

PRZEPLYWOMIERZ ELEKTROMAGNETYCZNY W ZASTOSOWANIU DO POMIARÓW O WYSOKIEJ DOKŁADNOŚCI

Niniejszy artykuł powstał w oparciu o wyniki badań metrologicznych wykonywanych przy opracowywaniu mlekomiernika elektromagnetycznego w PIAP. Badania wykonywano w związku z wystąpieniem o zatwierdzenie typu dla mlekomiernika EMAG. Na podstawie badań wykonywanych na stanowiskach pomiarowych w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów (PIAP), a następnie w Głównym Urzędzie Miar (GUM) autorzy pragną przekazać swoje uwagi dotyczące rzeczywistych możliwości pomiarowych przepływomierzy elektromagnetycznych oraz warunków, w jakich można oczekiwać spełnienia deklarowanych przez producentów dokładności pomiarów. Przeprowadzona analiza i pomiary dotyczą przepływomierzy stosowanych w instalacjach przewoźnych do odbioru mleka.

ELECTROMAGNETIC FLOW – METERS APPLIED IN HIGH – PRECISION MEASUREMENTS

This article is based upon the results of metrological researches done during designing of an electromagnetic flow – meter in Industrial Institute for Automation and Measurements (PIAP). The researches were done in order to gain type certificate for EMAG milk – meter. On the basis of researches done on the PIAP's measuring facilities, then in Central Office of Measures (GUM), authors of the article would like to share their opinions concerning the real measuring abilities of electromagnetic flow – meters and the conditions under which achieving accuracy declared by the producers is possible. Analysis and the measurements are concerning milk – meters used in the mobile installations.

1. WSTĘP

W 2001 r. wykonano w PIAP serię prototypową przepływomierzy elektromagnetycznych EMAG przeznaczonych do instalacji, do odbioru mleka na cysternach. Przepływomierze te, jako służące do rozliczeń z dostawcami, muszą spełniać wysokie wymagania metrologiczne i użytkowe, potwierdzone szeregiem badań przeprowadzonych według procedur uzgodnionych z GUM i wykonywanych w obecności pracownika Okręgowego Urzędu Miar. Takie badania są podstawą do zatwierdzenia typu dla urządzenia, które ma być stosowane do „rozliczeń publicznych”. W niniejszym artykule została przedstawiona część problemów związanych z badaniami urządzenia o wysokich dokładnościach pomiarów, przeznaczonego do pracy w trudnych warunkach eksploatacyjnych. Przedstawione zostaną także wyniki badań me-

trologicznych, oraz odporności i wytrzymałości przy zadawanych narażeniach, które mogą wystąpić w środowisku pracy podczas eksploatacji.

2. CHARAKTERYSTYKA PRZEPLYWOMIERZY ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Podstawowa idea działania przepływomierzy elektromagnetycznych oparta jest na wykorzystaniu indukcji SEM w przewodniku poruszającym się w polu magnetycznym (prawo Faradaya).

$$\bar{U} = \bar{B} \times \bar{L} \times \bar{v} \quad (1.1)$$

gdzie:

B - indukcja magnetyczna w przestrzeni pomiarowej

L - odległość między elektrodami

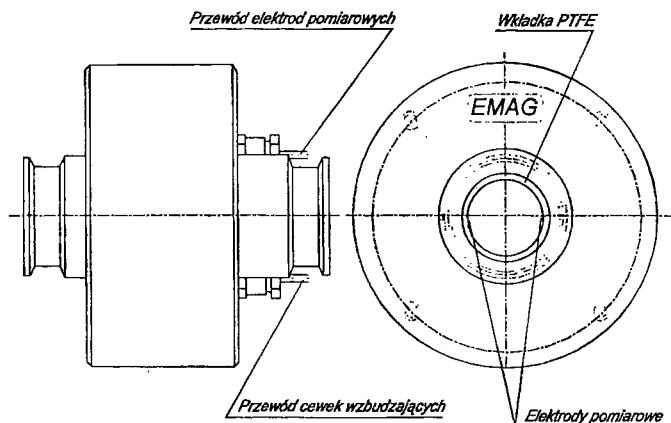
v - prędkość liniowa cieczy w przestrzeni

U - indukowany sygnał elektryczny

Przewodnikiem w tym przypadku jest przemieszczająca się w rurociągu ciecz. Pole magnetyczne wytwarzane jest przez elektromagnesy umieszczone na zewnątrz rury. Napięcie elektryczne indukowane w strumieniu cieczy przekazywane jest przez elektrody wnikające do wnętrza rury wyłożonej wewnątrz materiałem dielektrycznym (aby nie „zwierać” napięcia pomiarowego). Ciecz, która może być mierzona przez ten typ przepływomierza musi wykazywać przewodność elektryczną. Na ogół wymaga się by była ona $\geq 5 \mu\text{S/cm}$. Ten bardzo prosty obraz działania przepływomierza elektromagnetycznego pomija występujące w rzeczywistości zjawiska uboczne, mające ujemny wpływ na jakość działania tych urządzeń. Ponieważ przewodnikiem jest ciecz, ładunki elektryczne przenoszone są przez jony będące wynikiem dysocjacji. Poruszające się w polu magnetycznym ładunki (jony) ujemne i dodatnie odchylane są w przeciwnych kierunkach wytwarzając pole elektryczne wywołujące różnicę potencjałów obu elektrod. W wyniku oddziaływania jonów na elektrody czujnika pojawia się na nich napięcie polaryzacji nawet wówczas gdy ciecz w rurociągu pozostaje nieruchoma. Napięcie to ma na tyle dużą wartość, że jego wpływ musi być uwzględniony podczas procesu wzorcowania. Wartość tego napięcia podlega ponadto okresowym fluktuacjom [4]. Wpływ tego zakłócającego sygnału jest we współczesnych konstrukcjach przepływomierzy eliminowany w znacznym stopniu przez rozwiązania w układzie elektronicznym oraz przez korekcję w programie przeliczającym. Ponadto przy precyzyjnych pomiarach daje się zauważyć wpływ nawet niewielkich zmian geometrii rurociągu, która ma wpływ na rozkład prędkości w przekroju czujnika przepływu. Istotne jest również zjawisko zanieczyszczenia elektrod osadzającymi się cząstkami, które gdy są nieprzewodzące utrudniają pomiar sygnału, a gdy są przewodzące mogą zmienić ich odległość rzeczywistą lub „zwierać” sygnał. Jeżeli istnieje zagrożenie gromadzenia się osadów należy się liczyć z pogorszeniem dokładności pomiaru. Opisywane w niniejszym artykule badania dotyczą przyrządów przeznaczonych do pomiarów cieczy niezanieczyszczonej i ustalonym składzie chemicznym. Pomiaru te muszą być wykonywane z dużą dokładnością ponieważ są podstawą do rozliczeń publicznych przy skupie mleka. Do tego należy dodać, że instalacja ta jest montowana na cysternie i prócz wysokich wymagań metrologicznych musi spełniać dosyć ostre wymagania odporności i wytrzymałości na narażenia środowiskowe. Występują w tym przypadku wysoki poziom narażeń klimatycznych, mechanicznych (wibracje i wstrząsy) oraz zakłócenia od instalacji zasilającej i zewnętrznego pola elektromagnetycznego.

Opisany poniżej przepływomierz elektromagnetyczny zaprojektowany i produkowany przez PIAP (Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów w Warszawie) został opracowany w

wersji do autocystern, służących do przyjmowania mleka od indywidualnych dostawców. Ta wersja przepływomierza występuje pod nazwą handlową mlekomierz EMAG 32



Rys. 1 Czujnik przepływomierza EMAG 32

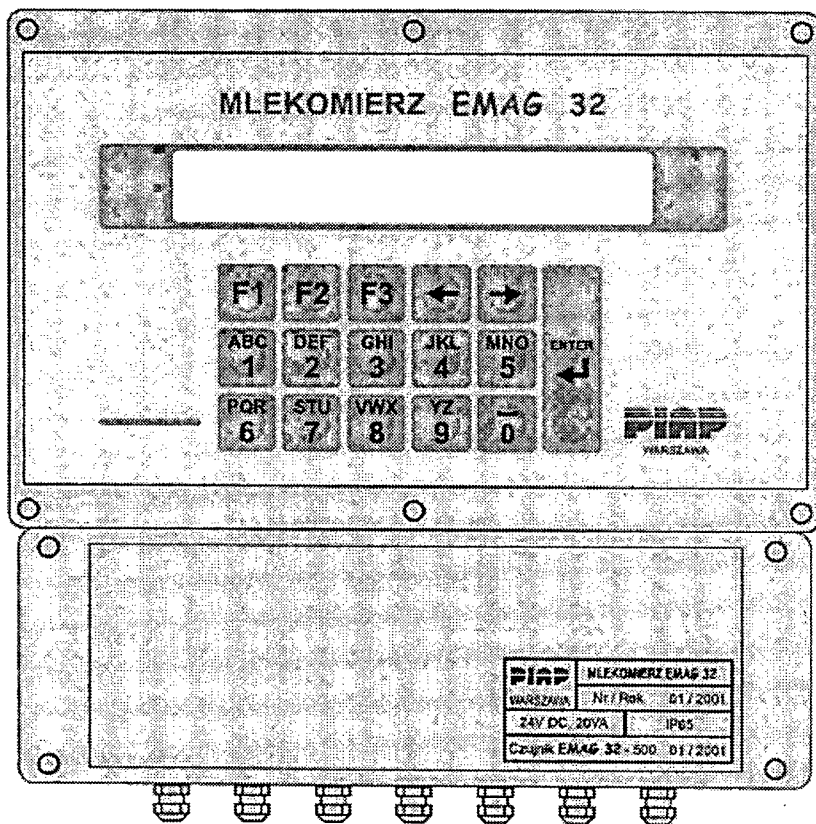
Rysunek 1 przedstawia wygląd czujnika przepływomierza a rysunek 2 przedstawia widok miernika przepływomierza EMAG 32. Czujnik przystosowany do instalacji mleczarskich ma korpus, elektrody i obudowę wykonaną ze stali kwasoodpornej. Wewnątrz rury pomiarowej znajduje się wkładka z PTFE. Miernik zasilany z sieci pokładowej cysterny (24V) steruje prądem magnesującym zespół cewek czujnika, wzmacnia a następnie przetwarza na wartość cyfrową napięcie z elektrod czujnika. W układzie cyfrowym miernika następuje obliczenie objętości i strumienia objętości cieczy w trakcie pomiaru.

Oprócz tych podstawowych funkcji „licznika objętości” miernik w zastosowaniu do odbioru mleka realizuje wiele innych zadań wynikających z procedur związanych z odbiorem mleka. Pomiar temperatury odbieranego mleka, sterowanie poborem próbek mleka, sterowanie wydrukiem potwierdzenia dla odbiorcy. Ponadto rejestruje dawki przyjęte od poszczególnych odbiorców umożliwiając wydrukowanie listy zbiorczej po odbyciu kursu.

3. WYMAGANIA METROLOGICZNE DLA LICZNIKÓW OBJĘTOŚCI DO CIECZY INNYCH NIŻ WODA

Przepływomierze do pomiaru objętości cieczy przeznaczone do rozliczeń (będące podstawą do określenia objętości przy transakcjach handlowych z wyłączeniem wodomierzy) w nomenklaturze przepisów OILM i GUM noszą nazwę „liczników objętości do cieczy innych niż woda”. Wymagania metrologiczne dla tych przyrządów określają przepisy wydane przez Prezesa GUM. Poniżej przytaczamy w skrócie wymagania wynikające z Zarządzenia Prezesa Głównego Urzędu Miar [1] w sprawie wprowadzenia przepisów metrologicznych o instalacjach pomiarowych do cieczy innych niż woda wraz z późniejszymi Zarządzeniami [2], [3] zawierającymi zmiany, bądź uzupełnienia wcześniejszych:

„Błąd względny liczników objętości stosowanych w instalacjach odbioru mleka klasy 0,5 nie może być większy niż $\pm 0,3\%$ przy względnym zakresie rozrzutu wskazań nie większym niż 0,2%, przy pomiarach objętości cieczy równych lub większych od pięciokrotnej wartości



Rys. 2 Miernik elektroniczny przepływomierza EMAG 32

dawki minimalnej ... Przy legalizacji pierwotnej lub wstępnej instalacji do przyjmowania mleka, wartości względnych błędów wskazań instalacji w czasie 5 pomiarów dokonywanych dla maksymalnej wartości strumienia objętości zawartej w przedziale $0,9q_{max}$ do q_{max} , podanego na tabliczce znamionowej instalacji, powinny być zawarte w przedziale $\pm 0,5\%$, a zakres rozrzutu względnych błędów wskazań nie powinien być większy niż $0,2\%$. Przy legalizacji ponownej lub ostatecznej instalacji do przyjmowania mleka, wartości względnych błędów wskazań instalacji w czasie 3 pomiarów dokonywanych dla wartości strumienia objętości zawartej w przedziale $0,5q_{max}$ do q_{max} , podanego na tabliczce znamionowej instalacji, powinny być zawarte w przedziale $\pm 0,5\%$, a zakres rozrzutu względnych błędów wskazań nie powinien być większy niż $0,2\%$, średniej arytmetycznej względnych błędów wskazań określonych dla pomiarów wykonanych zgodnie z § 7 ust. 3 pkt. 1 [2] powinna być zawarta w granicach $\pm 0,1\%$."

Zawężenie wymagań dla licznika (w stosunku do wymagań dla instalacji) wynika stąd, że na całkowity błąd pomiaru instalacji do odbioru mleka składają się oprócz błędu przepływomierza błędy wnoszone przez instalację zwłaszcza przez urządzenie odgazowujące. Powyższe wymagania ilustrują stopień trudności występujący przy ich wypełnieniu.

3. BADANIA PRZEPLYWOWE

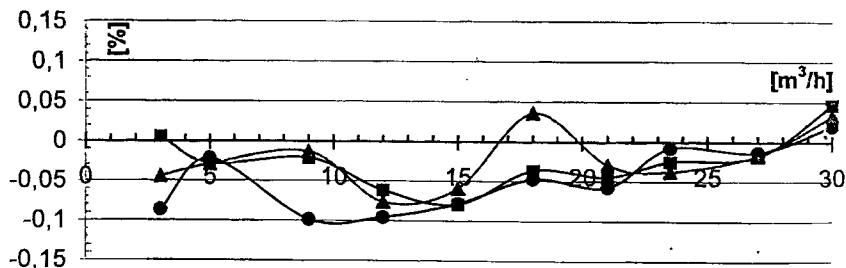
Wykonaną w PIAP serię prototypową poddano najpierw badaniom metrologicznym w laboratorium wodnym w PIAP na stanowisku z dokładnym pomiarem masowym, a następnie przekazano do wstępnego sprawdzenia na stanowiskach w GUM ze zbiornikami pomiarowymi objętościowymi klasy 0,05%. Okazało się, że wyniki pomiarów na stanowiskach GUM w przypadku tego przepływomierza wypadły zdecydowanie korzystniej niż na stanowiskach w PIAP.

Tabela 1

LP	Objętość nominalna [dm ³]	Objętość poprawna [dm ³]	Czas pomiaru [min.]	Strumień objętości [dm ³ /h]	Błąd względny pomiaru [%]	Błąd względny średni [%]
1	993,15	992,943	2,00	29,73	0,02	0,033
2	998,14	997,665	2,00	29,87	0,047	
3	997,38	997,045	2,00	29,85	0,033	
4	990,84	990,974	2,18	27,22	-0,013	-0,013
5	993,74	993,818	2,20	27,05	-0,008	
6	989,91	990,08	2,20	26,95	-0,017	
7	990,74	990,816	2,51	23,74	-0,008	-0,023
8	983,34	983,589	2,50	23,56	-0,025	
9	991,56	992,031	2,50	23,76	-0,037	
10	986,07	986,634	2,82	20,95	-0,057	-0,043
11	985,12	985,559	2,83	20,85	-0,044	
12	985,69	985,978	2,83	20,86	-0,029	
13	982,29	982,751	3,27	18,00	-0,047	-0,016
14	985,09	985,447	3,28	17,99	-0,036	
15	985,75	986,106	3,28	18,00	0,036	
16	984,75	985,522	3,92	15,05	0,078	-0,072
17	985,78	986,561	3,92	15,46	-0,079	
18	982,89	983,476	3,92	15,02	-0,059	
19	986,07	987,005	4,90	12,06	-0,095	-0,071
20	984,67	985,268	4,88	12,09	-0,061	
21	984,3	985,048	4,88	12,09	-0,076	
22	196,73	196,923	1,28	9,21	-0,098	-0,044
23	197,76	197,801	1,30	9,11	-0,021	
24	197,52	197,546	1,30	9,10	-0,021	
25	196,33	196,374	1,97	5,97	-0,022	-0,026
26	196,22	196,276	1,97	5,97	-0,028	
27	196,13	196,188	1,97	5,96	-0,029	
28	196,38	196,549	3,83	3,07	-0,086	-0,041
29	196,07	196,059	3,83	3,06	0,0056	
30	196,23	196,317	3,83	3,07	-0,044	

Blizsza analiza wykazala, ze przyczyna lezy w sposobie zasilania stanowiska pomiarowego. Stanowiska w PIAP zasilane sa ze zbiornikow cisnieniowych z poduszka powietrzna natomiast stanowiska w GUM zasilane sa opadowo, ze zbiornikow umieszczonych ok. 20m ponad poziomem stanowisk pomiarowych. W przypadku wielokrotnie powtarzanych pomiarow zaobserwowano wplyw ulozenia poszczegolnych odcinkow rurociagu po rozmontowaniu i ponownym zmontowaniu fragmentow instalacji. Powodowalo to przesuniecie charakterystyki przetwarzania o nawet ~0,1%. Okazalo sie, ze nawet wypolerowanie spawow króccow dolotowych ma wplyw na wyniki pomiarow. Po wstepnych badaniach wystapiono o „zatwierdzenie typu dla licznika objemosci do cieczy innych niz woda”. W ramach czynnosci sprawdzajacych GUM wykonał badania metrologiczne na swoich stanowiskach pomiarowych.

Wyniki pomiarow zestawiono w tabeli 1. Rozklad bledow pomiaru objemosci z trzech serii pomiarowych prezentujemy na wykresie Rys. 3. Zarowno wartosci poszczegolnych bledow jak i ich rozklad swiadczy o mozliwosci precyzyjnego pomiaru objemosci za pomoca przeplywomierza elektromagnetycznego. Nalezny jednak zaznaczyć, ze wynik taki uzyskano przy starannym doborze warunkow wykonywania pomiarow o czym pisalismy w rozdziale 1. Istotny wplyw na wyniki pomiarow miala takze powtarzalnosc czasu wykraplania zbiornikow pomiarowych.



Rys. 3 Rozkład błędów pomiaru objętości trzech serii pomiarów

4. BADANIA ŚRODOWISKOWE

Przeplywomierze EMAG 32 przystosowane sa do instalowania na cysternach do odbioru mleka i podlegaja wysokim narazeniom klimatycznym i mechanicznym. Temperatura podczas pracy moze zmieniać się w szerokim zakresie poniewaz urządzenie pomiarowe zainstalowane jest w skrzynce pomiarowej, która zimą jest podgrzewana na tyle, by nie wystapilo zamaznienie mleka w instalacji pomiarowej, a latem przy silnej operacji slonecznej wnetrze tej skrzynki moze być silnie nagrzane. Podczas transportu urządzenie narażone jest na silne wstrząsy i wibracje mechaniczne, w szerokim zakresie częstotliwosci. Układ elektroniczny zasilany jest z instalacji pokładowej pojazdu. Sama instalacja pokładowa jest źródłem silnych zakłóceń elektromagnetycznych (EM), a ponadto miejsce gdzie zatrzymuje się cysterna podczas pobierania mleka jest przypadkowe i mogą tam występować zakłócenia miejscowe Stąd

odporność na zakłócenia EM powinna być podobna jak dla urządzeń lokalizowanych w środowisku przemysłowym.

Badania wykonano zgodnie z projektem Normy Zakładowej „Mlekomierz EMAG 32, wymagania i badania.” Nr PIAP 7698. W celu sprawdzenia poprawności konstrukcji przeprowadzono badania pełne. Badania te obejmowały 16 rodzajów prób realizowanych na dwóch prototypach. Wykonano je w akredytowanym laboratorium PIAP-LAB. Stanowisko i badania realizowano zgodnie z ZN-96/PIAP734. Wyniki badań środowiskowych zawiera Raport Nr 18/2001 Laboratorium PIAP-LAB - Badania środowiskowe narażenia klimatyczne i mechaniczne mlekomierza EMAG 32. Wyniki badań KEM zawiera Raport Nr 15/2001 Laboratorium PIAP-LAB - Badania kompatybilności elektromagnetycznej mlekomierza EMAG 32.

Dla badań środowiskowych przeprowadzono między innymi:

- Próby odpornościowe:
 - Suche gorąco: $t=40^{\circ}\text{C}$, 2h
 - Zimno: -10°C , 2h
 - Wibracje sinusoidalne 10-55Hz, amplituda przemieszczeń 0,15 mm, czas trwania próby 2h, liczba cykli przestrajania od 10 do 55 Hz równa 4
- Próby wytrzymałościowe:
 - Zimno $t=-25^{\circ}\text{C}$, 2h
 - Suche gorąco $t=55^{\circ}\text{C}$, 2h
 - Wilgotne gorąco cykliczne – temperatura górna 40°C , wilgotność 95%, liczba cykli 2
 - Wibracje sinusoidalne – przyspieszenie 10g przy częstotliwościach zmiennych w zakresie 10 ÷ 200Hz

W czasie prób odpornościowych przepływomierz działał w obecności narażeń, a przy próbach wytrzymałościowych po reklimatyzacji.

Dla badań kompatybilności elektromagnetycznej przeprowadzono próby przy określonym strumieniu objętości 10 % Q_{max} a następnie przy jego braku. Pozwoliło to na stwierdzenie czy występuje wpływ narażeń na sygnał z czujnika przepływu.

Podczas badań kompatybilności elektromagnetycznej przeprowadzono sprawdzenie odporności na następujące zaburzenia:

- serie impulsów EFT/B nanosekundowych 5/50 ns ± 1.0 kV dla obwodu zasilania, ± 0.5 kV dla odwodów sygnałowych i wyjściowych 1min(+/-)
- sinusoidalne przewodzone indukowane polem EM 0,15-80 MHz, AM80% 1kHz
- wyładowania elektrostatyczne ESD $\pm 4\text{kV}$, $\pm 8\text{kV}$ wyładowania bezpośrednie i pośrednie na VCP min 10 (+/-) co $\geq 10\text{s}$
- udary 1,2/50 (8/20) μs $\pm 1\text{kV}$, 5 impulsów(+/-) co 10s
- krótkotrwały zanik napięcia zas. 15ms, liczba zaników 3, częstość symulacji co 10s

Badane prototypy przeszły wyżej wymienione badania z wynikiem pozytywnym. Przy badaniach na zanik napięcia sprawdzono także procedurę zapamiętywania wyniku pomiaru z momentu zaniku napięcia zasilającego.

Należy zaznaczyć, że wszystkie badania kompatybilności elektromagnetycznej zostały przeprowadzone w obecności pracowników Okręgowego i Głównego Urzędu Miar.

5. PODSUMOWANIE

Przepływomierz elektromagnetyczny może być użyty do precyzyjnych pomiarów objętości cieczy. Deklarowane przez producentów błędy pomiaru mogą być dotrzymane pod warunkiem spełniania podstawowych wymagań dotyczących montażu i zasilania układu pomiarowego. Ważne jest zachowanie odcinków prostych przed i za czujnikiem co nie zawsze dosyć wyraźnie jest akcentowane w instrukcjach montażu. Sposób zasilania powinien być taki

by nie powodować zapowietzenia cieczy lub burzenia w takim stopniu, który może spowodować wytrącanie cząstek gazu (kawitacja). Jednak jedynie pewnym sposobem potwierdzenia dokładności pomiaru jest sprawdzenie i ostateczna kalibracja przyrządu w rzeczywistej instalacji pomiarowej („sprawdzenie na mokro” wraz z instalacją pomiarową). Tak właśnie sprawdzane są instalacje dopuszczone do rozliczeń podczas legalizacji. Można przyjąć, że deklarowane przez producentów dokładności pomiarów są spełnione przy określonej konfiguracji instalacji, a jej dokładne odtworzenie u użytkownika jest trudne. Np. błąd w średnicy rur dołotowych na poziomie 0,05mm przy średnicy nominalnej DN 32 powoduje zmianę przekroju o ok. 0,3%. Powoduje to taką samą zmianę prędkości w obszarze przed czujnikiem. To nie może pozostać bez wpływu na rozkład prędkości w przestrzeni czujnika i wartość sygnału generowanego na jego elektrodach.

Badania przeprowadzone na stanowiskach w GUM pokazały, że w przypadku starannego wykonania odcinka pomiarowego możliwe jest uzyskanie rozpiętości błędów względnego pomiaru objętości $\pm 0.1\%$ w zakresie zmian strumienia objętości 10 do 1. Rokuje to możliwość wykonywania przepływomierzy elektromagnetycznych, jako przepływomierzy wzorcowych przy badaniach innych przepływomierzy o niższych dokładnościach lub do precyzyjnego określania objętości zbiorników.

W chwili obecnej finalizowane są działania formalne związane z uzyskaniem dla mlekomiery EMAG 32 zatwierdzenia typu jako „liczników objętości do cieczy innych niż woda”.

LITERATURA

- [1] DZIENNIK URZĘDOWY MIAR I PROBIERNICTWA Nr 34/95 poz. 182 – *Zarządzenie Nr 184 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 20 grudnia 1995 r. w sprawie wprowadzenia przepisów metrologicznych o instalacjach pomiarowych do cieczy innych niż woda.*
- [2] DZIENNIK URZĘDOWY MIAR I PROBIERNICTWA Nr 10/96 poz. 55 – *Zarządzenie Nr 48 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 12 kwietnia 1996 r. w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania instalacji pomiarowych do cieczy innych niż woda (instalacji do mleka) wraz z załącznikiem*
- [3] DZIENNIK URZĘDOWY MIAR I PROBIERNICTWA Nr 2/99 poz. 10 – *Zarządzenie Nr 8 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 22 marca 1999 r. zmieniające zarządzenie w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania instalacji pomiarowych do cieczy innych niż woda (instalacji do mleka).*
- [4] Magnetyczny pomiar przepływu Lipiec 1993 ISS Clorius International A/S
- [5] Raport Nr 15/2001 Laboratorium PIAP – LAB - Badania kompatybilności elektromagnetycznej mlekomiery EMAG 32.
- [6] Raport Nr 18/2001 Laboratorium PIAP – LAB - Badania środowiskowe narażenia klimatyczne i mechaniczne mlekomiery EMAG 32.