

**KRZYSZTOF UKALSKI**<sup>1</sup>  
**TADEUSZ ŚMIAŁOWSKI**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Ekonometrii i Statystyki, Zakład Biometrii  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

<sup>2</sup> Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB  
Zakład Roślin Zbożowych w Krakowie

## Ocena stabilności plonowania odmian owsa oplewionego na podstawie danych z doświadczeń wstępnych

### **Evaluation of yield stability of covered oat genotypes based on the results of preliminary trials**

W pracy wykonano analizę plonu rodów owsa oplewionego. Dane pochodziły z doświadczeń wstępnych przeprowadzonych w 2007 roku. Badano 30 rodów owsa oplewionego i 2 wzorce w 6 miejscowościach. Do analizy plonu wykorzystano metodę graficzną biplot dla modeli GGE, AMMI, SREG i GREG. Na podstawie wykresów typu biplot scharakteryzowano rody oraz wskazano te o największym efekcie GGE (na efekty GGE składają się efekty główne genotypów G oraz efekty interakcji genotypowo-środowiskowej GE) w każdym środowisku. Spośród 30 rodów owsa oplewionego we wszystkich badanych miejscowościach najwyżej plonowały: STH 657, STH 5242, STH 123, POB 483/03, STH 289, CHD 1193/04, CHD 1601/04, CHD 1382/03 oraz CHD 1263/04. Najbardziej stabilnymi rodami owsa oplewionego były: CHD 1382/03, CHD 1263/04, STH 5071, CHD 1430/02 a najmniej stabilnymi: STH 5244 i CHD 1534/04. Na podstawie wykresu biplot według modelu GREG utworzono 3 mega-środowiska z 6 miejscowości, w których prowadzono doświadczenia wstępne.

**Słowa kluczowe:** AMMI, GGE, GREG, interakcja genotypowo-środowiskowa, owies oplewiony, SREG, stabilność

The analysis of yield of covered grain oat strains was described in the paper. The data came from preliminary trials performed in 2007. In total 30 covered grain oat genotypes and 2 standards were examined in 6 environments. The biplot method for GGE, AMMI, SREG i GREG models has been applied for data analysis. Genotypes with highest GGE effect (i.e. sum of main genotype effects G and genotype-environment effects GE) in each environment were indicated on the basis of biplots. Among 30 covered grain oat lines, STH 657, STH 5242, STH 123, POB 483/03, STH 289, CHD 1193/04, CHD 1601/04, CHD 1382/03, CHD 1263/04 were with the highest yield across environments. The most stable covered grain oat lines were: CHD 1382/03, CHD 1263/04, STH 5071, CHD 1430/02 and the most unstable: STH 5244 i CHD 1534/04. The biplot for GREG showed that three mega-environments concentrated the 6 environments tested in this study.

**Key words:** AMMI, GGE, GREG, genotype-environment interaction, covered grain oat, SREG, stability

## WSTĘP

Wykresy typu biplot, w ostatnich latach, są coraz częściej wykorzystywane do badania interakcji genotypowo-środowiskowej GE (genotype-environment interaction). Tego typu wykresy oparte są na wynikach otrzymanych na podstawie addytywnego lub multiplikatywnego modelu eksperymentu. Model addytywny składa się z sumy efektów genotypowych G i środowiskowych E oraz efektów interakcji GE. Na podstawie tego modelu, Yan i in. (2000) zaproponowali metodę graficzną biplot typu GGE (Yan i in., 2001; Yan i Hunt, 2001; Yan, 2002; Yan i Rajcan, 2002; Yan i Kang, 2003). Podstawy interpretacji wykresów biplot, podane przez Gabriela (1971) i metoda graficzna biplot typu GGE zostały wykorzystane przez Ukalskiego i in. (2010a, 2010b). Model multiplikatywny złożony jest z sumy efektów genotypowych G i środowiskowych E oraz iloczynu efektów interakcji GE i nazywany jest modelem ogólnym liniowo-dwuliniowym (general linear-bilinear model GLBM) (Gollob, 1968; Cornelius i Seyedsadr, 1997). Wśród modeli GLBM możemy wyróżnić: AMMI (additive main effects and multiplicative interaction), którego opis i zastosowanie podał Gauch (1992); model SREG (Sites Regression) wprowadzony do badań przez Corneliusa i in. (1996) oraz przez Crossę i Corneliusa (1997) a także model GREG (Genotype Regression) zaproponowany przez Corneliusa i in. (1996).

Celem pracy jest: (i) zbadanie stabilności plonowania 30 form owsa oplewionego w 6 różnych środowiskach na podstawie wyników doświadczeń wstępnych; (ii) pokazanie sposobu tworzenia oraz interpretacji wykresów typu biplot dla czterech metod wielowymiarowych: GGE, AMMI, SREG i GREG.

## MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiło 30 rodów owsa oplewionego (CHD 1277/02, CHD 1430/02, CHD 1382/03, CHD 1022/04, CHD 1193/04, CHD 1262/04, CHD 1263/04, CHD 1348/04, CHD 1365/04, CHD 1534/04, CHD 1601/04, POB 11262/02, POB 483/03, POB 7768/03, POB 7825/03, POB 7834/03, POB 444/03, POB 414/03, STH 657, STH 29/1234, STH 5071, STH 5242, STH 5244, STH 4233, STH 4904, STH 5296, STH 116, STH 123, STH 289, STH 319) oraz dwie odmiany wzorcowe (BRETON, DERESZ). Wyniki pochodzą z doświadczeń wstępnych prowadzonych przez Zakłady Hodowli Roślin i koordynowanych przez Zakład Roślin Zbożowych IHAR — PIB w Krakowie w 2007 roku w 6 miejscowościach (CHD — Kopaszewo, MAH — Małyszyn, POB — Polanowice, SOA — Sobiejuchy, STH — Strzelce, SKR — Skrzyszowice). Doświadczenia polowe przeprowadzono w układzie bloków niekompletnych w 3 powtórzeniach na poletkach o powierzchni 10 m<sup>2</sup>. Zabiegi agrotechniczne, nawożenie, ochronę przed chwastami i szkodnikami zastosowano odpowiednio do lokalnych potrzeb.

Metody statystyczne. Do zbadania stabilności 30 form owsa oplewionego i 2 odmian wzorcowych wykorzystano wielowymiarowe metody analizy danych. Na podstawie

uzyskanych wyników wykonano wykresy typu biplot i poddano je odpowiednim interpretacjom. Wykresy wykonano na podstawie następujących modeli:

— 1. model addytywny GGE (Yan i in., 2000):

$$\bar{y}_{ij} = \mu + g_i + e_j + (ge)_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}, \quad (1)$$

gdzie  $\bar{y}_{ij}$  jest średnią wartością plonu dla  $i$ -tego genotypu w  $j$ -tym środowisku (miejscowości),  $\mu$  jest średnią ogólną,  $g_i$  jest efektem  $i$ -tego genotypu,  $e_j$  jest efektem  $j$ -tego środowiska (miejscowości),  $(ge)_{ij}$  jest efektem interakcji  $i$ -tego genotypu oraz  $j$ -tego środowiska (miejscowości),  $\bar{\varepsilon}_{ij}$  jest średnim błędem o rozkładzie  $N \sim (0, \delta^2/r)$ ,  $\delta^2$  jest wariancją błędu,  $r$  jest liczbą powtórzeń, podstawą wyznaczenia składowych głównych w metodzie GGE jest macierz kowariancji dla  $j$ -zmiennych (środowisk);

— 2. model multiplikatywny AMMI (Gauch, 1992):

$$\bar{y}_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k a_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\varepsilon}_{ij}, \quad (2)$$

gdzie  $\lambda_k$  są wartościami własnymi (uporządkowanymi w ciąg nierosnący  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \dots \geq \lambda_t$ ) pozwalającymi rozłożyć macierz efektów interakcyjnych na ortonormalne wektory własne  $a_{ik}$  (zwane genotypowymi składowymi głównymi) oraz na wektory własne  $\gamma_{jk}$  (zwane środowiskowymi składowymi głównymi). Wykorzystanie rozkładów odpowiednich macierzy w analizach wielowymiarowych podał Gabriel (1971) i Kempton (1984), a ostatnio, prace dotyczące analiz wielowymiarowych z wykorzystaniem rozkładu macierzy efektów interakcyjnych GE napisali Yan i Tinker (2006), Gauch (2006), Yan i in. (2007) oraz Gauch i in. (2008);

— 3. model multiplikatywny SREG (Cornelius i in., 1996)

$$\bar{y}_{ij} = \mu + e_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k a_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\varepsilon}_{ij}, \quad (3)$$

— 4. model multiplikatywny GREG (Cornelius i in., 1996)

$$\bar{y}_{ij} = \mu + g_i + \sum_{k=1}^t \lambda_k a_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\varepsilon}_{ij}, \quad (4)$$

Obliczenia dla wybranych czterech metod wykonano za pomocą procedur, makr i funkcji programu SAS (SAS Institute Inc., 2008).

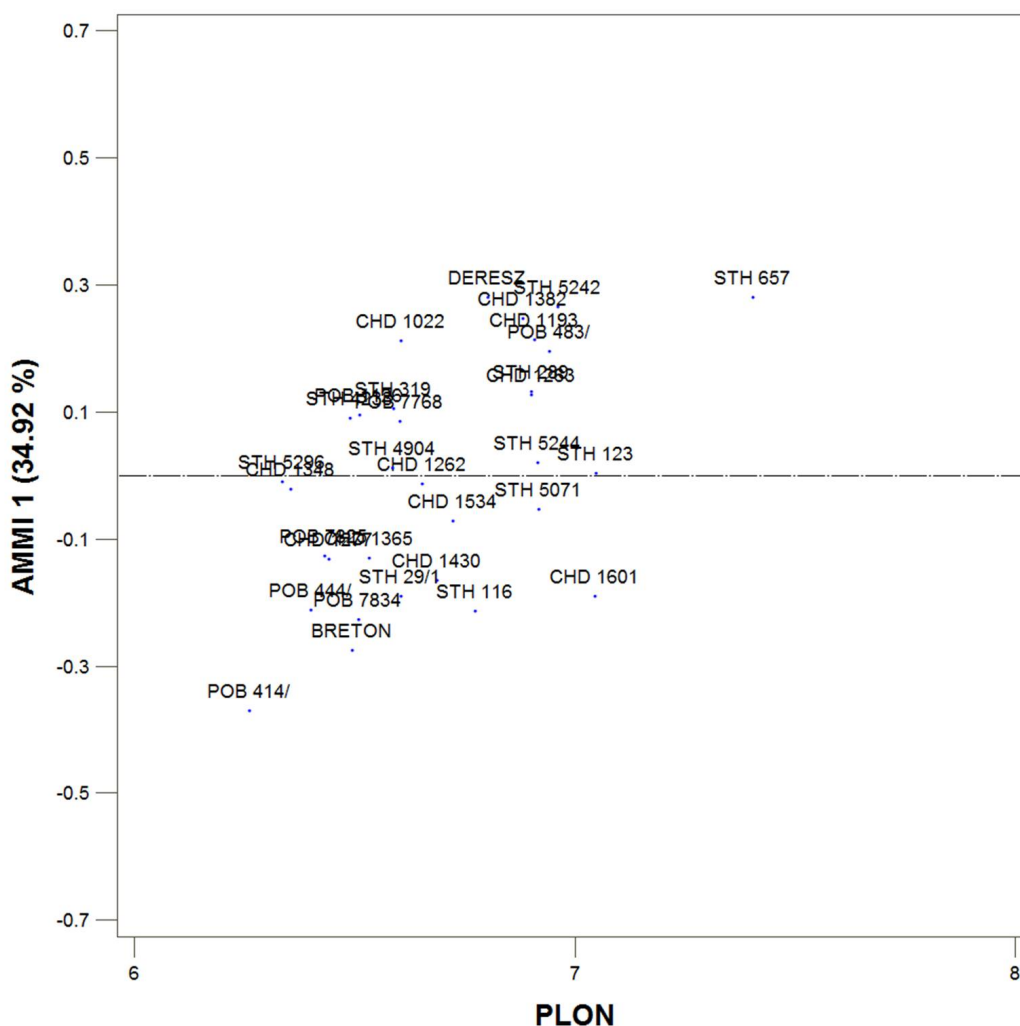
#### WYNIKI I DYSKUSJA

Wykresy typu biplot dla wszystkich czterech metod wykonano w układzie dwóch pierwszych składowych głównych a dodatkowo dla metody AMMI w układzie plon i pierwsza składowa główna. Zmienność badanych obiektów wyjaśniana przez pierwsze dwie składowe główne była zbliżona dla wszystkich metod i wynosiła odpowiednio: model GGE — 66,13%, AMMI — 62,80%, SREG — 66,13% i GREG — 62,80% (tab. 1).

Położenie obiektów na wykresie typu biplot GGE wskazuje na wielkość plonu oraz stabilność plonowania obiektów w badanych środowiskach (rys. 1).



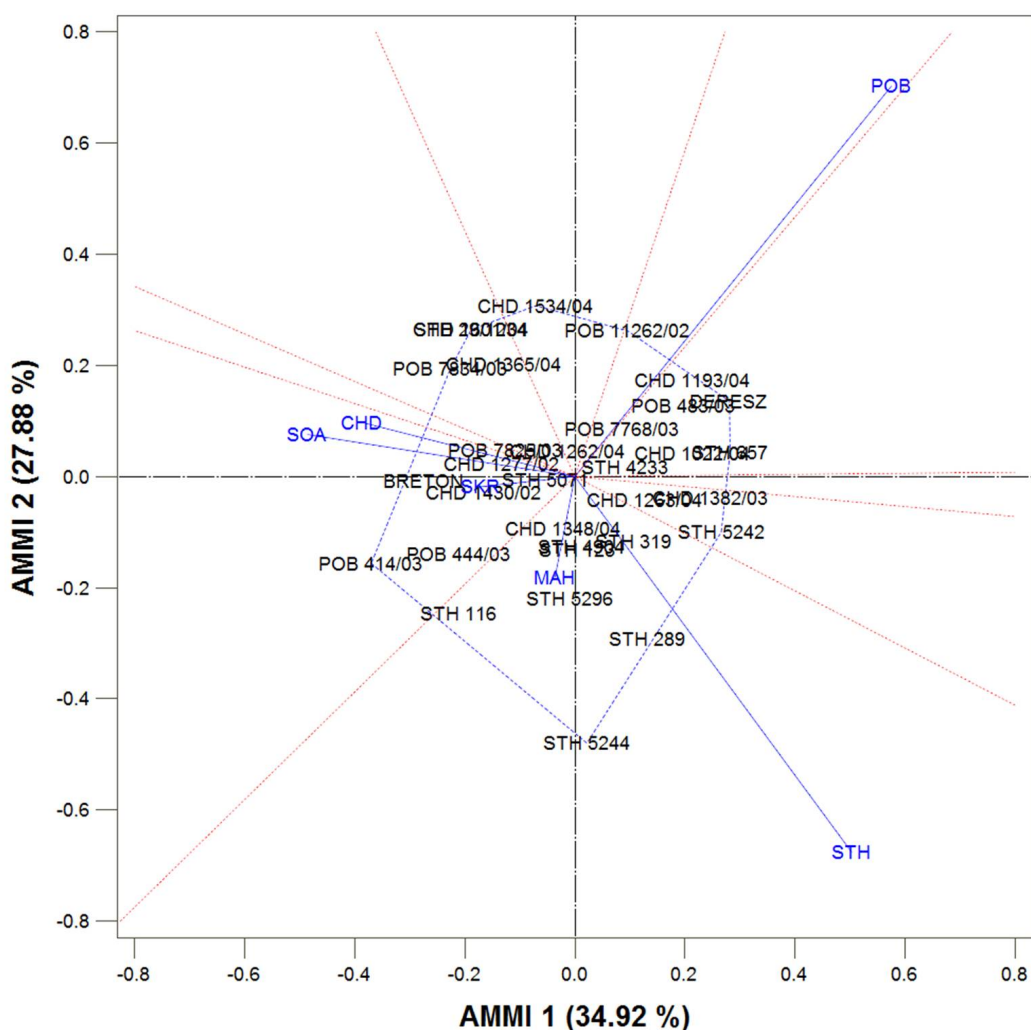
Wartości pierwszej składowej głównej PC1 wskazują na średnią wielkość plonu przez środowiska (im większa wartość PC1 tym większy plon). Wartość drugiej składowej PC2 bliska 0 świadczy o stabilności plonu rozważanego obiektu, natomiast wraz ze wzrostem wartości bezwzględnej PC2 rośnie niestabilność plonowania.



Rys. 2. Wykres AMMI dla genotypów w układzie plon i pierwsza składowa główna AMMI1  
Fig. 2. AMMI plot for genotypes based on yield and first principal component AMMI1

Spośród 30 rodów owsa oplewionego i 2 wzorców, wysoko plonującymi (wartości PC1>0) w badanych środowiskach były (w kolejności malejącej dla PC1): STH 657, STH 5242, STH 123, POB 483/03, STH 289, CHD 1193/04, CHD 1382/03, CHD 1263/04, Deresz, CHD 1601/04 (rys. 1). Nisko plonującymi (wartość PC1<0) we wszystkich środowiskach

były (w kolejności rosnącej dla PC1): POB 414/03, POB 444/03, CHD 1348/04, CHD 1277/02, Breton, STH 5296, POB 7825/03, POB 7834/03, CHD 1365/04. Pozostałerody plonowały na średnim poziomie (wartości PC1 bliskie 0). Natomiast najbardziej stabilnymi (wartości PC2 bliskie 0) pod względem plonu poprzez wszystkie badane środowiska były: Breton, STH 5071, CHD 1430/02, CHD 1263/04, CHD 1382/03. Rodami najbardziej niestabilnymi (wartości  $PC2 > 0$  lub  $PC2 < 0$ ) były: CHD 1534/04 ( $PC2 = 0,75$ ) oraz STH 5244 ( $PC2 = -1,14$ ).



Rys. 3. Wielokąt na biplotie dla AMMI wykonany na wartościach składowych głównych AMMI1 i AMMI2 dla genotypów i miejscowości (środowisk)  
 Fig. 3. Polygon view of the biplot for AMMI based on principal components AMMI1 and AMMI2 for genotypes and environments

Na wykresie biplot typu GGE (rys. 1) poszukiwano form o największym efekcie GGE (na efekty GGE składają się efekty genotypów G oraz efekty interakcji genotypowo-środowiskowej GE) w każdym środowisku. Na wykresie tworzony jest wielokąt, który powstaje przez połączenie pozycji obiektów położonych najdalej od środka układu wykresu biplot. Wszystkie pozostałe obiekty zawarte są w utworzonym wielokącie. Linie tworzące obszary są liniami prostopadłymi do boków wielokąta lub ich przedłużeń.

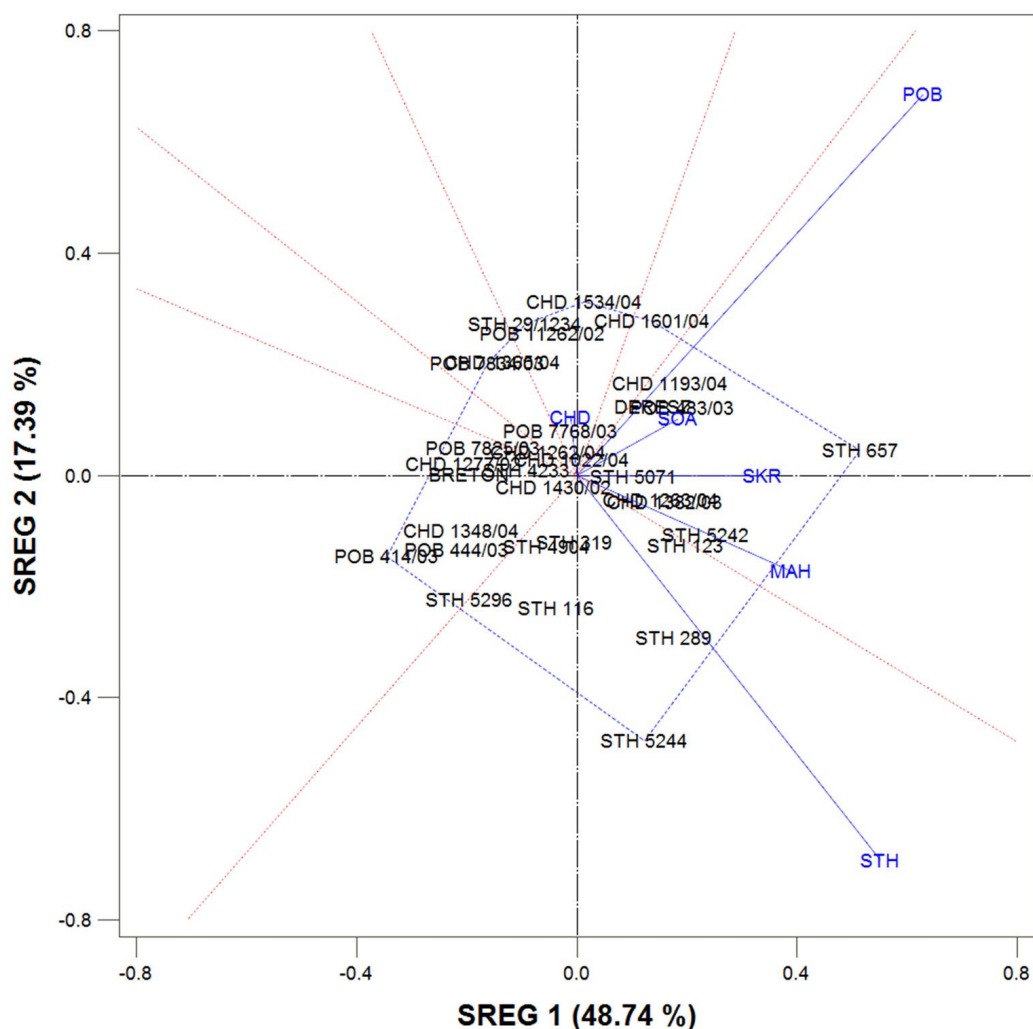
W powstałych obszarach można również obserwować położenie miejscowości, co umożliwia badanie tzw. mega-środowisk na danym obszarze (Gauch i Zobel, 1997; Yan i in., 2000; Yan i in., 2001; Ukalski, 2010b). Na rys. 1, 30 rodów owsa oplewionego, 2 odmiany (wzorcy) i 6 miejscowości zostało rozlokowanych w 7 obszarach. Najciekawszym, uzyskanym obszarem, jest sektor, w którym znalazło się 5 miejscowości: POB, SOA, SKR, MAH, STH. Wysokim (najczęściej najwyższym) średnim plonem w tych miejscowościach charakteryzował się ród STH657 i jednocześnie wykazywał się dobrą stabilnością plonu. W wyznaczonym sektorze rodami dobrze plonującymi i o dobrej stabilności były: CHD 1193/04, CHD 1382/03. Pozostała szósta miejscowość (CHD-Kopaszewo) znalazła się w sektorze utworzonym przez ród CHD 1534/04, stąd, ród ten był najlepiej plonującym rodem w tym środowisku.

Na wykresie według metody AMMI (rys. 2) w układzie plon i pierwsza składowa główna AMMI1 obserwujemy rody, które osiągają największe średnie wartości plonu poprzez badane środowiska i jednocześnie wykazują się stabilnym plonowaniem (małe bezwzględne wartości AMMI1, czyli małe efekty interakcji genotypowo-środowiskowej GE) lub niestabilnym (duże bezwzględne wartości AMMI1). Stwierdzono, że rody: STH 657, STH 123, CHD 1601/04, STH 5242, POB 483/03, STH 5071, STH 5244, CHD 1193/04, STH 289 osiągały najwyższe wartości plonu poprzez badane środowiska, ale stabilnie plonującymi były STH 123, STH 5071 i STH 5244.

Na kolejnym wykresie biplot dla metody AMMI (rys. 3) poszukiwano obiektów o największym efekcie GGE w każdym środowisku. Obszar wykresu został podzielony na 8 sektorów. Miejscowości znalazły się w 3 sektorach. W obszarze utworzonym przez ród STH5244 znalazły się Strzelce (STH) i Małyszyn (MAH). Zatem najlepiej plonującym rodem w tych środowiskach był STH5244, ale wysoko plonującymi były również rody (w kolejności malejącej): STH289, STH116, STH5296. W obszarze, w którym najwyższe plony osiągnął POB 414/03 znalazły się miejscowości: Sobiejuchy (SOA), Kopaszewo (CHD) i Skrzyszowice (SKR). W tych środowiskach wysokie plony osiągnęły także: POB 444/03, BRETON, CHD 1430/02. W trzecim obszarze utworzonym przez ród POB11262/02 była miejscowość Polanowice (POB).

Charakterystyka 30 rodów i 2 odmian wzorcowych otrzymana na podstawie wykresu biplot dla metody SREG (rys. 4) jest taka sama, jak dla metody GGE (rys. 1). Natomiast podział obszaru wykresu na sektory, otrzymany dla metody SREG (rys. 4) jest inny niż dla GGE. Uzyskano podział na 7 sektorów, ale tylko w 3 sektorach znalazły się miejscowości. W sektorze pierwszym, utworzonym przez STH 5244, jest jedna miejscowość Strzelce (STH). W tej miejscowości, oprócz STH 5244, dobrze plonującymi rodami były: STH 289, STH 116, STH 5296. W sektorze drugim, w którym najwyższe plony osiągnął STH 657 znalazły się miejscowości: Polanowice (POB), Sobiejuchy (SOA), Skrzyszowice (SKR),

Małyszyn (MAH). W tych czterech środowiskach dobrze plonowały: STH 5242, DERESZ, CHD 1193/04, POB 483/03, CHD 1382/03, CHD 1263/04. Kopaszewo (CHD) znalazło się w sektorze utworzonym przez CHD 1534/04. W środowisku tym dobrze plonowały również rody STH 29/1234 i POB 11262/02.



Rys. 4. Wielokąt na biplocie dla SREG wykonany na wartościach składowych głównych SREG1 i SREG2 dla genotypów i miejscowości (środowisk)

Fig. 4. Polygon view of the biplot for SREG based on principal components SREG1 and SREG2 for genotypes and environments

Na podstawie wykresu biplot dla modelu GREG można uzyskać inne wnioski niż dla pozostałych modeli, gdyż model ten nie uwzględnia efektu genotypowego i wykorzystuje





Miejscowości te wyznaczają trzy mega-środowiska, do których przynależą pozostałe miejscowości. Do sektora utworzonego przez Sobiejuchy (SOA) należą również Kopaszewo (CHD) i Skrzyszowice (SKR). W tym mega-środowisku dobrze plonowały POB 414/03, BRETON, POB 7834/03, POB 444/03, CHD 1430/02, CHD 1277/02, POB 7825/03, STH 5071. Miejscowości Strzelce (STH) i Małyszyn (MAH) tworzą drugie mega-środowisko, w którym dobre plony osiągały: STH 116, CHD 1348/04, STH 5296, STH 123, STH 4904, STH 5244, STH 319, CHD 1263/04, STH 289, CHD 1382/03, STH 5242. Miejscowość Polanowice (POB) sama tworzy odrębne mega-środowisko. W tym sektorze znalazły się pozostałe rody i odmiana DERESZ.

#### WNIOSKI

1. Wśród 30 rodów owsa oplewionego i dwóch odmian obiektami o stabilnym poprzez 6 badanych środowisk i wysokim plonie były CHD 1382/03 oraz CHD 1263/04. Obiektami wysoko plonującymi o średniej stabilności były: STH 657, STH 5242, STH 123, POB 483/03, STH 289, CHD 1193/04, CHD 1601/04 i odmiana Deresz. Natomiast obiektami stabilnymi o średniej wielkości plonu były: STH 5071, CHD 1430/02 i odmiana Breton. Rody STH 5244 i CHD 1534/04 były najbardziej niestabilne.
2. Badane miejscowości utworzyły 3 mega-środowiska. W pierwszym utworzonym przez Polanowice (POB), najlepiej plonowały: POB 11262/02 i CHD 1193/04. Drugie mega-środowisko tworzyły Strzelce (STH) oraz Małyszyn (MAH), a najlepiej plonującymi rodami były: STH 5244 (ród niestabilnie plonujący w pozostałych środowiskach), STH 289 (dobrze plonujący we wszystkich środowiskach o średniej stabilności), STH 116. W trzecim mega-środowisku utworzonym przez Sobiejuchy (SOA), Kopaszewo (CHD) i Skrzyszowice (SKR) najlepiej plonującymi były: POB 414/03, Breton (odmian stabilnie plonująca we wszystkich środowiskach), POB 7834/03, POB 444/03, CHD 1430/02 (ród stabilnie plonująca we wszystkich środowiskach).
3. Wyniki uzyskane metodami GGE, AMMI i SREG zastosowanymi do badania stabilności i wysokości plonowania dla większości obiektów owsa oplewionego są podobne. Najwięcej różnic wystąpiło pomiędzy wynikami otrzymanymi dla metody GGE i AMMI.
4. Na podstawie wykresu biplot dla modelu GREG określono 3 mega-środowiska dla 32 rodów i odmian owsa oplewionego. Pierwsze mega-środowisko utworzyła miejscowość Polanowice (POB), do drugiego należały miejscowości Strzelce (STH) i Małyszyn (MAH), a do trzeciego Strzelce (STH), Sobiejuchy (SOA), Polanowice (POB).

#### LITERATURA

Cornelius P. L., Crossa J., Seyedsadr M. S. 1996. Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction. In M. S. Kang and H. G. Gauch (ed.) Genotype-by-environment interaction. CRC Press, Boca Raton, FL: 199 — 234.

- Cornelius P. L., Seyedsadr M. S. 1997. Estimation of general linear-bilinear models for two-way tables. *J. Statist. Comput. Simulation* 58: 287 — 322.
- Crossa J., Cornelius P. L. 1997. Site regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trials sites under heterogeneity of error variances. *Crop Sci.* 37: 406 — 415.
- Gabriel, K. R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- Gauch H. G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Gauch H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Sci.* 46:1488 — 1500.
- Gauch H. G., Piepho H. P., Annicchiarico P. 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Sci.* 48:866 — 889.
- Gauch G. H., Zobel R. W. 1997. Interpreting mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37, 311-326.
- Gollob H. F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance. *Psychometrika* 33: 73 — 115.
- SAS Institute Inc. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Ukalski K., Śmiałowski T., Ukalska J. 2010 a. Analysis of oat yield environments using graphical GGE method. *Colloquium Biometricum* 40: 81 — 93.
- Ukalski K., Śmiałowski T., Ukalska J. 2010 b. Analiza plonowania i stabilności genotypów owsa za pomocą metody graficznej typu GGE. *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość, R.* 17, 3: 127 — 140.
- Yan W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. *Agron. J.* 94: 990 — 996.
- Yan W., Cornelius P.L., Crossa J., Hunt L. A. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Sci.* 41: 656 — 663.
- Yan W., Hunt L.A. 2001. Interpretation of genotype × environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sci.* 41: 19 — 25.
- Yan W., Hunt L.A., Sheng Q., Szlavnics Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597 — 605.
- Yan W., Kang M. S. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, genetics and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yan W., Kang M. S., Ma B., Woods S., Cornelius P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Sci.* 47: 643 — 655.
- Yan W., Rajcan I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42: 11 — 20.
- Yan W., Tinker N. A. 2005. An integrated system of biplot analysis for displaying, interpreting, and exploring genotype-by-environment interactions. *Crop Sci.* 45: 1004 — 1016.