

# Pomiar objętościowego natężenia przepływu mleka

Igor P. Kurytnik

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Zakład Inżynierii Procesów i Jakości, ul. Kolbego 8, 32-600 Oświęcim

Marcin Tomasiak, Stanisław Lis

Uniwersytet Rolniczy, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych, ul. Balicka 116, 30-149 Kraków

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono analizę porównawczą pomiaru poziomu mleka w kolumnie autonomicznego aparatu udojowego, jako wymierną informację o chwilowym objętościowym natężeniu wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy. Badania laboratoryjne przeprowadzono z wykorzystaniem trzech różnych czujników poziomu cieczy. Opracowano prototypy dwóch wersji rezystancyjnych układów pomiaru poziomu cieczy, których działanie porównano z czujnikiem Sensortechnic – CLC100. Wybrana metoda pomiarowa może być stosowana w bioinżynierii zwierząt; pozwoli dodatkowo na pomiar przewodności elektrycznej mleka. Ta wielkość fizyczna pozwala wykryć przypadki kliniczne u poszczególnych zwierząt w stadzie. Na podstawie informacji o poziomie mleka w kolektorze, w bloku funkcyjnym zaprogramowanym w sterowniku logicznym, obliczane jest chwilowe objętościowe natężenie wypływu mleka z ćwiartki gruczołu mlekowego krowy. Precyzyjny pomiar tej wielkości umożliwi sterowanie parametrami doju maszynowego krów, dopasowanymi do każdego strzyka wymienia krowy, z uwzględnieniem cech osobniczych w zakresie oddawania mleka.

**Słowa kluczowe:** aparat udojowy, czujnik poziomu, przepływ cieczy

## 1. Wprowadzenie

Pomiary wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy mają kluczowe znaczenie w sterowaniu parametrami doju maszynowego. Żadne z urządzeń pomiarowych stosowanych do pomiaru tej wielkości, oferowanych przez producentów sprzętu udojowego, nie gwarantuje pomiarów na poziomie dokładności (błąd względny) poniżej 10% [2, 10, 11]. Najczęściej producenci nie podają dokładności tych urządzeń, w notach informacyjnych można znaleźć jedynie zwroty „bardzo dokładny pomiar”. Opracowany przez autorów system sterowania autonomicznym aparatem udojowym i przedstawiany w pracach naukowych [3, 6] wymaga dostarczania precyzyjnych informacji o wartości chwilowego objętościowego natężenia wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy, stąd pojawiła się konieczność opracowania metody pomiaru tej wielkości [7, 9].

Wymagany układ może być zoptymalizowany tylko przez skonstruowanie odpowiedniego systemu pomiarowego wypływu mleka ze strzyka wymienia krowy. Taki system powinien mierzyć

wypływ mleka z każdej ćwiartki wymienia krowy. Parametry doju będą zmieniać się zależnie od wielkości wypływu mleka [1, 8]. Umożliwi to sterowanie procesem doju w obrębie każdej ćwiartki i dopasowanie dynamiki doju do cech osobniczych krów. Charakterystyka wpływu mleka ze strzyka krowy dostarcza dodatkowych ważnych informacji o reakcji na warunki doju itp. Przez wyznaczenie rezystancji właściwej pozyskiwanego od krowy mleka, można uzyskać informacje o jej stanie zdrowia.

Celem prac badawczych było opracowanie koncepcji czujnika poziomu, umożliwiającego pośrednie wyznaczenie objętościowego natężenia mleka przepływającego przez komory aparatu udojowego. Zakres pracy obejmował opracowanie koncepcji czujnika mierzącego przepływ cieczy przez kolektor aparatu udojowego, a następnie wykonanie schematów ideowych oraz prototypów urządzeń. Koncepcyjne układy pomiarowe weryfikowano w warunkach laboratoryjnych.

## 2. Aparat udojowy z systemem kontrolno-sterującym

Obiektem badań był koncepcyjny aparat udojowy (rys. 1), w którym zastosowano rozdzielone ciśnienie ssące mleko z strzyka wymienia krowy od transportującego do rurociągu i schładzarki. Konstrukcja tego urządzenia została objęta ochroną patentową. Na rysunku widoczna jest jedna sekcja obsługująca ćwiartkę wymienia krowy – składa się z dwóch zbiorników napełnianych naprzemiennie. W opracowanym aparacie udojowym wyróżnić można dwa systemy sterowa-

### Autor korespondujący:

Marcin Tomasiak, marcin.tomasik@ur.krakow.pl

### Artykuł recenzowany

nadesłany 13.04.2015 r., przyjęty do druku 27.07.2015 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

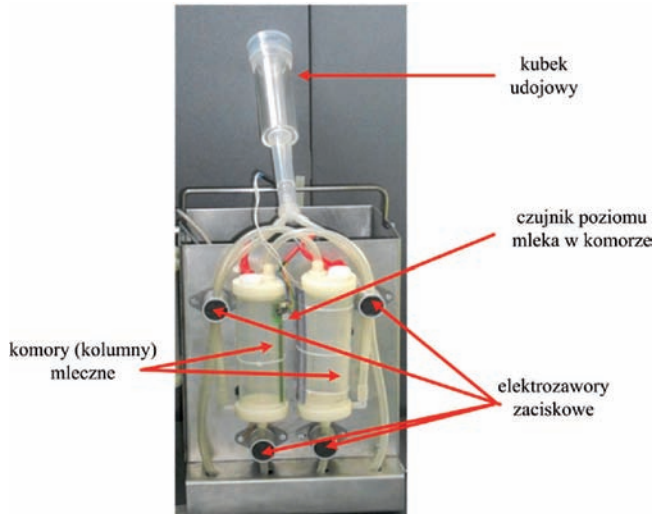
nia realizowane za pomocą jednego sterownika PLC. Pierwszy z systemów steruje dopływem mleka i powietrza do jego komór za pośrednictwem elektrozaworów zaciskowych zainstalowanych na przewodach mlecznych oraz powietrznych. Drugi system realizuje regulację ciśnienia ssącego dostarczanego do komory podstrykowej kubka udojowego [4]. Zalecane jest, aby wartość tego ciśnienia była skorelowana z wypływem mleka dla danego

strzyka udojowego, ponadto ciśnienie ssące odprowadzające mleko do instalacji rurociąkowej (o większej wartości) nie może powodować zmian ciśnienia podstrykowego.

Konstrukcja aparatu udojowego wyposażonego w kolumny dwukomorowe dla każdego strzyka niezależnie, umożliwia pomiar natężenia wypływu mleka ze strzyka zgodnie z zależnością (1):

$$A \frac{dh}{dt} = Q \tag{1}$$

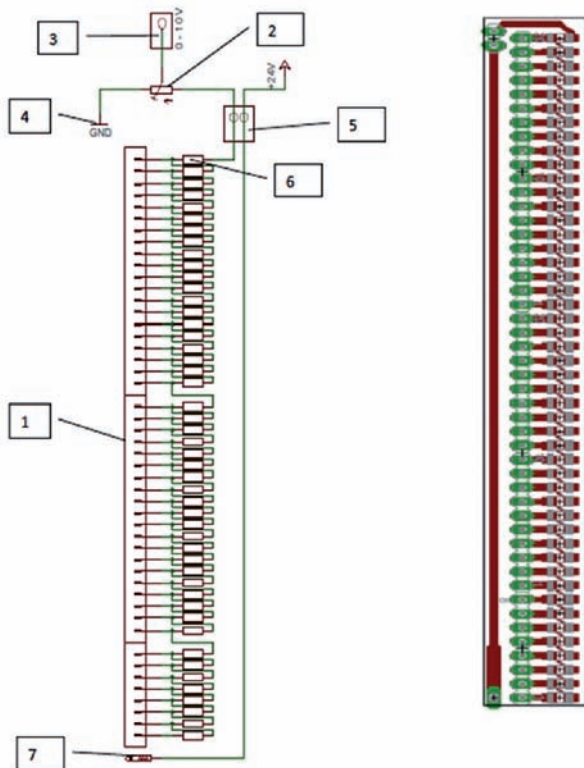
gdzie: A – pole powierzchni przekroju poprzecznego komory aparatu udojowego (cm<sup>2</sup>), h – poziom mleka w komorze (cm), Q – objętościowe natężenie przepływu (dm<sup>3</sup> · min<sup>-1</sup>).



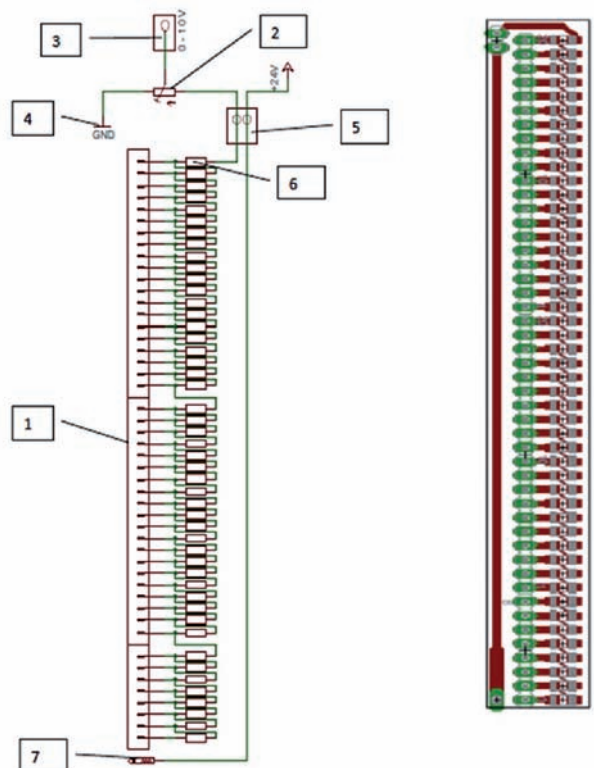
Rys. 1. Pomiarowy aparat udojowy  
Fig. 1. Measuring the cluster

### 3. Koncepcyjny układ pomiarowy

Podstawową informacją umożliwiającą wyznaczenie objętościowego natężenia przepływu jest zmiana poziomu cieczy różniczkowana po czasie. Zasada działania układów pomiarowych poziomu cieczy została oparta na pomiarze rezystancji obwodów zamykanych przez podnoszący się poziom mleka w komorze kolektora. Opracowano dwa warianty układów pomiarowych – z szeregowym oraz z równoległym połączeniem oporników. Schemat ideowy rezystancyjnego czujnika poziomu przedstawiono na rys. 2. Czujnik rezystancyjny zbudowany jest z 47 rezystorów o rezystancji 1 kΩ każdy. Jeden „pin” doprowadza



Rys. 2. Schemat rezystancyjnego czujnika poziomu cieczy – połączenie szeregowe: 1 – listwa pin, 2 – potencjometr skalujący 10 kΩ, 3 – wyjście napięciowe, 4 – masa, 5 – listwa połączeniowa, 6 – rezystor 1 kΩ, 7 – zasilanie układu pomiarowego  
Fig. 2. Scheme of a resistive liquid level sensor – serial connection: 1 – strip pin 2 – scaling 10 kΩ potentiometer, 3 – voltage output, 4 – mass, 5 – connection strip, 6 – resistor 1 kΩ, 7 – supply voltage for measurement system



Rys. 3. Schemat rezystancyjnego czujnika poziomu cieczy – połączenie równoległe: 1 – listwa „pin”, 2 – potencjometr skalujący 10 kΩ, 3 – wyjście napięciowe, 4 – masa, 5 – listwa połączeniowa, 6 – rezystor 47 kΩ, 7 – „pin” zasilający układ pomiarowy  
Fig. 3. Scheme of a resistive liquid level sensor – connected in parallel: 1 – strip pin, 2 – scaling 10 kΩ potentiometer, 3 – voltage output, 4 – mass, 5 – connection strip, 6 – 47 kΩ resistor, 7 – supply voltage for measurement system

napięcie zasilające do układu pomiarowego. Potencjometr skalujący pozwala na regulację napięcia w zakresie od 1 V DC do 10 V DC. Czujnik wbudowany jest w plastikowy przezroczysty pojemnik. Podczas napełniania zbiornika pomiarowego cieczą mlekozastępczą, w miarę wzrostu jej poziomu – załączane są kolejne piny czujnika. Wartość napięcia wzrasta wraz z poziomem cieczy. Wartość napięcia rejestrowana jest za pomocą karty pomiarowej na komputerze PC.

W drugim wariantcie konstruowanego układu połączono oporniki równolegle (rys. 3). Układ został zbudowany jak poprzednio, ale tym razem zastosowano oporniki o rezystancji 47 kΩ.

Prototyp czujnika zainstalowanego w kolumnie aparatu udajowego przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Rezystancyjny czujnik poziomu zamontowany w komorze

Fig. 4. The resistive level sensor installed in the chamber

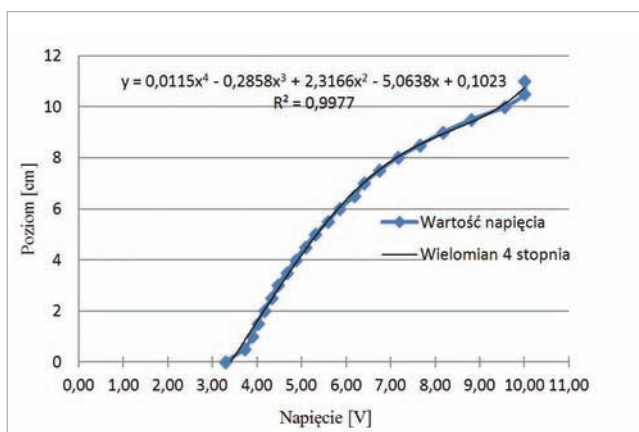
## 4. Weryfikacja funkcjonowania koncepcyjnych układów pomiarowych

Podczas wstępnych badań laboratoryjnych wykonano charakterystyki napięciowe dla każdego z konstruowanych układów. Uzyskane wyniki badań wykazały, że otrzymane charakterystyki nie są liniowe. Po przeprowadzeniu aproksymacji charakterystyk otrzymano przybliżone równania.

Charakterystykę napięciową wykonywano trzy razy dla każdego czujnika, następnie z pomiarów wyciągano średnią. Na podstawie średniej charakterystyki napięciowej czujniki pomiarowe zostały przeskalowane za pomocą funkcji obliczeniowych tak, aby wskazywały poziom cieczy w centymetrach. Wzory obliczeniowe wprowadzono do programu MATLAB/Simulink, w którym wyznaczano równania aproksymujące. W procesie modelowania wykorzystano metodę szybkiego prototypowania układów sterowania [4, 5].

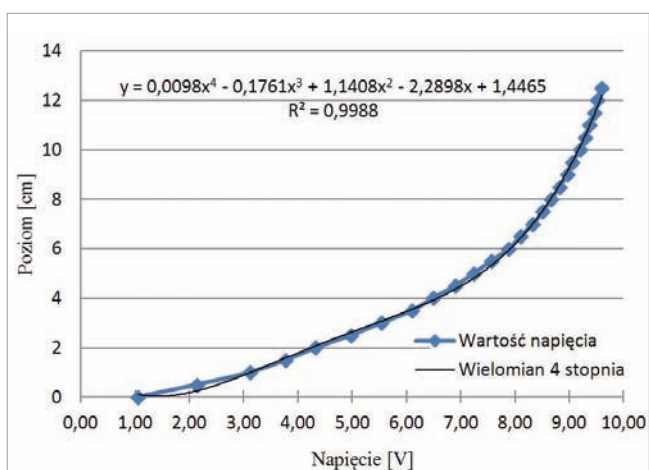
Następnie równania te zostały wprowadzone w blok funkcyjnym programowalnego sterownika logicznego PLC, który obliczał objętościowe natężenie przepływu. Wybrano takie rozwiązanie, ponieważ sterownik ten miał również wbudowany algorytm sterowania całym aparatem udajowym. Wysoka moc obliczeniowa tego urządzenia gwarantowała poprawną pracę całego systemu pod rygorem czasu rzeczywistego.

Charakterystykę napięciową układu pomiarowego z szeregowym połączeniem rezystorów wraz z wynikami aproksymacji przedstawiono na rys. 5. Aproksymację realizowano przy użyciu różnych wielomianów. Najbardziej optymalnym, dającym odpowiednią jakość dopasowania z uwzględnieniem konieczności zaprogramowania go na sterowniku logicznym był wie-



Rys. 5. Charakterystyka napięciowa układu pomiarowego z szeregowym połączeniem rezystorów oraz aproksymacją wielomianem stopnia czwartego

Fig. 5. Characteristics of voltage measuring system with a serial combination of resistors and fourth degree polynomial approximation



Rys. 6. Charakterystyka napięciowa układu pomiarowego z równoległym połączeniem rezystorów oraz aproksymacją wielomianem stopnia czwartego

Fig. 6. Characteristics of voltage measuring system parallel combination of resistors and fourth degree polynomial approximation

liomian stopnia czwartego. Taki wariant wybrano również dla układu z połączeniem równoległym rezystorów (rys. 6).

Pomiary weryfikacyjne zostały wykonane za pomocą czujnika Sensortechnic – CLC o deklarowanym przez producenta błędzie względnym pomiaru – wynoszącym 1%. Czujnik poziomu cieczy CLC (rys. 7) pozwala na bezdotkowy pomiar



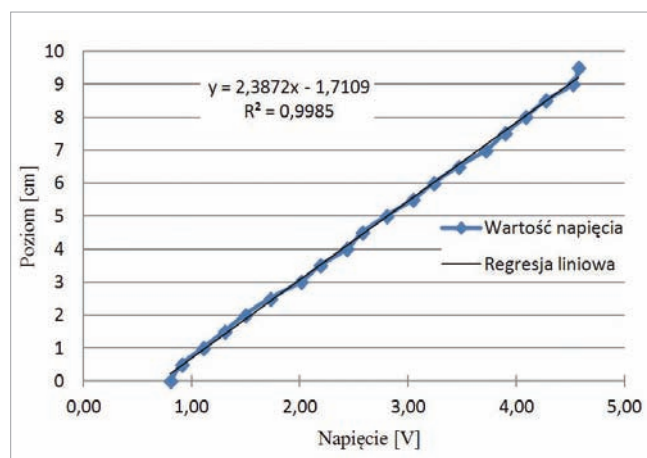
Rys. 7. Referencyjny czujnik poziomu Sensortechnic – CLC

Fig. 7. Reference sensortechnic level sensor – CLC

poziomu cieczy, może być łatwo przymocowany do pojemnika lub naczynia. Wykorzystuje bezstykową pojemnościową technologię pomiaru. Jest to urządzenie wydajne przystosowane do intensywnego, długotrwałego użytkowania. Czujnik CLC przed użyciem dla każdej cieczy należy poddać kalibracji. W badaniach czujnik kalibrowano przymiarem liniowym

z dokładnością do 1 mm, służył on również jako dodatkowy przyrząd weryfikujący.

Na rys. 8 zamieszczono charakterystykę napięciową czujnika pomiarowego CLC, wykres zawiera również dopasowanie funkcji aproksymacyjnej do charakterystyki napięciowej.



Rys. 8. Charakterystyka napięciowa czujnika CLC  
Fig. 8. Characteristics of the sensor voltage CLC

Każdy z badanych układów pomiaru poziomu badano wg tego samego schematu: karta pomiarowa z przetwornikiem A/D o rozdzielczości 16 bitów, oprogramowanie MATLAB/Simulink, za pomocą którego prowadzono rejestrację pomiarów i obliczenia. Przeprowadzone pomiary pozwoliły na oszacowanie ich dokładności pomiarowych, a wyniki zestawiono w tabeli 1. Zamieszczono w niej średnie wartości błęd pomiarów odnoszące się do zakresu pomiarowego.

Tabela 1. Wartość błędów pomiaru natężenia wypływu dla badanych czujników

Table 1. The measurement errors for the test flow rate sensors

	Układ szeregowy	Układ równoległy	Czujnik CLC
Średni absolutny błąd względny [%]	5,2	3,2	1,5

Otrzymane równania pozwoliły na zaprogramowanie programowalnego sterownika logicznego do realizacji wyliczania objętościowego natężenia przepływu cieczy mleko zastępczej przez kolektor. Przeprowadzono łącznie 45 prób dla różnych wartości natężenia przepływu. Sterownik płynnie wyznaczał wartość chwilowego objętościowego natężenia przepływu cieczy przez komorę kolektora.

Przedstawione w pracy czujniki różnią się charakterystykami napięciowymi, lecz funkcjami matematycznymi można skutecznie opisywać realizowane w nich przetwarzanie sygnałów. Są łatwe w eksploatacji, utrzymywanie czystości nie jest problematyczne, ponieważ nie posiadają części ruchomych. Zastosowana koncepcja budowy czujnika pomiarowego umożliwia realizację w nim pomiaru przewodności elektrycznej mleka.

## 5. Wnioski

1. Układ pomiarowy przeznaczony do pomiaru chwilowego objętościowego przepływu cieczy mlekozastępczej z równoległym połączeniem rezystorów charakteryzował się maksymalnym błędem względnym wynoszącym 3,2%.
2. Układ pomiarowy przeznaczony do pomiaru chwilowego objętościowego przepływu cieczy mlekozastępczej z szeregowym połączeniem rezystorów posiadał maksymalny błąd względny wynoszący 5,2%.
3. Oszacowany maksymalny błąd względny pomiaru dla czujnika CLC wynosił 1,5%. Czujnik CLC umożliwia zaprogramowanie granicy dwóch ośrodków (mleko – piana), dlatego najlepiej mierzył poziom cieczy pieniającej.
4. Przewiduje się poprowadzenie prac dotyczących poprawy układu pomiarowego, które mogą spowodować znaczące zmniejszenie nieliniowości charakterystyki pomiarowej tego układu.

## Bibliografia

1. Ambord S., Bruckmaier R.M., *Milk flow-dependent vacuum loss in high-line milking systems: Effects on milking characteristics and teat tissue condition*, "Journal of Dairy Science", Vol. 93, 8/2010, 3588–3594, DOI: 10.3168/jds.2010-3059.
2. Ipema A.H., Hogewerf P.H., *Quarter-controlled milking in dairy cows*, "Computers and Electronics in Agriculture", Vol. 62, 1/2008, 59–66, DOI: 10.1016/j.compag.2007.09.007.
3. Juszka H., Lis S., Tomasik M., *Koncepcja dwukomorowego kolektora autonomicznego aparatu udojowego*, "Inżynieria Rolnicza", R. 15, Nr 8(133)/2011, 161–165.
4. Juszka H., Lis S., Tomasik M., *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, No. 2/2011, 68–71.
5. Kurytnik I.P., Lis S., Drózd T., Telega A., *Metoda szybkiego prototypowania w opracowaniu algorytmu sterowania instalacją solarną*, "Pomiary Automatyka Kontrola", R. 60, Nr 5/2014, 325–328.
6. Lis S., Juszka H., Tomasik M., *Modelowanie przepływu mleka w kolumnie kolektora autonomicznego aparatu udojowego dla krów*, "Inżynieria Rolnicza", R. 16, Nr 2(136)/2012, 169–178.
7. Ordolf D., *Introduction of electronics into milking technology*, "Computers and Electronics in Agriculture", Vol. 30, 1-3/2001. 125–149.
8. Rasmussen M.D., *Influence of switch level of automatic cluster removers on milking performance and udder health*, "Journal of Dairy Research", Vol. 60, 3/1993, 287–297, DOI: 10.1017/S0022029900027631.
9. Rossing W., Hogewerf P.H., *State of the art of automatic milking systems*, "Computers and Electronics in Agriculture", 17/1997, 1–17.
10. Tomasik M., Juszka H., Lis S., *Analiza porównawcza metod pomiaru przepływu mleka w kolumnie autonomicznego aparatu udojowego*, "Inżynieria Rolnicza", R. 16, Nr 2(136)/2012, 335–344.
11. Zaninelli M., Tangorra F.M., *Development and testing of a "free-flow" conductimetric milk meter*, "Computers and Electronics in Agriculture", Vol. 57, 2/2007, 166–176, DOI: 10.1016/j.compag.2007.03.004.

## The measurement of volumetric flow rate milk

**Abstract:** The paper presents a comparative analysis measuring the level of milk in the column autonomous milking cluster, as tangible information about the momentary volume flow of milk outflow from a teat of a cow. Laboratory tests were carried out for the three liquid level sensors. Prototypes of two versions of the resistive circuits liquid level developed, whose function was compared with a sensor sensortechnic – CLC100. The chosen method of measurement is related to the bioengineering of animals, will also allow for the measurement of electrical conductivity of milk. This physical quantity enables to detect the clinical cases in individual animals in the herd. On the basis of information on the level of milk in a collector, function block programmed logic controller, the instantaneous volumetric flow of milk from the udder quarters of a cow is calculated. Precise measurement of this quantity allows one to control the parameters of machine milking cows, matched to each teat of the cow, taking into account ontogenetic differences in the putting milk.

**Keywords:** milking cluster, level sensor, liquid flow

### prof. dr hab. inż. Igor Piotr Kurytnik

ikurytnik@ath.bielsko.pl

Profesor zwyczajny Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej (kierownik Katedry Elektrotechniki i Automatyki) i Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Oświęcimiu (kierownik Zakładu Inżynierii Procesów i Jakości). Z wyróżnieniem ukończył Wydział Automatyki i Elektroniki Politechniki Lwowskiej (1968 r.). Obrona doktoratu – 1973 r., habilitacja – 1987 r., prof. tytularny – 1990 r. Jest autorem ponad 250 patentów i publikacji naukowo-technicznych z zakresu technik informacyjno-pomiarowych. Członek Akademii Inżynierskich w Polsce i Ukrainie. Reprezentant Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, konsultant do spraw rozwoju firmy Limatherm Sensor.



### dr inż. Marcin Tomasik

marcin.tomasik@ur.krakow.pl

Absolwent Wydziału Techniki i Energetyki Rolnictwa Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie. W tejże Uczelni w 2005 r. uzyskał stopień doktora nauk rolniczych w zakresie inżynierii rolniczej. Od 2005 r. pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie. Jest autorem i współautorem: 2 monografii, 90 publikacji w krajowych czasopismach naukowych, 6 publikacji w zagranicznych czasopismach naukowych, w tematyce modelowania, automatyzacji (z zastosowaniem PLC oraz systemów informatycznych SCADA) procesów produkcyjnych.



### dr inż. Stanisław Lis

stanislaw.lis@ur.krakow.pl

Absolwent Wydziału Techniki i Energetyki Rolnictwa Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie. W tejże Uczelni w 2009 r. uzyskał stopień doktora nauk rolniczych w zakresie inżynierii rolniczej. Od 2011 r. pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie. Jego zainteresowania badawcze obejmują automatyzację i robotyzację procesów rolno-spożywczych.



