

*mgr inż. Jan Goska
mgr inż. Marek Maciąg
Przemysłowy Instytut
Automatyki i Pomiarów*

WPLYW CECH KONSTRUKCYJNYCH PRZEPLYWOMIERZY NA ICH WLAŚCIWOŚCI METROLOGICZNE, ZWŁASZCZA DO ODMIERZANIA MAŁYCH DAWEK MLEKA

W artykule przeprowadzono analizę wpływu cech konstrukcyjnych przepływomierzy na ich właściwości metrologiczne zwłaszcza w zastosowaniu do pomiaru małych dawek. Na wstępie omówiono zagadnienia ogólne odnoszące się do różnych typów przepływomierzy. W dalszej części bardziej szczegółowo przedstawiono te zagadnienia w odniesieniu do przepływomierzy elektromagnetycznych. Przedstawiono istotne problemy pomiarowe i sposoby postępowania zastosowane dla uzyskania dobrych właściwości metrologicznych. Następnie zaprezentowano charakterystyki pomiarowe modelu przepływomierza elektromagnetycznego testowanego w PIAP na stanowiskach wodnych z pomiarem masowym. Przeprowadzona analiza szczegółowa i pomiary dotyczą przepływomierzy stosowanych w instalacjach do odbioru mleka.

INFLUENCE OF THE STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF FLOWMETERS ON THEIR METROLOGICAL PROPERTIES, IN PARTICULAR WHEN MEASURING SMALL DOSES OF MILK

In the article, the influence of flow meters structural characteristics on their metrological properties is analysed, particularly on measuring small doses. The introductory part gives general information about various types of small dose flow meters. The electromagnetic flow meters are discussed in more details in the body of the article, where the essential measuring problems and ways of the measurement properties are also described. The next issue is the presentation of the electromagnetic flow meter prototype designed in PIAP, tested on the water with mass measurement. The detailed analysis and measurements included concern flow meters used in milking facilities.

1. POŻĄDANE CECHY PRZEPLYWOMIERZY DO ODMIERZANIA MAŁYCH DAWEK

Rozwój konstrukcji przepływomierzy oraz wyraźne obniżenie ich ceny, umożliwiły coraz powszechniejsze stosowanie ich w procesach technologicznych oraz jako przyrządy pomiarowe do rozliczeń publicznych.

Przy wyborze rodzaju czujnika przepływomierza należy uwzględnić fakt, że ich cechy konstrukcyjne mają wpływ na właściwości metrologiczne. Przy pomiarze dużych objętości cieczy o ustabilizowanej wartości strumienia objętości wystarczy aby medium miało cechy fizyczne odpowiednie do rodzaju zastosowanego czujnika, a więc w przypadku czujnika turbinowego

niezbyt wysoką lepkość, w przypadku czujnika elektromagnetycznego wystarczającą przewodność itp. Jednak często zdarza się potrzeba wykonywania pomiarów stosunkowo małych dawek np. przy odbiorze mleka od indywidualnych dostawców, odmierzaniu komponentów w przemyśle chemicznym, kosmetycznym, spożywcym itp. Określenie „mała dawka” oznacza tutaj, że mierzona porcja cieczy jest mała w odniesieniu się do warunków pomiaru, do zakresu pomiarowego, który wynika ze średnicy nominalnej czujnika. Duża wartość strumienia objętości powoduje, że czas pomiaru jest krótki tzn. trwa kilkanaście, a w skrajnych przypadkach kilka sekund. Przy wykonywaniu takich pomiarów zasadnicze znaczenie ma stała czasowa odpowiedzi sygnału czujnika na zmiany strumienia objętości mierzonej cieczy, które występują na początku i zakończeniu cyklu pomiarowego. Stosunkowo dobre cechy metrologiczne mają w tych zastosowaniach czujniki turbinowe. Mają one bardzo krótki czas odpowiedzi – rzędu 20ms i przy zapewnieniu wystarczająco dużej rozdzielczości odczytu zachowują dobrą dokładność pomiaru przy odmierzaniu nawet bardzo małych dawek. Zakład Pomiaru Parametrów Przepływu PIAP wykonuje z wykorzystaniem tych czujników układy do odmierzania płynów infuzyjnych o objętości dawki 100cm³.

Zagadnienie pomiaru małych porcji cieczy okazuje się trudniejsze przypadku wykorzystania czujników ultradźwiękowych lub elektromagnetycznych, mimo że nie występują w nich żadne elementy mechaniczne, które obciążone są bezwładnością podczas rozruchu i zatrzymania. Bierze się to stąd, że pomiar odbywa się przez cykliczne próbkowanie, którego częstotliwość jest ograniczona zachodzącymi podczas pomiaru procesami fizycznymi.

W przypadku czujników ultradźwiękowych pomiar odbywa się przez odmierzanie różnicy czasu przelotu wiązki ultradźwiękowej z prądem i pod prąd, przy czym odbywa się to wielokrotnie (czas jednokrotnego przelotu trwa rzędu 80μs). Zatem algorytm pomiaru i czas uzyskania ostatecznej odpowiedzi po zmianie strumienia jest stosunkowo długi.

W dalszej części niniejszego tekstu przedstawimy ograniczenia fizyczne i zastosowane rozwiązania układowe i programowe poprawiające właściwości metrologiczne przepływomierza elektromagnetycznego przy pomiarze małych dawek cieczy.

2. PRZEPLÝWOMIERZ ELEKTROMAGNETYCZNY

Zasada pracy tego przepływomierza oparta jest na wykorzystaniu indukcji SEM w przewodniku poruszającym się w polu magnetycznym (prawo Faraday'a).

Rysunek 1 przedstawia schemat budowy czujnika elektromagnetycznego. Pole magnetyczne w obszarze czujnika wytwarzane jest przez cewki wzbudzające umieszczone na zewnątrz rury czujnika i prostopadłe do kierunku ruchu cieczy. Poruszająca się ciecz (wykazująca przewodność elektryczną) pełni rolę przewodu, w którym indukowane jest napięcie elektryczne. Wartość indukowanego sygnału określa iloczyn wektorowy (2.1).

$$\vec{U} = \vec{B} \times \vec{L} \times \vec{v} \quad (2.1)$$

gdzie: B - indukcja magnetyczna w przestrzeni pomiarowej

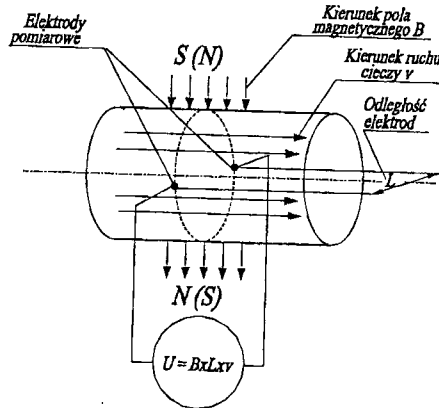
B = const. (w czasie próbkowania)

L – długość czynna przewodu (odległość między elektrodami)

L = const. (średnica nominalna czujnika DN.)

v – prędkość liniowa przewodnika (cieczy w przestrzeni czujnika) - wartość proporcjonalna do strumienia objętości Q

U – indukowany sygnał elektryczny proporcjonalny do prędkości liniowej cieczy, przy stałej „geometrii” odcinka pomiarowego - do strumienia objętości.



Rys. 1. Schemat budowy czujnika elektromagnetycznego

Napięcie indukowane między elektrodami pomiarowymi liniowo zależy od średniej prędkości cieczy pomiędzy elektrodami, a więc (przy ustalonej geometrii rury) od strumienia objętości cieczy. We współcześnie spotykanych przepływomierzach cewki zasilane są prądem impulsowym przemiennym.

3. OGRANICZENIA CZĘSTOTLIWOŚCI PRÓBKOWANIA

Przy impulsowej zmianie kierunku przepływu prądu przez cewki wzbudzające pojawia się problem uzyskania powtarzalnej wartości prądu magnesującego (indukcji magnetycznej) w uzwojeniach mających znaczną indukcyjność. Jest to trudne zwłaszcza, gdy chce się uzyskać dużą częstotliwość pracy, korzystną dla pomiarów o krótkim czasie trwania.

W zbudowanym w PIAP modelu indukcyjność cewek wynosiła $L=0,237\text{H}$, a rezystancja $R=72\Omega$, stąd stała czasowa $\tau=L/R=0,0039\text{s}$. Aby wyeliminować wpływ przenoszonych zakłóceń, częstotliwość pracy układu magnesującego przyjmuje się jako „podwielokrotność” częstotliwości sieci. W modelu budowanym w PIAP przyjęto częstotliwość $12,5\text{Hz}$, zatem czas trwania impulsu w jednym kierunku wynosi $T/2=0,04\text{s}$.

Przy załączeniu źródła napięcia stałego do obwodu RL w określonym kierunku prąd narasta wg zależności (3.1).

$$i = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{L/R}{t}}\right) = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{0,0039}{t}}\right) \quad (3.1)$$

dla: $t = T/2 = 0,04\text{s}$; $i(t) = 0,907 U/R$

A więc przy końcu trwania impulsu prąd osiąga ok. 90% wartości prądu stanu ustalonego.

W najkorzystniejszym momencie do odczytu wartość prądu jeszcze narasta. Z jednej strony powoduje to zakłócenie pomiaru przez to, że zmiana wartości prądu w czasie indukuje napięcie na elektrodach pomiarowych mimo braku przepływu. Jeżeli to zakłócenie miałoby charakter stały, to można by je skompensować w procedurze przeliczającej. Ale nasuwa się pytanie - co się stanie np. przy zmianie rezystancji cewek w wyniku zmiany temperatury? Dla przyrostu temperatury o 20°C rezystancja cewek z drutu miedzianego wzrośnie do $77,69\Omega$. Wówczas $\tau = L/R$ z wartości $0,0039\text{s}$ zmaleje do $0,00305\text{s}$. Wartość prądu w tym przypadku określa wyrażenie (3.2)

$$i_T = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{L/R}{T/2}}\right) = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{0,00305}{0,04}}\right) = \frac{U}{R} \times 0,927 \quad (3.2)$$

Wynika stąd, że wartość prądu w momencie odczytu będzie się różniła w obu przypadkach o ponad 2%. To zestawienie zmusiło autorów do poszukiwania sposobu zmniejszenia stałej czasowej, aby ograniczyć wpływ tego zjawiska. Zmniejszenie stałej czasowej można uzyskać przez obniżenie indukcyjności i zwiększenie rezystancji cewek. Ponieważ te wymagania są ze sobą sprzeczne zastosowano następujące rozwiązanie. Obniżono indukcyjność cewek do wartości 0,125H, co spowodowało obniżenie rezystancji do 32Ω. Stosunek L/R samych cewek praktycznie nie zmienił się. Dodatkowo szeregowo z cewkami włączony został rezystor o wartości 40Ω. Zmniejszyło to znacznie stosunek L/R. Ponadto rezystor stały w porównaniu z rezystancją cewek podlega bardzo małym zmianom rezystancji wywołanym zmianą temperatury. W efekcie przy zmianie temperatury o 20°C zmiana wartości prądu będzie o rząd niższa niż w poprzednim przypadku.

Dla dalszej poprawy sytuacji zastosowano zasilanie cewek wzbudających z układu, który ma w zakresie do napięcia 40V charakter źródła prądowego. W początkowym okresie, gdy prąd narasta napięcie na cewkach wzrasta do ~ 40V, co powoduje, że prąd narasta szybciej, a w momencie ustalania się wartości prądu napięcie ma wartość ~ 6V. Te zabiegi doprowadziły do tego, że wartość prądu wzbudającego w momencie odczytu napięcia pomiarowego praktycznie nie zależy od temperatury cewek wzbudających.

Napięcie pomiarowe pobierane jest w postaci próbki w czasie 1μs, w momencie kiedy prąd jest najbardziej ustabilizowany (tuż przed zmianą kierunku). Kierunek pola magnetycznego zmienia się z częstotliwością 12,5Hz. Próbkowanie i obliczanie wartości strumienia objętości odbywa się po każdej zmianie kierunku pola, a więc z częstotliwością dwukrotnie wyższą, a więc 25Hz. Pozwala to w procesie obliczeń uwzględnić zmiany strumienia objętości już po czasie 1/25s.

4. PRAKTYCZNE PROBLEMY WYSTĘPUJĄCE PRZY POMIARZE MAŁYCH DAWEK CIECZY NA PRZYKŁADZIE PRZEPŁYWOMIERZY DO POMIARU OBJĘTOŚCI MLEKA

Jak zaznaczono to w rozdziale 1, określenie mała dawka odnosi się do warunków wykonywania pomiaru. Dokładne pomiary małych dawek cieczy wykonuje się zazwyczaj przepływomierzami o niewielkich średnicach nominalnych przy niewielkich wartościach strumienia objętości. Wynika to z konstrukcji przepływomierzy i wielkości działki elementarnej objętości, która jest zależna od średnicy nominalnej i zakresu przepływów.

W przypadku pomiaru mleka mamy odzyskiwanie z instalacjami o średnicach od 32mm do 50mm, przy wartościach strumienia objętości wymuszanych przez pompę od 170dm³/min do 250dm³/min. Instalacje pomiarowe do przyjmowania mleka od dostawców, instalowane na autocysternach, są narażone na pracę w skrajnych warunkach temperaturowych oraz na narażenia mechaniczne związane z silnymi wibracjami i udarami. Jednocześnie instalacje te muszą spełniać wysokie wymagania metrologiczne określone odpowiednimi zarządzeniami Prezesa Głównego Urzędu Miar i podlegają obowiązkowi legalizacji.

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 ±0,5%, a zakres roz-

rzutu względnych błędów wskazań nie powinien być większy niż 0,2%, średnia arytmetyczna względnych błędów wskazań powinna być zawarta w granicach $\pm 0,1\%$.

Wartości względnych błędów wskazań w czasie 5 pomiarów dokonywanych przy maksymalnej wartości strumienia objętości q_{max} dla objętości równej wartości objętości dawki minimalnej, podanej na tabliczce znamionowej instalacji, powinny być zawarte w przedziale $\pm 1\%$.

Wartość względnego błędu wskazania E instalacji wyznacza się według wzoru (4.1).

$$E = \frac{V_n - V_p}{V_p} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

gdzie:

V_n – objętość wskazana przez instalację (nominalna), dm^3

V_p – objętość wskazana przez wzorzec (poprawna), dm^3

Zależność błędów granicznych dopuszczalnych dla kompletnej instalacji pomiarowej do mleka oraz dla licznika objętości przedstawia tabela 1.

Tabela 1.

Poziom błędu	Klasa instalacji
	0,5
A	$\pm 0,5\%$
B	$\pm 0,3\%$

gdzie:

A – odnosi się do kompletnej instalacji pomiarowej

B – odnosi się do licznika objętości

Błąd względny liczników objętości stosowanych w instalacjach odbioru mleka klasy 0.5 musi być mniejszy niż $\pm 0,3\%$ przy względnym zakresie rozrzutu wskazań mniejszym niż 0,2%, przy pomiarach objętości cieczy równych lub większych od pięciokrotnej wartości dawki minimalnej.

W przypadku liczników elektromagnetycznych pracujących w zmiennych warunkach otoczenia jest to dużym problemem. Wynika to z samej zasady działania czujnika i konieczności precyzyjnego przetworzenia sygnałów analogowych SEM indukowanych na elektrodach czujnika. Układ licznika załączany jest tylko na okres wykonywania pomiarów, nie ma więc czasu na termiczne ustabilizowanie układu.

W przypadku pomiarów małych objętości ($20dm^3$) występują dodatkowe problemy. Instalacja pomiarowa do odbioru mleka na cysternach składa się z węża zasysającego mleko (o długości kilku metrów), filtru, pompy, odgaźnika, licznika objętości oraz rur łączeniowych. W trakcie pobierania mleko zasysane jest ze zbiornika razem z powietrzem wypełniającym początkowo wąż. Usuwanie powietrza następuje w odgaźniku i przez licznik objętości przepływa mleko pozbawione gazu. Przy pomiarach małych dawek trwających często tylko kilkanaście sekund występują duże wahania strumienia objętości a w początkowej i końcowej fazie pomiaru strumień objętości przyjmuje wartości poniżej zakresu pomiarowego.

Ponieważ pomiar objętości realizowany jest przez zmierzenie prędkości średniej cieczy w danym cyklu pomiarowym, w przypadku pomiaru małych dawek istotna jest częstotliwość wykonywania odczytów. W tabeli 2. przedstawiono wartości objętości cieczy przepływającej przez czujnik o DN 32mm w czasie jednego cyklu pomiarowego dla trzech częstotliwości próbkowania. Dokładność pomiaru małych dawek zwiększa się z częstotliwością próbkowania.

Tabela 2.

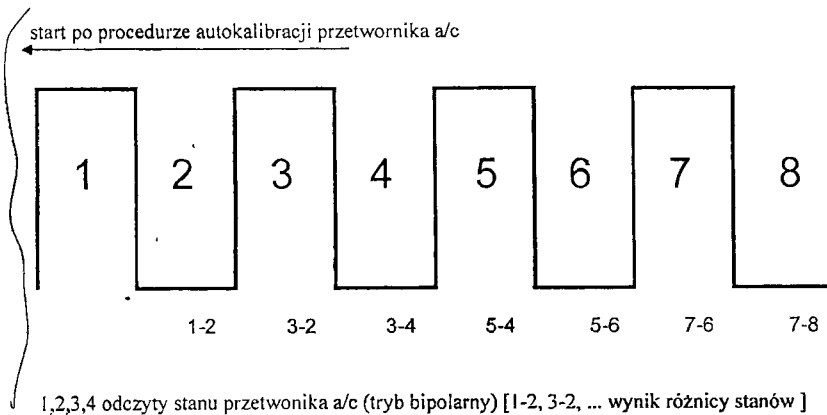
q dm ³ /min	q dm ³ /s	12,5Hz dm ³ /T	6,25Hz dm ³ /T	3,125Hz dm ³ /T
500	8,3333	0,6667	1,3333	2,6667
400	6,6667	0,5333	1,0667	2,1333
200	3,3333	0,2667	0,5333	1,0667
100	1,6667	0,1333	0,2667	0,5333
50	0,8333	0,0667	0,1333	0,2667
25	0,4167	0,0333	0,0667	0,1333

Niestety ze względu na problemy konstrukcyjne nie można zastosować częstotliwości próbkowania większej niż 12,5Hz.

5. UKŁAD PRZETWORNIKA A/C I OPTYMALIZACJA ALGORYTMÓW WYKONYWANIA OBLICZEŃ

Poniżej przedstawiono kilka praktycznych rozwiązań umożliwiających uzyskanie wymaganych dokładności pomiarów oraz ich powtarzalności.

Sygnal napięciowy z elektrod doprowadzany jest przez układ przeciwwzkiłóceniowy do precyzyjnego wzmacniacza pomiarowego a następnie do przetwornika analogowo-cyfrowego. W układzie pomiarowym zastosowano 16-to bitowy przetwornik a/c MAXIM MAX195 pracujący w trybie bipolarnym. Przetwornik ten wyposażony jest w funkcję autokalibracji minimalizującą wpływ temperatury i napięcia zasilania na dokładność odczytu. Proces autokalibracji przeprowadzany jest po włączeniu zasilania miernika. Moment odczytu stanu przetwornika a/c skojarzony jest z pracą układu wzbudzania cewek czujnika i następuje w momencie ustabilizowania się sygnału na elektrodach. Odczyt wykonywany jest co pół okresu dla każdego kierunku przepływu prądu przez cewki wzbudzające czujnika (rys 2.). Różnica stanów przetwornika $\Delta a/c$ jest informacją o prędkości cieczy.



Rys 2. Metoda odczytu stanów przetwornika A/C

Zastosowana metoda umożliwia uzyskanie informacji o prędkości cieczy co pół okresu pomiarowego czyli 25 razy na sekundę. Jak wspomniano w punkcie 3. następuje indukowanie się niewielkiego napięcia na elektrodach przy braku przepływu. Jest ono kompensowane w procedurach przeliczających. Pozwala to na uzyskanie wymaganych dokładności, zwłaszcza

dla małych wartości strumienia objętości. Objętość cieczy przepływająca przez czujnik w okresie pomiarowym wynosi:

$$\Delta V = \frac{\Delta a/c}{k} \quad (5.1)$$

gdzie: k – jest współczynnikiem uwzględniającym poziom wzmocnienia wzmacniacza pomiarowego, częstotliwość próbkowania oraz średnicę odcinka pomiarowego czujnika przepływu. Założono takie wzmocnienie układu pomiarowego aby dla q_{\max} różnica stanów $\Delta a/c$ wynosiła ok. 50 000 stanów. Przy q_{\min} $\Delta a/c$ wynosi ok. 5 000 a wartość błędu względnego pomiaru objętości przypadającego na 1 stan przetwornika a/c wynosi 0.02%.

W tabeli 3. przedstawiono wartości objętości cieczy przepływających przez czujnik przepływu o DN 32mm w czasie T i $0,5T$ dla częstotliwości wzbudzenia cewek 12,5Hz.

Tabela 3.

q dm ³ /min	q dm ³ /s	12,5Hz dm ³ /T	12,5Hz dm ³ /0,5T
500	8,3333	0,6667	0,3333
400	6,6667	0,5333	0,2667
200	3,3333	0,2667	0,1333
100	1,6667	0,1333	0,0667
50	0,8333	0,0667	0,0333
25	0,4167	0,0333	0,0167

Przy wartości strumienia objętości wynoszącym ok. 100dm³/min (występującym w fazie rozpoczęcia i zakończenia pomiaru), objętość cieczy przepływająca przez czujnik w czasie jednego półokresu pomiarowego wynosi 0,07dm³. Można więc się liczyć z błędem pomiaru objętości wynikającym z zastosowanej metody ok. $\pm 0,15$ dm³. Przy pomiarze dawki 20dm³ wynosi to ok. $\pm 0,75$ %.

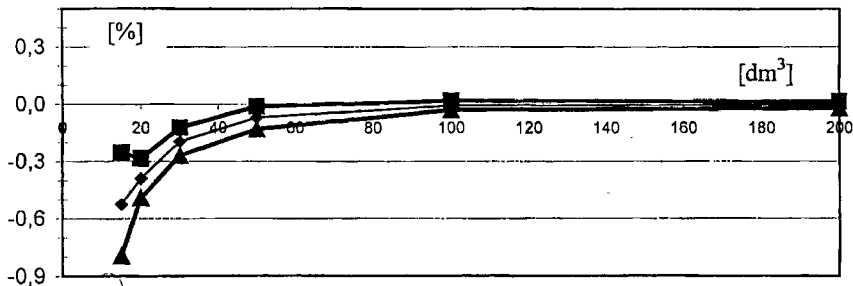
6. POMIARY LABORATORYJNE

Dla praktycznego wykazania wpływu częstotliwości pracy układu w Laboratorium Wodnym PIAP wykonano pomiary z wykorzystaniem modelu przepływomierza elektromagnetycznego DN 32mm o zakresie pomiarowym 50 ÷ 500[dm³/min] wykonanego zgodnie z opisem z rozdziałów 3, 4. i 5. Pomiary wykonano przy częstotliwości pracy układu wzbudzającego 12,5 i 6,25Hz (częstotliwość odczytu 25 i 12,5Hz). Aby wyeliminować wpływ innych czynników pomiary przeprowadzono przy jednakowej wartości strumienia objętości tj. 200[dm³/min]. Jest to typowa wartość strumienia objętości w instalacjach pomiarowych do odbioru mleka. Start i zatrzymanie przepływu dokonywano w czasie ok. 0,2s.

Wyniki pomiarów (kolumna 2) oraz wyliczone błędy (kolumna 8) zawiera tabela 4. Objętość kontrolowana była przez pomiar masy (kolumna 4) i przeliczenie na objętość (kolumna 6) z uwzględnieniem temperatury wody (kolumna 5). Wyniki pomiarów obrazuje rys nr 3., na którym zaznaczono średnią wartość błędu oraz granice określone wartością $\pm 3s$ (s – odchylenie standardowe). Z uzyskanych pomiarów wynika, że przy częstotliwości prądu wzbudzającego 12,5Hz i częstotliwości przeliczeń 25Hz, model spełnia wymagania GUM dla mlekomierni określone przy pomiarze dawki 20dm³.

Tabela 4.

L.P.	q [dm ³ /min]	Vn [dm ³]	m. [kg]	t [° C]	Vp [dm ³]	Vn-Vp[dm ³]	100%x(Vn- Vp)/Vp
	2	3	4	5	6	7	8
1	200	15,43	15,49	22	15,53	-0,10	-0,61
2	200	16,15	16,18	22	16,22	-0,07	-0,41
3	200	15,96	16,01	22	16,05	-0,09	-0,53
4	200	15,57	15,63	22	15,67	-0,10	-0,61
5	200	16,26	16,3	22	16,34	-0,08	-0,46
6	200	20,27	20,3	22	20,35	-0,08	-0,39
7	200	21,51	21,55	22	21,60	-0,09	-0,42
8	200	21,47	21,49	22	21,54	-0,07	-0,33
9	200	19,53	19,56	22	19,60	-0,08	-0,40
10	200	20,53	20,56	22	20,61	-0,08	-0,39
11	200	30,81	30,79	22	30,86	-0,05	-0,16
12	200	31,27	31,26	21,7	31,33	-0,06	-0,19
13	200	30,07	30,06	21,8	30,13	-0,06	-0,19
14	200	30,55	30,55	21,7	30,62	-0,07	-0,22
15	200	31,14	31,14	21,7	31,21	-0,07	-0,22
16	200	50,89	50,8	21,7	50,91	-0,03	-0,05
17	200	50,61	50,54	21,7	50,65	-0,05	-0,09
18	200	50,87	50,79	21,8	50,90	-0,04	-0,07
19	200	50,39	50,3	21,7	50,41	-0,03	-0,05
20	200	50,49	50,42	21,7	50,53	-0,05	-0,09
21	200	100,54	100,32	21,8	100,54	0,00	0,00
22	200	100,91	100,7	21,8	100,92	-0,01	-0,01
23	200	101,32	101,1	21,9	101,33	-0,01	-0,01
24	200	100,68	100,47	21,9	100,70	-0,02	-0,02
25	200	100,75	100,52	21,9	100,75	0,00	0,00
26	200	201,49	201,04	21,8	201,49	0,00	0,00
27	200	201,88	201,43	21,9	201,88	0,00	0,00
28	200	201,36	200,93	22	201,39	-0,03	-0,01
29	200	201,88	201,44	21,9	201,89	-0,01	-0,01
30	200	201,58	201,13	21,9	201,58	0,00	0,00

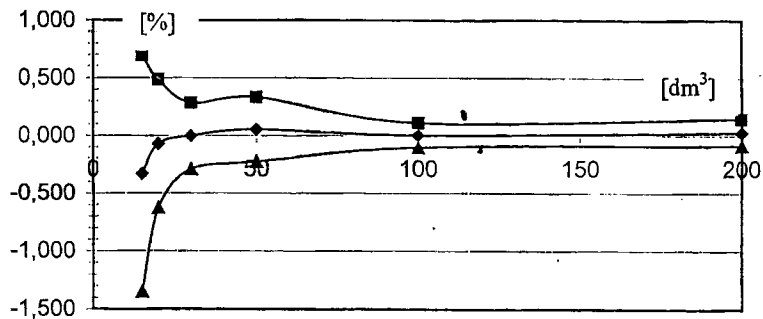


Rys 3. Wykres błędu pomiaru różnych dawek cieczy przy stałej wartości strumienia objętości 200dm³/min i częstotliwości prądu magnesującego 12,5Hz

Następnie wykonano identyczne pomiary przy częstotliwości pracy $f = 6,25\text{Hz}$. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5.

L.P.	q [dm ³ /min]	Vn [dm ³]	m. [kg]	t [° C]	Vp [dm ³]	Vn-Vp[dm ³]	100% \times (Vn-Vp)/Vp
1	200	14,60	14,71	14	14,72	-0,12	-0,83
2	200	15,67	15,66	13,9	15,67	0,00	-0,01
3	200	15,49	15,5	13,9	15,51	-0,02	-0,14
4	200	16,62	16,65	13,9	16,66	-0,04	-0,25
5	200	16,26	16,35	13,9	16,36	-0,10	-0,62
6	200	21,95	21,97	13,9	21,99	-0,04	-0,17
7	200	22,09	22,09	13,8	22,11	-0,02	-0,08
8	200	22,43	22,43	13,8	22,45	-0,02	-0,08
9	200	22,76	22,71	14	22,73	0,03	0,14
10	200	21,00	21,06	13,8	21,08	-0,08	-0,37
11	200	31,27	31,22	13,7	31,24	0,03	0,09
12	200	31,62	31,61	13,9	31,63	-0,01	-0,04
13	200	33,13	33,14	14	33,17	-0,03	-0,10
14	200	32,16	32,19	13,9	32,21	-0,05	-0,16
15	200	33,28	33,26	13,9	33,29	0,00	-0,01
16	200	52,07	52,09	13,8	52,13	-0,06	-0,12
17	200	54,32	54,3	13,8	54,34	-0,02	-0,04
18	200	51,76	51,69	14	51,73	0,03	0,05
19	200	53,56	53,5	13,9	53,54	0,02	0,03
20	200	51,51	51,4	14,1	51,44	0,07	0,13
21	200	102,25	102,22	14,2	102,30	-0,05	-0,05
22	200	102,37	102,36	14,4	102,45	-0,07	-0,07
23	200	103,09	103,08	14,5	103,17	-0,07	-0,07
24	200	100,00	99,91	14,6	100,00	0,00	0,00
25	200	106,24	106,15	14,7	106,24	-0,01	-0,01
26	200	203,70	203,51	14,8	203,69	0,01	0,01
27	200	202,23	202,14	15	202,33	-0,10	-0,05
28	200	195,91	195,73	15,1	195,91	0,00	0,00
29	200	201,60	201,34	15,2	201,53	0,07	0,03
30	200	201,36	201,29	15,2	201,48	-0,12	-0,06



Rys 4. Wykres błęd pomiaru różnych dawek cieczy przy stałej wartości strumienia objętości 200dm³/min i częstotliwości prądu magnesującego 6,25Hz

Wyniki pomiarów obrazuje rys. nr 4., na którym podobnie jak w poprzednim przypadku zaznaczono średnią wartość błędu oraz granice określone wartością $\pm 3s$ (s – odchylenie standardowe). Wykonane pomiary pokazują jednoznacznie, że obniżenie częstotliwości prądu wzbudzającego spowodowało zwiększenie rozrzutu błędów pomiarów do wartości przekraczających wymagania dla mlekomierzy. Reasumując można stwierdzić, że zwiększanie częstotliwości magnesowania poprawia cechy metrologiczne przepływomierza przy pomiarze małych dawek oraz tam gdzie strumień objętości w czasie pomiaru podlega wahaniom. Ponieważ wśród oferowanych na rynku przepływomierzy spotyka się różne rozwiązania należy uwzględnić fakt, że częstotliwość prądu magnesującego może mieć istotny wpływ na błąd pomiaru. Szczególnie istotne jest to przy pomiarach małych dawek, o czym pisaliśmy wyżej, jak również przy pomiarach gdzie strumień objętości ulega zmianom. Niektóre przepływomierze, podobnie jak opisany przepływomierz elektromagnetyczny EMAG 32 mają możliwość wyboru częstotliwości magnesowania przez menu programu.

W przypadku pomiaru większych dawek cieczy (minimum pięciokrotnej wartości dawki minimalnej w tym przypadku $5 \times 20 \text{ dm}^3$) częstotliwość prądu magnesującego nie jest tak krytyczna i umożliwia uzyskanie błędu względnego $\pm 0,3\%$, przy zakresie rozrzutu wskazań $0,2\%$ w całym zakresie strumienia objętości, także dla częstotliwości $6,25 \text{ Hz}$.

W niniejszym referacie przedstawiono tylko część problemów związanych z wykorzystaniem przepływomierzy elektromagnetycznych do pomiarów małych dawek mleka.

LITERATURA

- [1] Jerzy Osowski, Jerzy Szabatin: *Podstawy teorii obwodów*; WNT, Warszawa 1993r.
- [2] Siegmund Brandt: *Metody Statystyczne i obliczeniowe analizy danych*; WNT, Warszawa 1976r.
- [3] *Opracowanie i budowa prototypu licznika mleka. Badania laboratoryjne – w tym sprawdzenie odporności i wytrzymałości na wybrane narażenia środowiskowe*; Sprawozdanie PIAP nr arch. 7735, Warszawa 2000r.
- [4] 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.*
- [5] 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*
- [6] 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).*