

KSZTAŁTOWANIE STRUMIENIA POWIETRZA W KOMORZE SEPARATORA SITOWO-AERODYNAMICZNEGO

Piotr Komarnicki, Jerzy Bieniek, Jan Banasiak

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Badano rozkład strumienia powietrza w komorze modelowego pneumatyczno-sitowego zespołu czyszczącego, występującego w kombajnach do zbioru zbóż. Wyznaczono rozkład prędkości strumienia powietrza na wylocie z dysz, pod i nad powierzchnią sita, współczynniki nierównomierności rozkładu strumienia powietrza oraz oporu aerodynamicznego sita żaluzjowego.

Słowa kluczowe: masa ziarnista, separacja, czyszczenie, strumień powietrza, nierównomierność rozkładu

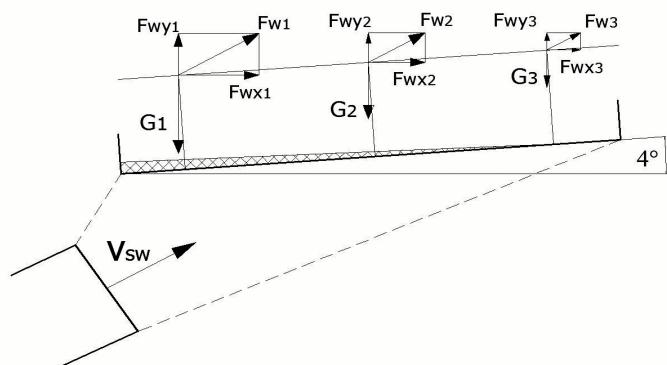
Wstęp i cel badań

Zespoły separatorów sitowo-aerodynamicznych łączących pracę układu sit z pracą strumienia powietrza, podczas postępowego ruchu kombajnu do zbioru zbóż w polu funkcjonują w warunkach niestabilności eksploatacyjnej. Strumień roboczy powietrza przy wylocie z kanału wentylatora powinien w idealnych warunkach przyjmować w miarę wyrównany charakter [Komarnicki i in. 2007]. Zespoły separujące kombajnów do zbioru zbóż funkcjonują przy zmiennym zasilaniu separowanej masy. Mogą z tego wynikać nieregularności czyszczącego strumienia powietrza [Komarnicki i in. 2008].

Według Letoszniewa [1953] skutek łącznej pracy sita i strumienia powietrza w znacznym stopniu zależy nie tylko od wartości i kierunku prędkości tego strumienia w stosunku do sita, lecz i od kształtu przestrzeni, przez którą przepływa strumień w roboczej komorze maszyny. Zgodnie z modelem zaprezentowanym przez Komarnickiego [2008] priorytetem prawidłowej pracy układu pneumatyczno-sitowego jest założenie, że stosunek wypadkowych sił aerodynamicznych F_w działających na masę ziarnistą odniesiony do jej ciężaru jednostkowego G powinien być stały na całej powierzchni roboczej sita obciążonego masą i wyrażać się zależnością:

$$\frac{F_{w1}}{G_1} = \frac{F_{w2}}{G_2} = \frac{F_{w3}}{G_3} = const \quad (1)$$

Tak więc efektywność pracy zespołu czyszczącego zależy od zachowania relacji między masą a siłą aerodynamiczną występującą w strefie obciążonego sita (rys. 1).



Źródło: opracowano na podstawie [Komarnicki 2008]

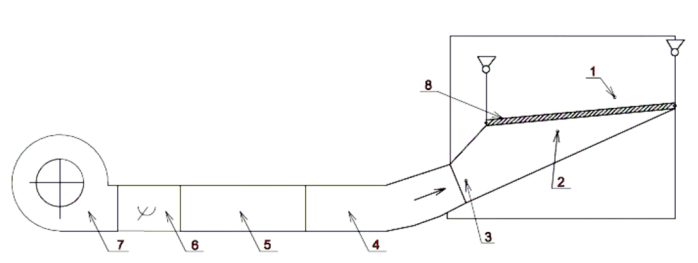
- Rys. 1. Model zmian wypadkowej, wzdłużnej siły aerodynamicznej F_w w relacji do zmian obciążenia sита masą ziarnistą G : F_{wx} , F_{wy} – składowe wzdłużnej siły aerodynamicznej, v_{sw} – prędkość strumienia powietrza na wylocie z dyszy
- Fig. 1. Model of changes in resultant, longitudinal aerodynamic force F_w in relation to changes in sieve loading with granular mass G : F_{wx} , F_{wy} – components of longitudinal aerodynamic force, v_{sw} – air stream velocity at outlet from nozzle

Wiedza na temat rozkładu strumienia powietrza w przestrzeni kanałów maszyn i zespołów separujących nie jest jeszcze pełna. Celem badań była więc, analiza charakteru przepływu generowanego strumienia aerodynamicznego oraz ocena jego rozkładu w komorach zespołu separatora.

Warunki i metodyka badań

Badania eksperymentalne przeprowadzono na stanowisku wykonanym w Instytucie Inżynierii Rolniczej UP we Wrocławiu, które przedstawiono na rys. 2. Pomiary podstawowych parametrów strumienia powietrza przeprowadzono wewnątrz komory zespołu aerodynamiczno-sitowego obudowanego bocznymi ścianami w celu zapobiegania wydostawania się medium na zewnątrz. Komora separatora stanowiła obiekt o wymiarach odpowiadających, stosowanym w kombajnach zbożowych. Badania wykonano w trzech strefach przepływu powietrza: w strefie zasilania (formującej strumień powietrza), pod oraz nad pokładem nieruchomego sита żaluzjowego.

W obszarze zasilania (wylotu powietrza z dyszy wentylatora) pomiary wykonano, stosując obowiązującą normę PN-ISO 5221 (rys. 3).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Schemat budowy stanowiska badawczego: 1 – strefa nadsitowa, 2 – strefa podsitowa, 3 – strefa formowania strumienia powietrza, 4 – dysza, 5 – kanał elastyczny, 6 – przepustnica, 7 – wentylator, 8 – kosz sitowy

Fig. 2. Test stand construction diagram: 1 – zone over sieve, 2 – zone under sieve, 3 – air stream forming zone, 4 – nozzle, 5 – flexible channel, 6 – air regulating damper, 7 – fan, 8 – sieve basket



Źródło: opracowano na podstawie [Bieniek i in. 2006, Komarnicki 2008]

Rys. 3. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych wyznaczania rozkładu strumienia powietrza na wylocie z dyszy

Fig. 3. Diagram showing layout of measurement points for determining air stream distribution at outlet from nozzle

Trzykanałowa dysza kierująca strumień powietrza na sita miała przekrój prostokątny o wymiarach 20×100 cm. Za pomocą sondy Prandtla na wylocie kanałów (rys. 3) wykonano pomiary ciśnienia dynamicznego p_d dla 5 nastaw q wentylatora, z dokładnością pomiaru 10 Pa. Uzyskane wartości ciśnienia przeliczono na prędkości strumienia v oraz wydátki Q . Pomiary prędkości strumienia wykonano bez obecności masy zbożowej, w strefach przepływu strugi nad i podsitowej. Pomiary prędkości strumienia pod sitem wykonano dla pięciu wydátków wentylatora $Q_{L.V.}$. Natomiast pomiary prędkości strumienia powietrza nad sitem wykonano w kilku wariantach przyjętych szczelin roboczych i wydátku powietrza gdzie:

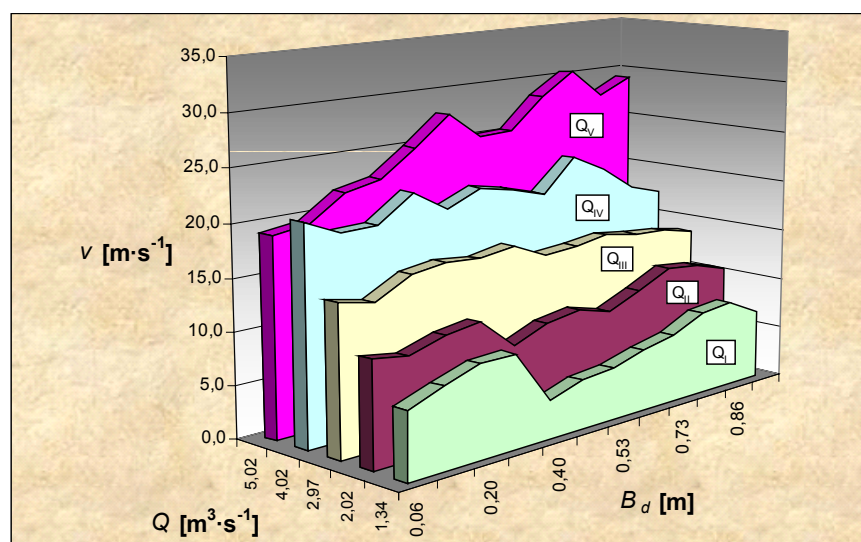
- zadane szerokości szczelin roboczych sita $s = 4, 7, 10$ i 12 mm,
- generowane wydátki wentylatora, $Q_1 = 1,34, 2,02, 2,97, 4,02, 5,02$ m³·s⁻¹.

Pomiary prędkości strumienia powietrza w strefach podsitowej i nadsitowej przeprowadzono w 120 punktach pomiarowych, przy użyciu anemometru skrzydełkowego Kestrel 4000 o zakresie pomiarowym od 0,2–60 m·s⁻¹ i dokładności +/- 3% odczytu lub +/- 0,1 m·s⁻¹

(w zakresie $0,4...40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). W analizie porównawczej różnych strumieni powietrza, wykorzystano współczynnik zmienności. Współczynnik oporu aerodynamicznego sita żaluzjowego określono stosunkiem średniej prędkości strumienia powietrza nad i pod powierzchnią sita.

Analiza wyników badań

Rozkłady prędkości strumienia powietrza na wylocie z dyszy wylotowej przedstawiono na rysunku 4. Analiza wyników wykazała zróżnicowane prędkości strumienia powietrza, które tylko dla wydatków $Q_{III}=2,97 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ oraz $Q_{IV}=4,02 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ charakteryzowały się dobrym stopniem równomierności na całej szerokości dyszy B_d .



Źródło: obliczenia własne

Rys. 4. Charakterystyki rozkładów prędkości strumienia powietrza na wylocie z dyszy: B_d – szerokość dyszy [m], Q – wydatek strumienia powietrza [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], v – prędkość strumienia powietrza [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Fig. 4. Characteristics of air stream velocity distributions at outlet from nozzle: B_d – nozzle width [m], Q – air stream flow rate [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$], v – air stream velocity [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Source: own computations

Współczynnik zmienności prędkości powietrza dla tych wydatków wynosił odpowiednio 5,5% i 7,2% (tab. 1).

Największy stopień deformacji przepływu zaobserwowano dla wydatków $Q_I=1,34 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ i $Q_V=5,02 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, dla których wartości współczynnika zmienności wynosiły 24,4% i 14,4%.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń Liczby Reynoldsa stwierdzono zdecydowaną burzliwość przepływającego strumienia ($Re > 10000$) w całym zakresie wydatków.

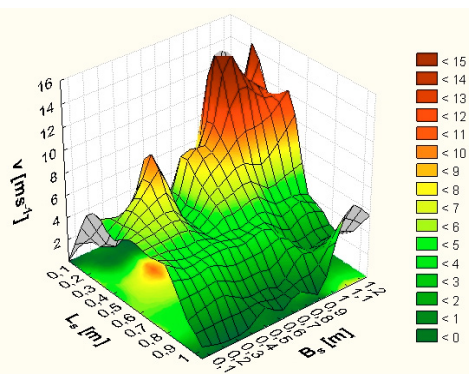
Tabela 1. Wartości współczynników zmienności v przy zmiennych wydatkach wentylatora na wylocie z dyszy Q

Table 1. Values of variation coefficients v for changing fan delivery at outlet from nozzle Q

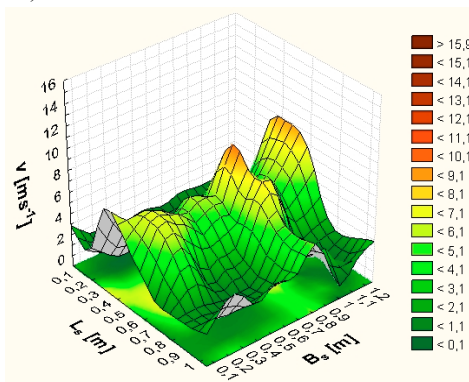
	$Q_I = 1,34 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	$Q_{II} = 2,02 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	$Q_{III} = 2,97 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	$Q_{IV} = 4,02 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	$Q_V = 5,02 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$
$u_{sr} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	6,73	10,13	14,88	20,10	25,10
$\sigma_s \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	1,65	1,06	0,82	1,45	3,63
$v \text{ [%]}$	24,47	10,46	5,53	7,22	14,46

Przestrzenne widma pól prędkości strumienia powietrza pod oraz nad powierzchnią roboczą sita żaluzjowego dla wydatku wentylatora $Q_{III} = 2,97 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ przedstawiono na rysunkach 5a i 5b. Zaprezentowany rozkład prędkości strumienia powietrza wskazuje na występowanie charakterystycznej początkowej strefy wzrostu prędkości na długości sita do $L_s = 0,4 \text{ m}$, po której następuje stopniowy spadek prędkości powietrza.

a)



b)



Źródło: obliczenia własne

Rys. 5. Widma rozkładów prędkości strumienia powietrza pod (a) oraz nad powierzchnią sita (b) dla stałego wydatku wentylatora Q_{III} i szczeliny roboczej $s = 12\text{mm}$, gdzie: L_s – długość sita, B_s – szerokość sita, v – prędkość strumienia powietrza

Fig. 5. Spectra of air stream velocity distributions under (a) and over sieve surface (b) for constant fan delivery Q_{III} and working gap $s=12\text{mm}$, where: L_s – sieve length, B_s – sieve width, v – air stream velocity

Z rysunku 5 wynika, że strumień powietrza przepływając w przestrzeni komory podsitowej od wylotu z dyszy do strefy sita, rozprzestrzeniał się nierównomiernie, z widocznym spadkiem prędkości. Spadek prędkości należy powiązać ze stopniowym spadkiem ciśnienia na drodze przepływu strumienia powietrza wewnątrz komory podsitowej zespołu czyszczącego. Niejednorodność rozkładu prędkości powietrza związana była z powstawaniem lokalnych turbulencji i odrywaniem się strug od strumienia tranzytowego. W efekcie prędkość strumienia powietrza pod sitem (rys. 5a) charakteryzowała się wysokim 50% współczynnikiem zmienności. W strefie nadsitowej (rys. 5b) zauważono nieznaczne wy-

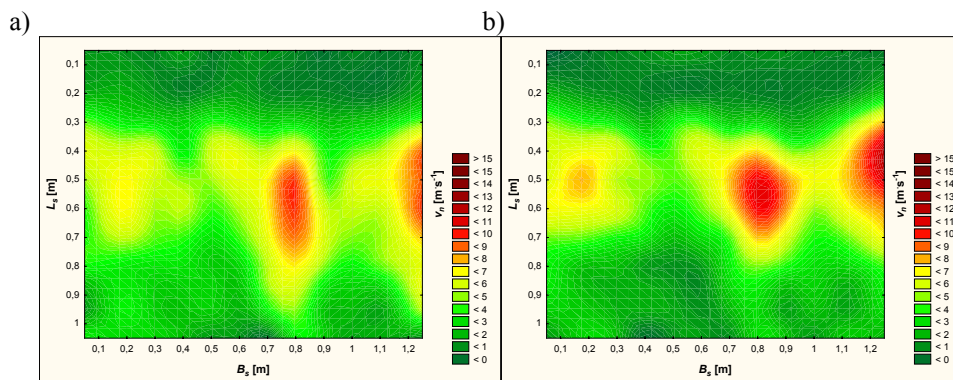
równanie strugi (średnio do $v=40\%$) oraz przemieszczenie się lokalnych ekstremów prędkości strumienia w kierunku końca sita oraz znaczący w relacji do prędkości powietrza pod sitem spadek prędkości strumienia średnio o 30-35%. Wyraźne zmniejszenie prędkości przepływu strumienia powietrza w strefie nadsitowej związane było z dużym oporem aerodynamicznym jaki stawia żaluzjowa konstrukcja sita. Porównując rozkłady prędkości dla wydatków Q_I-Q_V pod oraz nad powierzchnią sitową wyznaczono średnie wskaźniki oporu aerodynamicznego ζ , które wynosiły dla szerokości szczelin: $s=4$ mm, $\zeta_s = 0,68$; $s=7$ mm, $\zeta_s = 0,67$; $s=10$ mm, $\zeta_s = 0,63$; $s=12$ mm, $\zeta_s = 0,61$ (tab. 2).

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono również widma rozkładów prędkości strumienia oraz ich zmiany w zależności od szerokości szczeliny roboczej z sita (rys. 6a i 6b).

Tabela 2. Średnie wartości prędkości strumienia powietrza \bar{u} i współczynników oporu aerodynamicznego ζ_s , przy szerokości szczeliny roboczej s

Table 2. Mean values of air stream velocity \bar{u} and aerodynamic resistance coefficients ζ_s , for working gap width: s

	$s=4$ mm		$s=7$ mm		$s=10$ mm		$s=12$ mm	
	\bar{u} [$m \cdot s^{-1}$]	ζ [-]	\bar{u} [$m \cdot s^{-1}$]	ζ [-]	\bar{u} [$m \cdot s^{-1}$]	ζ [-]	\bar{u} [$m \cdot s^{-1}$]	ζ [-]
Q_I	1,4	0,60	1,5	0,62	1,4	0,59	1,4	0,58
Q_{II}	2,3	0,61	2,3	0,61	2,1	0,57	2,2	0,57
Q_{III}	3,7	0,71	3,6	0,70	3,5	0,67	3,2	0,62
Q_{IV}	5,0	0,72	4,9	0,69	4,6	0,65	4,4	0,62
Q_V	6,0	0,77	5,7	0,73	5,3	0,67	5,3	0,68
	ζ_s	0,68		0,67		0,63		0,61



Źródło: opracowano na podstawie [Komarnicki 2008]

Rys. 6. Wpływ szerokości szczeliny roboczej sita na widma rozkładów prędkości strumienia powietrza nad powierzchnią sita dla stałego wydatku Q_{III} : a) dla szczeliny 4 mm, b) dla szczeliny 10 mm, gdzie: L_s – długość sita, B_s – szerokość sita, v_n – prędkość strumienia powietrza

Fig. 6. The impact of sieve working gap width on the spectra of air stream velocity distributions over sieve surface for constant fan delivery Q_{III} : a) for 4mm gap, b) for 10mm gap, where: L_s – sieve length, B_s – sieve width, v_n – air stream velocity

Przedstawione rozkłady warstwiczne na rysunku 6 wskazują, że przepływ strumienia przez szczeliny sita żaluzjowego nie następuje zgodnie z prawem ciągłości strugi, gdyż przy zwiększeniu powierzchni przepływu przez żaluzje prędkość strumienia wzrasta lokalnie zwiększając nierównomierność rozkładu prędkości strumienia. Wskazuje to, że wydatek wentylatora powinien być odnoszony do rozwartości szczeliny. Wraz ze wzrostem otwarcia szczeliny powinien podążać wzrost wydatku wentylatora.

Wnioski

1. Ocena nierównomierności generowanego strumienia powietrza wskazuje, że wydatki wentylatorów w zakresie od około 3 do 4 m³·s⁻¹ należy uznać za optymalne.
2. Sito żaluzjowe stanowi przegrodę zwiększającą opór aerodynamiczny przepływającego do strefy nadsitowej strumienia powietrza, co wyraża się spadkiem prędkości przepływu o około 30÷35% w porównaniu do wielkości mierzonych w strefie podsitowej.
3. Wzrost szerokości szczeliny roboczej z 4 do 12 mm w ustalonych wielkościach wydatku wentylatora skutkuje spadkiem współczynników oporu aerodynamicznego sita z 0,68 do 0,61 i zwiększa deformację rozkładu prędkości strumienia powietrza.

Bibliografia

- Bieniek J., Banasiak J., Komarnicki P.** 2006. Analiza porównawcza strumienia aerodynamicznego w kombajnie zbożowym w świetle koncepcji badawczej. *Inżynieria Rolnicza*, nr 2(77), Kraków. s. 119-129.
- Grochowicz J.** 1994. *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion*. Wydanie drugie poprawione. Wydawnictwo Akademii Rolniczej Lublin. ISBN 83-901612-9-X.
- Komarnicki P.** 2008. Wpływ wielokierunkowego strumienia powietrza na efektywność sitowego procesu rozdzielczego. Rozprawa doktorska UP we Wrocławiu.
- Komarnicki P., Banasiak J., Bieniek J.** 2008. Rozkład aerodynamicznych parametrów stanu równowagi procesowej czyszczenia ziarna. *Inżynieria Rolnicza* 4(102). Kraków. s. 389-397.
- Komarnicki P., Bieniek J., Banasiak J.** 2007. Operational effectiveness of a sieve-aerodynamic separator under the conditions of the variable load of sieves, *Maintenance And Reliability*, Polish Academy Of Sciences Branch (Warsaw). nr 4(36). s. 33-35.
- Letoszniew M.** 1953. *Maszyny Rolnicze*. PWRiL Warszawa.

THE STRUCTURE OF TRACTORS IN THE EXAMINED FARMS ACCORDING TO ENGINE HORSEPOWER

Abstract. The researchers examined air stream distribution in a chamber of model pneumatic-sieve cleaning unit installed in combine harvesters. The following have been determined: air stream velocity distribution at outlet from nozzles, under and over sieve surface, and peaking factors of air stream distribution and shutter sieve aerodynamic resistance.

Key words: granular mass, separation, cleaning, air stream, non-uniformity of distribution

Adres do korespondencji:

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