

LOGIKA ROZMYTA W STEROWANIU PODCIŚNIENIEM W AUTOMATYZOWANYM DOJU KRÓW

Henryk Juszka, Marcin Tomasik

Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. Przedstawiono koncepcję zastosowania logiki rozmytej do sterowania parametrami procesu doju krów. Stanowi ona pomocne narzędzie do modelowania procesów nieliniowych. Proponowany system sterowania ma odwzorowywać naturalny proces ssania strzyków przez cielę. Dokonano analizy i wyboru parametrów sterowania. Opracowano system sterowania w programie Matlab® z wykorzystaniem Fuzzy Logic Toolbox, zawarty w pliku FIS zawierającego reguły sterowania. Symulację komputerową przeprowadzono w Simulinku. Wyniki weryfikacji logicznej wskazały na prawidłowe działanie proponowanego systemu sterowania.

Słowa kluczowe: dój, kolektor, podciśnienie, sterowanie rozmyte

WSTĘP

Pomimo trwających od wielu lat badań dotyczących podciśnienia w aparacie udojowym nie udało się jak dotąd jasno sprecyzować, jaką powinno mieć wartość i jaki przebieg w poszczególnych fazach doju. Wiadomo natomiast, że naturalny proces ssania nie jest szkodliwy dla krowy. Zatem należy przy konstruowaniu maszyny dążyć do podobnego oddziaływania na krowę, jak to czyni cielę. Stąd, należy opracować takie sterowanie parametrami doju, aby jak najwierniej naśladowało ten proces [Juszka 1998].

Podstawowym zagadnieniem w konstruowaniu, czy też doskonaleniu dojarek jest problem dopasowania parametrów pracy do żywego organizmu, jakim są krowy, charakteryzujące się dużą zmiennością cech osobniczych w zakresie oddawania mleka. Kluczową rolę zajmuje tu podciśnienie. Od tego parametru zależą: ilość pozyskanego mleka, szybkość oddawania mleka, stan zdrowotny wymienia i całego organizmu krowy.

Analizując powyższe, stwierdzono nieliniowość naturalnego procesu ssania. Dlatego podjęto próbę opracowania modelu sterowania dojem z wykorzystaniem zbiorów rozmytych.

Adres do korespondencji – Corresponding Author: Henryk Juszka, Marcin Tomasik, Katedra Energetyki Rolniczej, Akademia Rolnicza w Krakowie, ul. Balicka 104, 30-149 Kraków ul. Stojałowskiego 37 m. 10, e-mail: henryk_juszka@interia.pl

Sterowanie rozmyte pozwala łatwo i skutecznie sterować procesami nieliniowymi [Kacprzyk 2001, Wachowicz 2002, Driankov i in. 1996]. Zagadnienie to należy rozpocząć od stworzenia modelu opisującego ten proces według wytycznych podanych w normach. Dopiero opracowanie takiego modelu, zakończone weryfikacją logiczną (symulacja komputerowa modelu), pozwala na przejście do dalszego etapu, którym jest jego rozwinięcie z odwzorowaniem naturalnego procesu ssania strzyka krowy przez cielę.

Cel pracy stanowiło opracowanie systemu sterowania rozmytego podciśnieniem w doju maszynowym krów i przeprowadzenie symulacji komputerowej takiego systemu sterowania. Symulację komputerową przeprowadzono na modelu procesu doju krów opracowanym i opisanym we wcześniejszych artykułach naukowych autorów [Juszka i in. 2005; Juszka i Tomasik 2004]. Najważniejszym elementem tego systemu jest plik FIS, zawierający algorytmy sterowania rozmytego. Stanowi on narzędzie do budowy kompleksowego systemu sterującego dojem krów.

Zakres pracy obejmował:

- opracowanie parametrów wejściowych (wymuszających) do modelu pod kątem logiki rozmytej,
- zaprogramowanie aplikacji sterującej w programie Matlab[®],
- symulację komputerową proponowanego systemu sterowania.

KONCEPCJA SYSTEMU STEROWANIA APARATEM UDOJOWYM Z AUTOMATYCZNĄ REGULACJĄ PODCIŚNIENIA

W celu opisanía właściwości dynamicznych obiektów sterowania stosuje się zazwyczaj modelowanie matematyczne. Ponieważ naturalny proces ssania strzyków krowy jest nieliniowy, podjęto próbę wykorzystania sterowania rozmytego.

Przedstawiona na rysunku 1 charakterystyka stanowiła bazę do przyjęcia sygnałów wejściowych dla opracowanego sterowania rozmytego. Sporządzono ją na podstawie badań Juski [1998] nad wartościami parametrów procesu pozyskiwania mleka od krów.

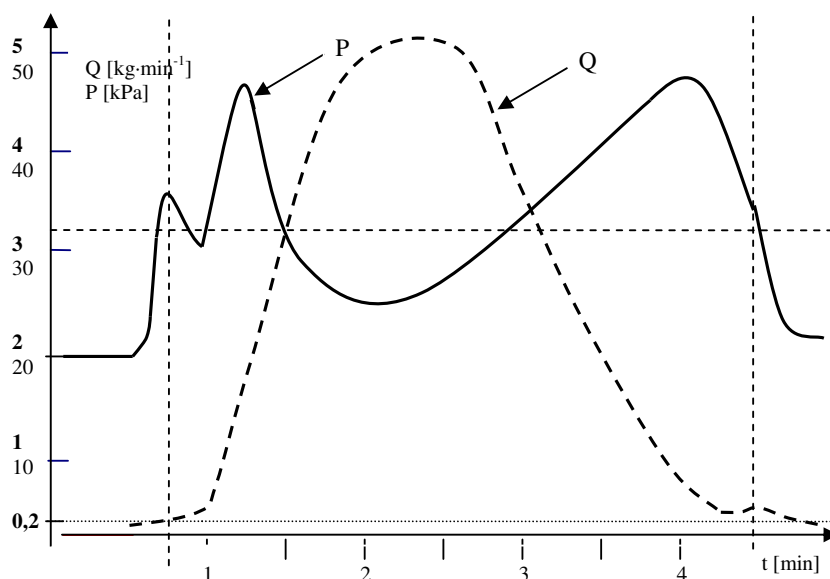
Opracowany w programie MATLAB[®] model automatycznego sterowania podciśnieniem uwzględnia dwie fazy procesu doju krów: rozdajanie i dój właściwy. Sygnały wejściowe do regulatora rozmytego oblicza model procesu doju krów. Wypracowane przez rozmyty regulator sygnały sterujące poprzez sprzężenie zwrotne wracają to tego modelu. Model wylicza nowe parametry procesu i ponownie przesyła je do regulatora rozmytego.

Podciśnienie P dla fazy rozdajania w kubkach udojowych obliczano z zakresu od 20 do 40 kPa dla zmierzonego chwilowego strumienia wypływu mleka Q (rys. 1). W czasie od 0 do 120 s od rozpoczęcia doju, czyli w fazie rozdajania podciśnienie, jakim operuje cielę podczas ssania zawiera się w przedziale od 0 kPa do 40 kPa [Juszka 1998]. Dla fazy rozdajania Q zawiera się w przedziale 0 do 0,2 kg·min⁻¹ [Wiercioch 1994].

Wyliczanie wartości podciśnienia, jako parametru sterującego realizowano na podstawie wprowadzonej bazy reguł.

Dla fazy rozdajania dokonano „rozmycia” natężenia wypływu mleka i podciśnienia. Dla natężenia wypływu mleka ze strzyka zbiór ten został podzielony na 3 podzbiory:

małych S ($0,02\text{--}0,06\text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$), średnich M ($0,06\text{--}0,14\text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$) i dużych B ($0,14\text{--}0,2\text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$) wartości. Wartość trendu określająca zmianę wypływu mleka Q w czasie, „rozmyta” została również w trzech podzbiorach M, S, B jest w przedziale przynależności do tych podzbiorów od 0 (w podzbiorze M, wypływ mleka o stałym natężeniu) do 1 (w podzbiorze B, wypływ mleka narasta z każdą sekundą $0,007\text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$). Wartość podciśnienia P jest sygnałem wyjściowym. Podzielono go na pięć podzbiorów: małych S ($18\text{--}23\text{ kPa}$), średnio małych SM ($23\text{--}29\text{ kPa}$), średnich M ($29\text{--}33\text{ kPa}$), średnio dużych MB ($33\text{--}35\text{ kPa}$) i dużych B ($35\text{--}40\text{ kPa}$) wartości.



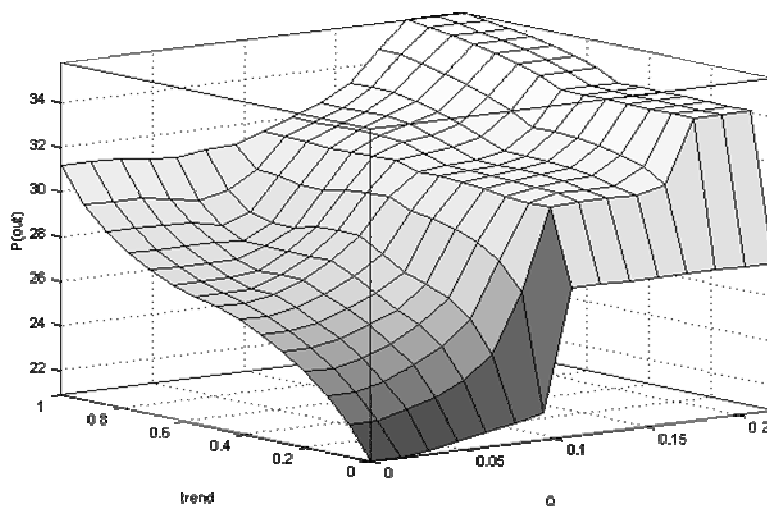
Rys. 1. Charakterystyka podciśnienia P i natężenia wypływu mleka Q w czasie t
Fig. 1. Characteristic of vacuum P and intensity of milk flowing Q in time t

Bazę reguł regulatora rozmytego przedstawiono w postaci rozmytych zdań warunkowych. W rozpatrywanym przypadku przyjmuje następującą postać:

1. If (Q = S) and (trend= S) then (P = S).
2. If (Q = S) and (trend= M) then (P = SM).
3. If (Q = S) and (trend= B) then (P = M).
4. If (Q = M) and (trend= M) then (P = M).
5. If (Q = M) and (trend= B) then (P = M).
6. If (Q = B) and (trend= M) then (P = MB).
7. If (Q = B) and (trend= B) then (P = B).

Przykładowe objaśnienie piątego punktu bazy reguł: IF (natężenie wypływu mleka Q = M – średnie) AND (wypływ mleka zwiększa się z każdą sekundą o ok. $0,007\text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$ Trend = B – duże) THEN (podciśnienie w kubku udojowym P = M – średnie).

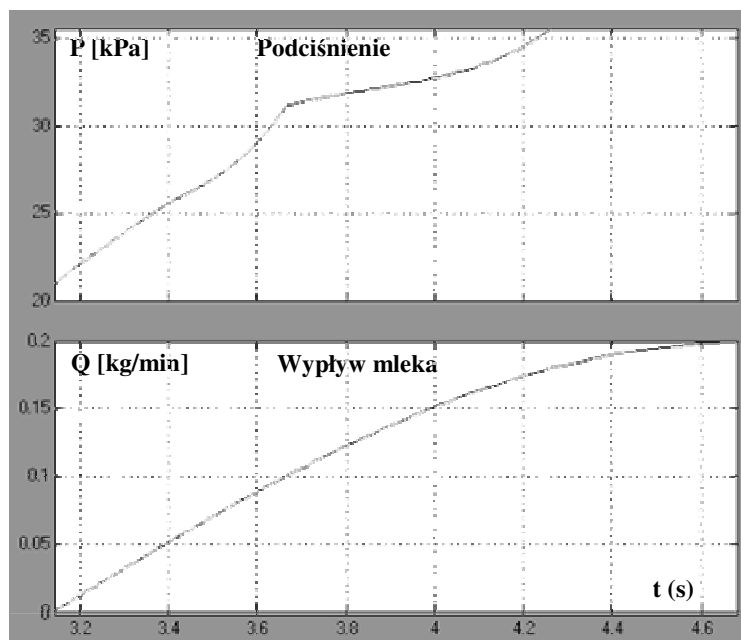
Zamieszczona na rysunku 2 charakterystyka jest przestrzennym odwzorowaniem bazy reguł dla rozdajania. Przedstawia zależność sygnału sterującego (P) od sygnałów wejściowych (Q, trend).



Rys. 2. Przestrzenne odwzorowanie bazy reguł regulatora rozmytego dla fazy rozdajania
Fig. 2. Three-dimensional representation of the base of fuzzy regulator rules for first milking phase

Ostatnim etapem modelowania rozmytego jest defuzyfikacja. Program Matlab[®] oblicza konkretną wartość podciśnienia dla danego wypływu mleka. W nakładce Simulink[®] dokonano logicznej weryfikacji działania tak zaprogramowanego regulatora rozmytego. Na wejściu zadano sygnał obrazujący wypływ mleka ze strzyka krowy w fazie rozdajania. W odpowiedzi otrzymano generowany sygnał podciśnienia, zmieniający się wraz z natężeniem wypływu mleka. Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku 3. Wykres A przedstawia sygnał wyjściowy – podciśnienie P zależne od dwóch sygnałów wejściowych – natężenia wypływu mleka Q (wykres B) i trendu.

Dój właściwy rozpoczyna się, gdy natężenie wypływu mleka Q przekroczy wartość $0,2 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$. W tej fazie procesu doju podciśnienie dobierane jest z zakresu 20–55 kPa, a natężenie wypływu mleka $0,2\text{--}6 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$. Podobnie jak w rozdajaniu podciśnienie w kubku udojowym dobierane jest w zależności od natężenia wypływu mleka ze strzyka Q. Wprowadzony parametr „trend” przyjmuje wartości od -1 do 1. W tej fazie możemy mieć do czynienia ze spadkiem wypływu (wartość ujemna lub ze wzrostem – dodatnia). Przyjęto, że wartość ta może się zmieniać w każdej sekundzie o $0,06 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$. Dla trendu „0” wypływ mleka ze strzyka jest stały.



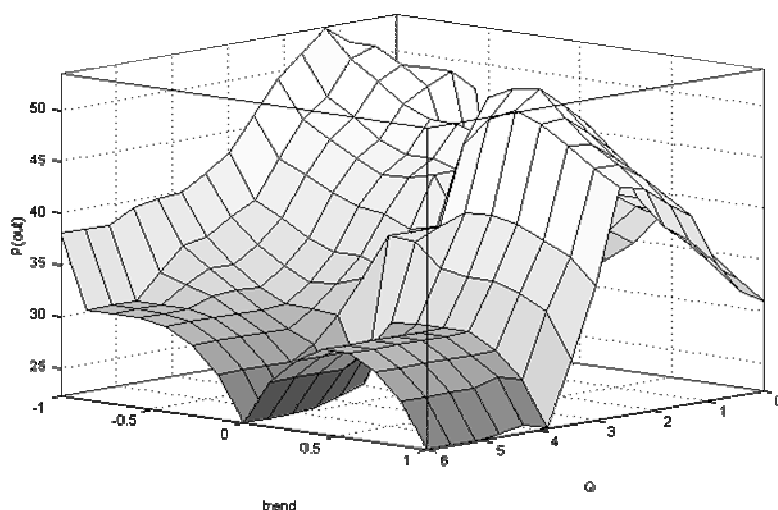
Rys. 3. Wyniki symulacji pracy systemu sterowania podciśnieniem w fazie rozdajania
 Fig. 3. Results of the simulation when the system of vacuum control in first phase is working

Przed przedstawieniem bazy reguł dokonano fuzyfikacji sygnałów wejściowych. Wartości natężenia wypływu mleka Q w tej fazie zawierają się w przedziale od 0,2 do 6 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$. Zbiór ten został podzielony na 5 podzbiorów: małych S (0,2–0,7 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$), średnio małych SM (0,7–1,8 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$), średnich M (1,8–3,1 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$), średnio dużych MB (3,1–4,3 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$) i dużych B (4,3–6,0 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$) wartości. Wartości „Trendu” rozmyto wg następującego algorytmu: NB (wypływ mleka narasta z każdą sekundą od -1,0 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ do -0,7 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ – spadek natężenia wypływu mleka), NM (od -0,7 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ do 0 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$), Z (zerowy), PM (od 0 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ do 0,7 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$), PB (od 0,7 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ do 1 $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$). Podciśnienie przydzielono do następujących podzbiorów: małych S (18–26 kPa), średnio małych SM (26–37 kPa), średnich M (37–44 kPa), średnio dużych MB (44–50 kPa) i dużych B (50–58 kPa). Zasadę doboru podciśnienia przez system sterujący przedstawiono w postaci bazy reguł. W rozpatrywanym przypadku przyjmuje ona następującą postać:

1. If ($Q = S$) and (trend = PM) then ($P = M$).
2. If ($Q = S$) and (trend = PB) then ($P = SM$).
3. If ($Q = SM$) and (trend = PM) then ($P = MB$).
4. If ($Q = SM$) and (trend = PB) then ($P = M$).
5. If ($Q = M$) and (trend = PM) then ($P = B$).
6. If ($Q = M$) and (trend = PB) then ($P = MB$).
7. If ($Q = MB$) and (trend = PM) then ($P = SM$).

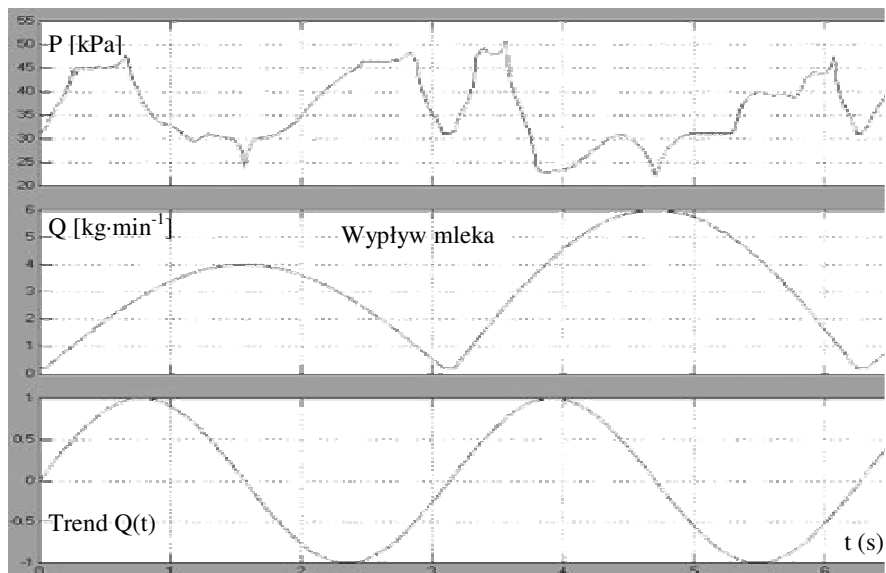
8. If (Q = MB) and (trend = PB) then (P = S).
9. If (Q = B) and (trend = PB) then (P = S).
10. If (Q = B) and (trend = PM) then (P = SM).
11. If (Q = B) and (trend = Z) then (P = S).
12. If (Q = B) and (trend = NM) then (P = SM).
13. If (Q = MB) and (trend = NB) then (P = M).
14. If (Q = MB) and (trend = NM) then (P = SM).
15. If (Q = M) and (trend = NM) then (P = M).
16. If (Q = M) and (trend = NB) then (P = MB).
17. If (Q = SM) and (trend = NM) then (P = MB).
18. If (Q = SM) and (trend = NB) then (P = B).
19. If (Q = S) and (trend = NB) then (P = MB).
20. If (Q = S) and (trend = Z) then (P = SM).

Na rysunku 4 zamieszczono płaszczyznę sygnału sterującego zależnego od parametrów wejściowych i bazy reguł.



Rys. 4. Przestrzenne odwzorowanie bazy reguł regulatora rozmytego dla doju właściwego
Fig. 4. Three-dimensional representation of the base of fuzzy regulator rules for milking

Prezentowany system sterowania rozmytego doju zweryfikowano logicznie w Simulinku[®]. Układ symulacji składał się z przedstawionego w niniejszej pracy regulatora rozmytego oraz wspomnianego modelu doju krów, zamieszczonego w podanych wyżej publikacjach autorów. Wyniki symulacji w postaci trzech wykresów przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Charakterystyka czasowa $f(Q, \text{trend}) = P$ dla trendu
 Fig. 5. Time characteristics $f(Q, \text{trend}) = P$ for trend

Pierwszy od góry przedstawia sygnał wyjściowy, czyli podciśnienie P . Jego wartość została ustalona przez dwa sygnały wejściowe, czyli Q (wykres środkowy) i trend, jako natężenie wypływu mleka w czasie (wykres dolny). Na podstawie danych wejściowych wyznaczono nieliniową charakterystykę zmian podciśnienia. Symulacja ta przeprowadzona została dla ekstremalnych zmian wartości wejściowych, dlatego obserwowane są szybkie zmiany podciśnienia. W procesie doju, tak ekstremalne zmiany wypływu mleka nie zachodzą, dlatego nie będą występować takie duże zmiany podciśnienia. Potwierdziły to wyniki symulacji. Względę objętościowe artykułu nie pozwoliły na zamieszczenie pozostałych wyników badań.

Podsumowując należy stwierdzić, iż konieczne jest opracowanie regulatora rozmytego dla procesu pulsacji, następnie weryfikacja logiczna jego działania i ostatecznie weryfikacja empiryczna całego systemu sterowania.

WNIOSKI

1. Wyniki badań symulacyjnych wskazały, że jest możliwe zastosowanie sterowania rozmytego podciśnieniem w doju maszynowym krów.

2. System sterowania rozmytego płynnie dostosowuje wartość sygnału podciśnienia do zmieniającego się natężenia wypływu mleka.

3. Struktura modeli opracowanych na bazie logiki rozmytej pozwala na elastyczne dopasowywanie regulatora rozmytego do cech osobniczych krów w zakresie oddawania mleka poprzez modyfikację reguł.

4. Logika rozmyta pozwala na skuteczne modelowanie procesów nie liniowych, co zostało udowodnione na przykładzie modelu sterowania wielkością parametru podciśnienia.

PIŚMIENNICTWO

- Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M., 1996. Wprowadzenie do sterowania rozmytego. WNT, Warszawa.
- Kacprzyk J., 2001. Wieloetapowe sterowanie rozmyte. WNT, Warszawa.
- Juszka H., 1998. Studia nad parametrami procesu ssania u cieląt w aspekcie nowych technik doju krów. Inż. Roln. Wyd. PTIR, Warszawa, II, 3(4), 109–113.
- Juszka H., Tomasik M., 2004. Symulacja komputerowa sterowania pulsatorem. Prob. Inż. Roln. 3(45), 67–76.
- Juszka H., Lis S., Tomasik M., 2005. Modelowanie matematyczne systemu sterowania aparatem udojowym. Materiały konferencyjne. VIII Międz. Konf. Nauk. nt. Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej, 259–261.
- Wachowicz E., 2002. Zastosowanie teorii zbiorów rozmytych do modelowania procesów technologicznych. Inż. Roln. 7(40), 5–17.
- Wiercioch M., 1994. Przepływy w kubku udojowym dojarki mechanicznej. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Rozprawy CXXX. 260, 7–21.

THE FUZZY LOGIC IN CONTROLLING VACUUM IN AUTOMATIC COW MILKING

Summary. It was shown the using fuzzy logic in control parameters of the cow milking process. It was made the analysis and selection control parameters. It was studied the control system in Matlab® with using Fuzzy Logic Toolbox. The result is FIS file which includes control rules. The computer simulation was carried out in Simulink. Logic verification result showed that proposed control system is working correct.

Key words: milking, collector, vacuum, fuzzy control

Praca naukowa finansowana ze środków KBN w latach 2002–2005 jako projekt badawczy

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.11.2005