

Jan Radosław Kamiński  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych

## METODYKA OPTYMALIZACJI PARAMETRÓW USTAWIENIA TARCZ ROZSIEWAJĄCYCH

### Streszczenie

Przedmiotem rozważań była równomierność poprzeczna rozkładu nawozów wysiewanych tarczowymi rozsiewaczami nawozowymi. Celem badań było wykazanie przydatności nowej metodyki oceny jakości pracy rozsiewaczy, służącej zarówno do badań optymalizacyjnych, jak i badań porównawczych tarczowych zespołów rozsiewających. W tym celu zdefiniowano dwie wielkości – średniokwadratowe odchylenie wartości rzeczywistej krzywej od krzywej wzorcowej i stosunek szerokości roboczej do średniokwadratowego odchylenia. Z przeprowadzonej analizy wynika, że optymalnymi wartościami kątów ustawienia poprzecznego i podłużnego tarczy rozsiewającej są 6 i 10° dla minimalnej wartości średniokwadratowego odchylenia oraz 8 i 9° dla maksymalnej wartości stosunku szerokości roboczej i średniokwadratowego odchylenia.

**Słowa kluczowe:** maszyna rolnicza, rozsiewacz nawozów, nierównomierność rozsiewu, tarcza rozsiewająca, metodyka badań

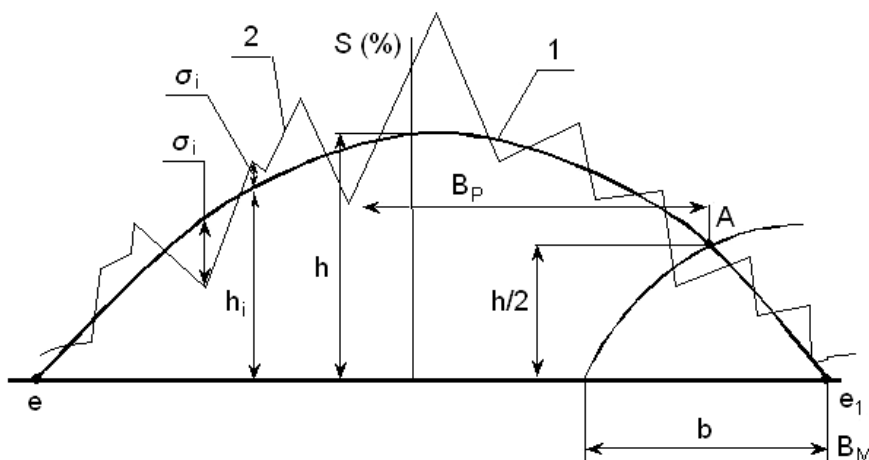
### Wstęp

Tradycyjna metoda oceny rozmieszczenia poprzecznego nawozów mineralnych wysianych rozsiewaczami nawozowymi polegała na obliczeniu wartości wskaźnika nierównomierności poprzecznej, definiowanego jako stosunek odchylenia standardowego i wartości średniej masy nawozu na szerokości roboczej maszyny [Kamionka 2008; Wójcicki 2008]. Szerokość rozsiewu w przypadku rozsiewaczy tarczowych jest znacznie większa od szerokości roboczej maszyny w wyniku częściowego nakładania się sąsiednich pasów rozsiewu, w związku z tym znalezienie optymalnych wartości nierównomierności i szerokości roboczej jest trudne [Kamionka i in. 2001a, b; Roszkowski 2000; Waszkiewicz 2009]. Rozkład poprzeczny nawozów stosowanych za pomocą rozsiewaczy tarczowych najczęściej przypomina swoim kształtem mniej lub bardziej spłaszczoną parabolę. Analizując kształt paraboli, postanowiono sprawdzić, czy można wykorzystać tę krzywą do oceny jakości pracy rozsiewacza ze względu na rozmieszczenie poprzeczne nawozu [Kamiński 2000].

Celem badań było opracowanie metodyki, służącej do racjonalizacji parametrów pracy rozsiwacza tarczowego, oraz zbadanie wpływu kątów ustawienia (w kierunku podłużnym i poprzecznym) tarcz rozsiwających na nierównomierność poprzeczną rozsiewu, a na podstawie uzyskanych wyników ustalenie najkorzystniejszych wartości kątów ustawienia tarcz.

Do przeprowadzenia analizy według zaproponowanej metodyki wykorzystano wyniki badań rozkładu poprzecznego nawozu z wcześniejszych badań ciągnikowego rozsiwacza dwutarczowego.

Zgodnie z metodyką oceny rozkładu poprzecznego nawozu i optymalizacji kątów podłużnego i poprzecznego ustawienia tarcz rozsiwających, najlepsze wskaźniki przydatności, ze względu na równomierność poprzeczną rozsiewu, dwutarczowych aparatów rozsiwających typu standardowego będą spełnione pod warunkiem, że krzywa rozkładu poprzecznego nawozu przyjmie postać paraboli, przedstawionej na rysunku 1.



Źródło: własne.

Rys. 1. Rozkład poprzeczny nawozu na szerokości rozsiewu zespołu dwutarczowego (wyrażony w procentach): 1 – rozkład teoretyczny – paraboliczny, 2 – rozkład rzeczywisty;  $b$  – szerokość pasa nakładania nawozu sąsiednich przejazdów,  $B_p$  – szerokość robocza rozsiwacza

Fig. 1. Transverse fertilizer distribution along the working width of two-disc spreading assembly (%): 1 – theoretical – parabolic distribution, 2 – real distribution;  $b$  – width of fertilizer overlapping belt from adjacent passages,  $B_p$  – working width of the spreader

W praktyce otrzymanie rozmieszczenia poprzecznego nawozu w postaci paraboli jest trudne. Parabola postaci  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$  może służyć za kryterium oceny porównawczej jakości pracy rozsiwaczy tarczowych, przy czym im mniejsze będą średnie kwadratowe odchylenia wartości rzeczywistej krzywej od wzorcowej  $\sigma$ , tym równomierność rozsiewu będzie lepsza.

## Przebieg i wyniki analizy

Wydajność maszyn do rozsiewu nawozów mineralnych zależy przede wszystkim od szerokości roboczej  $2B_p$ , która w kolei zależy od szerokości  $b$  nakładania się pasów rozsiewu podczas kolejnych przejazdów rozsiewacza, pod warunkiem zachowania odpowiedniej równomierności rozsiewu. Położenie punktu  $A$  (rys. 1) zależy od odległości  $ee_1$ , która jest równa połowie maksymalnej wysokości paraboli  $\frac{1}{2}h$ . Na podstawie powyższego można przyjąć,

że parametrem optymalizacji pracy zespołu dwutarczowego będzie stosunek szerokości rozsiewu nawozu do średniego kwadratowego odchylenia realnej krzywej rozkładu poprzecznego nawozu od krzywej wzorcowej  $B_p/\sigma$ .

Badania stanowiskowe przeprowadzono, wykorzystując rozsiewacz dwutarczowy RCW-8. Konstrukcja zespołu rozsiewającego umożliwia zmianę kątów ustawienia tarcz w stosunku do kierunku jazdy maszyny w płaszczyznach poprzecznie prostopadłej  $\alpha$  i podłużnie prostopadłej  $\beta$ . Warunki badań były następujące:

- rozsiewany nawóz (saletrzak) w dawce  $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,
- prędkość jazdy agregatu –  $7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,
- obroty tarcz rozsiewających –  $700 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ ,
- położenie zasowy dozującej nawóz w pozycji 15.

W celu przeprowadzenia badań stanowiskowych zastosowano matematyczne planowanie eksperymentów z wykorzystaniem do analizy rezultatów programu STATU i BIMER. Zmienne parametry i zakresy ich zmian w eksperymencie zamieszczono w tabeli 1.

*Tabela 1. Parametry zmienne i zakresy ich zmian*

*Table 1. Variable parameters and ranges of their changes*

Kąt [°]	Kodowana wartość zmiennych parametrów				
	$X_k$	-1	0	+1	skok
$\alpha$	$X_1$	0	8	16	8
$\beta$	$X_2$	0	8	16	8

*Źródło: wyniki własne.*

Badania stanowiskowe i pomiary laboratoryjno-polowe rozkładu poprzecznego rozsiewu nawozu (wyrażonego w procentach) przeprowadzono zgodnie z obowiązującą metodyką. Uzyskane wyniki aproksymowano parabolą postaci:  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ , a następnie wyznaczano wartości  $\sigma$  i  $B_p/\sigma$ .

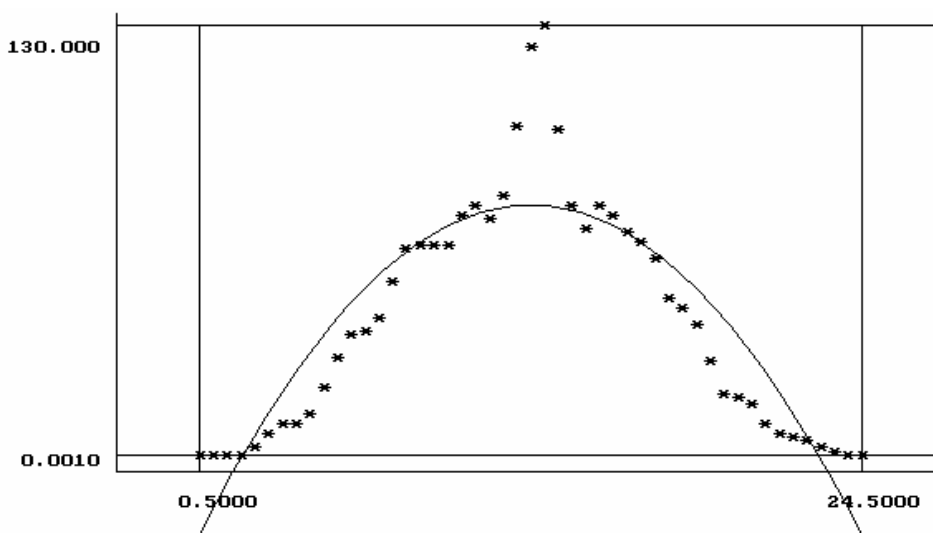
Macierz postawionego zadania i wyniki badań zamieszczono w tabeli 2. Wyniki, zamieszczone w tabeli 2. (przeliczone na mm), otrzymano na podstawie rezultatów, uzyskanych podczas badań stanowiskowych rozkładu poprzecznego nawozu (saletrzaku) i rezultatów obliczeń wartości współczynników równań parabol aproksymujących rozkłady rzeczywiste.

Tabela 2. Macierz eksperymentu i wyniki badań  
 Table 2. Experiment matrix and the test results

Pomiar	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	σ [mm]			B <sub>p</sub> /σ [mm · mm <sup>-1</sup> ]		
1.	-1	-1	14,40	16,00	17,60	2,03	2,01	1,49
2.	+0,250	-1	7,65	8,50	9,35	4,97	4,17	4,06
3.	-0,125	-0,125	4,41	4,90	5,39	8,16	7,35	6,68
4.	-0,500	+0,125	4,95	5,50	6,05	7,27	6,55	5,95
5.	-1	+0,250	5,85	6,50	7,15	5,64	5,08	4,62
6.	+1	-1	9,90	11,00	12,10	3,74	3,36	3,06
7.	+0,750	0	5,49	6,10	6,72	7,47	6,72	6,10
8.	-0,125	+1	6,03	6,70	7,37	6,30	5,67	5,16
9.	-1	+1	5,04	5,60	6,16	5,10	5,09	5,01

Źródło: wyniki własne.

Sporządzony na tej podstawie przykładowy wykres rozkładu poprzecznego nawozu (wartości średnie) przedstawiono na rysunku 2., zaś odpowiednie równania parabol, odpowiadające analizowanym ustawieniom tarcz rozsiewających według programu badań, z podaniem numeru kolejnego pomiaru, wartość σ oraz równanie parabol, przedstawiono jako zależności od (1) do (9).



Źródło: wyniki własne.

Rys. 2. Rozkład poprzeczny nawozu i linia parabolii aproksymującej (1)  
 Fig. 2. Transverse fertilizer distribution and line of approximating parabola (1)

$$\sigma = 16,00; Y = -33,08896 + 17,44173X - 0,6981024X^2 \quad (1)$$

$$\sigma = 8,50; Y = -4,781589 + 7,922103X - 0,3334066X^2 \quad (2)$$

$$\sigma = 4,90; Y = -12,11966 + 8,598656X - 0,3361097X^2 \quad (3)$$

$$\sigma = 5,50; Y = -9,662961 + 8,078511X - 0,3179815X^2 \quad (4)$$

$$\sigma = 6,50; Y = -13,41840 + 9,195954X - 0,3746706X^2 \quad (5)$$

$$\sigma = 11,00; Y = -6,126058 + 7,814766X - 0,3187498X^2 \quad (6)$$

$$\sigma = 6,10; Y = -0,8970908 + 6,143343X - 0,2431011X^2 \quad (7)$$

$$\sigma = 6,70; Y = 1,316435 + 6,673492X - 0,2856172X^2 \quad (8)$$

$$\sigma = 5,60; Y = -3,526921 + 7,971172X - 0,3375163X^2 \quad (9)$$

W rezultacie przeprowadzonych badań i obliczeń za pomocą elektronicznych technik obliczeniowych otrzymano następujące równania regresji, charakteryzujące rzeczywisty proces:

- wyrażenie do obliczania średniokwadratowego odchylenia:

$$\sigma = 4,53 + 0,58X_1 - 1,54X_2 + 3,37X_1X_2 + 3,26X_1^2 + 3,74X_2^2 \text{ (rys. 3),} \quad (10)$$

przy czym  $\sigma$  przyjmuje minimalne wartości, gdy:  $X_1 = -0,25$  i  $X_2 = -0,32$  lub  $\alpha = 6^\circ$  i  $\beta = 10^\circ 31'$ ;

- wyrażenie do obliczania stosunku szerokości roboczej i średniego kwadratowego odchylenia:

$$B_p/\sigma = 7,35 + 0,69X_1 - 0,75X_1X_2 - 1,89X_1^2 + 2,02X_2^2 \text{ (rys. 4),} \quad (11)$$

przy czym  $B_p/\sigma$  przyjmuje wartości maksymalne, gdy  $X_1 = 0,02$  i  $X_2 = 0,17$  lub  $\alpha = 8^\circ$  i  $\beta = 9^\circ 20'$ .

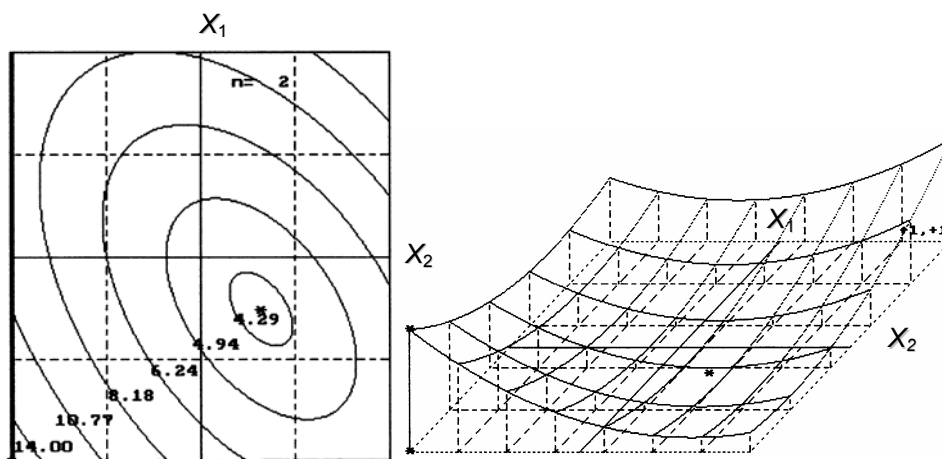
Obliczając minimalną i maksymalną wartości  $\sigma$  z równania (10), otrzymujemy:

$$y = 4,53 + 0,58X_1 - 1,54X_2 + 3,37X_1X_2 + 3,26X_1^2 + 3,74X_2^2$$

$$F_{min}(X_1 = -0,25 \text{ i } X_2 = 0,32) = 4,21$$

$$F_{max}(X_1 = 1,00 \text{ i } X_2 = -1,00) = 15,86$$

Na poziomie prawdopodobieństwa 95% dyspersja jednorodna, ponieważ kryterium Kochena  $G = 0,3880 < G_{0,05}(2,9) = 0,4775$ . Wpływ współczynników równania regresji (10) na parametr optymalizacji  $\sigma$  zamieszczono w tabeli 3.



Źródło: wyniki własne.

Rys. 3. Wpływ kątów ustawienia tarcz w płaszczyźnie poprzecznie prostopadłej  $\alpha$  i podłużnie prostopadłej  $\beta$  na średniokwadratowe odchylenie  $\sigma$ , będące parametrem optymalizacji

Fig. 3. Impact of the disc setting angles in transversely perpendicular ( $\alpha$ ) and longitudinally perpendicular ( $\beta$ ) planes, on mean-square deviation  $\sigma$  being an optimization parameter

Tabela 3. Istotność wpływu współczynników równania regresji na parametr  $\sigma$

Table 3. Significance of equation regression coefficients impact on  $\sigma$  parameter

Współczynniki równania regresji	Kryterium Studenta t	Poziom wpływu czynnika	Istotność
$B_1 = 0,5792$	0,907	62,34	
$B_2 = -1,5405$	-2,607	98,22	+
$B_{12} = 3,3667$	4,332	99,96	+
$B_{11} = 3,2614$	3,757	99,86	+
$B_{22} = 3,7404$	5,429	100,00	+
$B_0 = 4,5332$	7,649	człon niezależny	

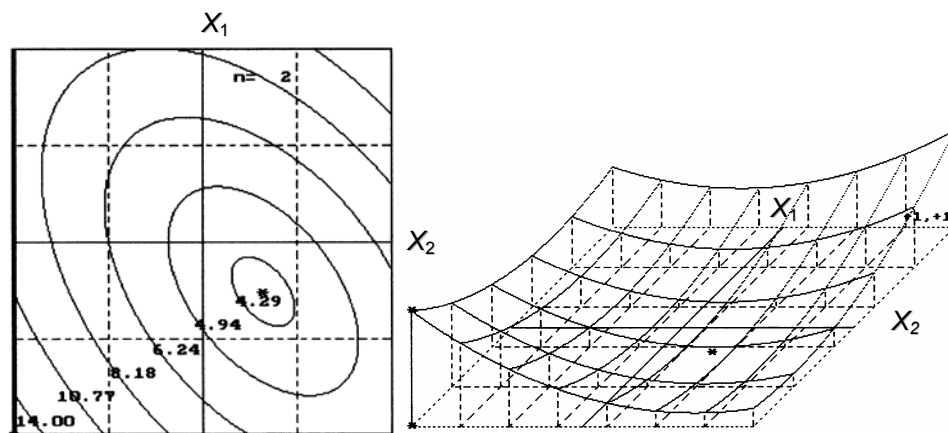
Źródło: wyniki własne.

Analizując podobnie wyrażenie (11), otrzymamy wartości minimalne i maksymalne funkcji optymalizującej stosunek szerokości roboczej i średniego kwadratowego odchylenia (rys. 4):

$$y = 7,35 + 0,20X_1 + 0,69X_2 - 0,75X_1X_2 - 1,89X_1^2 - 2,02X_2^2$$

$$F_{min}(X_1 = -1,00 \text{ i } X_2 = -1,00) = 1,79$$

$$F_{max}(X_1 = 0,02 \text{ i } X_2 = 0,17) = 7,41$$



Źródło: wyniki własne.

Rys. 4. Wpływ kątów ustawienia tarcz w płaszczyźnie poprzecznie prostopadłej  $\alpha$  i podłużnie prostopadłej  $\beta$  na parametr optymalizacji  $B_p/\sigma$ ,  $B_p$  – szerokość robocza,  $\sigma$  – średniokwadratowe odchylenie

Fig. 4. Impact of the disc setting angles in transversely perpendicular ( $\alpha$ ) and longitudinally perpendicular ( $\beta$ ) planes, on optimization parameters  $B_p/\sigma$ ,  $B_p$  – working width,  $\sigma$  – mean-square deviation

Na poziomie prawdopodobieństwa 95% dyspersja jednorodna, ponieważ kryterium Kochena  $G = 0,2430 < G_{0,05}(2,9) = 0,4775$ . Wpływ współczynników równania regresji (11) na parametr optymalizacji  $B_p/\sigma$  zamieszczono w tabeli 4.

Tabela 4. Istotność wpływu współczynników równania regresji na parametr  $B_p/\sigma$   
Table 4. Significance of regression equation coefficients effect on the  $B_p/\sigma$  parameter

Współczynniki równania regresji	Kryterium Studenta t	Poziom wpływu czynnika	Istotność
$B_1 = 0,1977$	0,594	44,03	
$B_2 = 0,6946$	2,250	96,34	+
$B_{12} = -0,7465$	-1,845	91,84	
$B_{11} = -1,8942$	-4,191	99,95	+
$B_{22} = -2,0241$	-5,643	100,00	+
$B_0 = 7,3460$	23,809	człon niezależny	

Źródło: wyniki własne.

## Podsumowanie

Przedstawiona metodyka optymalizacji parametrów tarcz rozsiewających została sprawdzona podczas badań optymalizacyjnych kątów pochylenia tarcz rozsiewających poprzecznego  $\alpha$  i podłużnego  $\beta$  w stosunku do osi ma-

szyny. Na podstawie otrzymanych równań regresji (10) i (11) można modelować i oceniać wskaźniki jakości pracy rozsiewaczy dwutarczowych w różnych ustawieniach tarcz w zakresie założonego eksperymentu.

Przyjęte wielkości optymalizacyjne  $\sigma$  i  $B_p/\sigma$  charakteryzowały dostatecznie dokładnie rozkłady poprzeczne nawozów, uzyskane podczas badań stanowiskowych, i mogą być uznane za kryteria oceny jakości pracy rozsiewacza. Uzyskane równania regresji  $\sigma = f_1(\alpha, \beta)$  i  $B_p/\sigma = f_2(\alpha, \beta)$  stopnia drugiego dostatecznie dokładnie charakteryzują rzeczywisty proces rozsiewu nawozów. Oba równania mają po jednym ekstremum, odpowiadającym parom kątów  $\alpha$  i  $\beta$ . W przypadku zależności  $\sigma = f_1(\alpha, \beta)$  ekstremum odpowiadało wartości minimalnej, a w przypadku zależności  $B_p/\sigma = f_2(\alpha, \beta)$  – wartości maksymalnej funkcji. Określone na ich podstawie optymalne wartości kątów  $\alpha$  i  $\beta$  ustawienia tarcz rozsiewających wynoszą:

- $\alpha = 6^\circ$  i  $\beta = 10^\circ$  – dla kryterium minimalnej wartości  $\sigma$ ,
- $\alpha = 8^\circ$  i  $\beta = 9^\circ$  – dla maksimum stosunku  $B_p/\sigma$ .

Optymalne wartości kątów ustawienia tarcz, określonej konstrukcji, z uwagi na równomierność poprzeczną rozsiewu nawozu, uzyskano w warunkach rozsiewu saletrzaku z prędkością roboczą  $7,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , obrotów tarcz, wynoszących  $700 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , i położenia zasowy dozującej w pozycji 15.

Przedstawiona metodyka umożliwiła znacznie dokładniejszą i szerszą ocenę wpływu parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych na wskaźniki jakości pracy rozsiewaczy tarczowych w porównaniu z dotychczas stosowaną.

## Bibliografia

- Kamiński J. 2000. Metoda oceny wpływu parametrów tarcz rozsiewających na efektywność nawożenia. Rozprawa doktorska. IBMER. Warszawa, ss. 105
- Kamionka J. 2008. Efektywność energetyczna pogłównego nawożenia zbóż. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 2(60), s. 61–68
- Kamionka J. i in. 2001a. Test rozsiewaczy jednotarczowych. Top Agrar Polska. Nr 9, s. 74–76
- Kamionka J. i in. 2001b. Test rozsiewaczy dwutarczowych. Top Agrar Polska. Nr 10, s. 68–72
- Roszkowski A. 2000. Informatyka w technologiach produkcji roślinnej – analiza stanu i potrzeb badań. Inżynieria Rolnicza. Nr 3, s. 133–141
- Waszkiewicz Cz. 2009. Rynek wybranych narzędzi i maszyn rolniczych do produkcji roślinnej w Polsce w latach 2001–2007. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1(63), s. 51–56
- Wójcicki Z. 2008. Metodyka badań postępu technicznego w gospodarstwach rodzinnych. IBMER. Warszawa, ss. 90



## **METHODOLOGY TO OPTIMIZE THE SETTING PARAMETERS OF FERTILIZER SPREADING DISCS**

### **Summary**

The study dealt with a transverse distribution uniformity of mineral fertilizers distributed by the disc fertilizer spreaders. The aim was to show the usability of new methodology to evaluating the operation quality of fertilizer spreaders for both, the study on optimization and comparison of the disc spreading elements. For such a reason two magnitudes were defined – mean-square deviation of real curve from the standard curve, and the working width to mean-square deviation ratio. The analysis carried out showed that the optimum values for transverse and longitudinal angles of spreading disc setting are 6 and 100 for minimum value of mean-square deviation, as well as 8 and 90 for the maximum value of working width to mean-square deviation ratio.

**Key words:** farm machine, fertilizer spreader, spreading non-uniformity, spreading disc, investigation methodology

Praca wpłynęła do Redakcji 24.02.2010 r.

*Recenzenci: doc. dr hab. Jan Kamionka  
prof. dr hab. Leszek Powierża*

Adres do korespondencji:

Jan Radosław Kamiński  
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych  
Wydział Inżynierii Produkcji SGGW  
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 164  
tel. 22 593-45-37, e-mail: jan\_kaminski@sggw.pl

