



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

*Joanna Jankowska*  
Autoreferat rozprawy doktorskiej

**Analiza zmienności oraz ocena stabilności plonowania  
i wybranych cech odmian ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.)  
uprawianych w różnych warunkach glebowo-klimatycznych**

Praca doktorska wykonana pod kierunkiem

**Promotora:**

Prof. dr hab. Zbigniewa Laudańskiego

Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa IHAR-PIB w Radzikowie

**Promotora – sukcesora:**

dr. hab. Dariusza R. Mańkowskiego, prof. IHAR-PIB  
Zakład Biologii Stosowanej IHAR-PIB w Radzikowie

**Promotora pomocniczego:**

dr inż. Marzeny Iwańskiej  
Katedra Biometrii, Instytut Rolnictwa, SGGW w Warszawie

**Recenzenci:**

dr hab. inż. Dariusz Załuski, prof. UWM  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
Katedra Genetyki, Hodowli Roślin i Inżynierii Biosurowców

dr hab. Bogna Zawieja, prof. UPP  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych

Jadwisin, 2023 r.

## **WSTĘP**

Ziemniak jest rośliną, która wykazuje wyraźną reakcję na zmienne warunki środowiskowe, czego efektem jest występowanie interakcji genotypowo-środowiskowej. W grupie czynników środowiskowych największe znaczenie mają warunki glebowe oraz czynniki pogodowo-klimatyczne. W grupie czynników agrotechnicznych należy wymienić: zabiegi uprawowe, nawożenie, nawadnianie, ochrona plantacji. Interakcja  $G \times E$  jest wynikiem współdziałania cech genotypowych danej odmiany z danym środowiskiem (Lenartowicz, 2013).

Do poznania właściwości odmian ziemniaka pod względem ich zdolności adaptacyjnych niezbędne jest przeprowadzanie wielokrotnych serii doświadczeń odmianowych. Przeprowadzenie długookresowych eksperymentów w różnych miejscowościach umożliwia uzyskanie kompleksowej wiedzy na temat zachowania się odmian ziemniaka i ich potencjału plonowania w różnych warunkach siedliskowych (Kaczmarek, 1986; Caliński i in., 1979; Mądry i in., 2010). Stabilność odmian w latach badań jest ważną cechą, szczególnie w kontekście zmieniających się warunków pogodowych. Właściwa ocena stabilności odmian i analiza interakcji genotypowo-środowiskowej pozwalają na selekcję i rekomendację odmian, które wykazują dobrą adaptację do różnych warunków środowiskowych oraz stabilność badanych cech (Becker i Leon, 1988; Mądry i Rajfura, 2003; Mohammadi i Amri, 2008).

Wybór odpowiedniego układu doświadczalnego oraz metody statystycznej do analizy stabilności genotypów w zmiennych warunkach otoczenia jest kluczowy dla skutecznej oceny reakcji odmian ziemniaka na czynniki środowiska. Dlatego w ramach badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej przeprowadziłam badania, które miały na celu uzupełnienie wiedzy z zakresu analizy interakcji genotypowo-środowiskowej i stabilności odmian ziemniaka z zastosowaniem różnych podejść do analizy interakcji  $G \times E$ .

## **CEL PRACY**

Celem pracy było porównanie wyników doświadczeń przeprowadzonych w różnych warunkach środowiskowych w celu przeprowadzenia analizy interakcji genotypowo-środowiskowej. Na podstawie analizy tego zagadnienia sformułowano trzy hipotezy badawcze:

- 1) Efektywność analizy interakcji genotypowo-środowiskowej zależy od sposobu reprezentacji środowiska w serii doświadczeń.
- 2) Różne metody podejścia metodologicznego różnią się jakością uzyskiwanych wyników zależnie od sposobu reprezentacji środowiska w eksperymencie.

- 3) Istnieją metody/analizy stabilności, które umożliwiają poprawną ocenę badanych genotypów niezależnie od sposobu reprezentacji środowiska w serii doświadczeń.

## **MATERIAŁ I METODY**

### **Materiał badawczy**

Materiał badawczy stanowiły wyniki badań własnych, dotyczące plonowania i jakości bulw odmian ziemniaka, wykonanych w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Państwowy Instytut Badawczy Oddział w Jadwisinie oraz wyniki plonowania i jakości bulw odmian badanych w ramach Porejestrowego Doświadczalnictwa Odmianowego w 3 miejscowościach, udostępnione dzięki współpracy z Centralnym Ośrodkiem Badania Odmian Roślin Uprawnych. Badania realizowano w latach 2011-2014. Analizie poddano zestaw 18 odmian ziemniaka powtarzających się przez cały okres prowadzenia doświadczeń – każdą z odmian uprawiano w 4 miejscowościach: Białogard, Chrzastowo, Jadwisin, Krzyżewo.

Miejsca badań reprezentowały różne warunki glebowo-klimatyczne. W celu porównania warunków przyrodniczych obliczono Wskaźnik Waloryzacji Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej (Witek, 1981) oraz wykonano klasyfikację miejsc badań według Niekorzystnych Warunków Przyrodniczych (Stuczyński i in., 2006).

### **Doświadczenia polowe**

Badania przeprowadzono w technologii standardowej z zachowaniem zbliżonego poziomu zabiegów agrotechnicznych we wszystkich miejscowościach (poziom A1). Układ pojedynczych doświadczeń dla wybranych odmian przy przyjętym poziomie agrotechniki odpowiadał kompletnemu układowi bloków losowych. Powierzchnia poletka wynosiła 14,85 m<sup>2</sup>, a liczba roślin 60. Zbiory bulw przeprowadzano po uzyskaniu pełnej dojrzałości roślin według skali BBCH (Klingauf, 2001; Bleinholder i in., 2005). Podczas zbiorów odnotowywano wielkość uzyskanego plonu ogólnego bulw z każdego poletka, następnie w pobranych próbach oceniano wielkość bulw, udział plonu handlowego, występowanie chorób i wad skórki oraz zawartość skrobi. Ocenę cech przeprowadzono według metodyki Centralnego Ośrodka Badań Odmian Roślin Uprawnych (Lenartowicz, 2013).

### **Warunki meteorologiczne**

Dane meteorologiczne gromadzono w punktach realizacji doświadczeń. W celu scharakteryzowania warunków termiczno-wilgotnościowych podczas okresu wegetacji roślin ziemniaka (kwiecień-wrzesień) zestawiono dekadowe i miesięczne sumy opadów oraz średnie

temperatury powietrza. Dla poszczególnych miesięcy obliczono współczynnik hydrotermiczny Sielianiowa (Skowera i Puła, 2004).

### **Analizy statystyczne**

W analizach statystycznych uwzględniono trzy warianty środowisk:

- **Wariant I** – genotyp  $\times$  lokalizacje: Analiza uwzględniała interakcje między genotypem a miejscem uprawy, pozwalając ocenić, jak różne odmiany reagują na zróżnicowane warunki lokalizacyjne. W układzie tym lata były traktowane jako bloki.
- **Wariant II** – genotyp  $\times$  lata: Analiza koncentrowała się na interakcjach między genotypem a rokiem badań, umożliwiając ocenę reakcji odmian na zmieniające się warunki klimatyczne między poszczególnymi latami. W układzie tym lokalizacje były traktowane jako bloki.
- **Wariant III** – genotyp  $\times$  czynnik środowiskowy, czyli kombinacja lat z lokalizacjami: Analiza uwzględniała interakcje między genotypem, rokiem badań oraz miejscem uprawy. Ten wariant pozwalał na ocenę kompleksowych interakcji genotypowo-środowiskowych, uwzględniających zarówno zmienność warunków lat badań, jak i lokalizacyjnych.

Metody statystyczne wykorzystane do analizy danych:

- **Analiza serii doświadczeń za pomocą modelu mieszanego Scheffego-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka.** Wyniki plonowania poddano analizie za pomocą programu SERGEN 4 (Caliński i in., 2003). Analizę serii doświadczeń i analizę stabilności odmian wykonano w oparciu o model mieszany Scheffego-Calińskiego i model regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka (Mądry i Rajfura, 2003; Mądry i Kang, 2005).
- **Analiza serii doświadczeń za pomocą analizy AMMI.** Wyniki plonowania poddano analizie przy użyciu pakietu Statistica w wersji 13.3 (TIBCO Software Inc., 2015) wraz z dodatkiem Zestaw Przyrodnika w wersji 1.0 (StatSoft Polska Sp. z o. o., 2018). Analizę wariancji serii doświadczeń przeprowadzono za pomocą modelu addytywno – multiplikatywnego AMMI (Caliński i in., 1998; Annicchiarico, 2002; Gauch, 2006).
- **Miary szerokiej adaptacji odmian.** Oceniono adaptację genotypów w szerokim sensie. Stopień adaptacji genotypu w szerokim sensie rozumiany jest jako krzywa reakcji plonu odmiany względem zmiennych warunków środowiskowych w miejscowościach serii doświadczeń. Genotyp cechujący się adaptacją w szerokim sensie jest charakteryzowany jako taki, który jednocześnie wykazuje relatywnie wysoką średnią genotypową plonu oraz stabilne plonowanie (Padarewski, 2008; Iwańska, 2010). Miary szerokiej adaptacji – *Miarę*

nadrzędności plonowania ( $P_i$ ), Miarę niezawodności przewagi plonowania ( $R_i$ ) oraz Miarę stabilności Kanga ( $YS_i$ ) wyznaczono w oparciu o wyniki uzyskane z analizy według modelu AMMI. Obliczenia wykonano w pakiecie Statistica w wersji 13.3 (TIBCO Software Inc., 2015) z dodatkiem Zestaw Przyrodnika w wersji 1.0 (StatSoft Polska Sp. z o. o., 2018).

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Plon ogólny

#### – Analiza stabilności wg modelu mieszanego Scheffego-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka

Wyniki badań modelu mieszanego Scheffego-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka dla plonu ogólnego bulw ziemniaka, wykazały, że niezależnie od zastosowanej metody prezentacji wyników, istotny wpływ na interakcję miał czynnik odchylenia od regresji (Tab. 1). Pozostałe źródła zmienności były istotne tylko w niektórych podejściach do analizy.

**Tab. 1.** Zestawienie istotnych statystyczne wyników analiz wariancji modelu Scheffego-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka oraz modelu AMMI dla plonu ogólnego 18 odmian ziemniaka

Model	mieszany Scheffego-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka			AMMI		
	I	II	III	I	II	III
Źródło zmienności / wariant						
Genotyp				30,51**	35,56**	171,49**
Lata		194,73**				
Lokalizacja	172,94**					
Środowisko (lata × lokalizacje)			346,48**			85,89**
Genotyp × lata		6,09**			6,09**	
Genotyp × lokalizacja	3,05**			3,04**		
Genotyp × czynnik środowiskowy			13,88**			17,62**
Bloki lata (lokalizacje)				88,00**		
Bloki lokalizacje (lata)					104,29**	
Bloki lata (środowisko)						6,87**
Regresja względem środowiska						
Odchylenie od regresji	3,70**	7,18**	15,22**			
Błąd doświadczenia / losowy						

I - genotyp × lokalizacje, II - genotyp × lata, III - genotyp × czynnik środowiskowy; \*\* - istotność na poziomie  $\alpha=0,0$

Zidentyfikowano odmiany, które plonowały istotnie wyżej niż średnia ogólna. Odmiana Tajfun była stabilna we wszystkich wariantach (I, II, III) i osiągała plony istotnie wyższe od średniej ogólnej dla wszystkich odmian (Tab. 2). Podobną tendencję obserwowano dla odmian Ametyst i Tetyda w przypadku wariantów I – genotyp × lokalizacje oraz III – genotyp × czynnik środowiskowy. Oznacza to, że te odmiany plonowały stabilnie powyżej średniej środowiskowej niezależnie od warunków glebowo-klimatycznych. Zostały one określone jako tzw. "genotypy

idealne", które są wartościowe z punktu widzenia hodowli roślin i rolnictwa, ponieważ osiągają wysokie plony i wykazują stabilność (Yan, 2002).

**Tab. 2.** Zestawienie wyników analiz modelu mieszanego Scheffego-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka oraz modelu AMMI dla plonu ogólnego 18 odmian ziemniaka

Model	mieszany Scheffego-Calińskiego i model regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka															AMMI								
	I			II			III									I		II		III				
							lata			lokalizacje			środowisko											
Plony	+	=	-	+	=	-	+	=	-	+	=	-	+	=	-	+	=	-	+	-	+	-	+	-
Ametyst	x						x			x									x					
Cekin		x			x			x			x			x								x		
Denar								x			x													
Finezja	x							x			x								x					
Gawin		x						x			x													
Gustaw									x			x												x
Jelly									x			x										x		
Legenda			x			x			x			x							x			x		
Lord								x			x													
Michalina		x									x								x					
Milek									x			x												
Oman			x						x			x												
Owacja											x											x		
Satina								x	x															
Stasia		x									x								x					
Tajfun	x				x			x			x													
Tetyda	x										x								x					
Vineta			x			x	x		x			x							x			x		

I - genotyp × lokalizacje, II - genotyp × lata, III - genotyp × czynnik środowiskowy; + plon istotnie wyższy od średniej ogólnej, = plon na poziomie średnim, - plon istotnie niższy od średniej ogólnej; x - odmiana stabilna

#### – Analiza stabilności wg modelu AMMI

Na podstawie analizy wariancji wg modelu AMMI stwierdzono istotny wpływ genotypu na wysokość uzyskanego plonu ogólnego ziemniaka we wszystkich analizowanych sposobach prezentacji środowiska (Tab. 1). Nie stwierdzono zgodności otrzymanych wyników dla innych istotnych źródeł zmienności, które różniły się w zależności od badanego wariantu.

Odmiany: Ametyst, Finezja, Michalina, Stasia i Tetyda charakteryzowały się wyższymi niż średnia plonami, jednak były stabilne tylko w wariancie I. W wariantach II i III odmiany stabilne gromadziły plon poniżej średniej odmianowej (Tab. 2). Odmiany Legenda i Vineta były odmianami stabilnymi, które uzyskały plony niższe od średniej odmianowej zarówno w wariancie I i II (Tab. 2). Te odmiany wykazywały stabilność i szersze zdolności adaptacyjne w różnych środowiskach, co potwierdza zasady stabilności zaproponowane przez Eberharta i Russela (1966).

#### Porównanie metod

Na podstawie zastosowanych metod analizy stabilności, tj. modelu Scheffego-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka oraz modelu AMMI, stwierdzono, że niektóre wyniki były spójne i potwierdzały wpływ tych źródeł na stabilność plonu (Tab.1).

Analizy interakcji genotypowo-środowiskowej za pomocą modelu Scheffégo-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka doprowadziły do zidentyfikowania większej liczby odmian stabilnych rolniczo w porównaniu do analizy AMMI (Tab. 2).

Spójność wyników bez względu na zastosowaną metodę statystyczną oraz tylko w wariancie genotyp  $\times$  lokalizacje, stwierdzono dla odmian: Ametyst, Finezja i Tetyda, które uznano za stabilne rolniczo, charakteryzujące się plonami powyżej średniej środowiskowej. To tzw. odmiany idealne, jak zostało zauważone przez Yan (2002), są pożądane przez rolników i hodowlę ziemniaka. Wykazują one wyższe, ponadprzeciętne plony i dobrą adaptację zarówno do korzystnych, jak i niekorzystnych środowisk, reagując na nie w sposób przewidywalny (Flis i in., 2014).

Wyniki analizy przeprowadzonej wg modelu Scheffégo-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka oraz modelu AMMI dla wariantu I – genotyp  $\times$  lokalizacje wskazują na pożądane efekty dla hodowli ziemniaka. Czteroletnie badania przeprowadzone w czterech lokalizacjach o różnych warunkach glebowo-klimatycznych dostarczyły istotnych informacji dotyczących plonowania genotypów.

Zarówno analiza stabilności wg modelu Scheffégo-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka, jak i analiza przy użyciu modelu AMMI, są skutecznymi narzędziami do selekcji stabilnych i wysokowydajnych odmian ziemniaka w lokalnej hodowli oraz w warunkach klimatu umiarkowanego ciepłego przejściowego Polski.

**Tab. 3.** Zestawienie wyników stopnia szerokiej adaptacji dla plonu ogólnego odmian ziemniaka

Wariant / odmiana	I - genotyp $\times$ lokalizacje	II - genotyp $\times$ lata	III - genotyp $\times$ czynnik środowiskowy
Ametyst	x	x	x
Cekin			
Denar	x		
Finezja		x	x
Gawin			
Gustaw			
Jelly			
Legenda			
Lord	x		
Michalina		x	
Milek			
Oman			
Owacja			
Satina		x	
Stasia	x		x
Tajfun	x	x	x
Tetyda	x	x	x
Vineta			

x - odmiana wykazała stopień szerokiej adaptacji

– ***Ocena stopnia adaptacji***

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że odmiany: Ametyst, Tajfun Tetyda, wykazały zgodność w rankingu i występowały we wszystkich wariantach (I, II, III), co wskazuje na spójność wyników analizy niezależnie od sposobu prezentacji danych oraz wykazuje zdolność odmian do stabilnego i wysokiego plonowania w różnych warunkach uprawy (Tab. 3). Powyższe wyniki są zgodne z teorią stabilności zaproponowaną przez Eberharta i Russela (1966) oraz opisywaną przez Iwańską (2010), które podkreślają rolę genotypu w osiągnięciu stabilnych plonów w zmiennych warunkach.

**Plon handlowy**

– ***Analiza stabilności wg modelu AMMI***

W przeprowadzonej analizie stabilności wg modelu AMMI dla plonu handlowego 18 odmian ziemniaka, badana wykazały, że źródła zmienności miały istotny wpływ na analizowaną cechę w zależności od sposobu prezentacji środowiska: genotyp  $\times$  lokalizacje lub genotyp  $\times$  lata.

Udział plonu handlowego w plonie ogólnym ziemniaka w układzie genotyp  $\times$  lokalizacje był głównie determinowany przez efekt lokalizacji w latach, a w mniejszym stopniu przez interakcję genotyp  $\times$  lokalizacje. Natomiast w układzie genotyp  $\times$  lata, gdzie lokalizacje traktowano jako efekt bloków (wariant II), stwierdzono istotny wpływ efektu bloków w lokalizacjach.

Na podstawie wyników modelu AMMI wytypowano odmiany ziemniaka, które uznano za stabilne rolniczo. Wytypowano inne odmiany dla każdego wariantu, a w wariacie II stwierdzono więcej odmian stabilnych, których plon handlowy był powyżej średniej środowiskowej.

– ***Ocena stopnia adaptacji***

Stwierdzono, że odmiana Finezja wyróżniała się jako posiadająca największą zgodność w rankingu i adaptację do warunków badanych, zarówno w analizie danych genotyp  $\times$  lokalizacje, jak i genotyp  $\times$  lata. Wynik ten może być istotny dla hodowców i rolników w celu wyboru odmiany o wysokim potencjale plonowania.

**Zawartość skrobi**

– ***Analiza stabilności wg modelu AMMI***

Analiza modelu AMMI dla plonu skrobi dowodzą, że niezależnie od zastosowanej metody prezentacji wyników (wariant I oraz wariant II), istotny wpływ na interakcję miał genotyp. Wyniki świadczą o tym, że różnice między badanymi odmianami ziemniaka miały istotny wpływ na



obserwowaną zmienność plonu skrobi w różnych warunkach lat badań i lokalizacji. Wyniki te znalazły potwierdzenie u innych autorów, takich jak Mazurczyk (1994), Zarzecka i in. (2004), Sawicka i in. (2011) oraz Trawczyński (2016). Pozostałe źródła zmienności, były istotne w zależności od sposobu prezentacji wyników.

Na podstawie analiz wykonanych wg. modelu AMMI stwierdzono, że wariant I – genotyp  $\times$  lokalizacje, identyfikował mniej odmian stabilnych o plonie skrobi powyżej średniej ogólnej w porównaniu do wariantu II – genotyp  $\times$  lata. Natomiast wariant II zapewniał większą liczbę odmian stabilnych, które osiągały plon skrobi powyżej lub na poziomie średniej ogólnej. Odmiana Tajfun była jedyną stabilną odmianą, która osiągnęła plon skrobi powyżej średniej środowiskowej w obu analizowanych wariantach.

Dla hodowców istotne jest posiadanie odmian stabilnych, które plonują na poziomie lub powyżej średniej ogólnej, dlatego odmiana Tajfun, która spełniała ten warunek w obu wariantach, może być szczególnie wartościowa.

#### – *Ocena stopnia adaptacji*

Na podstawie oceny szerokiej adaptacji zawartości skrobi otrzymano zbliżone wyniki w kontekście miar szerokiej adaptacji. Odmiany: Finezja, Gawin, Gustaw, Legenda, Tajfun, wykazały największą zgodność w rankingu miar szerokiej adaptacji zarówno w wariancie I jak i w wariancie II.

#### **Wady zewnętrzne: deformacje i spękania**

##### – *Analiza stabilności wg modelu AMMI*

Wyniki analizy stabilności wg modelu AMMI w układzie genotyp  $\times$  lokalizacje wykazały, że lokalizacje oraz bloki w latach badań miały istotny wpływ na występowanie wad zewnętrznych w plonie ziemniaka. Natomiast w wariancie II, udział bulw z wadami zewnętrznymi zależał istotnie od bloków w lokalizacjach.

Interesującym wnioskiem z przeprowadzonych analiz jest fakt, że niezależnie od sposobu prezentacji środowisk, uzyskano identyczne wyniki dla odmian: Ametyst, Jelly, Lord i Tetyda. Oznacza to, że te odmiany wykazywały stabilność w kontekście gromadzenia bulw zdeformowanych i spękanych. Pierwsze dwie odmiany gromadziły plon z wadami poniżej średniej środowiskowej, podczas gdy dwie ostatnie miały plon z wadami powyżej średniej środowiskowej odmian.

Na podstawie tych wyników można wskazać, że odmiany: Lord, Tetyda i Finezja są szczególnie istotne z punktu widzenia stabilności rolniczej, ale wymagają uwagi ze względu na ich skłonność do gromadzenia bulw zdeformowanych i spękanych. Dalsze badania i prace hodowlane mogą być skierowane na eliminację tych wad poprzez selekcję odmian o większej odporności na stresy środowiskowe oraz dostosowanie praktyk uprawowych w celu minimalizacji ryzyka wystąpienia tych wad.

– ***Ocena stopnia adaptacji***

W wyniku przeprowadzonych badań w układzie genotyp  $\times$  lokalizacje stwierdzono, że odmiana Stasia wykazywała największą zgodność w rankingu miar szerokiej adaptacji pod względem gromadzenia bulw z wadami zewnętrznymi. W wariancie II odnotowano zgodność w rankingu dla odmian: Gawin, Stasia i Finezja.

Wnioskiem z tych obserwacji jest fakt, że odmiana Stasia wykazywała stabilność w kontekście gromadzenia bulw z wadami zewnętrznymi, niezależnie od zmiennych warunków środowiskowych.

**Wady wewnętrzne: pustowatość bulw**

– ***Analiza stabilności wg modelu AMMI***

Badania analizy wykonanej przy użyciu modelu AMMI dla pustowatości bulw wykazały, że niezależnie od zastosowanej metody prezentacji wyników: genotyp  $\times$  lata czy genotyp  $\times$  lokalizacje, to genotyp był największym istotnym źródłem obserwowanej zmienności. Oznacza to, że różnice między odmianami ziemniaka miały istotny wpływ na występowanie wad wewnętrznych w plonie ziemniaka. Pozostałe źródła zmienności (takie jak: lata lub genotyp  $\times$  lata lub bloki w latach (lokalizacje)) były istotne w zależności od konkretnej metody prezentacji wyników.

Wyniki analiz dotyczące identyfikacji odmian stabilnych były zgodne dla odmiany Stasia. Odmiana ta wykazywała stabilność pod względem gromadzenia wad niezależnie od analizowanego wariantu. Jest to istotna informacja dla hodowców, wskazuje na potencjał tej odmiany do utrzymania stałego i przewidywanego plonu bulw z pustowatością w różnych warunkach.

– ***Ocena stopnia adaptacji***

Analizy stabilności dla wariantów: genotyp  $\times$  lata i genotyp  $\times$  lokalizacje, wskazały na zgodność w rankingu odmiany Tajfun pod względem gromadzenia bulw z wadami. Świadczy to,

że niezależnie od zastosowanej metody prezentacji wyników, odmiana Tajfun zajmowała podobną pozycję w rankingu pod względem zdolności gromadzenia bulw z wadami.

## **WNIOSKI**

1. Wyniki analizy interakcji genotypowo-środowiskowej są uzależnione od sposobu reprezentacji środowiska w serii doświadczeń w zależności od analizowanej cechy.
2. Wyniki analizy stabilności i adaptacji badanych odmian ziemniaka w różnych środowiskach uzyskane przy użyciu zaprezentowanych w pracy metod statystycznych, mogą być ważnym źródłem informacji podczas tworzenia zaleceń uprawowych dla roślin, mogłyby być rezultatem badań PDOiR.
3. Analiza AMMI oraz zaproponowane miary szerokiej adaptacji odmian, pozwoliły na wskazanie odmian, które posiadają zdolność szerokiej adaptacji do różnych warunków środowiskowych.
4. Analiza stabilności wg modelu Scheffégo-Calińskiego i Calińskiego-Kaczmarka oraz wg modelu AMMI, umożliwiły ocenę i interpretację różnych rodzajów adaptacji odmian, wskazując te, które mają zdolność szerokiej adaptacji do różnych warunków środowiskowych oraz te, które odznaczają się zdolnością wąskiej adaptacji do określonych środowisk.
5. Stwierdzono, że zastosowane metody okazały się skutecznymi narzędziami od selekcji wysokowydajnych i stabilnych odmian ziemniaka.
6. Można stwierdzić, że wariant genotyp  $\times$  lokalizacja jest skutecznym sposobem prezentacji i oceny wyników badań (modelu Scheffégo-Calińskiego i modelu regresji łącznej Calińskiego-Kaczmarka oraz modelu AMMI). Dodatkowo uwzględnienie miar szerokiej adaptacji i ich ranking dotyczący plonu ogólnego pozwoliło na wytypowanie odmian stabilnych o szerokiej adaptacji, cennych dla hodowli ziemniaka.

## SPIS LITERATURY

- Annicchiarico, P. (2002). Genotype x environment interaction: Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. *Plant Production and Protection*, Fao, Rome, 174, 85–86.
- Becker, H. C., Leon, J. (1988). Stability Analysis in Plant Breeding. *Plant Breeding*, 101(1), 1–23.
- Bleinholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Hess, M., Klose, R., Meier, U., Stauss, R., van den Boom, T., Weber, E., Lancashire, P. D., Munger, P. (2005). Compendium of Growth Stage Identification Keys for Mono- and Dicotyledonous Plants. Klucz do określania faz rozwojowych roślin jedno- i dwuliściennych w skali BBCH. Tłum. Adamczewski K., Matysiak K. *Instytut Ochrony Roślin*, 15–19, 28–33, 40–43.
- Caliński, T., Czajka, S., Kaczmarek, Z. (1979). *Analiza interakcji genotypowo-środowiskowej. 3 Zastosowanie analizy regresji oraz analizy składowych głównych*. Stare Pole PAN.
- Caliński, T., Czajka, S., Kaczmarek, Z., Krajewski, P. (2003). *Podręcznik użytkownika programu Sergen 4*. IGR PAN.
- Caliński, T., Czajka, S., Kaczmarek, Z., Krajewski, P., Siatkowski, I. (1998). *SERGEN. Analiza serii doświadczeń odmianowych i genetyczno hodowlanych. Program komputerowy. Wersja 3. Poznań*.
- Eberhart, S. A., Russell, W. A. (1966). Stability Parameters for Comparing Varieties I. *Crop Science*, 6(1), 36–40.
- Flis, B., Domański L., Zimnoch-Guzowska, E., Polgar Z., Pousa S. Á., Pawlak A. (2014). Stability analysis of agronomic traits in potato cultivars of different origin. *American Journal of Potato Research*, 91(4), 404–413.
- Gauch, H. G. (2006). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46, 1488–1500.
- Iwańska, M. (2010). *Przydatność różnych miar statystycznych do oceny stopnia szerokiej adaptacji odmian pszenicy ozimej*. SGGW.
- Kaczmarek, Z. (1986). Analiza doświadczeń wielokrotnych zakładanych w blokach niekompletnych. *Rocznik Nauk Rolniczych w Poznaniu, Rozprawy Naukowe*, 155.
- Klingauf, F. (2001). *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph*. (2. wyd.). Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- Lenartowicz, T. (2013). *Metodyka badania wartości gospodarczej odmian (WGO). Ziemiak*. COBORU.
- Mazurczyk, W. (1994). Skład chemiczny dojrzałych bulw 30 odmian ziemniaka. *Biuletyn Instytutu Ziemiaka*, 44, 55–63.
- Mądry, W. (2003). Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy x środowiska. Część II. Model mieszany Shukli i model regresji łącznej. *Colloquium Biometricum*, 33, 207–220.
- Mądry, W., Kang, M. S. (2005). Scheffe-Caliński and Shukla Models: Their interpretation and usefulness in stability and adaptation analyses. *Journal Crop Improvement*, 14(1–2), 325–369.
- Mądry, W., Mańkowski, D. R., Kaczmarek, Z., Krajewski, P., Studnicki, M. (2010). Metody statystyczne oparte na modelach liniowych w zastosowaniach do doświadczalnictwa, genetyki i hodowli roślin. *Biuletyn IHAR*, 34, 13–163.
- Mądry, W., Rajfura, A. (2003). Analiza statystyczna miar stabilności na podstawie danych w klasyfikacji genotypy x środowiska. Część III. Porównanie estymatorów i testów w rozpatrywanych modelach z dwóch grup oraz przykład liczbowy. *Colloquium Biometricum*, 33, 221–234.
- Mohammadi, R., Amri, A. (2008). Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. *Euphytica*, 159, 419–423.
- Padarewski, J. (2008). *Przydatność modelu AMMI do badania reakcji roślin rolniczych na warunki środowiskowe*. SGGW.
- Sawicka, B., Michałek, W., Pszczółkowski, P. (2011). Uwarunkowania potencjału plonowania średnio późnych i późnych odmian ziemniaka w warunkach środkowo-wschodniej Polski. *Biuletyn IHAR*, 259, 219–288.
- Skowera, B., Puła, J. (2004). Skrajne warunki pluwiotermiczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971–2000. *Acta Agrophysica*, 3, 171–177.
- StatSoft Polska Sp. z o. o. (2018). *Zestaw przyrodnika (Statistica add-on), version 1.0*. <http://www.ststsoft.pl>
- Stuczyński, Ł., Filipiak, K., Kozyra, J., Górski, T., Jadaszczyn, J. (red). (2006). *Obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania w Polsce*. IUNG-PIB Puławy, 2006. IUNG-PIB.
- TIBCO Software Inc. (2015). *Statistica (data analysis software system), version 12*. <http://statistica.io>
- Trawczynski, C. (2016). Wpływ odmiany i warunków pogodowych okresu wegetacji na zawartość wybranych składników odżywczych i antyżywnościowych w bulwach ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 23(1), 119–128.
- Witek, T. (1981). *Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski według gmin*. IUNG, Puławy.
- Yan, W. (2002). Singular-Value Partitioning in Biplot Analysis of Multi-environment Trial Data. *Agronomy Journal - AGRON J*, 94.
- Zarzecka, K., Antolak, M., Pszczółkowski, P. (2004). Plonowanie dziesięciu średnio wczesnych odmian ziemniaka w warunkach Podlasia. *Zeszyty Nauk AP, Rolniczych Siedlce*, 65, 59–63.