

## WARUNKI RÓWNOWAGI PROCESOWEJ CZYSZCZENIA MASY ZBOŻOWEJ NA POWIERZCHNI ROBOCZEJ SITA ŻALUZJOWEGO

Piotr Komarnicki, Jan Banasiak, Jerzy Bieniek

*Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** Zaprezentowano przebieg i wyniki badań eksperymentalnych, w których uzyskane prędkości krytyczne fluidyzacji posłużą do matematycznego opisu stanu równowagi procesowej w warunkach dynamicznych występujących w różnego rodzaju separatorach mas ziarnistych w tym również w kombajnach zbożowych.

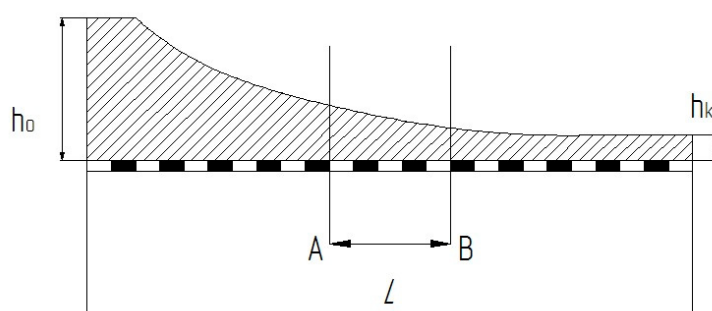
**Słowa kluczowe:** ziarno, separacja sitowa, strumień powietrza, fluidyzacja

### Wstęp i cel badań

Ciągły rozwój konstrukcji kombajnów zbożowych ma na celu głównie dążenie do zwiększenia ich wydajności oraz zmniejszenia generowanych strat ziarna. Jakość pracy kombajnu określa się na podstawie dwóch parametrów: czystości i strat ziarna. Wymogiem bezwzględny jest ograniczenie rosnących wraz z nachyleniem terenu strat ziarna celnego. Badania [Dreszer i in. 1998; Roszkowski 1989] wykazały, że przy pracy kombajnów w terenach nachylonych największe straty powodowane są niewłaściwą pracą zespołu czyszczącego. W warunkach tych szczególnego znaczenia nabiera zachowanie określonych relacji między skutecznością separacji aerodynamicznej a miejscowym obciążeniem powierzchni sita masą zbożową i prędkością jej przepływu [Bieniek 2003; Bieniek i in. 2006].

Warunki procesowej równowagi separacji sitowo-aerodynamicznej uznajemy za zachowane gdy parametry strumienia powietrza zapewniają pożądany poziom czyszczenia nie zakłócając sitowego przesiewania. Za stan krytyczny, równocześnie równowagowy, przyjęto więc parametry strugi, po których przekroczeniu następuje fluidyzacja ziarna i niepożądany aerodynamiczny transport ziarna. Fluidyzacją nazywamy szczególny stan zetknięcia się fazy stałej z fazą płynną, której istota polega na zawieszeniu ciała stałego w płynącym strumieniu gazu [Ziółkowi i in. 1982; Ciborowski 1957]. Złoże ziarniste będące w stanie fluidalnym posiada niektóre własności podobne do cieczy, pozwalające na szybkie usuwanie ciała stałego z tego układu co sprzyja procesowi czyszczenia. Można przypuszczać, że w strefie dużego obciążenia sita strumień może wykazywać niedostateczną skuteczność czyszczenia a w strefie małych obciążeń może powodować aerodynamiczny transport ziarna. Istotnym staje się osiągnięcie pełnego, zrównoważonego kontaktu

między strumieniem powietrza ze zmienną co do grubości warstwą złoża ziarnistego. Analizując ogólny model rozkładu przemieszczanej na powierzchni sита warstwy ziarna (rys. 1) zauważa się stopniowe zmniejszenie wysokości, od początkowej maksymalnej  $h_0$  do końcowej, minimalnej  $h_k$ . W rzeczywistości proces fluidyzacji będzie występował tylko miejscowo w określonych strefach roboczych na powierzchni sита, np. w strefie A-B gdzie strumień jest stosunkowo silny, a warstwa masy zbożowej jest cienka. Dlatego też w separatorach mobilnych, jakimi są kombajny zbożowe trzeba postulować regulowanie parametrów strugi aerodynamicznej sита relatywnie do zmian jego obciążenia masą ziarnistą.



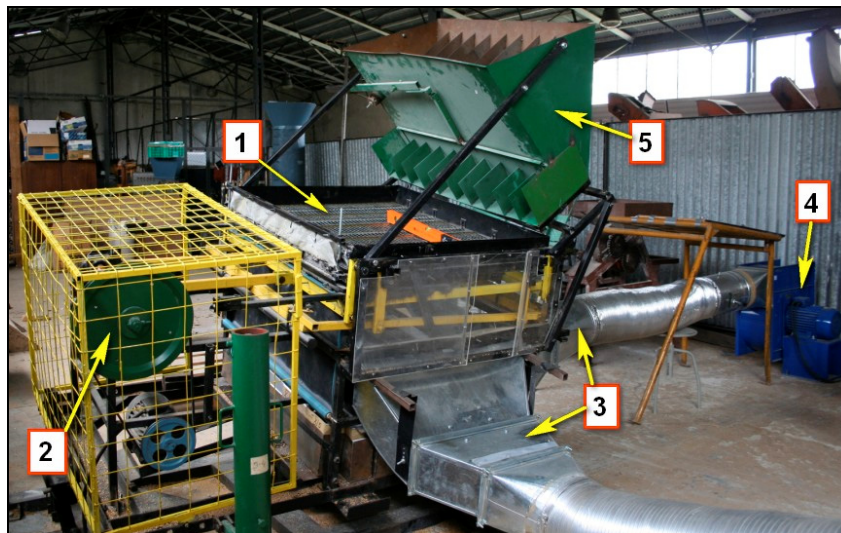
Rys. 1. Model rozmieszczenia warstwy ziarna na powierzchni sита  
Fig. 1. Model for the distribution of seed layer on the sieve surface

Celem opracowania jest przedstawienie wyników oceny stanu równowagi procesowej warstwy masy zbożowej na powierzchni roboczej sита żaluzjowego. Kończącym efektem prowadzonych badań będzie wyznaczenie matematycznego opisu stanu równowagi procesowej w warunkach złoża ruchomego występującego w różnego rodzaju separatorach mas ziarnistych (również w kombajnach zbożowych).

## Przedmiot i metodyka badań

Badania eksperymentalne przeprowadzono na zmodernizowanym stanowisku badawczym wykonanym w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (rys. 2) symulującym pracę separatora sitowo-aerodynamicznego. W konstrukcji kosza sitowego separatora zachowano geometryczne i kinematyczne parametry stosowane w kombajnach zbożowych wyposażonych w sита żaluzjowe.

W trakcie badań na powierzchni sита żaluzjowego umieszczano specjalny pojemnik pomiarowy (rys. 3) z dnem sitowym o otworach mniejszych od wymiarów poszczególnych ziaren.



Rys. 2. Widok stanowiska badawczego z zespołem wielokierunkowego transportu strumienia powietrza: 1 – sito żaluzjowe, 2 – układ napędowy, 3 – dysze strumienia powietrza, 4 – wentylator, 5 – kosz zasypowy

Fig. 2. View of a testing post with an air stream multidirectional transport unit: 1 – shutter sieve, 2 – power transmission system, 3 - air stream nozzles, 4 – fan, 5 – charging hopper



Rys. 3. Widok pojemnika pomiarowego przygotowanego do badań

Fig. 3. View of a measuring container prepared for testing

Kolejność wykonywanych czynności podczas pomiaru minimalnej prędkości fluidyzacji:

- a) umieszczenie pojemnika pomiarowego na powierzchni sita żaluzjowego,
- b) zasypanie warstwy masy zbożowej o określonej wysokości,
- c) uruchomienie wentylatora – dla warunków złoża nieruchomego,
- d) włączenie napędu kosza sitowego oraz wentylatora – dla warunków złoża ruchomego,
- e) regulacja nadmuchu, aż do uzyskania stanu równowagi procesowej pomiędzy czyszczeniem a przesiewaniem zadanej warstwy ziarna oznaczonego symbolem (c-p),
- f) pomiar prędkości strumienia powietrza nad powierzchnią sita żaluzjowego.

Parametry strugi, przy których na powierzchni złoża rozpoczynało się pionowe unoszenie ziarna (widoczne charakterystyczne „bąblowanie”), uznawano za opisujące stan równowagi procesowej czyszczenia i przesiewania (c-p).

Badania przeprowadzono dla zmiennych warunków złoża (nieruchomego oraz ruchomego):

- szczeliny roboczej sita  $s = 7\text{mm} = \text{const.}$ ,
- 9 wydatków  $Q(1-9)$  uruchomionego tylko wentylatora głównego (WGL),
- 9 wydatków  $Q_B(1-9)$  uruchomionego tylko wentylatora bocznego (WB),
- grubości warstwy ziarna  $h$  od 5mm do 35 mm.

Pomiary prędkości strugi powodującej zapoczątkowanie fluidyzacji  $v_f$ , kolejnej zadawanej warstwy  $z$  wykonano w wolnej od ziarna strefie sita (rys. 4), przy pomocy anemometru skrzydełkowego Kestrel 4000 o zakresie pomiarowym od  $0,2-40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i dokładności  $\pm 3\%$ . Aby uwzględnić opór przepływu strumienia powietrza przez powierzchnię sitową dna pojemnika wykonano także pomiary prędkości strugi nad jego dnem.

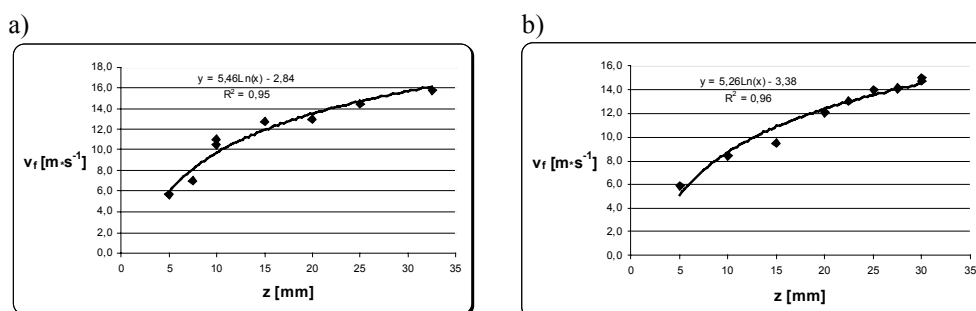


Rys. 4. Widok anemometru skrzydełkowego Kestrel 4000

Fig. 4. View of a vane anemometer Kestrel 4000

## Wyniki badań

Przeprowadzone badania laboratoryjne umożliwiły poznanie zachowania się określonej grubości warstwy ziarnistej pod wpływem generowanego strumienia powietrza. Wyznaczone krzywe średnich wartości minimalnej prędkości fluidyzacji  $v_f$  masy ziarnistej w funkcji wysokości warstwy  $z$  wykazują bardzo podobną logarytmiczną tendencję wzrostową zarówno dla wentylatora głównego (WGŁ) jak i dla wentylatora bocznego (WB) (rys. 5a, 5b).



Rys. 5. Zależność minimalnej prędkości fluidyzacji  $v_f$  w funkcji grubości warstwy masy zbożowej  $z$  w warunkach złoża nieruchomego: a – dla wentylatora głównego (WGŁ), b – dla wentylatora bocznego (WB); gdzie w równaniu  $y=v_f$ ,  $x=z$

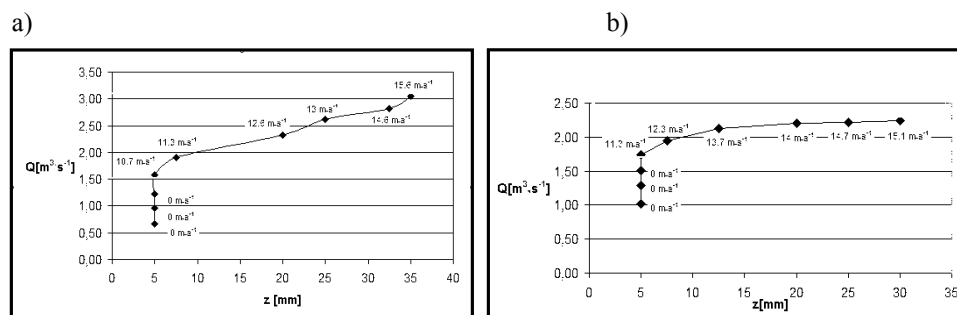
Fig. 5. Dependence of the minimum velocity of fluidization  $v_f$  in the function of the grain mass thickness under the conditions of an immovable layer: a – for the main fan (WGŁ), b – for the lateral fan (WB), where in the equation  $y=v_f$ ,  $x=z$

W przeprowadzonym eksperymencie laboratoryjnym w warunkach złoża nieruchomego zaobserwowano niekorzystne zjawisko nierównomiernego rozłożenia się cząstek w masie, co może świadczyć o występowaniu fluidyzacji niejednorodnej. Objawiało się ono tym, że w badanych grubościach warstw ziarna widoczne jest charakterystyczne „bąblowanie” - na powierzchni masy zbożowej powietrze w postaci pęcherzy wydostawało się ku górze między partiami złoża.

Wyniki badań eksperymentalnych wykazały, że lepszy efekt rozluźnienia warstwy ziarnistej uzyskano dla warunków dynamicznych. Na rysunku 6a, 6b przedstawione krzywe opisujące stan równowagi procesowej złoża ruchomego w relacji do warunków złoża nieruchomego charakteryzują się pewnym brakiem reakcji warstwy na zadany strumień powietrza.

Warstwa złoża o grubości 5mm wykazywała stan miejscowego fluidyzowania dopiero przy wartościach  $11,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dla (WGŁ) oraz  $10,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dla (WB). Złoże ruchome wykazywało zdecydowanie lepsze rozluźnienie spowodowane ruchem wymuszonym sita, ale znacznie utrudniło swobodny przepływ strumienia powietrza i pogorszyło proces fluidyzowania warstwy.

W celu poprawy skuteczności pracy separatora sitowego należy dążyć do zapewnienia równomiernego i zrównoważonego kontaktu między strumieniem powietrza, a cząstkami ziarna.



Rys. 6. Zależność wydanku wentylatora  $Q$  od grubości ruchomej warstwy ziarna  $z$  w stanie równowagi procesowej (c-p): a – wentylatora głównego (WGL), b – wentylatora bocznego (WB)

Fig. 6. Dependence of the fan delivery  $Q$  on the thickness of the movable seed layer  $z$  in the state of process equilibrium (c-p): a – for the main fan (WGL), b – for the lateral fan (WB)

## Podsumowanie

- Przeprowadzony eksperyment wykazał istnienie istotnej zależności funkcyjnej pomiędzy grubością warstwy ziarna a wartościami wydanku i prędkości strumienia.
- Analiza wyników wskazuje, że opis matematyczny równowagi procesowej złoża nieruchomego nie oddaje prawidłowo relacji między wydankiem strumienia wentylatora a grubością warstwy w złożu ruchomym na powierzchni sita.
- W warunkach złoża nieruchomego krzywe opisujące zależność prędkości od grubości warstwy wskazują na logarymiczny charakter funkcji bliski przebiegowi liniowemu.
- Na podstawie wyników badań dla złoża ruchomego można zaobserwować ukształtowanie się charakterystycznego pasma fluidyzacji, w zakresie którego widać praktycznie liniowy przebieg rosnących wartości progowych.
- Wyznaczone przebiegi krzywych w warunkach statycznych jak i dynamicznych wykazują zbliżony-wzrostowy charakter zarówno dla wentylatora głównego oraz bocznego.

## Bibliografia

- Bieniek J.** 2003. Proces separacji ziarna zbóż na sicie daszkowym w zmiennych warunkach pracy. Rozprawa habilitacyjna Zeszyty Naukowe AR Wrocław, Rozprawy CXCVIII. Nr 462.
- Bieniek J.; Banasiak J.; Komarnicki P.** 2006. Analiza porównawcza strumienia aerodynamicznego w kombajnie zbożowym w świetle koncepcji badawczej. Inżynieria Rolnicza. Nr 2. s. 119-127.
- Ciborowski J.** 1957. Fluidyzacja. PWT. Warszawa.
- Dreszer K., Gieroba J., Ukalski J.** 1998: Kombajny zbożowe do pracy na terenach pochyłych. Problemy Inżynierii Rolniczej nr 1. s. 57-77.
- Roszkowski A.** 1989: Kombajny zbożowe do pracy na zboczach. Maszyny i Ciągniki Rolnicze nr 11.
- Ziółkowski Z. i in.** 1982. Przenoszenie pędu ciepła i masy. PWN. Warszawa.

## **PROCESS EQUILIBRIUM CONDITIONS OF GRAIN MASS CLEANING ON THE SHUTTER SIEVE OPERATING SURFACE**

**Abstract.** The paper presents the course and the results of experimental studies. The obtained critical velocities of fluidization will be used for mathematical description of the state of process equilibrium under dynamic conditions occurring in various grain mass separators, including combine-harvesters.

**Key words:** seed, sieve separation, stream of air, fluidization

**Adres do korespondencji:**

Piotr Komarnicki; e-mail: komarnicki@imr.ar.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chełmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław