

Wpłynęło 06.12.2011 r.  
Zrecenzowano 20.01.2012 r.  
Zaakceptowano 11.04.2012 r.

## **Pulsacja podciśnienia sterowana PLC w doju maszynowym krów**

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

**Henryk JUSZKA<sup>AD</sup>, Marcin TOMASIK<sup>ABE</sup>,  
Stanisław LIS<sup>AF</sup>**

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

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono problematykę sterowania parametrami pulsacji w doju maszynowym krów i omówiono najważniejsze zadania pulsatora. Celem pracy było zaprogramowanie na sterowniku PLC (programowalny sterownik logiczny) funkcji pulsatora, którego parametry mogą być dynamicznie modyfikowane w zależności od natężenia wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy. Przedstawiono system sterowania pulsacją ciśnienia w komorze międzyściennej kubka udojowego w maszynowym doju krów, wykonany z wykorzystaniem sterownika PLC. Opracowano algorytm działania układu pulsacji i na jego podstawie zaprogramowano sterownik PLC. Każda faza doju, wyodrębniona w algorytmie, charakteryzuje się innymi warunkami i sposobem prowadzenia. Wskazano, że konieczne jest, aby w czasie rzeczywistym mierzyć natężenie wypływu mleka ze strzyka i obserwować jego trend zmian, gdyż są to podstawowe informacje o danej fazie doju i poprawności jego przebiegu. Przetestowano działanie programu sterującego na sterowniku Moeller XC-CPU 101. Badania wykazały poprawność logiki programu oraz dużą szybkość jego wykonywania. W podsumowaniu wskazano na możliwość wykorzystania sterowników PLC do sterowania procesem maszynowego doju krów. Opisane rozwiązanie techniczne stanowi jeden z etapów budowy mikroprocesorowo sterowanego autonomicznego aparatu udojowego w ramach projektu realizowanego w Katedrze Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie.

**Słowa kluczowe:** algorytm pulsacji, sterowanie pulsacją

### **Wstęp**

Parametry doju powinny być dopasowane indywidualnie do każdej krowy wchodzącej na stanowisko udojowe. Problem ten nadal jednak jest nierozwiązany.



Podejmowane są prace badawcze, które mogą wprowadzić nowe standardy w doju krów. Wynika z nich, że istnieją perspektywy poprawy warunków doju krów przez dopasowywanie wartości sygnałów sterujących do ich mierzalnych cech osobniczych w zakresie oddawania mleka [JĘDRUŚ 2008; JĘDRUŚ, LIPIŃSKI 2004; JUSZKA 2005; JUSZKA i in. 2008].

Urządzeniem pełniącym rolę „serca” systemu udojowego jest pulsator. Wytwarza on pulsację, czyli przemiennie podciśnienie i ciśnienie atmosferyczne w komorze międzysięiennej kubka udojowego w celu masażu i stymulacji strzyków wymienia krowy, poprawiając m.in. ich ukrwienie [WIERCIOCH i in. 2011].

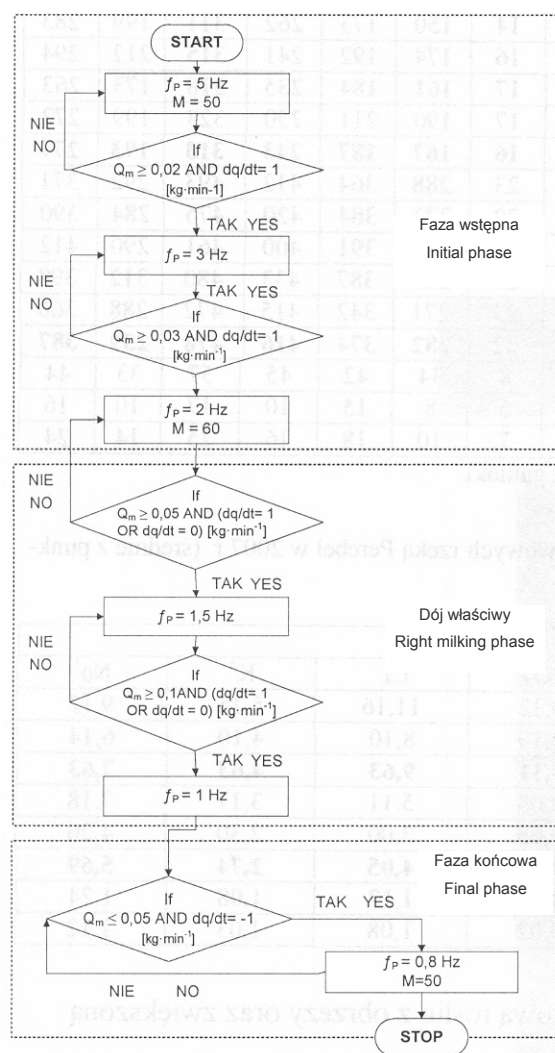
Proces doju dzieli się na trzy podstawowe fazy: wstępna, dój właściwy oraz faza końcowa. W każdej z tych faz zarówno częstotliwość pulsacji, jak i podciśnienie powinny mieć inne wartości. Bardzo ważnym zagadnieniem jest moment przejścia między poszczególnymi fazami. Powinien on wynikać z pomiaru natężenia wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy [LUBERAŃSKI, SOPKOWICZ 2008].

Celem pracy było zaprogramowanie na sterowniku PLC funkcji pulsatora, którego parametry mogą być dynamicznie modyfikowane w zależności od natężenia wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy. Zakres pracy obejmował analizę przebiegu procesu pulsacji w klasycznych pulsatorach, na podstawie której opracowano algorytm działania pulsatora. Następnie zaprogramowano aplikację pulsatora na sterowniku Moeller XC-CPU 101 i przetestowano na module sprawdzającym poprawność działania programów.

### **Algorytm działania pulsatora**

Każda z faz doju charakteryzuje się innymi warunkami i sposobem prowadzenia [BIL, SZLACHTA 2008; JĘDRUŚ 2010]. Konieczne jest, aby w czasie rzeczywistym mierzyć natężenie wypływu mleka ze strzyka i obserwować trend jego zmian, gdyż są to podstawowe informacje o danej fazie doju i poprawności jego przebiegu. Pulsatory stosowane obecnie w doju maszynowym krów realizują pulsację maksymalnie dla trzech faz tego procesu [JUSZKA i in. 2007]. Przełączają się między fazami z góry zaprogramowanych odstępów czasowych, stąd często przełączają te fazy w nieodpowiednich momentach (za krótka lub za długa stymulacja). Ponadto przejścia między fazami są często gwałtowne, gdyż parametry pulsacji nie zmieniają się w ich obrębie. W pulsatorze, którego algorytm sterowania został zaprogramowany na sterowniku PLC, przejście między fazami następuje na podstawie pomiaru natężenia wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy oraz drugiego parametru, jakim jest pochodna chwilowego natężenia wypływu po czasie. Stąd pulsator, analizując powyższe parametry, identyfikuje fazę doju i dobiera do niej optymalne wartości parametrów pulsacji.

W algorytmie, przedstawionym na rysunku 1, uwzględniono zarówno pomiar wypływu mleka  $q_m$  ze strzyka, jak i trend jego zmian  $dq/dt$ . W badaniach wstępnych uproszczono wartość trendu, przyjęto trend równy „1”, odpowiadający wzrostowi natężenia wypływu mleka, natomiast „0” dla wartości stałej w czasie



Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

Rys. 1. Algorytm sterowania pulsacją  
Fig. 1. Algorithm of pulsation control

oraz „-1” dla spadku tej wartości. Obecnie prowadzone prace badawcze Autorów nad pulsatorem zmierzają do tego, by zmiana współczynnika pulsacji oraz częstotliwości zachodziły płynnie.

### Program realizujący funkcję pulsatora

Na podstawie opisanego wcześniej algorytmu zaprogramowano sterownik PLC Moeller XC-CPU 101. Okno deklaracji zmiennych programu sterującego pulsacją przedstawiono na rysunku 2. Przyjęto założenie, że zmiany parametrów pulsacji,

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003   Q: REAL := 0.001;    (*Dane z czujnika natężenia wypływu*) (*Data from flow intensity sensor*)
0004
0005
0006   BLINKpulsacja: BLINK; (*Deklaracja bloku BLINK*) (*Block declaration BLINK*)
0007   CTUpuls: CTU;
0008   reset: BOOL;
0009   zliczone: BOOL;
0010   war_licz: WORD;
0011                                     (*b,d,f,h,j,l wyjścia można zamienić na jedno*) (*b,d,f,h,j,l exits may be changed into one*)
0012   a: BOOL;
0013   b: BOOL;    (*Częstotliwość f = 5 HZ, Stosunek M = 50*) (*Frequency f = 5 HZ, Ratio M = 50*)
0014   c: BOOL;
0015   d: BOOL;    (*Częstotliwość f = 3 HZ, Stosunek M = 50*) (*Frequency f = 3 HZ, Ratio M = 50*)
0016   e: BOOL;
0017   t: BOOL;    (*Częstotliwość f = 2 HZ, Stosunek M = 60*) (*Frequency f = 2 HZ, Ratio M = 60*)
0018   g: BOOL;
0019   h: BOOL;    (*Częstotliwość f = 1,5 HZ, Stosunek M = 60*) (*Frequency f = 1.5 HZ, Ratio M = 60*)
0020   i: BOOL;
0021   j: BOOL;    (*Częstotliwość f = 1 HZ, Stosunek M = 60*) (*Frequency f = 1 HZ, Ratio M = 60*)
0022   k: BOOL;
0023   l: BOOL;    (*Częstotliwość f = 0,8 HZ, Stosunek M = 60*) (*Frequency f = 0.8 HZ, Ratio M = 60*)
0024
0025   GENpuls: GEN;    (*Generowanie funkcji dla chwilowego natężenia wypływu *cze*) (*Generation of functions
0026   cze: REAL;    for instantaneous outflow intensity *cze*)
0027   DERIVATIVEpuls: DERIVATIVE;
0028   qout: REAL;
0029
0030   GENQ: GEN;
0031
0032   u: BOOL ;
0033
0034 END_VAR

```

Źródło: opracowanie własne. Source: own study.

Rys. 2. Deklaracja zmiennych dla programu pulsatora

Fig. 2. Declaration of variables for pulsator programme

a więc częstotliwość i współczynnik pulsacji, powinny przebiegać łagodnie, dlatego w programie sterującym stopniowano zmiany wartości parametrów pulsacji. W zaprogramowanym pulsatorze zmiany zachodzą w funkcji natężenia wypływu mleka oraz w funkcji trendu zmian, a więc pochodnej natężenia wypływu mleka po czasie. W nawiasach zamieszczono komentarze, opisujące zmienne programu. Ostatnich kilka wierszy deklaracji zmiennych opisuje zmienne konieczne do wyznaczenia wartości trendu zmian natężenia wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy.

Polecenie „VAR” poprzedza deklaracje poniższych zmiennych:

- zmienna „Q” typu Real reprezentuje natężenie wypływu mleka ze strzyka,
- zmienna „BLINKpulsacja” bloku BLINK wytwarza sygnał sterujący pulsacją,
- zmienna „CTUpuls” bloku CTU zlicza pulsy,
- zmienna „reset” typu BOOL resetuje bloki,
- zmienna „zliczone” typu BOOL w zależności od stanu – załącza lub wyłącza licznik,
- zmienna „war\_licz” typu WORD przedstawia liczbę wykonanych pulsów,
- zmienne „a, c, e, g, i, k” typu BOOL przełączają poszczególne etapy doju,

- zmienne „b, d, f, h, j, l” typu BOOL załączają wyjścia PLC danych częstotliwości,
- zmienna „GENpuls” bloku GEN wywołuje generator funkcji,
- zmienna „cze” typu REAL przedstawia wartość wygenerowanej częstotliwości,
- zmienna „DERIVATIVEpuls” bloku DERIVATIVE uruchamia obliczanie pochodnej,
- zmienna „qout” typu REAL oznacza wartość obliczonej pochodnej w bloku DERIVATIVE,
- zmienna „u” typu BOOL jest pomocniczą dla stymulacji natężenia wypływu.

Poleceniem END\_VAR zakończono proces deklaracji zmiennych.

Program sterujący pulsacją przedstawiają rysunki 3a, 3b, 3c. Faza wstępna rozpoczyna się w 24. wierszu programu (rys. 3a) a kończy w 42. linii programu (rys. 3b).

```

0001 GENpuls(MODE:=TRIANGLE_POS ,BASE:=FALSE ,PERIOD:=T#3s ,CYCLES:=200 ,AMPLITUDE:=100 ,RESET:=FALSE ,OUT=>cze );
0002
0003
0004
0005     DERIVATIVEpuls(IN:=Q,TM:=10,RESET:= , OUT=>qout ); | (*Obliczanie pochodnej chwilowego natężenia po czasie*)
0006                                                         (*Computation of derivative for instantaneous intensity after time *)
0007
0008
0009
0010 IF
0011     Q<0.12 AND Q>0.0001
0012 THEN
0013     u:=TRUE;
0014     Q:=Q+0.0001;
0015 ELSE
0016     u:=FALSE;
0017     Q:=0.0;
0018     qout:=-1;
0019 END_IF;
0020
0021
0022
0023
0024 IF
0025     Q< 0.02 AND qout>0 AND qout<=1
0026 THEN
0027     a:=TRUE;
0028     BLINKpulsacja(ENABLE:=a , TIMELOW:=T#0.1S , TIMEHIGH:=T#0.1S , OUT=>b );
0029     b:=BLINKpulsacja.OUT;
0030     CTUpuls(CU:=b , RESET:=reset , PV:=100 , Q=>zliczone , CV=>war_licz );
0031     zliczone:=CTUpuls.Q;
0032     war_licz:=CTUpuls.CV;
0033 ELSIF
0034     Q>= 0.02 AND Q<0.03 AND qout>0 AND qout<=1

```

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 3a. Program sterujący pulsacją – część 1  
Fig. 3a. Pulsation control programme – Part 1

```

0035 THEN
0036   c:=TRUE;
0037   BLINKpulsacja(ENABLE:=c , TIMELOW:=T#0.165S , TIMEHIGH:=T#0.165S , OUT=>d );
0038   d:=BLINKpulsacja.OUT;
0039   CTUpuls(CU:=d , RESET:=reset , PV:=100 , Q=>zliczone , CV=>war_licz );
0040   zliczone:=CTUpuls.Q;
0041   war_licz:=CTUpuls.CV;
0042 ELSIF
0043   Q>= 0.03 AND Q<0.05 AND qout>0 AND qout<=1
0044 THEN
0045   e:=TRUE;
0046   BLINKpulsacja(ENABLE:=e , TIMELOW:=T#0.3S , TIMEHIGH:=T#0.2S , OUT=>f
0047 );
0048   f:=BLINKpulsacja.OUT;
0049   CTUpuls(CU:=f , RESET:=reset , PV:=100 , Q=>zliczone , CV=>war_licz );
0050   zliczone:=CTUpuls.Q;
0051   war_licz:=CTUpuls.CV;
0052 ELSIF
0053   Q>= 0.05 AND Q<0.1 AND qout>=0 AND qout<=1
0054 THEN
0055   g:=TRUE;
0056   BLINKpulsacja(ENABLE:=g , TIMELOW:=T#0.4S , TIMEHIGH:=T#0.27S , OUT=>h
0057 );
0058   h:=BLINKpulsacja.OUT;
0059   CTUpuls(CU:=g , RESET:=reset , PV:=100 , Q=>zliczone , CV=>war_licz );
0060   zliczone:=CTUpuls.Q;
0061   war_licz:=CTUpuls.CV;
0062

```

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 3b. Program sterujący pulsacją – część 2  
Fig. 3b. Pulsation control programme – Part 2

```

0063 ELSIF
0064   Q>= 0.1 AND qout>=0 AND qout<=1
0065 THEN
0066   i:=TRUE;
0067   BLINKpulsacja(ENABLE:=i , TIMELOW:=T#0.6S , TIMEHIGH:=T#0.4S , OUT=>j
0068 );
0069   j:=BLINKpulsacja.OUT;
0070   CTUpuls(CU:=j , RESET:=reset , PV:=100 , Q=>zliczone , CV=>war_licz );
0071   zliczone:=CTUpuls.Q;
0072   war_licz:=CTUpuls.CV;
0073
0074 ELSIF
0075   Q<= 0.02 AND qout<0 AND qout>= -1
0076 THEN
0077   k:=TRUE;
0078   BLINKpulsacja(ENABLE:=k , TIMELOW:=T#0.625S , TIMEHIGH:=T#0.625S , OUT=>l
0079 );
0080   l:=BLINKpulsacja.OUT;
0081   CTUpuls(CU:=l , RESET:=reset , PV:=100 , Q=>zliczone , CV=>war_licz );
0082   zliczone:=CTUpuls.Q;
0083   war_licz:=CTUpuls.CV;
0084
0085 END_IF;

```

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 3c. Program sterujący pulsacją – część 3  
Fig. 3c. Pulsation control programme – Part 3

Sterownik porównuje wartość zmierzoną natężenia wypływu mleka z wartością graniczną, przypisaną do poszczególnych faz i wykonuje pętle warunkowe programu. Faza doju właściwego jest zawarta pomiędzy 42. a 64. linią programu, natomiast faza końcowa (podój) od 64. do 85. linii. Elementem odpowiadającym za dobór współczynnika pulsacji i częstotliwości jest pętla warunkowa IF. Program składa się z kilku takich pętli; im większa ich liczba, tym lepsze dopasowanie pulsacji do wypływu mleka, jednak wraz ze wzrostem liczby pętli zwiększa się czas wykonywania programu. Każda pętla ma pulsator z ustawionymi przerwami dla zegara taktującego, odpowiedzialnego za częstotliwość pulsacji oraz za współczynnik pulsacji.

## **Podsumowanie**

Program został przetestowany na sterowniku. Badania wykazały poprawność logiki programu oraz jego dużą szybkość wykonywania. Nowoczesne, elektroniczne pulsatory mają elektrozawory sterowane cyfrowym sygnałem elektrycznym. Dlatego nie ma najmniejszych przeszkód, aby zastąpić układ sterujący takiego pulsatora sterownikiem PLC, jednocześnie pozostawiając układ wykonawczy bez zmian, ale połączony z odpowiednimi wyjściami sterownika. Proponowane rozwiązanie stanowi jeden z etapów budowy mikroprocesorowo sterowanego autonomicznego aparatu udojowego w projekcie realizowanym w Katedrze Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie.

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

## **Bibliografia**

- BIL M., SZLACHTA J. 2008. Analiza porównawcza funkcjonalności i przydatności użytkowej wybranych typów aparatów udojowych przy doju jednoczesnym i przemiennym. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 4 (102) s. 119–126.
- JĘDRUŚ A. 2008. Pulsacja w oborze. *Hoduj z głową*. Nr 4 s. 66–71.
- JĘDRUŚ A. 2010. Metodyka badań własności metrologicznych termooanemometrycznych indykatorów wypływu mleka z zastosowaniem techniki mikroprocesorowej. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 7 (125) s. 81–86
- JĘDRUŚ A., LIPIŃSKI M. 2004. Badanie nowego pulsatora ćwiartkowego skonstruowanego w poznańskiej Akademii Rolniczej. *Roczniki AR Poznań*. CCCLXI. Nr 63 s. 115–119.
- JUSZKA H., KAPŁON T., LIS S. 2007. Instrukcja warunkowa „if” w sterowaniu dynamiką maszynowego doju krów. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1a (55) s. 77–83.
- JUSZKA H. 2005. Modelowanie wypływu mleka ze strzyka krowy w aspekcie automatyzacji aparatu udojowego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10(70) s. 127–131.
- JUSZKA H., LIS S., TOMASIK M. 2008. Odzworowanie przebiegu pulsacji metodami sztucznej inteligencji. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 9(107) s. 131–137.

LUBERAŃSKI A., SOPKOWICZ M. 2008. Analiza parametrów dynamicznych pulsatorów w warunkach symulowanego doju mechanicznego. Inżynieria Rolnicza. Nr 5 (103) s. 81–89.

WIERCIOCH M., LUBERAŃSKI A., SZLACHTA J., SKALSKA D. 2011. Wpływ zakłóceń w instalacji próżniowej dojarki na parametry pracy wybranych pulsatorów. Inżynieria Rolnicza. Nr 8 (133) s. 285–292.

***Henryk Juszka, Marcin Tomasik, Stanisław Lis***

**PLC VACUUM PRESSURE PULSATION CONTROL  
IN MACHINE MILKING OF THE COWS**

**Summary**

Paper contains an introduction to problem of steering the pulsation parameters in machine milking of the cows, and describes the most important pulsator tasks. The study aimed at programming on the PLC (programmable logic controller) pulsator functions, whose parameters could be dynamically modified depending on the flow rate of milk from teats of cow's udder. Steering system of pressure pulsation in the inter-wall chamber of cow milking machine, implemented with a PLC, was presented. An algorithm of functioning pulsation system was developed, and on that basis a PLC controller was programmed. Each milking phase, separated in algorithm, was characterized by different conditions and manner of operation. The necessity was indicated to measure in real-time the rate of milk flow from teat and to watch trends of its changes, since these are the basic information on given milking phase and correctness of its course. Functioning of the steering programme was tested on the Moeller XC-CPU 101 controller. The pilot tests showed correctness of programme logics and speed of its implementation. In the summary it was indicated a possibility of PLC process control in machine milking of cows. Described technical solution makes one of stages in building an autonomous, microprocessor controlled cluster of milking machine, under the project realized by the Department of Energy and Process Control for Agriculture, Agricultural University of Cracow.

**Key words:** milking machine, pulsation algorithm, automatic steering, PLC

Adres do korespondencji:

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