

# ANALIZA PRZEPIYU POWIETRZA W PIĘCIOSTOPNIOWEJ DMUCHAWIE SSĄCO- TŁOCZĄCEGO PRZENOŚNIKA PNEUMATYCZNEGO

Streszczenie

W stosowanych do bliskiego transportu ziarna przenośnikach ssąco-tłoczących urządzeniem wytwarzającym potrzebne ciśnienie ssania i tłoczenia jest wentylator, dmuchawa lub sprężarka. W pracy zawarto wyniki badań symulacyjnych przepływu powietrza przez pięciostopniową dmuchawę opracowanego przenośnika ssąco-tłoczącego. Pozwoliły one na właściwe opracowanie kształtów jej elementów roboczych.

**Słowa kluczowe:** ziarno, transport, przenośnik pneumatyczny, dmuchawa ssąco-tłocząca, przepływ powietrza, badania symulacyjne

## Wprowadzenie

Przenośniki pneumatyczne tłoczące oraz ssąco-tłoczące przeznaczone są do bliskiego transportu w kierunku poziomym i pionowym: ziarna zbóż, nasion roślin strączkowych i oleistych. Są stosowane do napełniania i opróżniania spichlerzy i silosów zbożowych oraz do przewietrzania zboża w czasie jego składowania na pryzmach i w silosach. Urządzenia o bardzo dużej wydajności stosowane są do załadunku i rozładunku statków przewożących zboża [1-5].

Urządzeniem wytwarzającym ciśnienie ssania i tłoczenia w tego typu przenośnikach są wentylatory, wielostopniowe dmuchawy lub sprężarki [1-5]. W ramach realizacji Projektu Celowego nr ROW-III-173/2011 opracowano i wykonano prototyp przenośnika ssąco-tłoczącego wyposażonego w dmuchawę pięciostopniową. W ramach prac projektowych przenośnika wykonano obliczenia symulacyjne zespołów przenośnika pneumatycznego posługując się systemem Obliczeniowej Mechaniki Płynów (CFD - *Computational Fluid Dynamics*), wykorzystującym metody numeryczne do rozwiązywania zagadnień przepływu płynów. Systemy te bazują na równaniach Naviera-Stokesa (równania zachowania masy, pędu i energii dla płynu) a dyskretyzują je za pomocą metody objętości skończonych [5].

Metoda objętości skończonych (FVM ang. *Finite Volume Method*) jest alternatywą metody MES dla płynów. Metoda ta została opracowana do rozwiązywania problemów, w których zasada zachowania ciągłości zmiennej pola w rozpatrywanym obszarze nie musi być spełniona. Wyznaczone wartości zmiennej pola są następnie aktualizowane w kolejnych krokach czasowych, korzystając z funkcji strumienia, który przepływa przez komórki [5].

W pracy zawarto wyniki badań symulacyjnych przepływu powietrza przez pięciostopniową dmuchawę opracowanego przenośnika ssąco-tłoczącego.

## Cel i zakres badań

Celem badań było symulacyjne wykonanie weryfikacji pracy pięciostopniowej dmuchawy pod kątem poprawności przepływu powietrza przez jej elementy.

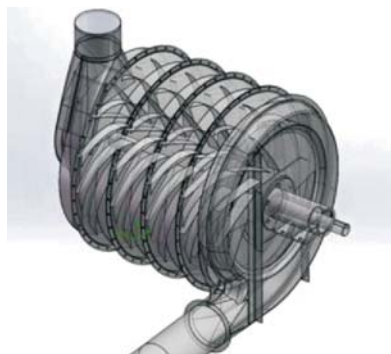
Dla przeprowadzenia badań symulacyjnych przyjęto założenie, że prędkość przepływu powietrza w rurociągu tłoczącym ziarno nie powinna przekraczać  $25 \text{ ms}^{-1}$  [2, 3, 5]. Aby uzyskać taką założoną prędkość przepływu powietrza

wejściowy wydatek zasysanego powietrza przyjęto na poziomie  $0,55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ( $2000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ).

Podział powietrza przepływającego przez dmuchawę opisano siatką obliczeniową zgodnie z wymogami stawianymi przez Metodę Objętości Skończonych (FVM), którą wykorzystano do przeprowadzenia badań symulacyjnych.

## Przedmiot badań

Przedmiotem badań był wirtualny model pięciostopniowej dmuchawy (rys. 1) przenośnika ssąco-tłoczącego (rys. 2) [5].



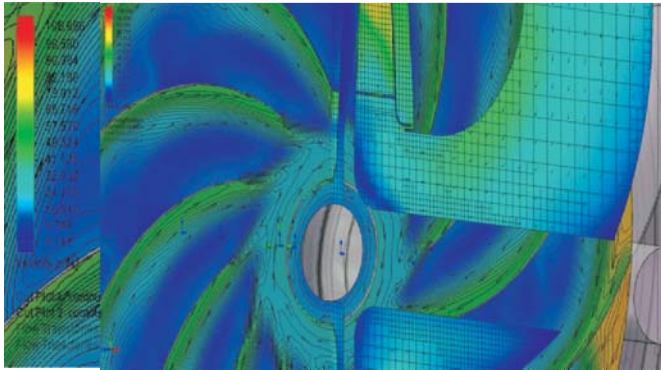
Rys. 1. Wirtualny model dmuchawy pięciostopniowej [5]  
Fig. 1. Virtual model of the five-stage air blower [5]



Rys. 2. Model opracowywanego przenośnika ssąco-tłoczącego [5]  
Fig. 2. Model of developed pneumatic conveyor [5]

## Wyniki badań i ich dyskusja

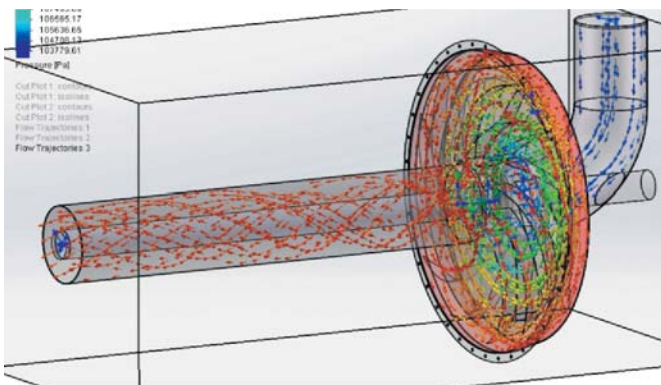
Przeprowadzając badania symulacyjne przepływu powietrza przez elementy (kierownice i wirniki) pięciostopniowej dmuchawy przenośnika ssąco-tłoczącego do ziarna dokonano analizy kierunku i prędkości przepływu powietrza przez te elementy. Na opracowanym modelu wstępnym zaobserwowano niekorzystny kierunek przepływu powietrza spływającego z kierownic międzystopniowych wokół wału wirników, co widać na rys. 3.



Rys. 3. Prędkości względne przepływu powietrza przez kierownicę międzystopniową (strzałki pokazują kierunek opływania wału wirników) [5]  
Fig. 3. The relative velocity of air flow through the interstage wheel (arrows show the direction of flow around a rotor shaft) [5]

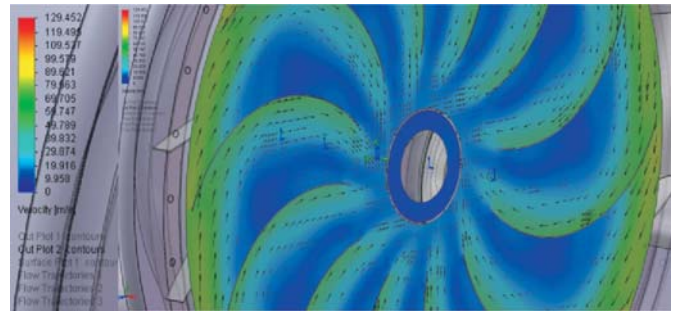
W badanym modelu zawirowanie powietrza przed kolejnymi wirnikami dmuchawy było zgodne z ich kierunkiem obrotu. Powoduje to, że napływ powietrza na kolejny wirnik nie będzie styczny, co w efekcie powodowało uzyskiwanie mniejszych prędkości powietrza na łopatkach tarczy wirnika i wielokrotne obieganie powietrza wokół wału wirników zamiast jego przetłoczenia do następnego stopnia dmuchawy.

Dla dokładnego sprawdzenia kierunku opływania wału wirnika dmuchawy przez napływające powietrze oraz wielkości jego napływu na łopatki następnego wirnika zbudowano, przedstawiony na rys. 4, model jednego stopnia dmuchawy oraz wykonano na nim konieczne badania i obliczenia. Celem uniknięcia zawirowań przepływającego powietrza w czasie przeprowadzenia symulacji jego przepływu na wlocie do wirnika zastosowano kolano o łagodnym zakrzywieniu, natomiast wylot przedłużono rurą z usytuowanym wewnątrz wałem wirnika. Widoczne na rys. 4 linie prądu w rurze modelu potwierdzają niekorzystny kierunek spływu powietrza z łopatek kierownicy.



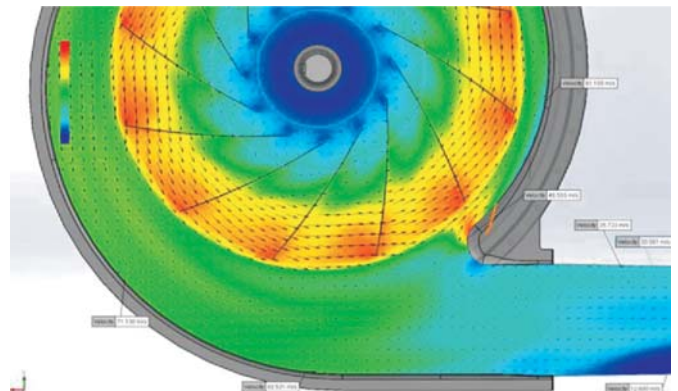
Rys. 4. Model jednego stopnia dmuchawy do sprawdzenia kierunku opływania wału wirnika [5]  
Fig. 4. Model of one stage of air blower to check the direction of flow around a rotor shaft [5]

W efekcie przeprowadzonych badań symulacyjnych, dla zapewnienia właściwego przepływu powietrza przez elementy dmuchawy, zmodyfikowano zarys łopatek kierownic kolejnych jej stopni przez zmianę promienia ich wygięcia oraz kąta ustawienia względem osi wirników. Wynik symulacji z zastosowanymi zmianami przedstawia rys. 5. Wprowadzona w wyniku badań symulacyjnych zmiana kształtu łopatek spowodowała odwrócenie kierunku opływania wału wirnika przez przepływające powietrze, co zapewniło właściwy kierunek napływu powietrza na łopatki wirnika. Zmiana kierunku napływu powietrza na łopatki wirnika nie pociągnęła za sobą zmian prędkości przepływającego powietrza. Zaproponowany nowy kształt łopatek wirnika został w pełni zaakceptowany przez wnioskodawcę projektu celowego i zleceńiodawcę badań symulacyjnych - firmę POM Augustów Sp. z o.o. - i ma być zastosowany w opracowywanym urządzeniu.



Rys. 5. Kierunek opływania wału wirników przez powietrze po zmianie konstrukcji łopatek kierownicy międzystopniowej [5]  
Fig. 5. The direction of flow around a rotor shaft after redesigning vanes of the interstage wheel [5]

Kolejnym elementem analizowanym podczas symulacyjnych badań przepływu powietrza przez pięciostopniową dmuchawę przenośnika ssąco-tłoczącego był kolektor wylotowy. Wyznaczone w trakcie badań linie przepływu powietrza przez kolektor wylotowy pokazały, że powietrze po opuszczeniu ostatniego (piątego) wirnika podlega niepożądaney cyrkulacji w kolektorze. Zjawisko to potwierdzają obrazy prędkości przepływu powietrza wykonane w płaszczyźnie wirnika (rys. 6).

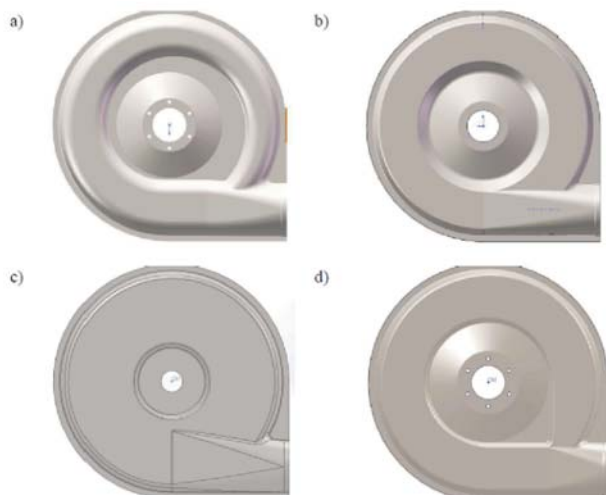


Rys. 6. Wektory i wartości prędkości w przepływie powietrza przez kolektor wylotowy (przekrój w płaszczyźnie wirnika) [5]  
Fig. 6. Vectors and the velocity in the air flow of the exhaust collector (cross-section in the plane of the rotor) [5]

Na rys. 6 umieszczono wektory prędkości przepływu powietrza przez kolektor wylotowy dmuchawy. Ich ułożenie i zwroty pokazują, że powietrze po opuszczeniu ostatniego wirnika podlega niepożądaney cyrkulacji w kolektorze o spiralnym kształcie. Cyrkulacja ta spowodowana jest nieprawidłowym kształtem wylotu z kolektora. Powstające zawirowania powodują, że znaczna część powietrza, które powinno

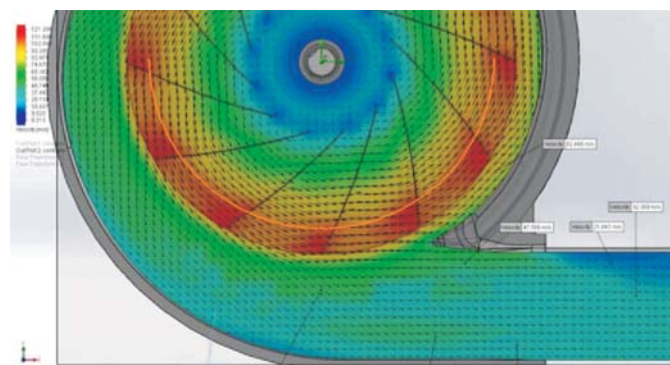
być wtłoczone do kanału tłoczącego zostaje z powrotem zabierane przez piąty wirnik dmuchawy i zostaje wprowadzane w ruch obrotowy wokół wału wirnika. W efekcie następuje m.in. wzrost prędkości wypływu powietrza ponad założoną wartość  $25 \text{ ms}^{-1}$  (rys. 6).

Poszukując rozwiązania poprawiającego przepływ w tym rejonie dmuchawy wykonano modele różnych konstrukcji kolektorów wylotowych i poddano je symulacji przepływu przez nie powietrza.



Rys. 7. Kształty kolektorów wylotowych poddanych analizie symulacyjnej przepływu powietrza [5]

Fig. 7. Exhaust collector shapes submitted to the simulation analysis of air flow [5]



Rys. 8. Wektory i wartości prędkości w przepływie powietrza przez zmodyfikowany kolektor wylotowy, (przekrój w płaszczyźnie wirnika) [5]

Fig. 8. Vectors and the velocity in the air flow of the modified exhaust collector, (cross section in the plane of the rotor) [5]

Najkorzystniejszy przepływ uzyskano w czasie symulacji dla kolektora wylotowego z kanałem ograniczonym wewnę-

trzną spiralą rys. 7a, oraz dla kolektora wylotowego o uproszczonym kształcie - rys. 7d. Jednak ze względu na technologiczne uwarunkowania dotyczące wykonanie takiego elementu, w porozumieniu z Wnioskodawcą Projektu firmą POM Augustów Sp. z o.o., te proponowane rozwiązania nie zostały przyjęte do realizacji. W związku z tym prowadzono dalsze badania symulacyjne, poszukując innego rozwiązania poprawiającego kierunek przepływu powietrza przez kolektor wylotowy. W ich wyniku zaproponowano wydłużenie górnej krawędzi obudowy wirnika w miejscu łączenia jej z rurą kanału tłoczącego. Wyniki symulacji pokazały dużą poprawę przepływu przez kolektor rys. 8. Rozwiązanie to ma zostać zastosowane i przebadane w prototypowym egzemplarzu przenośnika.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania symulacyjne przepływu powietrza przez dmuchawę pięciostopniową przenośnika ssąco-tłoczącego do ziarna umożliwiły odpowiednie wyprofilowanie jej elementów, pozwalające na zachowanie przyjętej prędkości przepływu powietrza w rurociągu tłoczącym ziarno, a tym samym na zachowanie prawidłowych parametrów pracy dmuchawy. W wyniku przeprowadzonych analiz symulacyjnych wprowadzono kilka zmian konstrukcyjnych w zespołach przenośnika pneumatycznego. Ich weryfikacja nastąpi podczas badań prototypu przenośnika.

## Bibliografia

- [1] Bień E., Bień J.: Urządzenia pneumatyczne w rolnictwie. PWRiL, Warszawa, 1970.
- [2] Dmitrewski J.: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T. 3. PWRiL, Warszawa, 1978.
- [3] Jankowiak S., Pawłowski T.: Przenośnik ssąco-tłoczący do pneumatycznego przemieszczania materiałów ziarnistych (wydajność  $25 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Zadanie 7.2. Wyznaczenie charakterystyki sprawności układu pneumatycznego w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych. Zadanie 8.2. Sprawdzenie wskaźników technicznych w symulowanych warunkach pracy. Maszynopis PIMR, Poznań, 2001.
- [4] Kuczewski S.: Wentylatory. WNT, Warszawa, 1978.
- [5] Wąchalski G., Spychała W., Frąckowiak P., Adamczyk F.: Opracowanie i wdrożenie innowacyjnego 5-stopniowego przenośnika pneumatycznego ssąco-tłoczącego. Zadanie 5. Przeprowadzenie symulacji komputerowych w celu wyznaczenia funkcji wymuszeń kinematycznych i dynamicznych zespołów wentylatora, dozownika łopatkowego, zestawu transportowego, zestawu załadunkowego przenośnika pneumatycznego, na opracowanym modelu wirtualnym. Zadanie 6. Analiza wytrzymałości zespołu wentylatora, dozownika łopatkowego, zestawu transportowego i zestawu załadunkowego przenośnika pneumatycznego. PIMR, Poznań.

Pracę wykonano w ramach projektu celowego nr ROW-III-173/2011 Opracowanie i wdrożenie innowacyjnego 5-stopniowego przenośnika pneumatycznego ssąco-tłoczącego.

## ANALYSIS OF AIR FLOW IN A FIVE-STAGE AIR BLOWER OF THE PNEUMATIC CONVEYOR

### Summary

In generally used pneumatic conveyors for short distance grain transport, the fan or the air blower or the compressor are the devices generating required suction and discharge pressure. This work contains the results of simulations of the air flow through a five-stage air blower from developed pneumatic conveyor. These results allowed to develop the shape of appropriate working elements.

**Key words:** grain, transport, pneumatic conveyors, suction-and-force blower, air flow, simulation experimentations