

MODELOWANIE PRZEPIYU MLEKA W KOLUMNIE KOLEKTORA AUTONOMICZNEGO APARATU UDOJOWEGO DLA KRÓW*

*Stanisław Lis, Henryk Juszka, Marcin Tomasik
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

Streszczenie. Celem pracy była walidacja założeń konstrukcyjnych dla projektowanego autonomicznego aparatu udojowego. Zakres pracy obejmował: analizę pracy tego aparatu, opis matematyczny procesu przepływu mleka przez kolumnę autonomicznego aparatu udojowego oraz eksperyment symulacyjny. Pomimo ciągłego rozwoju urządzeń udojowych pozostaje do rozwiązania szereg zagadnień dotyczących zbliżenia ich parametrów pracy do cech osobniczych krów w zakresie oddawania mleka. W UR w Krakowie podjęto intensywne prace nad autonomicznym aparatem udojowym. W pracy zilustrowano schemat jednej kolumny i zamodelowano przepływ mleka. Symulację prowadzono w programie Matlab® - Simulink, a jej wyniki przedstawiono na wykresach, z których wynika, że przyjęte założenia konstrukcyjne dla objętości kolumny autonomicznego aparatu udojowego są właściwe.

Słowa kluczowe: dój maszynowy krów, aparat udojowy, sterowanie, przepływ mleka

Wstęp

Wiele wiodących firm na rynku produkcji urządzeń udojowych, aby zapewnić hodowcom zmniejszenie nakładów pracy związanych z obsługą krów w tym procesie oraz dla utrzymania wysokich standardów jakościowych pozyskiwanego mleka, oferuje rozwiązania techniczne z minimalną ingerencją człowieka tzn. automaty i roboty udojowe [Czarnociński, Lipiński 2009; Jędrus 2012; Juszka 2006; Lipiński 2012]. Pomimo jednak obserwowanego postępu konstrukcyjnego w tego typu urządzeniach pozostaje do rozwiązania szereg zagadnień dotyczących zbliżenia parametrów ich pracy do cech osobniczych krów. Wiąże się to m.in. z indywidualnym traktowaniem ćwiartek wymienia, w tym uzależnieniem wartości podciśnienia udojowego od wypływu mleka ze strzyka. W Katedrze Ener-

* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2012 jako projekt badawczy N N313 154435.

getyki i Automatyzacji Procesów Rolniczych UR w Krakowie trwają prace projektowe nad autonomicznym aparatem udojowym (z rozdzielonymi ciśnieniami ssącym i transportującym mleko) pozwalającym na indywidualne traktowanie ćwiartek wymienia krowy i sterowanie podciśnieniem w zależności od wypływu mleka ze strzyka. Dla celów projektowych przyjęto założenia konstrukcyjne, które następnie, przy wykorzystaniu modelowania matematycznego, poddano walidacji poprzez eksperyment symulacyjny. Pozwoliło to na oszacowanie pojemności komór mlecznych w kolumnach kolektora autonomicznego aparatu udojowego przed wykonaniem prototypu.

Cel i zakres pracy

Celem pracy była walidacja założeń konstrukcyjnych dla projektowanego autonomicznego aparatu udojowego. Zakres pracy obejmował:

- analizę pracy projektowanego aparatu udojowego,
- opis matematyczny procesu przepływu mleka przez kolumnę autonomicznego aparatu udojowego,
- eksperyment symulacyjny.

Założenia konstrukcyjne dla autonomicznego aparatu udojowego

Dla projektowanego autonomicznego aparatu udojowego przyjęto szereg założeń dotyczących jego funkcjonalności. Najważniejsze z nich dotyczyły: realizacji indywidualnego doju ćwiartek wymienia krowy, wytyczenia drogi mleka w kolektorze tak, aby nie dochodziło do przepływów powrotnych powietrza i mleka pomiędzy kubkami udojowymi, sterowania wartością podciśnienia w zależności od chwilowego wypływu mleka ze strzyka.

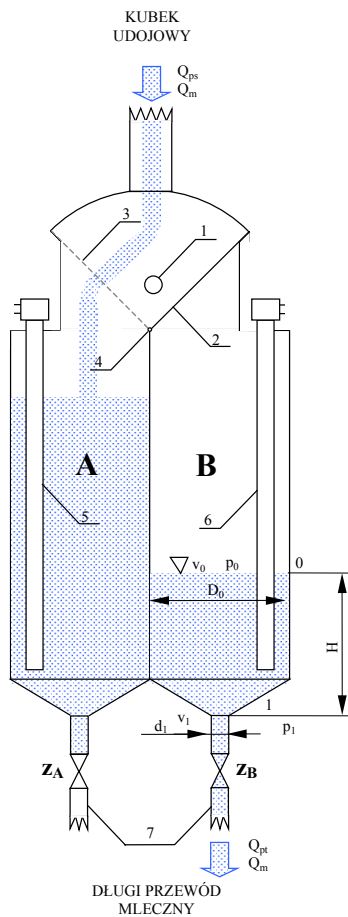
Dla realizacji tych założeń konieczna jest konstrukcja kolektora aparatu odmienna od tradycyjnej. Według Autorów zamierzony efekt pozwoli osiągnąć kolektor zawierający cztery niezależne sekcje, z których każda składa się z dwóch komór mlecznych. Sekcje te określono jako kolumny autonomicznego aparatu udojowego. Szczegółowo działanie proponowanego aparatu udojowego opisano w artykułach Juszki i in. [2011] oraz Lisa i in. [2011]. Założenia konstrukcyjne dla kolumny kolektora omawianego aparatu ilustruje rys. 1.

Uważa się, że wahania podciśnienia i przepływy powrotne w aparacie udojowym mają negatywny wpływ na zdrowotność wymion krów, stąd podejmowane są prace badawcze dotyczące tych niekorzystnych zjawisk [Szlachta, Wiercioch 1996; Kupczyk 1999]. Analiza zilustrowanej na rysunku 1 nowej konstrukcji pozwala przyjąć, że będzie możliwe wyeliminowanie przepływów powrotnych.

Metodyka

W trakcie analizy „drogi mleka” w kolumnie kolektora autonomicznego aparatu udojowego wyodrębniono dwa etapy przepływu mleka obejmujące odcinki:

- kubek udojowy – komora mleczna kolumny kolektora (model 1),
- komora mleczna – przewód mleczny (model 2).

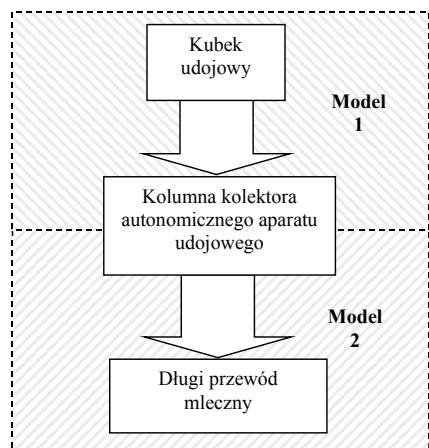


Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Kolumna kolektora autonomicznego aparatu udojowego: A, B – komory mleczne kolumny, z_A , z_B – zawory zamykające komory mleczne A i B, 1 – króciec doprowadzenia ciśnienia ssącego, 2 – przepustnica (w pozycji – komora A otwarta, komora B zamknięta), 3 – pozycja przepustnicy – komora A zamknięta, 4 – przegub przepustnicy, 5, 6 – czujniki poziomu cieczy w komorach A i B, 7 – przewód mleczny – ciśnienie transportowe, Q_{ps} – strumień masowy ssący powietrza, Q_{pt} – strumień masowy transportowy powietrza, Q_m – strumień masowy mleka, v_0 – prędkość cieczy w przekroju 0, p_0 – ciśnienie bezwzględne nad zwierciadłem cieczy w komorze B, D_0 – średnica komory mlecznej na wysokości przekroju 0, p_1 – ciśnienie bezwzględne pod otworem wypływowym, v_1 – prędkość cieczy wypływającej przez otwór wylotowy, d_1 – średnicę otworu wylotowego w przekroju 1, H – odległość zwierciadła cieczy od otworu wypływowego

Fig. 1. Collector column of an autonomous milking unit: A, B – milk chambers of a column, z_A , z_B – closing valves of milk chambers A and B, 1 – connection pipe of sucking pressure admission, 2 – throttle (in a position – chamber A open, chamber B closed), 3 – throttle position – chamber A closed, 4 – throttle joint, 5, 6 – liquid level sensor in chambers A and B, 7 – milk conduit – transport pressure, Q_{ps} – air sucking mass stream, Q_{pt} – air mass transport stream, Q_m – milk mass stream, v_0 – liquid speed in cross-section 0, p_0 – absolute pressure over the liquid surface in chamber B, D_0 – milk chamber diameter at the height of cross-section 0, p_1 – absolute pressure under outflow opening, v_1 – speed of liquid flowing out through an outlet opening, d_1 – diameter of an outlet opening in cross-section 1, H – distance of liquid surface from an outlet opening

Wyodrębnione etapy przepływu mleka zostały następnie opisane zależnościami matematycznymi (modele 1 i 2). Obrazuje to schemat na rysunku 2.

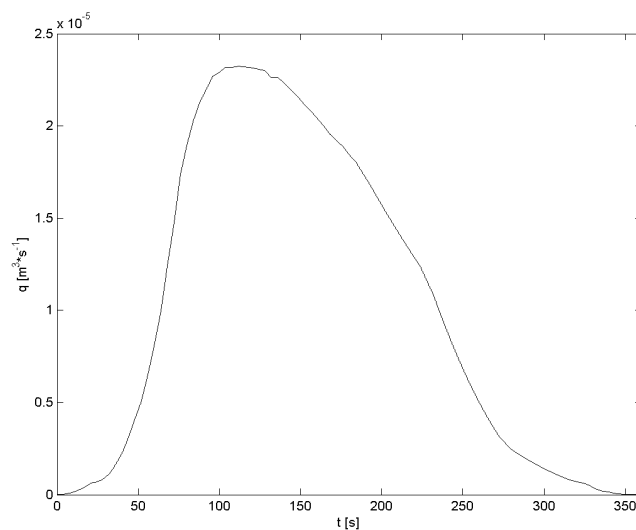


Rys. 2. Schemat obliczeń
Fig. 2. Calculations diagram

Źródło: opracowanie własne

Model 1

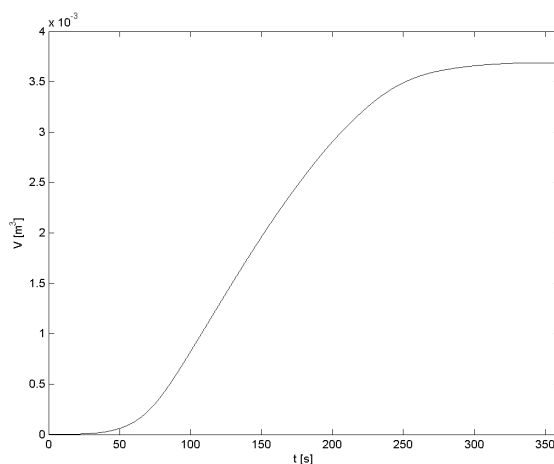
Pierwszym krokiem w opisie przepływu mleka przez część aparatu „kubek udojowy – komora mleczna” było generowanie przebiegu natężenia strumienia cieczy o zbliżonym kształcie do zmian wartości strumienia mleka wypływającego ze strzyka krowy (rys. 3) [Juszka i in. 2008].



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Natężenie strumienia mleka wypływającego ze strzyka krowy
Fig. 3. Intensity of milk stream flowing out of a cow teat

Następnie przebieg ten scałkowano, aby uzyskać przyrost całkowitej objętości mleka wypływającego ze strzyka krowy (rys. 4).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Przyrost całkowitej objętości mleka wypływającego ze strzyka krowy
Fig. 4. Growth of total volume of milk flowing out a cow teat

W kolejnym etapie obliczeń przy wykorzystaniu odpowiednich formuł matematycznych przyrost objętości mleka przedstawiony na rysunku 4 został podzielony na jednostkowe przyrosty objętości mleka w komorach mlecznych sekcji kolektora. Zostanie to zilustrowane w dalszej części artykułu (rys. 6).

Model 2

Dla oszacowania przepływu mleka na odcinku: „komora mleczna kolumny kolektora – długi przewód mleczny”, konieczne było obliczenie prędkości opróżniania komory mlecznej. Aby ją obliczyć sformułowano uogólnione równanie Bernoulliego dla przekrojów 0 i 1 (rys. 1) [Bukowski 1975]. Otrzymana funkcja ma następującą postać (1):

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + H = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} \quad (1)$$

gdzie:

- v_0 – prędkość cieczy w przekroju 0 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- v_1 – prędkość cieczy wypływającej przez otwór wylotowy komory mlecznej (przekrój 1) [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

- p_0 – ciśnienie bezwzględne nad zwierciadłem cieczy w komorze mlecznej [Pa],
 p_1 – ciśnienie bezwzględne pod otworem wypływowym [Pa],
 H – odległość zwierciadła cieczy od otworu wypływowego [m],
 γ – ciężar właściwy cieczy [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$].

Prędkość v_0 wyznaczono z równania ciągłości strugi korzystając z zależności (2),

$$v_0 = v_1 \cdot \frac{d_1^2}{D_0^2} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (2)$$

zatem

$$\frac{v_1^2 - v_0^2}{2g} = \frac{p_0 - p_1}{\gamma} + H \quad (3)$$

$$\frac{v_1^2}{2g} \cdot \left[1 - \frac{d_1^4}{D_0^4} \right] = \frac{p_0 - p_1}{\gamma} + H \quad (4)$$

Po przekształceniu otrzymano prędkość wypływu v_1

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{p_0 - p_1}{\gamma} + H \right)}{1 - \frac{d_1^4}{D_0^4}}} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (5)$$

gdzie:

- D_0 – średnica komory mlecznej na wysokości przekroju 0,
 d_1 – średnicę otworu wylotowego komory mlecznej w przekroju 1.

Korzystając z otrzymanej wartości prędkości v_1 , obliczono według zależności (6) natężenie strumienia cieczy Q_m reprezentującej strumień masowy mleka wypływającego z komory mlecznej kolumny kolektora. Straty miejscowe dla otworu pominięto. Obliczona wartość Q_m pozwala na oszacowanie prędkości opróżniania komory mlecznej.

$$Q_m = A_1 \cdot v_1 \cdot \rho \quad [\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (6)$$

W zależności (6) ρ , to gęstość cieczy w $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v_1 w $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ oznacza jej prędkość, natomiast $A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ w m^2 wyraża pole powierzchni strugi cieczy.

W obliczeniach przyjęto pojemność komory mlecznej równą 94 cm^3 oraz ciśnienie bezwzględne transportujące (pod otworem wylotowym komory mlecznej) o wartości 30 kPa.

Wykonanie obliczeń

Kolejnym etapem było zapisanie zależności matematycznych (modele 1 i 2) w programie Matlab–Simulink. Utworzony schemat przedstawia rysunek 5.

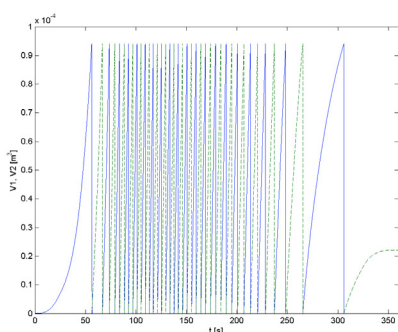
Na tym schemacie widoczne są moduły odpowiedzialne za obliczenie:

- natężenia strumienia mleka wypływającego ze strzyka krowy przy założonej wartości ciśnienia,
- wartości związanych z przepływem mleka pomiędzy kubkiem udojowym a komorami mlecznymi sekcji kolektora,
- wartości dotyczących wpływu mleka z komór mlecznych do instalacji mlecznej.

Badania symulacyjne

W wyniku badań symulacyjnych uzyskano przebieg ilustrujący napełnianie i opróżnianie komór mlecznych sekcji kolektora autonomicznego aparatu udojowego.

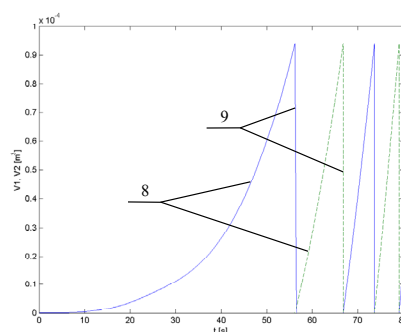
Linią ciągłą oznaczono przyrosty i spadki objętości mleka w komorze A, natomiast linią przerywaną zostały oznaczone wartości dotyczące komory B. Szczegółowo ilustruje to fragment analizowanego wykresu przedstawiony na rys. 7.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Zmiany objętości mleka w komorach mlecznych kolumny kolektora autonomicznego aparatu udojowego

Fig. 6. Changes of milk volume in milk chambers of the collector column of an autonomous milking unit



Źródło: opracowanie własne

Rys. 7. Fragment przebiegu zmian objętości mleka w komorach mlecznych kolumny kolektora autonomicznego aparatu udojowego

Fig. 7. A fragment of the course of changes of milk volume in milk chambers of the collector column of an autonomous milking unit

W przypadku wartości oznaczonych liniami ciągłą i przerywaną, linia pierwsza (szczegół 8), reprezentuje napełnianie komory mlecznej, linia druga (szczegół 9) przedstawia jej opróżnianie. Część przebiegu oznaczona jako szczegół 8 została obliczona przy wykorzystaniu zależności określonych w pracy jako – model 1, natomiast część przebiegu opisana jako szczegół 9 powstała dzięki zależnościom – model 2. Komory działają naprzemiennie.

Analizując wykres, można zaobserwować, że założona pojemność komór mlecznych kolumny kolektora jest właściwa. Opróżnianie jednej z nich z mleka udaje się zakończyć przed czasem, kiedy należy rozpocząć napełnianie drugiej.

Podsumowanie

Na podstawie badań symulacyjnych opracowano założenia konstrukcyjne dla kolumny autonomicznego aparatu udojowego, dobierając wartości objętości komór mlecznych. Wyniki badań wskazują na właściwy ich dobór.

Bibliografia

- Bukowski J.** (1975): Mechanika płynów. PWN, Warszawa.
- Czarnociński F, Lipiński M.** (2009): Roboty udojowe TITAN. PortalHodowcy[online], [dostęp 02-12-2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.portalhodowcy.pl/hodowca-bydla/50-numer-2-2008/122-roboty-udojowe-titan>.
- Jędrus A.** (2012): GEA Milking intelligence one day. Bydło, 2, 52-55.
- Juszka H.** (2006): Automatyzacja i robotyzacja w inżynierii rolniczej. Wydawnictwo PTIR, Kraków, ISBN 83-917053-3-1.
- Juszka H., Lis S., Tomasik M.** (2008): Modelowanie relacji strumienia masowego cieczy z ciśnieniem bezwzględny w aparacie udojowym. Inżynieria Rolnicza, 4(102), 353-360.
- Juszka H., Lis S., Tomasik M.** (2011): Koncepcja dwukomorowego kolektora autonomicznego aparatu udojowego. Inżynieria Rolnicza, 8(133), 161-165.
- Kupczyk A.** (1999): Doskonalenie warunków doju mechanicznego ze szczególnym uwzględnieniem podciśnienia w aparacie udojowym. Rozprawa habilitacyjna. Inżynieria Rolnicza, 3(9), 1-114.
- Lipiński M.** (2012): Aktualna światowa oferta robotów udojowych. Mat. konf. XX Szkoła Zimowa Hodowców Bydła nt. Perspektywy produkcji mleka i wołowiny w Polsce i na świecie. Instytut Zootechniki PIB 186.
- Lis S., Juszka H., Tomasik M.** (2011): Aplikacja zbiorów rozmytych dla nowoczesnych technik doju krów. Inżynieria Rolnicza, 6(131), 125-131.
- Szlachta J., Wiercioch M.** (1996): Przepływ powrotny w zmodyfikowanych aparatach udojowych przy nieregularnych wahaniami podciśnienia. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu Mechanizacja Rolnictwa, 302, 23-30.

MODELLING OF MILK FLOW IN A COLUMN OF THE COLLECTOR OF AN AUTONOMOUS MILKING UNIT FOR COWS

Abstract. The purpose of the work was to validate structure assumptions for a designed autonomous milking unit. The scope of the work included: analysis of the unit operation, mathematical description of the milk flow process through a column of an autonomous milking unit and simulation experiment. Despite continuous development of milking units, numerous issues concerning their operation parameters, which should resemble individual properties of cows in giving milk, remain unsolved. Intensive works on an autonomous milking unit have been undertaken in the University of Agriculture in Kraków. The work presents a schematic representation of a column and a model of milk flow. Simulation was carried out in Matlab® - Simulink program and its results were presented in diagrams proving that the assumed structure assumptions for the column volume of an autonomous milking unit are appropriate.

Key words: machine milking of cows, milking unit, controlling, milk flow

Adres do korespondencji:

Stanisław Lis, e-mail: slis@ar.krakow.pl
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków