

Jan Krzymański¹, Krystyna Krótka¹, Maria Ogradowczyk¹ Henryk Woś²,
Roman Biliński⁴, Grzegorz Budzianowski³, Jolanta Zagierska⁵,

¹ Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Poznaniu

² Spółka Hodowli Roślin Strzelce Oddział Borowo i ³ Oddział Małyszyn

⁴ Spółka Hodowli Roślin Smolice Oddział Bąków i ⁵ Oddział Lagiewniki

Adres do korespondencji: krzym@nico.ihar.poznan.pl

Competition between plants from adjacent plots in field trial with winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)

1. Effects of plant competition and variability of soil fertility inside the block

Konkurencja pomiędzy roślinami z sąsiadujących poletek w doświadczeniu polowym z rzepakiem ozimym 1. Skutki konkurencji roślin i zmienności żyzności gleby wewnątrz bloku

Key words: winter rapeseed, seed yield, soil variability, plant competition, regression analysis, variation analysis, coefficient of regression, slope of regression coefficient

Precision of the seed yield estimation decreases with increasing number of objects in the field trial. But for breeding purposes it is necessary to evaluate many new strains. Papadakis in 1937 suggested the possibility of eliminating the soil variability inside blocks using regression between the yields of the nearest neighbour plots. Regression coefficients between seed yields from neighbouring plots should be a positive value in this case.

Presented work was based on the results of the 21 field trials in which four sets of 25 winter rapeseed objects were studied. Two sets were investigated in six, one in five and one in four localities. Field trials were grown in 2009/2010 and sown in complete randomized block design with four replications.

Variability resulting from differences between localities and between blocks was eliminated before analyses of regression. Then the average seed yield of two nearest adjacent plots was calculated for each plot. Two sets of 552 pairs of values and one set of 460 pairs of values and one set of 368 pairs of values were obtained. These pairs represented seed yields from the plots (y') and average seed yields from the two nearest neighbouring plots (x). These data were used to calculate the linear regression and the slopes of the regression line in relation to the X axis. Significance of the regression coefficients was checked using analyses of variance.

The obtained results showed that the regressions between the yield of the plot and the average yield from adjacent plots were highly significant for all experiments. Just in one experiment the regression coefficient had a positive value.

The obtained results showed that we were dealing with two phenomena: the variance of soil fertility inside a block and the competition between plants from the neighbouring plots. The regression is negative in the case of the superiority of the competition factor. The smallest influence of competition we have found in a situation where in the experiment were involved the least differentiated F_1 hybrids from one breeding program, and the strongest effects of competition in the experiment in which were evaluated strains from three different breeding programs.

The effects of competition of the winter rape affect mainly the yield of extreme row of plants (Krzymański 1985). To eliminate the effect of competition on the seed yield, it is necessary to harvest only middle rows of the plot and discard the edge rows.

Słowa kluczowe: plon nasion, zmienność glebowa, konkurencja roślin, analiza regresji, analiza wariancji, współczynnik regresji, nachylenie współczynnika regresji

Zwiększanie plonu nasion rzepaku jest najtrudniejszym zadaniem w pracach hodowlanych nad tym gatunkiem. Niezbędnym warunkiem skutecznej selekcji jest precyzyjne określenie plonu nasion w doświadczeniu polowym. Niestety, precyzja oceny plonu nasion maleje wraz ze zwiększaniem liczby obiektów w doświadczeniu.

W pracy wykorzystano wyniki 21 doświadczeń polowych, w których badano cztery zestawy po 25 obiektów rzepaku ozimego. Dwa zestawy były badane w sześciu, jeden w pięciu oraz jeden w czterech miejscowościach. Doświadczenia zostały założone w czterech powtórzeniach w układzie bloków kompletnych zrandomizowanych i przeprowadzone w sezonie 2009/2010.

Dla zwiększenia precyzji doświadczeń próbowano eliminować zmienność glebową wewnątrz bloków wykorzystując metodę zaproponowaną przez Papadakis'a w roku 1937, a stosowaną również w programie Agrobases II (2002).

Przed obliczaniem regresji wyeliminowano zmienność wynikającą z różnic pomiędzy miejscowościami oraz pomiędzy blokami. Usuwanie zmienności międzyblokowej i między miejscowościami dokonywano dla każdego poletka przez odjęcie średniej blokowej i dodanie średniej całkowitej według następującego wzoru):

$$y'_{(ijl)} = y_{(ijl)} - y_{(j)} + y_{(..)} \quad (1)$$

gdzie: $y_{(ijl)}$ — plon nasion uzyskany z poletka, $y'_{(ijl)}$ — skorygowany plon nasion z poletka po usunięciu zmienności związanej z powtórzeniami i miejscowościami, $y_{(j)}$ — średnia blokowa, $y_{(..)}$ — średnia całkowita, i — pozycja obiektu w bloku, j — pozycja bloku w miejscowości, l — miejscowość, n — ilość obiektów w bloku (powtórzeniu).

Następnie dla każdego poletka został obliczony średni plon nasion z dwu sąsiednich poletek. Pierwsze i ostatnie poletko w każdym powtórzeniu zostało pominięte w obliczeniach regresji, ponieważ brakowało dla nich plonu nasion z dwu sąsiadujących poletek.

$$x_{(ijl)} = (y'_{((i-1)jl)} + y'_{((i+1)jl)}) / 2 \quad (2)$$

gdzie: $x_{(ijl)}$ — średni plon nasion dla dwu najbliższych sąsiednich poletek, $y'_{(ijl)}$ — plon z poletka po usunięciu zmienności blokowej i miejscowości.

W ten sposób otrzymano dwa zestawy po 552 pary wartości oraz po jednym zestawie z 460 lub 368 parami wartości. Pary te reprezentowały plon nasion z poletek (y') oraz średnią plonu nasion z dwóch najbliższych sąsiednich poletek (x). Dane te zostały wykorzystane dla obliczenia regresji liniowych i nachyleń linii regresji w stosunku do osi X. Istotność współczynników regresji sprawdzano za pomocą analizy wariancji.

Papadakis (1937) zakładał, że średnie plony z najbliższych sąsiednich poletek mogą być miarą zmienności wewnątrzblokowej. W takiej sytuacji obliczone współczynniki regresji powinny mieć wartość dodatnią.

Wyniki badanych doświadczeń wykazały, że regresja pomiędzy plonem z poletka a średnią plonów z sąsiednich poletek jest wysoce istotna dla wszystkich 4 zestawów doświadczeń, natomiast tylko w jednym doświadczeniu ma wartość dodatnią.

Uzyskane wyniki świadczą, że mamy do czynienia z dwoma zjawiskami: ze zmiennością glebową wewnątrz bloku i konkurencją między roślinami z sąsiadujących poletek. W przypadku przewagi zjawiska konkurencji współczynnik regresji ma wartość ujemną.

Zjawisko konkurencji zaznaczyło się w najmniejszym stopniu, gdy w doświadczeniu brały udział najmniej zróżnicowane próbne mieszańce F_1 pochodzące z tej samej hodowli, a najsilniejsze efekty konkurencji zaobserwowano w doświadczeniu, w którym były oceniane rody pochodzące z trzech różnych hodowli.

Wystąpienia zjawiska konkurencji należało oczekiwać, gdyż, jak to zostało wykazane już wcześniej, efekty brzegowe u rzepaku ozimego wpływają wyraźnie na plon nasion. Dotyczy to przede wszystkim plonu nasion ze skrajnego rzędu roślin (Krzymański 1985). Dla wyeliminowania wpływu efektów konkurencji na plon nasion konieczne jest wyłączenie przy zbiorze poletek rzędów brzegowych, przylegających do sąsiednich poletek. W przypadku poletek czterorzędowych, plon należy określać na podstawie zbioru nasion z dwóch środkowych rzędów.

Introduction

Increasing the yield of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) is the most difficult task in the breeding of this species. The success of breeding depends mainly on two factors:

- available or produced genetic variability of this trait in breeding materials,
- the effectiveness of methods used for the selection.

Essential condition to improve selection effectiveness is the precise estimation of the value of selected trait – in this case the seed yield in field trial. Measures of this precision are experiment error and calculated expected heritability. Confirmation of it is the effectiveness of the progress obtained in breeding (genetic gain). Experience gathered in winter oilseed rape breeding showed that heritability of seed yield calculated from variance analysis of field trial is very overestimated in comparison with obtained genetic gain (Krzymański et al. 1983). True realized heritability can be estimated through correlation or regression or determination coefficient between two following generations. The reason of such difference between the expected and realized heritability is probably the overestimation of genetic variability by analysis of variance of only one trial. In this case it is necessary to discuss the factors influencing the precision of field trial. The cause of this situation can be lack of soil uniformity and variability in its fertility on experimental field. The design of trial or method used for statistical elaboration of results need to be improved to sufficiently eliminate the bias. This study concerns factors influencing the precision of field trial.

Lack of soil uniformity

Randomized block design is usually used in field trials with winter oilseed rape. The most proper shape of the block (replication) would be a square. This is not available in practice. As many objects as possible should be evaluated in a field trial for breeding purposes. Dependence of trial error on the plot shape (length and width), on the object number per block and on the number of replications was examined in blank trial (all plots sown with the same strain) (Krzymański 1985). Trial error with 25 objects is reaching its minimum with plots which have the ratio lengths to width equal 14. Error is increasing with number of objects per block and decreasing with number of replications. Following equation is summarizing the effect of trial parameter:

$$S_D = (0,1593 + \frac{1,5405}{A} + \frac{21,6803}{B} + 0,9704\sqrt{n}) \times \sqrt{\frac{2}{r}}$$

where:

S_D – error of difference between object means (in % of total mean)

A – plot width (m)

B – plot length (m)

N – number of objects

r – number of replications

Papadakis (1937) proposed some other possibility to improve the precision of field trial. He tries to eliminate intra block soil variability with the use of regression between neighbour plots and on this base he developed so called Nearest Neighbours Method. (proposed also in Agronomix Software: Agrobases II 2002). This method was examined and improved by many authors (Bartlett 1978, Wilkinson et al. 1983, Stam 1984, Binns 1986, Dobek and Kielczewska 1987, Pilarczyk 1988, 1990, Stroup and Moltippe 1991, Dobek 1994, Anoshenko 1996). They in majority of cases were using theoretical scheme of soil variability. Presented study was performed using real results of field trials with winter oilseed rape (winter rapeseed).

Materials and methods

The presented study was based on the results of four experiments. These experiments were conducted on 21 field trials with winter rapeseed breeding materials. Each trial concerned 25 experimental strains or experimental hybrids of winter oilseed rape. Experiments were carried out in six (2 experiments) or in five (1 experiment) and in four (1 experiment) localities. Localities were as follow: Borowo (N 52°07', E 16°47'), Bąków (N 50°58', E 18°19'), Kończewice (N 53°11', E 18°34'), Łagiewniki (N 51°46', E 17°14'), Małyszyn (N 52°44', E 15°10'), Strzelce (N 52°19', E 19°24') all in West Part of Poland. Field trials were sown in

complete randomized block design with four replications. Size of four row plots was 12m² (length 10 m, width 1.2 m, distance between rows 30 cm, distances between border rows of neighbouring plots about 40 cm). Trials were performed in 2009/2010 growing season. Seed yields estimated after harvest in kg/plot were converted to dt/ha.

Examined strains or hybrids represented materials from breeding programs conducted by Plant Breeding Companies Strzelce and Smolice.

Methods of calculations

Known schemes for regression analysis (Eland 1967, Steel and Torrie 1960) cannot work with data containing the variability connected with localities and replications. Thus the first step before regression analyses was the elimination of these variabilities.

Pilot calculations were done with Microsoft Excel and its programs for statistical analyses. Then own program was developed, which organized data from field layout, then calculated the associated variable (x — the average seed yield of the two nearest neighbouring plots) and conducted regression and variance analysis.

Elimination of variability among localities and among replications was done for each plot by subtraction of mean for block and addition of total mean according the formula:

$$y'_{(ijl)} = y_{(ijl)} - y_{(j)} + y_{(...)} \quad (1)$$

where: $y_{(ijl)}$ — real seed yield from a plot,
 $y'_{(ijl)}$ — corrected seed yield after elimination of variability connected with localities and replications,
 $y_{(j)}$ — mean for block,
 $y_{(...)}$ — total mean,
 i — position of object in block,
 j — position of block in locality,
 l — locality,
 n — number of objects in block (replication).

Then the average seed yield of two nearest adjacent plots was calculated for each plot according following formula:

$$x_{(ijl)} = (y'_{((i-1)jl)} + y'_{((i+1)jl)}) / 2 \quad (2)$$

where: $x_{(ijl)}$ — mean yield of two plots adjacent to plot,
 $y'_{(ijl)}$ — corrected plot yield,
 $x_{(ijl)}$ values for border plots of replication were not calculated because of the lack of results from both nearest neighbouring plots.

Two sets of 552 pairs of values, one set of 440 pairs of values and one set of 364 pairs of values were obtained. Each pair represented seed yields from the

plots (y') and average seed yields from the two nearest neighbouring plots (x). These data were used to calculate the linear regression equation and the slope of the regression line in relation to the X axis. Significance of the regression coefficients was checked using analyses of variance and calculated correlation and determination coefficients. The results of the calculations are presented in graphs and in tables.

Results and discussion

Results of regression analyses of four experiments are shown in Tables 1–4.

Papadakis expected that the average yields of the nearest neighbouring plots may be a measure of the intra-block variability. In this case, the calculated regression coefficients between them and yields of plot should have a positive value.

Obtained results of the calculations showed that the regressions between the yield of the plot and the average yield from adjacent plots were highly significant for all experiments. Just in one experiment the coefficient of regression was a positive value.

The obtained results show that we were dealing with two phenomena: the variance of soil fertility inside a block and the competition between plants from the neighbouring plots. The regression is negative in the case of the superiority of the competition factor. The smallest share of the competition was found in the situation where the least differentiated F_1 hybrids from one breeding program were evaluated in the experiment. The strongest effect of competition was found in the experiment in which strains from three different breeding programs were evaluated.

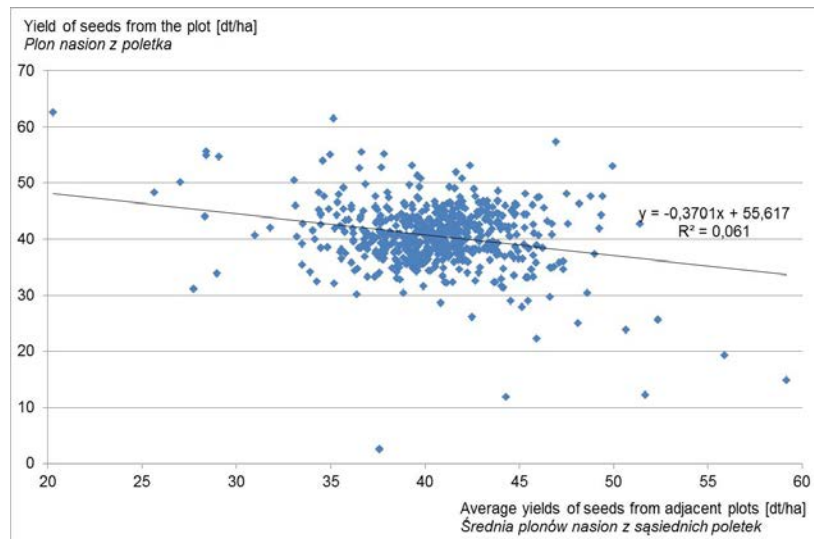
Occurrence of the competition had to be expected because, as shown previously, the effects of the competition at the winter rape affect the yield of two extreme rows of plants on plot but the main effect was on the first row (Krzymański 1985). To eliminate the impact of the effects of competition on the yield of seeds, it is necessary to harvest only middle rows of the plot and discard the edge rows adjacent to the neighbouring plots.

The greatest impact of competition between plants from adjacent plots was observed in experiment 1. Average seed yields in field trials in individual locations differed significantly in this experiment. Regression was calculated between the seed from plot and the average seed yield from the two adjacent plots separately for each location. Then the regression coefficients were compared with each of the average seed yields in the location. The results are shown in Table 5 and Graph 1.

The results in Table 5 and Graph 1 shown that the impact of competition between plants from adjacent plots is growing with the increase in the average yield of seed in the field trial ($r = 0,796$, $r^2 = 0,634$, $F = 6,932$, $p = 0,058$).

Table 1

The relationship between the yield of seeds from the plot and the average yields of seeds from adjacent plots. Experiment 1. Objects: strains from breeding programs conducted in Bąków, Borowo and Małyszyn — *Zależność pomiędzy plonem nasion z poletka a średnią plonów nasion z sąsiednich poletek. Doświadczenie 1. Obiekty: rody z hodowli prowadzonych w Bąkowie, Borowie i Małyszynie*



Regression analysis — *Analiza regresji*

Source of variation <i>Źródło zmienności</i>	Degrees of freedom <i>Stopnie swobody</i>	Sum of squares <i>Suma kwadratów</i>	Mean square <i>Średni kwadrat</i>	Statistic F <i>Statystyka F</i>	Probability level <i>Poziom prawdopodobieństwa</i>
Regression <i>Regresja</i>	1	1525,20	1525,20	50,749	3,31E-12
Random deviation <i>Odchylenia losowe</i>	550	16529,68	30,05		
Total — <i>Suma</i>	551	18054,87			

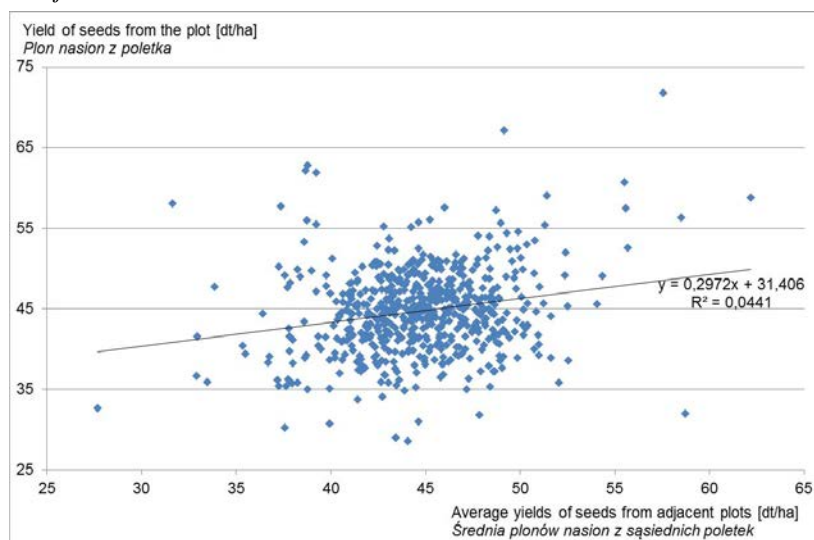
Coefficients <i>Współczynniki</i>	Value <i>Wartość</i>	Standard error <i>Błąd standardowy</i>	t - test	Probability level <i>Poziom prawdopodobieństwa</i>	Confidence interval <i>Przedział ufności</i>
a	58,338	2,5069	23,287	5,52E-84	(53,453 ÷ 63,302)
b	-0,439	0,0616	-7,124	3,31E-12	(-0,560 ÷ -0,318)

Statistics of regression — *Statystyki dla regresji:*

- coefficient of correlation — *współczynnik korelacji* = 0,2906
- coefficient of determination — *współczynnik determinacji* = 0,0845
- standard error of estimation — *błąd standardowy oznaczenia* = 5,4821

Table 2

The relationship between the yield of seeds from the plot and the average yields of seeds from adjacent plots. Experiment 2. Objects: experimental hybrids from breeding program conducted in Borowo — *Zależność między plonem nasion z poletka a średnią plonów nasion z sąsiednich poletok. Doświadczenie 2, Obiekty: próbne mieszańce z hodowli prowadzonej w Borowie*

Regression analysis — *Analiza regresji*

Source of variation <i>Źródło zmienności</i>	Degrees of freedom <i>Stopnie swobody</i>	Sum of squares <i>Suma kwadratów</i>	Mean square <i>Średni kwadrat</i>	Statistic F <i>Statystyka F</i>	Probability level <i>Poziom prawdopodobieństwa</i>
Regression <i>Regresja</i>	1	320,79	320,79	11,526	0,000736
Random deviation <i>Odchylenia losowe</i>	550	15 308,02	27,83		
Total — <i>Suma</i>	551	15 628,81			

Coefficients <i>Współczynniki</i>	Value <i>Wartość</i>	Standard error <i>Błąd standardowy</i>	t - test	Probability level <i>Poziom prawdopodobieństwa</i>	Confidence interval <i>Przedział ufności</i>
a	35,443	2,742	12,926	1,46E-33	(30,057 ÷ 40,830)
b	0,207	0,061	3,395	0,000736	(0,087 ÷ 0,327)

Statistics of regression — *Statystyki dla regresji:*

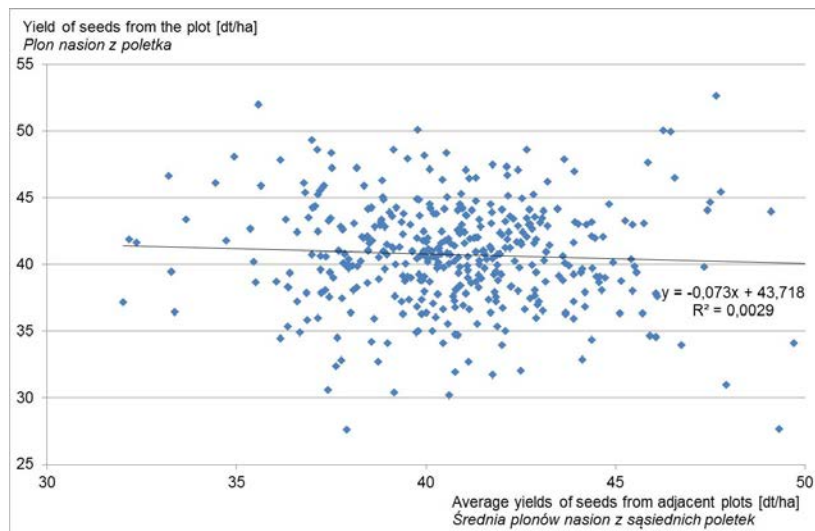
coefficient of correlation — *współczynnik korelacji* = 0,1433

coefficient of determination — *współczynnik determinacji* = 0,0205

standard error of estimation — *błąd standardowy oznaczenia* = 5,2757

Table 3

The relationship between the yield of seeds from the plot and the average yields of seeds from adjacent plots. Experiment 3. Objects: strains from breeding program conducted in Bąków — *Zależność między plonem nasion z poletka a średnią plonów nasion z sąsiednich poletek. Doświadczenie 3. Obiekty: rody z hodowli prowadzonej w Bąkowie*

Regression analysis — *Analiza regresji*

Source of variation <i>Źródło zmienności</i>	Degrees of freedom <i>Stopnie swobody</i>	Sum of squares <i>Suma kwadratów</i>	Mean square <i>Średni kwadrat</i>	Statistic F <i>Statystyka F</i>	Probability level <i>Poziom prawdopodobieństwa</i>
Regression <i>Regresja</i>	1	117,29	117,29	7,968	0,005022
Random deviation <i>Odchylenia losowe</i>	366	5 387,49	14,72		
Total — <i>Suma</i>	367	5 504,77			

Coefficients <i>Współczynniki</i>	Value <i>Wartość</i>	Standard error <i>Błąd standardowy</i>	t - test	Probability level <i>Poziom prawdopodobieństwa</i>	Confidence interval <i>Przedział ufności</i>
a	48,672	2,841	17,132	9,84E-49	(43,085 ÷ 54,258)
b	-0,196	0,070	-2,823	0,00502	(-0,333 ÷ 0,060)

Statistics of regression — *Statystyki dla regresji:*

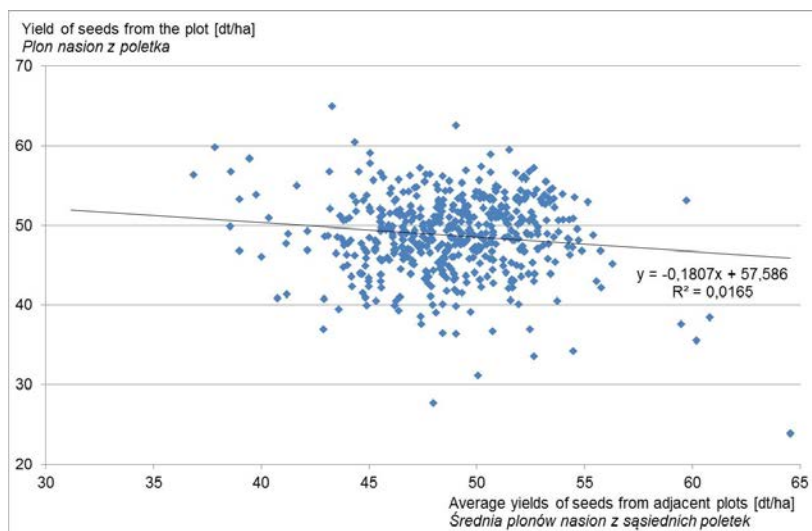
coefficient of correlation — *współczynnik korelacji* = 0,1460

coefficient of determination — *współczynnik determinacji* = 0,0213

standard error of estimation — *błąd standardowy oznaczenia* = 3,8367

Table 4

The relationship between the yield of seeds from the plot and the average yields of seeds from adjacent plots. Experiment 4. Objects: strains from breeding programs conducted in Borowo and Małyszyn — *Zależność między plonem nasion z poletka a średnią plonów nasion z sąsiednich poletek. Doświadczenie 4. Obiekty: rody z hodowli prowadzonych w Borowie i Małyszynie*

Regression analysis — *Analiza regresji*

Source of variation <i>Źródło zmienności</i>	Degrees of freedom <i>Stopnie swobody</i>	Sum of squares <i>Suma kwadratów</i>	Mean square <i>Średni kwadrat</i>	Statistic F <i>Statystyka F</i>	Probability level <i>Poziom prawdopodobieństwa</i>
Regression <i>Regresja</i>	1	470,78	470,78	18,997	1,62E ⁻⁰⁵
Random deviation <i>Odchylenia losowe</i>	458	11 350,17	24,78		
Total — <i>Suma</i>	459	11 820,94			

Coefficients <i>Współczynniki</i>	Value <i>Wartość</i>	Standard error <i>Błąd standardowy</i>	t - test	Probability level <i>Poziom prawdopodobieństwa</i>	Confidence interval <i>Przedział ufności</i>
a	62,608	3,170	19,748	3,07E-63	(56,378 ÷ 68,838)
b	-0,282	0,065	-4,359	1,62E-05	(-0,410 ÷ -0,155)

Statistics of regression — *Statystyki dla regresji:*

coefficient of correlation — *współczynnik korelacji* = 0,1996

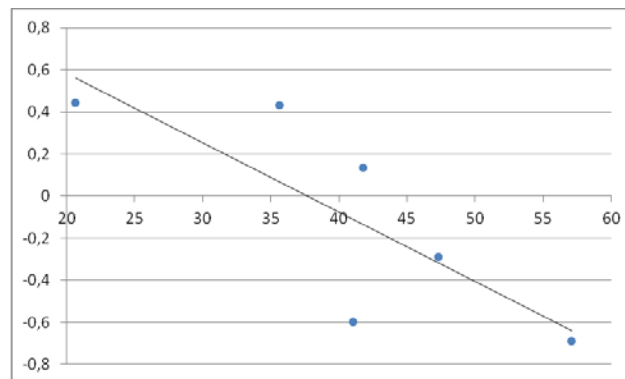
coefficient of determination — *współczynnik determinacji* = 0,0398

standard error of estimation — *błąd standardowy oznaczenia* = 4,9782

Table 5

A comparison of the average yield of seeds in the field trial and the coefficient of regression between the yield of seeds of the plot and the average yields of seeds from adjacent plots yield for each locality. Objects: strains from breeding programs conducted in Bąków, Borowo and Małyszyn — *Porównanie średniego plonu nasion w doświadczeniu polowym z współczynnikiem regresji między plonem nasion z poletka a średnią plonów nasion z sąsiednich poletek dla poszczególnych miejscowości. Obiekty: rody z hodowli prowadzonej w Bąkowie, Borowie i Małyszynie*

Locality <i>Miejscowość</i>	Average seed field <i>Średni plon nasion</i>	Regression coefficient <i>Współczynnik regresji</i>	n	F _{Snedecora}	P
Strzelce	35,652	0,4329	92	9,0666	0,0034
Małyszyn	41,808	0,1343	92	0,9944	0,3213
Borowo	41,034	-0,5994	92	18,4189	4,4574E-05
Bąków	20,663	0,4429	92	8,8034	0,0039
Lągiewniki	47,301	-0,2874	92	4,0979	0,0459
Kończewice	57,106	-0,6900	92	21,0644	1,4335E-05

Regression analysis (*Analiza wariancji*)

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
Regression — <i>Regresja</i>	1	0,803102	0,803102	6,93**
Random deviation <i>Odchylenia losowe</i>	4	0,463427	0,115857	
Total — <i>Suma</i>	5	1,266529		

Graph 1. The relationship between average yield of seeds in locality and the coefficient of regression between the yield of seeds of the plot and the average yields of seeds from adjacent plots yield for each locality. Experiment 1. Objects: strains from breeding programs conducted in Bąków, Borowo and Małyszyn — *Zależność pomiędzy średnim plonem nasion w danej miejscowości a współczynnikiem regresji między plonem nasion z poletka a średnią plonów nasion z sąsiednich poletek dla poszczególnych miejscowości. Doświadczenie 1. Obiekty: rody z hodowli prowadzonej w Bąkowie, Borowie i Małyszynie*

Conclusions

1. We were dealing with two phenomena in field trials on winter rapeseed: the variance of soil fertility inside a block and the competition between plants from the nearest neighbouring plots.
2. The regression was negative in the case of the superiority of the competition factor and positive in the case of the superiority of intra-block soil variability.
3. In the case of four row plots seed yield should be determined on the basis of the seeds collected from only two middle rows. Results may be improved by applying of the six row plots and removing two edge rows of plot.
4. The program for the calculation of seed yield, able to correct the bias connected with competition between plants on neighbouring plots, may be very useful. Such a calculation should allow better forecasting the seed yield of cultivar on plantation (monoculture, production on farm).
5. The exclusive impact of competition between neighbouring plots on the seed yield from plot needs further investigations.

References

- Agrobase II. 2002. Agronomix Software, 171 Waterloo St. R3N 9S4 Winnipeg Canada.
- Anoshenko B. Yu. 1996. Local adjustment method for field experiments. 1. The method and its examination by computer simulation. 1996. *Euphytica*, 40: 137-148.
- Bartlett M. 1978. Nearest neighbor models in the analysis of field experiments. *J. R. Statist. Soc. B* 40 No. 2: 147-174.
- Binns M.R. 1986. Practical use of neighbor methods and alternatives in the analysis of field trials. *Can. J. Plant Sci.*, 67: 477-489.
- Dobek A., Kielczewska H. 1987. Przegląd modeli doświadczeń polowych uwzględniających sąsiedztwo poletek (*Review of models of field experiments taking into account the neighbourhood of the plots*). *Listy Biometryczne*, XXIV (2): 56-61.
- Dobek A. 1994. Metody najbliższego sąsiedztwa i ich zastosowanie w serii doświadczeń (*The nearest neighbour methods and their application in a series of trials*). *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Rozprawy Naukowe*, z. 248.
- Elandt R. 1964. *Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczeń rolniczych (Mathematical statistics used in the agricultural experiments)*. PWN, Warszawa.
- Krzymański J. 1985. Dokładność doświadczeń polowych z rzepakiem ozimym (*The accuracy of the field trials with winter rapeseed*). *Biuletyn IHAR*, 157: 105-110.
- Papadakis J.S. 1937. Méthode statistique pour des expériences sur champ. *Bull. Inst. Amélior. Plantes á Salonique*, 23.
- Pilarczyk W. 1988. Planowanie i analiza doświadczeń. Teoria i praktyka (*Planning and analysis of field trial. Theory and practice*). *Wiadomości Odmianoznawcze*, 6/28.

- Pilarczyk W. 1990. Sąsiedzki wpływ wysokości roślin na plonowanie odmian zbóż (*The neighbourhood impact of the height of plants on yields of cereals varieties*). Wiadomości Odmianoznawcze 1/39: 35-42.
- Stam P. 1984. Estimation of genotypic values without replication in field trials. *Euphytica*, 33: 841-852.
- Steel R.G.D., Torrie J.H. 1960. Principles and Procedures of Statistics, with Special Reference to the Biological Sciences. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto London.
- Stroup W.W., Miltz D.K. 1991. Nearest neighbour adjusted best linear unbiased prediction. *The American Statistician*, 45 (3): 194-200.
- Wilkinson G.N., Eckert S.R., Hancock T.W., Mayo O. 1983. Nearest neighbour (NN) analysis of field experiments. *J. R. Statist. Soc.*, 45 (2): 151-211.