



OPTIMALIZACJA KSZTAŁTU KOLEKTORA APARATU UDOJOWEGO Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA DO SYMULACJI PRZEPIYWÓW¹

Aleksander Krzyś*, Marian Wiercioch, Danuta Skalska, Józef Szlachta, Adam Luberański

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

* Adres do korespondencji: ul. Chelmońskiego 37-41, 51-630 Wrocław; e-mail: aleksander.krzys@up.wroc.pl

INFORMACJE O ARTYKULE

Historia artykułu:
Wpłynął: wrzesień 2013
Zrecenzowany: grudzień 2013
Zaakceptowany: styczeń 2014

Słowa kluczowe:
dój mechaniczny
dojarka
aparat udojowy
kolektor

STRESZCZENIE

Celem badań była optymalizacja kształtu komory mlecznej kolektora z wykorzystaniem oprogramowania do obliczeniowej mechaniki płynów CFD. Przedstawiono wyniki symulacji przepływów cieczy w modelach kolektorów o różnych kształtach, w szczególności o różnych współczynnikach kształtu, definiowanych jako stosunek średnicy do wysokości. Analizowano prędkości przepływającej cieczy oraz wzajemne interakcje pomiędzy poszczególnymi strugami cieczy wypływającej z króćców wylotowych. Badania przeprowadzono przy wypływie cieczy od 0 do 10 kg·s⁻¹, podciśnieniu od 38 do 50 kPa, symulowaniu wprowadzania powietrza do modelu kolektora. Stwierdzono, że najkorzystniejsze warunki przepływu osiąga się w modelach o współczynniku kształtu przyjmujących wartość około 3. Obliczone prędkości przepływu cieczy mieściły się w granicach od 0,05 do 1,2 m·s⁻¹.

Wprowadzenie

W okresie od ostatniego dziesięciolecia poprzedniego wieku ma miejsce dynamiczny rozwój informatyzacji wytwarzania, co jest możliwe dzięki coraz bardziej zaawansowanym technicznie systemom komputerowym, a także dzięki doskonaleniu oprogramowania oraz stałemu obniżaniu cen wyposażenia komputerowego. Techniki informatyczne stosowane są w wielu fazach procesów produkcyjnych, również przy projektowaniu na rzecz rolnictwa (Szczepaniak, 2010). Projektowanie urządzeń i ich elementów coraz częściej odbywa się wyłącznie bezpośrednio w komputerze, bez tworzenia prototypów fizycznych. Poczynając od prostych przedmiotów codziennego użytku, poprzez bryły samochodów, a kończąc np. na elementach elektrowni, projektowanie wspomagane komputerowo pozwala na uzyskanie wielu korzyści. Wśród tych korzyści warto wymienić zmniejszenie kosztów, optymalizację

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2011-2013 jako projekt badawczy nr N N313 789740

zacie czasu pracy projektanta oraz możliwość przetestowania wielu różnych wariantów projektu. Istnieje też możliwość dokładnej wizualizacji produktu końcowego, która jest przydatna m.in. w sytuacji, gdy projektowany element jest częścią mającą współpracować z elementami konstruowanymi przez innych projektantów. W efekcie można uzyskać optymalną wersję przeznaczoną do wykonania ostatecznego prototypu lub wręcz bezpośrednio do produkcji. Istnieje wiele systemów wchodzących w skład komputerowego wspomaganie wytwarzania CIM. Jednym z nich jest system CAD, czyli Komputerowo Wspomagane Projektowanie oraz CFD, czyli Obliczeniowa (numeryczna) Mechanika Płynów. Dzięki wspomnianym systemom można zarówno projektować elementy lub układy elementów, jak też analizować przepływy cieczy i gazów, wewnątrz lub wokół tych elementów.

Istnieje wiele programów, zarówno komercyjnych (np. Fluent ANSYS, FIDAP, STAR CD, Abaqus, SolidWorks Flow Simulation), jak i OpenSource (np. OpenFOAM, Free CFD, OpenFlower), dzięki którym można symulować przepływ cieczy i gazu w warunkach rzeczywistych.

W konstrukcji aparatów udojowych, w tym kolektorów, również stosuje się coraz doskonalsze rozwiązania, jak np. dój ćwiartkowy, inteligentne aparaty udojowe, pozwalające ograniczać pustodój z poszczególnych ćwiartek (Jędrus i Lipiński, 2007; Jędrus 2011), czy też rozwiązania automatyzujące proces doju pod kątem płynnego dostosowywania ciśnienia do zmieniających się warunków doju (Juszka i Tomasik, 2005; Juszka i in., 2008). Jednak koszty oraz małe skomplikowanie tradycyjnych aparatów udojowych oraz kolektorów z jedną komorą mleczną, wspólną dla mleka pozyskiwanego ze wszystkich strzyków, powodują, że takie rozwiązania są i najprawdopodobniej będą jeszcze długo stosowane. Dlatego ważna jest optymalizacja każdego elementu systemu udojowego pod kątem dążenia do sprawnego, pozbawionego zakłóceń doju, w jak najmniejszym stopniu szkodliwego dla zwierzęcia (Pazzona i in, 2010; Krzyś i in., 2010; Sharif i Muhammad, 2008; Sitkowska, 2008).

Cel i zakres pracy

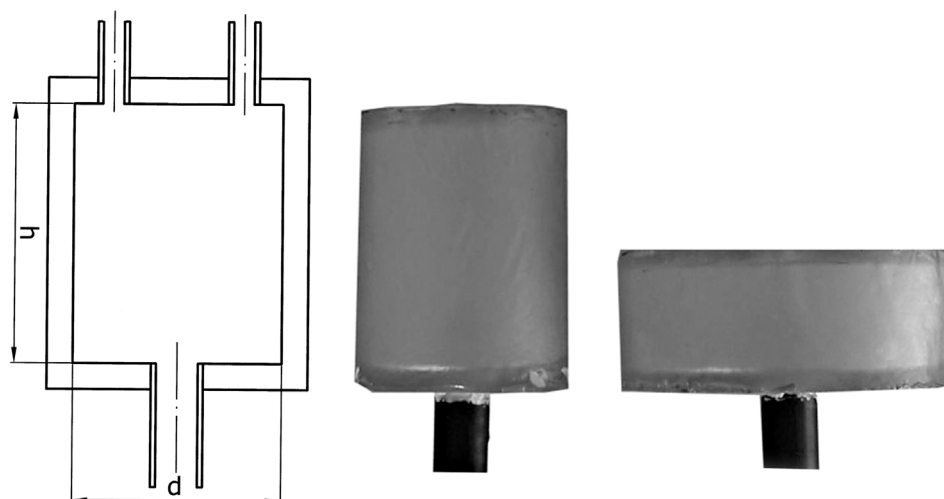
Celem badań było zaprojektowanie, z uwzględnieniem dotychczasowych wyników badań, kolektorów aparatów udojowych o możliwie optymalnym kształcie i objętości oraz optymalizacja kształtu kolektora przy użyciu oprogramowania do symulowania przepływów cieczy i gazów.

Badaniami objęto kilkaset modeli kolektorów zaprojektowanych w systemie CAD. Symulacje przeprowadzono przy użyciu oprogramowania do obliczeniowej mechaniki płynów CFD (Computational Fluid Dynamics).

Metodyka badań

Punktem wyjścia dla konstrukcji modeli kolektorów były badania przeprowadzone z uwzględnieniem istniejących 13 wariantów kolektorów, dostępnych w sprzedaży, ich parametrów geometrycznych, kształtowania się ciśnieniowych parametrów doju mechanicznego przy stosowaniu tych kolektorów oraz wyznaczonego wpływu kształtu kolektora na warunki ciśnieniowe w nim panujące (Krzyś i in., 2013). Bazowano również na badaniach polegających na pomiarach parametrów doju aparatami z kolektorami o różnych

współczynnikach kształtu, czyli stosunkach średnic części mlecznej do ich wysokości (schemat oraz zdjęcia przykładowych modeli z tej części badań przedstawiono na rysunku 1, natomiast parametry w tabeli 1). Wyniki badań pozwoliły na stwierdzenie, że najkorzystniejsze warunki ciśnieniowe panują w kolektorach o najwyższych i najniższych wartościach współczynnika kształtu. Ze względów praktycznych zrezygnowano z modeli o najniższych współczynnikach kształtu (czyli modeli o dużej wysokości komory mlecznej), ponieważ nie są one funkcjonalne podczas doju w oborze – aparat nie może zwiśać swobodnie na strzykach, opiera się o podłoże. Tak więc punktem wyjściowym do badań był model kolektora o współczynniku kształtu 3 (po uwzględnieniu wyników badań istniejących rozwiązań kolektorów (Krzyś i in., 2013) oraz wyników badań aparatów z kolektorami zaprezentowanymi na rys. 1).



Rysunek 1. Schemat kolektora oraz przykładowe modele z żywicy epoksydowej wykorzystane w badaniach wstępnych

Figure 1. Schematic representation of a collector and exemplary models of epoxide resin used in the initial research

Tabela 1

Wymiary części mlecznych kolektorów wykonanych do badań wstępnych

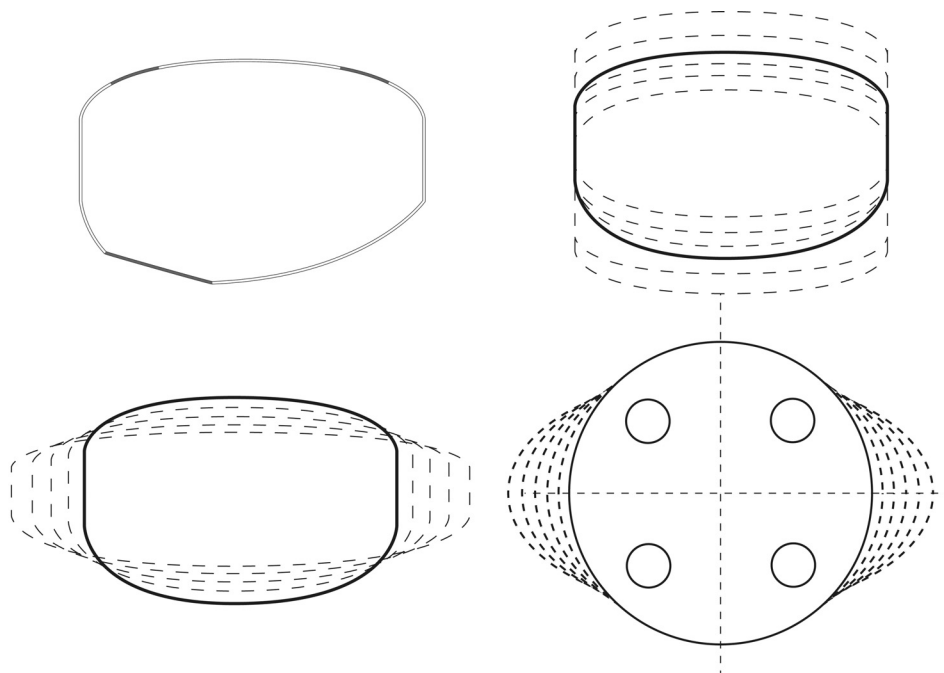
Table 1

Dimensions the part of milk collectors made for initial tests

Kolektor	1	2	3	4	5	6
Średnica części mlecznej (mm)	70	80	90	100	120	130
Wysokość części mlecznej (mm)	130	100	79	64	44	38
Współczynnik kształtu (-)	0,54	0,8	1,39	1,56	2,73	3,42

Przedmiotem badań były kolektory, których konstrukcja została opracowana w programie do modelowania typu CAD. Przy użyciu oprogramowania do symulacji przepływu płynów, analizowano zachowanie się cieczy przepływającej przez kolektory. Uzyskane wyniki wykorzystano do wstępnej optymalizacji kształtu kolektora, którego modele fizyczne zostaną wykonane w następnym etapie badań i przetestowane w warunkach laboratoryjnych i oborowych.

Opracowano kilkaset modeli w programie CAD. Modele różniły się kształtem komory mleczej. Różnice (przedstawione na rys. 2) obejmowały stosunek średnicy do wysokości, przekroje poprzeczny i wzdłużny oraz eliptyczność przekroju horyzontalnego. Sam proces tworzenia modeli oraz przeprowadzenia symulacji przepływu nie był zbyt pracochłonny, dlatego zdecydowano się na przetestowanie całej gamy zaprojektowanych modeli i na podstawie uzyskanych wyników (wektorów prędkości oraz rozkładu warstw cieczy obrazujących zakłócenia strumieni wpływających przez poszczególne króćce) podjęto wstępną próbę określenia optymalnego kształtu kolektora.



Rysunek 2. Schemat modyfikacji wariantów modeli kolektorów wykorzystanych do badań
Figure 2. Schematic representation of models variants of collectors used for the research

Miejsce oraz sposób zamocowania króćców wlotowych i wylotowego oraz odległość króćców wylotowych od siebie na tym etapie badań były stałe. W kolejnych badaniach modelowano również przepływy z uwzględnieniem całej gamy średnic i umiejscowienia króćców, jednak wyniki tych badań są w trakcie opracowywania.

Symulowano:

- natężenia wypływu cieczy w ilości do $10 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$,
- poziom podciśnienia systemowego od 38 do 50 kPa,
- wprowadzanie powietrza do kolektora,
- jednoczesne i naprzemienne wprowadzanie cieczy przez króćce wlotowe.

Należy zaznaczyć, że wybrane oprogramowanie umożliwia zadawanie jednego medium poprzez jeden dopływ. Aby uzyskać mieszaninę cieczy i powietrza symulowano oddzielne wprowadzanie cieczy i powietrza przez każdy z króćców, poprzez zaprojektowanie dodatkowego otworu do wprowadzania powietrza dla każdego z króćców wlotowych.

Analizowano:

- prędkości przepływu cieczy,
- kształt strumieni przepływającej cieczy,
- przemieszczanie się warstw o różnej prędkości,
- powstawanie zakłóceń przepływu powodowanych kształtem kolektora,
- wzajemne zakłócanie się strumieni cieczy z poszczególnych otworów dolotowych,
- spadki i wzrosty ciśnień w różnych punktach kolektora.



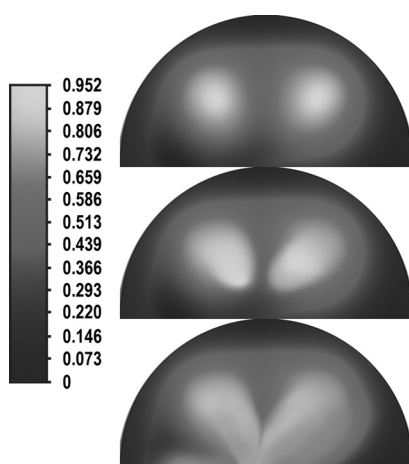
Rysunek 3. Fragment obrazujący wypływ cieczy z króćca wlotowego do kolektora
Figure 3. A fragment which illustrates liquid flow from the input connection pipe to the collector

Wyniki badań

Na rysunku 3 przedstawiono obraz, jak ciecz wpływa poprzez króćce wlotowe. Widoczne jest zakłócenie spowodowane strugami cieczy przemieszczającą się przez kolektor (wpływającą przez pozostałe króćce), powodujące zmniejszenie prędkości strugi cieczy. Kolory jaśniejsze to warstwy przemieszczające się z większą prędkością, kolory ciemniejsze – z mniejszą.

Na rysunku 4 przedstawiono prędkości strumieni cieczy w kolektorze pokazane na przykładowych przekrojach, coraz bliższych dolnej części kolektora. Podobnie jak w przypadku rysunku 3, jaśniejsze kolory oznaczają większą prędkość przemieszczania się cieczy. Po konwersji do odcieni szarości (na potrzeby druku) dodatkowo zwiększono kontrast, aby uwidocznić różnice, które w oryginalnych obrazach są widoczne jako subtelne gradienty kolorów. Na przedstawionym przykładzie widać wzajemne zakłócanie się strug cieczy oraz, na trzecim zrzucie, widoczna jest

struga o zwiększonej prędkości w miejscu króćca wylotowego. W praktyce analizowanie przepływów cieczy w modelach kolektorów jest najbardziej wygodne i efektywne wtedy, kiedy jest przeprowadzane na ruchomym obrazie, z możliwością zatrzymania ruchu oraz obejrzenia analizowanego miejsca z każdej strony. Umożliwia to praca w środowisku oprogramowania CFD, gdzie możliwe jest obracanie modelem 3D. Zdecydowanie mniejsze możliwości analizy interakcji pomiędzy strumieniami wprowadzanych mediów są przy wykorzystaniu statycznego obrazu w postaci zrzutów ekranu, stąd zamieszczone w publikacji zrzuty są jedynie przykładami nieodzwoiercedlającymi ilości informacji dostępnych bezpośrednio w programie.



Rysunek 4. Połowy przekrojów kolektora w części z wpływającą cieczą, na trzech poziomach przekroju w płaszczyźnie horyzontalnej, wartości na skali podane są w $m \cdot s^{-1}$
Figure 4. Halves of cross sections of a collector in the part with liquid which flows out, on three levels of cross section in the horizontal plane, values on the scale are given in $m \cdot s^{-1}$

Zaobserwowano znaczące różnice pomiędzy poszczególnymi wariantami pomiarowymi (modelami). Stwierdzono, przy użyciu metod obliczeniowych programu do obliczeniowej mechaniki płynów, duże różnice prędkości strumieni cieczy w kolektorze w zakresie od 0,05 do $1,2 m \cdot s^{-1}$ (przy największych symulowanych prędkościach wypływu cieczy, Q_m).

Różnice ciśnienia (od podciśnienia bazowego ustalanego na 38-50 kPa) sięgały od 2 kPa (spadek ciśnienia) do 7 kPa (wzrost ciśnienia).

Najmniej zaburzony przepływ uzyskano w przypadku kolektorów o wysokim współczynniku średnicy do wysokości wynoszącym 3:1, dalsze zmniejszanie stosunku wysokości do średnicy powodowało ponowny wzrost zakłóceń przepływu.

Zastosowanie otworu doprowadzającego powietrze atmosferyczne usprawnia przepływ (odprowadzanie cieczy z kolektora), ale jednocześnie powoduje, że jest on zdecydowanie bardziej burzliwy oraz wpływa na zwiększenie spadków podciśnienia.

Nie stwierdzono znacznego wpływu zmiany przekroju horyzontalnego kolektora, z kołowego na eliptyczny, na analizowane parametry. Jednak należy zaznaczyć, że takie różnice uwidoczniły się w kolejnym etapie badań (będącym w trakcie opracowywania), gdzie uwzględniano położenie króćców wlotowych oraz ich zamocowanie mające wpływ na kierunek strumienia cieczy wpływającej do kolektora oraz odległość króćców od siebie nawzajem. W tym przypadku zauważono ścisłą korelację pomiędzy kierunkiem wpływającej cieczy, kątami ścianek kolektora, jego przekrojem horyzontalnym a minimalizacją za-

kłóceń pomiędzy poszczególnymi strumieniami, co w efekcie przekłada się na sprawniejsze odprowadzanie cieczy z kolektora. Omówiony etap badań oraz analiza jego wyników pozwoliły na dobór parametrów geometrycznych modelu kolektora zapewniających najmniej zakłócony przepływ cieczy, co powinno przełożyć się na uzyskanie optymalnych parametrów ciśnieniowych i przepływowych doju na kolejnych etapach badań – w laboratorium oraz w warunkach oborowych.

Użycie w konstrukcji dodatkowych elementów typu deflektor (rozszerzenie omawianych badań, będące jeszcze na etapie analizy wyników) w znacznym stopniu wpływa na to, że przepływ staje się mniej burzliwy.

Podsumowanie

Zastosowana metoda, niezbyt szeroko stosowana w badaniach z dziedziny nauk rolniczych, wydaje się być przydatna nie tylko do omawianego modelowania przepływów i projektowania urządzeń z zakresu doju, ale również w dużo szerszym zakresie, jak np. przy projektowaniu wentylacji, w suszarnictwie czy też przy projektowaniu układów paliwowych lub hydraulicznych maszyn rolniczych. Dodatkowo można wykorzystywać moduły pozwalające na analizę przepływu, przekazywania i konwekcji ciepła, np. przy projektowaniu systemów chłodzenia mleka.

Przewiduje się kontynuowanie i rozszerzenie badań obejmujące:

- wykonanie modeli fizycznych kolektorów oraz ich przetestowanie w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych oraz w oborze,
- badania praktyczne (laboratoryjne i oborowe) aparatów z zaprojektowanymi kolektorami,
- symulowanie przepływów w całym układzie udojowym, przy doju za pomocą większej liczby aparatów udojowych oraz z wprowadzaniem dodatkowych zakłóceń.

Literatura

- Jędrus, A. (2011). Ocena zastosowania nowej konstrukcji dojarki czteroćwiartkowej do określania wybranych parametrów zdolności wydojowej krów. *Inżynieria Rolnicza*, 9(134), 81-86.
- Jędrus, A.; Lipiński, M. (2007). Właściwości funkcjonalne inteligentnego aparatu udojowego. *Inżynieria Rolnicza*, 2(90), 71-76.
- Juszka, H.; Lis, S.; Tomasiak, M. (2008). Odzworowanie przebiegu pulsacji metodami sztucznej inteligencji. *Inżynieria Rolnicza*, 9(107), 131-137.
- Juszka, H.; Tomasiak, M. (2005). Logika rozmyta w sterowaniu podciśnieniem w automatyzowanym doju krów. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria, Lublin*, 4, 67-74.
- Krzyś, A.; Luberański, A.; Szlachta, J. (2013). Wpływ kształtu i objętości kolektora na wahania podciśnienia. *XIX Międzynarodowa Konferencja Naukowa "Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska, standardów UE i produkcji biogazu". ITP o. Warszawa.*
- Krzyś, A.; Szlachta, J.; Luberański, A.; Wiercioch, M. (2010). Wpływ przebiegu mechanicznego doju krów na zawartość komórek somatycznych w mleku przy zmiennej sile naciągu gum strzykowych w kubku udojowym. *Inżynieria Rolnicza*, 4(122), 143-149.

- Pazzona, A.; Caria, M.; Murgia, L.; & Sistu, L. (2010). Effects of low vacuum levels on vacuum dynamics during milking. *Italian Journal of Animal Science*, 6(1s), 574-576.
- Sharif, A.; Muhammad, G. (2008). Somatic cell count as an indicator of udder health status under modern dairy production: A review. *Pakistan Vet. J*, 28(4), 194-200.
- Sitkowska, B. (2008). Effect of the cow age group and lactation stage on the count of somatic cells in cow milk. *Journal of Central European Agriculture*, 9(1), 57-62.
- Szczepaniak, J. (2010). Narzędzia wspomagające proces przygotowania produkcji maszyn rolniczych. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 1, 8-12.

OPTIMIZATION OF THE SHAPE OF THE CLAW OF MILKING MACHINE CLUSTER USING SOFTWARE FOR FLOW SIMULATION

Abstract. The aim of the research was optimization of the shape of the milk part of claw chamber using Computational Fluid Dynamics (CFD) software. The results of the liquid flows simulation in claw models of various shapes, in particular with different aspect ratios (height to diameter ratios) were presented. The velocity of the fluid and the interactions between different streams of liquid flowing out of the inlets were analyzed. Research was carried out at a flow of fluid from 0 to 10 kg·s⁻¹, a vacuum of 38 to 50 kPa, simulating air injection into the model of the claw. It was found that the best conditions are for models with an aspect ratio of about 3. Computed liquid flow rate ranged from 0.05 to 1.2 m·s⁻¹.

Key words: milking, milking machine, milking unit, claw