

6938

**PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81**

OSRODEK POMIARÓW PARAMETRÓW RUCHU I CZASU

440

BE 10

Główny wykonawca mgr inż. Lech Nowakowski

Wykonawcy
mgr inż. Ignacy Bojanek
mgr inż. Dariusz Okrasa
mgr inż. Rafał Więcko
mgr inż. Zygmunt Bojar

Konsultant

Nr zlecenia S 1320 Przepływomierz masy Coriolisa
Etap 1 A. Wykonanie projektu czujnika i przetwor. elektron. przepływom., dokumentacji szkiecowej oraz podstawowych zesp. czujnika i przetw.
Etap 1 B. Wykonanie i badanie 4 szt. prototypów czujnika przepływomierza oraz prototypu przetwor. elektron. oprac. dokumentacji do prod. seryj.

PIAP

Zleceńodawca

Pracę rozpoczęto dnia 19.08.93 **zakończono dnia** 15.02.93

Gł. Wykonawca Z-ca Dyrektora d/s Kierownik ORC
Bad. Rozwojowych
mgr inż. L. Nowakowski dr inż. J. Jabłkowski mgr inż. A. Cybulski

Praca zawiera:

stron 20

rysunków

fotografii

tabel 8

tablic 1

załączników

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 ORC

Egz. 3

Egz. 4

Egz. 5

Egz. 6

Nr rejestr. 6938.

1

2201

Analiza deskryptorowa

~~**Analiza dokumentacyjna**~~

Tytuły poprzednich sprawozdań

UKD

PIAP 41/88 10000

2

S P I S T R E Ś C I

	STR.
1. Sprawy formalne.....	3
2. Opis prac wykonanych w wyniku realizacji tematu.....	3
2.1. Czujnik przepływomierza masowego.....	3
2.2. Mikroprocesorowy przetwornik pomiarowy.....	6
2.2.1. Architektura przetwornika pomiarowego.....	6
2.2.1.1. Moduł jednostki centralnej.....	6
2.2.1.2. Układ kontroli napięć zasilania.....	6
2.2.1.3. Moduł wejść/wyjść RDF-APL1.....	7
2.2.1.4. Wejścia dwustanowe z układem generacji sygnałów zegarowych.....	7
2.2.1.5. Zespół liczników.....	8
2.2.1.6. Moduł zasilacza RDF-PWR.....	8
2.2.1.7. Moduł klawiatury RDF-KBD.....	8
2.2.1.8. Wyświetlacz ciekłokrystaliczny.....	8
2.3. Badania prototypów przepływomierzy masowych.....	9
2.3.1. Opis badań.....	9
2.3.2. Omówienie uzyskanych wyników.....	11
TABELE Z WYNIKAMI POMIARÓW.....	13-20

1. Sprawy formalne.

1.1. Przedmiot pracy.

Przedmiotem pracy jest wykonanie i zbadanie prototypu czujnika przepływomierza masowego oraz mikroprocesorowego przetwornika pomiarowego współpracującego z czujnikiem i wykonanie zweryfikowanej dokumentacji konstrukcyjnej do uruchomienia produkcji seryjnej.

1.2. Podstawa wykonania pracy.

Podstawą wykonania pracy jest zlecenie PIAP nr S 1320.

1.3. Zakres pracy.

Praca ma doprowadzić poprzez opracowanie, wykonanie i zbadanie prototypów czujnika i przetwornika do opracowania dokumentacji produkcyjnej kompletnego przepływomierza masowego wykorzystującego efekt Coriolisa.

2. Opis prac wykonanych w wyniku realizacji tematu.

W wyniku realizacji tematu wykonano następujące prace:

- opracowano i wykonano cztery prototypy czujnika przepływomierza
- opracowano i wykonano prototyp mikroprocesorowego przetwornika pomiarowego współpracującego z czujnikami
- zbadano podstawowe parametry funkcjonalne kompletnego przepływomierza
- opracowano zweryfikowaną na podstawie badań dokumentację przepływomierza masowego wykorzystującego efekt Coriolisa.

2.1. Czujnik przepływomierza masowego.

Zakres pracy został rozszerzony w stosunku do zamierzonego o wykonanie dodatkowych trzech prototypów czujnika przepływomierza.

Czujniki wykonano w dwóch wersjach różniących się rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Jednocześnie w ramach każdej wersji wykonano po dwa egzemplarze czujników o różnych zakresach dopuszczalnych natężeń przepływów.

Podstawowymi elementami czujnika, wspólnymi dla każdego typu rozwiązania są dwie identyczne rury pomiarowe wygięte w kształt litery U umieszczone równoległe w stosunku do siebie i osadzone sztywno i symetrycznie w stosunku do strumienia przepływu w rurze doprowadzającej i odprowadzającej ciecz z czujnika do zewnętrznej instalacji. Rura przepływowa zamknięta jest od wewnątrz dwoma szczelnie wspawanymi, odpowiednio uformowanymi przegrodami tworzącymi odpowiednio identyczne komory wlotowe i wylotowe czujnika. Konstrukcja zapewnia równomierny podział strumienia doprowadzanej cieczy pomiędzy obie rury pomiarowe oraz wytworzenie równomiernego rozkładu ciśnienia. Kołnierze, którymi rura zakończona jest z obu stron umożliwiają podłączenie czujnika do zewnętrznej instalacji.

Rurki pomiarowe wykonane są z wysokogatunkowej stali kwasoodpornej 12H18N9T a rura przepływowa ze stali 1H18N9T. Zastosowane materiały mogą być wykorzystane do środków spożywczych.

Dla zakresu przepływów 15 000kg/h zastosowano rury pomiarowe o średnicy zewnętrznej 20mm i grubości ścianki 0.5mm a dla zakresu do 25 000kg/h rury o średnicy zewn. 25mm i grubości ścianki 0.6mm.

W wersji I wykonania elementy układu wzbudzającego czujnik do drgań zamocowane są współosiowo odpowiednio na wierzchołku krzywizny każdej z pętli w jej osi symetrii.

W wersji II wykonania wprowadzono jako dodatkowy element konstrukcji poprzeczne stalowe belki, łączące końce prostoliniowych odcinków każdej z pętli. Cewka i magnes

zamocowane są odpowiednio w środkowej części każdej z belek w osi symetrii pętli pomiarowych.

Gięcie rur oraz spawanie elementów konstrukcyjnych czujnika wykonano w WSK Mielec z zastosowaniem unikalnych technologii, co umożliwiło zapewnienie dużej dokładności i powtarzalności wykonania.

Miarą natężenia przepływu masy jest kąt skręcenia rur względem osi prostopadłej do osi drgań podstawowych. Pomiar tego kąta realizowany jest za pomocą czujników optoelektronicznych umieszczonych symetrycznie na obu ramionach pętli.

Przebiegi sygnałów z obu czujników są podawane do mikroprocesorowego przetwornika pomiarowego, który realizuje ich dalszą obróbkę.

2.2. Mikroprocesorowy przetwornik pomiarowy.

Podstawową funkcją którą realizuje przetwornik jest zbieranie sygnałów z czujników optoelektronicznych wykrywających moment przejścia przez płaszczyznę symetrii obu ramion pętli. Czas odpowiadający przesunięciu fazowemu między tymi sygnałami w każdym okresie drgań czujnika jest wprost proporcjonalny do natężenia przepływu masy.

Jednocześnie całkowanie cyfrowe (sumowanie) tych czasów za każdy okres drgań w zadanym przedziale czasu jest miarą masy, która w tym przedziale czasu przepłynęła przez czujnik.

Przetwornik pomiarowy realizuje obie wymienione funkcje. Odpowiednie procedury programowe pozwalają na eliminację z obliczeń pomiarów nie mieszczących się w zadanym przedziale ufności. Wprowadzenie do pamięci stałych pomiarowych czujnika przepływomierza ustalonych w wyniku cechowania umożliwia wyświetlenie wyniku pomiaru w jednostkach fizycznych wielkości mierzonej. Dodatkowym parametrem mierzonym przez przetwornik jest okres drgań czujnika. Okres ten jest funkcją gęstości cieczy wypełniającej czujnik. Daje to możliwość wyświetlania jako dodatkowego parametru gęstości płynącej cieczy.

2.2.1. Architektura mikroprocesorowego przetwornika pomiarowego

Konstrukcję jednostki centralnej przetwornika oparto o zespół pakietów podstawowych, dostosowanych do obudów tablicowych NGS96 wg DIN43700:

- moduł jednostki centralnej RDF-CPU
- moduł wejść/wyjść RDF-APL1
- moduł zasilania RDF-PWR
- moduł klawiatury RDF-KBD
- wyświetlacz ciekłokrystaliczny

Moduły łączone są za pomocą miękkich tasiemek wieloprzewodowych zakończonych złączami.

2.2.1.1. MODUŁ JEDNOSTKI CENTRALNEJ RDF-CPU

Parametry modułu:

- procesor: MC68HC11E1FN
- zegar procesora: 8 MHz
- zewnętrzny RAM: 8/16/32kb
- zewnętrzny EPROM: 8/16/32kb
- wewnętrzny RAM: 512b
- wewnętrzny EEPROM: 512b
- podtrzymanie zawartości RAM procesora w warunkach zaniku napięcia zasilania (wejście napięcia baterii na pakiecie)
- we/wy cyfrowe: 48 linii we/wy (2x82C55)
8 linii wejść (74244)
8 linii wyjść (74244)
- wejścia cyfrowe/analogowe 8 linii (port procesora)

2.2.1.2 Układ kontroli napięć zasilania modułu.

Moduł jednostki centralnej posiada układ kontroli poprawności napięcia zasilania Vmpu (+5V), zapewniający podtrzymanie zawartości RAM, w warunkach zaniku napięcia zasilania (MAX694). Zmiany stanu napięcia zasilania mogą być

RDF-HARDWARE

sygnalizowane MPU poprzez przerwania. Podtrzymanie napięcia zasilania umożliwia niezależne źródło napięcia zasilania (BAT1 - 4V min), umieszczone na pakiecie.

2.2.1.3. Wejścia i wyjścia cyfrowe.

Moduł wyposażony jest w dwa układy interfejsów szeregowych U12, U13 (8255). Konfiguracja układów na pakiecie umożliwia ich działanie we wszystkich dostępnych dla nich modach pracy. Lokalizacja w przestrzeni adresowej jest stała i zrealizowana za pomocą układów U5 (74688) i U9 (74138). Oba układy nie mają możliwości programowego resetowania.

Porty układów wyprowadzone są na złącza Z3, Z4, Z5, i Z6.

Linie portów A i D procesora zbuforowane są poprzez układy U2 i U4 (74244) i wyprowadzone na złącze Z1.

2.2.1.3. MODUŁ WEJŚĆ/WYJŚĆ RDF-APL1

Moduł RDF-APL1 jest modułem aplikacyjnym urządzenia do potrzeb przepływomierza masowego. Wyposażony jest w dwa wejścia cyfrowe izolowane galwanicznie, układ generacji sygnałów zegarowych, zespół liczników i interfejs szeregowy RS232C/RS485 z izolacją galwaniczną.

2.2.1.4 Wejścia dwustanowe z układem generacji sygnałów zegarowych.

Moduł posiada 2 obwody wejść dwustanowych stałoprądowych, izolowanych galwanicznie od masy systemu za pomocą szybkich transoptorów U1, U2 (6N137). W połączeniu z układem generacji sygnałów zegarowych U3, U4, U8 i U9 (generator o częstotliwości 10MHz) umożliwia to pomiary przesunięcia zboczy sygnałów FL i FR z dokładnością generatora (100ns).

Układ generacji sygnałów zegarowych wytwarza sygnały dla zespołu liczników oraz sygnały przerwań i danych dla jednostki centralnej wyprowadzone na złącze Z1 modułu.

RDF-HARDWARE

2.2.1.5 Zespół liczników

Zespół liczników zbudowany jest z sześciu czterobitowych liczników binarnych U5, U6 i U7 (74393) zliczających impulsy generatora w przedziałach czasu zadawanych przez układ generacji sygnałów zegarowych. Zerowanie liczników odbywa się sygnałem RECNT. Wyjścia liczników wyprowadzono na złącza Z3 i Z4 modułu.

2.2.1.6. MODUŁ ZASILACZA RDF-PWR.

Moduł zasilany jest zewnętrznym napięciem 220Vac. Na wejściu zastosowano filtr sieciowy (220Vac/2A). Projekt druku umożliwia montaż transformatora typu EI38 (3VA) i EI42 (4.5VA).

Moduł generuje dwa izolowane, stabilizowane napięcia zasilania +5V 170mA lub 220mA (odpowiednio dla EI38 i EI42)

Konstrukcję mechaniczną dostosowano do obudów tablicowych NGS96 standardu DIN43700.

2.2.1.7. MODUŁ KLAWIATURY RDF-KBD

Moduł klawiatury umożliwia montaż do czterech klawiszy funkcyjnych typu D-6. Dołączony jest do złącza Z6 modułu RDF-CPU miękką tasiemką.

Ponadto moduł klawiatury zawiera układ generacji napięcia kontrastu wyświetlacza ciekłokrystalicznego (potencjometr POT1).

2.2.1.8. WYŚWIETLACZ CIEKŁOKRYSTALICZNY.

Jako wyświetlacz ciekłokrystaliczny zastosowano moduł linii alfanumerycznej 2 x 16 znaków ze sterownikiem HD44780. Dołączony jest do złącza Z5 modułu RDF-CPU miękką tasiemką.

RDF-HARDWARE

2.3. Badania prototypów przepływomierzy masowych.

Wszystkie wykonane prototypy czujników przepływomierzy masowych poddano badaniom w celu określenia charakterystyk w funkcji masy oraz gęstości medium, określenia błędów pomiarowych i strat ciśnienia wprowadzanych przez czujnik.

2.3.1. Opis badań.

Badania przeprowadzono w laboratorium DPQ na stanowisku dostosowanym do maksymalnych przepływów 30 000 l/h i średnicy instalacji 50 mm z kalibrowanym zbiornikiem przelewowym.

Badania wykonano wykorzystując wolumetryczną metodę pomiaru. Dla czujnika o zakresie pomiarowym do 15 000 kg/h wykonano w zakresie przepływów 500-20 000 l/h, dla czujnika o zakresie 25000 kg/h w zakresie przepływów 1 000-30 000 l/h., w 20 różnych punktach pomiarowych, w kilku dowolnie wybranych punktach wielokrotnie powtarzając pomiary.

Po zainstalowaniu czujnika w stanowisku dokładnie odpowietrzano instalację zadając następnie przez okres kilkunastu minut maksymalny przepływ w celu wyrównania temperatury czujnika i wody.

Następnie zadawano kolejne wartości natężeń przepływu.

Po ustaleniu zadanej wartości natężenia otwierano zbiornik przelewowy. Kłapa zbiornika sprzężona jest z przerzutnikiem elektromechanicznym, którego styki są zwierane i rozwierane odpowiednio przy otwarciu i zamknięciu zbiornika. Styki przerzutnika połączono przez złącze portu szeregowego z mikroprocesorowym przetwornikiem pomiarowym przepływomierza.

Otwarcie zbiornika i zwarcie styków przerzutnika wyzwała start procedury totalizera i sumowanie liczby impulsów odpowiadającej przesunięciom fazowym ramion czujnika we wszystkich kolejnych okresach drgań czujnika. Po zamknięciu zbiornika i rozwieraniu styków przerzutnika sumowanie zostaje przerwane a zgromadzona

przez czas otwarcia zbiornika liczba impulsów zostaje zatrzaśnięta w rejestrach i zapamiętana. Liczba ta jest wprost proporcjonalna do masy wody, która napłynęła do zbiornika przez czas jego otwarcia. Po każdym pomiarze odczytywano objętość wody zgromadzonej w zbiorniku, a na wyświetlaczu przetwornika liczbę impulsów zsumowanych przez totalizer oraz czas trwania pomiaru. Okres drgań czujnika z uwagi na stałą niezmienną gęstość wody pozostawał stały, co odczytywano na wyświetlaczu przetwornika. Przed każdym kolejnym pomiarem zbiornik był opróżniany.

Na podstawie odczytanych danych dla każdego punktu pomiarowego określono wartość stałej K_1 odpowiadającej liczbie impulsów na 1kg masy, średnią wartość natężenia przepływu, stałą K_2 określającą przyrost liczby impulsów na przyrost natężenia przepływu o 1 000kg/h, oraz błąd pomiaru.

Dla uniknięcia błędów związanych z czasem opóźnienia otwarcia i zamknięcia zbiornika wybrano odpowiednio długi czas pomiaru. Zmierzone również spadek ciśnienia pomiędzy wlotem i wylotem czujnika dla maksymalnego przepływu.

Badania gęstości medium przeprowadzono dla każdego czujnika w warunkach statycznych (bez przepływu) napełniając czujnik różnymi rodzajami cieczy. Badania wykonano dla czterech cieczy: wody, denaturatu o niskim stężeniu, spirytusu oraz gliceryny. Zakładając gęstość powietrza $0,000 \text{ kg/m}^3$ oraz wody $1,000 \text{ kg/m}^3$ zmierzono za pomocą przetwornika przepływomierza okres drgań czujnika dla każdego z tych mediów po czym korzystając z tych danych obliczono stałe pomiarowe A i B czujnika zgodnie ze wzorem:

$$\rho = \frac{T^2 - A}{B} \quad \begin{array}{l} \text{gdzie } \rho - \text{ gęstość cieczy} \\ T - \text{ okres drgań czujnika} \\ \text{ napełnionego tą cieczą} \end{array}$$

Wykorzystując tak uzyskane stałe obliczono gęstości innych cieczy wprowadzając jako daną okres drgań czujnika zmierzony dla czujnika wypełnionego każdą z nich. Wyniki te dla

określenia błędu pomiaru porównano z pomiarami uzyskanymi za pomocą gęstościomierza wzorcowego o dokładności $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$. Wyniki pomiarów zamieszczono w tabelach na końcu sprawozdania.

2.3.2. Omówienie uzyskanych wyników pomiarów

Dla lepszego zobrazowania podstawowe parametry wszystkich zbadanych czujników zebrano w tabeli poniżej.

Rodzaj czujnika przepływomierza	Zakres mierzonych natężeń przepływ.	Błąd pomiaru wart. aktual.	Strata ciśn. dla max. przepł	Błąd pomiaru gęstości
	kg/h	%	bar	%
Wersja I wykon. z rur o śr. 20mm	1 500-15 000	± 0.6	1.0	± 0.2
Wersja II wyk. z rur o śr. 20mm	1 500-15 000	± 0.3	1.0	± 0.2
Wersja I wykon. z rur o śr. 25mm	2 500-25 000	± 0.6	1.0	± 0.2
Wersja II wyk. z rur o śr. 25mm	2 500-25 000	± 0.4	1.0	± 0.2

Z porównania prototypów czujnika przepływomierza w różnych wykonaniach wynika, że dla obu zakresów pomiarowych, lepsze parametry wykazują czujniki w wykonaniu II. Oprócz mniejszego błędu pomiarowego charakteryzują się większą czułością, co wynika z porównania stałych pomiarowych K1 i K2 (tabele na końcu sprawozdania).

Cechą charakterystyczną czujników w obu wykonaniach jest

gwałtowny wzrost błędu przy pomiarach w zakresie natężeń przepływów mniejszych od 10% zakresu pomiarowego. Wynika to z bardzo małych wartości amplitudy siły Coriolisa i wchodzeniem czujnika w zakres nieliniowości. Należy podkreślić, że podobne własności wykazują czujniki oferowane przez firmy zachodnie. Korzystną cechą są niewielkie straty ciśnienia wprowadzane przez czujnik w zakresie maksymalnych przepływów.

Należy podkreślić, że w trakcie wykonywania badań okazało się konieczne wykonanie dodatkowych prac adaptacyjnych w celu dostosowania stanowiska do wykonania części badań jak np. wykonanie odpowiednich końcówek do pomiaru strat ciśnienia. Część pomiarów wymagało powtórzenia i wprowadzenia zmian w oprogramowaniu. Spowodowało to wydłużenie czasu trwania badań w stosunku do zakładanego.

Uzyskane parametry metrologiczne szczególnie w wersji II wykonania czujnika są porównywalne z podobnymi czujnikami produkcji zachodniej i znacznie lepsze od zakładanych przy rozpoczęciu pracy.

Dla pełniejszego potwierdzenia konieczne jest jednak uzupełnienie programu badań. Dotyczy to szczególnie badań temperaturowych w celu określenia wpływu temperatury medium na całkowity błąd pomiaru i wprowadzenia w razie potrzeby korekcji temperaturowej urządzenia. Celowe jest również sprawdzenie podstawowych parametrów dla mediów o różnych gęstościach i mieszanin cieczy. Cechowanie czujnika w funkcji gęstości należałoby wykonać w warunkach dynamicznych tzn. przy zadanym przepływie. Wykonanie pełnego programu badań nie było możliwe z uwagi na brak odpowiednio wyposażonych stanowisk pomiarowych. Realizacja programu badań pełnych umożliwi, po wprowadzeniu ewentualnych poprawek w dokumentacji na szybkie podjęcie produkcji przepływomierza masowego Coriolisa, który dzięki w licznych zastosowaniach wypiera z rynku tradycyjnie do tej pory stosowane przepływomierze turbinowe .

Czujnik z rur $\phi 20$, wykonanie w wersji 1.

Lp.	T	N _T	t _{tot}	N _{tot}	V	Q _{śr}	N _{Qśr}	K ₁	K ₂	Δ
	ms		s	imp.	dm ³	kg/h	imp	imp/kg		%
1										
2	20,56	38182	785,52	8054355	199,9	916,7	211	40342	230,17	+0,59
3		18993	390,54	5991276	149,2	1376	315	40156	228,92	+0,13
4		19516	401,25	7885253	197,7	1774	404	39890	227,73	-0,54
5		17743	354,80	12108910	302,7	2987	682	40003	228,52	-0,25
6		17586	351,57	16029055	399,1	3974	911	40163	229,24	+0,13
7		17727	354,47	20092990	501,1	4950	1131	39998	228,48	-0,22
8		18730	385,09	24095899	601,1	5519	1287	40088	229,04	+0,05
9		18813	385,80	28190605	701,8	6532	1498	40169	229,33	+0,16
10		18779	385,13	32077849	800,1	7459	1708	40092	228,98	+0,04
11		16820	345,82	31953210	799,7	8325	1900	39959	228,22	+0,365
12		15031	309,04	31870518	798,9	9295	2120	39893	228,08	-0,54
14		13731	282,32	32055532	799,4	10193	2335	40112	229,08	+0,02
15		11552	237,72	32180107	800,5	12123	2783	40200	229,56	+0,25
16		10412	214,08	32095247	800,5	13461	3083	40094	229,03	+0,04
		9332	191,87	32185768	800,9	15026	3449	40187	229,54	+0,21
18		8446	173,01	32216252	801,2	16511	3814	40210	229,60	+0,24
19		7596	158,23	32225065	801,2	18229	4187	40221	229,69	+0,29
20										
21										
22										
23										
								K _{1śr}	K _{2śr}	
								40105	229,0	

14

Czujnik z rur $\phi 20$, wykonanie w wersji 2.

Lp.	T	N _T	t _{tot}	N _{tot}	V	Q _{śr}	N _{Q_{śr}}	K ₁	K ₂	Δ
	ms		s	imp.	dm ³	kg/h	imp	imp/kg		%
1										
2	19,556	43501	855,23	4443453	100,2	422	102	44 346	241,70	+4,7
3		21821	429,00	4322966	102,1	856,8	198	42 340	231,09	+0,45
4		20122	394,39	5268518	148,8	1358	312	42 127	229,75	+0,04
5		18 109	356,02	8437437	200,2	2022	466	42 145	230,46	+0,04
6		18355	350,86	12690559	302,0	3013	692	42 022	229,67	-0,275
7		18543	364,56	15935389	402,1	3971	913	42 117	229,91	+0,04
8		18551	364,71	2116589	501,1	4946	1138	42 140	230,08	+0,02
9		19465	382,68	25317026	599,9	5643	1301	42 200	230,55	+0,16
10		19541	384,70	29573658	700,7	6556	1513	42 201	230,78	+0,16
11		19652	386,36	33748970	800,1	7455	1717	42 181	230,32	+0,12
12		17514	344,33	33676392	799,7	8361	1923	42 111	230,00	+0,05
14		15795	310,53	33676326	799,3	9266	2132	42 133	230,08	0
15		14338	281,89	33740600	801,2	10 232	2353	42 113	229,96	+0,05
16		12470	245,16	33727200	800,9	11 761	2704	42 112	229,91	+0,05
17		11 039	217,03	33765485	801,6	13 297	3059	42 123	230,05	+0,03
18		8935	175,66	33855096	803,5	16 467	3789	42 134	230,10	0
19		7204	141,63	33753238	801,2	20 365	4 685	42 128	230,05	0
20										
21										
22										
23										
								K ₁ śr	K ₂ śr	
								42 132	230,11	

Czujnik z rur $\phi 25$, wykonanie w wersji 1.

Lp.	T	N_T	t_{tot}	N_{tot}	V	Q_{sr}	$N_{Q_{\text{sr}}}$	K_1	K_2	Δ
	ms		s	imp.	dc ³	kg/h	imp	imp/kg		%
1										
2	17,287	23399	404,57	2564454	99,8	888,1	110	25 696	123,8	+3,5
3		22253	402,04	5170594	200,7	1797	232	25 863	129,1	+1,1
4		23316	403,15	6491024	249,3	2226	278	26 037	125,84	-0,6
5		20902	361,40	7789205	299,7	2 985	373	25 990	124,96	-0,4
6		20845	360,41	10443929	398,3	3 983	501	26 221	125,78	+0,27
7		21088	364,61	13057184	500,3	4 940	619	26 099	125,3	-0,2
8		22135	382,71	15625539	599,5	5 639	706	26 066	125,2	-0,3
9		22373	386,83	18349399	701,1	6 524	820	26 172	125,69	+0,12
10		22400	387,30	20936069	800,5	7 441	935	26 153	125,66	0
11		19 831	342,88	20895279	798,2	8 381	1054	26 178	125,72	+0,12
12		17 974	310,77	21014337	802,0	9 290	1169	26 202	125,83	+0,2
14		16153	279,29	20946043	800,5	10 318	1297	26 166	125,70	+0,1
15		14032	242,61	20991745	801,2	11 889	1496	25 200	125,83	+0,2
16		12354	213,60	20934757	801,2	13 503	1695	26 129	125,53	-0,07
17		11037	190,83	20902862	799,7	15 086	1894	26 138	125,55	0
18		9966	172,31	20874891	799,7	16 708	2095	26 103	125,39	-0,15
19		9067	156,77	20873432	798,9	18 346	2302	26 128	125,48	-0,08
20		7984	138,04	20863556	796,7	20 776	2613	26 187	125,77	+0,16
21		7793	133,20	20867193	801,2	21 654	2725	26 195	125,50	+0,2
22		6581	113,78	20999455	801,2	25 350	3191	26 210	125,88	+0,25
23										
								$K_{1\text{sr}}$	$K_{2\text{sr}}$	
								26 147	125,97	

Czujnik z rur $\phi 25$, wykonanie w wersji 2.

Lp.	T	N _T	t _{tot}	N _{tot}	V	Q _{śr}	N _{Qśr}	K ₁	K ₂	Δ
	ms		s	imp.	dm ³	kg/h	imp	imp/kg		%
1										
2	16,44	24528	403,24	5532905	200,7	1792	226	27568	125,12	+0,9
3		24590	404,26	5840675	249,5	2222	278	27419	125,11	+0,354
4		21710	356,91	8186265	298,9	3015	377	27388	125,04	+0,24
5		22202	352,01	11088648	404,4	4021	504	27420	125,31	+0,354
6		21999	361,66	13667677	499,2	4969	621	27379	124,97	+0,23
7		23162	380,78	16358875	599,2	5665	706	27301	124,62	-0,1
8		23214	381,64	19106345	698,0	6588	823	27373	124,92	+0,18
9		23374	384,27	21824428	799,7	7492	934	27291	124,67	+0,12
10		20852	342,81	21873941	798,9	8390	1049	27380	125,03	+0,21
11		18677	307,05	21721897	797,8	9340	1163	27227	124,52	-0,37
12		17066	280,56	21768933	799,7	10261	1276	27221	124,35	-0,58
14		14235	234,02	21760596	799,3	12296	1529	27225	124,34	-0,37
15		13050	214,54	21797476	800,1	13425	1670	27243	124,39	+0,09
16		11632	191,20	21858231	801,2	15085	1879	27281	124,56	+0,22
17		10501	172,64	21851739	800,9	16701	2081	27284	124,60	+0,22
18		9574	157,40	21831785	798,9	18272	2280	27327	124,78	0
19		8401	138,11	21787157	797,4	20785	2593	27322	124,75	0
20		7859	129,2	21858524	800,5	22304	2781	27306	124,69	+0,08
21		6994	114,98	21912765	800,8	25072	3133	27364	124,96	+0,15
22		6371	104,74	21936545	801,2	27537	3443	27380	125,03	+0,21
23										
								K _{1śr}	K _{2śr}	
								27323	124,77	

Czujnik z rur $\phi 20$, wykonanie w wersji 1.

Rodzaj cieczy	okres drgań	gęstość oblicz.	gęstość zmiarz.	$\frac{\Delta\rho}{\rho_{wzor.}}$
	ms	$\text{kg}\cdot\text{m}^3$	$\text{kg}\cdot\text{m}^3$	%
denaturat	20.28	0.938	0.936	+0.2%
spirytus	19.68	0.810	0.809	+0.1%
gliceryna	21.64	1.245	1.244	+0.1%
woda	20.56			
powietrze	15.39			



Czujnik z rur $\phi 20$, wykonanie w wersji 2.

Rodzaj cieczy	okres drgań	gęstość oblicz.	gęstość zmierz.	$\frac{\Delta\rho}{\rho_{wzor.}}$
	ms	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	%
denaturat	19.37	0.936	0.936	0%
spirytus	18.77	0.808	0.809	0.1%
gliceryna	20.73	1.243	1.244	0.1%
woda	19.66			
powietrze	14.45			



Czujnik z rur $\phi 25$, wykonanie w wersji 1.

Rodzaj cieczy	okres drgań	gęstość oblicz.	gęstość zmiarz.	$\frac{\Delta\rho}{\rho_{wzor.}}$
	ms	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	%
denaturat	17.01	0.937	0.936	+0,1%
spirytus	16.44	0.811	0.809	+0,2%
gliceryna	18.32	1.242	1.244	-0,2%
woda	17.29			
powietrze	12.14.			

Czujnik z rur $\phi 25$, wykonanie w wersji 2.

Rodzaj cieczy	okres drgań	gęstość oblicz.	gęstość zmiarz.	$\frac{\Delta\rho}{\rho_{wzor.}}$
	ms	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	%
denaturat	16.18	0.938	0.936	+0.2
spirytus	15.62	0.809	0.809	0
gliceryna	17.42.	1.244	1.244	+0.1
woda	16.44			
powietrze	11.54			