

Henryk Juszka, Marcin Tomasik, Stanisław Lis, Grzegorz Haczyk  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych

## STEROWANIE LOGICZNE Z REGULACJĄ PID PODCIŚNIENIEM W APARACIE UDOJOWYM

### Streszczenie

Przedstawiono system regulacji podciśnienia ssącego w aparacie udojowym regulatorem PID. System sterowania oblicza wartość regulowanego podciśnienia ssącego (wartość zadana dla regulatora PID), zależną od natężenia wypływu mleka ze strzyka krowy. Algorytm sterujący zaprogramowano w programie CoDeSys na sterowniku PLC Moeller. Wyniki badań doświadczalnych wykazały poprawną logikę działania systemu sterowania.

**Słowa kluczowe:** aparat udojowy, regulacja podciśnienia, sterownik PLC

### Wstęp

Relacja podciśnienia w komorze podstrzykowej kubka udojowego z natężeniem wypływu mleka z ćwiartki wymienia krów znacząco wpływa na ilość i jakość pozyskiwanego mleka. Stanowi ona podstawę automatycznego sterowania autonomicznym aparatem udojowym, którego zadaniem jest dostosowanie parametrów doju maszynowego do cech osobniczych krów [Juszka, Tomasik 2005].

Wartość i stabilizacja podciśnienia w aparacie udojowym mają decydujący wpływ na przebieg procesu doju krów i odgrywają znaczącą rolę w jego doskonaleniu, ponieważ regularne i nieregularne wahania podciśnienia, powodujące nagłe zmiany przepływu powietrza w instalacji udojowej, są dużym zagrożeniem dla ogólnego stanu zdrowia wymion krów [Szlachta, Wiercioch 1988].

W Katedrze Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie trwają prace nad autonomicznym aparatem udojowym o nowej konstrukcji kolektora z niezależnymi pomiarami natężenia wypływu mleka z każdego strzyka i rozdziałem podciśnienia transportowego od ssącego [Juszka i in. 2007].

---

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

Celem pracy było opracowanie aplikacji sterującej podciśnieniem ssącym w autonomicznym aparacie udojowym za pomocą sterownika mikroprocesorowego PLC z algorytmem regulacji PID.

### **Program sterujący podciśnieniem w kolektorze udojowym**

Program CoDeSys służy do programowania sterowników mikroprocesorowych i umożliwia zastosowanie niestandardowych bloków funkcjonalnych, zawierających m.in. logikę rozmytą. Oprogramowanie CoDeSys zgodne z IEC 61131-3 umożliwia użytkownikowi tworzenie programów za pomocą schematu drabinkowego (LD), bloków funkcjonalnych (FDB), listy rozkazów (IL), tekstu strukturalnego (ST) i sekwencyjnego schematu funkcjonalnego (SFC). CoDeSys ma narzędzie do wizualizacji, które umożliwia tworzenie grafiki obiektowej oraz jej animację sterowaną zmiennymi. Zmienne mają format zgodny z IEC 61131-3 [Kwaśniewski 1999].

Algorytm programu (rys. 1) wyznacza sygnał zadanego podciśnienia ssącego w zależności od sygnału analogowego z czujnika natężenia wypływu mleka ze strzyka. Na początku zostały zadeklarowane wszystkie zmienne, niezbędne do wykonywania zadań w programie. W skład zmiennych wchodzi również zmienne bloku funkcjonalnego regulatora PID (rys. 2). Aby skorzystać z algorytmu regulacji PID należy z bibliotek programu CoDeSys wybrać bibliotekę util.lib (regulatory), w skład której wchodzi m.in. regulator PID. Zmienna ACTUAL stanowi wartość rzeczywistą wielkości regulowanej (podciśnienia ssącego). Do zmiennej SET\_POINT przypisano wartość podciśnienia w komorze podstrzykowej, obliczoną na podstawie chwilowego natężenia wypływu mleka z ćwiartki wymienia krowy. Współczynniki KP, TN i TV są odpowiedzialne za charakterystykę reakcji regulatora na wartość błędu regulacji.

### **Analiza pracy programu regulacji podciśnienia**

Analiza pracy programu składała się z dwóch etapów. W pierwszym etapie sprawdzono logikę działania samego programu oraz doświadczalnie wyznaczono charakterystyki statyczne regulatora PID dla określonych jego nastaw. W drugim etapie przeprowadzono kontrolę rzeczywistego programu sterującego pod kątem dynamiki jego pracy oraz stabilizacji podciśnienia wokół wartości zadanej.

Pulpit sterowania regulatorem PID (rys. 3) umożliwia podgląd wartości zadawanej podciśnienia w komorze podstrzykowej autonomicznego aparatu udojowego, wyznaczanej przez inny algorytm programu [Juszka i in. 2007]. Dodatkowo jest wyświetlana aktualna wartość podciśnienia, mierzona przez czujnik umieszczony w komorze podstrzykowej. Dla wygody obsługi wprowadzono możliwość zadawania parametrów współczynnika proporcji, czasu całkowania oraz czasu różniczkowania.

a)	b)
<pre> 0001 PROGRAM PLC_PRG 0002 VAR 0003   zbiornik: UINT; 0004   zbiornik_A: UINT; 0005   zbiornik_B: UINT; 0006   licznik_napełnienia AT %MB10: BYTE; 0007   zamknięcie_zaworu_A AT %QX0.0: BOOL; 0008   zamknięcie_zaworu_C AT %QX0.3: BOOL; 0009   zamknięcie_zaworu_B AT %QX0.1: BOOL; 0010   zamknięcie_zaworu_D AT %QX0.2: BOOL; 0011   otwarcie_zaworu_A AT %QX0.3: BOOL; 0012   otwarcie_zaworu_B AT %QX0.2: BOOL; 0013   otwarcie_zaworu_C AT %QX0.0: BOOL; 0014   otwarcie_zaworu_D AT %QX0.1: BOOL; 0015   Przetwornik_podcisnienia: BYTE; 0016   Wezel_sumujacy: BYTE; 0017   Zadajnik: BYTE; 0018   Zawor: BYTE; 0019   Qm: BYTE; 0020   p: BYTE; 0021   RegulatorPID: PID; 0022   WartoscBiezaca: REAL; 0023   WartoscZadana: REAL; 0024   Wspolczynnik: REAL; 0025   Czas_1: DWORD; 0026   Czas_2: DWORD; 0027   Offset: REAL; 0028   Minimum: REAL; 0029   Maksimum: REAL; 0030   ZmiennaBool_1: BOOL; 0031   ZmiennaBool_2: BOOL; 0032   Wynik: REAL; 0033   Przekroczenie: BOOL; 0034   Przepelnienie: BOOL; 0035 END_VAR </pre>	<pre> 0020 IF zbiornik_A &lt; 50 0021 THEN zamknięcie_zaworu_D:= TRUE; 0022 ELSE zamknięcie_zaworu_D:=FALSE; 0023 END_IF 0024 0025 IF zbiornik_B &gt; 50 0026 THEN zamknięcie_zaworu_C:= TRUE; 0027 ELSE zamknięcie_zaworu_C:=FALSE; 0028 END_IF 0029 0030 Przetwornik_podcisnienia:=1; 0031 Wezel_sumujacy:= p - Przetwornik_podcisnienia; 0032 Qm:= 1*2; 0033 0034 IF Qm &gt; 0.0008 THEN (* zadawane natężenie kg/s *) 0035 p:= 67; (* ciśnienie bezwzględne zadane, kPa*) 0036 ELSE 0037 p:=58; (*zadane ciśnienie bezwzględne, kPa*) 0038 END_IF 0039 0040 WartoscBiezaca:= 30; 0041 (*WartoscZadana:=2;*) 0042 (*Wspolczynnik:=1.8; (*P***) 0043 (*Czas_1:= 50; (*I***) 0044 (*Czas_2:=100; (*D***) 0045 Minimum:=0.0; 0046 Maksimum:=100; 0047 0048 RegulatorPID( 0049   ACTUAL:= WartoscBiezaca, 0050   SET_POINT:=WartoscZadana , 0051   KP:=Wspolczynnik , 0052   TN:=Czas_1 , 0053   TV:= Czas_2, 0054   Y_OFFSET:=Offset , 0055   Y_MIN:=Minimum , 0056   Y_MAX:=Maksimum , 0057   MANUAL:=ZmiennaBool_1 , 0058   RESET:=ZmiennaBool_2 , 0059   Y=&gt;Wynik , 0060   LIMITS_ACTIVE=&gt;Przekroczenie , 0061   OVERFLOW=&gt;Przepelnienie ); </pre>

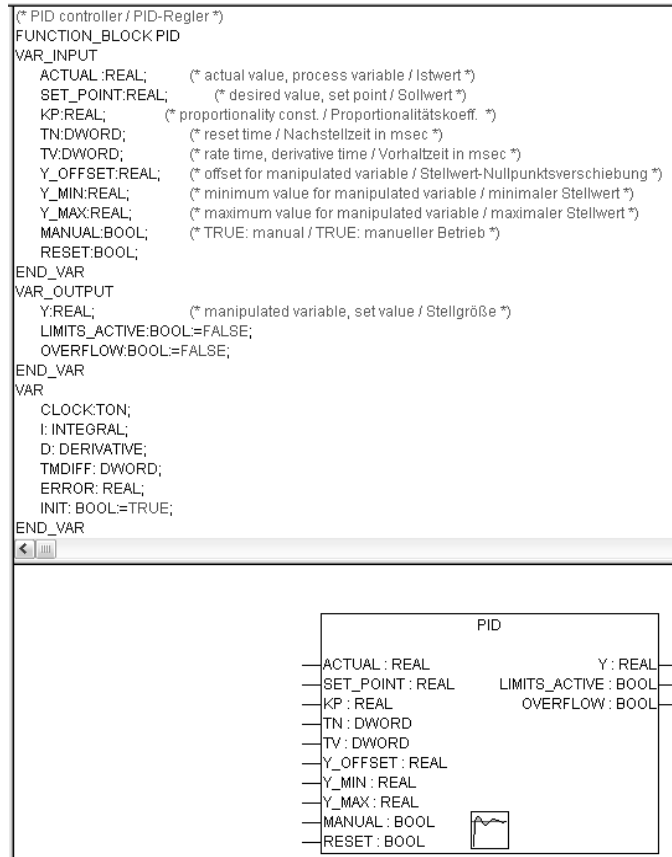
Źródło: opracowanie własne.

Rys. 1. Program sterujący regulacją podciśnienia w autonomicznym aparacie udajowym: a) wykaz zmiennych, b) algorytm programu

a)	b)
<pre> 0001 PROGRAM PLC_PRG 0002 VAR 0003     container: UINT; 0004     container_A: UINT; 0005     container_B: UINT; 0006     filling_counter AT %MB10: BYTE; 0007     valve_closing_A AT %QX0.0: BOOL; 0008     valve_closing_C AT %QX0.3: BOOL; 0009     valve_closing_B AT %QX0.1: BOOL; 0010     valve_closing_D AT %QX0.2: BOOL; 0011     valve_opening_A AT %QX0.3: BOOL; 0012     valve_opening_B AT %QX0.2: BOOL; 0013     valve_opening_C AT %QX0.0: BOOL; 0014     valve_opening_D AT %QX0.1: BOOL; 0015     Underpressure_converter: BYTE; 0016     Summating_node: BYTE; 0017     Assignating: BYTE; 0018     Valve: BYTE; 0019     Qm: BYTE; 0020     p: BYTE; 0021     PID_controller: PID; 0022     Current_value: REAL; 0023     Assigned_value: REAL; 0024     Coefficient: REAL; 0025     Time_1: DWORD; 0026     Time_2: DWORD; 0027     Offset: REAL; 0028     Minimum: REAL; 0029     Maximum: REAL; 0030     VariableBool_1: BOOL; 0031     VariableBool_2: BOOL; 0032     Result: REAL; 0033     Exceedance: BOOL; 0034     Overfilling: BOOL; 0035 END_VAR </pre>	<pre> 0020 IF container_A &lt; 50 0021 THEN valve_closing_D:= TRUE; 0022 ELSE valve_closing_D:= FALSE; 0023 END_IF 0024 0025 IF container_B &gt; 50 0026 THEN valve_closing_D:= TRUE; 0027 ELSE valve_closing_D:= FALSE; 0028 END_IF 0029 0030 Underpressure_converter:=1; 0031 Summating_node:= p - Underpressure_converter; 0032 Qm:= 1*2; 0033 0034 IF Qm &gt; 0.0008 THEN (*assigned intensity kg/s*) 0035 p:= 67; (*assigned absolute pressure, kPa*) 0036 ELSE 0037 p :=58; (*assigned absolute pressure, kPa*) 0038 END_IF 0039 0040 Current_value:= 30; 0041 (*Assigned_value:=2 ;*) 0042 (*Coefficient:=1.8; (*P*)*) 0043 (*Time_1: 50; (*I*)*) 0044 (*Time_2: 100 ; (*D*)*) 0045 Minimum:=0.0; 0046 Maximum:=100; 0047 0048 PID_controller( 0049     ACTUAL:= Current_value, 0050     SET_POINT:=Assigned_value , 0051     KP:=Coefficient, 0052     TN:=Time_1 , 0053     TV:= Time_2, 0054     Y_OFFSET :=Offset , 0055     Y_MIN :=Minimum , 0056     Y_MAX :=Maximum , 0057     MANUAL := VariableBool_1 , 0058     RESET := VariableBool_2 , 0059     Y=&gt;Result , 0060     LIMITS_ACTIVE=&gt;Exceedance 0061     OVERFLOW=&gt;Overfilling ); </pre>

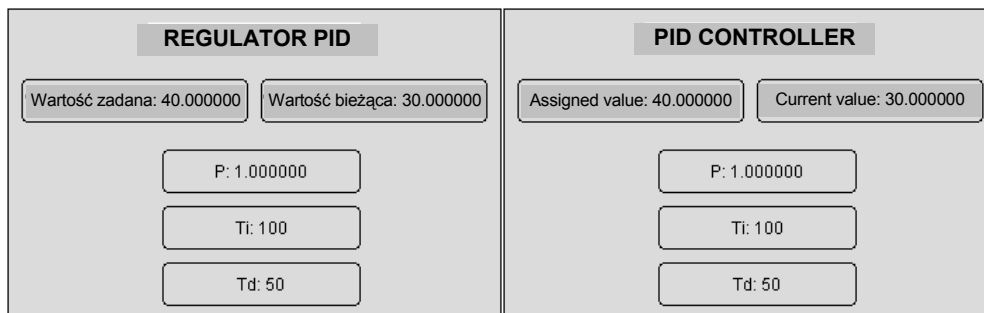
Source: own study.

Fig. 1. Steering programme for vacuum pressure control in autonomic milking apparatus: a – specification of variables, b – programme algorithm



Źródło: opracowanie własne. Źródło: own study.

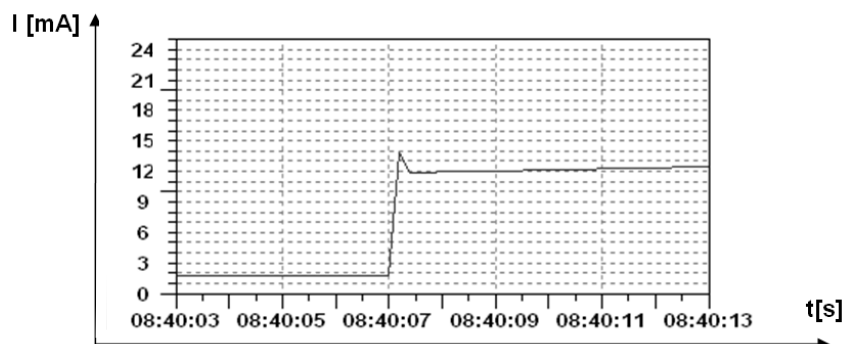
Rys. 2. Blok funkcjonalny regulatora PID w programie CoDeSys  
 Fig. 2. Functional block of the PID controller in CoDeSys programme



Źródło: opracowanie własne. Źródło: own study.

Rys. 3. Panel regulatora PID:  $P$  – współczynnik proporcji,  $T_i$  – czas zdwojenia (całkowania),  $T_d$  – czas wyprzedzenia  
 Fig. 3. PID controller panel:  $P$  – proportion coefficient,  $T_i$  – doubling (integration) time,  $T_d$  – overtaking time

Zadaniem regulatora PID jest oddziaływanie na obiekt regulacji przez sygnał wyjściowy. Oddziaływanie to ma na celu minimalizację wartości błędu. Przedstawiony na rysunku 4 wykres zawiera charakterystykę statyczną regulatora PID – przebieg sygnału wyjściowego. W ramach badań doświadczalnych testowano różne warianty regulacji, w celu wybrania najlepiej odzwierciedlającej działanie regulatora PID w układzie sterowania kolektorem. Wartość natężenia prądu elektrycznego mieści się w przedziale 0–24 mA i stanowi sygnał dla urządzenia wykonawczego. W tym przypadku analizowana wielkość opisuje charakterystykę stopnia otwarcia zaworu odpowiedniego pośrednio za zmianę podciśnienia ssącego.



Źródło: opracowanie własne. Źródło: own study.

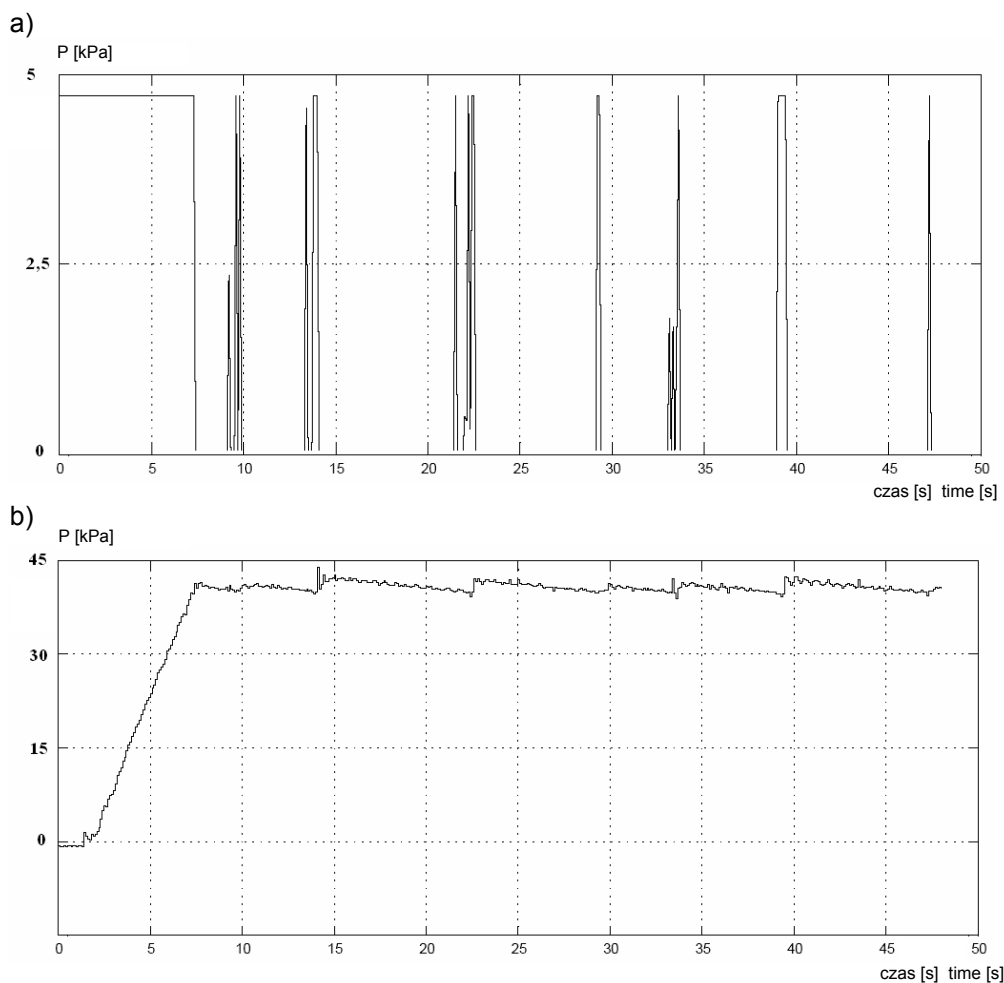
Rys. 4. Odpowiedź regulatora PID na wartość błędu przy nastawach z rysunku 3:  
 $I$  – sygnał sterujący (natężenie prądu elektrycznego),  $t$  – czas

Fig. 4. PID controller response to error value at adjustments from fig. 3:  $I$  – steering signal (electric current intensity),  $t$  – time

Przykładowe wyniki badań układu regulacji podciśnienia na rzeczywistym obiekcie (rys. 5) obrazują działanie układu stabilizacji podciśnienia dostarczanego pod strzyk wymienia krowy w warunkach skoków podciśnienia wprowadzanych do układu, reprezentujących błąd regulacji.

## Wnioski

1. Opracowana aplikacja w środowisku CoDeSys będzie stosowana do sterowania autonomicznym aparatem udojowym. Przeprowadzone testy układu sterującego potwierdzają poprawność działania systemu sterowania kolektorem.
2. Układ sterujący z regulatorem PID zapewnia pożądaną stabilizację podciśnienia ssącego.
3. Opracowany algorytm programu z instrukcją warunkową IF umożliwi dobór zadanej wartości podciśnienia na podstawie natężenia wypływu mleka ze strzyka krowy.



Źródło: opracowanie własne. Źródło: own study.

Rys. 5. Stabilizacja podciśnienia  $P$  regulatorem PID: a) sygnał błędu podciśnienia, b) ustabilizowane podciśnienie ssące

Fig. 5. Underpressure stabilization with the PID controller: a) signal of underpressure error, b) stabilized sucking underpressure

## Bibliografia

Juszka H., Lis S., Tomasik M. 2007. Sterowanie ciśnieniem bezwzględny w aparacie udojowym dla krów. Inżynieria Rolnicza. Nr 7 s. 63–70.

Juszka H., Tomasik M. 2005. Symulacja regulacji podciśnienia w aparacie udojowym z zastosowaniem logiki rozmytej. Inżynieria Rolnicza. Nr 6 s. 267–273.

Szlachta J., Wiercioch M. 1988. Wpływ dojarek na jakość doju. Warszawa. IBMER, OORiDR SITR ss. 131.

Kwaśniewski J. 1999. Programowalne sterowniki przemysłowe w systemach sterowania. Warszawa. Wyd. ZP–Roma Pol. ss. 226.

## **LOGICAL CONTROL WITH PID STEERING OF THE VACUUM PRESSURE IN MILKING APPARATUS**

### **Summary**

Paper presented the automatic steering system of suction vacuum pressure in milking apparatus by means of a PID controller. Steering system is computing the value of controlled suction underpressure (value assigned to PID controller), depending on the milk flow intensity from the cow's teat. Steering algorithm has been programmed in CoDeSys software on a Moeller PLC controller. The results of experimental tests proved correct functioning logic of the steering system.

**Key words:** milking apparatus, vacuum pressure control, PLC controller

Praca wpłynęła do Redakcji: 16.11.2010 r.

*Recenzenci: prof. dr hab. Wacław Romaniuk  
prof. dr hab. Józef Szlachta*

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Henryk Juszka  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych  
ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków  
tel. 12 662-46-49; email: Henryk.Juszka@ur.krakow.pl