

ZMIENNOŚĆ TEMPERATURY POWIETRZA I OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W POLSCE PÓŁNOCNEJ I JEJ WPŁYW NA PRODUKTYWNOŚĆ ROLNICZĄ KLIMATU

Barbara Banaszekiewicz

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

1 WPROWADZENIE I CEL BADAŃ

W klimacie umiarkowanym Europy o plonowaniu roślin uprawnych decydują w zasadzie dwa elementy meteorologiczne: temperatura i opady; przy czym gdy w Europie północnej występuje niedobór energii cieplnej (z punktu widzenia rolnictwa) w Europie południowej z kolei w niedoborze jest opad [3]. Szczególną osobliwością klimatu Polski jest możliwość wystąpienia obydwu tych elementów zarówno w niedoborze jak i nadmiarze; przy czym optymalne warunki termiczno-opadowe występują mniej więcej w jednej trzeciej lat.

Rekonstrukcje historii klimatu oraz wyniki badań instrumentalnych wykazują, że zarówno w dalekiej przeszłości jak i w czasie zmian klimatycznych obejmujących ostatnie 10 000 lat, warunki klimatyczne nie były niezmiennie, a z przyczyn naturalnych i pod wpływem wzrostu efektu cieplarnianego wywołanego czynnikiem antropogenicznym warunki te mogą ulec znacznej zmianie w niedalekiej przyszłości [1, 10].

Istnieje bogata literatura, w której ocenia się wpływ bezpośredni i pośredni pogody i klimatu na wzrost, rozwój i plonowanie roślin uprawnych, natomiast stosunkowo niedawno zaczęto podejmować badania wpływu zmian klimatu na rolnictwo w Polsce. Większość opracowań dotyczących tego zagadnienia oparta jest na modelach ogólnej cyrkulacji atmosfery, a problem rozwiązywany jest głównie w formie założonych scenariuszy prognozujących różne następstwa efektu cieplarnianego dla środowiska [12, 13].

Wobec znacznego zróżnicowania i dużego stopnia niepewności scenariuszy klimatycznych,

prognozujących bardzo różne następstwa dla środowiska efektu cieplarnianego i przy dużym zapotrzebowaniu praktyki rolniczej na różnego rodzaju prognozy, konieczne jest rozszerzanie charakterystyk klimatu o opis jego rzeczywistej zmienności uwzględniający potrzeby roślin uprawnych w celu umożliwienia przewidywania kształtowania się plonu pod wpływem spodziewanych zmian warunków meteorologicznych w bliskiej przyszłości.

W niniejszej pracy podjęta została próba zbadania wpływu klimatycznej zmienności temperatury powietrza oraz opadów atmosferycznych w północnej Polsce na plonowanie wybranych roślin uprawnych.

2 MATERIAŁY I METODY

W analizie związków między plonowaniem roślin uprawnych a warunkami meteorologicznymi występują zawsze poważne trudności z uzyskaniem reprezentatywnych i jednorodnych danych o plonowaniu. Trudności te potęguje konieczność prowadzenia analizy statystycznej na również reprezentatywnych, jednorodnych i długich seriach danych meteorologicznych [4, 11]. Przyśpieszając do opracowania wpływu zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na plonowanie badanych roślin na obszarze Polski północnej, kierowano się możliwością doboru stacji meteorologicznych o długich i jednorodnych seriach danych pomiarowych.

W pracy wykorzystano następujące dane meteorologiczne: średnie miesięczne wartości temperatury powietrza i miesięczne sumy opadów za okres 1851-1990 r. dla Koszalina oraz

dla Szczecina, Szczecinka, Kościerzyny, Olsztyna i Suwałk za lata 1951-1990. Uzyskane materiały dla Koszalina stanowiły podstawę dla prowadzonych analiz dotyczących długookresowych zmian temperatury i opadów; 40-letnie szeregi z lat 1951-1990 wykorzystano do opracowań zależności plon - pogoda oraz do porównań wartości średnich i tendencji w różnych wieloletniach. Na podstawie wstępnych analiz wykazano, że obserwowane zmiany średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza i miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Koszalinie są w przeważających przypadkach reprezentatywne dla całego obszaru Polski północnej.

Materiały dotyczące plonowania stanowiły plony ziemniaków późnych uśrednione z czterech odmian z lat 1957- 1977 oraz średnie plony trzech zrejonizowanych odmian pszenicy jarej i jęczmienia jarego, z lat 1966-1985 pochodzące ze stacji doświadczalnych oceny odmian w Chełchach, Kuniku, Rychlikach, Zielonej i Wrocikowie. Zależność między plonem badanych roślin i warunkami opadowo-termicznymi zbadano metodą regresji wielokrotnej krokowej po usunięciu istotnego trendu liniowego występującego w niektórych stacjach oceny odmian. Wyniki analizy pogoda - plon pozwoliły na ustalenie parametrów termicznych i opadowych istotnie wpływających na plonowanie badanych roślin dla których zostały wykonane obliczenia okresowości.

Badania struktury harmonicznego szeregu czasowego wykonano metodą analizy pojedynczego widma (Fouriera). Analiza widmowa (spektralna) oparta jest na założeniu, że szereg czasowy zbudowany jest z fal sinusowych i cosinusowych o różnych częstotliwościach [2, 14], który można opisać wzorem:

$$x_t = a_0 + (\sum_k \{a_k * \cos[2\pi f_k (t-1)]\} + \{b_k * \sin[2\pi f_k (t-1)]\})$$

gdzie:

$$a_0 = \bar{x},$$

$2\pi f_k$ - częstotliwość wyrażana w radianach na jednostkę czasu.

Analizę przeprowadzono dla szeregów przefiltrowanych (Filtr 4253H), bez średniej i trendu liniowego dla okna Hamminga (5). Filtr 4253H zastosowany do wygładzenia danych jest mocnym filtrem, zachowującym charakterystyczne właściwości szeregu pierwotnego -

przekształcenie obejmuje kilkakrotne wygładzanie przy pomocy średniej/mediana ruchomej, przez co nadaje się mniejszą wagę oscylacjom o krótkim okresie. [14]. Oceny gęstości widmowej dokonano stosując tzw. okno Hamminga o szerokości 5. W oknie Hamminga (Tukeya-Hamminga) dla każdej częstotliwości wagi dla ważonej średniej ruchomej wartości periodogramu oblicza się jako:

$$w_j = 0,54 + 0,46 * \cos(p * j/p) \text{ (dla } j = 0 \text{ do } p)$$

$$w_{-j} = w_j \text{ (dla } j \neq 0) \text{ gdzie } p = (m-1)/2$$

m - szerokość okna

Wartości periodogramu oblicza się następująco:

$$p_k = \sin^2 \nu_k * \cos^2 \nu_k * \frac{N}{2}$$

gdzie:

p_k jest wartością periodogramu przy częstotliwości ν_k , a

N jest długością szeregu.

Istotność okresowości badano testami Kołmogorowa-Smirnowa d Bartletta dla jednej próbki oraz testem Fishera Kappa (podającym wartości przewyższenia maksymalnego periodogramu powyżej średniej periodogramu). Istotność okresowości wybranych danych meteorologicznych dla plonów badano również poprzez dopasowanie rozkładu wykładniczego - testując rozkład wartości periodogramu względem rozkładu wykładniczego, można sprawdzić, czy szereg wejściowy różni się od białego szumu. Parametry dominujących cykli posłużyły do obliczenia wartości elementów meteorologicznych występujących w równaniu regresji. Do obliczeń przyjęto kolejno parametry trzech (w przypadku pszenicy jarej i jęczmienia jarego) oraz czterech (w przypadku ziemniaków późnych) pierwszych składowych periodogramu. Obliczono również wartości klimatycznego wskaźnika plonu badanych roślin [8, 9]. Estymacji dokonano dla lat 1951-2030 w celu wykazania w dłuższym okresie czasu wpływu cykliczności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na wzrost i spadek wysokości plonu. Weryfikację wykonanych obliczeń przeprowadzono porównując plony rzeczywiste pszenicy jarej i jęczmienia jarego badanych lat z plonami estymowanymi dla tego okresu, obliczając zmienność plonu z roku na

rok V oraz średni procentowy błąd oceny dopasowania funkcji ED [6, 7, 8].

$$V = \frac{\max Y^{(i)}}{\min Y^{(i)}} * 100\%$$

Średnie procentowe błędy oceny dopasowania funkcji obliczono wg wzoru:

$$ED = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}|}{y_i} * 100\%$$

gdzie:

y_i - wartości rzeczywiste plonów,

\hat{y}_i - wartości obliczone plonów,

n - liczba lat branych dla określenia wskaźnika.

Uznaje się:

przy $V \leq 250\%$, gdy $ED \leq 15\%$ - za dopasowanie bardzo dobre; przy $ED \leq 20\%$ - za dopasowanie dobre oraz przy $ED \leq 25\%$ za dopasowanie dostateczne.

3 WYNIKI

3.1 Zależność plonu badanych roślin od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych

Przeprowadzone analizy wykazały (tab. 1), że model regresji wielokrotnej dla ziemniaka póź-

nego charakteryzuje się wysokim współczynnikiem korelacji wielokrotnej ($R=0,75$) i współczynnikiem determinacji ($R^2*100=53,7\%$). Dodatni wpływ na plonowanie ziemniaków późnych ma wyższa od średniej temperatura czerwca i września oraz wyższa od średniej suma opadów atmosferycznych okresu VII - IX.

Współczynniki korelacji wielokrotnej w równaniach regresji dla zbóż są również dość wysokie wynosząc 0,59 dla pszenicy jarej i 0,64 dla jęczmienia jarego. Współczynniki determinacji (niższe w równaniach dla zbóż niż w przypadku modelu regresji dla ziemniaków późnych) wynoszą 34,6% dla pszenicy jarej i 41,1% dla jęczmienia jarego. Głównym czynnikiem oddziaływującym na plon pszenicy jarej i jęczmienia jarego okazała się temperatura średnia IV dla pszenicy jarej i temperatura średnia okresu IV-V dla jęczmienia jarego. Plony tych roślin wzrastały wraz ze wzrostem tych temperatur. Ujemny wpływ na plonowanie obu roślin wywierała temperatura średnia okresu VI-VII; obie rośliny reagowały spadkiem plonu na wzrost temperatury tego okresu. Zależność plonu od temperatury średniej okresu VI-VII u pszenicy jarej była krzywoliniowa. Plony obu roślin malały również wraz ze wzrostem miesięcznych sum opadów atmosferycznych VI - w przypadku pszenicy jarej oraz sum opadów okresu IV-VI w przypadku jęczmienia jarego.

Tabela 1. Zależność plonu wybranych roślin uprawnych od warunków meteorologicznych.

Roślina	Równanie regresji	Składniki równań	R	$R^2*100\%$	F	Syx	SD
Ziemniaki późne	$y = -32,9545 + 1,4880x_1 + 0,0367x_2 + 2,5114x_3$	x_1 = średnia mies. temperatura VI x_2 = suma mies. opadów (VII-IX) x_3 = średnia mies. temperatura IX	0,75	53,65	18,37	+ - 3,67	5,38
Pszenica jara	$y = 2,2573x_1 - 0,1610x_2 - 0,0091x_3 - 0,0094x_4$	x_1 = średnia mies. temperatura IV x_2 = kwadrat temp. średniej miesięcznej IV x_3 = kwadrat średniej temp. (VI-VII) x_4 = suma miesięczna opadów VI	0,59	34,57	6,87	+ - 0,69	0,82
Jęczmień jary	$y = 2,4466x_1 - 0,1161x_2 - 0,4114x_3 - 0,0068x_4$	x_1 = temperatura średnia (IV-V) x_2 = kwadrat temperatury średniej (IV-V) x_3 = temperatura średnia (VI-VII) x_4 = suma opadów (IV-VI)	0,64	41,08	8,54	+ - 0,69	0,87

R – współczynnik korelacji wielokrotnej

$R^2 * 100\%$ – współczynnik determinacji

F – test Snedecora

Syx – błąd standardowy równania

SD – odchylenie standardowe [t/ha]

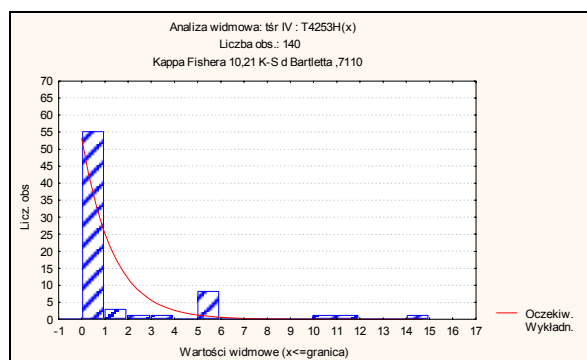
3.2 Okresowość zmian elementów meteorologicznych istotnych dla plonowania badanych roślin

Wyniki analizy zależności plon - pogoda pozwoliły na ustalenie parametrów termicznych i opadowych istotnych dla plonowania badanych roślin dla których zostały wykonane obliczenia okresowości. Badanie rozkładu wartości periodogramów wybranych elementów meteorologicznych Koszalina z lat 1851-1990, względem rozkładu wykładniczego wykazało, że szeregi wyjściowe różnią się od białego szumu na poziomie $\alpha=0,001$, z wyjątkiem temperatury średniej miesięcznej VI o poziomie $\alpha=0,01$. Zestawienie wyników analizy widmowej dotyczących czterech najsilniejszych wahań cyklicz-

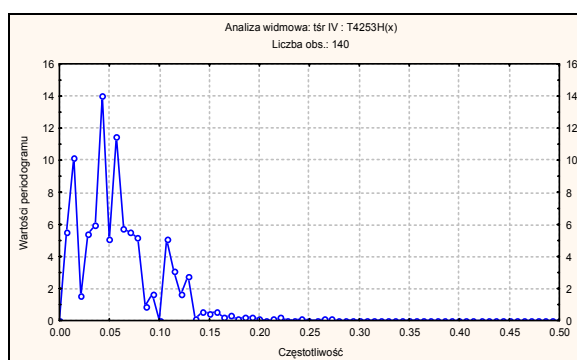
nych elementów meteorologicznych Koszalina z lat 1851-1990 roślin zawiera tabela 2. Obliczone wartości wybranych elementów meteorologicznych dla lat 1851-2030, zawierają od 36,0% (w przypadku temperatury średniej okresu IV-V) do 65,0% (w przypadku średniej miesięcznej temperatury IX) całkowitej wartości periodogramu. Na rysunkach 1ab przedstawiono histogramy wartości periodogramów i periodogramy elementów meteorologicznych z wynikami testów Kołmogorowa - Smirnowa i Bartletta dla jednej próbki, testu Fishera Kappa wraz z wykreśloną na wykresach histogramów wartości periodogramów linią odpowiadającą rozkładowi wykładniczemu.

Tabela 2. Wyniki analizy widmowej elementów meteorologicznych Koszalina z lat 1851-1990 istotnych dla plonowania ziemniaka późnego, pszenicy jarej i jęczmienia jarego. Największe wartości periodogramu.

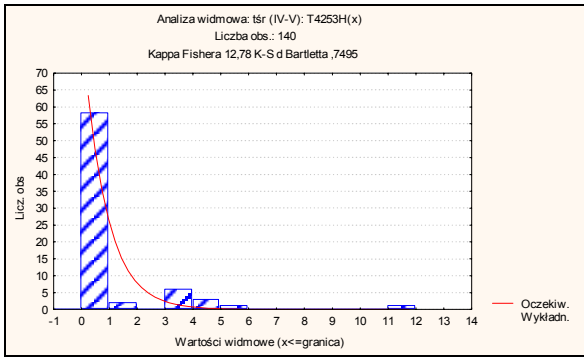
Elementy meteorologiczne	Okres (lata)	Periodog.	Gęstość	Elementy meteorologiczne	Okres (lata)	Periodog.	Gęstość
Średnia miesięczna temperatura IV	23,33	14,0209	9,5187	Średnia miesięczna temperatura IX	70,00	24,2480	12,3271
	17,50	11,4767	8,4150		28,00	4,2110	2,5333
	70,00	10,1915	6,4441		20,00	4,1561	2,2987
	28,00	5,9472	7,5764		140,00	4,0979	7,8884
Temperatura. średnia okresu IV-V	20,00	11,0763	7,4500	Suma miesięczna opadów atm. VI	35,00	10948,2	6396,4
	14,00	5,6754	4,5165		20,00	7666,9	4472,8
	17,50	4,7895	6,0121		9,33	6383,2	3853,5
	28,00	4,6348	4,1213		70,00	3843,3	2966,2
Średnia miesięczna temperatura VI	20,00	9,3296	5,6033	Suma opadów atm. okresu IV-VI	14,00	18007,8	12364,9
	70,00	8,3162	6,3444		15,56	14975,2	11524,9
	28,00	7,8874	5,5544		70,00	9254,5	4769,7
	140,00	6,2925	5,1793		10,00	7382,0	4016,5
Temperatura średnia okresu VI-VII	28,00	6,8206	4,9546	Suma opadów atm. okresu VII-IX	140,00	29736,4	15991,1
	35,00	5,3669	4,7700		28,00	22941,6	17464,8
	70,00	3,5439	2,6140		15,56	19834,8	10127,1
	46,67	2,2016	3,4204		35,00	18786,5	15522,5



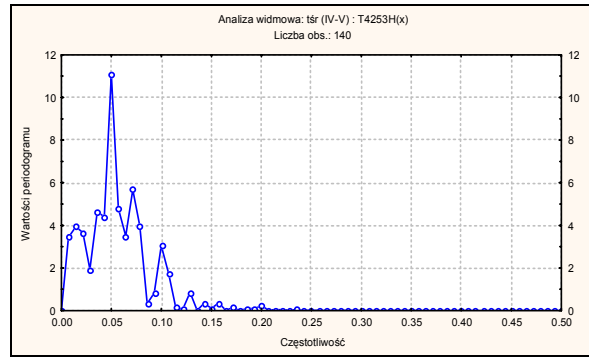
Rys. 1 a. Histogram wartości periodogramu.



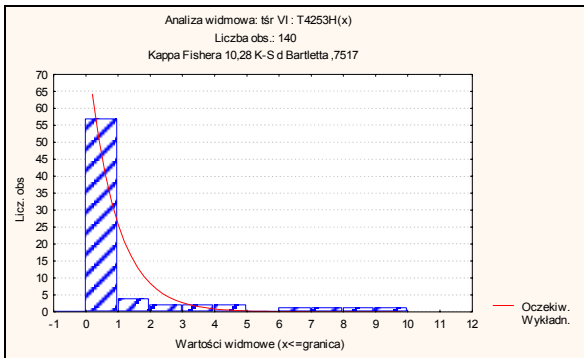
Rys. 1 b. Periodogram średniej miesięcznej temperatury IV w Koszalinie (1851-1990).



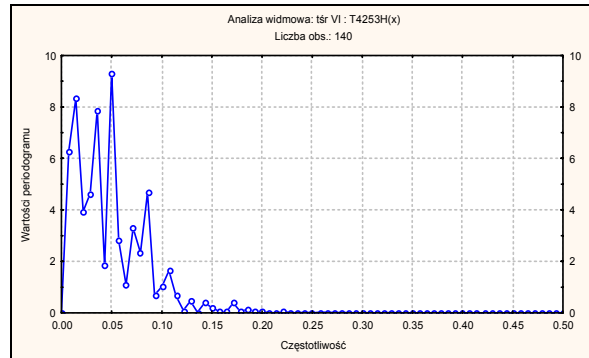
Rys. 2 a. Histogram wartości periodogramu.



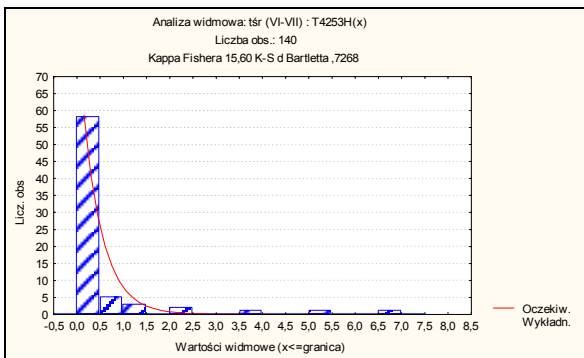
Rys. 2 b. Periodogram średniej temperatury okresu (IV_V) w Koszalinie (1851-1990).



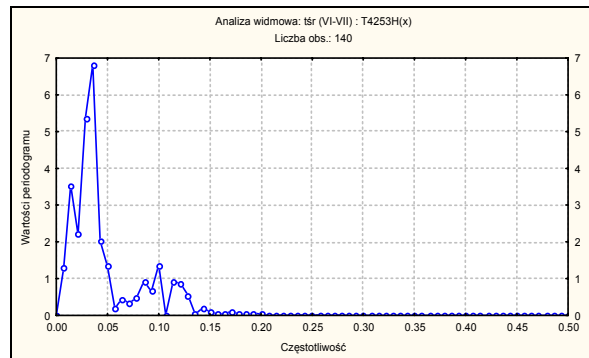
Rys. 3 a. Histogram wartości periodogramu.



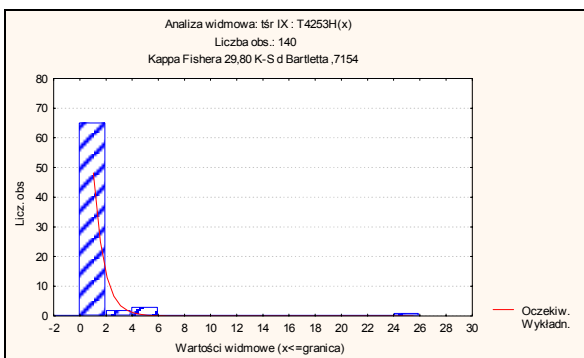
Rys. 3 b. Periodogram średniej miesięcznej temperatury VI w Koszalinie (1851-1990).



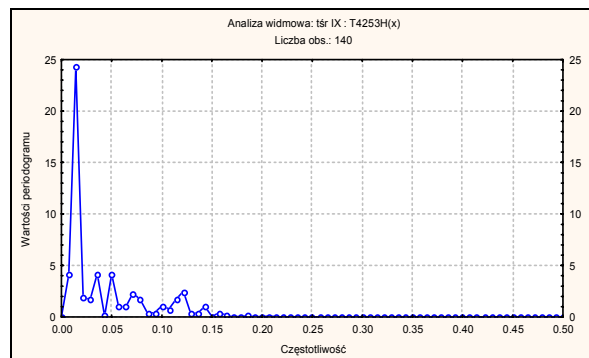
Rys. 4 a. Histogram wartości periodogramu.



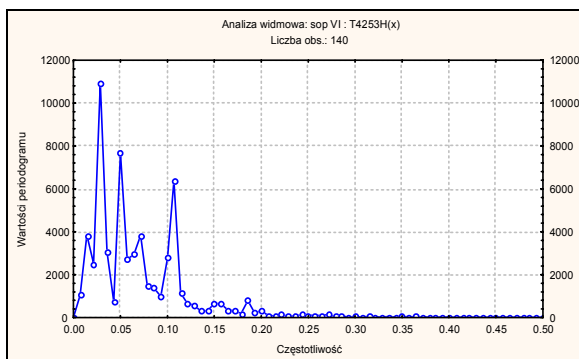
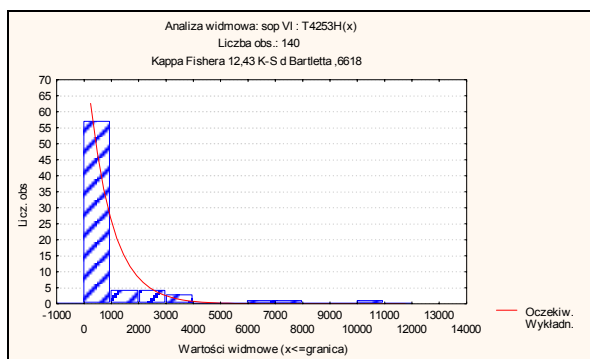
Rys. 4 b. Periodogram średniej temperatury okresu (VI-VII) w Koszalinie (1851-1990).



Rys. 5 a. Histogram wartości periodogramu.

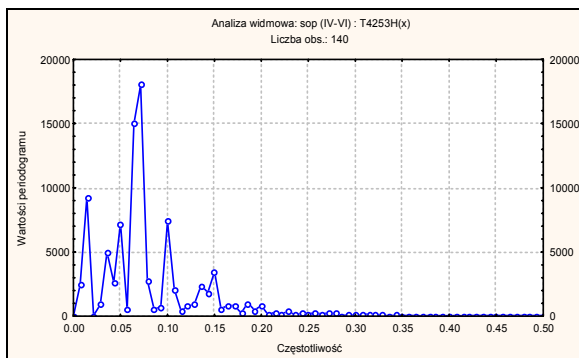
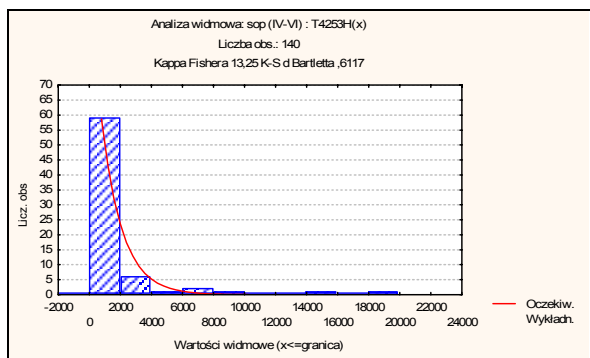


Rys. 5 b. Periodogram średniej miesięcznej temperatury IX w Koszalinie (1851-1990)



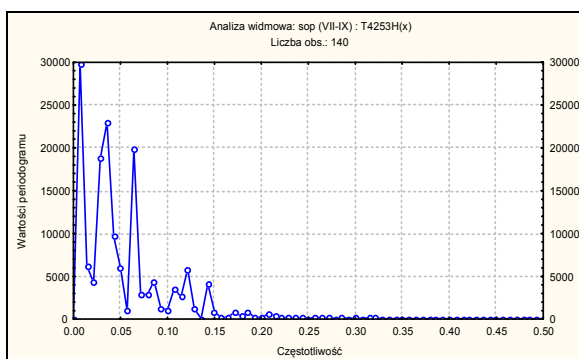
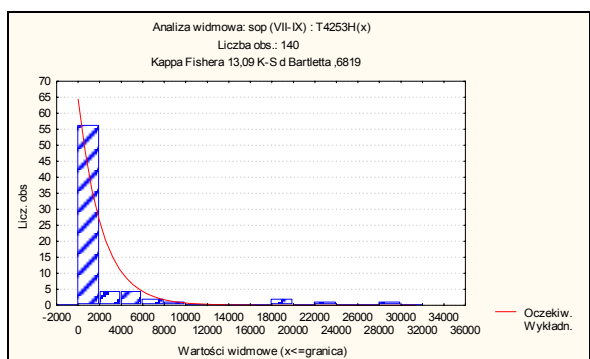
Rys. 6 a. Histogram wartości periodogramu.

Rys. 6 b. Periodogram miesięcznych sum opadów VI w Koszalinie (1851-1990).



Rys. 7 a. Histogram wartości periodogramu.

Rys. 7 b. Periodogram opadów okresu (IV-VI) w Koszalinie (1851-1990).



Rys. 8 a. Histogram wartości periodogramu.

Rys. 8 b. Periodogram opadów okresu (VII-IX) w Koszalinie (1851-1990).

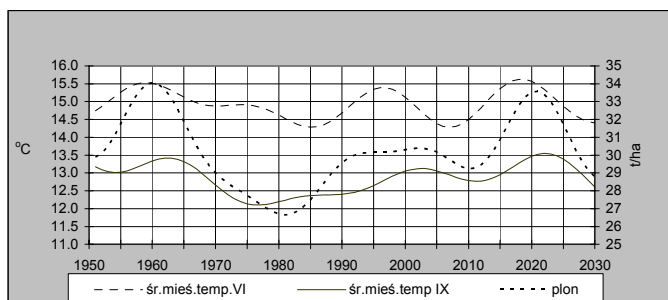
4 OKRESOWOŚĆ ZMIAN WARUNKÓW TERMICZNO-OPADOWYCH A PŁONOWANIE ZIEMNIAKÓW PÓŹNYCH, PSZENICY JAREJ I JĘCZMIENIA JAREGO

4.1 Ziemniaki późne

Warunki termiczno-opadowe lat 1957-1977 istotne dla plonowania ziemniaków późnych charakteryzują: średnia miesięczna temperatura VI o wartościach od 13,4°C do 19,0°C; średnia miesięczna temperatura IX o wartościach od

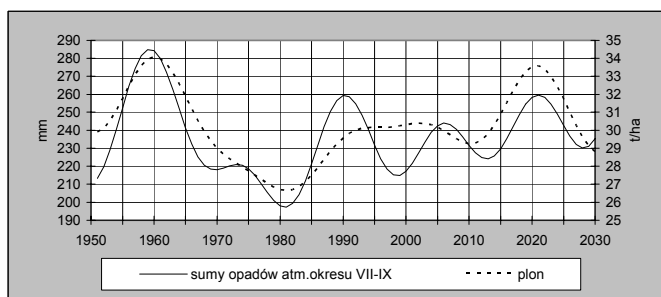
10,1°C do 15,5°C i sumy opadów okresu VII-IX od 91 mm do 445 mm. Plony ziemniaka późnego w badanych latach wahały się od 18,6 do 42,1 t/ha; wynosząc średnio 30,4 t/ha. Wartości obliczonej dla lat 1957-1977 średniej miesięcznej temperatury VI wahały się od 14,8°C do 15,5°C, średniej miesięcznej IX od 12,1°C do 13,4°C; sumy opadów okresu VII-IX wynoszą od 210 mm do 285 mm. Plony ziemniaka późnego obliczonego dla lat 1957-1977 wynoszą średnio 30,7 t/ha, wahały się od 27,3 t/ha do 34,1 t/ha. Przy średnim procentowym błędzie oceny dopasowania funkcji ED wynoszącym

18,0% oraz zmienności z roku na rok plonu ziemniaków późnych wynoszącej 226,7% ocenę dopasowania wartości estymowanych plonu uznaje się za dobrą.



Rys. 9. Przebieg estymowanych wartości średniej miesięcznej temperatury czerwca i września oraz klimatyczny wskaźnik plonu ziemniaków późnych dla lat 1951-2030.

Wartości obliczonej średniej miesięcznej temperatury VI w latach 1991-2030 w Koszalinie zmieniają się od 14,3°C do 15,6°C, średnia temperatura VI wynosi 15,0°C. Średnia miesięczna temperatura IX w latach 1991-2030 wynosi 13,0°C; minimalna 12,4°C i maksymalna 13,6°C (rys. 9). Sumy opadów okresu VII-IX obejmują zakres od 215 mm do 260 mm przy wartości średniej w wieloleciu 237 mm (rys. 10).



Rys. 10. Przebieg estymowanych wartości sumy opadów atmosferycznych okresu VII-IX oraz klimatyczny wskaźnik plonu ziemniaków późnych dla lat 1951-2030.

Plony ziemniaka późnego ekstrapolowane dla okresu 1991 - 2030 wynoszą średnio 30,7 t/ha; wartość minimalna 28,8 t/ha występuje w roku 2030, maksymalna 33,6 t/ha w roku 2021. Najkorzystniejszy układ warunków opadowo-termicznych dla plonowaniu ziemniaka późnego, wystąpi w latach 2016-2024. Plonowaniu sprzyjać będzie: wyższa od średniej wieloletniej z lat 1991-2030 średnia miesięczna temperatura VI (o wartościach od 15,0°C do 15,6°C) i średnia miesięczna temperatura IX (o wartościach od 13,1°C do 13,6°C) oraz zbliżone do średniej

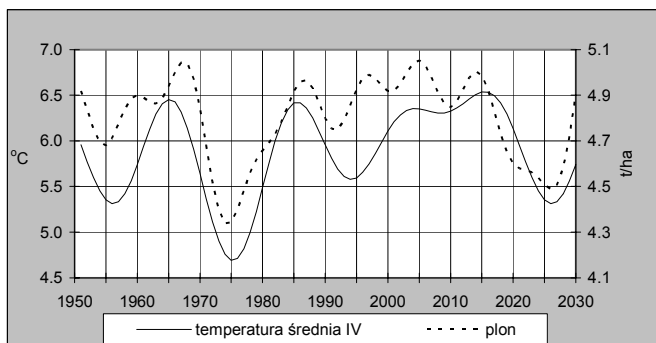
(w roku 2016) i wyższe od średniej wieloletniej w następnych latach, sumy opadów atmosferycznych okresu VII-IX (o wysokości 235-260 mm). Lata 1993-2005 można uznać za średnio korzystne dla plonowania tej rośliny, głównie ze względu na dość niskie sumy opadów okresu VII-IX, szczególnie w latach 1997-2000.

Najmniej korzystny układ warunków meteorologicznych dla plonowania ziemniaków późnych charakteryzował lata 1980-1982. W roku 1981 wystąpiło minimum wieloletniego cyklu sum opadów atmosferycznych okresu VII-IX z lat 1851-2030; wartości temperatury średniej miesięcznej VI były nieco niższe od średniej z lat z tego okresu; wartości średniej miesięcznej temperatury IX były również niskie (12,2-12,3°C) - drugorzędne minimum o wartości 12,1°C wystąpiło w 1977 roku.

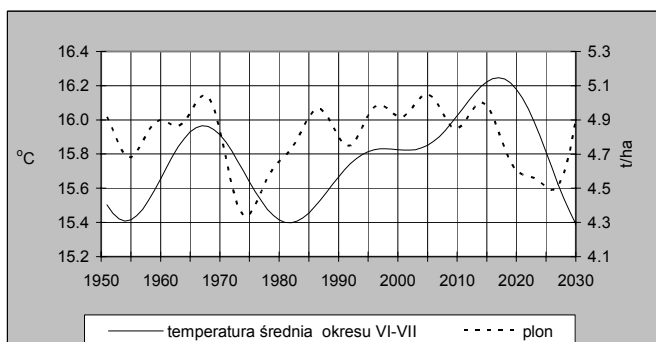
4.2 Pszenica jara

Warunki meteorologiczne plonowania pszenicy jarej w latach 1966-1985 określają: wartości średniej miesięcznej temperatury IV zmieniające się od 3,4°C do 8,1°C, temperatura średnia okresu VI-VII o wartościach od 14,0°C do 18,0°C oraz miesięczne sumy opadów VI o wysokości od 9 mm do 176 mm. Średnie plony pszenicy jarej w badanych latach wynosiły 4,3 t/ha, minimalne 2,6 t/ha a maksymalne 6,0 t/ha. Wartości obliczonej dla lat 1966-1985 temperatury średniej IV wahały się od 4,7°C do 6,4°C, temperatury średniej okresu VI-VII od 15,4°C do 16,0°C a miesięcznych sum opadów atmosferycznych VI od 47 mm do 93 mm. Średnie plony pszenicy jarej obliczone dla lat 1966-1985 wynoszą 4,7 t/ha, minimalne 4,3 t/ha zaś maksymalne 5,0 t/ha. Przy zmienności z roku na rok plonu pszenicy jarej wynoszącej 228,3% oraz przy średnim procentowym błędzie oceny dopasowania funkcji ED=15,5%, dopasowanie wartości estymowanych plonu badanej rośliny w latach 1966-1985 ocenia się jako dobre.

Plony pszenicy jarej estymowane dla lat 1991-2030 wynoszą średnio 4,8 t/ha, wahając się od 4,5 t/ha (minimum w 2025 roku) do 5,1 t/ha (maksimum w 2005 roku); przy wartościach średniej miesięcznej temperatury IV obejmującej zakres od 5,3-6,5°C i średniej temperatury powietrza okresu VI-VII o wartościach od 15,4°C do 16,2°C oraz miesięcznych sumach opadów atmosferycznych VI od 39 mm do 86 mm (rys. 11-13).



Rys. 11. Przebieg estymowanych wartości średniej miesięcznej temperatury kwietnia oraz klimatyczny wskaźnik plonu pszenicy jarej dla lat 1951-2030.

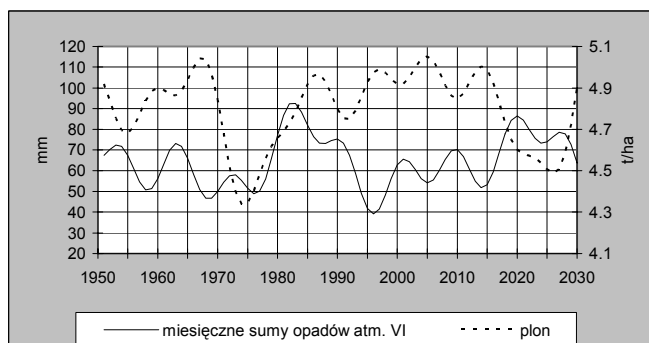


Rys. 12. Przebieg estymowanych wartości temperatury średniej okresu VI-VII oraz klimatyczny wskaźnik plonu pszenicy jarej dla lat 1951-2030.

Korzystny układ badanych elementów meteorologicznych sprzyjający plonowaniu pszenicy jarej występuje w latach 1995-2016. Dotyczy to wartości średniej miesięcznej temperatury IV - wzrastającej dość szybko od $5,6^{\circ}\text{C}$ w roku 1995 do $6,1^{\circ}\text{C}$ w 2000 roku a następnie bardziej stopniowo do $6,5^{\circ}\text{C}$ w roku 2016 oraz niskiej wartości (ok. $15,9^{\circ}\text{C}$ w latach 1995-2000) temperatury średniej okresu VI-VII, które w następnym 10-leciu tylko nieznacznie wzrastają. Plonowaniu pszenicy jarej sprzyjają również miesięczne sumy opadów atmosferycznych VI, które w większości lat 1995-2016 są niższe od średniej sumy opadów za lata 1991-2030, wynosząc od 39 do 60mm. W latach 2008-2012, w których miesięczne sumy opadów VI osiągają 60-70 mm następuje niewielkie obniżenie plonu tej rośliny. Natomiast wyższe od średniej z lat 1991-2030 miesięczne sumy opadów VI wynoszące od 73 mm do 86 mm; występujące w latach 2018-2028 wysokie wartości temperatury średniej okresu VI-VII ($16,2^{\circ}\text{C}$ w roku 2018, obniżające się do $15,5^{\circ}\text{C}$ w roku 2028) oraz malejące znacznie w ciągu kilku lat (od $6,4^{\circ}\text{C}$ w 2018 do $5,3^{\circ}\text{C}$ w 2026 roku) wartości tempe-

raty średniej IV, stwarzają niekorzystny układ warunków meteorologicznych dla plonowania pszenicy jarej.

Szczególnie niekorzystny układ warunków meteorologicznych dla plonowania pszenicy jarej cechował lata 1973-1975. Wynikał on z wystąpienia bardzo niskich wartości średniej miesięcznej temperatury IV (minimum z lat 1851-2030 średniej miesięcznej temperatury IV o wartości $4,7^{\circ}\text{C}$ wystąpiło w roku 1975), przy wartościach średniej temperatury okresu VI-VII i miesięcznych sumach opadów VI zbliżonych do wartości średnich z tego okresu.

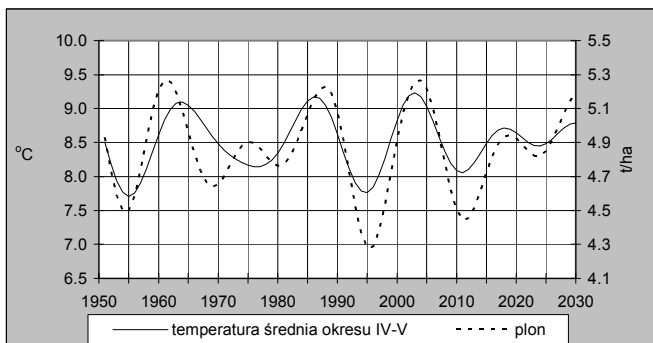


Rys. 13. Przebieg estymowanych wartości sumy opadów atmosferycznych czerwca oraz klimatyczny wskaźnik plonu pszenicy jarej dla lat 1951-2030.

4.3 Jęczmień jary

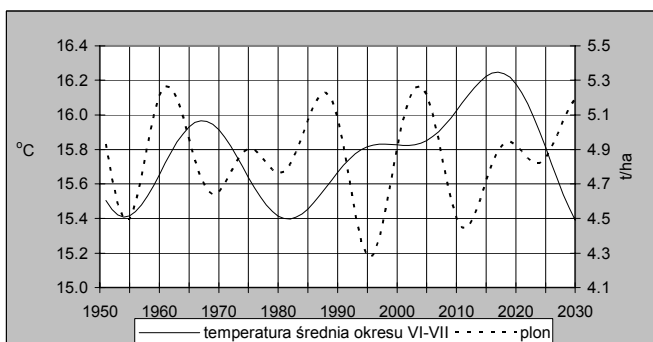
Warunki meteorologiczne plonowania jęczmienia jarego w latach 1966-1985 charakteryzowały: średnia miesięczna temperatura okresu IV-V o wartościach od $8,4^{\circ}\text{C}$ do $11,4^{\circ}\text{C}$, średnia temperatura okresu VI-VII o wartościach od $14,0^{\circ}\text{C}$ do $18,0^{\circ}\text{C}$ oraz sumy opadów okresu IV-VI o wysokości od 104 mm do 294 mm. Średnie plony jęczmienia jarego w badanych latach wynosiły 4,7 t/ha, minimalne 2,6 t/ha a maksymalne 6,6 t/ha. Obliczone wartości dla lat 1966-1985 średniej miesięcznej temperatury okresu IV-V wahały się od $8,1^{\circ}\text{C}$ do $9,1^{\circ}\text{C}$ a wartości średniej temperatury okresu VI-VII zmieniały się od $15,4^{\circ}\text{C}$ do $16,0^{\circ}\text{C}$. Minimalna suma opadów okresu IV-VI wynosiła 131 mm, maksymalna 195 mm. Średnie plony jęczmienia jarego obliczone dla lat 1966-1985 wynosiły 4,8 t/ha, minimalne 4,6 a maksymalne 5,1 t/ha. Przy zmienności plonu z roku na rok jęczmienia jarego wynoszącej 251,1% i średnim błędzie ED wynoszącym 13,6%, dopasowanie wartości obliczonych plonu badanej rośliny dla lat 1966-1985 ocenia się jako bardzo dobre.

Estymowane plony jęczmienia jarego na glebach pszennych w latach 1991-2030 wynoszą średnio 4,8 t/ha wahając się od 4,3 t/ha (minimum w 1995 roku) do 5,3 t/ha (maksimum w 2004 roku); przy wartościach temperatury średniej okresu IV-V obejmujących zakres od 7,8-9,2°C, temperatury średniej okresu VI-VII od 15,4°C do 16,2°C i sumach opadów okresu IV-VI o wysokości od 129 mm do 185 mm (rys. 14 - 16).



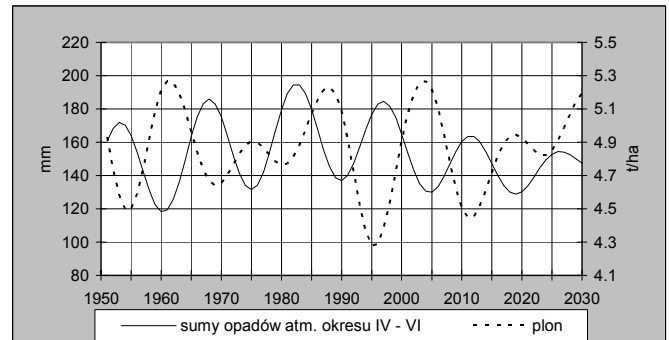
Rys. 14. Przebieg estymowanych wartości temperatury średniej okresu IV-VI oraz klimatyczny wskaźnik plonu jęczmienia jarego dla lat 1951-2030.

Najkorzystniejszy układ warunków opadowo-termicznych sprzyjający plonowaniu jęczmienia jarego wystąpi w latach 2000-2007 oraz po roku 2025. Plonowaniu tej rośliny będą sprzyjały: wyższa od średniej z lat 1991-2030 temperatura okresu IV-V (której wartości w latach 2000-2007 o zakresie 8,8-9,2°C będą najwyższe w 40-leciu); niska, zbliżona do średniej wieloletniej temperatura okresu VI-VII oraz w większości badanych lat niższe od średniej wieloletniej sumy opadów atmosferycznych okresu IV-VI (o wysokości 130-165 mm w latach 2000-2007 i 147-154 mm w latach 2025-2030).



Rys. 15. Przebieg estymowanych wartości temperatury średniej okresu VI-VII oraz klimatyczny wskaźnik plonu jęczmienia jarego dla lat 1951-2030.

Najbardziej niesprzyjający plonowaniu jęczmienia jarego układ warunków meteorologicznych charakteryzował lata 1994-1997. W roku 1995 wystąpiło minimum drugorzędne średniej temperatury okresu IV-V (o wartości 7,7°C) z lat 1851-2030 przy sumach opadów atmosferycznych okresu IV-VI o wysokości 167-185 mm.



Rys. 16. Przebieg estymowanych wartości sumy opadów okresu IV-VI oraz klimatyczny wskaźnik plonu jęczmienia jarego dla lat 1951-2030.

5 PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonej analizy wieloletnich serii termicznych i opadowych północnej Polski wykazały występowanie przejawów złożonej cykliczności wpływającej istotnie na zróżnicowanie plonowania pszenicy jarej, jęczmienia jarego i ziemniaka późnego. Plonowanie badanych roślin w północnej Polsce jest związane z okresowymi zmianami temperatury powietrza i opadów atmosferycznych, a ekstrema wykazanych cykli będą powtarzać się w przyszłym stuleciu, stanowiąc możliwość wystąpienia szczególnie korzystnych lub niekorzystnych układów warunków opadowo-termicznych. Plonowanie pszenicy jarej, jęczmienia jarego i ziemniaków późnych będzie więc również w przyszłości warunkowane okresową zmiennością elementów meteorologicznych.

Przeprowadzone obliczenia okresowości na przefiltrowanych danych meteorologicznych wyjaśniają tylko część zmienności, dotyczy to zwłaszcza wielkości plonów maksymalnych i minimalnych, ponieważ plony są wynikiem losowych układów czynników wyjątkowo sprzyjających i niesprzyjających. Uzyskane zależności plonu od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych pozwalają jednakże na określenie zakresu wahań plonów roślin uprawnych w wieloletnim przedziale czasowym.

6 WNIOSKI

Wyniki analiz zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w północnej Polsce, uwzględniających wymagania wybranych gatunków roślin uprawnych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- ◆ Porównanie wartości średnich temperatury powietrza i opadów atmosferycznych z różnych wieloleci i dla różnych stacji, wykazało, że obserwowane zmiany średnich miesięcznych wartości temperatur powietrza i miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Koszalinie są w przeważających przypadkach reprezentatywne dla całego obszaru Polski północnej.
- ◆ Temperatura powietrza i opady atmosferyczne Koszalina z lat 1851-1990 wykazują okresową zmienność istotną dla plonowania ziemniaków późnych, pszenicy jarej i jęczmienia jarego.
- ◆ Plonowanie badanych roślin uprawnych warunkuje wzajemny układ cykliczności następujących parametrów meteorologicznych:
 - w przypadku ziemniaków późnych: średniej miesięcznej temperatury VI, średniej miesięcznej temperatury IX i sumy opadów atmosferycznych okresu VII-IX;
 - w przypadku pszenicy jarej: średniej miesięcznej temperatury IV, temperatury średniej okresu VI-VII i sumy miesięcznych opadów atmosferycznych VI;
 - w przypadku jęczmienia jarego: temperatury średniej okresu IV-VI, średniej temperatury okresu VI-VII oraz sumy opadów atmosferycznych okresu IV-VI.
- ◆ Charakterystyczne zmienności parametrów meteorologicznych istotnych dla plonowania ziemniaków późnych, występujące w latach 1957-1977 oraz dla pszenicy jarej i jęczmienia jarego w latach 1966-1985 wykazują, że analizowane wieloletnia są reprezentatywne do badania wieloletnich zmian plonowania badanych roślin.
- ◆ Zmiany cykliczne w termice i opadach istotnie wpływały na plonowanie pszenicy jarej, jęczmienia jarego i ziemniaków późnych w północnej Polsce. Pozwala to na ekstrapolację plonowania badanych roślin na przyszłe wieloletnia w zależności od wzajemnego rozkładu w czasie okresowej zmienności elementów meteorologicznych.

- ◆ Dopasowanie wskaźnika klimatycznego plonu estymowanego w stosunku do plonu rzeczywistego okazało się dobre dla ziemniaków późnych i pszenicy jarej oraz bardzo dobre dla jęczmienia jarego.
- ◆ Okresowość zmienności warunków opadowo-termicznych w oddziaływaniu na plonowanie wybranych roślin uprawnych wskazuje, że wpływ zmian klimatu na rolnictwo do roku 2030 będzie znacznie mniejszy, niż wykazują to scenariusze oparte na zawartości CO₂ w atmosferze.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Berger A., (red). 1980. *Climatic Variations and Variability: Facts and Theories*. Dordrecht, Boston and London: NATO Advanced Study Institute. First Course of the International School of Climatology. Ettore Majorana Center for Scientific Culture, Erice, Italy, Series C – Mathematical and Physical Sciences. Vol. 72, D. Reidel Publishing Company.
- 2) Conrad V., Pollak L.W., 1950. *Methods in climatology*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- 3) Flohn H., Fantechi R., 1984. *The Climate of Europe: Past, Present and Future. Natural and Man - Induced Climatic Changes: A European Perspective*. Dordrecht/Boston/ Lancaster: Kluwer Academy Publishers Group.
- 4) Kozuchowski K., (red), 1990. *Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych*. Łódź: Wydawn. UL.
- 5) Kuchar L., 1987. Modele pogoda plon i metody prognozowania plonów roślin uprawnych. *Fragm. Agron.* 4, 1, 15-30.
- 6) Kuchar L., 1993. *Przewidywanie sum opadów i średnich temperatur powietrza w aspekcie prognozowania plonów roślin uprawnych*. Wrocław: Zesz. Nauk. AR rozpr. 118.
- 7) Kuchar L., 1996. Zastosowanie modelu wykładniczego wielomianowego do prognozowania plonów ziemniaka w gospodarstwie. *Fragm. Agron.* 13, 2, 74 - 86.
- 8) Łykowski B., 1984. *Warunki klimatyczne rozwoju i plonowania soi w Polsce*. Warszawa: Wyd. SGGW-AR. Rozprawy Naukowe i Monografie, 41.
- 9) Łykowski B., 1994. Klimatyczny wskaźnik plonu na obszarze Żuław i przylegającej wysoczyźnie. Olsztyn-Mierki: *Mat. Konf. XXV Zjazd Agrometeorologów*, 108-115.
- 10) Obrębska - Starkel B., Starkel L., 1991. Efekt cieplarniany a globalne zmiany środowiska przyrodniczego. Warszawa: *Zeszyty Inst. Geogr. i Przestrz. Zagosp. PAN*. 4.
- 11) Radomski Cz., Madany R., 1977. O miarodajności danych wyjściowych do agrometeorologicznej prognozy plonów. Olsztyn: *Zesz. Nauk. ART, Roln.*, 21, 5 - 11.
- 12) Ryszkowski L., Kędziora A., 1993. *Rolnictwo a efekt szklarniowy*. Kosmos, 42 (1), 123 - 149.
- 13) Sadowski M., (red.). 1996. *Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych i adaptacja polskiej gospodarki do zmian klimatu. Synteza. Studium krajowe w sprawie zmian klimatu*. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.
- 14) *STATISTICA*. 1995. Statsoft 1995.