

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

PORÓWNANIE METOD OPTIMALIZACYJNYCH USTAWIENIA TARCZ ROZSIEWAJĄCYCH NAWOZY MINERALNE

Streszczenie

Przedstawioną metodę optymalizacji parametrów ustawienia tarcz rozsiewających sprawdzono podczas badań optymalizacyjnych kątów pochylenia tarcz rozsiewających – poprzecznego (α) i podłużnego (β) w stosunku do osi maszyny. Na podstawie otrzymanych równań regresji można modelować i oceniać wskaźniki jakości pracy rozsiewaczy dwutarczowych o różnie ustawionych (pochylonych) tarczach w zakresie założonego eksperymentu. Przyjęte wielkości optymalizacyjne – średnie odchylenie rozkładu rzeczywistego od teoretycznego σ i stosunek szerokości roboczej do tego odchylenia B_p/σ – dostatecznie dokładnie charakteryzowały 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 α i β . 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. Znalezione na ich podstawie optymalne wartości kątów α i β ustawienia tarcz rozsiewających wynoszą: $\alpha = 6^\circ$ i $\beta = 10^\circ$ (kryterium minimalnej wartości σ) oraz $\alpha = 8^\circ$ i $\beta = 9^\circ$ (kryterium maksymalnej wartości B_p/σ).

Słowa kluczowe: metody badań, rozsiewacz tarczowy, nierównomierność rozsiewu

Wstęp

Postęp techniczny [Michalek, Tomczyk 2002; Szeptycki 2006; Wojtkowska-Długozima, Kamiński 2009] wywołuje potrzebę doskonalenia metod badawczych. Stosowane w rolnictwie rozsiewacze do granulowanych, stałych nawozów mineralnych najczęściej są wyposażane w jedno- lub dwutarczowe zespoły rozsiewające [Kamiński 1995; Kamionka i in. 2001a; 2001b]. Tarcze mają kształt stożka zwróconego podstawą do góry, na powierzchni którego są mocowane, promieniowo lub pod kątem do promienia, łopatki rozsiewa-

jące. Liczba łopatek wynosi 2, 3, 4 lub 6, w zależności od typu zespołu rozsiewającego. Zarówno ich długość, jak i kształt są dobierane tak, aby uzyskać dużą prędkość schodzenia nawozu z tarczy rozsiewającej, decydującą o szerokości jego rozrzutu i szerokości roboczej maszyny [Kamiński 2000; Kamionka 2008]. Łopatki mogą sięgać brzegu tarczy lub być dłuższe i wystawać poza jej obrzeże, zwiększając – jak gdyby – jej średnicę.

Rozsiewacze z tarczowymi zespołami rozsiewającymi charakteryzują się tym, że szerokość robocza maszyny jest znacznie mniejsza od szerokości rozrzutu nawozu, ponieważ zachodzi konieczność częściowego nakładania się pasów rozrzutu nawozu w kolejnych przejazdach maszyny, w celu zapewnienia wymaganej równomierności poprzecznej rozsiewu. Decydujący wpływ na szerokość roboczą i równomierność poprzeczną rozsiewu ma ustawienie tarcz rozsiewających, tj. kąty ich nachylenia w kierunku poprzecznym i podłużnym w stosunku do osi maszyny. Wyznaczenie tych kątów jest trudne, ponieważ zależą one od wielu czynników, między innymi od właściwości fizyko-mechanicznych nawozów i parametrów geometryczno-kinematycznych tarcz rozsiewających.

Celem badań było sprawdzenie poprawności nowej metody wyznaczania optymalnych wartości kątów ustawienia tarcz rozsiewających, zapewniających wymaganą jakość pracy maszyny, charakteryzowaną wskaźnikiem średniego kwadratowego odchylenia krzywej rzeczywistej rozkładu ilości nawozu na szerokości rozsiewu od kształtu parabolicznego i stosunkiem szerokości roboczej maszyny do średniego kwadratowego odchylenia krzywej rzeczywistej od wzorcowej.

Materiał i metody

Poprawność nowej metody wyznaczania optymalnych wartości kątów ustawienia tarcz rozsiewających sprawdzano porównując jej wyniki z wynikami metody tradycyjnej, w której jakość pracy maszyny jest charakteryzowana wskaźnikiem nierównomierności poprzecznej rozsiewu nawozu.

W metodzie tradycyjnej zakładano, że rozkład poprzeczny nawozu po rozsiewie z częściowym nakładaniem się pasów w sąsiednich przejazdach maszyny, powinien mieć kształt prostokąta, a występujące odchylenia nie powinny przekraczać wartości dopuszczalnych. Wskaźnik nierównomierności poprzecznej rozsiewu nawozu w tym przypadku jest określany stosunkiem względnego odchylenia standardowego do wartości średniej, wyrażonym w procentach. Zgodnie z tą metodą wyznacza się kolejno następujące wielkości:

- 1) masę nawozu w i -tym chwytaku w gramach lub jej udział w stosunku do masy na założonej szerokości roboczej w procentach – m_i , gdzie: i – numer chwytaka nawozu,

- 2) masę nawozu we wszystkich chwytakach (n) rozmieszczonych na szerokości rozrzutu nawozu, która równa się masie całkowitej M na szerokości roboczej rozsiewacza – $M = \sum_{i=1}^n m_i$ [g] lub [%], gdzie: n – liczba chwytaków na szerokości roboczej rozsiewacza,
- 3) średnią masę nawozu w chwytaku – $m_{\text{sr}} = \frac{M}{n}$ [g] lub [%],
- 4) względne odchylenie standardowe – $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - m_{\text{sr}})^2}$ [g] lub [%],
- 5) wskaźnik nierównomierności poprzecznej rozsiewu – $d = \frac{S}{m_{\text{sr}}} \cdot 100$ [%].

W nowej metodzie założono, że rozkład poprzeczny nawozu po rozsianiu ma kształt paraboli symetrycznej względem kierunku jazdy rozsiewacza (rys. 1), z wierzchołkiem w punkcie leżącym na osi pionowej rozkładu, odpowiadającym średniemu procentowemu udziałowi masy nawozu w chwytakach środkowych i gałęziami przecinającymi oś poziomą w miejscach odpowiadających szerokości rozrzutu nawozu. Na histogram rzeczywistego rozkładu poprzecznego nawozu (2) naniesiono parabolę (1), spełniającą następującą zależność $S = S_0 - ax^2$, gdzie: S – procentowy udział nawozu w chwytaku w odległości x od osi rozkładu, S_0 – procentowy udział nawozu w chwytaku środkowym, a – współczynnik charakteryzujący rozchylenie ramion paraboli. Za kryteria oceny rozkładu nawozu przyjęto względne odchylenie standardowe σ wartości rzeczywistych rozkładu od teoretycznych (z rozkładu parabolicznego) oraz stosunek szerokości roboczej B_r do względnego odchylenia standardowego. Względne odchylenie standardowe (zwane również odchyleniem średnim kwadratowym) σ obliczano z następującego wzoru:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_{i\text{rz}} - m_{i\text{t}})^2}$$
 [g] lub [%],

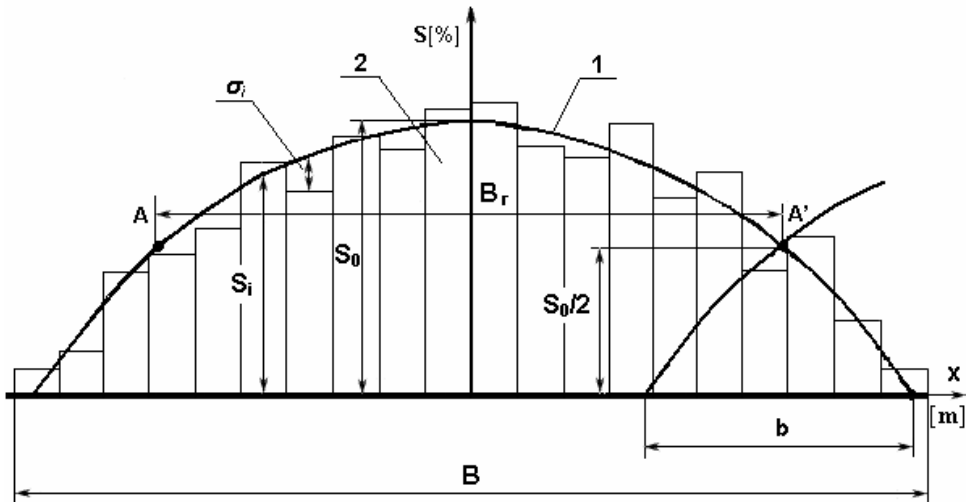
gdzie:

$m_{i\text{rz}}$ – masa lub udział procentowy nawozu w i -tym chwytaku;

$m_{i\text{t}}$ – teoretyczna masa lub udział procentowy nawozu zgodne z parabolą, odpowiadająca i -temu chwytakowi;

$$\sigma_i = m_{i\text{rz}} - m_{i\text{t}}.$$

Stosunek szerokości roboczej B_r do odchylenia standardowego σ obliczano zakładając, że występują pasy pola o szerokości b obsiewane w dwu sąsiednich przejazdach, a szerokość robocza $B_r = B - b$, gdzie: B – szerokość rozrzutu nawozu (rys. 1).



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 1. Rozkład poprzeczny nawozu na szerokości rozrzutu zespołu dwutarczowego: 1 – rozkład teoretyczny paraboliczny, 2 – histogram rozkładu rzeczywistego; B_r – szerokość robocza maszyny; B – szerokość rozrzutu nawozu; b – szerokość pasa obsiewanego w dwu sąsiednich przejazdach maszyny; S_0 – udział nawozu w chwytaku środkowym, S_i – udział nawozu w i -tym chwytaku

Fig. 1. Transverse distribution of fertilizer on the spreading width of two-disc spreader unit: 1 – theoretical parabolic distribution, 2 – histogram of real distribution; B_r – working width of the machine; B – width of fertilizer spreading; b – width of belt spread in two adjacent passages of the machine; S_0 – share of fertilizer in middle bucket; S_i – share of fertilizer in a i -bucket

Program badań stanowiskowych, uwzględniający potrzeby weryfikowanej metody oceny wpływu parametrów tarcz rozsiewających na efektywność nawożenia oraz metody weryfikującej, podzielono na:

- program uwzględniający przeprowadzenie badań optymalizacyjnych kątów ustawienia tarcz rozsiewających α i β ze względu na σ i B_r/σ ;
- program badań weryfikacyjnych uwzględniający dobór kątów α i β ustawienia tarczy rozsiewającej ze względu na minimalną wartość wskaźnika nierównomierności poprzecznej rozrzutu d .

Do weryfikacji metody posłużyły badania stanowiskowe wykonane w sposób umożliwiający obróbkę wyników metodą tradycyjną i metodą zaproponowaną. Weryfikacja metody polegała na porównaniu wyników doboru optymalnych wartości kątów ustawienia tarcz rozsiewających w kierunku poprzecznym i podłużnym do kierunku jazdy maszyny uzyskanych obiema metodami. Metoda tradycyjna umożliwiła określenie najlepszego położenia tarczy rozsiewającej w oparciu o założone ustawienia tarcz na badanym wzorcu zespołu rozsiewającego.

W celu sporządzenia charakterystyki zależności σ od kątów ustawienia tarcz rozsiewających α i β oznaczonych również X_1 i X_2 zaplanowano przeprowadzenie eksperymentów uwzględniając ich kodowane wartości podane w tabeli 1.

Tabela 1. Kodowane wartości zmiennych parametrów α i β i zakresy ich zmian
Table 1. Coded values of variable parameters α and β and ranges of their changes

Kąt Angle [°]	Kodowane wartości zmiennych parametrów Coded values of variable parameters				
	X_k	-1	0	+1	skok jump
α	X_1	0	8	16	8
β	X_2	0	8	16	8

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Wyniki i dyskusja

Z algorytmu przeprowadzania eksperymentów (rys. 2) wynika, że proponowana metoda oceny jakości pracy rozsiewacza daje możliwość szerszej analizy.

Przyjęte wielkości optymalizacyjne (σ i B_p/σ) dostatecznie dokładnie charakteryzowały 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.

W rezultacie przeprowadzonych badań i obliczeń otrzymano następujące równania regresji, dobrze charakteryzujące rzeczywisty proces,

$$\sigma = 4,53 - 1,54 X_1 + 3,37 X_1 X_2 + 3,26 X_1^2 + 3,74 X_2^2 \quad (1)$$

Wyznaczając minimalną i maksymalną wartość funkcji σ z równania (1) otrzymujemy:

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

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

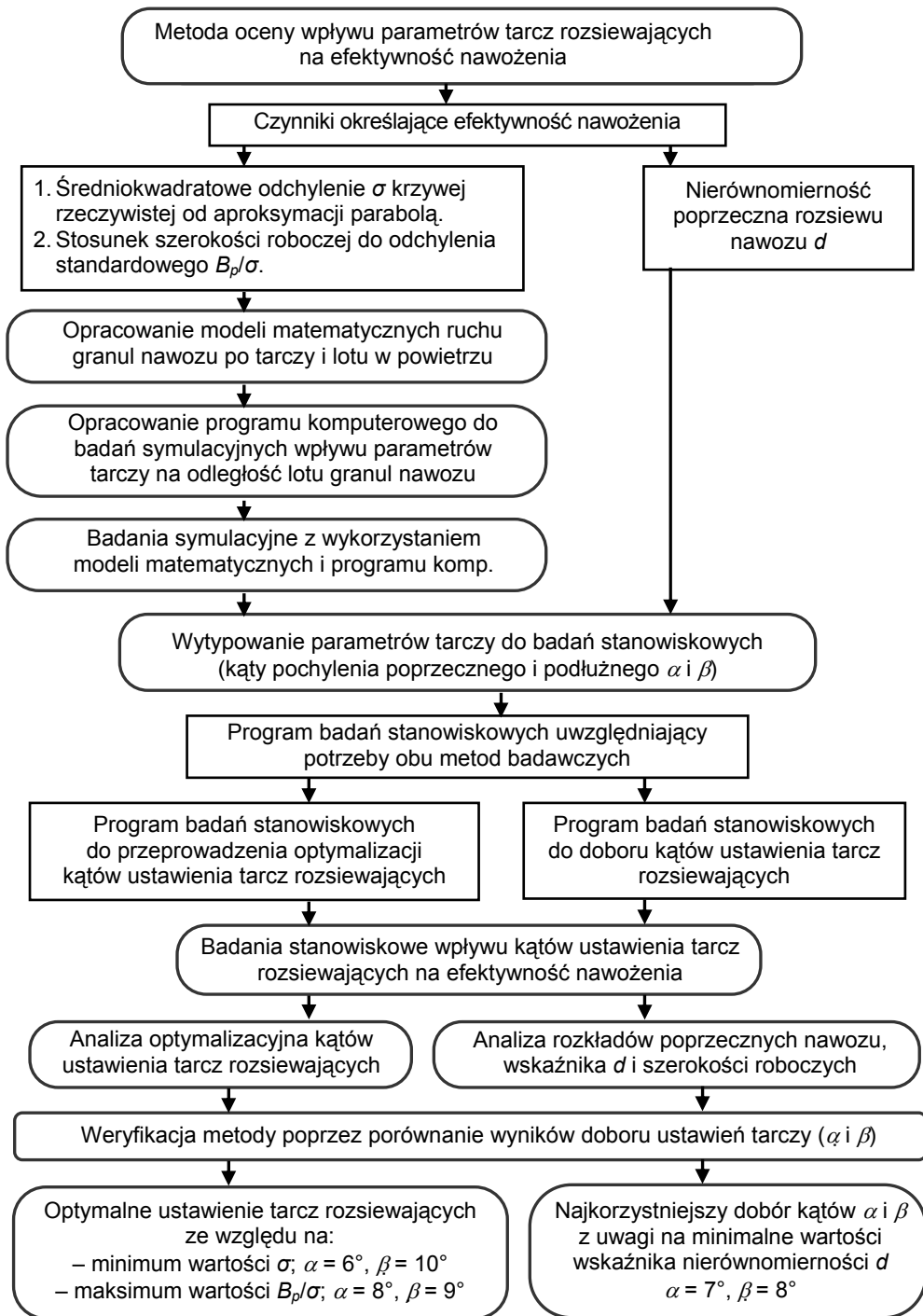
Wynika z tego, że funkcja σ przyjmuje wartość minimalną dla $X_1 = -0,25$ i $X_2 = -0,32$ lub $\alpha = 6^\circ$ i $\beta = 10^\circ 31'$.

$$B_p/\sigma = 7,35 + 0,69 X_1 - 0,75 X_1 X_2 - 1,89 X_1^2 + 2,02 X_2^2 \quad (2)$$

Analizując wyrażenie (2) otrzymamy:

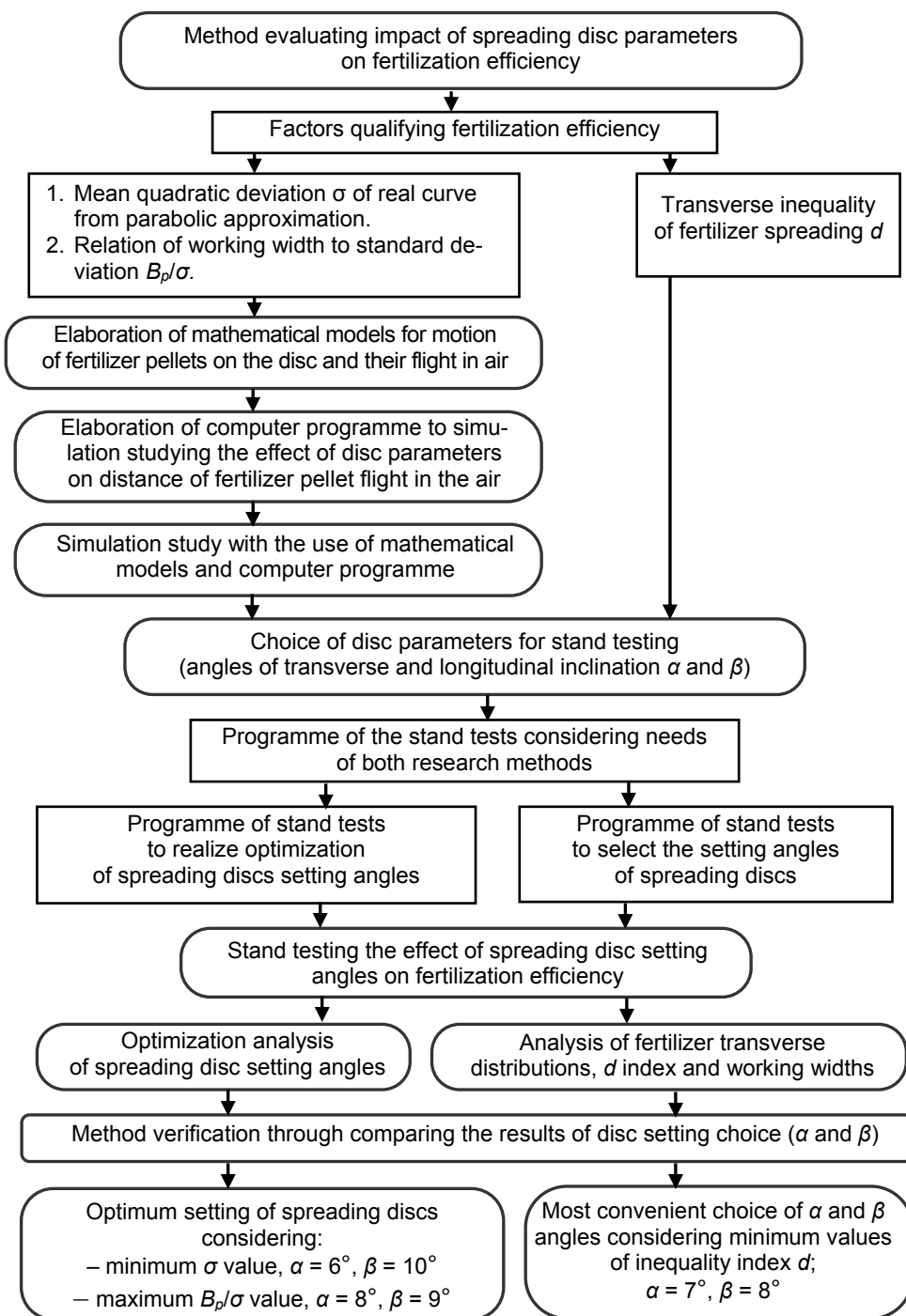
$$B_p/\sigma, \min(X_1 = -1,00 \text{ i } X_2 = -1,00) = 1,79$$

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



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2. Algorytm metod oceny jakości pracy rozsiewaczy tarczowych



Source: own elaboration.

Fig. 2. Algorithm of evaluating work quality of the disc fertilizer spreaders

Wynika z tego, że funkcja B_p/σ przyjmuje wartość maksymalną dla $X_1 = 0,02$ i $X_2 = 0,17$ lub $\alpha = 8^\circ$ i $\beta = 9^\circ 20'$.

Optymalizacja parametrów ustawienia tarcz rozsiewających α i β , przeprowadzona metodą tradycyjną, opartą na analizie wartości wskaźnika nierównomierności poprzecznej rozsiewu d wykazała, że minimalna wartość wskaźnika d odpowiada następującemu ustawieniu tarcz rozsiewających: $\alpha = 7^\circ$ i $\beta = 8^\circ$.

Podsumowanie

Zaproponowana metoda doboru parametrów ustawienia tarcz rozsiewających nawóz umożliwia wyznaczenie optymalnych wartości analizowanych wielkości. W efekcie uzyskano następujące wartości optymalnych kątów pochyleń tarczy rozsiewającej:

- $\alpha = 6^\circ$ i $\beta = 10^\circ$, odpowiadające minimalnej wartości wielkości σ ,
- $\alpha = 8^\circ$ i $\beta = 9^\circ$, odpowiadające maksymalnej wartości stosunku B_p/σ .

Najkorzystniejsze ustawienie tarczy ze względu na minimalną wartość wskaźnika d wynosiło $\alpha = 7^\circ$ i $\beta = 8^\circ$.

Widzimy zatem dużą zgodność uzyskanych wyników badań, świadcząca o poprawności zaproponowanej metody oceny wpływu parametrów ustawienia tarcz rozsiewających na efektywność nawożenia. Należy zaznaczyć, że u podstaw obu metod oceny leży równomierność poprzecznego rozmieszczenia nawozu na szerokości roboczej maszyny, po uwzględnieniu częściowego nakładania się pasów rozsiewu sąsiednich przejazdów agregatu. Podstawowa różnica w sposobie oceny dokładności rozmieszczenia poprzecznego nawozu polega na tym, że:

- w proponowanej metodzie jest analizowany cały pas rozsiewu i jednokrotnie jest obliczana wartość wielkości σ , natomiast stosowana w metodzie tradycyjnej wielkość d jest funkcją szerokości roboczej, a jej wykres może mieć jedno lub dwa ekstrema,
- w proponowanej metodzie jest analizowana druga wielkość istotna w ocenie zespołu rozsiewającego wiążąca szerokość roboczą maszyny z dokładnością rozsiewu przez stosunek B_p/σ .

Przedstawiona metoda umożliwi znacznie dokładniejszą i szerszą ocenę wpływu parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych na wskaźniki jakości pracy rozsiewaczy tarczowych.

Bibliografia

- Kamiński J. 2000. Metoda oceny wpływu parametrów tarcz rozsiewających na efektywność nawożenia. Warszawa. IBMER ss. 105.
- Kamiński E. 1995. Technika i technologia nawożenia mineralnego. Warszawa. Prace Naukowo-Badawcze IBMER ss. 102.
- Kamionka J. 2008. Efektywność energetyczna pogłównego nawożenia zbóż. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 2 s. 61–68.
- Kamionka J., Mosch G., Józefowicz J. 2001a. Test rozsiewaczy jednotarczowych. Top Agrar Polska. Nr 9 s. 74–76.
- Kamionka J., Mosch G., Józefowicz J. 2001b. Test rozsiewaczy dwutarczowych. Top Agrar Polska. Nr 10 s. 68–72.
- Michalek R., Tomczyk W. 2002. Problemy eksploatacji maszyn i urządzeń w aspekcie ochrony środowiska. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 4 s. 5–10.
- Szeptycki A. 2006. Znaczenie techniki w systemie zrównoważonej produkcji rolnej. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Vol. 51. Nr ½ s. 183–185.
- Wojtkowska-Długozima H., Kamiński E. 2009. Uproszczenia w uprawie roślin w aspekcie nowoczesnych ciągników rolniczych. Inżynieria Systemów Biogrotechnicznych. Nr 3 s. 109–115.

COMPARISON OF OPTIMIZATION METHODS TO SETTING THE DISCS SPREADING MINERAL FERTILIZERS

Summary

Paper presented the method optimizing parameters of setting the discs, spreading mineral fertilizers. The method was used to optimization tests of inclination angles of spreading discs – the transverse (α) and longitudinal (β) ones, in relation to axis of the machine. Derived regression equations enable to model and evaluate the operation quality indices for the two-disc fertilizer spreaders of different disc setting (inclination) – within the range provided in experiment. Assumed optimization values – mean deviation of real from theoretical distribution (σ) and the relation of working width to this deviation (B_p/σ) – characterized precisely enough transverse fertilizers distribution, obtained during stand tests; they may be acknowledged as the valuation criteria of spreader's work quality. Derived regression equations $\sigma = f_1(\alpha, \beta)$ and $B_p/\sigma = f_2(\alpha, \beta)$ of the second order, characterize precisely enough the real fertilizer spreading process. Both equations have one by one extremum, suiting to pairs of α and β angles. In case of the relationship $\sigma = f_1(\alpha, \beta)$ extremum suited to the minimum value, whereas in case of $B_p/\sigma = f_2(\alpha, \beta)$ – to

maximum value of function. Determined on such a basis optimum values of α and β angles (angles of setting the spreading discs) amounted to: $\alpha = 6^\circ$ and $\beta = 10^\circ$ (criterion of minimum σ value) and $\alpha = 8^\circ$ and $\beta = 9^\circ$ (criterion of maximum B_p/σ value).

Key words: experimental procedures, disc fertilizer spreader, non-uniformity of spreading

Praca wpłynęła do Redakcji: 27.10.2010 r.

*Recenzenci: doc. dr hab. Jan Kamionka
prof. dr hab. Aleksander Szeptycki*

Adres do korespondencji:

dr inż. Jan R. Kamiński
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Wydział Inżynierii Produkcji
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 164
tel. 22 593-45-37; jan_kaminski@sggw.pl