

Krzysztof Dudek\*, Jan Banasiak\*\*, Jerzy Bieniek\*\*

\* Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn

Politechnika Wroclawska

\*\* Instytut Inżynierii Rolniczej

Akademia Rolnicza we Wrocławiu

## OPTYMALIZACJA DWUKRYTERIALNA PROCESU CZYSZCZENIA ZIARNA NA SICIE DASZKOWYM

### Streszczenie

W pracy omówiono zagadnienie wyznaczania optymalnego kąta nachylenia daszków sekcji żaluzjowego sita daszkowego zapewniającego maksymalną czystość i minimalne straty ziarna. Zagadnienie polioptymalizacji sprowadzono do rozwiązania metodą Monte Carlo, programowania nieliniowego z ograniczeniami.

**Słowa kluczowe:** modelowanie, optymalizacja dwukryterialna, proces czyszczenia, ziarno, sito daszkowe

### Wstęp

W Polsce tereny rolnicze o zróżnicowanym nachyleniu zbocza zajmują ok. 15% powierzchni użytków rolnych. Do pracy na stokach o nachyleniu do  $15^\circ$  można wykorzystać klasyczne kombajny po niewielkiej modernizacji zespołu czyszczącego, polegającej np. na zastąpieniu sita płaskiego żaluzjowym sitem daszkowym [Bieniek 2003; Lewandowski 2004]. Jednym z podstawowych zagadnień mechanicznych procesu czyszczenia ziarna na sicie daszkowym jest określenie czynników zewnętrznych towarzyszących temu procesowi oraz wyznaczenie optymalnych warunków jego realizacji. Rozwiązania optymalnego można poszukiwać przez uprzednie określenie matematycznego modelu procesu współpracy sita z mieszaniną poomłotową na podstawie realizacji odpowiednich układów eksperymentalnych, czynnych, co stanowi cel niniejszej pracy.

### Sformułowanie problemu badawczego

Postawiono tezę, że wyznaczenie optymalnych parametrów geometrii i kinematyki żaluzjowego sita daszkowego w kombajnach zbożowych czyszczących niejednorodną mieszaninę poomłotową (rys. 1), spełniających postulat maksymalnej czystości oraz minimalnych strat ziarna, sprowadza się do rozwiązania odpowiedniego zadania programowania nieliniowego z ograniczeniami.

Przyjmując oznaczenia:

- $m^w$  – masa materiału wejściowego (mieszanki poomłotowej) przed separacją (ziarno  $m_z^w$  i zanieczyszczenia  $m_q^w$ ) [kg];
- $m^o$  – masa odpadu (zanieczyszczenia  $m_q^o$  i utracone ziarno  $m_z^o$ ) [kg];
- $m^p$  – masa produktu (ziarno  $m_z^p$  i pozostałe w produkcie zanieczyszczenia  $m_q^p$ ) [kg];
- $\alpha$  – kąt bocznego nachylenia sita [stopień];
- $\beta$  – kąt wzdłużnego nachylenia sita [stopień];
- $C^w$  – czystość ziarna wejściowa ( $100 \cdot m_q^w / m^w$ ) [%];
- $\dot{m}^w$  – natężenie podawania separowanej mieszanki [kg/s];
- $h$  – szerokość szczeliny (otwarcia) między żaluzjami sita [mm];
- $\gamma$  – kąt nachylenia daszków sekcji sita [stopień],

zdefiniowano następujące parametry opisujące jakość procesu czyszczenia:

$$- \text{współczynnik czystości ziarna po separacji } k_{c^p} = \left(1 - \frac{m_q^p}{m^p}\right), \quad (1)$$

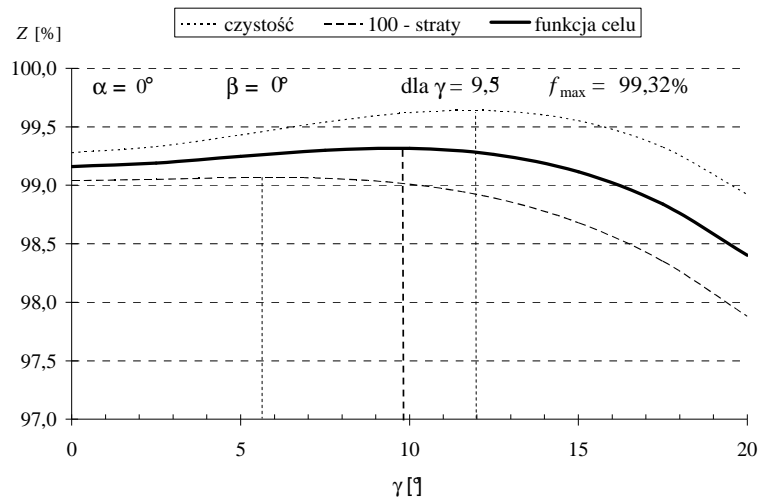
$$- \text{współczynnik strat ziarna } k_s = \frac{m_z^o}{m_z^w} \cdot 100, \quad (2)$$

$$- \text{współczynnik skuteczności separacyjnej sita } k_c = \frac{m_q^o}{m_q^w} \cdot 100. \quad (3)$$

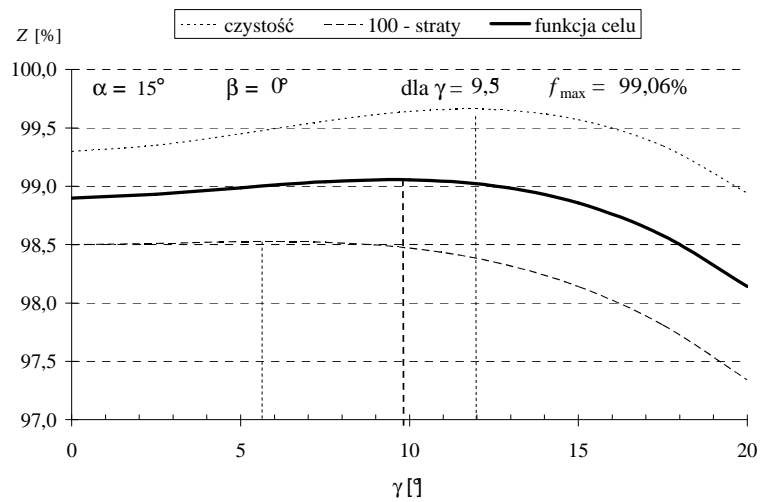
Procedurę modelowania procesu czyszczenia ziarna z wykorzystaniem sita daszkowego oparto na poszukiwaniu związków korelacyjnych między obserwowalnymi i mierzalnymi wielkościami wyjściowymi (współczynnikami  $k_c$ ,  $k_s$  i  $k_{c^p}$ ) a mierzalnymi wielkościami wejściowymi (parametrami  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\dot{m}^w$ ,  $h$  i  $\gamma$ ). Z przeprowadzonych badań pilotażowych wynika [Bieniek 2003], że dla pszenicy zbieranej kombajnem Bizon Z058, przy natężeniu podawania mieszanki poomłotowej  $\dot{m}^w = 3,3$  kg/s, optymalny stopień otwarcia żaluzji sita wynosi  $h = 4$  mm. Badania zrealizowano w oparciu o program statyczny, zdeterminowany, selekcyjny, wieloczynnikowy, ortogonalny PS/DS-P: $\alpha$  [Pogański 1984] zakładając, że zmienność współczynników  $k_x$  w funkcji rozpatrywanych trzech kątów nachylenia sita  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  będzie aproksymowana zależnością regresyjną o postaci:

$$\begin{aligned} k_x = & b_0 + b_1 \cdot \alpha + b_2 \cdot \beta + b_3 \cdot \gamma + b_{11} \cdot \alpha + b_{12} \cdot \alpha \cdot \beta + b_{13} \cdot \alpha \cdot \gamma + \\ & + b_{23} \cdot \beta \cdot \gamma + b_{111} \cdot \alpha^3 + b_{112} \cdot \alpha^2 \cdot \beta + b_{113} \cdot \alpha^2 \cdot \gamma + b_{122} \cdot \alpha \cdot \beta^2 + \\ & + b_{123} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma + b_{133} \cdot \alpha \cdot \gamma^2 + b_{223} \cdot \beta^2 \cdot \gamma + b_{233} \cdot \beta \cdot \gamma^2 + b_{333} \cdot \gamma^3. \end{aligned} \quad (4)$$

Optymalizacja dwukryterialna...

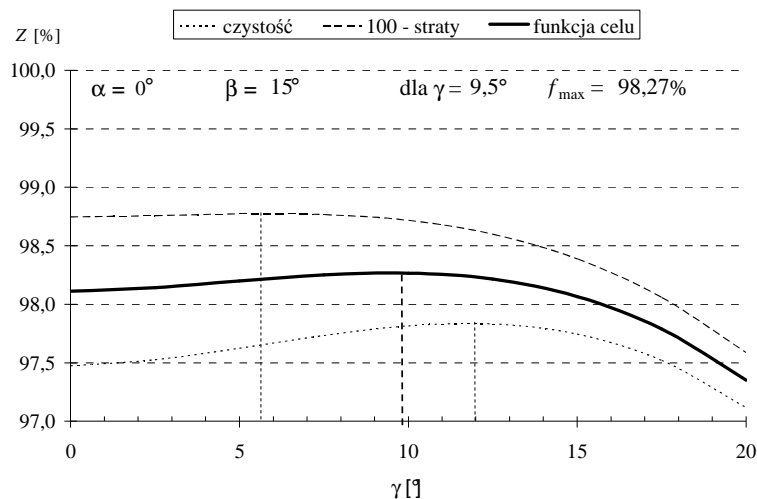


a) dla  $\alpha = 0^\circ, \beta = 0^\circ$   
a) for  $\alpha = 0^\circ, \beta = 0^\circ$

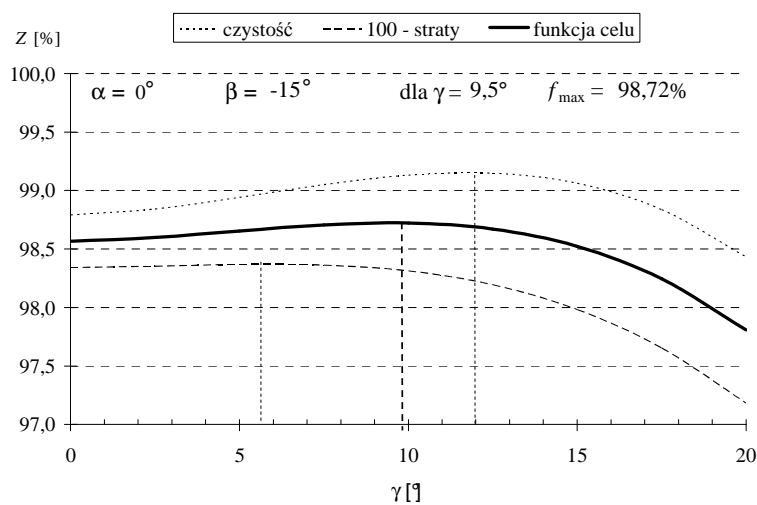


b) dla  $\alpha = 15^\circ, \beta = 0^\circ$   
b) for  $\alpha = 15^\circ, \beta = 0^\circ$

Krzysztof Dudek, Jan Banasiak, Jerzy Bieniek



c) dla  $\alpha = 0^0$ ,  $\beta = 15^0$   
 c) for  $\alpha = 0^0$ ,  $\beta = 15^0$



d) dla  $\alpha = 0^0$ ,  $\beta = -15^0$   
 d) for  $\alpha = 0^0$ ,  $\beta = -15^0$

Rys. 1. Przykładowe przebiegi wartości funkcji celu  $Z$  dla wybranych kątów nachylenia zbocza ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) w zależności od kąta nachylenia segmentów sита  $\gamma$

Fig. 1. An hypothetical course of the dependent variable  $Z$  for the selected angles of slope inclination ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) depending on inclination angle of sieve segment  $\gamma$

W wyniku realizacji układów eksperymentu czynnego na specjalnie przygotowanym do tego celu stanowisku badawczym [Bieniek 2003; Lewandowski 2004] zmierzono masy materiału wejściowego, odpadu i produktu oraz określono udziały w nich ziarna i zanieczyszczeń. Na drodze analizy regresji wielokrotnej oszacowano parametry modelu matematycznego opisującego współczynniki czystości  $k_C^p$ , strat  $k_S$  i skuteczności separacji  $k_C$ . W modelach uwzględniono jedynie parametry  $b_i$  statystycznie istotne [Oktaba 1971]. Przykładowo równania regresji opisujące współczynnik czystości  $k_C^p$  oraz strat  $k_S$  ziarna w zależności od kątów  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  przyjmują postać:

$$k_C^p = 97,28 + 0,0013 \cdot \alpha - 0,0439 \cdot \beta + 0,0061 \cdot \gamma - 0,0051 \cdot \beta^2 + 0,0068 \cdot \gamma^2 - 0,0004 \cdot \gamma^3 \quad [\%] \quad (5)$$

$$k_S = 0,039 - 0,0360 \cdot \alpha + 0,0135 \cdot \beta - 0,0022 \cdot \beta^2 + 0,0023 \cdot \gamma^2 - 0,00026 \cdot \gamma^3, \quad [\%] \quad (6)$$

### Procedura i wyniki optymalizacji

Procedurę optymalizacyjną procesu czyszczenia można rozpatrywać w trzech aspektach: w aspekcie wydajnościowym (poszukiwanie takich ustawień segmentów sita daszkowego, które przy zadanym współczynniku czystości ziarna realizuje proces separacji z minimalnymi stratami), w aspekcie jakościowym (poszukiwanie ustawień segmentów, które przy zadanym współczynniku strat ziarna realizują proces separacji z maksymalną czystością) oraz w aspekcie wydajnościowo-jakościowym (minimum strat i maksimum czystości – polioptymalizacja z odpowiednimi wagami). W pierwszym przypadku ograniczeniem jest czystość ziarna ( $k_C^p \geq 97\%$ ), w drugim – straty ogólne spowodowane przez zespół młócający i żniwny ( $k_S \leq 2,5\%$ ). W trzecim przypadku w funkcji celu uwzględniono zarówno czystość ziarna  $k_C^p$  z wagą 50% jak i brak strat ( $100 - k_S$ ) również z wagą 50%. W tym przypadku funkcja celu przyjmuje postać:  $Z = 0,5 \cdot k_C^p + 0,5 \cdot (100 - k_S)$ . Algebraiczny schemat zadania optymalizacji ustawień sita daszkowego rozpatrywany w aspekcie minimalizacji strat i maksymalizacji czystości został sformułowany następująco: dla współczynnika czystości  $k_C^p \geq 97\%$  i braku strat ( $100 - k_S \geq 97,5\%$  dla kątów nachylenia zbocza pola  $\alpha$  i  $\beta$  z zakresu  $\langle 0^\circ, 15^\circ \rangle$  należy określić takie wartości kąta nachylenia segmentów sita daszkowego  $\gamma$ , dla których otrzymuje się:

$$Z = 0,5 \cdot k_C^p + 0,5 \cdot (100 - k_S) \rightarrow \max . \quad (7)$$

Rozpatrywane zagadnienie wyrażone nieliniową funkcją celu oraz ograniczeniami nierównościami jest zadaniem programowania nieliniowego. Do jego rozwiązania wykorzystano metodę Monte Carlo. Wyniki przeprowadzonych obliczeń dla przykładowych ograniczeń równościowych wynikających z pochylenia stoku ( $\alpha$  i  $\beta$ ) w funkcji kąta  $\gamma$  ilustrują rysunki od 1a do 1d.

## Podsumowanie

Funkcja celu uwzględniająca zarówno czystość jak i straty ziarna (z wagami po 50%) przyjmuje wartość optymalną (maksymalną) dla kąta nachylenia daszków sita  $\gamma = 9,5^\circ$ . Płaskie przebiegi krzywych funkcji celu dla kąta  $\gamma$  w zakresie od  $8^\circ$  do  $11^\circ$  wskazują, że zarówno czystość jak i straty ziarna są mało czułe na kąt nachylenia daszków i racjonalne jest jego ustalenie. Reasumując, można przyjąć, że dla kombajnów pracujących na zboczach o pochyleniu do  $15^\circ$  najlepsza czystość ziarna celnego i najmniejsze straty ziarna uzyska się przy stałym kącie nachylenia segmentów sita daszkowego  $\gamma = 9,5^\circ$ .

## Bibliografia

Bieniek J. 2003. Proces separacji ziarna zbóż na sicie daszkowym w zmiennych warunkach pracy. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, nr 462, rozprawy CXC VIII, Wrocław.

Lewandowski B. 2004. Badania zespołu separatora daszkowego w zastosowaniu do kombajnu zbożowego dla terenów górzystych, Rozprawa doktorska, maszynopis Akademii Rolniczej we Wrocławiu.

Oktaba W. 1971. Metody statystyki matematycznej w doświadczałnictwie, Warszawa, PWN.

Polański Z. 1984. Planowanie doświadczeń w technice, Warszawa, PWN.

## THE DICRITERIAL OPTIMIZATION OF THE GRAIN CLEANING ON A CANOPY SIEVE

### Summary

The research presents an issue which concerns a selection of the canopy sieve inclination angle. It assures the maximum cleaning of a grain and minimal losses. The polioptimization issue was brought to Monte Carlo method – programmed non – linear with limitations.

**Key words:** simulation, optimization, cleaning process, a grain, a canopy sieve