

BARBARA SAWICKA¹, PIOTR BARBAŚ²

¹Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

²Zakład Agronomii Ziemiaka

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy w Radzikowie, Oddział
w Jadwisinie

ZALEŻNOŚĆ PLONOWANIA ZIEMNIAKÓW OD WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH W WYBRANYCH MEZOREGIONACH POLSKI POŁUDNIOWO-WSCHODNIEJ

DEPENDENCE OF POTATO YIELDING ON METEOROLOGICAL CONDITIONS
IN SELECTED MESOREGIONS OF SOUTH-EAST POLAND

Streszczenie. Celem pracy było określenie zależności plonu ziemniaka od przebiegu warunków meteorologicznych w dwu mezoregionach Polski południowo-wschodniej. Podstawę opracowania stanowiły dane meteorologiczne, wyniki pomiaru poziomu wód gruntowych oraz plon 40 odmian ziemniaka z doświadczeń polowych, przeprowadzonych w latach 1999-2008. Eksperymenty polowe wykonano w miejscowościach położonych w dwu mezoregionach Polski południowo-wschodniej, w podobnych warunkach glebowych, w trzech powtórzeniach. Przebieg warunków meteorologicznych analizowano na podstawie pomiarów opadów atmosferycznych, wilgotności i temperatury powietrza w stacjach meteorologicznych oddalonych od siebie około 100 km. Ponadto analizowano stany wody gruntowej na terenie badanych zlewni. Wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji, korelacji prostej i regresji wielomianowej. Zagrożenie upraw ziemniaka, w obu mezoregionach, przez nadmierne uwilgotnienie gleby w okresie wegetacji było istotnie mniejsze niż przez uwilgotnienie niedostateczne, które może być główną przyczyną zmniejszenia wielkości plonu. Obfitym plonom bulw ziemniaka odmian od wczesnych do późnych w zachodniej części województwa lubelskiego sprzyjały średnia temperatura okresu wegetacji w przedziale 14,6-14,8°C oraz suma opadów od 400 do 450 mm, a w części wschodniej – temperatura rzędu 14,8-15,0°C i opady na poziomie 350-400 mm.

Słowa kluczowe: ziemniak, odmiany, plon, warunki meteorologiczne, poziom wód gruntowych

Wstęp

Ziemniak, jako gatunek wytwarzający dużą ilość biomasy, przy ograniczonych możliwościach pobierania wody z głębszych warstw gleby, charakteryzuje się dużą wrażliwością na zmiany warunków wodnych. W pierwszych fazach rozwoju gatunek ten korzysta z pozimowych zapasów w glebie, stąd też obfite opady w okresie marzec-maj oddziałują ujemnie na plon bulw (Grabowski, 2001; Pereira i in., 2008). W okresie krytycznym, przypadającym na ogół między zawiązywaniem się pąków kwiatowych a końcem kwitnienia, zbiegającym się z początkiem tuberyzacji (faza 51-69° – dla części nadziemnej i odpowiednio 40-44° – dla bulw w 99-stopniowej skali BBCH), wzrastają potrzeby wodne roślin i ich wrażliwość na suszę – rosnące bulwy potrzebują dużych ilości wody. Susza w okresie okołotuberyzacyjnym (mniej więcej od pierwszego tygodnia przed tuberyzacją przez 3-4 tygodnie) może spowodować zawiązanie się mniejszej liczby bulw oraz wzrost zainfekowania bulw parchem zwykłym. Dopiero w końcowej fazie okresu wegetacji, w okresie zasychania łątów (zbiór), zapotrzebowanie na wodę ponownie maleje (Bero i in., 2013; Głuska, 2004; Lutomirska, 2005). Oddziaływanie opadów na wzrost i rozwój ziemniaka, według Bombika i in. (1999), w dużym stopniu zależy od rozkładu temperatury w okresie wegetacji i w przypadku lat chłodnych optymalna suma opadów jest mniejsza (250 mm), a w latach ciepłych i słonecznych – większa (350 mm). Koźmiński i in. (1988) uważają, że istotnym czynnikiem dla ziemniaka jest zasobność w wodę strefy korzeniowej, tzn. warstwy gleby o głębokości 0-50 cm. Aslyng i Hansen (1982) za strefą przykorzeniową przyjmują warstwę gleby o głębokości 0-60 cm. Stwierdzili oni również, że zasoby wodne w tej warstwie wpływają istotnie na plon ziemniaka. Wendling i Schellin (1986) podają, że dolne granice wilgotności gleby sprzyjającej dla ziemniaka kształtują się na poziomie 45-50% zasobów wody dostępnej, a górne – na poziomie 60-70% tych zasobów. Każde przekroczenie tych przedziałów o 10% powoduje zmniejszenie plonu ziemniaka. Zdaniem Koźmińskiego i Kalbarczyka (1999) średnie roczne zmniejszenie plonu ziemniaka z powodu ekstremalnego uwilgotnienia gleby dochodzi w latach bardzo mokrych lub bardzo suchych do 40% poniżej średniej wieloletniej. W piśmiennictwie brak jest kompleksowych opracowań dotyczących jednoczesnego współdziałania temperatury, wilgotności powietrza, opadów oraz poziomu wód gruntowych na plonowanie ziemniaka, stąd też w niniejszej pracy zajęto się tym zagadnieniem. Przedstawiono wpływ wybranych czynników meteorologicznych i hydrologicznych na plonowanie ziemniaka w dziesięcioleciu 1999-2008 w dwóch mezoregionach Polski południowo-wschodniej. Zamierzeniem autorów pracy była też odpowiedź na pytanie, jakie są relacje między warunkami meteorologicznymi i hydrologią siedliska oraz od jakich parametrów zależą fluktuacje zwierciadła wody gruntowej na glebie piaszczysto-gliniastej.

Material i metody

Podstawę opracowania stanowiły dane meteorologiczne oraz plon 40 odmian ziemniaka uzyskany w latach 1999-2008, w miejscowościach Osiny i Parczew, położonych w dwu mezoregionach Polski południowo-wschodniej: w południowo-zachodniej części

zwanej Wysoczyzną Lubartowską i wschodniej – zwanej Polesiem Zachodnim. 15 odmian ziemniaka przebadano w stacji doświadczalnej w Osinach, a 34 – w stacji doświadczalnej w Parczewie. Z grupy odmian bardzo wczesnych przebadano 8, z grupy wczesnych – 7, z średnio wczesnych – 8, z średnio późnych – 10 i z późnych – 7 (tab. 1). Eksperymenty polowe wykonano w układzie bloków kompletnie zrandomizowanych, w trzech powtórzeniach, na glebach wytworzonych z piasków gliniastych

Tabela 1. Wykaz odmian ziemniaka biorących udział w badaniach w latach 1999-2008
Table 1. List of potato cultivars involved in the study in 1999-2008

Lp. No.	Odmiana Cultivar	Użytkowanie odmiany Utilisation of cultivar	Miejscowość Locality	Rok wpisania odmiany do Krajowego Rejestru Odmian Ziemniaka Year of entry of the cultivar to the National List of Potato Cultivars
1	2	3	4	5
Odmiany bardzo wczesne – Very early cultivars				
1.	‘Accent’	Jadalna – Eatable	Parczew	1997
2.	‘Aster’	Jadalna – Eatable	Parczew	1990
3.	‘Bard’	Jadalna – Eatable	Osiny	1999
4.	‘Denar’	Jadalna – Eatable	Osiny	1999
5.	‘Drop’	Jadalna – Eatable	Osiny, Parczew	1991
6.	‘Irys’	Jadalna – Eatable	Parczew	1975
7.	‘Lord’	Jadalna – Eatable	Osiny	1999
8.	‘Orlik’	Jadalna – Eatable	Osiny, Parczew	1989
Odmiany wczesne – Early cultivars				
9.	‘Aksamitka’	Jadalna – Eatable	Parczew	1998
10.	‘Albina’	Jadalna – Eatable	Parczew	1996
11.	‘Bila’	Jadalna – Eatable	Osiny, Parczew	1994
12.	‘Karlena’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1997
13.	‘Latona’	Jadalna – Eatable	Parczew	1997
14.	‘Sumak’	Jadalna – Eatable	Parczew	1995
15.	‘Vineta’	Jadalna – Eatable	Parczew	1999
Odmiany średnio wczesne – Middle early cultivars				
16.	‘Barycz’	Jadalna – Eatable	Parczew	1998
17.	‘Baszta’	Jadalna – Eatable	Osiny, Parczew	1996
18.	‘Glada’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1994
19.	‘Harpun’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1993

Tabela 1 – cd. / Table 1 – cont.

1	2	3	4	5																																																												
20.	‘Ibis’	Jadalna – Eatable	Parczew	1987																																																												
21.	‘Ikar’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1998																																																												
22.	‘Irga’	Jadalna – Eatable	Osiny, Parczew	1987																																																												
23.	‘Mila’	Jadalna – Eatable	Osiny	1980																																																												
Odmiany średnio późne – Middle late cultivars																																																																
24.	‘Ania’	Jadalna – Eatable	Osiny, Parczew	1994																																																												
25.	‘Anielka’	Jadalna – Eatable	Parczew	1997																																																												
26.	‘Arkadia’	Jadalna – Eatable	Osiny, Parczew	1992																																																												
27.	‘Bryza’	Jadalna – Eatable	Parczew	1976																																																												
28.	‘Danusia’	Jadalna – Eatable	Parczew	1999																																																												
29.	‘Fregata	Jadalna – Eatable	Parczew	1988	30.	‘Klepa’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1997	31.	‘Panda’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1996	32.	‘Salto’	Jadalna – Eatable	Osiny	1998	33.	‘Wolfram’	Jadalna – Eatable	Osiny	1999	Odmiany późne – Late cultivars					34.	‘Bzura’	Skrobiowa – Amylaceous	Osiny, Parczew	1986	35.	‘Dunajec’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1994	36.	‘Hinga’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1998	37.	‘Jantar’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1997	38.	‘Jasia’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1999	39.	‘Meduza’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1997	40.	‘Wawrzyn’	Jadalna – Eatable	Osiny, Parczew	1999
30.	‘Klepa’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1997																																																												
31.	‘Panda’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1996																																																												
32.	‘Salto’	Jadalna – Eatable	Osiny	1998																																																												
33.	‘Wolfram’	Jadalna – Eatable	Osiny	1999																																																												
Odmiany późne – Late cultivars																																																																
34.	‘Bzura’	Skrobiowa – Amylaceous	Osiny, Parczew	1986																																																												
35.	‘Dunajec’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1994																																																												
36.	‘Hinga’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1998																																																												
37.	‘Jantar’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1997																																																												
38.	‘Jasia’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1999																																																												
39.	‘Meduza’	Skrobiowa – Amylaceous	Parczew	1997																																																												
40.	‘Wawrzyn’	Jadalna – Eatable	Osiny, Parczew	1999																																																												

średnich lub mocnych, kompleksu żytniego dobrego i żytniego bardzo dobrego, o odczynie lekko kwaśnym (pH 5,5-6,2 w KCl). Przedplonem ziemniaka był jęczmień jary. Nawożenie fosforowo-potasowe zaaplikowano w ilości: 100 kg N, 60 kg P, 60 kg K. Kompost, w dawce 35 t \cdot ha $^{-1}$, stosowano tylko raz w rotacji zmianowania – pod ziemniak. Bulwy sadzono w ostatniej dekadzie kwietnia, w stopniu C/A, w rozstawie 67,5 \times 33 cm. Ograniczanie liczebności i masy chwastów polegało na wykonywaniu zabiegów mechanicznych do wschodów roślin: bronowaniu broną chwastownikiem, jednokrotnym obredleniu i obsypaniu, a tuż przed wschodami zastosowano preparat Afalon Dyspersyjny 450 SC w dawce 2 dm \cdot ha $^{-1}$, po wschodach zaś (15-20 cm wzrostu roślin), gdy stwierdzono lokalne zachwaszczenie chwastami jednoliściennymi, zastosowano opryskiwanie herbicydem Fusilade Super 125 EC (2 dm \cdot ha $^{-1}$). Chemiczne zabiegi ochrony

roślin stosowano, wykorzystując progi szkodliwości agrofagów. Stonkę ziemniaczaną zwalczano z użyciem preparatów: Buldock 0,25 EC ($0,2 \text{ dm} \cdot \text{ha}^{-1}$) i Bancol 50 WP ($0,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), a zarazę ziemniaka – fungicydami: Acrobat MZ 69 WP ($2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), Curzate M 72,5 WP ($2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), Tattoo C 750 S.C. ($2 \text{ dm} \cdot \text{ha}^{-1}$), Unikat 75 WG ($2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Decyzję o potrzebie i terminie stosowania środków chemicznych podejmowano na podstawie obserwacji własnych zagrożenia plantacji przez stonkę i zarazę ziemniaka oraz na podstawie komunikatów PIORiN. Zbiór wykonywano w fazie rozwojowej ziemniaka: zamieranie (faza 99° w 99-stopniowej skali BBCH). Bezpośrednio po zbiorze oceniano wielkość plonu.

Przebieg warunków meteorologicznych analizowano, wykorzystując pomiary opadów atmosferycznych, wilgotności i temperatur powietrza w stacjach meteorologicznych oddalonych od siebie mniej więcej o 100 km, a leżących w dwu różnych mezoregionach. Stacja meteorologiczna w Uhninie ($51^\circ 34' 19,38'' \text{ N}$, $23^\circ 4' 1,23'' \text{ E}$), oddalona od stacji doświadczalnej w Parczewie w linii prostej o 5 km, jest położona na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim, należącym do Polesia Zachodniego (Kondracki, 2000). W podziale na regiony hydrogeologiczne obszar ten jest położony w obrębie nizinnej prowincji hydrogeologicznej (Kleczkowski, 1984). W podziale Kondrackiego (2000) teren ten zalicza się do Równiny Parczewskiej i znajduje się na południowy zachód od Równiny Kodeńskiej, na południe od Zakłęsłości Łomaskiej i na północ od Zakłęsłości Sosnowieckiej. Stacja meteorologiczna w Osinach ($51^\circ 28' 10'' \text{ N}$, $22^\circ 03' 28'' \text{ E}$) jest położona w zachodniej części województwa lubelskiego, w pobliżu granicy województwa mazowieckiego, na skraju Małopolskiego Przełomu Wisły. W regionalnym podziale geomorfologicznym badany obszar jest położony w południowo-zachodniej części Wysoczyzny Lubartowskiej, stanowiącej najbardziej na południe wysunięty subregion Niziny Południowo-Podlaskiej, która graniczy bezpośrednio z krawędzią lessową Wyżyny Lubelskiej, a po przeciwległej stronie – północnej – przylega do pradoliny dolnego odcinka Wieprza (Kondracki, 2000). Osiny są położone w odległości około 11 km na południe od koryta rzeki Wieprz. Na terenach badanych zlewni wytypowano transekty, w których założono studzienki do pomiarów stanów wody gruntowej. Pomiary te wykonywano z częstotliwością co 7 dni.

Uzyskane wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji, korelacji prostej i regresji wielomianowej. Istotność źródeł zmienności testowano testem F Fishera-Snedecora, a istotność różnic pomiędzy porównywanymi średnimi oceniono za pomocą wielokrotnych przedziałów Tukeya. W celu określenia udziału poszczególnych źródeł zmienności oraz ich współdziałania w zmienności całkowitej badanych cech dokonano oceny komponentów wariacyjnych, stosując następujące oznaczenia: σ^2 – ocena zmienności środowiskowej, związanej z powtarzaniem obserwacji lub pomiaru w czasie, σ^2_G – ocena zmienności genotypowej (odmianowej), σ^2_P – ocena zmienności fenotypowej (całkowitej). Uzyskane wartości empiryczne średnich kwadratów porównywano z ich wartościami oczekiwanymi. Po rozwiązaniu w ten sposób układów równań otrzymano oszacowanie komponentów wariacyjnych odpowiadających poszczególnym źródłom zmienności. Wzajemne relacje wyznaczonych ocen komponentów wariacyjnych oraz ich struktura procentowa stanowiły podstawę oceny wpływu czynnika odmianowego, lat oraz współdziałania odmian i lat na zmienność plonu bulw (tab. 2, 3).

Tabela 2. Wpływ odmian i lat na plon bulw ziemniaka oraz ich udział w wariancji całkowitej
 Table 2. Influence of cultivars and years on the yield of potato tubers and their share in the total variance

Miejscowość Locality	Istotność F Significance F			Udział w wariancji całkowitej Share in the total variance		
	odmiany cultivars	lata years	odmiany × lata cultivars × years	odmiany cultivars	lata years	odmiany × lata cultivars × years
Osiny	**	**	**	9,7	52,9	37,4
Parczew	*	**	**	4,8	49,2	45,9

* $\alpha \leq 0,05$, ** $\alpha \leq 0,01$.

* $\alpha \leq 0,05$, ** $\alpha \leq 0,01$.

Tabela 3. Plon bulw badanych odmian ziemniaka (średnia z lat 1999-2008) oraz współczynniki zmienności plonu

Table 3. Tuber yield of the studied potato cultivars (mean for 1999-2008) and the coefficients of variation yield

Miejscowość Locality	Grupa wczesności odmian Group of cultivars earliness	Odmiana Cultivar	Średni plon Mean yield (t·ha ⁻¹)	Współczynnik zmienności plonu Coefficient of yield variation (%)
1	2	3	4	5
Osiny	Bardzo wczesne Very early	‘Bard’	36,1	39,2
		‘Denar’	44,9	35,7
		‘Drop’	16,2	42,2
		‘Orlik’	16,9	45,3
		‘Lord’	46,2	32,1
	Wczesne Early	‘Bila’	33,8	30,5
		Średnio wczesne Middle early	‘Baszta’	35,3
	‘Irga’		19,7	37,9
	‘Mila’		33,5	32,6
	Średnio późne Middle late	‘Ania’	36,8	35,7
		‘Arrkadia’	28,6	38,9
		‘Salto’	60,8	35,6
		‘Wolfram’	37,8	44,3
	Późne Late	‘Bzura’	33,2	37,7
		‘Wawrzyn’	47,7	26,4
Średnia – Mean			35,2	36,6
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}			5,7	–

Tabela 3 – cd. / Table 3 – cont.

1	2	3	4	5
Parczew	Bardzo wczesne Very early	‘Accent’	30,2	32,9
		‘Aster’	27,0	29,7
		‘Drop’	25,4	36,4
		‘Orlik’	28,1	41,1
	Wczesne Early	‘Aksamitka’	38,1	37,5
		‘Albina’	30,6	33,8
		‘Bila’	28,0	35,6
		‘Karlina’	32,1	38,9
		‘Latona’	25,3	34,7
		‘Vineta’	48,7	33,5
	Średnio wczesne Middle early	‘Barycz’	38,1	30,6
		‘Basztka’	35,0	32,9
		‘Glada’	28,7	38,1
		‘Harpun’	34,9	42,3
		‘Ibis’	54,0	41,5
		‘Ikar’	31,7	43,5
		‘Irga’	32,6	45,9
	Średnio późne Middle late	‘Ania’	35,2	32,9
		‘Anielka’	39,7	39,7
		‘Arkadia’	32,9	35,8
		‘Bryza’	52,6	38,7
		‘Danusia’	24,1	32,4
		‘Fregata’	34,7	45,6
		‘Klepa’	29,2	45,2
		‘Panda’	24,8	46,1
	Późne Late	‘Bzura’	21,4	32,6
		‘Dunajec’	36,4	38,3
‘Hinga’		28,7	44,7	
‘Jantar’		37,8	43,5	
‘Jasia’		37,8	37,4	
‘Meduza’		42,7	35,4	
‘Wawrzyn’		24,1	31,1	
	Średnia – Mean		33,5	37,8
	NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		15,4	–

Zależność między plonem badanych odmian a warunkami meteorologicznymi i hydrologicznymi zbadano za pomocą współczynnika korelacji i regresji wielokrotnej, krokowej (tab. 4, 5). Procedurę tę kończono wtedy, kiedy brakowało już zmiennych

Tabela 4. Współczynniki korelacji prostej między wybranymi elementami meteorologicznymi a poziomem wody gruntowej

Table 4. Simple correlation coefficients between selected meteorological elements and the groundwater level

Zmienna Variable	Osiny					Parczew				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1	x_2	x_3	x_4	y
x_1	1,00					1,00				
x_2	0,28	1,00				0,57**	1,00			
x_3	0,86**	0,25	1,00			0,63**	-0,20	1,00		
x_4	0,47*	-0,05	0,48*	1,00		0,26	0,26	-0,05	1,00	
x_5	0,64**	0,24	0,61**	0,54**	1,00	0,64**	0,57**	0,08	0,44*	1,00

x_1 – suma opadów, x_2 – średnia dobową temperatura powietrza, x_3 – współczynnik hydrotermiczny Sieliana-ninowa, x_4 – wilgotność względna powietrza, x_5 – poziom wody gruntowej.

* $\alpha \leq 0,05$, ** $\alpha \leq 0,01$.

x_1 – sum of rainfalls, x_2 – mean daily air temperature, x_3 – Selyaninov hydrothermal coefficient, x_4 – relative air humidity, x_5 – groundwater level.

* $\alpha \leq 0,05$, ** $\alpha \leq 0,01$.

Tabela 5. Statystyczna charakterystyka zmiennej zależnej i zmiennych niezależnych

Table 5. Statistical characteristics of the dependent variable and independent variables

Miejscowość Locality	Średnia arytmetyczna Arithmetical mean	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)
1	2	3	4
Zmienna zależna – Dependent variable			
Plon bulw – Yield of tubers			
Osiny	35,2	13,1	36,6
Parczew	33,5	12,9	37,8
Zmienne niezależne – Independent variables			
Suma opadów – Sum of rainfalls			
Osiny	377,1	62,9	16,7
Parczew	353,9	69,2	19,6
Średnia dobową temperatura powietrza – Mean monthly air temperature			
Osiny	14,7	0,4	2,9
Parczew	14,8	0,6	3,7
Współczynnik hydrotermiczny Sieliana-ninowa – Selyaninov hydrothermal coefficient			
Osiny	1,23	0,20	16,5
Parczew	1,15	0,22	19,2

Tabela 5 – cd. / Table 5 – cont.

1	2	3	4
Wilgotność względna powietrza – Relative air humidity			
Osiny	71,7	2,4	3,3
Parczew	71,4	1,8	2,6
Poziom wody gruntowej – Groundwater level			
Osiny	-59,2	11,1	18,8
Parczew	-54,2	10,5	19,5

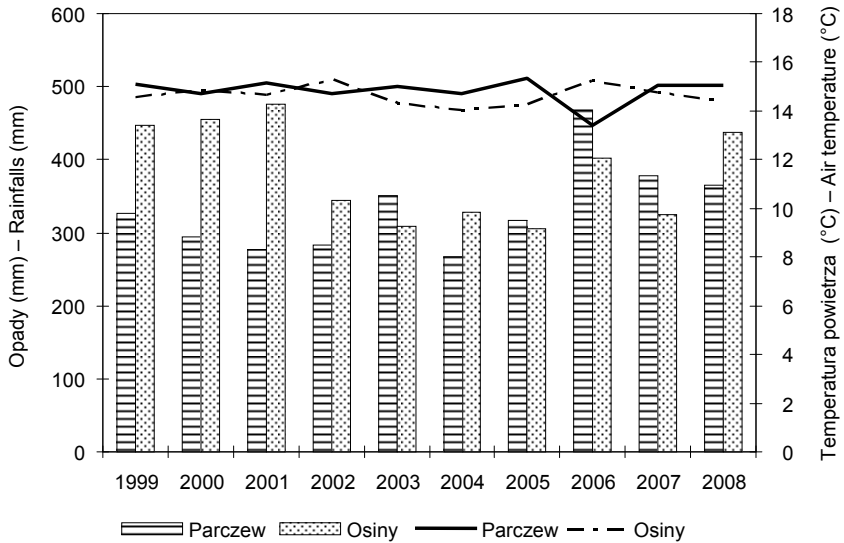
objaśniających bądź dołączenie nowej zmiennej do równania prowadziło do utraty istotności przez parametry lub współczynnik determinacji (Konarski, 2004; Koronacki i Ćwik, 2005). Parametry funkcji określano metodą najmniejszych kwadratów, a istotność weryfikowano testem t Studenta. W obliczeniach statystycznych za zmienną zależną (y) przyjęto plon bulw ziemniaka, a za zmienne niezależne: x_1 – opady atmosferyczne okresu wegetacji (mm), x_2 – średnią dobową temperaturę powietrza ($^{\circ}\text{C}$), x_3 – współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa, x_4 – wilgotność względna powietrza (%), x_5 – poziom wody gruntowej w studzienkach do pomiaru wody gruntowej (cm). Na podstawie współczynników korelacji prostej wytypowano zmienne do regresji wieloczynnikowej, liniowej. Zmienne objaśniające w równaniach zawartych w pracy są też nazywane zmiennymi niezależnymi, a zmienna objaśniana – zmienną zależną. Może to być o tyle mylące, że zmienne objaśniające wcale nie muszą być statystycznie niezależne od siebie czy od zmiennych objaśnianych; terminy „zależne” oraz „niezależne” wskazują jedynie na niezależność funkcyjną (Cook i Weisberg, 1994; Koronacki i Ćwik, 2005). Zmienność analizowanych wyników charakteryzowano za pomocą: średniej arytmetycznej, odchylenia standardowego i współczynnika zmienności. W tabeli 5 oraz na rysunkach 1, 2, 3 zamieszczono charakterystyki statystyczne następujących czynników meteorologicznych: sumy opadów, średniej dobowej temperatury powietrza, współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa, wilgotności względnej powietrza oraz – jako czynnika hydrologicznego – poziomu wody gruntowej.

Wyniki

Średnia 10-letnia suma opadów atmosferycznych z okresu kwiecień–październik, obejmująca cały okres wegetacji odmian, począwszy od odmian wczesnych do późnych, wynosiła od 353 mm w Parczewie do 383 mm w Osinach. Współczynnik zmienności V dla sumy opadów, będący bezwzględną miarą, niezależną od skali jednostek, wynosił dla tych miejscowości odpowiednio: 16,67 i 19,55% (tab. 5).

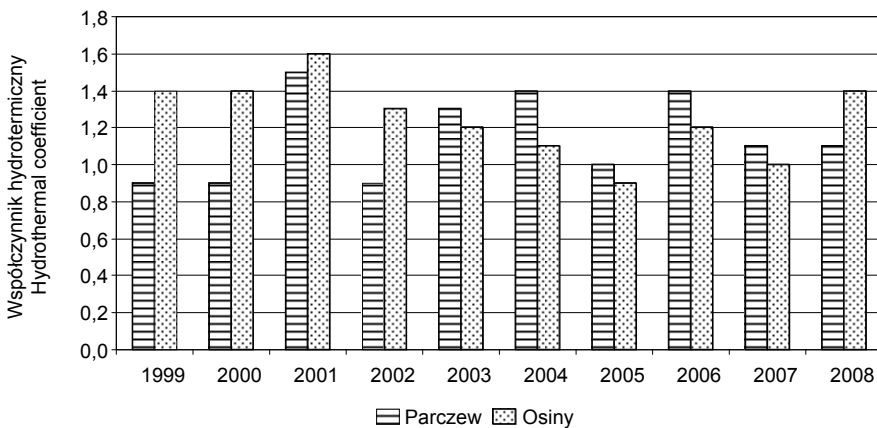
Średnia miesięczna temperatura powietrza wynosiła od 14,3 do 15,1 $^{\circ}\text{C}$ w Osinach i od 14,2 do 15,4 $^{\circ}\text{C}$ w Parczewie. Współczynnik zmienności tej cechy kształtował się na poziomie 2,88-3,73%, zależnie od miejscowości (tab. 5, rys. 1).

Współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa (tab. 5, rys. 2) ilustrował, iż najbardziej korzystne dla plonowania ziemniaka warunki, w obu miejscowościach wystąpiły



Rys. 1. Średnia dobowa temperatura powietrza i suma opadów w okresie wegetacji ziemniaka w latach 1999-2008 w Parczewie i Osinach

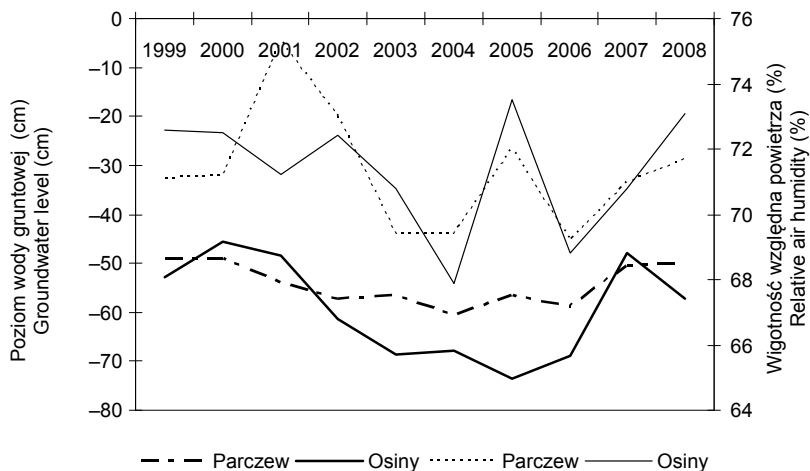
Fig. 1. Mean daily air temperature and sum of rainfalls during the potato vegetation period in 1999-2008 in Parczew and Osiny



Rys. 2. Współczynniki hydrotermiczne Sielianiowa w okresie wegetacji ziemniaka w latach 1999-2008 w Parczewie i Osinach

Fig. 2. Selyaninov hydrothermal coefficients during the potato vegetation period in 1999-2008 in Parczew and Osiny

w 2001 roku, najmniej zaś sprzyjające miały miejsce w Osinach w 2005 roku, a w Parczewie w latach: 1999, 2000 i 2002. Współczynnik zmienności tej cechy wynosił od 16,5% (Osiny) do 19,2% (Parczew).



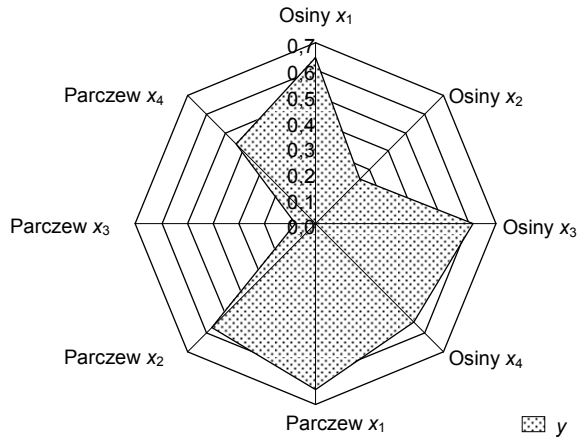
Rys. 3. Wilgotność względna powietrza oraz poziom wody gruntowej w latach 1999-2008 w Parczewie i Osinach

Fig. 3. Relative air humidity and groundwater level during the potato vegetation period in 1999-2008 in Parczew and Osiny

Wilgotność względna powietrza okazała się wyjątkowo stabilna w latach badań: wartość jej współczynnika zmienności była mała i wynosiła od 2,6% (Osiny) do 3,3% (Parczew) (tab. 5).

Poziom wód gruntowych w Osinach i Parczewie był zróżnicowany w poszczególnych latach badań i skorelowany dodatkowo z sumą opadów atmosferycznych. Przeciętny poziom lustra wody był wyższy w Parczewie niż w Osinach. Współczynnik zmienności tej cechy wynosił odpowiednio: 19,5% (Parczew) i 18,8% (Osiny) (tab. 5).

Analiza zmian poziomu wody gruntowej w zestawieniu z przebiegiem elementów meteorologicznych pokazała, że istnieją ściśle zależności pomiędzy tymi zmiennymi. Zmiany głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w dużym stopniu zależały od elementów meteorologicznych, a zwłaszcza od sumy opadów, wilgotności względnej powietrza i średniej dobowej temperatury powietrza (tab. 4, rys. 3). Wysoka temperatura, przy małej wilgotności względnej powietrza, może powodować wzmożone parowanie z lustra wody gruntowej oraz z roślin, co w rezultacie prowadzi do obniżenia poziomu zwierciadła wody gruntowej. Parametry temperatury i wilgotności względnej powietrza są zatem bezpośrednio związane z ewapotranspiracją z powierzchni gleby. Stosunkowo duża korelacja występowała również między głębokością zalegania wody gruntowej a wielkością opadów atmosferycznych, natomiast zależności między głębokością zalegania wody gruntowej a współczynnikiem hydrotermicznym w Parczewie oraz między poziomem wody gruntowej a średnią dobową temperaturą powietrza w Osinach były niewielkie. Zależności te są widoczne nie tylko w tabeli 4, pokazującej poszczególne współczynniki korelacji, lecz także na diagramie redundancji (rys. 4), na którym wartości zmian zwierciadła wody gruntowej są skorelowane ze średnią temperaturą powietrza. Analiza regresji pokazała, iż dane te tłumaczą w 34-42% zmienność poziomu wody gruntowej. Diagram redundancji prezentuje także korelację pomiędzy



Rys. 4. Diagram redundancji (RDA) pokazujący relacje pomiędzy zmianami poziomu wody gruntowej a poszczególnymi parametrami meteorologicznymi

Fig. 4. Redundancy diagram (RDA) showing the relationship between fluctuations in groundwater level and various meteorological parameters

głębokością zwierciadła wody gruntowej a elementami meteorologicznymi w obu miejscowościach. Na diagramie zamieszczono wszystkie parametry meteorologiczne, a test t Studenta pokazał, że wilgotność powietrza była najbardziej istotnie statystycznie ($p < 0,01$) skorelowana z głębokością zwierciadła wody gruntowej. Z diagramu wynika także, że opady nie są skorelowane z temperaturą i średnią dobową wilgotnością względną. Podobny brak związku pomiędzy opadem atmosferycznym a średnią dobową temperaturą powietrza (w Osinach) i wilgotnością względną powietrza (w Parczewie) jest widoczny w tabeli 4. Przy niskiej temperaturze wilgotność względną powietrza w obrębie obiektu zwiększała się.

Przeprowadzona analiza wariancji plonu bulw wykazała istotny wpływ na plon nie tylko odmian (tab. 3), lecz także lat oraz współdziałania lat i odmian (tab. 2). Odmiany wywarły istotny wpływ na plon bulw w obu miejscowościach, przy czym w Osinach był on istotny na poziomie $\alpha \leq 0,01$ (9,7%), a w Parczewie – na poziomie $\alpha \leq 0,05$ (4,8%). Plon bulw okazał się w większym stopniu uzależniony od warunków wegetacji w poszczególnych latach badań (w 52,9% w Osinach i w 49,2% w Parczewie) oraz współdziałania odmian i lat (37,4% i 45,9% – odpowiednio w Osinach i Parczewie), stąd też starano się wyjaśnić przyczyny tak dużej zmienności plonu odmian w latach badań za pomocą rachunku regresji wielomianowej.

Wpływ wskaźników meteorologicznych oraz hydrologicznych na poziom plonów ziemniaka niezależnie od odmiany w obu mezoregionach ilustrują modele regresji wielomianowych o postaci: $y = 213,382 + 0,304x_1 - 12,164x_2 + 16,190x_3 + 0,342x_5$ (Osiny) oraz $y = 180,920 + 0,226x_1 - 12,150x_2 - 46,140x_3 - 0,140x_5$ (Parczew). Częstkowe współczynniki regresji (b_j) wskazują, o ile zmienia się plon, jeśli dany czynnik zmienia się o jednostkę. Dopasowanie modelu do danych empirycznych wykonano poprzez weryfikację hipotezy o istotności współczynnika determinacji. Oszacowany model

objaśnił ponad 60% zmienności zmiennych zależnych (dla Osin D = 62,04%, dla Parczewa D = 63,43%). Współczynniki determinacji obu tych modeli były zatem wiarygodne statystycznie (Konarski, 2004). Do czynników istotnie kształtujących plon ziemniaka badanych odmian należy zaliczyć: opady, średnią temperaturę powietrza, współczynnik hydrotermiczny i poziom wody gruntowej. W obu miejscowościach czynnikiem nieistotnym dla wartości plonu okazała się wilgotność względna powietrza.

Analizowano również wpływ wybranych danych meteorologicznych i hydrologicznych na plon odmian w poszczególnych grupach wczesności (tab. 6). Plonowanie badanych odmian ziemniaka warunkował układ parametrów meteorologicznych i hydrologicznych, takich jak: poziom wody gruntowej – dla odmian od bardzo wczesnych po późne, współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa – dla odmian od średnio wczesnych do późnych, suma opadów i miesięczna temperatura powietrza – dla odmian od średnio późnych do późnych oraz wilgotność względna powietrza – dla odmian średnio późnych. Współczynniki determinacji równań wynosiły od 42% – dla odmian wczesnych do 62,9% – dla odmian późnych (tab. 6).

Tabela 6. Wartości cząstkowych współczynników regresji plonu w stosunku do zmiany wartości zmiennych niezależnych o jednostkę

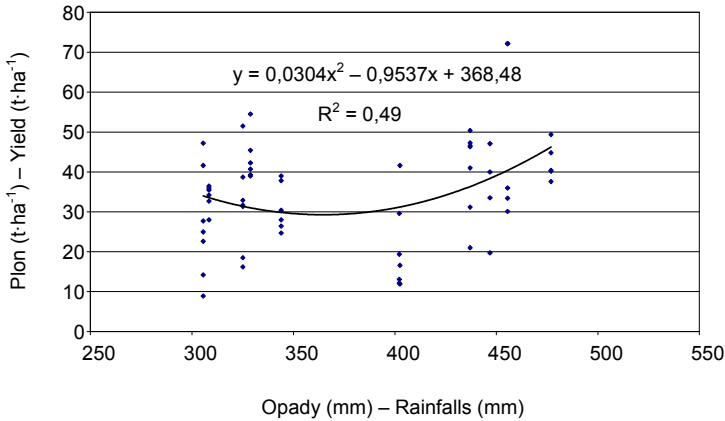
Table 6. Values of partial regression coefficients of yield in relation to change in the values of independent variables by one unit

Grupa wczesności odmian Group of cultivars earliness	Wyraz wolny Intercept	Zmienne niezależne Independent variables					Współczynnik determinacji Determination coefficient (%)	Istotność F Significance F
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5		
Bardzo wczesne Very early	52,873					0,393	47,02	0,030
Wczesne Early	53,901					0,355	42,05	0,018
Średnio wczesne Middle early	44,506			5,814		0,312	44,27	0,047
Średnio późne Middle late	74,003	0,061	-1,972	2,675	-0,302	0,244	51,56	0,046
Późne Late	52,077	0,304	-7,570	-4,283		0,678	62,86	0,004

x_1 – suma opadów, x_2 – średnia dobowo temperatura powietrza, x_3 – współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa, x_4 – wilgotność względna powietrza, x_5 – poziom wody gruntowej.

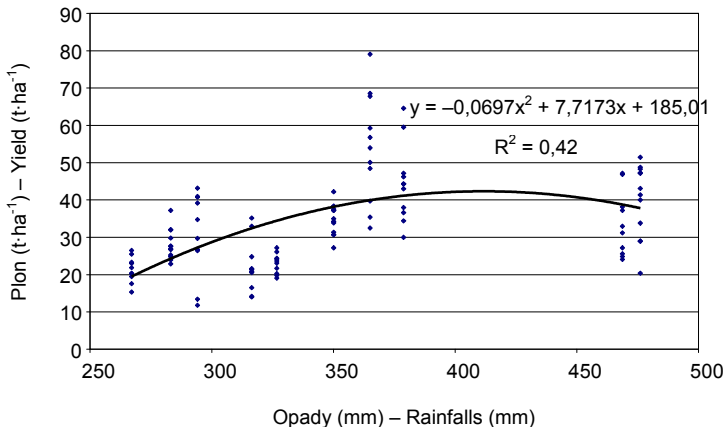
x_1 – sum of rainfalls, x_2 – mean daily air temperature, x_3 – Selyaninov hydrothermal coefficient, x_4 – relative air humidity, x_5 – groundwater level.

Rozpatrywano również cząstkowe zależności plonu bulw od poszczególnych parametrów meteorologicznych. W przeprowadzonej analizie charakter przebiegu krzywych obrazujących zależność plonowania ziemniaka od opadów był różny dla obu mezoregionów (rys. 5, 6). Oszacowany model dla Osin objaśnił prawie 49% zmienności zmiennych zależnych ($R^2 = 0,49$), a dla Parczewa – 42% ($R^2 = 0,42$). Wyraźną tendencję



Rys. 5. Częstkowa zależność plonu bulw od sumy opadów w okresie wegetacji w Osinach

Fig. 5. Partial dependence of yield of tubers on sum of rainfalls during the vegetation period in Osiny



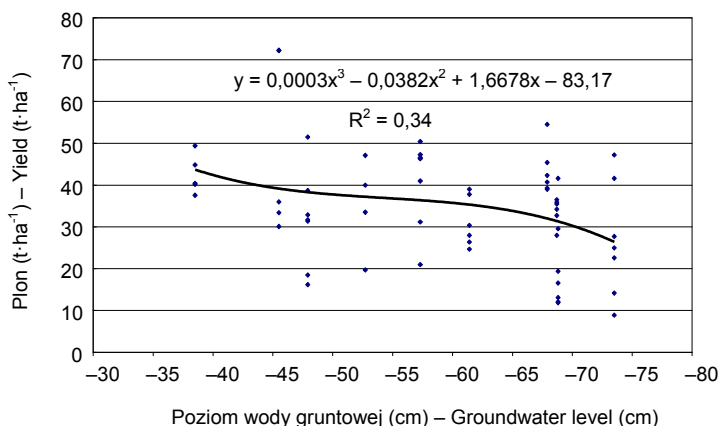
Rys. 6. Częstkowa zależność plonu bulw od sumy opadów w okresie wegetacji w Parczewie

Fig. 6. Partial dependence of yield of tubers on sum of rainfalls during the vegetation period in Parczew

wzrostową plonu ziemniaka w Osinach można było zauważyć przy zwiększeniu opadów do wartości powyżej 300 mm, w Parczewie zaś – do wartości powyżej 350 mm. Współczynnik determinacji tego modelu regresji świadczy o tym, że do zmienności tej cechy przyczyniły się inne czynniki, nieuwzględnione w modelu funkcji, np. infekcyjne.

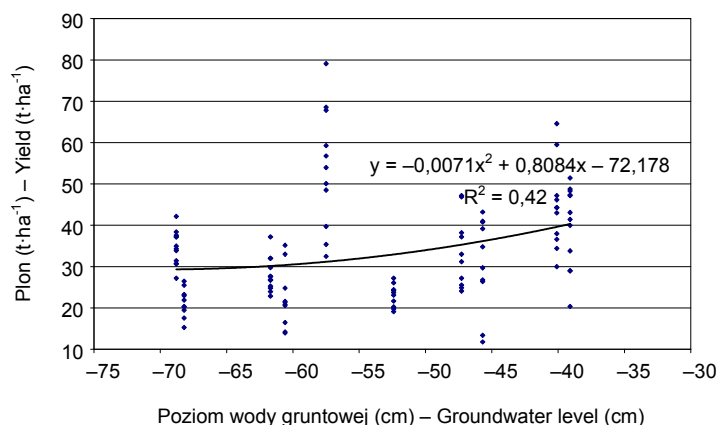
Poziom wody gruntowej decyduje zwykle w dużym stopniu o plonie roślin uprawnych. Przeprowadzona analiza zależności plonu od poziomu wody gruntowej miała odmienny charakter dla obu miejscowości. W Osinach przyjęty model objaśnia tylko niecałe 34% zmienności zmiennych zależnych ($R^2 = 0,337$) (rys. 7). Oznacza to, że

o plonie ziemniaka w tej miejscowości decydują też inne czynniki, nieuwzględnione w modelu funkcji, np. epifitoza *Alternaria solani* czy *Phytophthora infestans*. W Parczewie zależność plonu od poziomu wody gruntowej opisuje model regresji wielomianowej, parabolicznej. Największy plon bulw uzyskiwano tutaj przy poziomie lustra wody około -50 cm. Model regresji wielomianowej objaśnia prawie 42% zmienności zmiennych zależnych ($R^2 = 0,418$) (rys. 8). Poziom lustra wody jest istotnym czynnikiem kształtującym warunki wzrostu i rozwoju roślin uprawnych. Oszacowanie jego wielkości może pomóc w podjęciu decyzji o deszczowaniu.



Rys. 7. Częstkowa zależność plonu bulw od poziomu wody gruntowej w okresie wegetacji w Osinach

Fig. 7. Partial dependence of yield of tubers on groundwater level during the vegetation period in Osiny

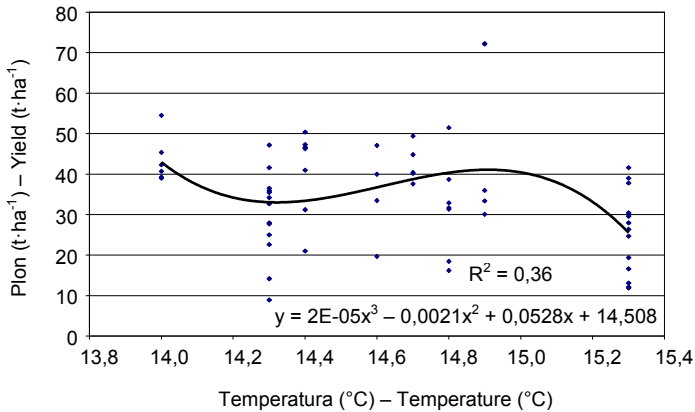


Rys. 8. Częstkowa zależność plonu bulw od poziomu wody gruntowej w okresie wegetacji w Parczewie

Fig. 8. Partial dependence of yield of tubers on groundwater level during the vegetation period in Parczew

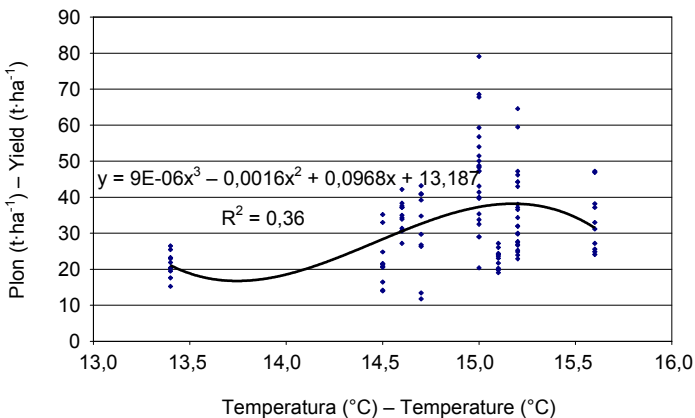
W przeprowadzonej analizie wykazano większy wpływ warunków termicznych na plony ziemniaka niż warunków wilgotnościowych, co wynika z wartości współczynników regresji wielomianowej. Obfitym plonom bulw ziemniaka sprzyjała temperatura, oscylująca w Osinach między 14,6 a 14,8°C, a w Parczewie – między 14,8 a 15,0°C (rys. 9, 10). Współczynniki determinacji wyznaczonych cząstkowych równań regresji kształtowały się, zarówno dla Osin, jak i dla Parczewa, na poziomie $R^2 = 0,36$.

Wartości współczynnika Sielianinowa w okresie wegetacji ziemniaka, zarówno w Osinach, jak i w Parczewie, kształtowały się podobnie, w przedziale 0,9-1,6 (tab. 5, rys. 2). Analiza regresji wielomianowej wykazała, że w warunkach zachodniej części



Rys. 9. Cząstkowa zależność plonu bulw od średniej temperatury powietrza w okresie wegetacji w Osinach

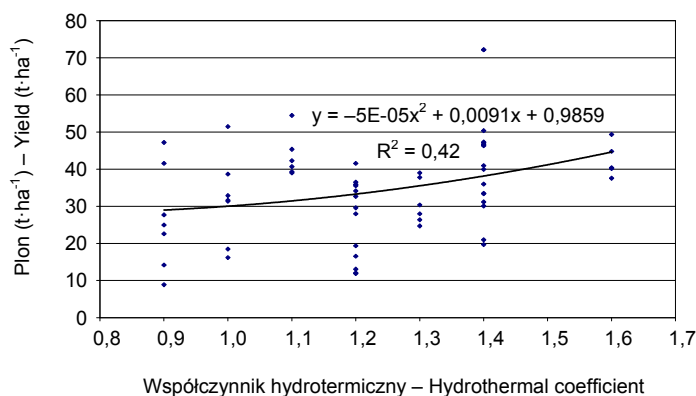
Fig. 9. Partial dependence of yield of tubers on mean air temperature during the vegetation period in Osiny



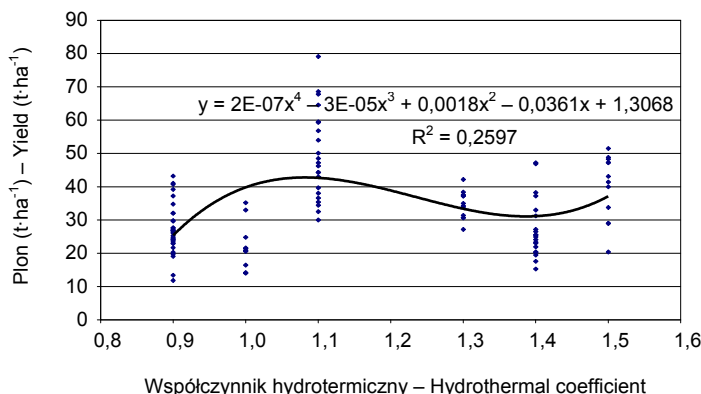
Rys. 10. Cząstkowa zależność plonu bulw od średniej temperatury powietrza w okresie wegetacji w Parczewie

Fig. 10. Partial dependence of yield of tubers on mean air temperature during the vegetation period in Parczew

województwa lubelskiego występuje zależność wielomianowa, paraboliczna pomiędzy plonem bulw a wartością współczynnika hydrotermicznego. Wynika stąd, że optymalny dla plonu bulw ziemniaka byłby współczynnik hydrotermiczny o wartości około 1,4. Oszacowany model objaśnia prawie 42% zmienności zmiennych zależnych ($R^2 = 0,42$). Zbiór zmiennych objaśniających (bez stałej) był łącznie istotny ($0,0000 < 0,01$) (rys. 11). Analiza zależności plonu bulw od współczynnika hydrotermicznego dla Parczewa wykazała zależność wielomianową czwartego stopnia z plonem bulw. Wynika stąd, że optymalny dla plonu bulw jest współczynnik hydrotermiczny oscylujący wokół wartości 1,25. Wyszacowany model regresji objaśnia jednak zaledwie 26% zmienności zmiennych zależnych ($R^2 = 0,26$), przy czym należy dodać, że zbiór zmiennych objaśniających (bez stałej) był łącznie istotny ($< 0,05$) (rys. 12).



Rys. 11. Częstkowa zależność plonu bulw od współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa w okresie wegetacji w Osinach
 Fig. 11. Partial dependence of yield of tubers on Selyaninov hydrothermal coefficient during the vegetation period in Osiny



Rys. 12. Częstkowa zależność plonu bulw od współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa w okresie wegetacji w Parczewie
 Fig. 12. Partial dependence of yield of tubers on Selyaninov hydrothermal coefficient during the vegetation period in Parczew

Dyskusja

Zasoby wody w glebie oraz warunki termiczne i opadowe wywierają istotny wpływ na plonowanie roślin. Szczególnie ważnym zjawiskiem jest nie sam fakt występowania wody w glebie, ale jej ilość, dostępność i możliwość korzystania z niej przez rośliny w ciągu całego okresu wegetacji. Współczynnik zmienności V dla sumy opadów, będący bezwzględną miarą, niezależną od skali jednostek, wynosił dla Osin i Parczewa odpowiednio: 16,67% i 19,55%. Według Kołodziej i in. (2003) na Lubelszczyźnie średnie sumy opadów z 50-lecia w tym samym okresie czasowym wynoszą od 400 mm na północy do 500 mm na południu. Zatem suma opadów atmosferycznych, zwłaszcza w Parczewie, znajdowała się znacznie poniżej tych wartości. Potrzeby wodne ziemniaka, przy stosowaniu poprawnej agrotechniki, zależą głównie od długości okresu wegetacji, odmiany, rejonu uprawy i rodzaju gleby (Kalbarczyk, 2004; Kołodziej i in., 2003). Zdaniem Kalbarczyka (1999) istotnym zagrożeniem dla plonów ziemniaka są zarówno nadmierne stany uwilgotnienia gleby w okresie od sadzenia do pełni kwitnienia, jak i niedostateczne stany wilgotności w drugiej połowie okresu wegetacji. Według Radzkiej i in. (2010) w południowo-wschodniej Polsce plon ziemniaka jest ujemnie skorelowany z wartościami wskaźnika uwilgotnienia atmosfery w kwietniu oraz z wielkością opadów w lipcu. Z badań Nowaka (1989) wynika, że odmiany wczesne, w okresie od sadzenia do zbioru dają największe plony przy opadach 250-300 mm, odmiany średnio wczesne – przy 300-350 mm, a odmiany późne – przy 350-400 mm. Sumę opadów w okresie wegetacji należy jednak rozpatrywać na tle zapotrzebowania danego gatunku czy odmiany na wodę. W przypadku wczesnych odmian ziemniaka opady w tym regionie, zdaniem Kołodziej i in. (2003), wystarczają na pokrycie zaledwie 79%, a w przypadku późnych odmian – na pokrycie około 91% potrzeb opadowych roślin. Potrzeby wodne ziemniaka według Kowalik i Scalenghe (2009) sięgają 315 mm w okresie wegetacji, a zdaniem Brouwera i Heibloema (1986) – w warunkach Europy Zachodniej – 500-700 mm, a więc są dwukrotnie większe. Kalbarczyk i Kalbarczyk (2004), charakteryzując czasowy i przestrzenny rozkład opadów, wykazali, iż średnia powierzchnia kraju z opadami optymalnymi w okresie wegetacji ziemniaka późnego zajmowała 25%, prawie trzykrotnie więcej niż powierzchnia z opadami optymalnymi dla ziemniaka wczesnego. Ci sami autorzy zaobserwowali również, iż najmniejsza średnia powierzchnia kraju z niekorzystnymi opadami, jak i najmniejsze prawdopodobieństwo lat z opadami optymalnymi, występują na glebie lekkiej.

Wilgotność względna powietrza była bardzo stabilna w latach badań: wartość jej współczynnika zmienności była mała i wynosiła od 2,6% w Osinach do 3,3% w Parczewie. Wilgotność względna, temperatura powietrza oraz opad atmosferyczny to trzy krytyczne dane meteorologiczne w uprawie ziemniaka, mające zasadniczy wpływ na rozwój: *Alternaria solani*, *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuis* i *Phytophthora infestans*, przyczyniających się do zmniejszenia plonu bulw (Kalbarczyk, 2003).

Poziom wód gruntowych, zarówno w Osinach, jak i w Parczewie, był zróżnicowany w latach badań, ale skorelowany dodatnio z sumą opadów atmosferycznych w tych miejscowościach. Przypuszcza się, że był uzależniony od stanu wody na rzekach: Wieprz (Osiny), Pivonia i Jasionka (Parczew), znajdujących się w pobliżu tych miejscowości. Głębokość lustra wody gruntowej decyduje o zajmowanej przez powietrze objętości w wierzchniej warstwie gleby. Im jest ona wyższa, tym większe są możliwości zatrzy-

mania nagłych i obfitych opadów atmosferycznych. Możliwość taka występuje głównie w lecie, a nie wiosną, w okresie największych przepływów wody w ciekach. W przeprowadzonych badaniach lustro wody gruntowej od początku wegetacji obniżało się systematycznie i dopiero obfite opady jesienne wyraźnie je podnosiły – do około 60 cm w październiku. Niższy poziom wód gruntowych w lecie, nawet przy większych opadach atmosferycznych, wynika z dużego rozchodu na ewapotranspirację. Przy takim poziomie wód gruntowych plantacje ziemniaka w okresie letnim odczuwają niedosyt wilgotności w warstwie korzeniowej. Optymalny poziom wody gruntowej, według Zawadzkiego i Olszty (1989), na glebach mineralnych powinien mieścić się w przedziale od –50 do –60 cm, gdyż wtedy zapewnia dobre zaopatrzenie roślin w wodę, ogranicza też przesuszanie wierzchnich warstw gleby oraz chroni dodatnie właściwości tych gleb. Obniżenie się lustra wody poniżej tej granicy powoduje przesuszanie wierzchnich warstw gleby oraz niekorzystne zmiany w warstwie podornej. Na badanym obszarze poziom lustra wody gruntowej w dużej części znajdował się poza zasięgiem strefy korzeniowej. Gleby lekkie, przeważające w północno-wschodniej części użytków rolnych województwa lubelskiego, charakteryzuje mała pojemność retencyjna oraz szybka infiltracja wody opadowej do głębszych poziomów profilu glebowego. Warunki takie są typowe dla znacznej części pokrywy glebowej. Szczególnie niekorzystne warunki wodne i znaczne zagrożenie suszą występują na Polesiu Zachodnim, w granicach województwa lubelskiego (Sadowski i in., 2009). Należy przypuszczać, iż utrzymujący się okresowo w obiektach doświadczalnych poziom wody gruntowej poniżej –60 cm mógł się przyczynić do pogorszenia właściwości fizycznych i wodnych warstwy korzeniowej i podkorzeniowej. Ocena współczynników korelacji prostej między zmiennymi meteorologicznymi a zmienną hydrologiczną wykazała istnienie ciekawych zależności. Stosunkowo duża wartość współczynnika korelacji występowała między głębokością zalegania wody gruntowej a wielkością opadów atmosferycznych. Zdaniem Hałas i in. (2008) w okresach z dużymi średnimi wartościami temperatury dobowej powietrza wzrasta ewapotranspiracja i woda zmagazynowana w glebie szybciej wyparowuje. Opad atmosferyczny w tych okresach może być więc znacznie mniej efektywny niż stosunki termiczne. Niewielkie opady w okresie wegetacji w tej części Polski (350-383 mm) powodują, iż w okresie letnim następuje deficyt wody gruntowej, jednakże można przypuszczać, że w bardzo wilgotnych i zimnych okresach wegetacji zależności między temperaturą i opadem atmosferycznym mogą być mniejsze. Pomiar długości i zasięgu głębokościowego korzeni przeprowadzone przez Głuską (2004) w doświadczeniu wazonowym na podłożu piaskowym oraz wyniki uzyskane w naturalnym profilu glebowym na tych samych odmianach, o zróżnicowanej wrażliwości na suszę, potwierdziły te przypuszczenia. Autorka ta wykazała, iż długość systemu korzeniowego polskich odmian ziemniaka wynosi średnio 3702 cm (zakres 1192-7891 cm), zasięg zaś głębokości tegoż systemu wynosi średnio 49 cm (zakres 30-70 cm). Różnica w długości systemu korzeniowego między badanymi odmianami o skrajnych wartościach tej cechy wynosiła aż 6699 cm. Autorka stwierdziła też wysoce istotną korelację pomiędzy długością systemu korzeniowego a plonem ziemniaka.

Zmiana klimatu, zwłaszcza w wyniku dużych zmian ekosystemu, może drastycznie zaostrzyć problem suszy i braku upraw na nią niewrażliwych. Ponadto okresy suszy zmieniają się z roku na rok, tak w surowości, jak i w długości, co utrudnia roślinom przystosowanie się do warunków ekstremalnych. Wiele współczesnych odmian ziem-

niaka jest wrażliwych lub bardzo wrażliwych na suszę, stąd też wobec narastających w Europie, w tym w Polsce, trudności z wodą dla rolnictwa odmiany o dużym zasięgu systemu korzeniowego powinny się znaleźć wśród strategicznych celów hodowli nowych odmian ziemniaka (Głuska, 1999, 2004; Schafleitner i Hyps, 2013). Dotychczas tylko w Japonii wypracowano i wprowadzono do hodowli twórczej skuteczne metody selekcji już na etapie siewek, w kierunku uzyskania genotypów o dużych systemach korzeniowych (Iwama, 1998; Iwama i in., 1999; Kashiwagi i in., 2000). Ostatnio naukowcy z Międzynarodowego Centrum Ziemniaka (CIP) w Limie (Peru) badają bardzo szerokie spektrum odmian oraz rodzimych, andyjskich gatunków ziemniaka, aby zidentyfikować geny i molekularne mechanizmy tolerancji na suszę w celu zaprojektowania nowych, odpornych na suszę odmian (Schafleitner i Hyps, 2013).

W przeprowadzonej analizie wykazano większy wpływ warunków termicznych niż wilgotnościowych na plony ziemniaka, co potwierdza również Kalbarczyk (2004). Obfitym plonom bulw ziemniaka na Wysoczyźnie Lubartowskiej sprzyjała temperatura 14,6-14,8°C, natomiast na Polesiu Lubelskim – 14,8-15,0°C. Wartości współczynników determinacji obu równań były przeciętne i kształtowały się na poziomie 0,36. Biniak i in. (2007) po przeanalizowaniu miesięcznych temperatur powietrza i plonów średnio późnych odmian ziemniaka wykazali statystycznie istotną zależność między tymi wartościami w kwietniu i czerwcu, zaledwie na poziomie $R^2 = 0,13$.

Wartość wskaźnika hydrotermicznego Sielianinowa w okresie od kwietnia do września, jak podaje Kalbarczyk (2003), mieści się w przedziale od 1,29 do 1,67, przy czym najmniejsze wartości występują we wrześniu, a największe – w kwietniu. Wartości wskaźnika hydrotermicznego w okresie wegetacji ziemniaka w obu analizowanych miejscowościach kształtowały się podobnie, pomiędzy 0,9 a 1,6. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że w zachodniej części województwa lubelskiego, na Wysoczyźnie Lubartowskiej, optymalny dla plonu ziemniaka byłby wskaźnik o wartości około 1,4, w warunkach zaś Polesia Lubelskiego – wskaźnik oscylujący wokół 1,25. Wyniki badań Kalbarczyka (2003) i Głuskiej (2004) pokazują nieco większe wartości wskaźnika hydrotermicznego Sielianinowa potrzebne do prawidłowego przebiegu procesów życiowych ziemniaka. Badania Jakubowskiego (2007) z wczesnymi odmianami ziemniaka w warunkach południowej części Polski pozwoliły ustalić, że średnia wartość wskaźnika Sielianinowa w okresie wegetacji ziemniaka optymalna dla plonu bulw powinna wynosić około 1,5. Ponadto autor ten uważa, iż współczynnik hydrotermiczny wywiera znaczący wpływ nie tylko na wielkość plonu bulw, lecz także na podatność odmian na uszkodzenia mechaniczne.

W literaturze przedmiotu badań można spotkać tylko nieliczne pozycje przedstawiające charakterystykę poziomu wody gruntowej w powiązaniu z warunkami pogodowymi i plonowaniem roślin ziemniaka. Biniak i in. (2007) po analizie zależności między opadami atmosferycznymi, temperaturami powietrza i zasobnością wodną gleby na sześciu głębokościach a plonami ziemniaka wykazali, że w okresie wegetacji zasoby wodne gleby są głównym wskaźnikiem potrzeb wodnych tego gatunku, bez względu na to, czy są bilansowane za okres miesiąca, czy dekady.

Warunki glebowe modyfikowane przez poziom wody gruntowej, procesy fizyczno-chemiczne oraz obecność wody w porach kapilarnych wpływają na przyswajalność związków mineralnych pobieranych przez korzenie roślin, stąd też ogromne znaczenie dla upraw ziemniaka ma także poziom zwierciadła wody gruntowej, który na badanym

obszarze Polski północno-wschodniej w pewnej jej części może się znajdować poza zasięgiem strefy korzeniowej. Gleby lekkie, przeważające w tej części użytków rolnych województwa lubelskiego, charakteryzuje bowiem mała pojemność retencyjna oraz szybka infiltracja wody opadowej do głębszych poziomów profilu glebowego. Sadowski i in. (2009) twierdzą, iż warunki takie są typowe dla znacznej części pokrywy glebowej tych okolic – gleby zbyt suche są rozproszone w całym regionie, tworząc niewielkie, ale liczne kompleksy. Szczególnie niekorzystne warunki wodne i znaczne zagrożenie suszą występują w północnej i zachodniej części województwa lubelskiego. W perspektywie zmian klimatu i możliwości pogłębiania się ujemnych bilansów wodnych w sezonie wegetacyjnym może nastąpić marginalizacja znaczących obszarów gleb lekkich, które będą wyłączone z produkcji rolnej. Adaptacja do mniej korzystnych warunków uprawy ziemniaka wymagać będzie zwiększenia ilości wody retencjonowanej w glebie przez wprowadzanie infrastruktury służącej małej retencji wodnej oraz renaturalizacji siedlisk mokradłowych. Wpływ metod monitorowania i pozycjonowania wody gruntowej na plon ziemniaka badali Bero i in. (2013). Dowiedli, iż zarządzanie wykorzystaniem wody w uprawie ziemniaka jest możliwe na glebach piaszczystych, jednak pod warunkiem odpowiedniej głębokości i kierunku przepływu wód podziemnych. Zatem właściwa lokalizacja upraw ziemniaka, zwłaszcza odmian o słabszym systemie korzeniowym, będzie miała w przyszłości kluczowe znaczenie.

Wnioski

1. Średnia wilgotność względna powietrza w okresie wegetacji ziemniaka w zachodniej części województwa lubelskiego, na Wysoczyźnie Lubartowskiej, jak i w części wschodniej, na Polesiu Zachodnim, nie wykazywała większego zróżnicowania i nie wpłynęła istotnie na plon bulw.

2. Na Polesiu Zachodnim należy liczyć się z bardziej niekorzystnymi oddziaływaniami niskiego poziomu wód gruntowych na rozwój i plonowanie ziemniaka, zwłaszcza odmian bardzo wczesnych i wczesnych, niż na Wysoczyźnie Lubartowskiej.

3. Plon ziemniaka jest uwarunkowany wzajemnym układem cykliczności parametrów meteorologicznych i hydrologicznych:

- w przypadku odmian bardzo wczesnych i wczesnych – jest to poziom wody gruntowej,
- w przypadku odmian średnio wczesnych – są to: współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa i poziom wody gruntowej,
- w przypadku odmian średnio późnych i późnych – są to: suma opadów, średnia temperatura powietrza, współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa, poziom wody gruntowej, a w przypadku odmian średnio późnych – dodatkowo wilgotność względna powietrza.

4. Obfitym plonom bulw ziemniaka w zachodniej części województwa lubelskiego sprzyjały średnia temperatura okresu wegetacji w granicach 14,6-14,8°C oraz suma opadów w tym czasie od 400 do 450 mm, a w części wschodniej – temperatura rzędu 14,8-15,0°C i opady na poziomie 350-400 mm.

5. Adaptacja odmian ziemniaka do warunków mniej sprzyjających uprawie wymagać może zwiększenia ilości wody retencjonowanej w glebie przez wprowadzenie infrastruktury służącej małej retencji wodnej oraz renaturalizacji siedlisk mokradłowych. Właściwa lokalizacja upraw ziemniaka, zwłaszcza odmian o słabszym systemie korzeniowym, będzie miała w tym przypadku kluczowe znaczenie.

Literatura

- Aslyng, H. C., Hansen, S. (1982). Water balance and crop production, simulation. Copenhagen: Hydrotechnical Laboratory, the Royal Veterinary and Agricultural University.
- Banaszkiewicz, B. (2003). Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Polsce północnej i jej wpływ na produktywność rolniczą klimatu. W: J. Jakubowski, J. Wątroba (red.), *Zastosowania metod statystycznych w badaniach naukowych II* (s. 371–380). Kraków: StatSoft Polska. Pozyskano z: http://www.statsoft.pl/czytelnia/badania_naukowe/d1/biolmed/zmiennośc_temperatury.pdf
- Bero, N. J., Ruark, M. D., Lowery, B. (2013). Monitoring groundwater nitrogen concentration in sandy soils under vegetable production. *Proc. 2013 Winsconsin Crop Manage. Conf.*, 52, 190–197.
- Biniak, M., Kostrzewa, S., Żyromski, A. (2007). Uwarunkowania termiczne i opadowe potrzeb nawadniania w rejonie Wrocławia na przykładzie ziemniaków średnio późnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 519, 31–45.
- Bombik, A., Markowska, M., Starczewski, J. (1999). Wpływ średnich miesięcznych temperatur powietrza i sum opadów na plonowanie ziemniaka w rejonie Siedlec. *Folia Univ. Agric. Stetin.*, 202, *Agric.*, 79, 35–39.
- Brouwer, C., Heibloem, M. (1986). Irrigation water management, irrigation water needs. Training manual No. 3. Rome: FAO Natural Resources Management and Environment Department.
- Cook, R. D., Weisberg, S. (1994). *An introduction to regression graphics*. New York: Chapman and Hall.
- Głuska, A. (1999). Root system measurements in assessment of potato cultivar resistance to drought. *Abstr. 14th EAPR Conf. (Sorrento)*, 186–187.
- Głuska, A. (2004). Zróżnicowanie wielkości systemu korzeniowego u odmian ziemniaka. *Biul. Inst. Hod. Aklim. Rośl.*, 232, 37–46.
- Grabowski, J. (2001). Meteorologiczne warunki plonowania ziemniaka w Polsce północno-wschodniej. *Rozpr. Monogr. UWM Olszt.*, 45, 28–35.
- Hałas, S., Słowiński, M., Lamentowicz, M. (2008). Relacje między czynnikami meteorologicznymi i hydrologią małego torfowiska mszarnego na Pomorzu. *Stud. Limnol. Telmatolog.*, 2, 1, 15–26.
- Iwama, K. (1998). Development of nodal and lateral roots in potato under field conditions. *J. Fac. Agric. Hokkaido Univ.*, 68, 33–44.
- Iwama, K., Hasegawa, T., Nakaseko, K. (1999). New potato lines with high productivity and drought tolerance. W: H. Horie, S. Geng, T. Amario, T. Inamura, T. Shiraiwa (red.), *Proceedings of the International Symposium on "World Food Security and Crop Production Technologies for Tomorrow"*, Kyoto (s. 189–193). Japan: The Crop Science Society of Japan.
- Jakubowski, T. (2007). Plonowanie i podatność na uszkodzenia mechaniczne bulw ziemniaka w zależności od współczynnika hydrotermicznego. *Inż. Roln.*, 96, 8, 87–93.
- Kalbarczyk, R. (1999). Wpływ czynników agrometeorologicznych na plonowanie ziemniaków w województwie lubelskim. *Folia Univ. Agric. Stetin.*, 202, *Agric.*, 79, 91–98.
- Kalbarczyk, R. (2003). Warunki termiczno-opadowe a plonowanie ziemniaka w Polsce. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Sect. E*, 58, 35–44.

- Kalbarczyk, R. (2004). Czynniki agrometeorologiczne a plony ziemniaka w różnych regionach Polski. *Acta Agrophys.*, 4, 2, 339–350.
- Kalbarczyk, R., Kalbarczyk, E. (2004). Czasowo-przestrzenna struktura opadów atmosferycznych w okresie wegetacji różnych grup wczesności ziemniaka w Polsce. *Acta Agrophys.*, 4, 3, 687–697.
- Kashiwagi, J., Iwama, K., Hasegawa, T., Nagata, T. (2000). The relationship between the root mass in seedlings and tuber generations in potato. *Proc. of 12th Symp. of ISTRC*. Tsukuba, Japan, 446–450.
- Kleczkowski, A. (1984). *Ochrona wód podziemnych*. Warszawa: Wyd. Geologiczne.
- Kołodziej, J., Liniewicz, K., Bednarek, H. (2003). Opady atmosferyczne w okolicy Lublina a potrzeby opadowe roślin uprawnych. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Sect. E*, 58, 101–110.
- Konarski, R. (2004). Regresja wielokrotna: diagnostyka i selekcja modelu regresji. Pozyskano z: <http://www.wns-stat.strony.univ.gda.pl/artykuly/art3.pdf>
- Kondracki, J. (2000). *Polska Południowo-Wschodnia*. W: *Geografia regionalna Polski* (s. 279–298). Warszawa: Wyd. Nauk. PWN.
- Koronacki, J., Ćwik, J. (2005). *Statystyczne systemy uczące się*. Warszawa: WNT.
- Kowalik, P. J., Scalenghe, R. (2009). Potrzeby wodne roślin energetycznych jako problem oddziaływania na środowisko w Polsce. Pozyskano z: <http://wis.pol.lublin.pl/kongres3/tom3/7.pdf>
- Koźmiński, Cz., Górka, W., Lamcew-Kowalewska, C. (1988). Określenie i prognozowanie dekadowych zapasów wody w glebie pod żytem i ziemniakami. *Rocz. Glebozn.*, 39, 4, 57–90.
- Koźmiński, Cz., Kalbarczyk, R. (1999). Ocena uwilgotnienia gleby w województwie poznańskim do prognozowania plonów ziemniaka. *Folia Univ. Agric. Stetin.*, 201, Agric., 78, 61–76.
- Lutomirska, B. (2005). Zmienność rozwoju roślin i wybranych cech użytkowych bulw ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) zależnie od warunków meteorologicznych okresu wegetacji. *Maszynopis. Rozprawa doktorska*. Radzików: IHAR.
- Nowak, L. (1989). Potrzeby opadowe roślin okopowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 343, 27–42.
- Pereira, A. B., Nova, N. A., Ramos, V. J., Pereira, A. R. (2008). Potato potential yield based on climatic elements and cultivar characteristics. *Bragantia*, 67, 2, 327–334.
- Radzka, E., Jankowska, J., Koc, G., Rak, J. (2010). Wpływ posuch na plonowanie ziemniaka w południowo-wschodniej Polsce. *Fragm. Agron.*, 27, 4, 111–118.
- Sadowski, M., Wyszynski, Z., Górski, T., Liszewska, M., Olecka, A., Łoboda, T., Pietkiewicz, S. (2009). *Adaptacja produkcji rolnej w województwie podlaskim do oczekiwanych zmian klimatu*. Warszawa: Wyd. IOŚ.
- Schafleitner, R., Hysps, B. (2013). Drought tolerance in potatoes hunting for drought tolerance genes in ancient Andean landraces. Pozyskano z: <http://www.aspb.org/PressReleases/potatoes.cfm>
- Wendling, U., Schellin, H. G. (1986). Neue Ergebnisse zur Berechnung der potenziellen Evapotranspiration. *Z. Meteorol.*, 36, 214–217.
- Zawadzki, S., Olszta, W. (1989). The changes of physico-water properties of excessively dried hydrogenic soils. *Pol. J. Soil. Sci.*, 22, 1, 1–9.

DEPENDENCE OF POTATO YIELDING ON METEOROLOGICAL CONDITIONS IN SELECTED MESOREGIONS OF SOUTH-EAST POLAND

Summary. The aim of this study was to determine the dependence of potato yields on meteorological conditions in two mesoregions of south and eastern Poland. The basis for the paper constituted the meteorological data, the results of measurements of groundwater level and yields of 40 cultivars of potatoes from field experiments, conducted in 1999-2008. Experiments were carried out in the villages located in two mesoregions of southern and eastern Poland, in similar soil conditions, in three replications. The course of the meteorological conditions was tested using the measurements of precipitation, air humidity and air temperature at meteorological stations spaced about 100 km. Additionally, the groundwater conditions in the studied catchments were tested. Data were analysed using analysis of variance, simple correlation and polynomial regression. The threat to potato crops in both mesoregions by excessive soil moisture during the growing season was significantly lower than the insufficient moisture, which may be the main cause of reduction in yield values. High yield of early potato cultivars to late cultivars, in the western part of the Lublin voivodeship, encourage the growing season average temperature within 14.6-14.8°C and rainfall from 400 to 450 mm, and in the eastern part – the temperature 14.8-15.0°C and rainfall of 350-400 mm.

Key words: potato, cultivars, yield, meteorological conditions, groundwater level

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Barbara Sawicka, Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, Poland, e-mail: barbara.sawicka@up.lublin.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

16.10.2014

Do cytowania – For citation:

*Sawicka, B., Barbaś, P. (2015). Zależność plonowania ziemniaków od warunków meteorologicznych w wybranych mezoregionach Polski południowo-wschodniej. *Nauka Przyr. Technol.*, 9, 1, #11. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.1.11*