

ANALIZA PORÓWNAWCZA CZUJNIKÓW TEMPERATURY ZAMONTOWANYCH W KUBKU UDOJOWYM*

Aleksander Jędrus

Instytut Inżynierii Biosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. Celem pracy było porównanie wybranych parametrów metrologicznych dwóch typów termistorów: bez materiału osłonowego oraz z materiałem osłonowym wykonanym ze stali kwasoodpornej. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem opracowanego na potrzeby badań komputerowego stanowiska badawczego. Analizę porównawczą czujników temperatury przeprowadzono z wykorzystaniem metody funkcji skokowej Heaviside'a, realizowanej przy użyciu programowanego sterownika pompy i rejestratora sygnałów pomiarowych o dużej rozdzielczości. Badania wykazały większą czułość termistora bez dodatkowej osłony, w porównaniu z konstrukcją czujnika z dodatkową osłoną ze stali kwasoodpornej. Największe różnice wartości czułości badanych czujników temperatury uzyskiwano przy krótkich czasach przerw w przepływie cieczy.

Słowa kluczowe: czujnik temperatury, fluktuacja temperatury, kubek udojowy, materiał osłonowy

Wstęp

Problematyka pomiarów temperatury w kubku udojowym dojarki mechanicznej jest w literaturze zagadnieniem słabo rozpoznany. W dostępnych na rynku sterownikach doju, jak i w robotach udojowych rzadko stosowane są czujniki temperatury (Jędrus i Gil, 2011). Ich stosowanie ograniczone jest do funkcji kontrolnych (utrzymanie stałej temperatury pracy w modułach elektronicznych systemów udojowych) lub do pomiaru temperatury maksymalnej wpływającego mleka z wymion krów. W drugim przypadku rejestrowane wartości temperatury mleka mogą być wskaźnikiem stanu zdrowotnego dojonych zwierząt.

Przeprowadzone w Polsce badania wykazały przydatność pomiaru temperatury mleka podczas doju maszynowego, m. in. do wykrywania ostrych i podklinicznych schorzeń gruczołu mlekowego u krów (Gil, 1988a, 1988b; Gil i in., 1993). Jak podaje Gil (1988a) przy pomiarze temperatury mleka u krów z podklinicznymi schorzeniami gruczołu mlekowego stwierdzano fluktuację temperatury mleka, rozumianą jako mniejsze lub większe spadki temperatury, występujące z mniejszą lub większą częstotliwością podczas doju.

* Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego MNISW nr N N313 787040

Od 2011 roku w Instytucie Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu we współpracy z Katedrą Hodowli Bydła Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie rozpoczęto nowe badania związane z problematyką diagnostyki temperaturowej krów. Jednym z obszarów badawczych jest analiza wpływu materiałów osłonowych stosowanych w konstrukcji termistorów, na warunki pomiaru temperatury mleka w kubku udojowym. We wcześniejszych badaniach (Gil, 1988a; Kliszczewski i in., 2000) stosowano czujniki termistorowe bez dodatkowej osłony, co umożliwiało uzyskiwanie dużej czułości pomiarów temperatury w czasie doju maszynowego krów. Planowane długotrwałe badania z użyciem nowego aparatu udojowego w warunkach oborowych, w ramach codziennej rutyny doju, stworzyło konieczność stosowania w konstrukcji termistorów dodatkowych osłon wykonanych ze stali kwasoodpornej (Gryśka, 2011; Jędrus i Zaborowicz, 2011). Jak podaje Zakrzewski (2004), w warunkach przemysłowych, gdzie trwałość narzędzia pomiarowego jest istotną jego cechą, termometr zawsze jest zabezpieczony osłonami chroniącymi go mechanicznie i chemicznie.

Celem pracy była analiza porównawcza czujników temperatury zamontowanych w kubku udojowym. Zakres prac obejmował opracowanie komputerowego stanowiska badawczego oraz badania laboratoryjne termistorów bez osłony i z osłoną metalową z wykorzystaniem metody funkcji skokowej Heaviside'a.

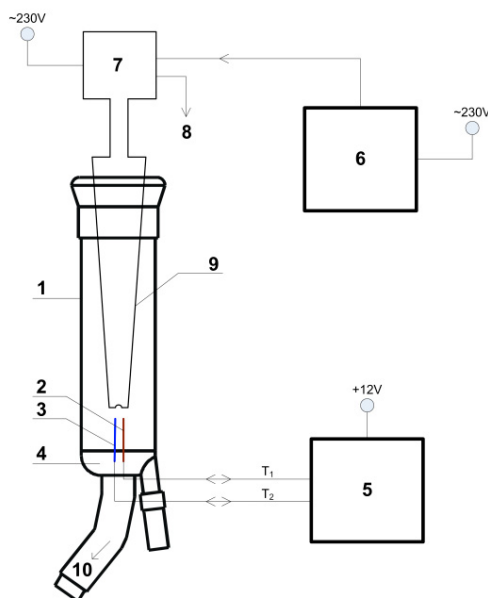
Koncepcja rozwiązania problemu

Na potrzeby badań w Instytucie Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu zaprojektowano i zbudowano komputerowe stanowisko badawcze.

Nowe rozwiązanie konstrukcyjne składa się z następujących części i podzespołów:

- przezroczystego kubka udojowego opracowanego przez firmę GEA Farm Technologies;
- termistora bez dodatkowej osłony o oznaczeniu TT3-5KC3-68 firmy Tewa Temperature Sensors Sp. z o.o. z Lublina;
- termistora TT3-5KC3-68 w dodatkowej osłonie ze stali kwasoodpornej (o nowym oznaczeniu TT4-5KC3-25-3500-UPP) firmy Tewa Temperature Sensors Sp. z o.o. z Lublina;
- przezroczystego wziernika umożliwiającego montaż czujników temperatury w kubku udojowym;
- mikroprocesorowego modułu wyposażonego w układ zasilania termistorów oraz automatyczny rejestrator sygnałów pomiarowych o częstotliwości rejestracji 1 pomiaru na sekundę i czasie rejestracji równym 450 minut;
- programowanego sterownika pracy pompy perystaltycznej wraz z programem komputerowym;
- pompy perystaltycznej firmy Polanes z Bydgoszczy, o znamionowym natężeniu przepływu cieczy równym 500 ml na minutę, zasilanej napięciem przemiennym 230 V;
- pięciolitrowego zbiornika na ciecz, wyposażonego w czujnik temperatury Pt100 współpracujący z miernikiem temperatury PT-401 firmy Elmetron z Gliwic;
- specjalnej zatyczki kubka udojowego opracowanej przez firmę Polanes z Bydgoszczy, o średnicy otworu równej 6 mm;
- zbiornika dodatkowego na wypływającą z kubka udojowego ciecz.

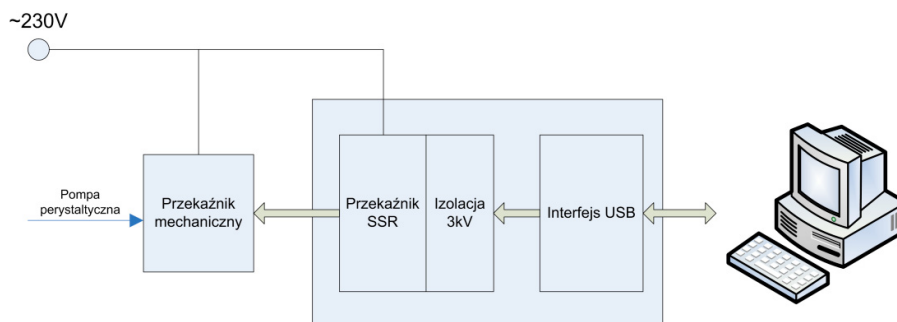
Uproszczony schemat nowego rozwiązania konstrukcyjnego stanowiska przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Uproszczony schemat stanowiska badawczego: 1 – kubek udojowy 2 – termistor bez osłony (T_1) 3 – termistor z osłoną (T_2) 4 – wziernik 5 – moduł elektroniczny z automatycznym rejestratorem sygnałów pomiarowych 6 – programowany sterownik pracy pompy podłączony do komputera 7 – pompa perystaltyczna 8 – zbiornik na ciecz z miernikiem temperatury 9 – zatyczka kubka udojowego 10 – zbiornik dodatkowy

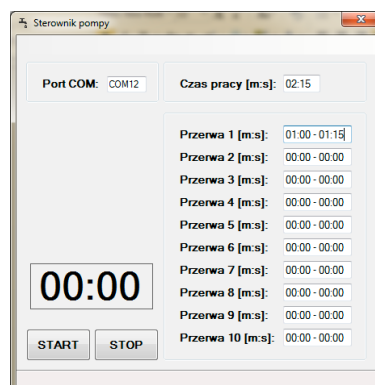
Figure 1. A simplified schematic representation of the research position: 1 – teat cup 2 – thermistor without shield (T_1) 3 – thermistor with a shield (T_2) 4 – sight glass 5 – electronic module with automatic recorder of measuring signals 6 – programmed controller of heat operation connected to a computer 7 – peristaltic pump 8 – liquid tank with temperature meter 9 – teat cup plug 10 – additional tank

Szczegółowe parametry metrologiczne i funkcjonalne wybranych podzespołów stanowiska udojowego podano w literaturze (Beba, 2013; Jędrus i Zaborowicz, 2011; Szeremeta, 2013). Nowością jest sposób montażu czujników temperatury w kubku udojowym, umożliwiającą jednocześnie obmywanie obu termistorów strumieniem przepływającej cieczy, przy jednoczesnej izolacji głowic pomiarowych. Nowym urządzeniem, opracowanym na potrzeby badań w Instytucie Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu we współpracy z firmą Polanes z Bydgoszczy, jest programowany sterownik pracy pompy perystaltycznej. Schemat blokowy nowego urządzenia przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Schemat blokowy programowanego sterownika pracy pompy perystaltycznej
 Figure 2. Block scheme of the programmed controller of peristaltic pump operation

Cechą charakterystyczną tego urządzenia jest możliwość automatycznego sterowania pracą pompy z użyciem komputera i specjalnego programu komputerowego. Widok okna programu przedstawiono na rycinie 3.



Rysunek 3. Widok okna programowania pracy sterownika pompy perystaltycznej
 Figure 3. Programming window view of the peristaltic pump controller operation

Maksymalny czas pracy pompy wynosi 10 minut. Przerwy w pracy pompy (maksymalnie 10) mogą być programowane w zakresie od 1 do 60 sekundy z rozdzielczością 1 sekundy. Po zaprogramowaniu czasu pracy i czasów trwania przerw załącza się pompę przy użyciu okna START, dalsza praca pompy sterowana jest automatycznie.

Nowe urządzenie umożliwia symulowanie przerw w splywie mleka u krów z podklinicznymi schorzeniami gruczołu mlekowego, jak również generowanie powtarzalnego skoku jednostkowego przy badaniu wybranych własności metrologicznych czujników temperatury z użyciem metody funkcji skokowej Heaviside'a (Jędrus, 2010).

Metodyka badań

Przyjęty w badaniach sposób postępowania miał na celu ocenę przydatności termistora z dodatkową osłoną ze stali kwasoodpornej do wykrywania docelowo fluktuacji spływu mleka z ćwiartek wymion krów w czasie doju maszynowego, według założeń podanych w literaturze (Gil, 1988a).

Badania czujników temperatury bez osłony i z osłoną ze stali kwasoodpornej zamontowanych w kubku udojowym, przeprowadzono w laboratorium Instytutu Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Wykorzystano metodę funkcji skokowej Heaviside'a (Jędrus, 2010; Jędrus i Zaborowicz, 2011). Przyjęto, że skok jednostkowy będzie miał postać i-sekundowego zaniku przepływu cieczy (o stałej temperaturze i natężeniu przepływu). Przed badaniami nagrzewano ciecz do temperatury około 38,6°C, następnie łączyano rejestrator sygnałów pomiarowych oraz pompę perystaltyczną (bezpośrednio z komputera, po wcześniejszym zaprogramowaniu czasu pracy i czasu przerwy działania pompy). W badaniach przyjęto następujący sposób pracy pompy: 60-sekundowa praca ciągła pompy, i-sekundowe wyłączenie pompy (programowano następujące czasy przerw: 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 60 sekund) oraz ponowna 60-sekundowa praca ciągła pompy i automatyczne jej wyłączenie. Założony początkowy czas pracy pompy wynikał z faktu, że w warunkach oborowych większość przypadków pojawiania się fluktuacji temperatury rejestrowano w dalszej fazie doju (Gil, 1988a).

Na podstawie zarejestrowanych wartości temperatur sporządzono, z użyciem programu Microsoft Office Excel, przebiegi odpowiedzi na i-sekundowe przerwy w przepływie cieczy obmywającej badane czujniki. Analizowanym parametrem była różnica temperatur pomiędzy wartością temperatury cieczy w chwili wyłączenia pompy a temperaturą wskazywaną przez czujniki bez osłony i z dodatkową osłoną po upływie zaprogramowanego czasu trwania przerwy w przepływie cieczy. Na podstawie uzyskanych wyników badań porównano czułość obu rozwiązań konstrukcyjnych czujników temperatury.

Wyniki badań doświadczalnych

Przeprowadzone badania wykazały poprawność przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych nowego stanowiska pomiarowego. Zastosowanie urządzeń programowanych umożliwiło precyzyjne generowanie przerw w przepływie cieczy obmywającej badane czujniki. W trakcie badań wartości temperatur cieczy różniły się od wartości początkowej temperatury cieczy przygotowanej w zbiorniku. Jest to problem już omawiany w literaturze, związany ze zjawiskiem ochłodzenia się przepływającego medium na drodze zbiornik-czujniki temperatury (Gryśka, 2011; Jędrus i Zaborowicz, 2011; Szeremeta, 2013). Niemniej uzyskiwano zbliżone wartości temperatur cieczy przed automatycznym wyłączeniem pompy perystaltycznej.

W tabeli 1 zestawiono uzyskane wyniki badań, w tym wartości różnic temperatur przy różnych czasach trwania przerw w przepływie cieczy przez badane czujniki temperatury.

Tabela 1
Zbiorcze zestawienie wyników badań
Table 1
Collective list of the test results

t_i (s)	Termistor bez osłony			Termistor z osłoną		
	T_{60} (°C)	T_{60+i} (°C)	ΔT (°C)	T_{60}' (°C)	T_{60+i}' (°C)	$\Delta T'$ (°C)
5	37,9	36,5	1,4	37,8	37,2	0,6
7	38,0	35,9	2,1	37,9	36,8	1,1
10	37,7	35,0	2,7	37,6	36,0	1,6
15	37,8	34,6	3,2	37,7	35,2	2,5
20	37,8	33,5	4,3	37,7	34,1	3,6
25	37,8	33,3	4,5	37,7	33,9	3,8
30	37,8	33,0	4,8	37,6	33,5	4,1
35	37,9	32,6	5,3	37,7	33,1	4,6
40	38,0	31,6	6,4	37,9	32,0	5,9
60	37,6	28,1	9,5	37,5	28,8	8,7

Wykaz oznaczeń:

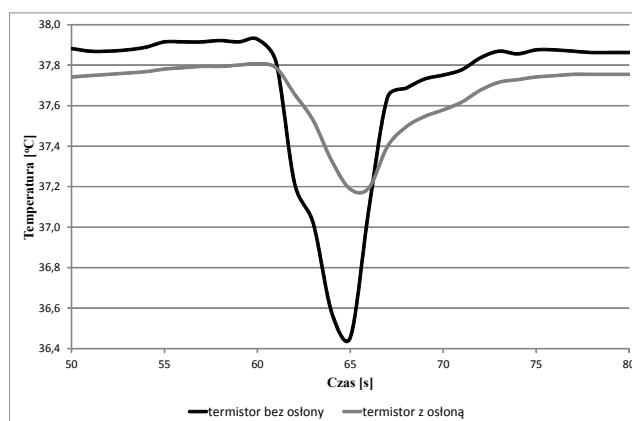
t_i - programowany czas trwania przerwy pracy pompy (s);

T_{60} ; T_{60+i} - temperatura cieczy w chwili wyłączenia pompy, po 60-sekundowym przepływie cieczy przez czujnik bez osłony i z dodatkową osłoną (°C);

T_{60+i} ; T_{60+i}' - temperatura wskazywana przez czujniki temperatury bez osłony i z dodatkową osłoną po upływie zaprogramowanego czasu trwania przerwy w przepływie cieczy (°C);

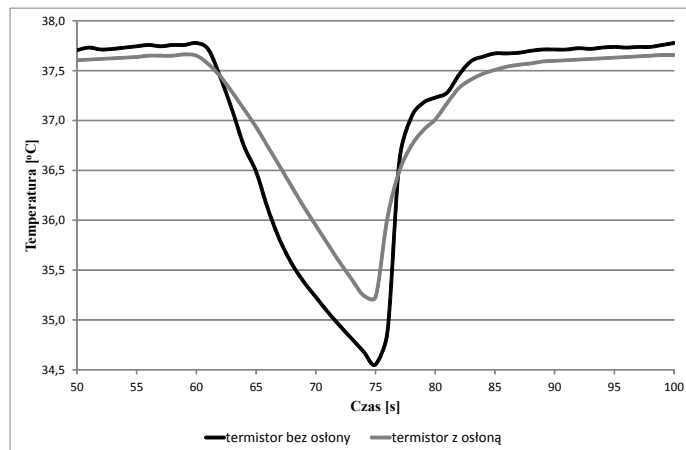
$\Delta T = T_{60} - T_{60+i}$; $\Delta T' = T_{60}' - T_{60+i}'$ - różnica temperatur pomiędzy wartością temperatury cieczy w chwili wyłączenia pompy a temperaturą wskazywaną przez czujniki bez osłony i z dodatkową osłoną po upływie zaprogramowanego czasu trwania przerwy w przepływie cieczy (°C)

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono przykładowe odpowiedzi badanych czujników temperatury na skok jednostkowy (zanik przepływu cieczy o czasie trwania i-sekund).



Rysunek 4. Przebiegi odpowiedzi dwóch rodzajów czujników termistorowych na 5-sekundowy zanik przepływu cieczy

Figure 4. Course of answers of two types of thermistor sensors to 5-seconds liquid flow failure



Rysunek 5. Przebiegi odpowiedzi dwóch rodzajów czujników termistorowych na 15-sekundowy zanik przepływu cieczy
 Figure 5. Course of answers of two types of thermistor sensors to 15-seconds liquid flow failure

W każdym przypadku uzyskiwano większe wartości różnic temperatur dla termistora bez dodatkowej metalowej osłony. Im dłuższy czas przerwy w przepływie cieczy obmywającej czujniki, tym wartości różnic temperatur zarejestrowanych dla czujnika z dodatkową osłoną metalową są zbliżone do wartości uzyskiwanych dla wariantu czujnika bez osłony. Wyniki analizy porównawczej przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Wynik analizy porównawczej badanych czujników temperatury

Table 2

Result of the comparative analysis of the researched temperature sensors

Czas przerwy t_i (s)	Termistor bez osłony ΔT (°C)	Termistor z osłoną $\Delta T'$ (°C)	$k = \frac{\Delta T}{\Delta T'}$	Czas przerwy t_i (s)	Termistor bez osłony ΔT (°C)	Termistor z osłoną $\Delta T'$ (°C)	$k = \frac{\Delta T}{\Delta T'}$
5	1,4	0,6	2,3	25	4,5	3,8	1,2
7	2,1	1,1	1,9	30	4,8	4,1	1,2
10	2,7	1,6	1,7	35	5,3	4,6	1,1
15	3,2	2,5	1,3	40	6,4	5,9	1,1
20	4,3	3,6	1,2	60	9,5	8,7	1,1

Wykaz oznaczeń:

k - współczynnik - stosunek czułości termistora bez osłony ($S = \frac{\Delta T}{t_i}$) do czułości termistora z osłoną

$$(S' = \frac{\Delta T'}{t_i})$$

W literaturze nie występują informacje na temat czasów trwania zaników splywu mleka z ćwiartek wymion krów z podklinicznymi schorzeniami gruczołów mlekowych. Analiza termogramów splywu mleka rejestrowanych przez Gila (1988a) wskazuje, że czas trwania fluktuacji jest zróżnicowany, ale najczęściej trwają co najmniej kilkanaście sekund. W takich przypadkach zastosowanie termistora z dodatkową osłoną umożliwi również precyzyjną rejestrację splywu mleka z ćwiartek wymion krów.

Przeprowadzona w warunkach laboratoryjnych analiza porównawcza czujników temperatury umożliwiła ocenę przydatności termistora w osłonie ze stali kwasoodpornej np. do wykrywania fluktuacji splywu mleka z ćwiartek wymion krów z podklinicznymi schorzeniami gruczołu mlekowego. Pomimo uzyskiwanych mniejszych wartości różnic temperatur w momencie przerwy w przepływie cieczy, w porównaniu z konstrukcją termistora bez dodatkowej osłony, parametry metrologiczne termistora oraz bardzo duża rozdzielczość pomiarów (w badaniach laboratoryjnych i oborowych stosowany jest mikroprocesorowy rejestrator sygnałów pomiarowych z 16-bitowym przetwornikiem A/C delta-sigma) umożliwią wykrywanie przerw nawet o krótkim czasie trwania (od 5 sekund).

Aktualnie trwają badania w warunkach oborowych z wykorzystaniem termistorów bez i z dodatkowym materiałem osłonowym, zamontowanych w kubku udojowym (identycznie jak w badaniach laboratoryjnych). Analiza porównawcza czujników temperatury musi w tym przypadku uwzględnić specyfikę doju maszynowego oraz warunki występujące w kubku udojowym na stanowisku udojowym.

Wnioski

1. Nowe stanowisko pomiarowe umożliwi przeprowadzanie badań porównawczych wybranych własności metrologicznych czujników temperatury, jak również pozwala na symulację przerw splywu mleka u krów z podklinicznymi schorzeniami gruczołu mlekowego.
2. Termistor bez dodatkowego materiału osłonowego charakteryzuje większa czułość pomiarów niż termistora z dodatkowym materiałem osłonowym, w szczególności przy krótkich czasach przerw w przepływie cieczy.
3. Termistor z osłoną ze stali kwasoodpornej może być stosowany w warunkach oborowych, ale z zachowaniem dużej rozdzielczości pomiarów temperatury.

Literatura

- Beba, J. (2013). *Wpływ czynników występujących na stanowisku udojowym w czasie doju krów na wybrane własności metrologiczne czujników temperatury mleka zamontowanych w aparacie udojowym*. Praca magisterska. Maszynopis Instytutu Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
- Gil, Z. (1988a). *Kształtowanie się temperatury mleka podczas doju krów z podklinicznymi schorzeniami gruczołu mlekowego*. Rozprawa habilitacyjna. Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie.
- Gil, Z. (1988b). Milk temperature fluctuations during milking in cows with subclinical mastitis. *Livestock Production Science*, 20, 223-231.

- Gil, Z.; Szarek, J.; Feleńczak, A.; Nowak, C. (1993). Wykorzystanie pomiaru temperatury mleka jako niekonwencjonalnej metody wykrywania rui, schorzeń gruczołu mlekowego i innych chorób oraz ciąży u krów. *Medycyna Weterynaryjna*, 49, 82-85.
- Gryśka, M. (2011). *Ocena funkcjonalna czujników temperatury zamontowanych w diagnostycznym aparacie udojowym*. Praca magisterska. Maszynopis Instytutu Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
- Jędrus, A. (2010). Metodyka badań wybranych własności metrologicznych termoanemometrycznych indykatorów wypływu mleka z zastosowaniem techniki mikroprocesorowej. *Inżynieria Rolnicza*, 7(125), 81-86.
- Jędrus, A.; Gil, Z. (2011). *Czterocwiartkowy diagnostyczny aparat udojowy*. Materiały XIX Szkoły Zimowej Hodowców Bydła „Praktyka Nauce-Nauka Praktyce”. Zakopane, 4-8 kwietnia 2011 r., 241-247.
- Jędrus, A.; Zaborowicz, M. (2011). *Badania wybranych parametrów dynamicznych czujników temperatury mleka montowanych w nowym aparacie udojowym*. Opracowania monograficzne pod redakcją naukową prof. dra hab. inż. Wacława Romaniuka. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych, ochrony środowiska i standardów UE. Falenty-Warszawa, 52-55.
- Kliszczewski, W.; Turski, A.; Józwiak, K. (2000). Ocena stanu zdrowotnego gruczołu mlekowego krów na podstawie pomiarów temperatury i przewodności elektrycznej mleka. *Inżynieria Rolnicza*, 2(13), 77-81.
- Szeremeta, K. (2013). *Opracowanie stanowiska pomiarowego do badania czujników temperatury mleka w warunkach laboratoryjnych*. Praca inżynierska. Maszynopis Instytutu Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
- Zakrzewski, J. (2004). *Czujniki i przetworniki pomiarowe*. Podręcznik problemowy. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ISBN 83-7335-171-X.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TEMPERATURE SENSORS MOUNTED IN A TEAT CUP

Abstract. The objective of the paper was comparison of the selected metrologic parameters of two types of thermistors: without a shielding material made of acid-proof steel. The research was carried out in laboratory conditions with the use of the computer test stand, developed for the research needs. Comparative analysis of temperature sensors was carried out with the use of Heaviside's jump function method carried out with the use of the programmed pump controller and a recorder of measuring signals of high resolution. The tests proved higher sensibility of a thermistor without additional shield in comparison to the sensor structure with additional shield made of acid-proof steel. The highest values of sensibility of the researched temperature sensors were obtained at short intervals in the liquid flow.

Key words: temperature sensor, temperature fluctuation, teat cup, shielding material

Adres do korespondencji:

Aleksander Jędrus; email: aljed@au.poznan.pl
Instytut Inżynierii Biosystemów
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 50
60-627 Poznań