

BLOK FUNKCYJNY „FUZZY LOGIC” W STEROWANIU PLC AUTONOMICZNYM APARATEM UDOJOWYM*

Marcin Tomasik, Henryk Juszka, Stanisław Lis

Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono system sterujący autonomicznym aparatem udojowym zrealizowany na sterowniku PLC z wykorzystaniem bloków funkcyjnych Fuzzy Logic. Celem pracy było opracowanie aplikacji sterującej autonomicznym aparatem udojowym oraz systemem sterowania ciśnieniem w komorze podstrzykowej kubka udojowego. Zastosowanie logiki rozmytej do sterowania ciśnieniem umożliwia płynną zmianę jego wartości, bazując na zapisie relacji wejścia i wyjścia przedstawionych zdaniami warunkowymi opisującymi požądane zmiany ciśnienia w komorze podstrzykowej kubka udojowego.

Słowa kluczowe: aparat udojowy, logika rozmyta, sterownik PLC

Wstęp

Logika rozmyta w automatyzacji procesów technologicznych, pozwala osiągnąć bardzo dobre efekty sterowania [Wachowicz 2002]. Znajduje ona zastosowanie w systemach sterowania, gdzie klasyczna logika prawda/fałsz nie potrafi skutecznie poradzić sobie z wieloma niejednoznacznościami i sprzecznościami [Kościelny 2001]. Logika rozmyta jest coraz częściej wykorzystywana w elektronicznych systemach sterowania, eksploracji baz danych, budowie systemów ekspertowych. Posiadaną wiedzę o procesie maszynowym doju krów oraz naturalnym procesie ssania wykorzystano do zaprogramowania systemu sterowania autonomicznym aparatem udojowym metodami logiki rozmytej [Ewy 1989; Jędrus, Lipiński 2008].

Celem pracy było opracowanie aplikacji sterującej autonomicznym aparatem udojowym przy użyciu bloku funkcyjnego „fuzzy logic” sterownika PLC. Zakres prac obejmował modernizację aplikacji sterującej pracą autonomicznego aparatu udojowego, parametryzację i zaprogramowanie bloku fuzzy logic oraz weryfikację działania programu sterującego [Juszka i in. 2011b].

Sterowanie autonomicznym aparatem udojowym

Sterowanie procesem doju oparto na wynikach badań symulacyjnych modelu autonomicznego aparatu udojowego prowadzonych przez autorów. Przejście pomiędzy poszczególnymi fazami doju krów tj: rozdajanie, dój właściwy oraz podój, zostało rozmyte celem

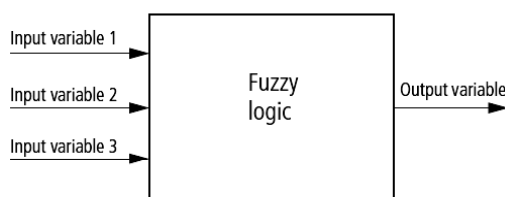
* *Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2011 jako projekt badawczy N N313 154435.*

eliminacji skokowych zmian ciśnienia absolutnego w komorze podstrzykowej kubka udojowego. Wartość tego ciśnienia jest obliczana w funkcji chwilowego natężenia wypływu mleka oraz trendu zmian tego natężenia [Lis i in. 2010].

Sterownik PLC pracuje w czasie rzeczywistym. Realizacja procesu sterowania autonomicznym aparatem udojowym zależy od wyników operacji arytmetyczno-logicznych wykonanych dla aktualnych wartości wejść sterownika i od zaprogramowanej bazy reguł opisującej korelację pomiędzy chwilowym natężeniem wypływu mleka, a zalecanym ciśnieniem panującym w komorach podstrzykowych kubków udojowych.

Rozszerzona architektura PLC pozwala na sterowanie z wykorzystaniem logiki rozmytej. Coraz częściej jest ona dostępna w postaci bloków funkcyjnych lub bibliotek. Innym sposobem jest stworzenie własnego systemu sterującego z poziomu programu Matlab®-Simulink i Toolbox FuzzyLogic Kontroler [Juszka, Lis 2009]. Poprzez kanały komunikacji OPC lub DDE można przesyłać obliczone wartości analogowych sygnałów sterujących do sterownika PLC. W badaniach własnych nad sterowaniem autonomicznym aparatem udojowym testowane są obydwa rozwiązania. Zastosowanie sterownika PLC do sterowania autonomicznym aparatem udojowym niesie ze sobą duże możliwości nie tylko sterownicze, ale również archiwizację danych, kreowanie raportów, generowanie alarmów.

Istota działania regulatora rozmytego - fuzzy logic controller polega na opisaniu przy pomocy bazy reguł relacji pomiędzy wejściami obiektu (Input variable), a wyjściem (Output variable) (rys. 1).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Ogólny schemat regulatora rozmytego dla PLC
Fig. 1. General scheme of the fuzzy controller for PLC

Reguły zapisywane przy pomocy zdań warunkowych IF-THEN, przedstawiają zależności pomiędzy wyjściem (Output variable) a wejściem (Input variable), te z kolei są wyznaczone doświadczalnie w określonych punktach pomiarowych.

Sterowanie automatyczne czterech aparatów udojowych pracujących niezależnie, pozwoli dostarczyć ciśnienie do komór podstrzykowych dopasowane do aktualnego natężenia wypływu mleka ze strzyków wymienia krowy.

Najważniejszym elementem tego systemu jest sterownik mikroprocesorowy wyposażony w biblioteki z blokami funkcyjnymi „fuzzy logic”. Wywołany w programie sterującym blok funkcyjny fuzzy logic otrzymuje dwie informacje wejściowe tj. chwilowe objętościowe natężenie wypływu mleka Q_m oraz trend jako różnicę pomiędzy dwoma kolejnymi jego pomiarami (rys. 2).

Blok funkcyjny...

a)

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     zbiornik: UINT;
0004     zbiornik_A: UINT;
0005     zbiornik_B: UINT;
0006     licznik_napelnien AT %MB10: BYTE;
0007     zamkniecie_komory_A AT %QX0.0: BOOL;
0008     zamkniecie_zaworu_C AT %QX0.3: BOOL;
0009     zamkniecie_komory_B AT %QX0.1: BOOL;
0010     zamkniecie_zaworu_D AT %QX0.2: BOOL;
0011     otwarcie_komory_A AT %QX0.3: BOOL;
0012     otwarcie_komory_B AT %QX0.2: BOOL;
0013     otwarcie_zaworu_C AT %QX0.0: BOOL;
0014     otwarcie_zaworu_D AT %QX0.1: BOOL;
0015     Przetwornik_podcisnienia: REAL;
0016     Wezel_sumujacy: REAL;
0017     Zadajnik: REAL;
0018     Zawor: REAL;
0019     Qm: REAL; (*natezenie wyplywu [dm^3/s]*)
0020     p: REAL;
0021     h: REAL; (*poziom cieczy [dm]*)
0022     d: REAL; (*pole powierzchni [dm^2]*)
0023     V: REAL; (*objetosc [dm^3]*)
0024     t: REAL; (*czas [s] *)
0025 END_VAR

```

b)

```

0001 zbiornik:= zbiornik +1;
0002 IF zbiornik = 100 THEN
0003     zbiornik:= 0;
0004     licznik_napelnien:=licznik_napelnien+1;
0005 END_IF
0006
0007 zbiornik_A := zbiornik;
0008 zbiornik_B = zbiornik;
0009
0010 IF zbiornik_A < 50
0011 THEN zamkniecie_komory_A:= TRUE;
0012 ELSE zamkniecie_komory_A:=FALSE;
0013 END_IF
0014
0015 IF zbiornik_B > 50
0016 THEN zamkniecie_komory_B:= TRUE;
0017 ELSE zamkniecie_komory_B:=FALSE;
0018 END_IF
0019
0020 IF zbiornik_A < 50
0021 THEN zamkniecie_zaworu_D:= TRUE;
0022 ELSE zamkniecie_zaworu_D:=FALSE;
0023 END_IF
0024
0025 IF zbiornik_B > 50
0026 THEN zamkniecie_zaworu_C:= TRUE;
0027 ELSE zamkniecie_zaworu_C:=FALSE;
0028 END_IF
0029
0030 Przetwornik_podcisnienia:=1;
0031 Wezel_sumujacy:= p - Przetwornik_podcisnienia;
0032 h:= 5; (*z czujnika [dm]*)
0033 d:=0.09; (*[dm^3]*)
0034 V:= d * h; (*[dm^3]*)
0035 t:=0.5; (*[s]*)
0036 Qm:= V / t; (*[dm^3/s]*)
0037
0038 IF Qm > 0.0008 THEN (* zadawane natezenie kg/s *)
0039     p:= 67; (*cisnienie bezwzgleadne zadane, kPa*)

```

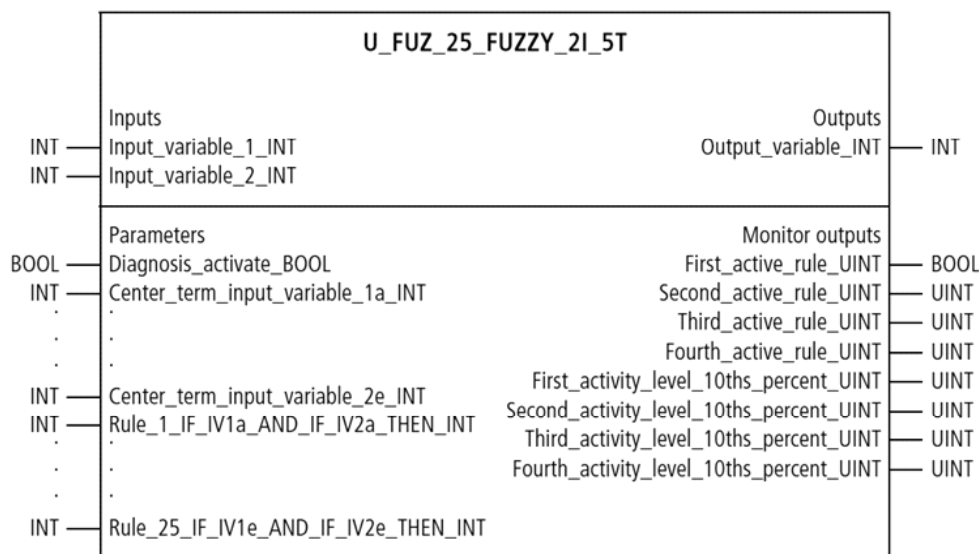
Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Program sterujący sekcją aparatu udojowego: a) deklaracja zmiennych, b) sterowanie i obliczanie wartości pomocniczych

Fig. 2. Control programme of milking unit section: a) variables declaration, b) supplementary value control and calculation

Do zaprogramowania logiki sterującej ciśnieniem posłużono się blokiem funkcyjnym U_FUZ_25_FUZZY_2I_5T, zawierającym 25 reguł sterujących, 2 wejścia, przy czym każde jest rozmywane na pięć podzbiorów przynależności (rys. 3). Przykładową regułę zamieszczono poniżej:

If (Qm = SM) and (trend= PB) then (P = M), którą należy interpretować następująco:
 IF (Natężenie wypływu mleka Qm = średnio małe SM)
 AND (Wypływ mleka zwiększa się z każdą sekundą o ok. 0,1 dm³·min⁻¹, a więc Trend =
 dodatni duży PB)
 THEN (ciśnienie w kubku udojowym = średnie SM)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Blok funkcyjny fuzzy logic sterownika PLC
 Fig. 3. The fuzzy logic functional block of the PLC controller

Na rys. 4 zamieszczono kompletny zapis deklaracji wszystkich zmiennych tego bloku (4 zmienne, od VAR do END_VAR) oraz parametryzację (CAL) procesu rozmywania, 25 reguł i wyznaczanie wartości sterującej. Założono, że blok fuzzy będzie wyznaczał pożądaną wartość ciśnienia w komorze podstrzykowej kubka udojowego, a następnie wartość ta będzie wprowadzana do regulatora PID jako wartość zadana. Zadaniem regulatora PID jest stabilizacja wartości tego ciśnienia wokół wartości zadanej [Juszka i in. 2011a]. Widoczne wartości przypisane poszczególnym regułom wynikają z działania przetwornika analogowo cyfrowego, kodowania sygnału liczbami całkowitymi.

Wykres przestrzenny przedstawiający płaszczyznę obliczonych sterowań zamieszczono na rys. 5. Regulator rozmyty wyznacza płynnie wartości sterujące dla każdej wartości wejściowej pomimo, że posiada tylko 25 zdefiniowanych zdań warunkowych. Tym samym potwierdzona została hipoteza, że zastosowanie logiki rozmytej pozwoli płynnie sterować wytwarzaniem ciśnienia w komorze podstrzykowej kubka udojowego. Obecnie autorzy

Blok funkcyjny...

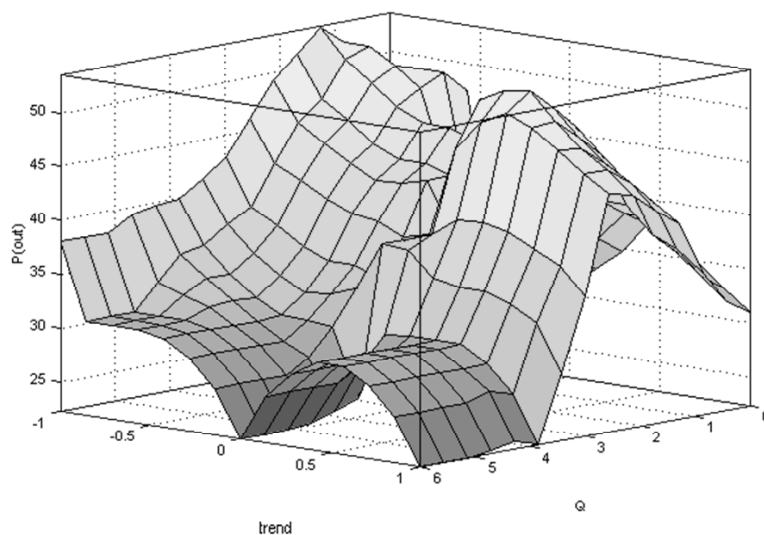
prowadzą pracę nad konstrukcją układu regulacji ciśnienia realizującą przedstawione w tym artykule założenia systemu sterowania.

```
PROGRAM Fuzzy_P
VAR
    Fuzzy_proportional_rate_adjustment : U_FUZ_25_FUZZY_21_ST ;
    PID_CONTROLLER_1 : U_PID_CONTROLLER ;
    Disturbance1_10ths_percent : INT :=150 ;
    Disturbance2_10ths_percent : INT :=3250 ;
END_VAR

CAL Fuzzy_proportional_rate_adjustment(
    Input_variable_1_INT :=disturbance1_10ths_percent,
    Input_variable_2_INT :=disturbance2_10ths_percent,
    Diagnosis_activate_BOOL :=0,
    Center_term_input_variable_1a_INT :=100,
    Center_term_input_variable_1b_INT :=300,
    Center_term_input_variable_1c_INT :=700,
    Center_term_input_variable_1d_INT :=1500,
    Center_term_input_variable_1e_INT :=3100,
    Center_term_input_variable_2a_INT :=1000,
    Center_term_input_variable_2b_INT :=2000,
    Center_term_input_variable_2c_INT :=3000,
    Center_term_input_variable_2d_INT :=4000,
    Center_term_input_variable_2e_INT :=5000,
    Rule_1_IF_IV1a_AND_IF_IV2a_THEN_INT :=0,
    Rule_2_IF_IV1a_AND_IF_IV2b_THEN_INT :=75,
    Rule_3_IF_IV1a_AND_IF_IV2c_THEN_INT :=75,
    Rule_4_IF_IV1a_AND_IF_IV2d_THEN_INT :=0,
    Rule_5_IF_IV1a_AND_IF_IV2e_THEN_INT :=100,
    Rule_6_IF_IV1b_AND_IF_IV2a_THEN_INT :=0,
    Rule_7_IF_IV1b_AND_IF_IV2b_THEN_INT :=75,
    Rule_8_IF_IV1b_AND_IF_IV2c_THEN_INT :=75,
    Rule_9_IF_IV1b_AND_IF_IV2d_THEN_INT :=0,
    Rule_10_IF_IV1b_AND_IF_IV2e_THEN_INT :=100,
    Rule_11_IF_IV1c_AND_IF_IV2a_THEN_INT :=25,
    Rule_12_IF_IV1c_AND_IF_IV2b_THEN_INT :=0,
    Rule_13_IF_IV1c_AND_IF_IV2c_THEN_INT :=0,
    Rule_14_IF_IV1c_AND_IF_IV2d_THEN_INT :=0,
    Rule_15_IF_IV1c_AND_IF_IV2e_THEN_INT :=0,
    Rule_16_IF_IV1d_AND_IF_IV2a_THEN_INT :=0,
    Rule_17_IF_IV1d_AND_IF_IV2b_THEN_INT :=0,
    Rule_18_IF_IV1d_AND_IF_IV2c_THEN_INT :=50,
    Rule_19_IF_IV1d_AND_IF_IV2d_THEN_INT :=50,
    Rule_20_IF_IV1d_AND_IF_IV2e_THEN_INT :=0,
    Rule_21_IF_IV1e_AND_IF_IV2a_THEN_INT :=25,
    Rule_22_IF_IV1e_AND_IF_IV2b_THEN_INT :=0,
    Rule_23_IF_IV1e_AND_IF_IV2c_THEN_INT :=50,
    Rule_24_IF_IV1e_AND_IF_IV2d_THEN_INT :=50,
    Rule_25_IF_IV1e_AND_IF_IV2e_THEN_INT :=0,
    Output_variable_INT:=57,
    Parameterization_fault_BOOL=>0,
    First_active_rule_UINT=>3,
    Second_active_rule_UINT=>4,
    Third_active_rule_UINT=>8,
    Fourth_active_rule_UINT=>9,
    First_activity_level_10ths_percent_UINT=>562,
    Second_activity_level_10ths_percent_UINT=>187,
    Third_activity_level_10ths_percent_UINT=>187,
    Fourth_activity_level_10ths_percent_UINT=>62)
LD Fuzzy_proportional_rate_adjustment.Output_variable_INT
INT_TO_UINT
ST PID_CONTROLLER_1.Proportional_rate_percent_UINT
END PROGRAM
```

Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Parametryzacja bloku fuzzy w programie sterującym
Fig. 4. Fuzzy block parameterization in the control programme



Rys. 5. Zależność sygnału wyjściowego ciśnienia roboczego w komorze podstrzykowej – P od sygnałów wejściowych natężenia wypływu mleka Q i jego trendu zmian

Fig. 5. Dependence of the output alarm of the working pressure in a under-teat chamber – P on the input alarms of the milk flow intensity Q and its trend of changes

Podsumowanie

Zastosowanie sterowania rozmytego pozwoli na płynne wyznaczanie wartości ciśnienia odpowiednio do natężenia wypływu mleka ze strzyka i czasu doju. Zmiany sterujące ciśnieniem zachodzą łagodnie w czasie i nie występują gwałtowne skoki ich wartości. Testy programu na sterowniku PLC pozwoliły na weryfikację programu sterującego oraz potwierdziły ich przydatność w zakresie sterowania maszynowym dojem krów.

Bibliografia

- Ewy Z. 1989. Zarys fizjologii zwierząt. PWN. Warszawa. ISBN 83-01-07085-4.
- Jędrus A., Lipiński M. 2008. Analiza funkcjonalna nowego aparatu udojowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 4(102). Kraków. s. 337-345.
- 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. 2011a. Validation of a model of the negative pressure set value signal formation in the cow machine milking. Journal of research and applications in agricultural engineering. Vol. 56 (2). s. 68-71.
- Juszka H., Tomasik M., Lis S., Haczyk G. 2011b. Sterowanie logiczne z regulacją PID podciśnieniem w aparacie udojowym. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1(71). Warszawa. s. 87-94.

Blok funkcyjny...

Kościelny J. 2001. Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa. ISBN 83-87674-27-3.

Lis. S., Juszka H., Tomasik M. 2010. Sterowanie podciśnieniem w autonomicznym aparacie udojowym. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(123). Kraków. s. 129-135.

Wachowicz E. 2002. Zastosowania teorii zbiorów rozmytych do modelowania procesów technologicznych. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(40). Warszawa. s. 5-17.

"FUZZY LOGIC" FUNCTIONAL BLOCK IN THE PLC CONTROL OF THE AUTONOMOUS MILKING UNIT

Abstract. The study presents a control system of the autonomous milking unit mounted to the PLC controller with the use of the Fuzzy Logic functional blocks. The purpose of the study was to compile the controlling application system of the autonomous milking unit and the controlling system of pressure in an under-teat chamber of a teat cup. Application of the fuzzy logic for pressure control enables fluent change of its value based on the report of input and output presented with conditional sentences describing required pressure changes in an under-teat chamber of a teat cup.

Key words: milking unit, fuzzy logic, PLC controller

Adres do korespondencji:

Henryk Juszka email: Henryk.Juszka@ur.krakow.pl
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków