

## MODELOWANIE I SYMULACJA KOMPUTEROWA CZĘSTOTLIWOŚCI PULSACJI W APARACIE UDOJOWYM

Tomasz Kapłon, Henryk Juszka

*Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** Analizowano wpływ zmian częstotliwości pulsacji w doju maszynowym krów. Zamodelowano pulsator umożliwiający płynną zmianę częstotliwości pulsacji. Zintegrowano model pulsatora z modelem aparatu udojowego. W wyniku symulacji otrzymano przebiegi zmian ciśnienia bezwzględnego w komorze międzyściennej i podstrzykowej kubka udojowego oraz mlecznej kolektora. Poprawność odwzorowania pulsacji przez zamodelowany pulsator przy zmiennych częstotliwościach pulsacji zweryfikowano logicznie.

**Słowa kluczowe:** dój maszynowy krów, częstotliwość pulsacji, modelowanie, symulacja

### Wprowadzenie

Częstotliwość pulsacji, jest jednym z najważniejszych parametrów pracy aparatu udojowego decydującym o przebiegu procesu doju krów. Parametr ten generowany jest w aparacie udojowym za pomocą pulsatora. Układ pulsacji ma duży wpływ na skuteczność wydojenia krowy, w tym odpowiedni czas doju, ilość i jakość mleka a także bezpieczne dla krowy warunki doju.

Zmiany częstotliwości pulsacji mają z reguły największe znaczenie na etapie wstępnej stymulacji wymienia i w dodajaniu. Stymulacja wstępna, wykonywana przed dojem, ma bardzo duże znaczenie dla poprawnego jego wykonania. Stwierdza się, że u krów mlecznych stymulacja wpływa znacząco na charakterystykę oddawania mleka i łagodniejszy przebieg doju [Lipiński i in. 2002]. Częstotliwość tych drgań sięga nawet 5 Hz przy jednocześnie obniżonym podciśnieniu pod strzykiem do 17-20 kPa.

Stymulacja w końcowym etapie doju, czyli tzw. podój, ma nieco odmienny charakter i znaczenie niż stymulacja wstępna [Lipiński 1991]. Powinna rozpocząć się, gdy chwilowy wpływ mleka ze strzyka spada do poziomu granicznego. Zwiększona częstotliwość pulsacji powoduje pobudzenie wymienia krowy dla uzyskania dodatkowej porcji mleka.

Optymalne wartości parametrów stymulacji w doju nie są jednak ściśle określone i wciąż są obiektem wielu badań [Szlachta, Wiercioch 1996].

Aby sterować pulsacją w sposób kontrolowany niezbędne są badania nad charakterem zmian zachodzących w aparacie udojowym przy zmiennej częstotliwości.

## Cel i zakres pracy

Celem pracy jest przedstawienie opracowanego w programie MATLAB Simulink komputerowego modelu działania pulsatora z ciągłą zmianą częstotliwości pulsacji w doju maszynowym krów. Zakres pracy obejmował: budowę modelu pulsatora, jego integrację z modelem komputerowym aparatu udojowego, symulację komputerową oraz weryfikację logiczną modelowanego pulsatora.

## Wyniki badań

W pracy zamodelowano sygnał pulsacji za pomocą następującego algorytmu:

**if**  $0 < t \leq 0,12$

$$P = 4,225t + 49,3$$

**elseif**  $0,12 < t \leq 0,32$

$$P = 100$$

**elseif**  $0,32 < t \leq 0,45$

$$P = 50 \cdot e^{\frac{0,32-t}{0,04}} + 47$$

**else**  $0,45 < t \leq 1$

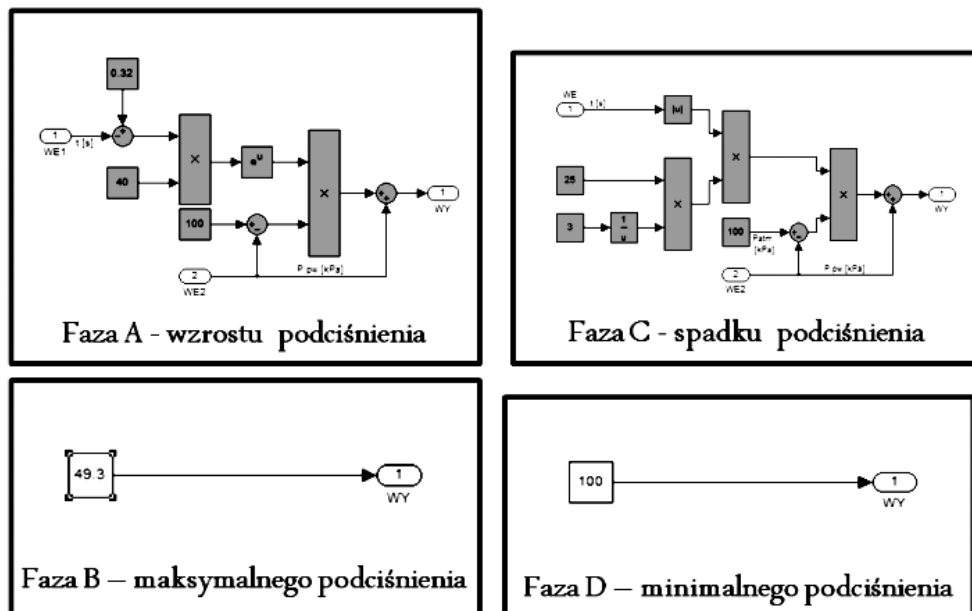
$$P = 49,3$$

gdzie:

- P – ciśnienie bezwzględne w komorze międzyściennej kubka udojowego,
- t – czas, generowany za pomocą sygnału piłokształtnego.

Po operatorach warunkowych „if” znajdują się wyrażenia modelujące poszczególne fazy sygnału pulsacji. Typy funkcji oraz odpowiednie współczynniki dobrano na podstawie wyników badań dotyczących charakterystyk statycznych gum strzykowych, modelowania matematycznego ich ruchu, zmian ciśnienia, objętości komory międzyściennej i podstrzykowej kubka udojowego oraz modelowania podciśnienia w kolektorze aparatu udojowego dla krów [Kupczyk 1999; Juszka i in. 2006].

Na rys. 1 przedstawiono zapis bloków funkcjonalnych poszczególnych części algorytmu generującego sygnał pulsacji zaimplementowanych w programie Matlab Simulink.

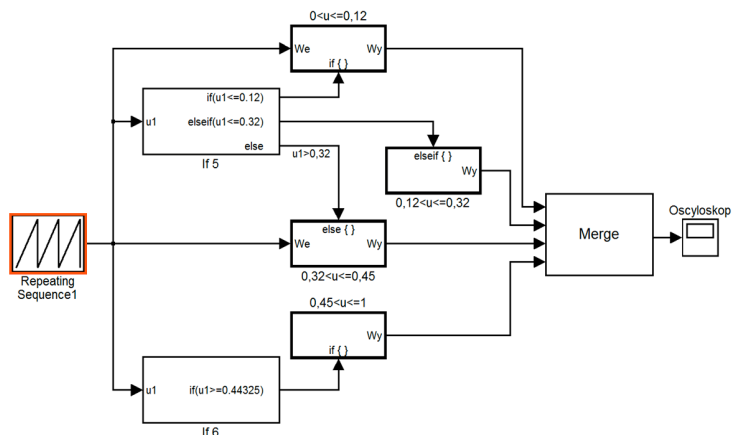


Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Zamodelowane fazy pulsacji w programie MATLAB Simulink  
 Fig. 1. Modelled phases of pulsation in the MATLAB Simulink program

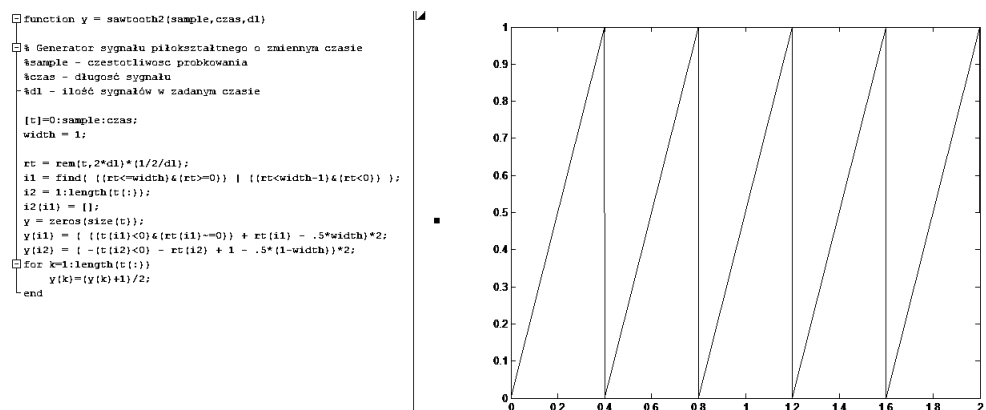
Poszczególne części sygnału pulsacji złożone zostały następnie za pomocą bloku łącznika "Merge" i instrukcji warunkowych: "if 1" i "if 2" w zależności od wartości sygnału "t" (rys. 2). Sygnał ten rozchodzi się z bloku generatora sygnału piłokształtnego - "Repeating sequence". Na wyjściu "Wy" otrzymano sygnał pulsacji składający się z czterech faz o częstotliwości zależnej od częstotliwości sygnału piłokształtnego. Częstotliwość tą, jak i amplitudę sygnału, można zmieniać w oknie właściwości bloku przed wykonaniem symulacji. Było to jednak niedogodne dla spełnienia celu badań, gdyż niemożliwa stała się zmiana częstotliwości pulsacji w trakcie badań symulacyjnych. Z tego powodu zdecydowano się zastąpić generator sygnału piłokształtnego Matlab-a generatorem własnym. Napisano program w języku programowania Matlab-a, którego kod i wynik działania dla przykładowej zadanej częstotliwości 2,5 Hz przedstawiono na rys. 3.

Model pulsatora został następnie zintegrowany jako podsystem modelu aparatu udojowego skonstruowanego w Katedrze Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych [Juszka i in. 2006; Juszka, Lis 2009]. Dzięki temu otrzymano możliwość obserwacji przebiegów zmian ciśnienia, objętości i strumieni masowych powietrza oraz mleka w dowolnym punkcie aparatu udojowego. Pozwoliło to na logiczne sprawdzenie poprawności działania modelu.



Źródło: opracowanie własne

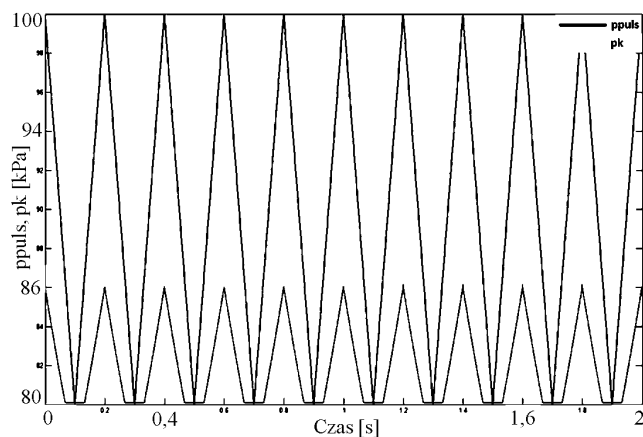
Rys. 2. Model generatora pulsacji w programie MATLAB Simulink  
 Fig. 2. Model of the pulsation generator in the MATLAB Simulink program



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Kod i wynik działania programowego generatora sygnału piłokształtnego o zmiennej częstotliwości  
 Fig. 3. Code and result of the program operation of the generator of the sawtooth signal with variable frequency

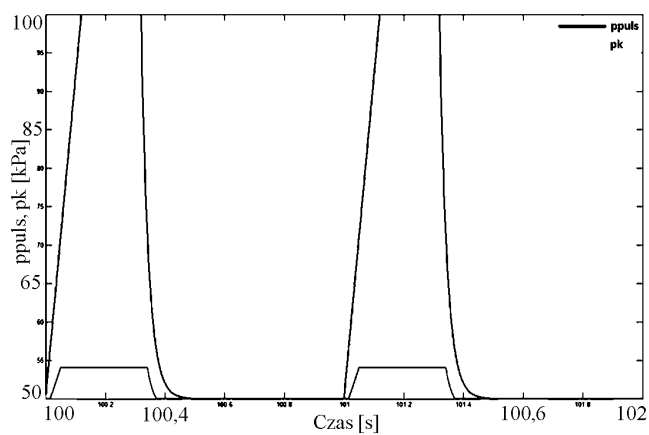
W wyniku przeprowadzenia szeregu symulacji otrzymano przebiegi zmian ciśnienia bezwzględnego w komorze międzyściennej ( $p_{puls}$ ) i podstrzykowej ( $p_k$ ) kubka udojowego podczas stymulacji z częstotliwością pulsacji 5 Hz (rys. 4) i doju właściwego z częstotliwością pulsacji 1 Hz (rys. 5).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Ciśnienie bezwzględne w komorze międzyściennej i podstrzykowej kubka udojowego w czasie stymulacji

Fig. 4. Absolute pressure in the interwall chamber and the under-teat chamber of the milking cup at the time of stimulation



Źródło: opracowanie własne

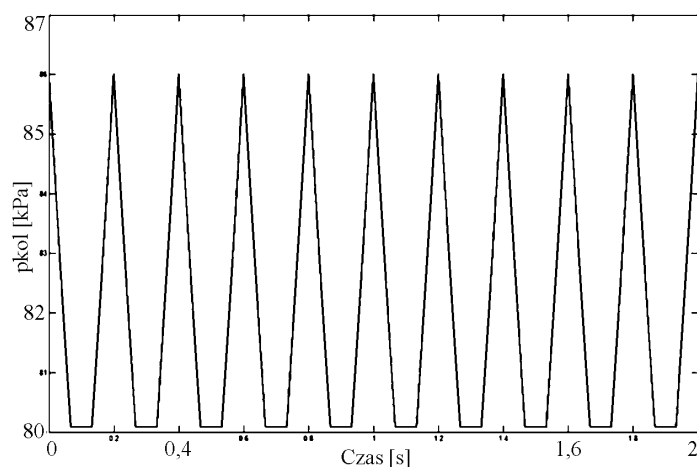
Rys. 5. Ciśnienie bezwzględne w komorze międzyściennej i podstrzykowej kubka udojowego w czasie doju właściwego

Fig. 5. Absolute pressure in the interwall chamber and the under-teat chamber of the milking cup at the time of actual milking

Badania symulacyjne wykazały, że ciśnienie bezwzględne w komorze podstrzykowej kubka udojowego nie ma stałej wartości. Zaobserwować można jego cykliczne wahania zgodnie z rytmem zmian ciśnienia bezwzględnego w komorze międzyściennej kubka udojowego. Wahania te są wynikiem zmian objętości komory podstrzykowej kubka udojowego wywołanej zamykaniem się gumy strzykowej (faza masażu strzyka – ciśnienie bezwzględne w komorze międzyściennej kubka udojowego = 100 kPa) i przetłoczeniem powietrza z tej komory do komory mlecznej kolektora. Amplitudy wahań ciśnienia w komorze podstrzykowej kubka udojowego wynoszą odpowiednio ok. 6 kPa w czasie stymulacji wstępnej i 4 kPa w trakcie doju właściwego i odpowiadają amplitudom wahań ciśnienia w komorze mlecznej kolektora w odpowiadających im fazach doju (rys. 6, 7).

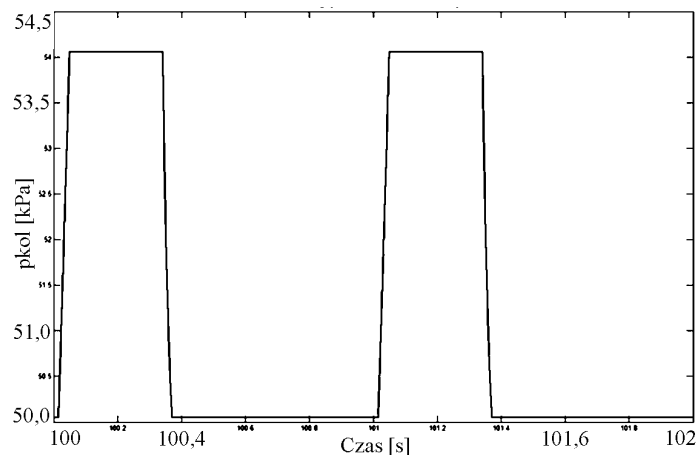
### Wnioski:

1. Komputerowy model pracy pulsatora z płynną zmianą częstotliwości pulsacji poprawnie odwzorowuje pracę tego urządzenia.
2. Zbudowany model pulsatora jest integrowalny z modelem aparatu udojowego i pozwala na badania dotyczące przebiegu zjawisk zachodzących w aparatach udojowych przy zmianach częstotliwości pulsacji.



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 6. Ciśnienie bezwzględne w komorze mlecznej kolektora w czasie stymulacji  
Fig. 6. Absolute pressure in the milking chamber of the collector at the time of stimulation



Źródło: opracowanie własne

Rys. 7. Ciśnienie bezwzględne w komorze mlecznej kolektora w czasie doju właściwego  
Fig. 7. Absolute pressure in the milking chamber of the collector at the time of actual milking

## Bibliografia

- Juszka H., Lis S.** 2009. Sterowanie udojem oparte o model procesu. Inżynieria Rolnicza. Nr 5 (114). Kraków. s. 93-99.
- Juszka H., Lis S., Tomasik M.** 2006. Modelowanie podciśnienia w kolektorze aparatu udojowego dla krów. Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria. Nr 5 (1). Lublin. s. 81-90.
- Kupczyk A.** 1999. Doskonalenie warunków doju mechanicznego ze szczególnym uwzględnieniem podciśnienia w aparacie udojowym. Rozprawa habilitacyjna. Inżynieria Rolnicza. Nr 3 (9). Warszawa. ISSN 1429-7264.
- Lipiński M.** 1991. Dynamika końcowej fazy doju mechanicznego krów w aspekcie jego częściowej automatyzacji. Rozprawa habilitacyjna. Rocznik AR Poznań. Z. 213.
- Lipiński M., Czarnociński F., Lisztoń-Gała Z.** 2002. Wpływ maszynowej stymulacji wymienia na dynamikę początkowej fazy doju krów. Inżynieria Rolnicza. Cz. 2. Nr 5 (38). Warszawa. s. 37-43.
- Szlachta J., Wiercioch M.** 1996. Intensywność wibracji gumy strzykowej przy użyciu stymulatora elektromagnetycznego. Zesz. Nauk. AR Wrocław. Mechanizacja Rolnictwa. Nr 302. s. 9-15.

## **COMPUTER MODELLING AND SIMULATION OF THE FREQUENCY OF PULSATIONS IN THE MILKING APPARATUS**

**Abstract.** The impact of changes of the frequency of pulsations in the mechanical milking of cows was analysed. The pulser enabling the smooth change of frequency of pulsations was modelled. The model of the pulser was integrated with the model of the milking apparatus. The simulation helped to obtain histories of changes of absolute pressure in the inter-wall and under-teat chamber of the teat cup and the milking chamber of the collector. The correctness of mapping of pulsations through the modelled pulser with variable pulsation frequencies was verified logically.

**Key words:** machine cow milking, pulsation rate, modelling, simulation

**Adres do korespondencji:**

Henryk Juszka; email: [henryk.juszka@ur.krakow.pl](mailto:henryk.juszka@ur.krakow.pl)  
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 116B  
30-149 Kraków