

ROZKŁAD AERODYNAMICZNYCH PARAMETRÓW STANU RÓWNOWAGI PROCESOWEJ CZYSZCZENIA ZIARNA

Piotr Komarnicki, Jan Banasiak, Jerzy Bieniek

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań nad rozkładem aerodynamicznych parametrów zapewniających równowagę procesową separacji ziarna z masy zbożowej rozmieszczonej na powierzchni roboczej separatora sitowego-żaluzjowego. Stwierdzono, że w zmiennych warunkach nachylenia praca separatora sitowo-aerodynamicznego ze stałymi parametrami strumienia powietrza powinna być zastąpiona zmiennymi, odpowiednimi do zmian miejscowego obciążenia sita masą ziarnistą.

Słowa kluczowe: ziarno, wentylator promieniowy, strumień powietrza, fluidyzacja

Wstęp

Zespoły sitowo-aerodynamiczne stosowane do czyszczenia ziarna w kombajnach zbożowych z wentylatorem promieniowym nie zawsze oddziałują optymalnie na masę zbożową przeznaczoną do obróbki. Szczególnie jest to zauważalne podczas prac żniwnych na terenach o zróżnicowanej rzeźbie terenu [Bieniek 2003]. Pierwotną przyczyną niewłaściwego funkcjonowania separatorów sitowo-aerodynamicznych w kombajnach jest niewątpliwie zmieniające się nachylenie płaszczyzny głównej sita, co z kolei wpływa na kinematykę procesu separacji ziarna. Konsekwencją tego może być obniżenie jakości czyszczenia i straty ziarna celnego. Można przypuszczać, że w strefie dużego obciążenia sita strumień aerodynamiczny może wykazywać niedostateczną efektywność czyszczenia, a w strefie małych obciążeń może powodować aerodynamiczny transport ziarna. Dotychczas prezentowane poglądy wskazywały na potrzebę równomiernego obdmuchiwanie całej powierzchni sit strumieniem powietrza prędkością odpowiadającą prędkości krytycznej nasion, to znaczy takiej, przy której nasiona określonego rodzaju są zawieszane w strumieniu powietrza [Kanafojski 1980]. Również [Grochowicz 1994] podaje, że generowany strumień powietrza w układzie czyszczącym pełni ważną rolę. W zależności od parametrów danego rodzaju ziarna strumień powinien być odpowiednio dobrany i skierowany równomiernie pod powierzchnię roboczą sita. Warunki równowagi procesowej separacji ziarna można zdefiniować jako stan zrównoważonego kontaktu między strumieniem powietrza a zmienną co do grubości warstwą złoża ziarnistego. Zapewni to niezbędny poziom fluidyzacji masy konieczny do transportu zanieczyszczeń „lekkich”, bez aerodynamicznego transportu ziarna podlegającego poprawnej separacji sitowej-przesiewaniu. Za stan krytyczny przyjęto

więc parametry strugi, po których przekroczeniu następuje fluidyzacja ziarna i niepożądany aerodynamiczny transport ziarna [Ziółkowski i in. 1982, Kramkowski 1997]. Wybór optymalnego zakresu prędkości strumienia powietrza dla całego zespołu czyszczącego jest uwarunkowany przeprowadzeniem szeregu badań parametrów aerodynamicznych strumienia powietrza, które opisują stan równowagi procesowej czyszczenia masy zbożowej na powierzchni sita oraz zachowanie się strugi w kanale aerodynamicznym.

Cel badań

Celem opracowania jest ocena zmienności parametrów aerodynamicznych strumienia powietrza zapewniającego warunki równowagi procesowej dla zmiennego rozkładu masy ziarnistej na powierzchni sita.

Przedmiot i metodyka badań

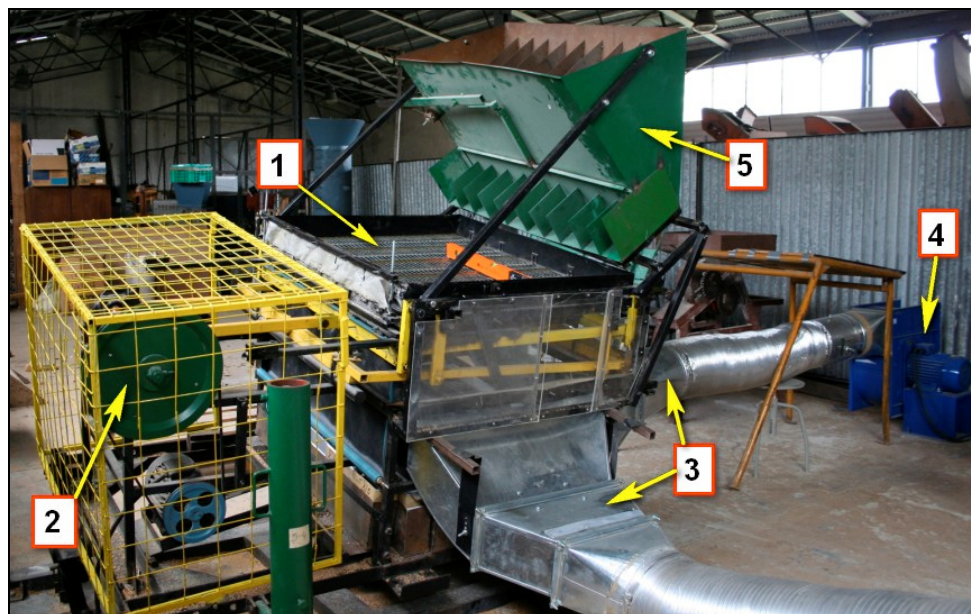
Bazą poznawczą procesu separacji masy zbożowej jest rozkład wysokości masy ziarna na powierzchni roboczej sita żaluzjowego.

Badania eksperymentalne przeprowadzono w trzech etapach:

- Rozmieszczenie masy zbożowej na powierzchni sita przy określonej szczelinie roboczej.
- Pomiar minimalnej prędkości fluidyzacji warstwy złoża w warunkach dynamicznych odpowiadającej za stan równowagi procesowej pomiędzy czyszczeniem a przesiewaniem.
- Wyznaczenie pól prędkości strumienia powietrza pod i nad powierzchnią roboczą sita żaluzjowego oraz określenie wydatków dla pięciu nastaw wentylatora.

Do przeprowadzenia eksperymentu wykorzystano stanowisko badawcze zaprojektowane i wykonane w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (rys. 1). Częścią roboczą stanowiska jest kosz sitowy, który zachowuje w pełni podobieństwo geometryczne i kinematyczne sit stosowanych powszechnie w kombajnach zbożowych [Banasiak i in. 2003].

Stanowisko wyposażono w 3 wentylatory: główny i dwa boczne. Tworzą one układ umożliwiający wytworzenie strumienia o różnej wielkości i skierowanie go centralnie lub miejscowo pod sito czyszczące. Wyjściowym etapem eksperymentu było wyznaczenie rozkładu masy zbożowej na powierzchni sita przy zadanej szczelinie roboczej. Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym, do którego przymocowano modelowy jedno-sekcyjny separator sitowy (rys. 2a). Separator był zasilany masą ziarnistą w sposób ciągły przez około 20 s przy zadanej stałej szczelinie wylotowej równej 30 mm, gdzie wydajność masową uzyskano na poziomie $0,7 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Wielkości szczeliny roboczej sita wynosiła 4,5 mm. Model został wyposażony w przezroczystą ścianę, która umożliwiła w danej chwili rejestrację przebiegu grubości warstwy



Rys. 1. 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. 1. 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. 2. Widok zamocowanego modelu jednoosekcyjnego separatora żaluzjowego (a) oraz rzeczywisty obraz rozkładu masy ziarna na powierzchni sita (b) masy zbożowej na powierzchni separatora (rys. 2b)

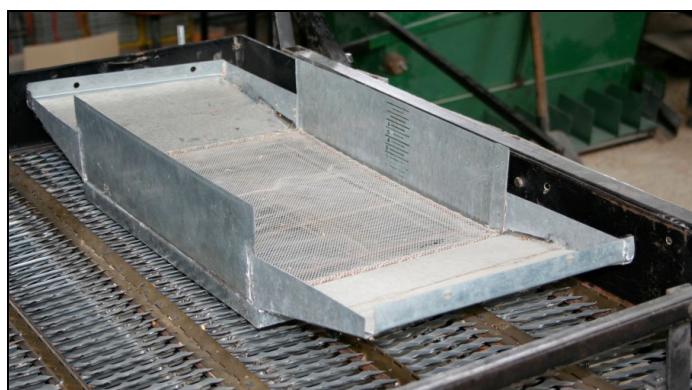
Fig. 2. View of a single-section shutter separator model (a) and the real picture of the distribution of grain mass on the sieve surface (b)

Pomiary pól prędkości strumienia powietrza nad – i pod powierzchnią sita żaluzjowego dokonano w 120 punktach pomiarowych przy zastosowaniu anemometru skrzydełkowego Kestrel 4000 o zakresie pomiarowym od $0,2-40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i dokładności $\pm 3\%$ (rys. 3). Określanie parametrów strumienia powietrza (prędkości i wydatku) w zespole czyszczącym przeprowadzono z zastosowaniem wentylatora głównego dla 5 wydatków (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5).



Rys. 3. Widok anemometru skrzydełkowego Kestrel 4000
Fig. 3. View of a vane anemometer Kestrel 4000

W wyznaczonych polach zmiennej prędkości powierzchni sita przeprowadzono pomiary minimalnej prędkości fluidyzacji. W trakcie badań na powierzchni separatora żaluzjowego umieszczano specjalny pojemnik pomiarowy (rys. 4) z dnem sitowym o otworach mniejszych od wymiarów badanego ziarna.



Rys. 4. Widok pojemnika pomiarowego przygotowanego do badań
Fig. 4. View of a measuring container prepared for testing

Postępowanie w czasie określania pomiaru minimalnej prędkości fluidyzacji:

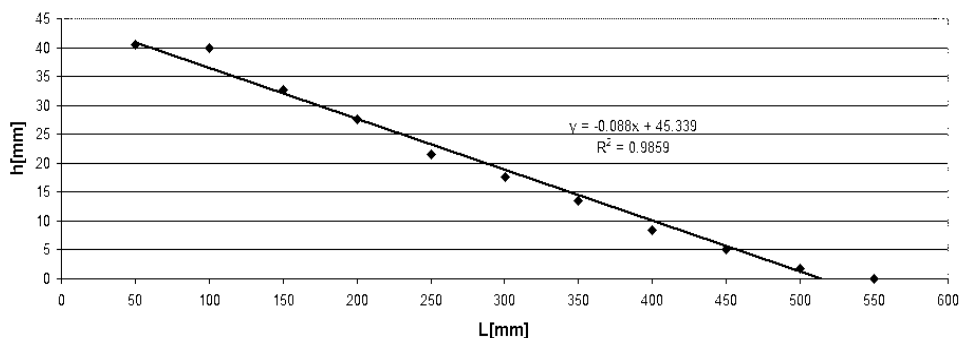
- umieszczenie pojemnika pomiarowego na powierzchni sita żaluzjowego,
- zasypanie warstwy masy zbożowej o określonej wysokości,
- włączenie napędu kosza sitowego oraz wentylatora – dla warunków złoża ruchomego,

- w celu uzyskania stanu równowagi procesowej umożliwiającej czyszczenie oraz przesiewanie zadanej warstwy ziarna regulowano nadmuch powietrza,
- pomiar prędkości strumienia powietrza nad powierzchnią sita żaluzjowego.

Parametry strugi, przy których na powierzchni złoża rozpoczynało się delikatne pionowe wznoszenie ziarna pod wpływem generowanego strumienia, uznawano za opisujące stan równowagi procesowej czyszczenia i przesiewania. Badania przeprowadzono dla następujących warunków złoża ruchomego: stałej szczeliny roboczej sita $s=7$ mm, 9 wydatków Q_1, \dots, Q_9 wentylatora głównego oraz zmiennej grubości warstwy ziarna h od 5 mm do 35 mm.

Omówienie wyników badań

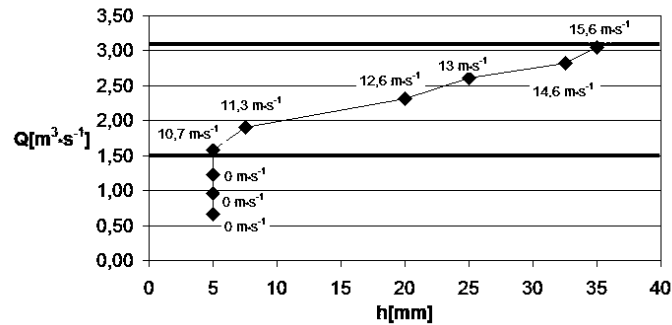
Wzdłużne rozmieszczenie masy ziarnistej w ruchomym złożu na powierzchni separatora sitowego typowego dla kombajnu zbożowego przedstawia rysunek 5. Przedstawione wyniki wskazują na liniowy rozkład wysokości warstwy ziarna h w funkcji długości sita L . Masa ziarnista przemieszczając się w wyniku ruchu wahadłowo-zwrotnego sita ulega przesiewaniu na długości 500 mm. Maksymalną grubość złoża obserwuje się tuż przy wylocie kanału zasilającego sito ziarnem, gdzie osiąga ona około 40 mm.



Rys. 5. Wysokość warstwy ziarna wzdłuż separatora sitowego gdzie: $x=L$ – długość sita, $y=h$ – wysokość złoża

Fig. 5. Seed layer height along the sieve separator, where $x=L$ – sieve length, $y=h$ – layer height

Na rysunku 6 przedstawiono krzywą zmian wartości parametru Q charakteryzującego stan równowagi procesowej ruchomego złoża ziarnistego w funkcji wysokości h . Wyznaczona krzywa wskazuje jednak na pewien brak reakcji na zadawany strumień powietrza w warstwie złoża poniżej 5 mm. Wtedy stan miejscowego fluidyzowania występował dopiero przy wartości przepływu powietrza $1,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i odpowiednio dla prędkości $10,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Złoże ruchome wykazuje rozluźnienie spowodowane ruchem wymuszonym sita, co pogorszyło proces fluidyzowania warstwy.

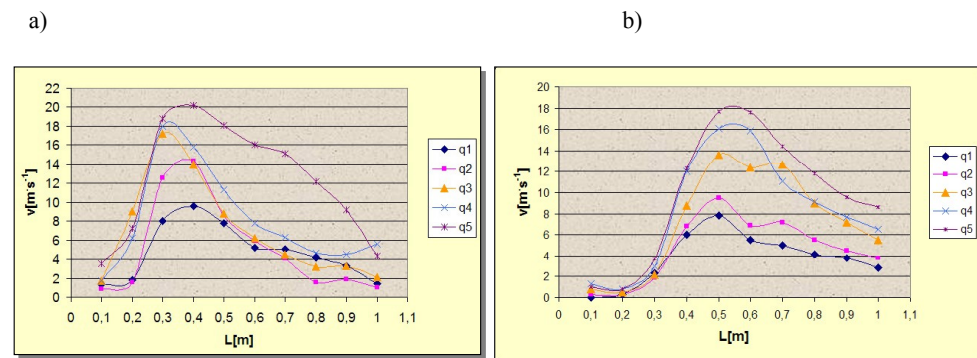


Rys. 6. Zależność średniego wydatku wentylatora Q od grubości ruchomej warstwy ziarna h w stanie równowagi procesowej

Fig. 6. Dependence of the mean delivery of the fan Q on the thickness of the movable seed layer h in the state of process equilibrium

Wyznaczony przebieg jest w podstawowej części zgodny z oczekiwaniami: wraz ze wzrostem grubości warstwy rośnie potrzebny wydatek strumienia powietrza. Wyniki pomiarów wskazują wyraźnie, że siła strumienia powietrza generowanego przez wentylator powinna być regulowana zależnie do zmian obciążenia sita masą ziarnistą.

Wzdłużne rozkłady prędkości strumienia powietrza zarówno pod - i nad powierzchnią separatora sitowego przedstawiono na rysunku 7a i 7b. Wyniki badań eksperymentalnych wykazały zmiany prędkości powstałe po przejściu strumienia przez powierzchnię rzeszota.



Rys. 7. Rozkład prędkości strumienia powietrza wzdłuż sita żaluzjowego: a - pod sitem, b - nad sitem, gdzie: L - długość sita, v - prędkość strumienia powietrza sita, która objawia się nagłym wzrostem wartości prędkości w początkowej strefie sita (od 0,1 m do 0,5 m), osiągając maksima w strefie 0,4-0,6 m po czym następuje stopniowy spadek.

Fig. 7. Distribution of the velocity of the air stream along a shutter sieve: a - under the sieve, b - over the sieve, where: L - sieve length, v - velocity of the air stream

Przedstawione rozkłady prędkości pod - i nad sitem wskazują na znaczny wpływ przegrody jaką stanowi sito konstrukcji żaluzjowej. Spadek prędkości strugi podczas przepływu przez przegrodę w poszczególnych punktach pomiarowych wynosił średnio $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Płaszczyzna robocza sita odchyliła kierunek przepływu generowanego strumienia powietrza. Spowodowała niekorzystne przesunięcie ekstremów funkcji w kierunku wylotu sita i wpłynęła na równomierność rozkładów. Można więc zauważyć, że rozkłady prędkości strug pod i nad badaną powierzchnią wykazują nieregularny charakter zmienności wzdłuż biegu.

Wnioski

1. Podstawą wyznaczenia wielkości parametrów aerodynamicznych równowagi procesowej musi być rozkład obciążenia sita masą zbożową.
2. Ustalony przepływ strugi aerodynamicznej powinien być zastąpiony przepływami nieustalonymi, zmiennymi w czasie w relacji do miejscowego obciążenia sita.
3. Analiza rozkładu prędkości strumienia powietrza pod i nad sitem wykazała tylko częściowe dopasowanie krzywych rozkładu prędkości do wysokości masy ziarnistej na powierzchni separatora.
4. W procesie separacji aerodynamicznej dotyczącej ruchomego złoża ziarnistego można zaobserwować ukształtowanie się charakterystycznego pasma fluidyzacji, w którego zakresie widać liniowy przebieg rosnących wartości progowych prędkości strumienia powietrza.
5. Zaprezentowane wyniki badań stanowiąc będą bazę poznawczą dla procesu separacji sitowo-aerodynamicznej ruchomego złoża ziarnistego oraz ukierunkują zmiany konstrukcyjne w separatorach stosowanych w kombajnach do zbioru zbóż.

Bibliografia

- Banasiak J.; Bieniek J.; Lewandowski B.** 2003. Stanowisko do badania zespołów roboczych maszyn pracujących w warunkach zmiennego nachylenia. *Górnictwo Odkrywkowe*, 2-3. s. 18-21.
- Bieniek J.** 2003. Proces separacji ziarna zbóż na sicie daszkowym w zmiennych warunkach pracy. Rozprawa habilitacyjna *Zeszyty Naukowe AR Wrocław, Rozprawy CXCVIII*. Nr 462.
- Grochowicz J.** 1994. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. Wydaw. AR Lublin.
- Kanafojski Cz.** 1980. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. Tom 2, część 1, PWRiL Warszawa.
- Kramkowski R.** 1997. Inżynieria i aparatura przemysłu spożywczego. Wydaw. Akademii Rolniczej, Wrocław.
- Ziółkowski Z. i in.** 1982. Przenoszenie pędu ciepła i masy. PWN. Warszawa.

DISTRIBUTION OF AERODYNAMIC PARAMETERS OF THE STATE OF PROCESS EQUILIBRIUM OF SEED CLEANING

Abstract. The paper presents the results of studies on the distribution of aerodynamic parameters ensuring process equilibrium of seed separation from the grain mass distributed on the operating surface of a sieve-shutter separator. It has been found that under varied inclination conditions the operation of a sieve-aerodynamic separator with constant parameters of the air stream should be replaced with variable parameters, adjusted to changes in the sieve local grain mass load.

Key words: seed, centrifugal fan, stream of air, fluidization

Adres do korespondencji:

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