

STEROWANIE PODCIŚNIENIEM W AUTONOMICZNYM APARACIE UDOJOWYM

Stanisław Lis, Henryk Juszka, Marcin Tomasik

Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Opracowano algorytm działania zadajnika z wykorzystaniem instrukcji warunkowej „if”, dla sterownia podciśnieniem w autonomicznym aparacie udojowym. Do sterowania wykorzystano algorytm regulatora PID. Symulację komputerową wykonano w programie MATLAB-Simulink®. Wyniki zilustrowano na wykresach odzwierciedlających charakter zjawisk zachodzących w obiekcie regulacji.

Słowa kluczowe: dój maszynowy krów, podciśnienie, modelowanie, sterowanie

Wykaz oznaczeń

ψ	– współczynnik przepływu,
ρ	– chwilowa gęstość powietrza [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
A	– pole przekroju poprzecznego strumienia powietrza [m^2],
m	– masa powietrza [kg],
p	– ciśnienie bezwzględne powietrza [Pa],
q	– natężenie strumienia powietrza [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$],
q_m	– natężenie wypływu mleka ze strzyka krowy [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$],
R	– indywidualna stała gazowa [$\text{J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$],
T	– temperatura [K],
V	– objętość analizowanego fragmentu instalacji [m^3].

Wstęp

Stabilne podciśnienie jest podstawowym parametrem w doju maszynowym krów, decydującym o prawidłowym przebiegu tego procesu. Uważa się, że brak jego stabilności przyczynia się do pojawienia stanów chorobowych wymienia u krów [Juszka 1998; Kupczyk 1999, Szlachta, Wiercioch 1996]. Do sterowania i stabilizacji podciśnienia możliwe jest zastosowanie w zamkniętym układzie regulacji sterownika mikroprocesorowego PLC. Problematykę sterowania parametrami doju maszynowego krów prezentowano we wcześniejszych publikacjach [Juszka, Lis S. 2006; Juszka i in. 2006]. Stąd na obecnym etapie opracowano model układu regulacji z wykorzystaniem regulatora PID dla sterownia podciśnieniem w autonomicznym aparacie udojowym. Stanowi to wstęp do zaprogramowania sterownika, umożliwia poznanie charakteru zjawisk zachodzących w obiekcie regulacji

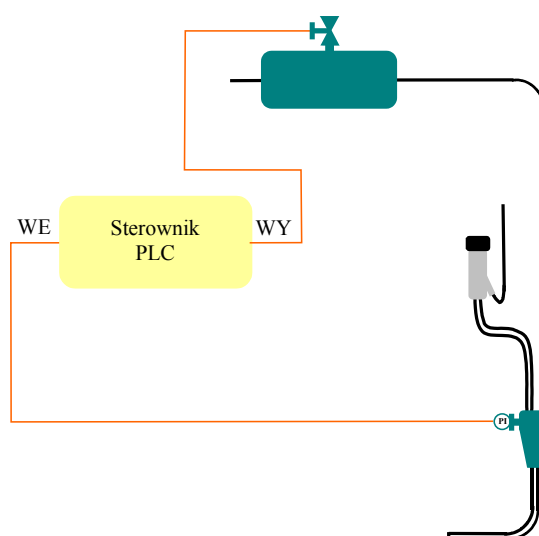
i pozwala na dobór nastaw regulatora PID, którego algorytm będzie zaimplementowany w sterowniku PLC. Symulację komputerową procesu przeprowadzono w programie MATLAB-Simulink®.

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest przedstawienie modelu układu regulacji podciśnienia w autonomicznym aparacie udojowym oraz dobór algorytmu sterowania tym parametrem. Zakres pracy obejmuje odwzorowanie przebiegu zmian podciśnienia w autonomicznym aparacie udojowym, symulację komputerową w programie MATLAB-Simulink i zilustrowanie jej wyników w postaci wykresów.

Modelowanie procesu

Obiekt regulacji stanowi autonomiczny aparat udojowy (z rozdzielonym ciśnieniem transportującym i ssącym) wraz z częścią instalacji przystosowanej do sterowania podciśnieniem (rys. 1).

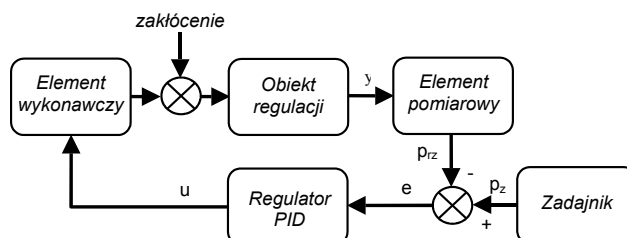


Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Uproszczony schemat obiektu regulacji
Fig. 1. Simplified diagram of the controlled system

Zilustrowany na tym rysunku schemat zawiera część autonomicznego aparatu udojowego do doju jednej ćwiartki wymienia krwi. Na schemacie można wyróżnić następujące elementy: czujnik ciśnienia, zbiornik akumulacyjny wraz z zaworem oraz blok reprezentujący sterownik.

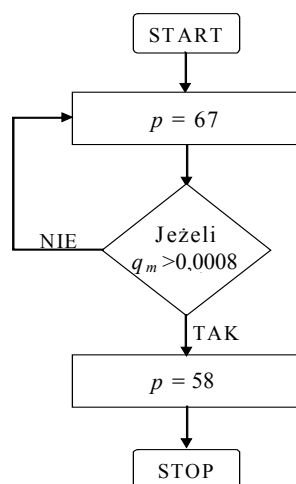
Dla sterowania podciśnieniem w autonomicznym aparacie udojowym opracowano następujący układ regulacji, którego schemat pokazano na rys. 2.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Schemat blokowy układu sterującego podciśnieniem
 Fig. 2. Block diagram of the subatmospheric pressure control system

Przedstawiony układ regulacji zawiera następujące bloki funkcjonalne: obiekt regulacji, który stanowią autonomiczny aparat udojowy wraz z fragmentem instalacji pneumatycznej, element pomiarowy wartości podciśnienia, węzeł sumujący (wypracowuje błąd regulacji „e”), regulator PID (oblicza sygnał sterujący „u” podawany na wejście elementu wykonawczego), element wykonawczy. Blok „zadajnik” umożliwia wyznaczenie wartości zadanej ciśnienia generowanego według algorytmu przedstawionego na rys. 3.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Algorytm działania zadajnika
 Fig. 3. Algorithm of operation of the controller

Wartość ciśnienia bezwzględnego zmienia się w zależności od generowanego strumienia masowego cieczy, reprezentującej w obliczeniach mleko wypływające ze strzyka krowy q_m . Przy natężeniu wypływu cieczy $q_m \leq 0,003 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ciśnienie bezwzględne wynosi 67 kPa, zaś przy $q_m > 0,003 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ jego wartość równa jest 58 kPa.

Opracowanie modelu matematycznego procesu rzeczywistych zjawisk dynamicznych składa się z szeregu faz. Konieczne jest zdefiniowanie obiektu sterowania i ustalenie sygnału wyjściowego $y(t)$ obiektu. Określenia również wymaga sygnał wejściowy $u(t)$. Dla obiektu regulacji konieczne jest znalezienie możliwie najlepszej formuły matematycznej (wzoru, funkcjonału) opisującej zależność $y(t)$ od $u(t)$. W tym opracowaniu obiekt regulacji opisano następującymi zależnościami składającymi się na model układu:

Przebieg zmian ciśnienia bezwzględnego, obliczono korzystając z zależności:

$$p = \frac{R \cdot T \cdot m}{V} \quad (1)$$

Strumień masowy powietrza dopływający w wyniku procesu sterowania z otoczenia został obliczony według zależności:

$$q = A \cdot \psi \cdot \sqrt{p \cdot \rho} \quad (2)$$

Gęstość powietrza w analizowanym fragmencie instalacji podciśnieniowej obliczono przy wykorzystaniu zależności:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Wartość masy powietrza obliczono z zależności:

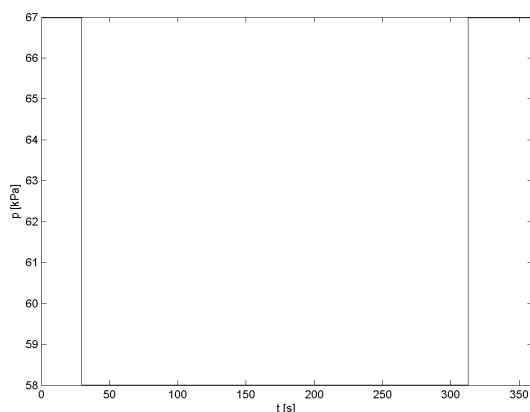
$$m = \frac{pV}{RT} \quad (4)$$

Objętość poszczególnych elementów instalacji zsumowano. Dla potrzeb modelowania przyjęto założenia, że powietrze jest gazem doskonałym a oddziaływanie otoczenia nie zmienia się (stała temperatura – 20°C i ciśnienie atmosferyczne – 100 kPa).

Badania symulacyjne

Dla wyznaczenia parametrów regulatora PID wykorzystano regułę Zieglera-Nicholsa. Polegała ona na badaniu opracowanego modelu zamkniętego układu regulacji z regulatorem typu P. Współczynnik wzmocnienia tego regulatora k_p był zwiększany do wartości, przy której układ regulacji znalazł się na granicy stabilności. Wówczas w odpowiedzi skokowej wystąpiły trwałe oscylacje. Zmierzono okres drgań tych oscylacji. Wynik eksperymentu pozwolił ustalić okres oscylacji T_g , który wynosi 0,07 oraz graniczną wartość współczynnika wzmocnienia k_g równą 18. Dla regulatora PID ustawiono następującą wartość parametrów: współczynnik wzmocnienia proporcjonalnego regulatora $k_p = 0,6 k_g$, stałą całkowania $T_i = T_g/2$ oraz stałą różniczkowania $T_d = T_g/8$. Wartości te dobrane zostały dla założeń: strumień masowy powietrza na wejściu modelu obiektu regulacji wynosi $Q_{mWE} = 6 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ (założona nieszczelność) a na wyjściu jest równy (Q_{mWY}) $100 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$.

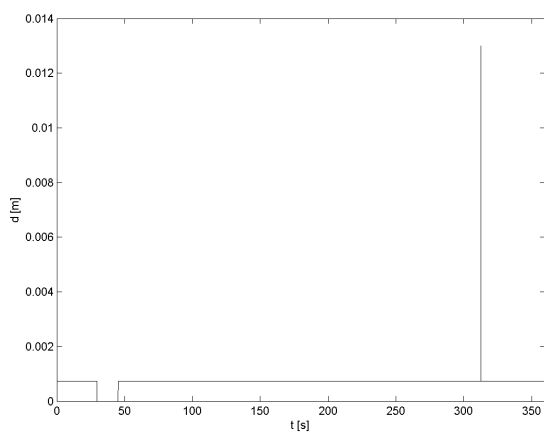
Celem badań symulacyjnych było sprawdzenie, czy zakłócenie – w postaci większej wartości strumienia masowego natężenia przepływu powietrza ($400 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) na wyjściu modelu badanego obiektu, nie spowoduje utraty stabilności układu. Przebieg symulacji był następujący: na wejście węzła sumującego (rys. 2) wprowadzono generowany według algorytmu przedstawionego na rys. 3 sygnał wartości zadanej – ciśnienie bezwzględne w autonomicznym aparacie udojowym (rys. 4).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Przebieg sygnału wartości zadanej
Fig. 4. Course of the set value signal

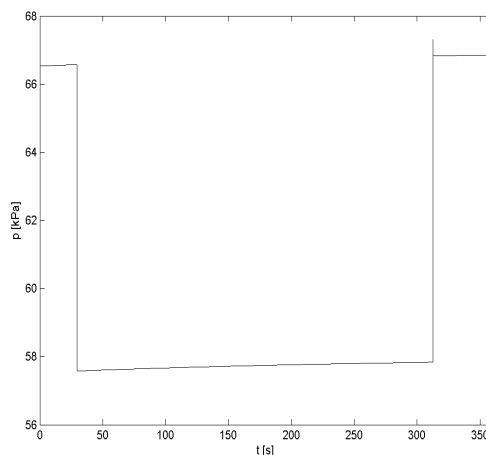
Przy zwiększonej wartości $Q_m = 400 \text{ l}$ stanowiącej zakłócenie, regulator PID wypracował sygnał sterujący podawany do elementu wykonawczego (zaworu) – powodujący określony stopień otwarcia zaworu wprowadzającego powietrze do instalacji (rys. 5).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Stopień otwarcia zaworu
Fig. 5. Degree of opening of the valve

Na wyjściu obiektu regulacji otrzymano przebieg ciśnienia w autonomicznym aparacie udojowym (rys. 6).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Zmiany ciśnienia w autonomicznym aparacie udojowym podczas regulacji
 Fig. 6. Changes of pressure in an autonomous milking apparatus during adjustment

Wykres obrazuje przebieg wielkości regulowanej w układzie automatycznej regulacji z regulatorem PID, którego nastawy dobrano podczas badań symulacyjnych. Można zaobserwować, że sygnał wyjściowy (p [kPa]) nie wpada w oscylacje. Należy zatem uznać, że przyjęte nastawy regulatora pozwalają na uzyskanie stabilnego przebiegu procesu sterowania.

Podsumowanie

Dobre nastawy regulatora PID pozwalają uzyskać stabilny przebieg procesu sterowania. Algorytm regulatora PID sterujący podciśnieniem gwarantuje utrzymanie jego wartości na zadanym poziomie. Wyniki symulacji komputerowej zilustrowane na wykresach zostaną wykorzystane w stabilizacji podciśnienia zasilającego autonomiczny aparat udojowy dla krów.

Bibliografia

- Juszka H.** 1998. Studia nad parametrami procesu ssania u cieląt w aspekcie nowych technik doju krów. Rozprawa habilitacyjna. Inżynieria Rolnicza. Nr 3(4). Warszawa. ISSN 1429-7264.
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.
- Juszka H., Lis S.** 2006. Modeling of subpressure changes in under-teat chambers of the milking apparatus for cows. Annual Review of Agricultural Engineering. Nr 5(1) Wyd. Abor. Warszawa. s. 157-163.
- Kupczyk A.** 1999. Doskonalenie warunków doju mechanicznego ze szczególnym uwzględnieniem podciśnienia w aparacie udojowym. Rozprawa habilitacyjna. Inżynieria Rolnicza. Nr 3(9) Warszawa. s. 1-114.
- Szlachta J., Wiercioch M.** 1996. Przepływ powrotny w zmodyfikowanych aparatach udojowych przy nieregularnych wahaniami podciśnienia. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Mechanizacja Rolnictwa. Wrocław. Nr 302. s. 23-30.

SUBATMOSPHERIC PRESSURE CONTROL IN AN AUTONOMOUS MILKING APPARATUS

Abstract. An algorithm of operation of the controller was elaborated with the use of an “if” conditional instruction for subatmospheric pressure control in an autonomous milking apparatus. An algorithm of the PID controller was used for control. The computer simulation was made in the MATLAB-Simulink® program. Results were illustrated in charts reflecting the nature of phenomena occurring in the controlled system.

Key words: mechanical milking of cows, subatmospheric pressure, modelling, control

Adres do korespondencji:

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