

Czesław Rybicki*, Stanisław Łuczyński*

POMIARY NATĘŻENIA PRZEPIYU

1. WSTĘP

W celu określenia ilości cieczy i gazów przepływających w rurociągach prowadzone są pomiary przepływu. Wykonuje się pomiary prędkości przepływu w (m/s), natężenia objętościowego q (m³/s) lub strumienia masy G (kg/s). Wielkości te są ze sobą powiązane i mogą być obliczone według zależności: $q = w S$, $G = \rho q$, jeżeli znane są S – powierzchnia przekroju, w – prędkość średnia i ρ – gęstości przepływającego czynnika.

Przyrządami do pomiaru natężenia przepływu gazu są gazomierze. W przemyśle gazowniczym używanych jest wiele typów gazomierzy. Są to między innymi:

- gazomierze zwężkowe,
- gazomierze turbinowe,
- gazomierze rotorowe,
- gazomierze miechowe,
- gazomierze ultradźwiękowe,
- gazomierze działające w oparciu o siłę Coriolisa,
- termiczne,
- optyczne.

Typoszereg gazomierzy: G-1,6, G-2,5, G-4, G-6, G-10, G-16, G-25, G-40, G-65, G-100, G-160, G-250, G-400, G-650, G-1000, G-1600

Rodzaj gazomierza dobiera się w zależności od (tab. 1):

- funkcji, jaką ma spełniać w określonym odcinku pomiarowym określonego rodzaju układu pomiarowego;
- maksymalnego wydatku objętościowego i maksymalnego ciśnienia mierzonego gazu.

Wartości dotyczą pojedynczego odcinka pomiarowego, w którym prędkość gazu nie powinna przekraczać: dla gazomierza zwężkowego 20 m/s; dla gazomierza turbinowego i rotorowego 16m/s; dla gazomierza miechowego 6 m/s.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, AGH, Kraków

Tabela 1

Dobór rodzaju gazomierza w zależności od maksymalnego ciśnienia i strumienia objętości

Rodzaj gazomierza	Maksymalna średnica nominalna DN [mm]	Maksymalny strumień objętości gazu Q [m_n^3/h]		Maksymalne ciśnienie robocze p [kPa]
		Q_1	Q_n	
Zwężkowy	300	4000	250000	10000
Turbinowy	750			
Rotorowy	200	1600	8000	400
Miechowy	150	250	1000	400
Ultradźwiękowy	900	325	65000	10000
Masowy	154	–	100000	–

2. GAZOMIERZE ZWĘŻKOWE

Zwężki pomiarowe dzielą się na:

- kryzy,
- dysze pomiarowe,
- zwężki krytyczne,
- zwężki ograniczające.

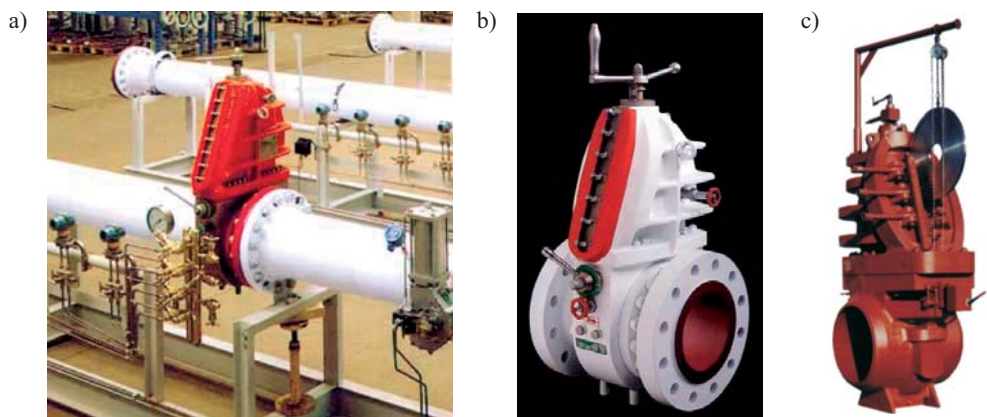
Gazomierze zwężkowe są przeznaczone są do:

- pomiaru ilości gazów w celach rozliczeniowych,
- opomiarowania linii przesyłowych i dystrybucji gazów technologicznych,
- pomiarów kontrolnych przepływu gazu.

Doboru gazomierzy dokonuje się w oparciu o odpowiednie normy. Kryzy wmontowane w rurociąg muszą być odpowiednio obudowane. Zespół obudowy kryzy zależy od rodzaju odbioru ciśnienia. Każdy zespół obudowy kryzy składa się z tzw. obudowy plusowej po stronie dopływowej, oraz obudowy minusowej po stronie odpływowej. Obudowy kryz są wyposażone w króćce impulsowe, oraz spustowe wyposażone w zawory zaporowe. Długości obudów kryz w zależności od rodzaju odbioru ciśnienia są różne i powinny wynosić od 40÷70 mm.

Nowym rozwiązaniem konstrukcyjnym są zestawy obudów kryz z mechanizmem wymiany. Stosuje się je w miejscach, gdzie nie ma możliwości rozsuwania odcinków pomiarowych w trakcie zakładania i wyjmowania kryzy. Obudowy tego typu mogą być wykonywane jako jedno- lub dwukomorowe (rys. 1).

Wielkość gazomierzy zwężkowych dobiera się wg tabeli 2, w zależności od przewidywanych maksymalnych i minimalnych wielkości przepływającego strumienia objętości gazu przez gazomierz. Wartości podane w tabeli 2 należy traktować jako orientacyjne.



Rys. 1. Kryzy pomiarowe z mechanizmem wymiany: a) przykład typowej zabudowy dwukomorowej „FIOMASTER” w ciągu pomiarowym; b) obudowa dwukomorowa kryzy firmy Pietro Fiorentini; c) gazomierz zwężkowy dwukomorowy firmy PECO [1]

Tabela 2
Parametry gazomierzy zwężkowych

Wielkość gazomierza	D_n [mm]	q_{max} [m_n^3/h]	q_{min} [m_n^3/h]	
			Jeden przetwornik $\Delta p^{0.5}$ lub dwa przetworniki Δp	Jeden przetwornik Δp
GZ 50	50	120	10	30
GZ 80	80	300	30	90
GZ 100	100	450	50	150
GZ 150	150	1000	100	300
GZ 200	200	1800	180	540
GZ 250	250	2800	280	840
GZ 300	300	4000	400	1200
GZ 400	400	7200	720	2200

W celu uzyskania zakresu pomiarowego równego zakresowi pomiarowemu przetwornika pierwiastkującego, należy stosować dwa przetworniki liniowe. Błąd sygnału wyjściowego przetwornika pomiarowego różnicy ciśnień pierwiastkującego lub liniowego jest mniejszy niż 0,25% górnej granicy zakresu, oraz nie powinien przekraczać 1,25% wartości sygnału odpowiadającej wartości wielkości mierzonej.

3. GAZOMIERZE TURBINOWE

Gazomierz turbinowy (rys. 2), jest to gazomierz, którego elementem pomiarowym jest wirnik ze skrzydełkami, obracający się z prędkością proporcjonalną do strumienia objętości przepływającego gazu. Gazomierze turbinowe znajdują zastosowanie głównie przy pomiarach rozliczeniowych gazu w sieciach przesyłowych wysokiego ciśnienia. Mogą być one stosowane także przy ciśnieniach niższych, jednak ich praca jest najbardziej korzystna przy wysokich ciśnieniach, kiedy wzrasta zakres pomiarowy gazomierza, a obniżeniu ulega efekt bezwładności turbiny.



Rys. 2. Gazomierze turbinowe: a) firmy Alsí GTE; b) firmy Gazomet typ TRZ 03; c) CGT firmy Common [15]

Korpus główny gazomierza może być wykonany z aluminium, żeliwa, żeliwa sferoidalnego lub też ze stali w kształcie cylindra wraz z zintegrowanymi kołnierzami służącymi do zamontowania gazomierza.

W skład gazomierza turbinowego wchodzi:

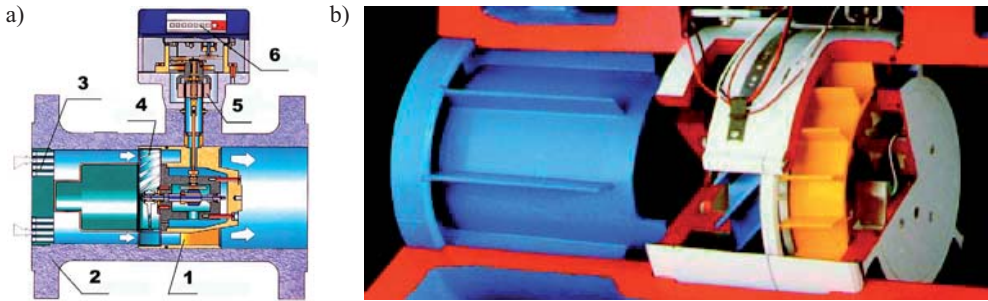
- **Zespół pomiarowy** – komora pomiarowa, składająca się z:
 - prostownicy strumienia;
 - wirnika pomiarowego turbiny, wykonanego z dużą dokładnością, z aluminium, lub tworzywa sztucznego;
 - pompy oleju, stosowanej w gazomierzach o średnicach większych jak 50 mm.
- **Zespół przeniesienia napędu**, składający się ze sprzęgła magnetycznego wraz z korpusem przegrody hermetycznej.

Zespół liczydła – złożony z przekładni zębatych, za pomocą których zostają zliczane obroty turbiny, przekazywane następnie na liczydło mechaniczne zliczające rzeczywistą ilość przepływającego gazu.

Gazomierze wyposażone są w dwa otwory impulsowe w postaci króćców z gwintowanym gniazdem. Otwory te są rozmieszczone symetrycznie po obu stronach korpusu głównego. Wielkość impulsów, czyli liczba m^3 gazu przypadająca na jeden impuls ustalana jest dla każdego gazomierza i podawana przez producenta w tabliczce znamionowej. Długość całkowita gazomierza turbinowego wynosi $3D_n$, natomiast odległości skrajnie wystających

części gazomierza, które wystają poza korpus gazomierza, mierzone od jego osi wynoszą ok. 150mm plus 1,5 średnicy nominalnej gazociągu D_n .

Dwuturbinowy moduł „auto-adjust” (rys. 3) (stosowany w gazomierzach Alsi Equimeter) przystosowuje gazomierze do spełniania dodatkowych czynności, polegających na sygnalizowaniu nieprawidłowości w pracy urządzenia. Moduł pozwala na automatyczne samokorygowanie mierzonej wielkości i niwelowanie błędów, będących wynikiem zużycia elementów gazomierza.



Rys. 3. Schemat gazomierza turbinowego: a) budowa; 1. zespół pomiarowy, w skład którego wchodzi: 2 – korpus główny, 3 – kierownica strugi, 4 – wirnik turbiny, 5 – zespół przeniesienia napędu, 6 – zespół liczydła; b) przekrój gazomierza wyposażonego w moduł „auto-adjust” [23]

Gazomierze turbinowe stosuje się do najniższego natężenia przepływu, wynoszącego $0,8 \text{ m}_n^3/\text{h}$ przy zakresowości obciążenia 1:50.

Zasada pomiaru przepływającego medium przez gazomierz turbinowy polega na pomiarze pośrednim. Nie jest mierzona bezpośrednio objętość przepływającego gazu, lecz liczba obrotów turbiny. Podczas pracy gazomierza zakłada się, że prędkość obrotowa turbiny jest proporcjonalna do strumienia objętości gazu. W rzeczywistości wielkość ta zależy jeszcze od takich wielkości jak lepkość kinematyczna, gęstość, moment tarcia w łożyskach, średnica korpusu, średnica piasty, średnica zewnętrznej turbiny, ilość i grubość łopatek, nachylenie łopatek, długość turbiny, skok linii śrubowej.

Gazomierze turbinowe są precyzyjnymi urządzeniami pomiarowymi. W celu zapewnienia ich prawidłowego funkcjonowania należy dokładnie przestrzegać instrukcji producenta, oraz instrukcji montażowych. Gazomierze turbinowe w wykonaniu standardowym przeznaczone są do pracy w pozycji poziomej, oraz instalowane na odcinkach prostoliniowego przepływu gazu. Dopuszcza się pionowy montaż gazomierzy, do napływu z góry, jednak tylko dla gazomierzy, które są wykonywane na specjalne zamówienie. Sposób instalowania pionowego należy jednak szczegółowo uzgadniać z producentem przepływomierzy.

Gazomierze turbinowe starszej generacji wymagały długich, prostych odcinków dopływowych, które montowane są przed gazomierzem. Przed odcinkiem dopływowym jest zamontowany filtr gazowy w celu dokładnego oczyszczenia gazu z cząstek, co najmniej do $10 \mu\text{m}$, w celu zabezpieczenia przed uszkodzeniem wirnika turbiny, który jest wrażliwy na

uszkodzenia mechaniczne. W nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych gazomierzy długość prostego odcinka pomiarowego może wynosić $2D_n$, bez prostownicy strumienia. Długość ta wynika z pomiarów technologicznych dokonanych przez firmy produkujące gazomierze i powinna być udokumentowana na etapie zatwierdzania typu gazomierza.

Cały zestaw gazomierza turbinowego pokazany na rysunku 4 składa się z odcinka dopływowego, gazomierza turbinowego, korektora objętościowego, oraz odcinka odpływowego.



Rys. 4. Zestaw montażowy gazomierza turbinowego z korektorem objętości [2]

Tabela 3
Wielkości gazomierzy turbinowych

Wielkość gazomierza zależna od Q_{\max} [m_n^3/h]	Średnica nominalna przyłączy gazomierza DN	Wartość Q_{\min} w zależności od zakresu obciążenia [m_n^3/h]			
		1:10	1:20	1:30	1:50
40	50	4	2	1,3	0,8
65	50	6	3	2	1,3
100	50	10	5	3	2
160	80	16	8	5	3
250	80	25	13	8	5
400	100	40	20	13	8
650	150	65	32	20	13
1000	150	100	50	32	20
1600	200	160	80	50	32
2500	250	250	130	80	50
4000	300	400	200	130	80
6500	400	650	320	200	130
10000	500	1000	500	320	200
16000	600	1600	800	500	320
25000	750	2500	1300	800	500

Do pomiarów ilości przepływającego gazu przy średnim i wysokim ciśnieniu na odcinku dopływowym wmontowana jest prostownica strumienia. Przy pomiarach gazu w warunkach dużych zakłóceń przepływu długość odcinka prostoliniowego po stronie dopływowej wynosi 18 średnic gazociągu wraz z długością prostownicy strumienia.. Odcinek odpływowy jest prosty i powinien posiadać dwa gniazda na zamontowanie termometrów temperatury (kontrolny, użytkowy). Zestawy montażowe różnią się w zależności od rodzaju zastosowanych korektorów objętości przepływającego gazu (z przelicznikiem sieciowym, lub bez przelicznika).

Wielkość gazomierzy turbinowych dobiera się (tab. 3) w zależności od przewidywanego obciążenia maksymalnego oraz minimalnego, a także od ciśnienia nominalnego. Gazomierze turbinowe przewidziane są na ciśnienie nominalne następującego typoszeregu: 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10,0 MPa.

4. GAZOMIERZE ROTOROWE

Gazomierze rotorowe są precyzyjnymi urządzeniami do pomiaru objętości gazu dla celów rozliczeniowych i technologicznych, oraz innych gazów wymienionych, stosowane wszędzie tam, gdzie wymagane są duża dokładność pomiaru, średni zakres pomiarowy i solidna konstrukcja. Ze względu na swoje doskonałe własności metrologiczne, łatwość oraz wygodę obsługi w miejscu pracy są one optymalnymi urządzeniami pomiarowymi do małych i średnich stacji pomiarowych lub redukcyjno-pomiarowych.

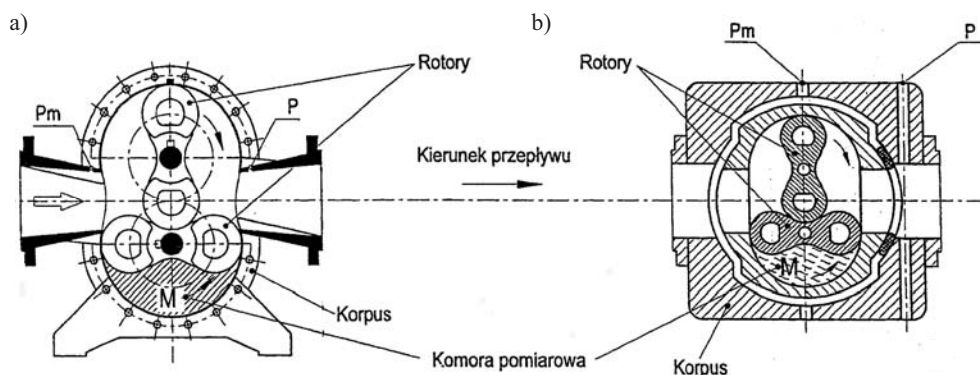
Dzięki bardzo dużemu zakresowi pracy doskonale sprawdzają się tam, gdzie występuje duża różnica między maksymalnym a minimalnym przepływem gazu. Gazomierz rotorowy (rys. 5), jest to gazomierz o konstrukcji komorowej, o przegrodach w postaci obrotowych, odpowiednio ukształtowanych wirników.



Rys. 5. Gazomierze rotorowe: a) firmy Common; b) firmy Romet; c) firmy InterGas [22]

Obecnie produkuje się gazomierze rotorowe w wersji ze sztywną komorą pomiarową (rys. 6a), lub z komorą pomiarową, elastycznie osadzoną w korpusie (rys. 6b). Gazomierze rotorowe są przyrządami do pomiaru objętości.

Przepływ gazu przez komorę pomiarową wymusza ruch dwóch przeciwbieżnych rotorów połączonych parą kół synchronizujących. Pełny obrót rotorów o 360° odpowiada przepływowi czterech objętości gazu przez komorę pomiarową.



Rys. 6. Przekrój gazomierzy rotorowych
Objaśnienia w tekście

Obrót rotorów jest przenoszony przez sprzęgło magnetyczne i system przekładni do liczydła. Informacja o ilości gazu, który przepłynął przez gazomierz jest wskazywana na liczydło mechaniczne, natomiast nadajniki HF i LF umożliwiają współpracę gazomierza z zewnętrznymi urządzeniami elektronicznymi, np. korektorem CMK-01, CMK-02 i innymi pracującymi w standardzie określonym przez odpowiednią normę branżową.

Zestaw montażowy gazomierza rotorowego składa się z:

- prostego odcinka rurociągu po stronie dopływowej,
- gazomierza rotorowego,
- prostego odcinka rurociągu po stronie odpływowej.

Tabela 4
Wielkości gazomierzy rotorowych

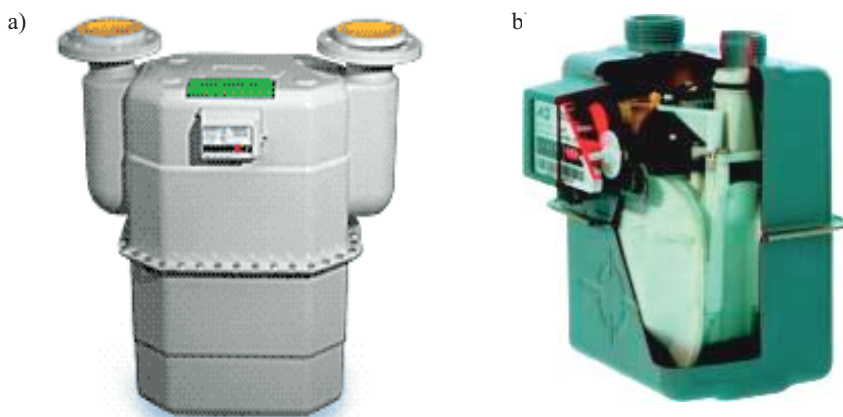
Wielkość gazomierza	Średnica nominalna DN [mm]	Obciążenie maksymalne Q_{max} [m_n^3/h]	Obciążenie minimalne Q_{min} [m_n^3/h], dla zakresów obciążeń:		
			1:20	1:30	1:50
G 16	40	25	1,3	0,8	0,5
G 25		40	2	1,3	0,8
G 40	50	65	3	2	1,3
G 65		100	5	3	2
G 100	80	160	8	5	3
G 160		250	13	8	5
G 250	100	400	20	13	8
G 400	150	650	32	20	13
G 650		1000	50	32	20
G 1000	200	1600	80	50	32

Odcinek dopływowo ma długość większą, lub, co najmniej równą czterem średnicom D_n . Odległość gniazda termometru od gazomierza powinna wynosić nie więcej jak $3D_n$. Odcinek odpływowo jest prosty na długości, co najmniej $2D_n$, wraz z kołnierzem. Na wylocie powinien posiadać kołnierz, lub końcówkę do przyspawania.

Wielkość gazomierza rotorowego zależy od ciśnienia nominalnego, jak i przewidywanych wartości jego maksymalnego i minimalnego obciążenia. Przewidywaną wielkość gazomierza rotorowego dobiera się wg tabeli 4.

5. GAZOMIERZE MIECHOWE

Gazomierz miechowy jest przemysłowym urządzeniem pomiarowym spełniającym najwyższe wymagania dotyczące dokładności pomiaru i bezpieczeństwa. Odznaczają się nowoczesną konstrukcją, dzięki czemu posiadają minimalne wymiary, a wydłużonemu czasowi eksploatacji towarzyszy wysoka gwarancja szczelności i bezpieczeństwa pracy oraz długotrwała stabilność metrologiczna. Gazomierze miechowe (rys. 7) stosowane są przy pomiarach gazu u odbiorców indywidualnych, a także u odbiorców przemysłowych.



Rys. 7. Gazomierz miechowy: a) widok; b) przekrój [21]

Gazomierz miechowy zbudowany jest z dwóch komór pomiarowych z odkształcalnymi mieszkaniami. Mieszki wykonane są przeważnie z tkanin syntetycznych gumowanych (dawniej kozia skóra). Mechanizm pomiarowy pracuje na zasadzie swobodnej membrany. Ruch mechanizmu wywołany jest różnicą ciśnień między króćcem wlotowym a wylotowym gazomierza. Komorą pomiarową jest przestrzeń między ruchomą membraną, a obudową gazomierza. Cztery podzielone syntetycznymi membranami komory pomiarowe zostają na przemian napełniane i opróżniane w czasie pracy.

Przekładnia przegubowa przenosi ruch mieszków na wałek korbowy. Wałek korbowy poprzez zasuwę steruje przepływem gazu. Ruch obrotowy przekładni przenoszony jest poprzez sprzęgło magnetyczne na liczydło. Efektem tego są małe siły działające na łożyskowania oraz cicha praca gazomierza, a rozwiązanie konstrukcyjne oparte na zasadzie swobodnej membrany umożliwia zastosowanie mechanicznej korekcji temperaturowej dla ustalonej temperatury odniesienia. Gazomierze są produkowane w obudowie z blachy stalowej łączonej na zakładkę w wersji z dwoma – lub jednym króćcem. Gazomierze miechowe stosowane do pomiarów przemysłowych posiadają nadajnik impulsów, do przesyłania danych. Wielkość gazomierza dobiera się w zależności od przewidywanych obciążeń maksymalnego i minimalnego. Wielkości stosowanych gazomierzy miechowych podano w tabeli 5, według której w zależności od średnicy i wielkości przepływającego gazu, ustala się wielkość gazomierza.

Tabela 5
Wielkość gazomierzy miechowych

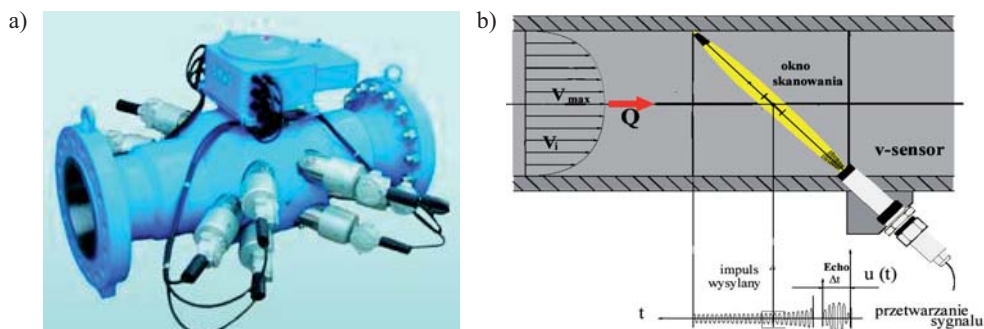
Wielkość gazomierza	Średnica nominalna D_n [mm]	Obciążenie maksymalne Q_{\max} [m_n^3/h]	Obciążenie minimalne Q_{\min} [m_n^3/h]
G 1,6	20	2,5	0,016
G 2,5	25	4	0,025
G 4	25	6	0,040
G 6	25	10	0,060
G 10	40	16	0,100
G 16	40	25	0,160
G 25	50	40	0,250
G 40	80	65	0,400
G 65	80	100	0,650
G 100	100	160	1,000
G 160	150	250	1,600

6. GAZOMIERZE ULTRADŹWIĘKOWE

Przepływomierze ultradźwiękowe (rys. 8a) mają zastosowanie zarówno do pomiarów objętości przepływających cieczy jak i gazów. Zasada działania polega na wysyłaniu tysięcy krótkich wiązek impulsów ultradźwiękowych na sekundę do przepływającego płynu o stałej częstotliwości. Fala zostaje odbita od cząsteczki przepływającej w medium i powraca. Na podstawie różnicy częstotliwości między falą wysłaną a falą odbitą wyznaczana jest prędkość osiowa gazu, która zależy od średnicy rurociągu przesyłowego oraz liczby Reynoldsa. Wynik

pomiaru przekazywany jest na wyjście z modułu prądowego w postaci sygnału w zakresie 4÷20 mA oraz na dowolnie programowalne wyjścia przekaźnikowe dla ilości, wartości granicznych, alarmu itp. Wynik pomiaru pokazywany jest na wyświetlaczu oraz zapisywany w pamięci w postaci wykresu.

Ultradźwiękowe czujniki mierzą szybkość przepływu płynu poprzez detekcję zmian częstotliwości ultradźwiękowego echa wracającego do czujnika (rys. 8b). Nowoczesne czujniki zawierają dwa przetworniki piezoelektryczne w obudowie stalowej. Jeden przetwornik wysyła impulsy ultradźwiękowe z precyzyjną częstotliwością, które są odbijane do przetwornika odbiorczego od gazu lub cząsteczek w cieczy.



Rys. 8. Gazomierz ultradźwiękowy: a) widok gazomierza; b) zasada działania [3, 4, 5]

Ponieważ ciecz się porusza powracające echo wraca do czujnika ze zmienioną częstotliwością (efekt Dopplera). W przypadku stosowania do precyzyjnego pomiaru objętości przepływającego gazu stosuje się obecnie kilka par przetworników piezoelektrycznych, a następnie na podstawie zmierzonych wartości ze wskazań oblicza się wartość średnią prędkości.

Gazomierz ultradźwiękowy do pomiaru objętości przepływu może być montowany na rurociągach w szerokim zakresie średnic od 80÷1600 mm. Pracuje w oparciu o zasadę pomiaru czasu przejścia fali dźwiękowej. Gazomierze mierzą przepływ w standardowych jednostkach objętości lub masy. Pomiar jest niezależny od zmian temperatury, gęstości, ciśnienia i przewodności elektrycznej. Wielkość przepływu jest wyznaczana poprzez pomiar różnicy czasu Δt przejścia fali dźwiękowej między sondami w kierunku zgodnym i przeciwnym do kierunku przepływu cieczy. Średnia wielkość czasu przejścia t jest miarą prędkości dźwięku w ośrodku.

Zastosowanie techniki cyfrowej przetwarzania sygnałów umożliwia bardzo dokładny pomiar czasu przejścia fali ultradźwiękowej, a co się z tym wiąże zapewnia dokładny pomiar przepływu. Ze względu na zastosowaną cyfrową technikę obróbki sygnałów, osiągnięta została wyjątkowo duża stabilność pomiaru.

Przeływomierze ultradźwiękowe zapewniają pomiar z dokładnością większą niż 0,5% aktualnej wielkości przepływu nie powodując strat ciśnienia. Główny licznik sumujący

umożliwia podgląd całkowitej sumy przepływu zarejestrowanej przez przepływomierz od momentu jego instalacji. Kasowalny licznik pomocniczy jest licznikiem przeznaczonym dla użytku operatora i umożliwia on rejestrację okresowych wartości przepływu i można go zerować niezależnie od głównego licznika sumującego

Na dokładność pomiaru może mieć wpływ profil przepływu, ponieważ płyn ma tendencję płynięcia wolniej przy ściankach rury niż w środku. Dokładność pomiaru może być także zmniejszona w przypadku, gdy pomiar ma miejsce w długiej poziomej rurze. Stosowane rury powinny mieć jak najmniej ubytków i wżerów wewnętrznych, a zwłaszcza w miejscu, gdzie przebiegał będzie pomiar. Dokładność pomiaru i jakość sygnału obniża się dla bardzo małych prędkości przepływu (około 0,3 m/s lub mniej). Przepływomierze wykonywane i projektowane są przeważnie dla zakresu prędkości przepływu powyżej 0.6÷3m/s.

W zakresie temperatury pracy czujnika od 233 K do 366 K dokładność przeprowadzanego pomiaru nie powinna się zmieniać więcej niż 0,3%. Wysokie lub niskie temperatury mogą uszkodzić czujnik. Jednak obecnie wykonuje się czujniki, które mogą pracować w temperaturze nawet do 423 K.

Wpływ na dokładność pomiaru mogą mieć powstające osady ograniczające przekrój rury, jak i korozja, co może wpływać na zwiększenie błędu wartości odczytu objętości przepływu. Osady te mogą także mieć wpływ na tłumienie dźwięku i natężenia sygnału Dopplera. Także źródła wysokiego napięcia, falowniki lub tyrystorowe napędy typu DC umiejscowione w bezpośredniej bliskości czujnika, kabla lub elektroniki mogą interferować z sygnałem Dopplerowskim. Zakłócenia pomiaru powodować mogą także wibracje rury, powstające zwłaszcza w czasie redukcji ciśnienia przepływającego gazu. Mogą być one interpretowane jako sygnał Dopplerowski co będzie spowodowane ruchem czujnika na wibrującej rurze. Gazomierze ultradźwiękowe mogą być montowane na pionowych i poziomych odcinkach gazociągów. W skład zestawu gazomierza wchodzi: przetwornik, oraz czujnik. Czujniki pomiarowe montowane są w rurach, i mocowane za pomocą kołnierza lub też przy pomocy śrubunku samozaciskowego do wpawanego w gazomierz króćca.

Jeżeli przepływ jest silnie turbulentny, a odległość zamontowanego gazomierza od czynników powodujących zaburzenie przepływu jest zbyt mała, można stosować przed punktem pomiarowym prostownicę strumienia.

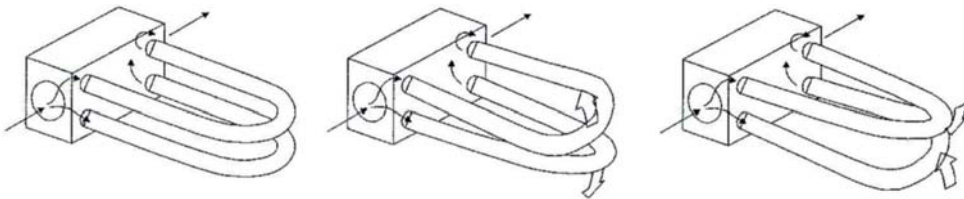
Producenci gazomierzy podają, że minimalna odległość montażu gazomierza od łuku powinna wynosić, co najmniej 6 DN, natomiast w przypadku silniejszych zaburzeń przepływu typu przewężenie nawet 40 DN. Odległość odcinka prostoliniowego za gazomierzem ultradźwiękowym powinna wynosić minimum 2–3 DN. Szczególną uwagę w czasie montażu należy zwracać na szczelność połączeń kołnierzowych i gwintowych poprzez zastosowanie odpowiednich materiałów uszczelniających (taśmy teflonowe, uszczelki). Kabel czujnika nie powinien leżeć w pobliżu, lub też równoległe koło przewodów przesyłowych prądowych, ponieważ będzie powodowało to zakłócenia elektryczne lub też może doprowadzić do uszkodzenia czujnika. Przetworniki są umieszczane w miejscu, gdzie nie będą miały wpływu na jego pracę: wibracje, urządzenia wytwarzające ciepło, urządzenia powodujące powstawanie pola magnetycznego, chemikalia powodujące zniszczenie i korozję oraz nie będzie narażony na uszkodzenia mechaniczne.

7. GAZOMIERZE DZIAŁAJĄCE W OPARCIU O SIŁĘ CORIOLISA

Działanie przepływomierza oparte jest na zjawisku opisanym w 1835 roku przez francuskiego inżyniera i matematyka Gustawa Gasparda Coriolisa. Polega ono na pozornym zakrzywianiu się toru ruchu ciała poruszającego się w wirującym układzie współrzędnych. Odchylenie toru ruchu ciała w takim układzie zależy od prędkości ruchu ciała i prędkości wynikającej z ruchu wirowego układu odniesienia. Zjawisku temu towarzyszy siła bezwładności nazywana siłą Coriolisa.

W przypadku pomiaru gazu ziemnego zakres pomiarowy (zależnie od ciśnienia gazu) gazomierzy Coriolisa może wynieść około 100 tys. m_n^3/h .

Obecnie przepływomierze Coriolisa znalazły zastosowanie także przy pomiarach przepływających gazów, w tym w rozliczeniowych pomiarach gazu ziemnego. Przepływomierze Coriolisa dokonują pomiaru strumienia masy, co stanowi jedną z ich głównych zalet. Zasada działania tych gazomierzy pokazana jest na rysunku 9. Masa jest sposobem wyrażania ilości medium często stosowanym do rozliczeń. W przeciwieństwie do objętości, masa medium nie zależy od ciśnienia i temperatury, nie jest więc konieczne określanie warunków odniesienia, dokonywanie pomiarów ciśnienia i temperatury oraz obliczeń korygujących objętość.



Rys. 9. Zasada działania przepływomierza Coriolisa [1, 2]

Ze względu na eliminację czynników wnoszących błędy zastosowanie pomiaru masy pozwala na poprawę dokładności bilansowania. Dzięki zasadzie pomiaru możliwe jest mierzenie różnych mediów za pomocą tego samego przepływomierza i brak konieczności znajomości rodzaju i składu medium dla otrzymania poprawnych wyników pomiaru.

Powszechny sposób wyznaczania masy medium, jakim jest przeliczenie objętości na masę przy znanej gęstości medium wymaga pomiaru gęstości medium za pomocą gęstościomierza lub obliczenia gęstości w oparciu o znajomość jego składu i warunków pomiaru, co stanowi dodatkowe źródło błędów.

Zasada działania przepływomierzy opiera się na pomiarze odkształcenia rury z płynącym medium wywołanego przez siłę Coriolisa. Wartość siły i powodowanego przez nią odkształcenia jest proporcjonalna do prędkości ruchu i gęstości medium. Tym samym odkształcenie rury z medium jest proporcjonalne do przepływającego przez nią strumienia masy medium. Dla celów pomiaru rura z medium wprowadzana jest w swobodne drgania sinusoidalne, których częstość wynika z częstości drgań własnych układu masowo sprężystego przepływomierza, tj. rury wypełnionej medium. W praktyce częstość drgań rury przepływomierza wynosi od

kilkudziesięciu do kilku tysięcy Hz, zależnie od modelu i gęstości medium, a ich amplituda nie przekracza zwykle dziesiątych milimetra.

W czasie przepływu medium siła Coriolisa działając na drgającą rurę powoduje jej odkształcenie. Odkształcenie rury jest mierzone jako przesunięcie fazowe drgań przez nieruchome względem drgającej rury cewki elektromagnetyczne, rejestrujące zmiany pola magnetycznego od magnesów naklejonych na rurę przepływomierza. Przesunięcie fazowe sygnałów cewek jest proporcjonalne do odkształcenia rury powodowanego przez strumień masy medium. Masa przepływającego medium jest wyliczana w wyniku całkowania wydatku po czasie. Zmiana kierunku przepływu powoduje zmianę kierunku odkształcenia rury, co pozwala określić kierunek przepływu medium. Częstość drgań rury przepływomierza Coriolisa wypełnionej medium jest odwrotnie proporcjonalna do gęstości medium. Pomiar gęstości medium może być realizowany przez przetwornik przepływomierza jako opcja.

Pomiar gęstości jest stosowany między innymi do celów technologicznych, np. śledzenia zmian jakości medium np. zmiany gatunku transportowanej ropy, co jest możliwe ze względu na dokładność pomiaru rzędu dziesiątych kg/m^3 . Na częstotliwość drgań własnych przepływomierza ma wpływ sztywność jego rury. Rozszerzalność cieplna rury powoduje zmiany jej sztywności. Układ kompensacji tych zmian wykorzystuje zintegrowany z rurą czujnik temperatury.

Główną zaletą przepływomierzy Coriolisa jest ich wysoka dokładność, dochodząca do 0,1% masy (dla gazów kilka dziesiątych procenta), wysoka powtarzalność i szeroki zakres pomiaru natężenia przepływu.

Istnieje możliwość dokonywania pomiarów w obu kierunkach z zachowaniem zwrotu, tj. prawidłowego zliczania wydawania i przyjmowania medium, co nie jest możliwe w przypadku wielu typów przepływomierzy, np. zwężek pomiarowych, turbin i przepływomierzy wirowych. Brak wymagań co do profilu przepływu medium sprawia, że przepływomierze Coriolisa mogą być stosowane bez odcinków prostych przed i za przepływomierzem oraz prostownic strumienia, co obniża koszt i stanowi ułatwienie ich zabudowy. Dzięki brakowi bezwładności i asymetrii elementu pomiarowego względem kierunku przepływu, przepływomierze masowe radzą sobie dobrze z przepływem pulsującym, jeżeli częstotliwość pulsacji jest niska w porównaniu z częstotliwością drgań rury przepływomierza, co jest na ogół spełnione. Przepływomierze Coriolisa dobrze sprawdzają się w dozowaniu, gdzie występują krótkie okresy odmierzenia dawki. Jest to istotne zwłaszcza w przypadku mediów gazowych, które ze względu na niewielką lepkość stawiają tu szczególnie trudne wymagania.

Ograniczenia w stosowaniu przepływomierzy Coriolisa wynikają z trudności w budowie przepływomierza dla dużych przepływów wynikających z przyczyn konstrukcyjnych, a konkretnie z wykładniczego wzrostu sztywności rury przepływomierza i znacznego przyrostu jego rozmiarów wraz ze średnicą rury. Z tego powodu nie spotyka się przepływomierzy o średnicy większej niż 6 cali (152,4 mm). Dobrze dobrany do warunków eksploatacji przepływomierz masowy Coriolisa funkcjonuje bezobsługowo przez wiele lat, zapewniając wysoką dokładność pomiaru. Dzieje się tak dzięki brakowi części mechanicznych ulegających zużyciu oraz rurek impulsowych wymagających odpowietrzania lub spuszczenia kondensatu. W niektórych aplikacjach ograniczeniem w stosowaniu przepływomierzy masowych mogą być znaczne spadki ciśnienia przepływu i ryzyko ścierania powierzchni wewnętrznej rury

pomiarowej przez drobiny ciał stałych w medium przy wysokich prędkościach przepływu. Sposobem ograniczania tego problemu może być przewymiarowanie przepływomierza, które przy dużym zakresie (nawet 100:1) na ogół nie stanowi problemu.

W przypadku pomiaru, gdzie możliwe jest odkładanie się w rurze przepływomierza zanieczyszczeń obecnych w medium lepsze mogą okazać się przepływomierze Coriolisa z prostą rurą. Przepływomierz z prostą rurą łatwo poddać kontroli i oczyścić. Jest to możliwe również na instalacji (po zabudowie z zawracaniem kierunku przepływu i dwoma trójkami).

Rozwiązanie z prostą rurą, cechuje się niskimi spadkami ciśnienia, porównywalnymi do spadków dla rurociągu o średnicy rury przepływomierza. Ze względów konstrukcyjnych (wzrost sztywności rury) przepływomierze z prostą rurą występują dla średnic nie większych niż 3cale.

Minimalne wymagania odnośnie warunków zabudowy sprawiają, że porównując koszty przepływomierzy Coriolisa i np. pomiarów opartych na spadku ciśnienia lub ultradźwiękowych należy uwzględnić nie tylko cenę zakupu przepływomierza, ale również brak potrzeby zapewnienia kompensacji temperatury i ciśnienia, odcinków dopływowego i odpływowego oraz przelicznika.

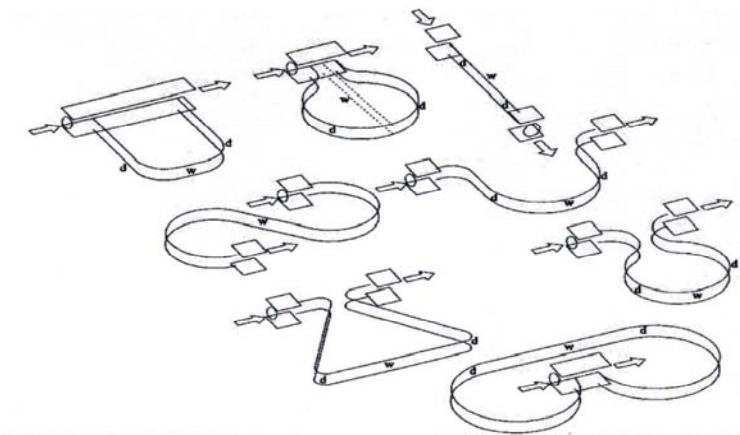
Pozycja pracy przepływomierzy Coriolisa jest dobierana w zależności od medium. Często wybiera się ją z uwzględnieniem takich wymagań dodatkowych jak samo opróżnianie się rury przepływomierza, stałe wypełnienie przez medium, zapobieganie gromadzeniu się kondensatu (media gazowe) lub par i gazów (media ciekłe).

Poza aplikacjami nietypowymi, w których mogą występować procesy pokrywania ścianek przepływomierza przez medium nie są wymagane żadne czynności obsługowe.

Zakłócenia w pracy przepływomierza mogą być powodowane przez drgania instalacji. Przeciwdziała się im konstrukcyjnie poprzez stosowanie np. dwóch rur pomiarowych drgających w przeciwfazie, które wzajemnie kompensują wpływ drgań zewnętrznych na przepływomierz. Innym sposobem jest zastosowanie układu tłumienia drgań osłabiającego wpływ drgań zewnętrznych czy też elementu odniesienia, który drga pod wpływem drgań zewnętrznych i jest wykorzystywany do ich kompensacji. Stosowane są również cyfrowe techniki filtracji zakłóceń, również pochodzących od szumów i pulsacji przepływu.

Potencjalnym źródłem zakłóceń pomiaru przepływu mogą być wzdłużne naprężenia rurociągu (np. termiczne) lub wynikające z braku osiowości rurociągu – przenoszące się na rurę przepływomierza. Przeciwdziała się im konstrukcyjnie po przez zaprojektowanie przepływomierza w sposób odciążający rurę pomiarową. Odporność na zakłócenia stanowi dla wielu przepływomierzy i ich użytkowników najtrudniejszą próbę. Kłopotliwe bywa pojawianie się przepływu dwufazowego w przepływomierzu. Może tak dziać się w wyniku spadków ciśnienia lub wzrostu temperatury medium prowadzących do zmiany jego składu fazowego. Jeżeli w objętości ciekłego medium pojawiają się pęcherzyki par uwiecznione w medium lub ciała stałe w postaci zawiesiny nie musi to powodować błędów pomiaru. Pojawienie się dużych pęcherzy lub korków gazowych prowadzi do problemów z pomiarem, jednak dobry przepływomierz jest w stanie powrócić do normalnego działania po zaniku korka gazowego.

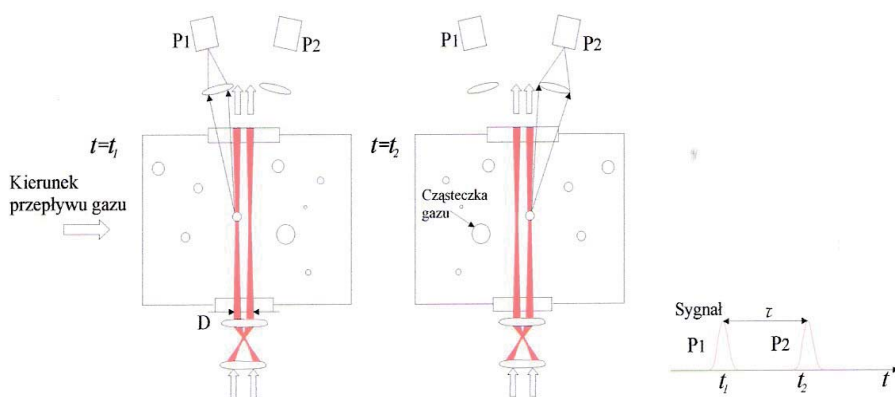
W zastosowaniach praktycznych mogą być używane różne układy rur drgających (rys. 10).



Rys. 10. Różne układy rur drgających w gazomierzach Coriolisa [2, 3]

8. GAZOMIERZE OPTYCZNE

Zasada działania gazomierzy optycznych opiera się na dwuogniskowym laserze (rys. 11). Malutkie cząsteczki wchodzące w skład gazu i gazów przemysłowych przepływają przez dwa promienie lasera skupione w rurze za pomocą oświetlonej soczewki. Światło lasera zostaje rozproszone, kiedy jakaś cząsteczka przeniknie przez światło lasera. Wyczulone na światło promienie gromadzą rozproszone światło na fotodetektorze $P1$, który to generuje sygnał pulsacyjny. Jeżeli dana cząsteczka przetnie światło drugiego lasera, wyczulone na światło promienie gromadzą rozproszone światło na drugim fotodetektorze $P2$, który przetwarza przychodzące światło na drugi impuls elektryczny. Mierząc czas pomiędzy tymi impulsami τ , określa się prędkość gazu



Rys. 11. Zasada działania gazomierza optycznego [7]

Gazomierze optyczne są zazwyczaj testowane pod ciśnieniem do 500 barów, jest to wymagane aby mierniki mogły być stosowane w typowych gazociągach. Ciśnienie można zwiększyć do 1000 barów jeżeli zostaną zainstalowane szafirowe soczewki. Wersja gazomierza optycznego używana w niskich temperaturach działa do 120°C. Temperatura jest ograniczona poprzez klej służący do łączenia części składowych światłowodu. Wersja gazomierza optycznego działająca w wysokich temperaturach do 300°C zawiera oddzielne części składowe z włókna pokryte poliamidową izolacją. Temperaturę można zwiększyć do 500°C, jeżeli zostaną użyte kwarcowe soczewki i specjalna izolacja włókien.

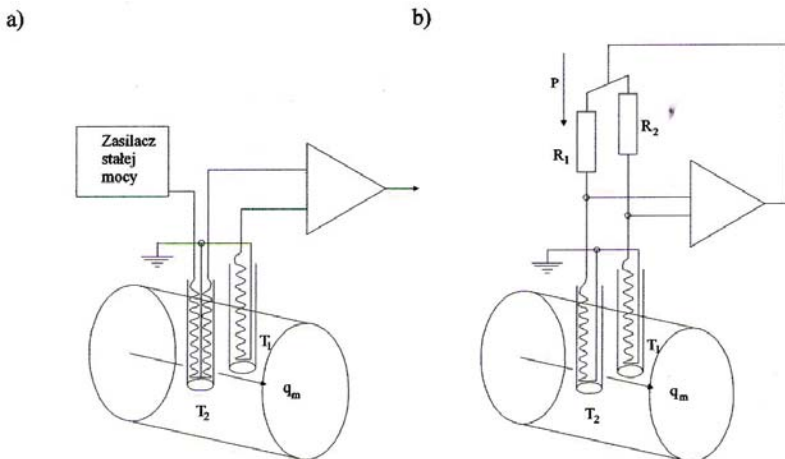
9. PRZEPLYWOMIERZE TERMICZNE

Przepływomierze termiczne zwane też termometrycznymi, cieplnymi lub kalorymetrycznymi są stosowane głównie do bezpośredniego pomiaru strumienia masy czystych, suchych gazów (konstrukcje dla cieczy spotyka się rzadko).

Sygnał wyjściowy przepływomierzy termicznych, podobnie jak w przepływomierzach Coriolisa, jest funkcją strumienia masy i nie wymaga wprowadzania poprawek od wpływu ciśnienia i temperatury. Przepływomierze termiczne są znacznie prostsze, tańsze, niż gazomierze Coriolisa ale zarazem mniej dokładne – co jednak w wielu przypadkach nie ma większego znaczenia.

Zakres dla przepływomierzy termicznych kapilarnych wynosi do 2500 kg/h przy zakresowości 50:1 i niepewności w granicach $\pm 1\%$ wartości aktualnej strumienia masy (górną granicą zakresu pomiarowego) do $\pm 5\%$ wartości aktualnej (dolną granicą zakresu).

Przepływomierze w postaci wstawki do rurociągu (do D_n 200) mają zakresy od 2 do 7000 kg/h, przy niepewności $\pm 2\%$ wartości mierzonej (rys. 12).



Rys. 12. Gazomierz termiczny w formie wstawki rurowej: a) o stałej mocy; b) o stałej różnicy temperatur [12]

10. RURKI SPIĘTRZAJĄCE

Rurki spiętrzające służą do pomiaru prędkości lokalnej przepływającego gazu lub cieczy. Pomiar ten jest oparty na pomiarze ciśnienia dynamicznego przepływającego czynnika. Znając wartość ciśnienia dynamicznego, można wyznaczyć prędkość przepływu.

Rurki spiętrzające w postaci tradycyjnej jako rurki Pitota-Prandtla nie znalazły w przemyśle szerokiego zastosowania do pomiaru, przede wszystkim ze względu na niewielką dokładność. W inny sposób wykorzystano je do pomiaru przepływu cieczy, gazów i pary w czujniku o nazwie *Annubar* np. w przepływomierzach KBar, ProBar, Mass ProBar, Delta-set DPP50 i in. Czujnikiem tym jest rurka, w której na przeciwległych ściankach wykonano kilka otworów, rozdzielona ścianką wzdłuż tak, że powstają w niej dwie komory. Rurka taka jest umieszczona w strumieniu gazu lub cieczy w rurociągu w taki sposób, że linie łączące otwory w rurce pomiarowej są równoległe do osi strumienia (czyli do osi rurociągu). Przy takim ustawieniu, na otwory z jednej strony rurki pomiarowej działa ciśnienie statyczne podwyższone o ciśnienie dynamiczne i , a na otwór od strony przeciwnej ciśnienie statyczne, pomniejszone o spadek ciśnienia na rurce. Ciśnienia, jakie ustalą się w obu komorach rurki pomiarowej, będą różne, a ich różnica będzie wypadkową ciśnień dynamicznych i różnicy ciśnień statycznych działających na otwory po obu stronach rurki. Różnica ciśnień między obu komorami jest funkcją prędkości przepływu.

Zaletą czujników typu *Annubar* jest niewielki spadek ciśnienia i stosunkowo niskie koszty instalacji, szczególnie widoczne przy dużych średnicach rurociągów. W wykonaniu standardowym są oferowane czujniki do instalacji w rurociągach o średnicach do ok. 2500 mm, a w wykonaniach specjalnych nawet do 12 metrów. Niedokładność pomiaru wynosi wg katalogów firmowych ok. 1% i niewątpliwie została osiągnięta drogą długich badań doboru ilości, rozmieszczenia, rodzaju i wewnętrznych połączeń między otworkami w rurce pomiarowej, a także wymiarów i sposobu instalacji samej rurki. Firmy takie jak Dieterich Standard, Mobrey, Emercon, Endress +Hauser opracowały i opatentowały konstrukcję bezpośredniego elementu pomiarowego, tak aby zminimalizować wszelkie zakłócenia i opory przepływu. [www.mobrey.com.pl, www.automation.ru].

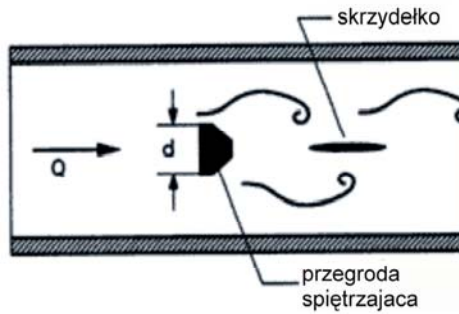
11. PRZEPLYWOMIERZE WIROWE

Zasada działania przepływomierzy wirowych opiera się na zjawisku tzw. ścieżki wirowej Karmana. Gdy medium natrafia na przeszkodę walcową lub innego kształtu struga rozdziela się, a z obu stron przeszkody następuje oderwanie warstwy przyściennej i tworzą się wiry powodujące lokalne zaburzenia ciśnienia statycznego, wykrywane przez specjalny czujnik. Częstotliwość generacji zawirowań f jest wprost proporcjonalna do prędkości przepływu. Wartość sygnału wyjściowego przepływomierza zależy od współczynnika K , który wiąże ze sobą częstotliwość generacji wirów z prędkością przepływu cieczy. Wzór na prędkość przepływu ma następującą postać:

$$W = K \cdot f \quad (1)$$

W czasie pomiarów należy unikać kawitacji, czyli uwalniania się pary z cieczy. Osiągnięcie takich warunków przepływu uzyskuje się dzięki stosowaniu odpowiedniego zakresu pracy przepływomierza i odpowiednio zaprojektowanej układowi pomiarowemu.

Przepływomierzy wirowe typu Vortex, lub Prowirl, Rosemount 8800 zapewniają szeroką gamę możliwości zastosowań. Standardowy zestaw mierzy przepływy cieczy, gazów i pary dla wszystkich oferowanych średnic rurociągów z możliwością zmiany zakresu w stosunku 38:1. Ta sama elektronika sprzężona z czujnikiem w wykonaniu wysokotemperaturowym zwiększa standardowy zakres temperatur pracy (od -200 do 400°C). Układ pomiarowy przepływomierza zawiera trzpień, który spełnia rolę przeszkody w strumieniu przepływu. Tworzenie się zawirowań za trzpieniem powoduje powstawanie zmiennego ciśnienia działającego na przegrodę. To powoduje ruch giętkiego fragmentu przesłony z częstotliwością równą częstotliwości tworzenia się zawirowań. Zasada pracy przepływomierza wirowego pokazana jest na rysunku 13.



Rys. 13. Zasada działania przepływomierza wirowego VORTEX [17]

Sily skręcające powstające w części ulegającej odkształceniu przenoszone są do czujnika mieszczącego się poza strumieniem przepływającego medium na skutek reakcji osi. Element piezoelektryczny wewnątrz czujnika wyczuwa nieznaczne drgania, generuje sygnał elektryczny napięciowy i przesyła go do układu częstotliwościowego gdzie jest zamieniany na sygnał wyjściowy proporcjonalny do wartości przepływu objętościowego.

Przepływomierz wykorzystuje te same układy elektroniczne do pomiarów wszystkich mediów i średnic rur. Informacje mogą być przesłane przy użyciu sygnału analogowego $4\div 20$ mA, cyfrowego protokołu HART i dodatkowego opcjonalnego wyjścia impulsowego. Istnieje też możliwość montażu dodatkowego wskaźnika ciekłokrystalicznego. Część elektroniczna odbiera sygnał z czujnika piezoelektrycznego, zamienia go na postać cyfrową i przesyła do cyfrowych filtrów strojonych, dynamicznie kalibrujących sygnał pomiarowy. Komunikator HART lub każdy inny system zarządzający obsługujący się protokołem HART ma dostęp bezpośredni do sygnału z czujnika w postaci cyfrowej, pomijając etap konwersji cyfrowo-analogowej w celu większej dokładności. Dodatkowy wskaźnik ciekłokrystaliczny może wyświetlać w postaci cyfrowej aktualną wartość przepływu, wartość prądu wyjścia analogowego, wartość przepływu zsumowanego [www.automation.ru].

12. PRZEPLYWOMIERZE INDUKCYJNE (ELEKTROMAGNETYCZNE)

Przepływomierze indukcyjne służą do pomiarów strumienia cieczy przewodzących. Mogą być stosowane do cieczy o nieokreślonej konsystencji, silnie zanieczyszczonych, o dowolnej lepkości i gęstości. Mogą też być stosowane w przypadku mieszanin – ciecz – ciało stałe, jak np. woda z piaskiem, woda z miazgą węglową itp. Przepływomierze indukcyjne (rys. 14) mogą więc być stosowane, gdy zawodzą przepływomierze zwężkowe.



Rys. 14. Przepływomierz magnetoindukcyjny oferowany przez firmę ELSTER Kent Metering [19]

W przepływomierzu indukcyjnym izolowany elektrycznie odcinek rury, przez który płynie ciecz przewodząca, znajduje się w polu magnetycznym prostopadłym do osi rury. Wewnątrz rury, na jej obwodzie, na linii prostopadłej do kierunku pola magnetycznego umieszczone są dwie elektrody. Ruch cieczy przewodzącej w polu magnetycznym daje efekt taki sam, jak ruch przewodnika w tym polu; na elektrodach powstaje napięcie.

Pole magnetyczne wzbudzające może być stałe lub przemienne. Przepływomierze wzbudzone polem stałym mogą być używane jedynie do pomiaru przepływu roztopionych metali. Bowiem w elektrolitach, pod wpływem pola stałego, zachodzi zjawisko polaryzacji zniekształcające wyniki pomiarów. Przy wzbudzaniu polem przemiennym zjawisko polaryzacji nie występuje, ale powstaje wtedy na skutek sprzężeń magnetycznych obwodu wyjściowego z obwodem wzbudzenia napięcie bierne. Napięcie bierne jest przesunięte w fazie względem napięcia użytecznego o 90° .

Pomiar napięcia na elektrodach jest związany z szeregiem trudności. Jest to bowiem napięcie o niewielkiej wartości od kilku do kilkunastu miliwoltów otrzymane ze źródła o dużej rezystancji wewnętrznej. Na ogół elektromagnesy wzbudzające są zasilane napięciem z sieci, a więc otrzymywany sygnał ma częstotliwość sieci, co dodatkowo utrudnia jego obróbkę i zabezpieczenie przed zakłóceniami sieciowymi. Wszystkie wymienione czynniki sprawiają, że przepływomierze indukcyjne ciągle są przedmiotem prac teoretycznych i konstrukcyjnych, mających na celu poprawę ich parametrów technicznych.

Przepływomierze indukcyjne stosuje się do pomiaru natężenia przepływu w zakresie $100 \div 10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, z dokładnością rzędu $0,5 \div 1,5\%$. Przepływomierze te są proste w eksploatacji, nie wprowadzają dodatkowych spadków ciśnienia w przewodach gazowych [www.automatization.ru].

13. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule autorzy dokonali szczegółowej charakterystyki różnych typów przepływomierzy stosowanych do pomiaru ilościowego gazu jak też innych płynów.

Należy pamiętać, że przy wyborze przepływomierza należy kierować się nie tylko zakresem pomiarowym, ale także i pewnymi specyficznymi cechami, które mogą być jego zaletą lub wadą.

Na podstawie studiów literatury z zakresu stosowania przepływomierzy autorzy w tabeli 6 zestawili pozytywne i negatywne cechy najczęściej stosowanych przepływomierzy.

Tabela 6

Zestawienie zalet i wad różnych typów przepływomierzy [zestawienie autorów]

Przepływomierz	Zalety	Wady
Zwężkowy	<ul style="list-style-type: none"> – prostota konstrukcji – montaż na gazociągach wysokiego ciśnienia 	<ul style="list-style-type: none"> – mały zakres pomiaru – długi prosty odcinek ($10 D \div 50 D$) – czuły na zmianę rozkładu prędkości – duży spadek ciśnienia
Rotorowy	<ul style="list-style-type: none"> – brak odcinka prostego przed gazomierzem – bezpośredni pomiar objętości – nieczuły na zmianę rozkładu prędkości – duży zakres pomiaru 	<ul style="list-style-type: none"> – wrażliwość na zanieczyszczenia i uderzenia pneumatyczne – duże wymiary
Turbinowy	<ul style="list-style-type: none"> – małe wymiary – duży zakres pomiaru – krótki prosty odcinek ($2 D \div 3 D$) 	<ul style="list-style-type: none"> – czuły na zmianę rozkładu prędkości – wymaga smarowania łożysk
Wirowy	<ul style="list-style-type: none"> – niewrażliwe na zanieczyszczenia i uderzenia pneumatyczne 	<ul style="list-style-type: none"> – czuły na zmianę rozkładu prędkości – duży spadek ciśnienia – wrażliwość na wibracje rurociągu – niestabilność współczynnika K (równanie (1))
Ultradźwiękowy	<ul style="list-style-type: none"> – duży zakres pomiaru – brak części ruchomych – mały spadek ciśnienia – montaż na gazociągach wysokiego ciśnienia 	<ul style="list-style-type: none"> – czuły na zmianę rozkładu prędkości (dla układu jednopromieniowego)

LITERATURA

- [1] Dworak P.: *Przepływomierze masowe Coriolisa*. Rurociagi, 1, 2003
- [2] Dworak P.: *Gazomierze masowe Coriolisa*. Nowoczesne Gazownictwo, 4 (IX), 2004
- [3] Dyakowska E.: *Gazomierze ultradźwiękowe – wzorcowanie, autodiagnostyka porównanie z innymi gazomierzami*. Pomiary Automatyka Robotyka, 11, 2002
- [4] *Kalibracja gazomierzy ultradźwiękowych*. Nowoczesne Gazownictwo, 1 (V), 2000
- [5] Łaciak M.: *Nowe metody pomiarów w transporcie gazu – gazomierze ultradźwiękowe*. Nowoczesne Techniki Bezwykopowe, 2, 2000
- [6] Łuczak P.: *Ultradźwiękowe pomiary przepływu gazu. Wpływ warunków pracy na dokładność pomiaru*. Nowoczesne Gazownictwo, 1 (VII), 2002
- [7] Melnyk I., Montgomery D., James D.: *Optical gas flow meters – a novel gas flow measurement technique*, 2003
- [8] Turkowski M.: *Przepływomierze termiczne – budowa, działanie, zastosowanie, właściwości metrologiczne*. Pomiary Automatyka Robotyka, 5, 2004
- [9] Turkowski M.: *Przepływomierze Coriolisa – budowa, działanie, właściwości i zastosowania*. Pomiary Automatyka Robotyka, 11, 2000
- [10] Ultrasonic gas flow measurement *The wave of the future* – Instromet, Ultrasonic Technologies
- [11] <http://www.abb.pl>
- [12] [12 http://www.foxthermalinstruments.com/](http://www.foxthermalinstruments.com/)
- [13] <http://www.gazomet.pl>
- [14] <http://www.fiorentini.com/productssel.aspx?LANG=ITA>
- [15] <http://www.h-gaz.com.pl/gazomierze.htm>
- [16] <http://www.intergaz.com.pl/rotorowe.php>
- [17] http://www.introl.pl/katalog/przeptywy/wirowe_vortex/vortex_phd.html
- [18] <http://www.introl.pl:8000/katalog/przeptywy/index.html>
- [19] http://www.elstermetering.pl/pl/magneto_indukcyjne.shtml
- [20] PN-M-42370: *Pomiar strumienia objętości płynu w przewodach. Przepływomierze ultradźwiękowe*, 12, 1998
- [21] PN-EN 11359-2004 *Gazomierze, Gazomierze miechowe*
- [22] PN-EN 12480 – 2005 *Gazomierze. Gazomierze rotorowe*
- [23] ZN-G-4005/A1: 2002 *Pomiary paliw gazowych – Gazomierze turbinowe – Wymagania, badania i instalowanie*
- [24] ZN-G-4009:2001 *Pomiary paliw gazowych – Zwęzłkowe gazomierze kryzowe – badania zestawów montażowych*
- [25] ZN-G-4010:2001 *Pomiary paliw gazowych – Gazomierze rotorowe – Wymagania, badania i instalowanie*