

## **MODELOWANIE PODCIŚNIENIA W KOLEKTORZE APARATU UDOJOWEGO DLA KRÓW**

Henryk Juszka, Stanisław Lis, Marcin Tomasik

Akademia Rolnicza w Krakowie

**Streszczenie.** Przedstawiono modelowanie podciśnienia w komorze mlecznej kolektora dla zmian średnicy strumienia mleka 0, 1, 2, 3 mm. Do symulacji komputerowej wykorzystano program Matlab® Simulink. Badania wykonano w aspekcie prac nad sterowaniem automatycznym aparatem udojowym dla krów. Wyniki symulacji przedstawiono na wykresach, z których wynika, że dla strumienia mleka o średnicy 0, 1, 2 i 3 mm przebiegi mają zbliżony charakter. Na tej podstawie sformułowano wniosek, że zmiana wartości natężenia strumienia powietrza, spowodowana zmianą średnicy strugi mleka, nie wpłynęła na wielkość spadków podciśnienia w komorze mlecznej kolektora.

**Słowa kluczowe:** dój maszynowy krów, kolektor, modelowanie

### **WSTĘP**

Zadaniem kolektora jest m.in. zbieranie mleka z czterech komór podstrzykowych kubków udojowych i przekazywanie go do odbiornika za pomocą przewodów mlecznych. Kształt komory mlecznej kolektora powinien zapewniać spływ mleka oraz stabilizację podciśnienia podczas doju. W ostatnich latach skupiono uwagę na cechach konstrukcyjnych kolektorów. Zmierzano się w kierunku powiększania objętości komory mlecznej, co powoduje również wzrost gabarytów aparatu udojowego. W nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych pojemność kolektorów przekracza znacznie 300 cm<sup>3</sup>. Istotną ich cechą jest przezroczysta obudowa, umożliwiająca obserwację przebiegu doju, szczególnie w jego końcowej fazie [Kwieciński i in. 1999, Kupczyk 1999, Szlachta i in. 2000]. Oczywiście ten kierunek prac należy uznać za właściwy. Pozostaje jednak problem rozpoznania zmian podciśnienia w czasie przepływu mleka w komorze mlecznej kolektora. Stąd w ramach niniejszego opracowania podjęto próbę wyjaśnienia tego zjawiska, korzystając z nowoczesnych metod badań symulacyjnych.

Celem pracy jest analiza wartości podciśnienia w komorze mlecznej kolektora w funkcji zmian średnicy strumienia mleka (0, 1, 2, 3 mm) w krótkim przewodzie mlecznym. Zakres pracy obejmuje:

- opracowanie matematycznego modelu przepływu strumienia powietrza pomiędzy komorą podstrzykową kubka udojowego a komorą mleczną kolektora,
- symulację komputerową i przedstawienie jej wyników w postaci wykresów.

## PODSTAWY TEORETYCZNE

Na wartość chwilowego podciśnienia w komorze mlecznej kolektora i komorach podstrzykowych kubków udojowych (oprócz podciśnienia generowanego przez pompę) wpływa zmiana objętości komór pod strzykami podczas zamykania się i otwierania gum strzykowych oraz natężenie przetłaczanego strumienia powietrza. Zależy ono od różnicy podciśnień w kubku i kolektorze, a także od średnicy wewnętrznej krótkiego przewodu mlecznego.

Średnicę strumienia mleka w obliczeniach uwzględniono, pomniejszając o jej wartość średnicę wewnętrzną krótkiego przewodu mlecznego równą 13 mm. Otrzymana w taki sposób wartość stanowiła średnicę strumienia powietrza.

Badania symulacyjne, obejmujące problematykę podciśnienia w komorze mlecznej kolektora w funkcji średnicy strumienia mleka w krótkim przewodzie mlecznym, oparto na zależnościach opisujących natężenie strumienia powietrza przetłaczanego pomiędzy kubkiem udojowym a kolektorem:

$$q = A \cdot \psi \cdot \sqrt{P_k \cdot \rho_k} \quad (1)$$

gdzie:  $q$  – natężenie strumienia powietrza,  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

$A$  – pole przekroju poprzecznego strumienia powietrza w krótkim przewodzie mlecznym,  $\text{m}^2$ ,

$\psi$  – współczynnik przepływu,

$P_k$  – podciśnienie w komorach podstrzykowych kubków udojowych, Pa,

$\rho_k$  – chwilowa gęstość powietrza w komorach podstrzykowych,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,

Pole przekroju poprzecznego strumienia powietrza  $A$  w krótkim przewodzie mlecznym obliczono z zależności [Kupczyk 1999]:

$$A = \frac{\pi(d^2 - d_{sm}^2)}{4} \quad (2)$$

gdzie:  $d$  – średnica wewnętrzna krótkiego przewodu mlecznego, m,

$d_{sm}^2$  – średnica strumienia mleka,  $\text{m}^2$ .

Współczynnik przepływu oraz prędkość powietrza przetłaczanego pomiędzy komorą podstrykową a komorą mleczną kolektora, dla przepływu kubek – kolektor, obliczono korzystając ze wzoru:

$$\psi = \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{\kappa-1} \cdot \left[ \left( \frac{P_{kol}}{P_k} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{P_{kol}}{P_k} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} \quad (3)$$

gdzie:  $\psi$  – współczynnik przepływu,

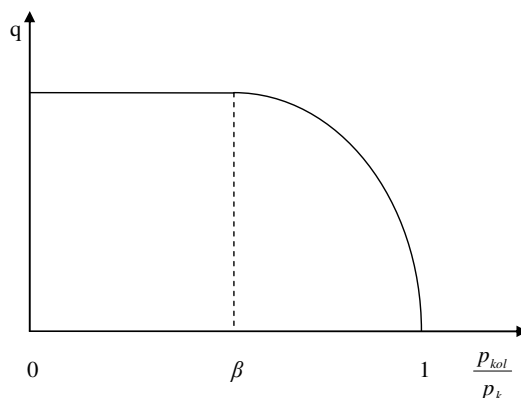
$P_{kol}$  – podciśnienie w komorze mlecznej kolektora, Pa,

$P_k$  – podciśnienie w komorach podstrykowych kubków udojowych, Pa,

$\kappa$  – wykładnik adiabaty.

Należy jednak podkreślić, że obliczenia przy wykorzystaniu powyższych wzorów strumienia masy powietrza przepływającego przez dyszę Bendemanna mają uzasadnienie, gdy  $\frac{P_{kol}}{P_k} \geq \beta$ .

W powyższym  $\beta = \left( \frac{2}{\kappa-1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$ , to wielkość charakteryzująca dany gaz (rys. 1).

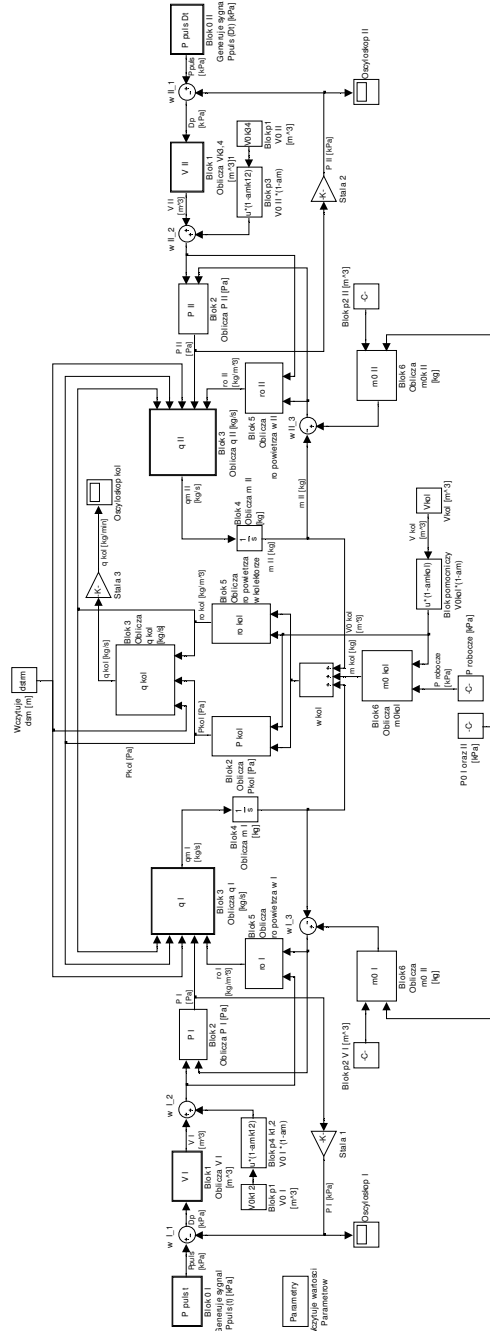


Rys. 1. Natężenie przepływu gazu przez dyszę Bendemanna

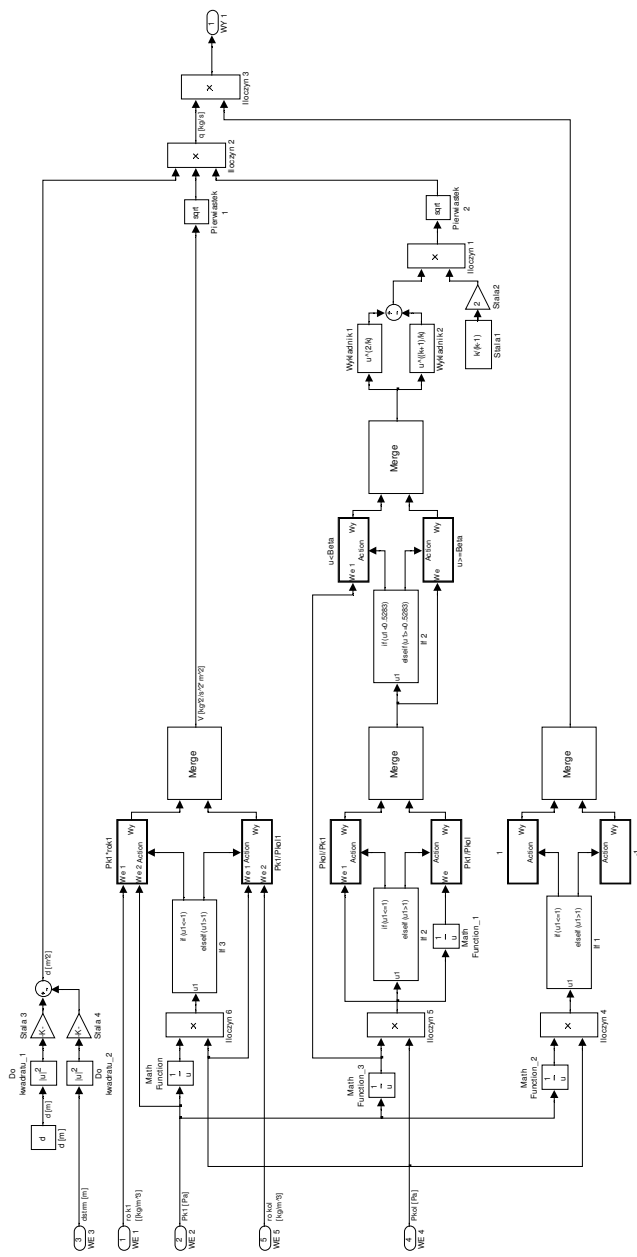
Fig. 1. Gas flow volume via Bendemann nozzle

Dysza Bendemanna pracuje tylko do chwili osiągnięcia prędkości dźwięku przez płyn i przepuszcza tyle płynu, ile wynika z jej przekroju wylotowego (krytycznego).

Zależność  $\frac{P_{kol}}{P_k} > 1$  oznacza, że wystąpił przepływ powietrza o kierunku przeciwnym, tj. z kolektora do kubka udojowego.



Rys. 2. Schemat blokowy symulacji komputerowej aparatu udojowego w programie MATLAB Simulink®  
 Fig. 2. Block scheme of the computer simulation of the milking apparatus in Matlab Simulink® software



Rys. 3. Schemat symulacji natężenia przepływu mleka przez krótki przewód mleczny zapisany w programie MATLAB Simulink®  
 Fig. 3. Scheme of the simulation of milk flow volume through the short milk tube recorded in MATLAB Simulink® software

W modelowaniu duże znaczenie ma uproszczenie opisu matematycznego [Kupczyk 1999, Mikielwicz 1995, Wawszczak 1993]. W niniejszej pracy przyjęto następujące uproszczenia:

- idealne zachowanie powietrza,
- niezmiennie oddziaływanie otoczenia (stała temperatura i ciśnienie atmosferyczne),
- zsumowano objętości komory podstrzykowej i krótkiego przewodu mlecznego,
- w obliczeniach strumienia masowego powietrza, krótki przewód mleczny zastąpiono otworami o dyszach zbieżnych,
- założono, że strumień powietrza w krótkim przewodzie mlecznym zajmuje przeważającą część jego przekroju przy niewielkiej średnicy strugi mleka,
- nie uwzględniono przepływów korkowych.

## SYMULACJA KOMPUTEROWA

Symulację komputerową przeprowadzono według układu przedstawionego na schemacie blokowym z wykorzystaniem programu MATLAB Simulink<sup>®</sup>.

Przedstawiony na rysunku 2 model aparatu udojowego składa się z modułów obliczających przebieg zmian badanych parametrów w kubkach udojowych i kolektorze. Szczegółowy opis przedstawionego schematu zamieszczono w pracy Juszki i in. [2005].

Symulacja ta obejmuje dój jednoczesny. Do obliczeń przyjęto objętość komory mlecznej kolektora równą 360 cm<sup>3</sup>.

Blok do badań modelowych podciśnienia w komorze mlecznej kolektora w funkcji średnicy strumienia mleka w krótkim przewodzie mlecznym, stanowiący część tego układu, obrazuje rysunek 3. Zawiera on następujące moduły:

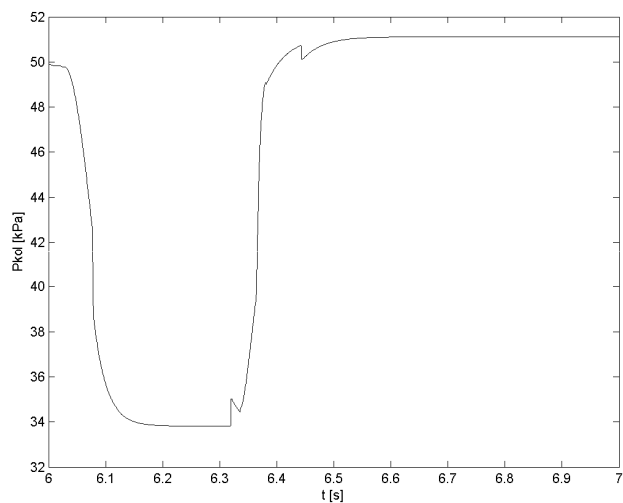
- wczytujący wartość średnicy strumienia mleka w krótkim przewodzie mlecznym,
- obliczający prędkość przetłaczanego powietrza,
- obliczający współczynnik przepływu i wartość  $\beta$ ,
- określający kierunek przepływu.

## WYNIKI BADAŃ

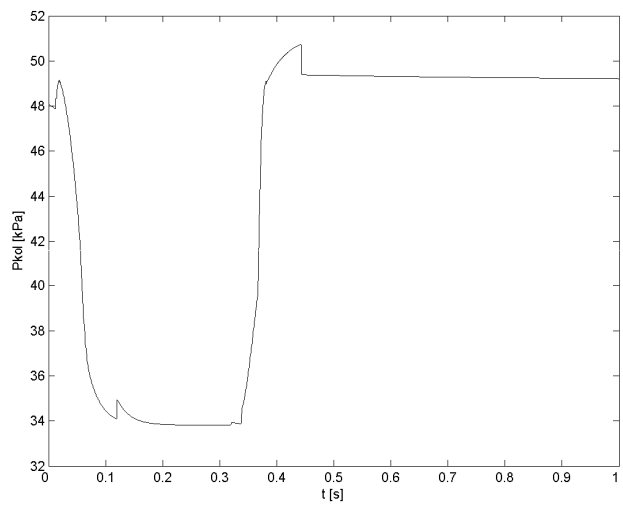
Na wejścia modelu wprowadzono wartości (rys. 3):

- „WE 1” – gęstość chwilową powietrza w komorze podstrzykowej kubka udojowego,
- „WE 2” – podciśnienie w komorze podstrzykowej,
- „WE 3” – średnicę strumienia mleka w krótkim przewodzie mlecznym,
- „WE 4” – podciśnienie w komorze mlecznej kolektora,
- „WE 5” – gęstość chwilową powietrza w komorze mlecznej.

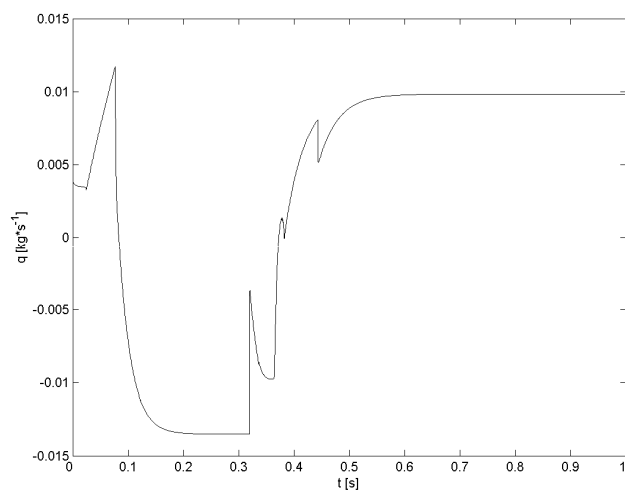
Na wyjściu (WY 1) otrzymano przebieg natężenia strumienia powietrza przepływającego przez krótki przewód mleczny o średnicy wewnętrznej 13 mm. Jego wartość oddziaływała zwrotnie na wszystkie wielkości podawane na wejścia (w tym na analizowane podciśnienie), z wyjątkiem wartości średnicy strumienia mleka  $d_{sm}$ , która była zmienną niezależną. Poprzez zmienną niezależną  $d_{sm}$  wpływało na wielkość wyjściową. Symulację przeprowadzono dla średnic strumienia mleka  $d_{sm}$  równych 0, 1, 2 i 3 mm.



Rys. 4. Przebieg zmian podciśnienia w komorze mlecznej kolektora  $d_{sm} = 0$  mm  
Fig. 4. Sequence of subpressure changes in the milk chamber of the collector where  $d_{sm} = 0$  mm

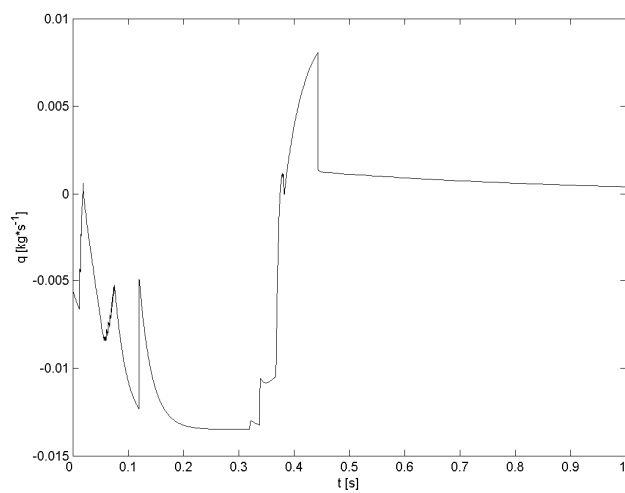


Rys. 5. Przebieg zmian podciśnienia w komorze mlecznej kolektora  $d_{sm} = 2$  mm  
Fig. 5. Sequence of subpressure changes in the milk chamber of the collector where  $d_{sm} = 2$  mm



Rys. 6. Przebieg zmian natężenia strumienia powietrza w krótkim przewodzie mlecznym przy  $d_{sm} = 0$  mm

Fig. 6. Sequence of airflow volume changes in the short milk tube at  $d_{sm} = 0$  mm



Rys. 7. Przebieg zmian natężenia strumienia powietrza w krótkim przewodzie mlecznym przy  $d_{sm} = 2$  mm

Fig. 7. Sequence of airflow volume changes in the short milk tube at  $d_{sm} = 2$  mm



Otrzymane wykresy badanych wartości poddano analizie. Ze względu na ograniczoną objętość pracy zamieszczono tylko nieliczne z otrzymanych wykresów. Dla zobrazowania podobieństwa otrzymanych przebiegów przedstawiono wykresy dla podciśnienia w komorze mlecznej kolektora oraz natężenia powietrza przepływającego przez krótki przewód mleczny wykonane dla średnicy strumienia równego 0 i 2 mm.

Uzyskane przebiegi symulacyjne badanych wartości można zinterpretować w następujący sposób. Obserwowany spadek podciśnienia w komorze mlecznej kolektora jest efektem zamykania się gum strzykowych w kubkach udojowych (rys. 4, 5). Obliczone przez model aparatu udojowego objętości komór pod strzykami podczas zamykania się gum maleją, powodując przetłaczanie przez krótkie przewody mleczne znajdującego się w nich powietrza do komory mlecznej kolektora (rys. 2). Wtłoczenie powietrza z komór podstrzykowych do kolektora powoduje obserwowany spadek wartości podciśnienia w komorze mlecznej.

Na wielkość tego spadku ma wpływ natężenie strumienia powietrza przetłaczanego pomiędzy kubkiem a kolektorem, obliczone z wykorzystaniem zależności realizowanych na schemacie przedstawionym na rysunku 3. Wartości dodatnie na wykresach przedstawiających przebieg natężenia strumienia powietrza oznaczają przepływ z komory podstrzykowej do komory mlecznej kolektora. Natomiast wartości ujemne reprezentują przepływ powrotny z kolektora do kubka (rys. 6, 7).

Omawiany spadek wartości podciśnienia na obydwu wykresach nie przekracza 34 kPa. Uzasadnione jest więc stwierdzenie, że zmiana wartości natężenia strumienia powietrza spowodowana zmianą średnicy strugi mleka w krótkim przewodzie mlecznym nie wpływa na wysokość spadku podciśnienia w komorze mlecznej kolektora (rys. 4, 5).

## PODSUMOWANIE

Zaproponowany model pozwala badać dynamikę zmian podciśnienia w komorze mlecznej kolektora w aspekcie zmian średnicy strumienia mleka w krótkim przewodzie mlecznym. Wyniki badań symulacyjnych wskazują, że średnica strumienia mleka zawierająca się w przedziale od 0 do 3 mm w krótkim przewodzie mlecznym, o średnicy wewnętrznej równej 13 mm, nie ma wpływu na wielkość spadków podciśnienia w komorze mlecznej kolektora. Przedstawiony model umożliwia na etapie prac projektowych dalsze doskonalenie warunków doju maszynowego krów.

## PIŚMIENNICTWO

- Juszka H., 1999. Studia nad parametrami procesu ssania u cieląt w aspekcie nowych technik doju krów. Rozprawa habilitacyjna. Inż. Roln. 3(4), 109–114.
- Juszka H., Lis S., Tomasik M., 2005. Modelowanie matematyczne systemu sterowania aparatem udojowym. Inż. Roln. (praca przyjęta do druku).
- Juszka H., Lis S., Tomasik M., 2005. Symulacja komputerowa sterowania rozmytego wybranymi parametrami pracy aparatu udojowego. Inż. Roln. (praca przyjęta do druku).

- Kupczyk A., 1999. Doskonalenie warunków doju mechanicznego ze szczególnym uwzględnieniem podciśnienia w aparacie udojowym. Rozprawa habilitacyjna. Inż. Roln. 3(9), 9–31.
- Kwieciński A. (red.), 1999. Maszyny i urządzenia w produkcji zwierzęcej. PWN, Warszawa.
- Mikielewicz J., 1995. Modelowanie procesów ciepłno-przemysłowych. Zakł. Narod. Ossol. Wyd. PAN. Wrocław-Warszawa-Kraków.
- Wawszczak W., 1993. Przepływy gazu przez kanały. Skrypty dla szkół wyższych. Polit. Łódź., Łódź.
- Szlachta J., Luberański A., Krzyś A., 2000. Wpływ pojemności kolektora na średnie podciśnienie ssania, średnie podciśnienie masażu oraz intensywność masażu strzyka. Inż. Roln. 2(13), 163–167.
- Wiercioch M., 1994. Przepływy w kubku udojowym dojarki mechanicznej. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Rozpr. 130, 260, 7–21.

#### **SUBPRESSURE MODELLING IN THE COLLECTOR OF THE MILKING APPARATUS FOR COWS**

**Abstract.** The study presents modelling of subpressure in the milk chamber of the collector for changes of the milk flow diameter of 0, 1, 2, 3 mm. Computer simulation was made using Matlab® Simulink software. The study was performed in the aspect of works on the automatic control of the milking apparatus for cows. Results of the simulation have been presented in diagrams which indicate that for the milk flux diameter of 0, 1, 2 and 3 mm, the sequences are of similar character. On this basis, a conclusion was drawn that changes of airflow volume caused by the change in milk flow diameter do not influence the value of subpressure changes in the milk chamber of the collector.

**Key words:** automatic control, collector, milking apparatus, milk flow

Praca naukowa finansowana ze środków KBN w latach 2002–2006 jako projekt badawczy

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 8.06.2006