polish Agriculture Universities*, 8 (1).
- [91] Mirkowska Z., 2009. Konsekwencje zmian klimatycznych dla rolnictwa. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 2(319), s.48-58.
- [92] Mrówczyński M., Walczak F., Korbas M., Paradowski A., Roth M., 2009. Zmiany klimatyczne a zagrożenia roślin rolniczych przez agrofagi. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, z.17, s.139-147.
- [93] Niedźwiedz T, Limanówka D., 1992. Termiczne pory roku w Polsce. *Zesz. Nauk. UJ Kraków, Prace Geograficzne*, 90, s.53-69.
- [94] Niedźwiedz T., 2000. The dynamics to selectes extreme climatic events in Poland. *Geographia Polonica*, 73, s.25-39.
- [95] Olechnowicz-Bobrowska B., 1996. Hot and dry summer seasons 1992 and 1994 in Poland. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 102, s.419-433.
- [96] Olesen J. E., Bindi M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and Policy. *Eur. J. Agron.*, s.239-262.
- [97] Ostrowski J., Łabędzki L.(red.), 2008. Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Wydawnictwo IMUZ Falenty.

- [98] Radomski C., 1968. Problem przymrozków w Polsce z punktu widzenia rolnictwa. *Postępy Nauk Rolniczych* 1(109), s.21-33.
- [99] Radzka E., Gąsiorowska B., Koc G., Rak J., 2009. Wstępna analiza niedoborów opadowych w RSD Zawady. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. nr6, s.179-186.
- [100] Roguski W., Kasperska W., Łabędzki L., 1996. Warunki termiczne i opadowe w Bydgoszczy w latach 1945-1994 na tle lat 1848-1930. *Wiad. IMUZ* t.19, z.1, s.7-20.
- [101] Romer E., 1949. Regiony klimatyczne Polski. *Pr. Wroc. TN. Ser. B*, nr20, s.28.
- [102] Rzekanowski Cz., 2010. Perspektywy rozwoju nawodnień w Polsce. *Wiad. Mel. i Łąk.*, t. LIII. nr2, s.55-58.
- [103] Rzekanowski Cz., Żarski J., Rolbiecki S., 2011. Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę. *Post. Nauk Roln.* nr1, s51-63.
- [104] Scheifinger H., Menzel A., Koch E., Peter Ch., 2003. Trends of spring time Frost events and phenological dates In Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*. nr74, s.41-51.
- [105] Skowera B., Kopeć B., 2008. Okresy termiczne w Polsce Południowo-Wschodniej (1971-2000). *Acta Agrophysica*, 12(2), s.517-526.
- [106] Skowera B., Puła J., 2004. Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000. *Acta Agrophysica*, 3(1), s.171-177.
- [107] Starkel L., Kundzewicz Z.W., 2008. Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju. *Nauka*, nr1, s.85-101.
- [108] Stuczyński T., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Krasowicz Cz., Kuś J., 2000. Adaptation scenarios of future climate Change. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol.61, s.133-144.
- [109] Schmuck A., 1969. *Meteorologia i klimatologia dla WSR*. Warszawa: PWN, s.316.
- [110] Watson R.T., Zinyowera M.C., Moss R.H., Dokken D.J., (red.) 1997. IPCC The regional impact of climate change: IPCC special report on the regional impact of climate change. An assessment of vulnerability. <http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/index.htm> 15.05.2012. godz. 19.40.
- [111] Węgrzyn A., 2007a. Ocena okresu wegetacyjnego na Lubelszczyźnie w latach 1951–1990. I. Klasyfikacja dat początku. *Annales, VOL. LXII (1) SECTIO E*, s.23-30.
- [112] Węgrzyn A., 2007b. Klasyfikacja okresów wegetacyjnych pod względem termicznym na Lubelszczyźnie w latach 1951-1990. *Acta Agrophysica*, 9(2), s.505-516.
- [113] Wilczyński S., Durło G., Feliksik E., 2005. Przymrozki wczesne i późne na Kopciowej (Beskid Sądecki) w latach 1971–2000. *Acta Agr. Silv., ser. Silv.*, 43, s.65–76.

- [114] Wolny S., Horoszkiewicz-Janka J., Sikora H., Kapsa J., Zaliwski A., Nieróbca A., Kozyra J., Domaradzki K., 2004. Wyniki prac badawczych i adaptacyjnych nad polskim internetowym systemem wspomaganie decyzji w ochronie roślin w 2003 roku. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Rośl.*, 44(1), s.513-522.
- [115] Woś A., 1994. *Klimat Niziny Wielkopolskiej*. Poznań, Wydaw. Nauk. UAM, s.192.
- [116] Woś A., 1999. *Klimat Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- [117] Wójcik G., Marciniak K., 1989. Klimatyczna charakterystyka okresu wegetacyjnego i gospodarczego w Bydgoszczy w latach 1931- 1980. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz nr158, Roln.* 27, s.99-106.
- [118] Zawora T., 2005. Temperatura powietrza w Polsce w latach 1991-2000 na tle okresu normalnego 1961-1990. *Acta Agrophysica*, 6(1), s.281-287.
- [119] Ziernicka-Wojtaszek A., Zawora T., 2007. Global Warming and Grapevine Cultivation Opportunities In Poland. *Global Warming, which potential impacts on the vineyards*. March 28-30, Dijon, s.1-7.
- [120] Ziernicka-Wojtaszek A., Zawora T., 2008. Zróżnicowanie pluwiotermiczne Polski w świetle współczesnych zmian klimatu. *Acta Agrophysica*, 12(1), s.289-297.
- [121] Żarski J., Peszek J., Urbanowski S., 1988. Charakterystyka warunków termicznych i opadowych Mochełka. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz. z. 145*, s.25-38.
- [122] Żarski J., Dudek S., 1999. Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w gminach województwa bydgoskiego. *Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz. z. 217, Rolnictwo 43*, s.43-51.
- [123] Żarski J., Dudek S., 2000. Charakterystyka warunków termicznych i opadowych województwa Kujawsko-Pomorskiego w aspekcie potrzeb ochrony środowiska. *Zesz. Nauk. WSHE, Włocławek, t.VI*, s.85-98.
- [124] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk R., 2001. Zmienność warunków agrometeorologicznych okolic Bydgoszczy w latach 1951-2000 na przykładzie Mochełka. *Przeł. Nauk. WliKŚ SGGW, z.21*, s.67-74.
- [125] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk R., 2004. Zmienność czasowa okresów rolniczych w rejonie Bydgoszczy w latach 1971-2000. *Pr. Komis. Nauk Rol. i Biol. BTN, seria B, nr52*, s.393-402.
- [126] Żarski J., Dudek S., Rzekanowski Cz., 2005. Zapobieganie skutkom posuch na przykładzie wieloletnich badań z deszczowaniem jęczmienia jarego. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie, t.5, z.14*, s.383-392.
- [127] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk R., 2007. Zmienność ekstremalnej temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w latach 1971-2005. *Acta Agrophysica*, 2007, 9(2), s.541-547.
- [128] Żarski J., Dudek S., 2009. Zmienność czasowa potrzeb nawadniania wybranych roślin w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr3*, s.141-149.

- [129] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Banaszewska D., 2009. Charakterystyka okresu wegetatywnego w rejonie Bydgoszczy w latach 1949-2008. *Ekologia i Technika*, vol. XVII, nr3, s.120-126.
- [130] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., 2010. Tendencje zmian temperatury powietrza w okolicy Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr2, s.131-141.
- [131] Żarski J., 2011. Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 5, s.29-37.
- [132] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., 2011. Potrzeby i efekty nawadniania ziemniaka na obszarach szczególnie deficytowych w wodę. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 5, s.175-182.
- [133] Żarski J., 2012. Tendencje zmian agroklimatu rejonu Bydgoszczy w latach 1981-2010. W: *Bydgoskie Kolokwium Wiedzy O Ziemi 2002-2012*. Praca Zbior. pod red. nauk. Marka Bielińskiego. Bydgoskie Towarzystwo Naukowe, s.85-104.
- [134] Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R., Dudek S., 2012. Tendencje zmian termicznych okresów rolniczych w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr3/I, s.7-17.
- [135] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Rolbiecki R., Rolbiecki S., 2013. Prognozowanie efektów nawadniania roślin na podstawie wybranych wskaźników suszy meteorologicznej i rolniczej. *Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, Rocznik Ochrona Środowiska*, t.15, s.2185-2203.
- [136] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Januszewska-Kłapa K., 2013a. Ocena potrzeb i przewidywanych efektów deszczowania zbóż jarych w regionie kujawsko-pomorskim. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 1/II, s.97-107.
- [137] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Januszewska-Kłapa K., 2013b. Ocena potrzeb i przewidywanych efektów deszczowania kukurydzy uprawianej na ziarno w regionie kujawsko-pomorskim. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 3/IV, s.77-90.
- [138] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Rolbiecki R., Rolbiecki S., 2013c. prognozowanie efektów nawadniania roślin na podstawie wybranych wskaźników suszy meteorologicznej i rolniczej. *Rocznik Ochrony Środowiska*, t.15, s.1185-2203.
- [139] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Bojar W., Knopik L., Żarski W., 2014. Agroklimatologiczna ocena opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr II/3, s.643-656.
- [140] Żmudzka E., Dobrowolska M., 2001. Termiczny okres wegetacyjny w Polsce – zróżnicowanie przestrzenne i zmienność czasowa. *Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW*, z.21, 75-79.

- [141] Żmudzka E., 2004. Tło klimatyczne produkcji rolniczej w Polsce w drugiej połowie XX wieku. *Acta Agrophysica*, 3(2), s.399-408.

SPIS TABEL

Tabela 1. Średnia wieloletnia (1981-2010) temperatura powietrza w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego [°C] wraz z charakterystykami zmienności czasowej.....	32
Tabela 2. Zmiany temperatury powietrza [°C] w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w wieloleciu od 1981 do 2010 roku wraz ze współczynnikami korelacji (r) charakteryzującymi zależność liniową	35
Tabela 3. Porównanie wskaźników zmienności czasowej temperatury powietrza w okresach 1981-1995 i 1996-2010 w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego	38
Tabela 4. Charakterystyka wskaźników okresu gospodarczego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010.....	40
Tabela 5. Skrócenie okresu gospodarczego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010.....	41
Tabela 6. Porównanie zmienności czasowej wskaźników okresu gospodarczego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010	43
Tabela 7. Charakterystyka wskaźników okresu wegetacyjnego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010.....	44
Tabela 8. Skrócenie okresu wegetacyjnego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010.....	45
Tabela 9. Porównanie zmienności czasowej wskaźników okresu wegetacyjnego w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010	47
Tabela 10. Charakterystyka wskaźników okresu aktywnego wzrostu roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010	48
Tabela 11. Skrócenie okresu aktywnego wzrostu roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010.....	49
Tabela 12. Porównanie zmienności czasowej wskaźników okresu aktywnego wzrostu roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010	52
Tabela 13. Charakterystyka wskaźników okresu dojrzewania roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010	53
Tabela 14. Skrócenie okresu dojrzewania roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010.....	54

Tabela 15. Porównanie zmienności czasowej wskaźników okresu dojrzewania roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010	56
Tabela 16. Liczba dni z przymrozkiem przygruntowym w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010.....	58
Tabela 17. Liczba dni z przymrozkiem przygruntowym silnym (TMIN5< -3,9°C) w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010	59
Tabela 18. Porównanie zmienności czasowej liczby dni z przymrozkiem przygruntowym w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010	63
Tabela 19 Porównanie zmienności czasowej liczby dni z przymrozkiem przygruntowym silnym (TMIN5< -3,9°C) w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010	63
Tabela 20. Daty występowania oraz długość okresu bez przymrozków przygruntowych w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010.....	65
Tabela 21. Porównanie zmienności czasowej dat występowania przymrozków oraz długości okresu bez przymrozków w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010	69
Tabela 22. Średnie wieloletnie (1981-2010) sumy opadów atmosferycznych w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego [mm] wraz z charakterystykami zmienności czasowej	72
Tabela 23. Zmiany bezwzględnych sum opadów atmosferycznych [mm] w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w wieloleciu od 1981 do 2010 roku wraz ze współczynnikami korelacji (r) charakteryzującymi zależność liniową.....	74
Tabela 24. Zmiany znormalizowanych sum opadów atmosferycznych [mm] w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w wieloleciu od 1981 do 2010 roku wraz ze współczynnikami korelacji (r) charakteryzującymi zależność liniową	74
Tabela 25. Porównanie wskaźników zmienności czasowej opadów atmosferycznych w okresach 1981-1995 i 1996-2010 w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego	77
Tabela 26. Liczba dni z opadem atmosferycznym w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010.....	79
Tabela 27. Porównanie zmienności czasowej liczby dni z opadem atmosferycznym w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010	84

Tabela 28.	Niedobory opadów atmosferycznych wybranych upraw w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-2010 (mm).....	90
Tabela 29.	Porównanie zmienności czasowej niedoborów opadów atmosferycznych wybranych upraw w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego w latach 1981-1995 i 1996-2010	92

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Położenie stacji pomiarowych: 1 – Chrzastowo, 2 – Głębokie, 3 – Głodowo.....	26
Rysunek 2. Przebiegi roczne średnich wieloletnich, najwyższych i najniższych w wieloleciu średnich miesięcznych temperatur powietrza oraz odchylenia standardowego (s).....	31
Rysunek 3. Trendy wzrostu temperatury powietrza półrocza letniego (IV-IX) w okresie od 1981 do 2010 roku.....	37
Rysunek 4. Długość okresu gospodarczego w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego	42
Rysunek 5. Długość okresu wegetacyjnego w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego	46
Rysunek 6 Długość okresu aktywnego wzrostu roślin w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego	52
Rysunek 7. Długość okresu dojrzewania roślin w kolejnych latach 1981-2010 wraz z trendem i tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego	56
Rysunek 8. Liczba dni z przymrozkiem przygruntowym wiosennym w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	61
Rysunek 9. Liczba dni z przymrozkiem przygruntowym jesiennym w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	62
Rysunek 10. Data ostatniego przymrozku przygruntowego wiosennego w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	67
Rysunek 11. Data pierwszego przymrozku przygruntowego jesiennego w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	68
Rysunek 12. Długość okresu bez przymrozków przygruntowych w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	69
Rysunek 13. Porównanie miesięcznych sum opadów atmosferycznych półrocza ciepłego (IV-IX) w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego	71
Rysunek 14. Wybrane trendy i tendencje zmian opadów atmosferycznych w okresie od.....	76
Rysunek 15. Porównanie liczby dni z opadem w miesiącach półrocza ciepłego (IV-IX) w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego	80

Rysunek 16. Porównanie liczby dni z opadem większym od 9,9 mm w miesiącach półrocza ciepłego (IV-IX) w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	80
Rysunek 17. Wybrane trendy i tendencje zmian liczby dni z opadem atmosferycznym w okresie od 1981 do 2010 roku w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	83
Rysunek 18. Poziom uwilgotnienia poszczególnych miesięcy i okresów według wskaźnika RPI w kolejnych latach 1981-2010 w Chrzastowie	86
Rysunek 19. Poziom uwilgotnienia poszczególnych miesięcy i okresów według wskaźnika RPI w kolejnych latach 1981-2010 w Głodowie	87
Rysunek 20. Poziom uwilgotnienia poszczególnych miesięcy i okresów według wskaźnika RPI w kolejnych latach 1981-2010 w Głębokim	88
Rysunek 21. Niedobory opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych (V-VI) zbóż jarych w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	93
Rysunek 22. Niedobory opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych (VII-VIII) kukurydzy w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	94
Rysunek 23. Niedobory opadów atmosferycznych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych (VII-VIII) ziemniaka w kolejnych latach 1981-2010 wraz z tendencją zmian w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego.....	95

STRESZCZENIE

Tendencje zmian klimatycznego ryzyka uprawy roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego

Głównym celem podjętych badań była agroklimatologiczna ocena zmienności czasowej wskaźników klimatycznego ryzyka uprawy roślin w wybranych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego. Cele szczegółowe obejmowały określenie kierunku, zakresu i stopnia istotności zmian tych wskaźników w wieloleciu 1981-2010 oraz ocenę ich zmienności czasowej w latach 1996-2010, w porównaniu z poprzednim 15-leciem 1981-1995, prowadzącą do wykazania ewentualnego narastania ekstremalności stanów pogodowych, a zatem zwiększania się klimatycznego ryzyka uprawy roślin wraz z upływem czasu.

W badaniach wykorzystano dane meteorologiczne pozyskane z Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych – SDOO w Chrzastowie (Pojezierze Krajeńskie) oraz z dwóch ZDOO w Głębokim (Pojezierze Gnieźnieńskie) i Głodowie (Pojezierze Dobrzyńskie), dotyczące średnich miesięcznych temperatur powietrza, dobowych wysokości opadów atmosferycznych w okresie od 1 kwietnia do 30 września oraz dobowych minimalnych temperatur przy gruncie w okresie od 1 marca do 31 października. Na tej podstawie wyznaczono wskaźniki agrometeorologiczne określające termiczne warunki produkcji roślinnej, obejmujące temperaturę powietrza, klimatologiczne okresy rolnicze oraz przymrozki oraz warunki opadowe produkcji rolniczej, w tym posuchy atmosferyczne i rolnicze.

W wyniku badań stwierdzono, że wartości i przebiegi roczne temperatury powietrza w analizowanych miejscowościach województwa kujawsko-pomorskiego były typowe dla klimatu centralnej części Polski. Temperatura powietrza cechowała się niewielką zmiennością przestrzenną i bardzo dużą zmiennością czasową, zwłaszcza w miesiącach zimowych. Charakteryzowały ją różne, opisane równaniami regresji liniowej, zmiany wraz z upływem czasu od 1981 do 2010 roku, które okazały się istotne w 25% analizowanych przypadków. Wszystkie istotne zmiany wskazywały na wzrost temperatury i dotyczyły kwietnia, półrocza letniego, lata oraz okresu wzmożonych potrzeb wodnych kukurydzy i ziemniaków (VII-VIII). Średnie daty początku i końca oraz długość trwania okresów rolniczych cechowały się także bardzo dużą zmiennością czasową, ale nie wykazywały istotnych trendów zmian wraz z upływem czasu. Wszystkie okresy rolnicze cechowała jednak tendencja zwiększenia długości trwania w wieloleciu 1981-2010. Charakterystyki przygruntowych przymrozków w wybranych miejscowościach regionu wykazywały wyraźne zróżnicowanie przestrzenne, wynikające z lokalnych warunków fizjograficznych. Liczba dni z przymrozkami przygruntowymi, daty ich występowania oraz długości okresu bez przymrozków nie zmieniały się istotnie w badanym wieloleciu.

Wysokości i rozkłady opadów atmosferycznych były typowe dla klimatu centralnej części Polski. Cechowała je bardzo duża zmienność z „roku na rok”, różnice w latach występowania ekstremów oraz w większości przypadków tendencje wzrostowe wraz z upływem czasu. Posuchy atmosferyczne stanowiły częsty, pojawiający się nieregularnie w 38,4% lat, niekorzystny element agroklimatu województwa kujawsko-pomorskiego. Największa częstotliwość posuch atmosferycznych cechowała warunki Głębokiego, a najmniejsza Głódowa. Więcej miesięcy i okresów skrajnie i bardzo suchych wystąpiła w wieloleciu 1981-1995, w porównaniu z okresem 1996-2010. Podstawową, niekorzystną cechą gospodarowania była bardzo duża zmienność czasowa zaopatrzenia roślin w wodę w kolejnych sezonach wegetacji i okresach wzmożonych potrzeb wodnych roślin. Nie stwierdzono jednak istotnych trendów zmian niedoborów opadowych w uprawie zbóż jarych, ziemniaków i kukurydzy w wieloleciu 1981-2010. Podsumowując można stwierdzić, że parametry agrometeorologiczne i wskaźniki klimatycznego ryzyka uprawy roślin w ciągu lat 1981-2010, składających się na najbardziej aktualny okres normalny, nie podlegały w większości ukierunkowanym, istotnym zmianom. Nie stwierdzono również w większości przypadków, wzrostu ich ekstremalności. Twierdzenie o obserwowanych zmianach warunków agroklimatycznych województwa kujawsko-pomorskiego należy zatem traktować z dużą ostrożnością.

SUMMARY

Tendencies of changes in the climatic risk of growing crops in selected locations of the kujawsko-pomorskie province

The key objective of the present research has been to provide an agr climatological evaluation of time variation of the indicators of climatic risk of growing crops in selected locations of the kujawsko-pomorskie province. The specific objectives involved determining the direction, scope and the level of significance of the indicators changes in the 1981-2010 multiannual period and the evaluation of their time variation in 1996-2010, as compared with the preceding 15-year period of 1981-1995, leading to demonstrate any potential increase in extreme weather conditions and thus an increasing climatic risk of growing crops with time.

The research involved the use of meteorological data acquired from the Research Centre for Cultivar Testing, Experiment Station for Cultivar Testing at Chrzastowo (Krajeńskie Lakeland) and from two Experiment Departments for Cultivar Testing at Głębokie (Gnieźnieńskie Lakeland) and at Głódowa (Dobrzyńskie Lakeland), concerning mean monthly air temperatures, daily precipitation from 1 April to 30 September and daily minimum temperatures at ground from 1 March to 31 October, applied to determine agrometeorological

indices defining the thermal conditions of plant production, including air temperature, climatological agricultural periods and ground frosts as well as the precipitation conditions of plant production, including weather and agricultural semi-droughts.

The research showed that the values and annual patterns of air temperatures in the analysed locations of the kujawsko-pomorskie province were typical for the climate of the central part of Poland. The air temperature demonstrated a slight spatial variation and a very high time variation, especially in winter months. The research identified various changes, described with linear regression equations, with time from 1981 to 2010, which were significant in 25% of the cases analysed. All the significant changes pointed to an increase in temperature and concerned April, summer half-year, summer and the period of intensified water requirements in corn and potato (July through August). The mean dates of the beginning and the end as well as the length of agricultural periods also demonstrated a very high time variation, however they did not show any significant trends of changes with time. All the agricultural periods, however, were identified with a tendency to an increased length in the 1981-2010 multiannual period. The characteristics of frost grounds in the selected locations of the region showed a clear spatial variation resulting from local physiographic conditions. The number of days with ground frosts, their dates and the lengths of the period without ground frosts did not change significantly in the multiannual period analysed.

The precipitation and its patterns were typical for the climate of the central part of Poland; a very high variation 'with each year', differences in the years of the occurrence of extreme values as well as, in most cases, growth tendencies with time. Atmospheric semi-droughts constituted a frequent, irregular in 38.4% of years, unfavourable element of the agriclimate of the kujawsko-pomorskie province. The highest frequency of atmospheric semi-droughts was reported for the conditions of Głębokie, and the lowest - for Głodowo. More months as well as extremely and very dry periods occurred in the multiannual period of 1981-1995, as compared with the 1996-2010 period. The basic unfavourable characteristic of farming was a very high time variation in the supply of plants with water in successive vegetation periods and the periods of intensified water requirements of the plants. There were reported, however, no significant trends in the changes of precipitation deficits in the cultivation of spring cereals, potato and corn in the 1981-2010 multiannual period. To recapitulate, one can state that the agrometeorological parameters and the indicators of a climatic risk of growing crops in 1981-2010, making up the most up-to-date normal period, did not undergo, mostly, targeted significant changes. Neither was there observed, in most cases, any increase in extreme values. The statement of observed changes in the agroclimatic conditions of the kujawsko-pomorskie province must be thus considered with much caution.