

ANALIZA PORÓWNAWCZA METOD POMIARU PRZEPŁYWU MLEKA W KOLUMNIE AUTONOMICZNEGO APARATU UDOJOWEGO*

Marcin Tomasik, Henryk Juszka, Stanisław Lis

Katedra Energetyki i Automatyzacji Procesów Rolniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę porównawczą metod pomiaru przepływu mleka w kolumnie autonomicznego aparatu udojowego jako wymierną informację o chwilowym objętościowym natężeniu wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy. Precyzyjny pomiar tej wielkości pozwala na sterowanie parametrami doju maszynowego, dopasowanymi do każdej ćwiartki wymienia krowy z uwzględnieniem cech osobniczych oraz charakterystyki naturalnego procesu ssania. Celem pracy była analiza porównawcza czujników poziomu przeznaczonych do pomiaru chwilowego objętościowego natężenia przepływu mleka w autonomicznym aparacie udojowym. Badania doświadczalne prowadzono dla czterech czujników poziomu z wykorzystaniem cieczy mlekozastępczej przy zastosowaniu dodatkowo środka pieniącego. Na podstawie przedstawionej metodyki oraz analizy wyników badań opisano problematykę pomiarów, natomiast we wnioskach wskazano właściwe urządzenia do pomiaru wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy w kolumnie autonomicznego aparatu udojowego.

Słowa kluczowe: aparat udojowy, pomiar poziomu cieczy, pomiar przepływu cieczy

Wstęp

Pomiary wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy mają kluczowe znaczenie w sterowaniu parametrami doju maszynowego [Jędrus, Lipiński 2008; Ordolff 2001]. Żadne z urządzeń pomiarowych stosowanych do pomiaru tej wielkości, oferowanych przez producentów sprzętu udojowego, nie gwarantuje pomiarów na poziomie dokładności (błąd względny) poniżej 5%. Często producenci nie podają dokładności tych urządzeń, w informacjach można znaleźć jedynie zwroty „bardzo dokładny pomiar” [Jędrus 2010; Szlachta 2006; Artmann 1997]. Opracowany i przedstawiany w wielu pracach naukowych przez Autorów system sterowania autonomicznym aparatem udojowym (AAU) wymaga dostar-

* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2012 jako projekt badawczy N N313 154435

czania precyzyjnych informacji o wartości chwilowego objętościowego natężenia wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy. Stąd pojawiła się konieczność opracowania metody pomiaru tej wielkości [Juszka i in. 2009, 2008, 2011a]. Przedstawiona w pracy Juszki i in. [2011b] konstrukcja autonomicznego aparatu udojowego, wyposażonego w kolumny dwukomorowe dla każdego strzyka pozwala na pomiar natężenia wypływu mleka ze strzyka wg zależności (1) [Kotowicz i in. 2006]:

$$A \frac{dh}{dt} = Q \quad (1)$$

gdzie:

- A – pole powierzchni przekroju poprzecznego komory AAU [dm²],
- h – poziom mleka w komorze [dm],
- Q – objętościowe natężenie przepływu [dm³·min⁻¹]

Celem pracy była analiza porównawcza czujników poziomu przeznaczonych do pomiaru chwilowego objętościowego natężenia przepływu mleka w autonomicznym aparacie udojowym. Zakres prac obejmował:

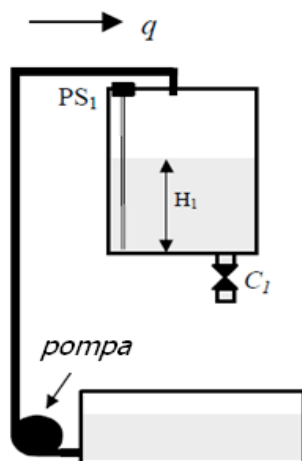
- opracowanie koncepcji systemu pomiarowego,
- badania doświadczalne pomiaru przepływu cieczy mlekozastępczej czujnikami poziomymi,
- wskazanie właściwego urządzenia do pomiaru wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy w kolumnie AAU.

Metodyka badań doświadczalnych

Stanowisko pomiarowe zbudowane wg schematu zamieszczonego na rysunku 1 składa się z:

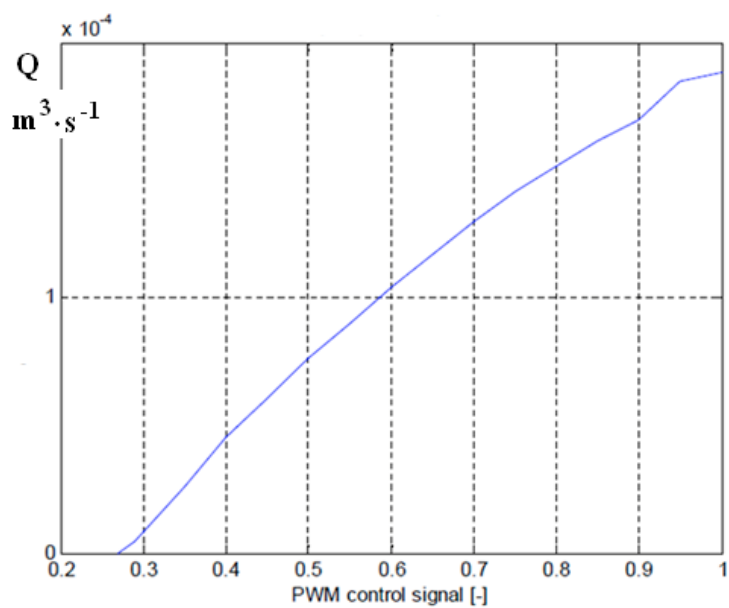
- dwóch zbiorników, gdzie jeden był zbiornikiem pomiarowym, a drugi stanowił zasilanie pompy – całość stanowiła zamknięty obieg. Zbiornik pomiarowy wyposażony był w elektrozawór z możliwością sterowania stopnia jego otwarcia (w prowadzonych pomiarach wykorzystywano sterowanie otwarty/zamknięty) [Waluś i in. 2001];
- pompy, której charakterystykę przepływu w funkcji cyfrowego sygnału sterującego PWM przedstawiono na rysunku 2;
- czujników poziomu (mic+25, MPX2010, PWP-420, CLC);
- systemu pomiarowego z kartą pomiarową PCI 1711 Advantech;
- komputera;
- aplikacji do wizualizacji i archiwizacji danych pomiarowych DasyLab 11.

Na rysunku 3 zamieszczono zdjęcia czujników wykorzystywanych do badań doświadczalnych. Czujniki a, c, d przeznaczone są do pomiaru poziomu, natomiast czujnik b do pomiaru ciśnienia. Czujnik ten służy do pomiaru poziomu ciśnienia hydraulicznego w rurce do niego przyłączonej. Rosnący poziom cieczy spręża powietrze w rurce umieszczonej w zbiorniku, wartość ciśnienia hydraulicznego jest proporcjonalna do wartości poziomu [Waluś i in. 2001].



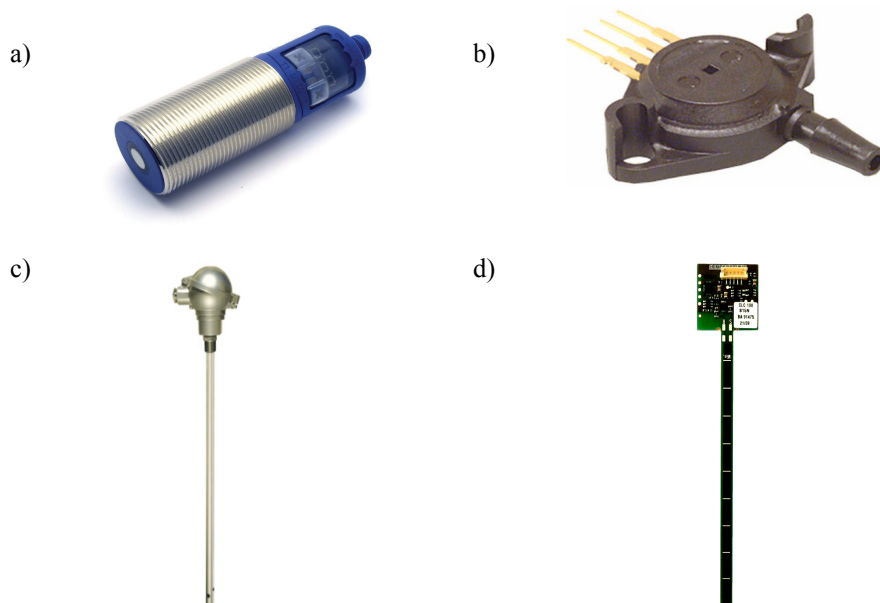
Rys. 1. Schemat systemu pomiarowego
Fig. 1. Scheme of the measurement system

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Charakterystyka wydajności pompy w funkcji sygnału sterującego PWM
Fig. 2. A description of pump efficiency as a function of controlling signal PWM



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Czujniki pomiarowe: a) – mic+25, b) – MPX2010, c) – PWP-420, d) – CLC

Fig. 3. Measurement sensors: a) – mic+25, b) – MPX2010, c) – PWP-420, d) – CLC

Praktyczne wykorzystanie tego czujnika w doju autonomicznym aparatem udojowym jest wykluczone. Decydującym czynnikiem jest podciśnienie panujące w komorze aparatu udojowego oraz problemy z myciem rurki. Problemem może być także praktyczne zastosowanie pojemnościowej sondy poziomu PWP-420, wynikające z budowy elementu pomiarowego. Konstruktor wykonuje głowice pomiarowe dopasowane do medium, których przenikalność elektryczna jest stała, a w przypadku mleka jego przenikalność będzie się zmieniać. Na zmiany te ma wpływ wiele czynników, tj. ruja, zdrowie krowy, stąd wskazania mogą być obarczone dużymi błędami. W tabeli 1 zamieszczono zestawienie najważniejszych informacji o badanych czujnikach pomiarowych.

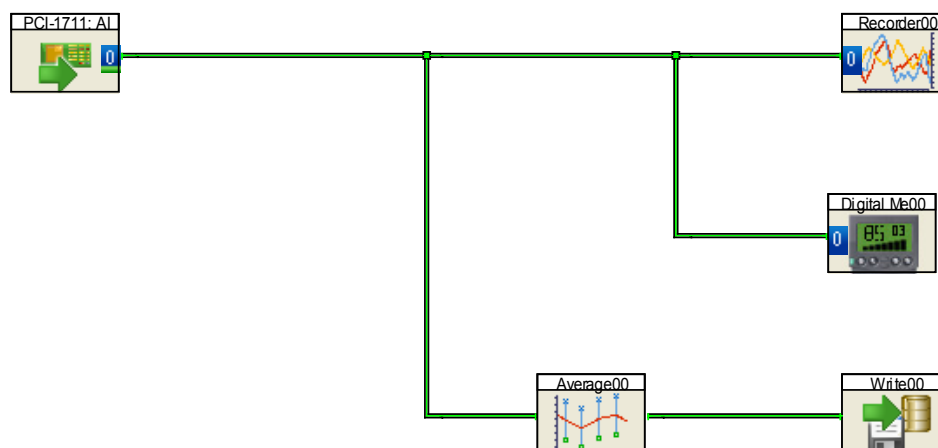
Pomiary rejestrowano poprzez kartę pomiarową PCI 1711 Advantech na komputerze PC z częstotliwością próbkowania 10 kHz, rozdzielczością przetwornika A/C 12 bitów. Do wizualizacji i archiwizacji danych pomiarowych zastosowano program DasyLab 11, na rysunku 4 zamieszczono schemat systemu rejestrującego dane:

- PCI-1711 – blok karty pomiarowej odczytującej sygnały z czujników pomiarowych,
- Average – blok funkcyjny do redukcji danych pomiarowych – przy częstotliwości próbkowania 10 kHz gromadzona była duża ilość danych, stąd w programie ograniczono ją do 100 Hz [Kościelny 2001],
- Recorder – wyświetlał charakterystykę dynamiczną sygnału pomiarowego,
- Digital Me – jest to cyfrowy wyświetlacz wartości sygnału,
- Write – zapisuje dane pomiarowe w pamięci ROM komputera.

Tabela 1. Specyfikacja czujników pomiarowych
Table 1. Specification of the measurement sensors

Wielkość fizyczna	Zakres pomiarowy	Czujnik	Dokładność [%]	Czułość [msec]	Zasilanie	Sygnał wyjściowy
Ciśnienie	0-10 kPa	MPX2010	1	1-20	15 VDC	Analog 0,2-4,7 V lub Digital
Poziom	0-300 mm ustawiany	PWP-420	1	90	24VDC	Analog 4-24 mA
Poziom	0-100 mm	Sensortech CLC100	2	10-50	15VDC	Analog 0,5-4,5 V lub Digital
Poziom	0-250 mm	Microsonic mic+25	2	50	24VDC	Analog 4-24 mA

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Schemat systemu rejestrującego dane pomiarowe
Fig. 4. Schematic representation of the system registering measurement data

System sterujący pompą i zaworem był zaimplementowany w programie Matlab-Simulink, skąd za pośrednictwem karty procesorowej RT-DAC4/PCI-D z technologią FPGA (ang. Field Programmable Gate Array) komunikował się z obiektem. W połączeniu z wykorzystaniem języków programowania sprzętu (np. VHDL) za pośrednictwem Matla-ba umożliwia przeniesienie złożonych operacji cyfrowego przetwarzania danych pomiaro-

wych i kształtowania sygnału sterującego na poziom hardware oraz zmianę funkcji karty z poziomu programowego bez konieczności zmian sprzętowych.

Wyniki badań doświadczalnych

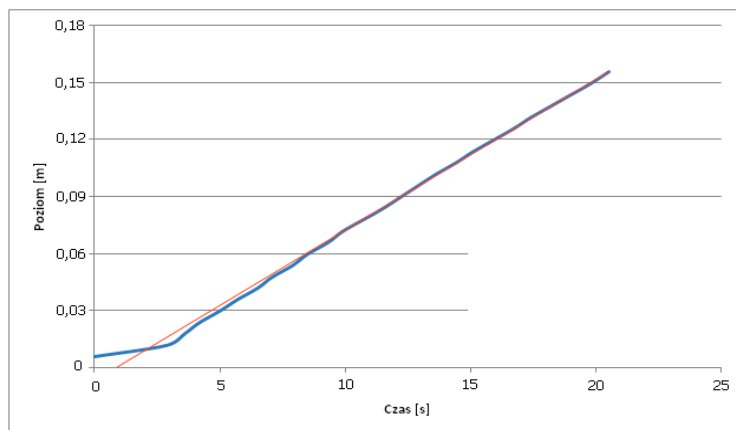
Badania doświadczalne prowadzono dla różnych wydajności pompy (przyjęto kilka stałych wartości wydajności pompy, użytecznych dla rzeczywistego procesu doju). Ponadto prowadzono pomiary z dynamiczną zmianą wydajności w trakcie napełniania zbiornika pomiarowego, pozwalające na sprawdzenie czułości czujników pomiarowych. W tabeli 2 zamieszczono zestawienie uzyskiwanych maksymalnych błędów względnych przy różnych wydajnościach pompy dla poszczególnych czujników pomiarowych. Pogrubionym drukiem zaznaczono najmniejsze wartości dla danej wydajności pompy.

Tabela 2. Wartości błędów względnych przy różnych wydajnościach pompy
Table 2. Values of relative errors at different pump efficiencies

Wydajność pompy [dm ³ ·min ⁻¹]	Błąd względny			Czujnik CLC
	Czujnik MPX 2010	Czujnik mic +25	Sonda PWP 420	
1	0,9	0,7	1	0,8
2,5	1,2	0,7	2	1,1
4	1,2	1	2	1,3
5,5	2	3,5	2,5	1,5

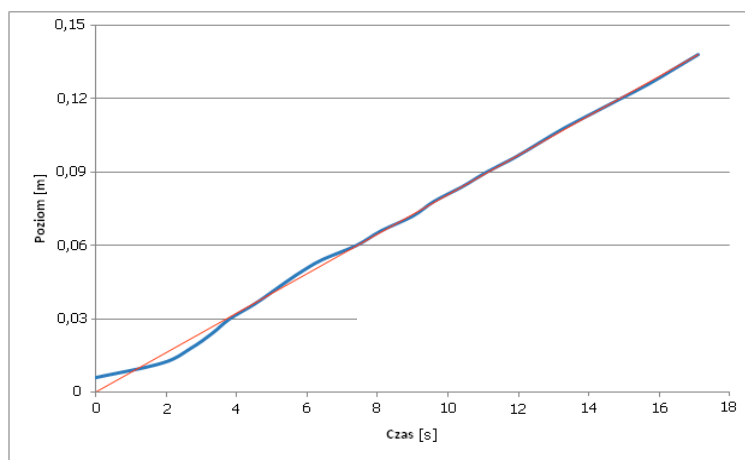
Źródło: opracowanie własne

Na rysunkach 5-8 zamieszczono wyniki pomiarów dla poszczególnych czujników uzyskiwane dla wydajności pompy 5,5 dm³·min⁻¹. Wszystkie wykresy uzyskano w podobny sposób, mierzono zmiany poziomu w zakresie od 3 cm do 16 cm. Wartości poniżej 3 cm odrzucano ze względu na konstrukcję czujnika PWP-420, która uniemożliwiała głębsze zanurzenie w zbiorniku. Obserwując uzyskane wykresy można zauważyć, że najbliższą liniowej charakterystyki jako wyznacznika idealnego pomiaru był czujnik CLC. Czujnik ten jest montowany na obudowie, na zewnątrz zbiornika, stąd nie ma problemów z jego myciem oraz nie zmniejsza on pojemności komory kolektora.



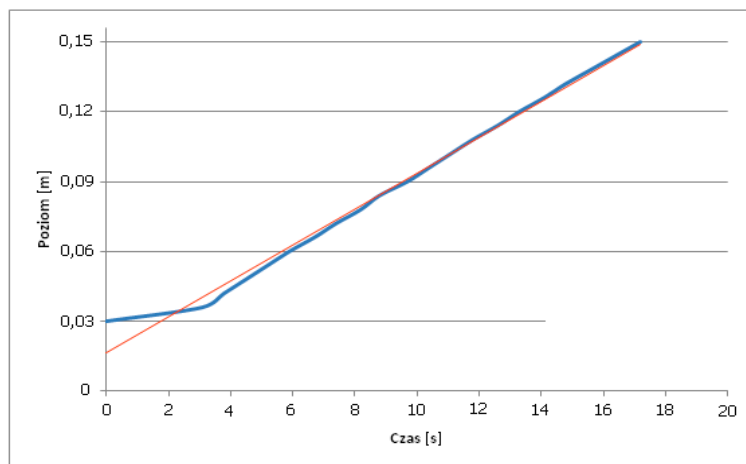
Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Charakterystyka zmiany poziomu cieczy w zbiorniku – czujnik MPX2010
Fig. 5. A description of changes of liquid level in a tank – sensor MPX2010



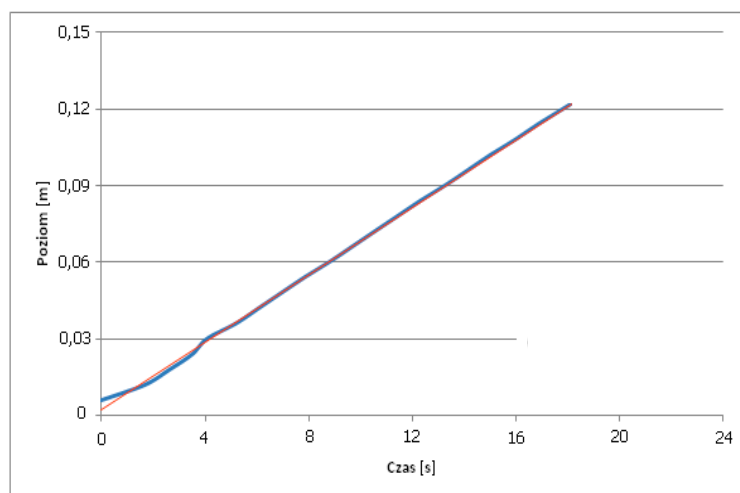
Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Charakterystyka zmiany poziomu cieczy w zbiorniku – czujnik mic+25
Fig. 6. A description of changes of liquid level in a tank – sensor mic+25



Źródło: opracowanie własne

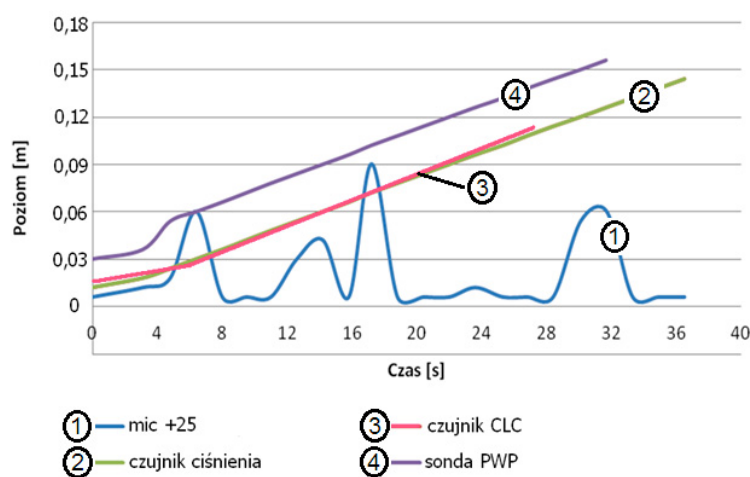
Rys. 7. Charakterystyka zmiany poziomu cieczy w zbiorniku – czujnik PWP – 420
 Fig. 7. A description of changes of liquid level in a tank – sensor PWP – 420



Źródło: opracowanie własne

Rys. 8. Charakterystyka zmiany poziomu cieczy w zbiorniku – czujnik CLC
 Fig. 8. A description of changes of liquid level in a tank – sensor CLC

Na rys. 9 zamieszczono zestawienie pomiarów poziomu cieczy pniącej. Najdokładniejszym czujnikiem był CLC, wynikało to z faktu, że w tym czujniku programuje się granicę dwóch ośrodków. Po zaprogramowaniu wartości minimalnej wprowadzono wartość maksymalną jako granicę ciecz-piana. Podobnie mierzył czujnik ciśnienia hydraulicznego MPX2010. Kompletnie nie spełniał zadań pomiarowych czujnik mic+25, ale wynikało to z tego, iż jest to czujnik ultradźwiękowy i piana pochłaniała ultradźwięki. Błędnie wskazywał również czujnik PWP-420, który mierzył poziom cieczy łącznie z pianą.



Rys. 9. Wyniki pomiarów poziomu cieczy pniącej
Fig. 9. Results of foaming liquid level measurements

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

1. Z badań doświadczalnych wynika, że właściwym czujnikiem do pomiaru wypływu mleka jest czujnik CLC (błąd przy natężeniu wypływu $5,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ wynosił 1,5%).
2. Czujnik CLC posiada możliwość zaprogramowania granicy dwóch ośrodków (mleko – piana), stąd najdokładniej mierzył poziom cieczy pniącej.
3. Dokładne wyniki pomiarów uzyskiwano dla czujnika ciśnienia MPX 2010, jednak względy technologiczne uniemożliwiają stosowanie tego czujnika w AAU.

Bibliografia

- Artmann R. (1997): Sensor system for milking robots. Computers and Electronics in Agriculture, 17, 19-40.
- Jędrus A., Lipiński M. (2008): Analiza funkcjonalna nowego aparatu udojowego. Inżynieria Rolnicza, 4(102), 337-345.
- Jędrus A. (2010): Metodyka badań wybranych właściwości metrologicznych termoanemometrycznych indykatorów wypływu mleka z zastosowaniem techniki mikroprocesorowej. Inżynieria Rolnicza, 7(125), 81-86.

- Juszka H., Lis S.** (2009): Sterowanie udojem oparte o model procesu. *Inżynieria Rolnicza*, 5(114), 93-99.
- Juszka H., Lis S., Tomasik M.** (2008): Modelowanie relacji strumienia masowego cieczy z ciśnieniem bezwzględnym w aparacie udojowym. *Inżynieria Rolnicza*, 4(102), 353-360.
- 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*, 56(2), 68-71.
- Juszka H., Tomasik M., Lis S., Bałys K.** (2011b): Kolektor autonomicznego aparatu udojowego. *Inżynieria Rolnicza*, 4(129), 93-98.
- Kościelny J.** (2001): Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, ISBN 83-87674-27-3.
- Kotowicz J., Wiciak G., Węcel D.** (2006): Pomiar strumienia – wybrane zagadnienia badań eksperymentalnych i modelowania. *Napędy i Sterowanie*, 5, 15-19.
- Ordolff D.** (2001): Introduction of electronics into milking technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30, 125-149.
- Szlachta J.** (2006): Komputerowe systemy zarządzania stadem. *Inżynieria Rolnicza*, 6(77), 17-33.
- Waluś S., Pachelski B., Szota W.** (2001): Analiza metrologiczna stanowisk do wzorcowania przepływomierzy metodą objętościową. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 1, 25-32.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MEASURING METHODS OF MILK FLOW IN A COLUMN OF AN AUTONOMOUS MILKING MACHINE

Abstract. The work presents a comparative analysis of the measuring methods of milk flow in a column of an autonomous milking machine as a measurable information on a temporary volume intensity of milk flow from a teat of a cow's udder. A detailed measurement of this size allows to control machine milking parameters which suit every quarter of a cow's udder including individual properties and characteristics of a natural sucking process. A comparative analysis of level sensors intended for measuring a temporary volume intensity of milk flow in an autonomous milking machine was the purpose of the work. Experimental research was carried out for four level sensors with the use of milk replacement liquid with using additionally a foaming agent. Based on the presented methodology and the analysis of the research results, the issue of measurements was described. Whereas, proper devices for measuring milk flow from a teat of a cow's udder in the column of an autonomous milking machine were presented in conclusions.

Key words: milking machine, liquid level measurement, liquid flow measurement

Adres do korespondencji:

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