

Instrukcja ćwiczenia nr 13

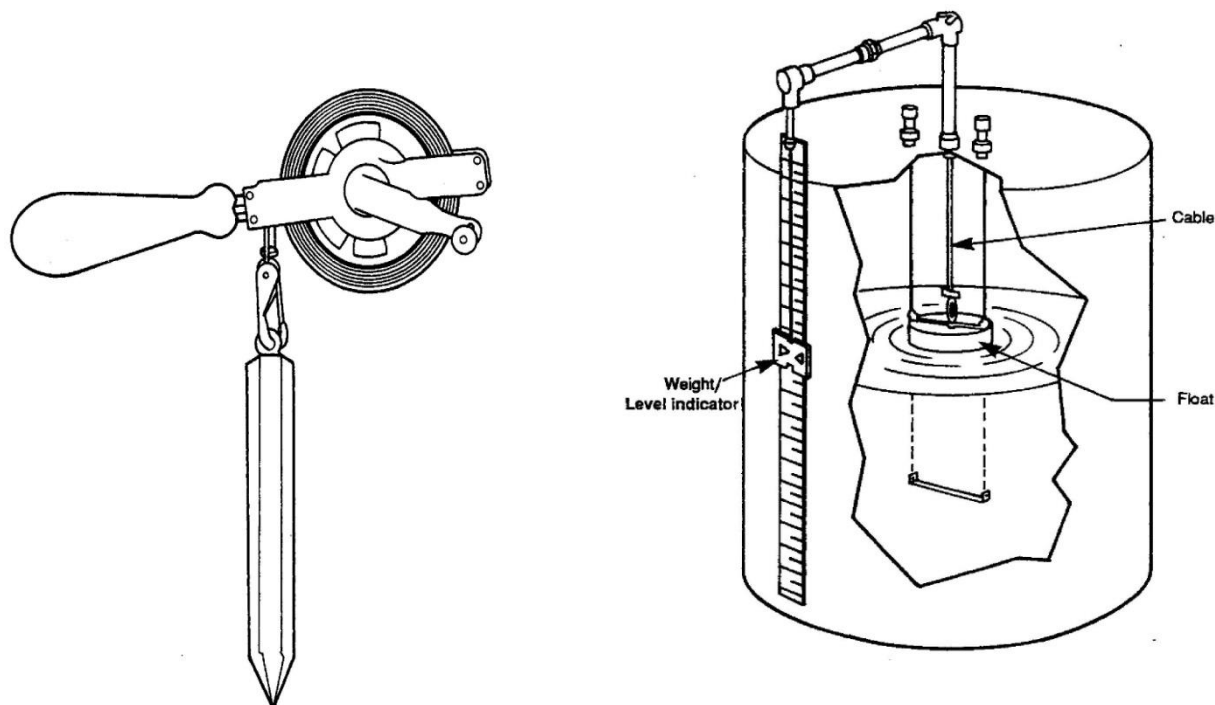
Temat: Zdalny pomiar poziomu cieczy metodą sondy bąbelkującej.

1. Cel ćwiczenia

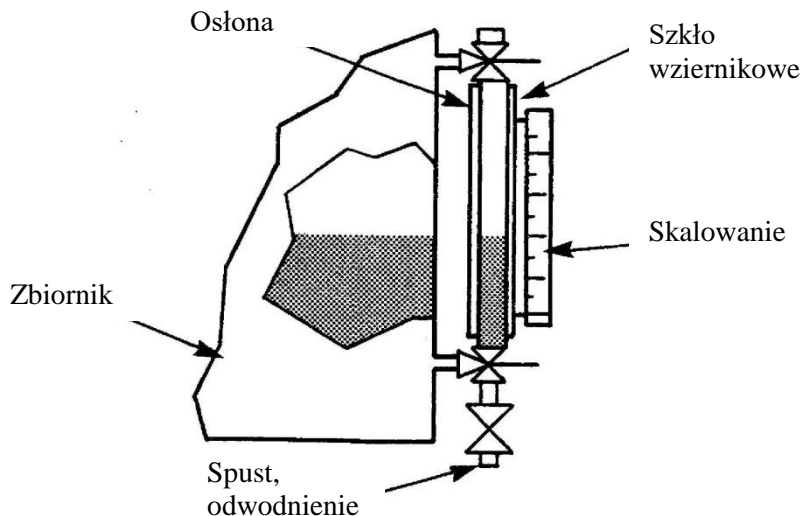
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z kilkoma metodami zdalnego pomiaru poziomu cieczy w zbiornikach otwartych i zamkniętych. Jako postawową wybrano zdalny pomiar poziomu cieczy metodą sondy bąbelkującej, która może być stosowana w zbiornikach paliwowych na statkach. Ta metoda wymaga charakterystycznego wyposażenia, które jest zastosowane na stanowisku laboratoryjnym.

2. Wprowadzenie

Poziom napełnienia zbiorników jest istotną informacją przy operacjach bunkrowania i balastowania statku. Stosuje się pomiary bezpośrednie lub pośrednie zdalne zależnie od położenia zbiornika. Pomiary bezpośrednie używają proste sposoby jak na rys.1 i 2.



Rys. 1. Pomiar poziomu za pomocą sondy ręcznej taśmowej lub bezpośrednio na zbiorniku z użyciem pływaka.



Rys. 2. Pomiar poziomu bezpośrednio na zbiorniku z użyciem płynowskazu.

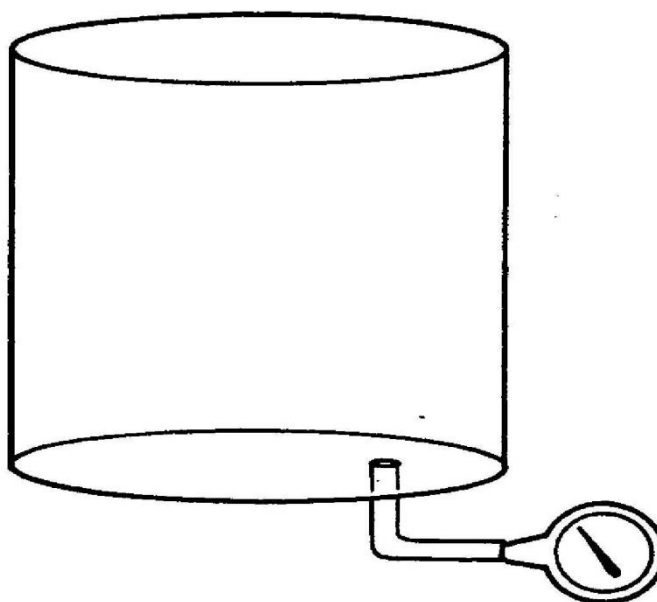
Każda ciecz wywiera ciśnienie hydrostatyczne na dno zbiornika według zależności:

$$p = \rho gh$$

gdzie:

- p – ciśnienie hydrostatyczne,
- ρ – gęstość cieczy,
- g – przyspieszenie ziemskie,
- h – wysokość poziomu cieczy

Powyższą zależność można odwrócić. Jeżeli zmierzmy wartość ciśnienia hydrostatycznego to obliczymy wysokość poziomu cieczy. Metody pomiaru ciśnienia są proste i szybkie, stąd szeroko rozpowszechnione w praktyce morskiej i nie tylko, rys.3. Zasada pomiaru uwzględnia rodzaj cieczy i jest stosowana bez ograniczeń.



Rys.3 Pomiar poziomu cieczy w zbiorniku za pomocą manometru.

Przykład:

Zbiornik balastowy

$$\rho - 1025[\text{kg/m}^3],$$

$$p - 25\text{kPa},$$

$$h = \frac{p}{\rho g}$$

$$h = \frac{25\,000}{1025 \cdot 9,81} = 2,48[\text{m}]$$

Zbiornik dzienny paliwa ciężkiego

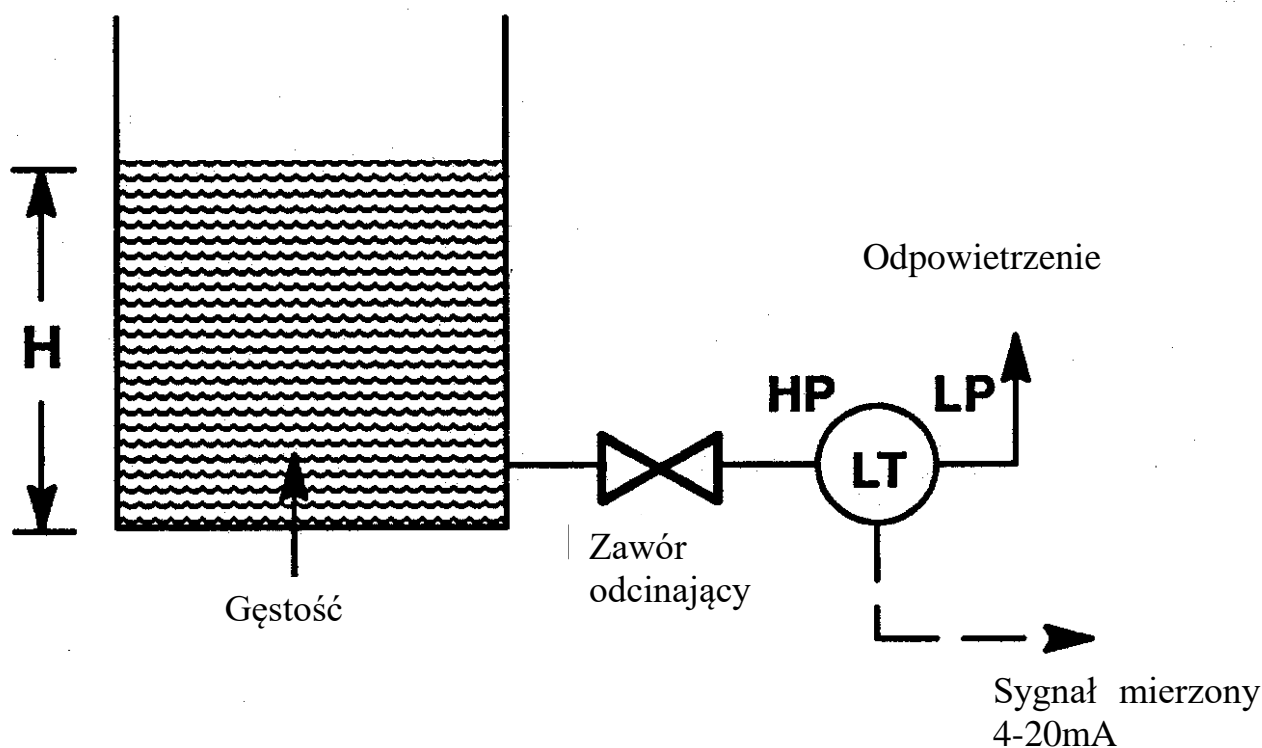
$$\rho - 988[\text{kg/m}^3],$$

$$p - 37\text{kPa},$$

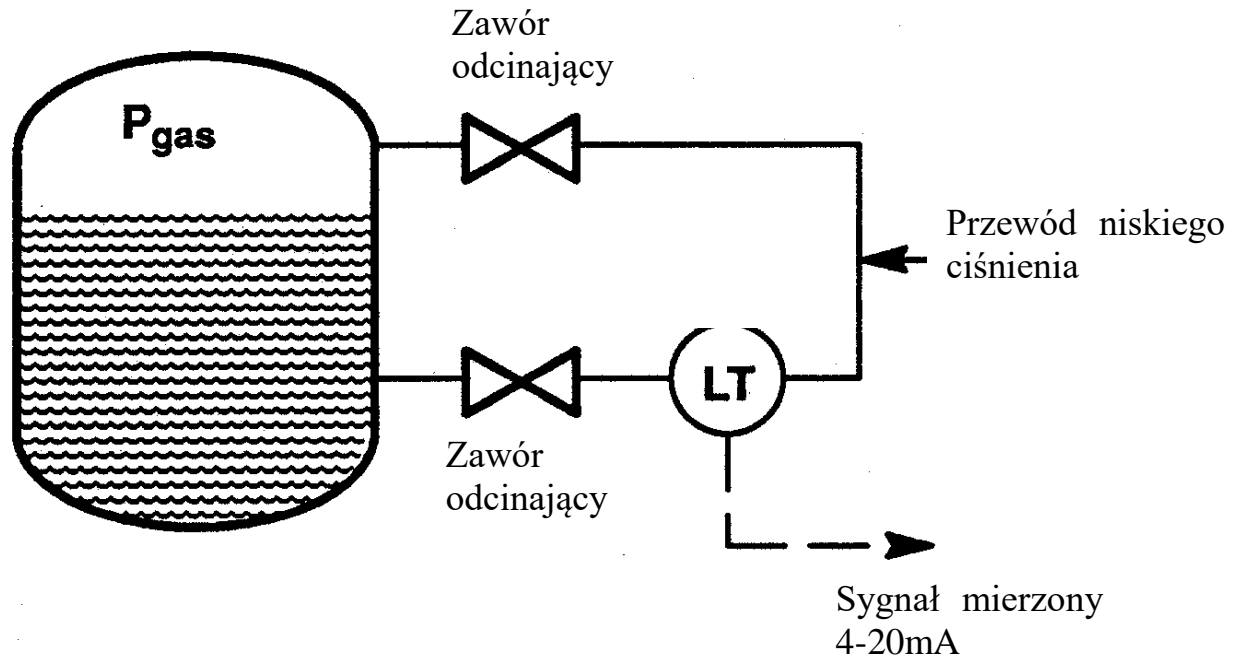
$$h = \frac{p}{\rho g}$$

$$h = \frac{37\,000}{988 \cdot 9,81} = 3,82[\text{m}]$$

W sytuacji przedstawionej na rys. 3 manometr pomiarowy musi być dokładnie na wysokości dna zbiornika. Jeżeli położenie-wysokość manometru pomiarowego zostanie zmienione, to pomiar będzie błędny. Jest to pomiar miejscowy i nie może być stosowany np. do zbiorników dennych. Dany problem rozwiązuje się przez stosowanie przetworników ciśnienia, rys. 4 i 5.

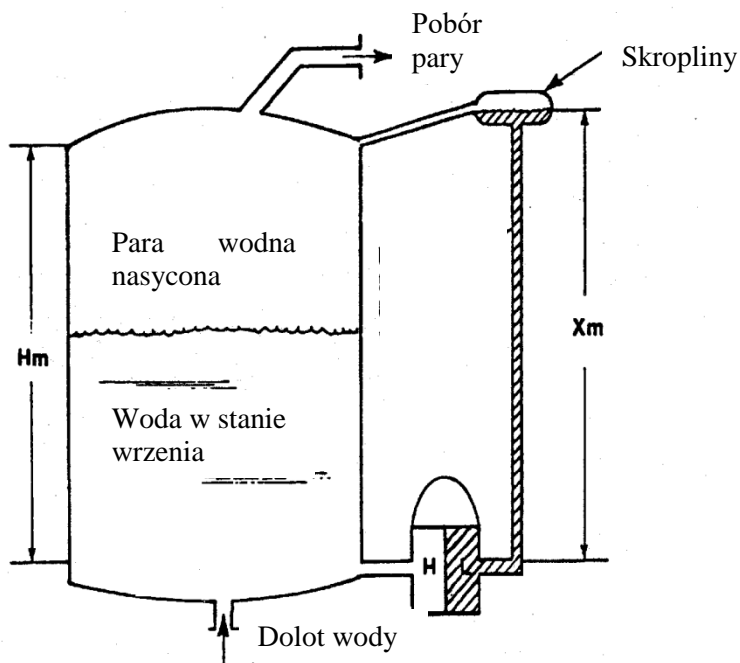


Rys. 4 Zdalny pomiar poziomu cieczy zbiornika otwartego za pomocą przetwornika ciśnienia.

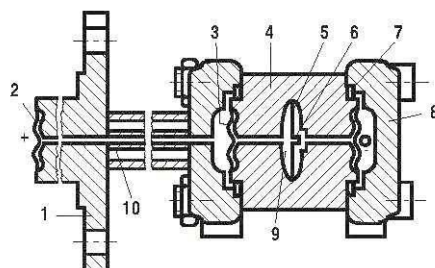


Rys. 5 Zdalny pomiar poziomu cieczy zbiornika zamkniętego za pomocą przetwornika różnicy ciśnień.

W przedstawionej metodzie przetwornik ciśnienia lub różnicy ciśnień musi być montowany na wysokości dna zbiornika. Wymaga to wolnej przestrzeni ze ścianą zbiornika - koferdamu.

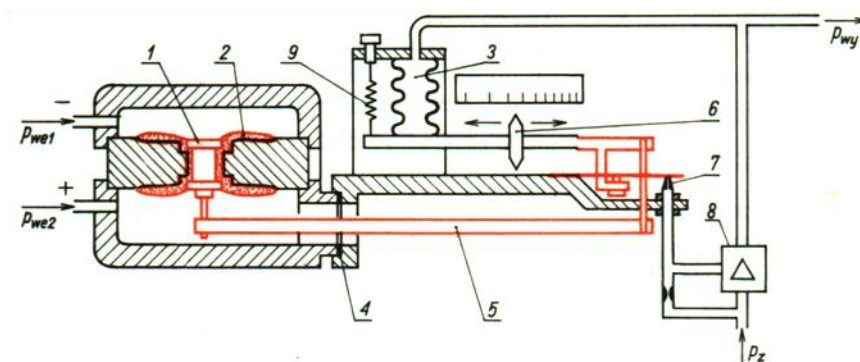


Rys. 6 Pomiar poziomu wody w kotle oraz wskaźnik poziomu wody oparty o przetwornik różnicy ciśnień.



- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| 1 Kołnierz mocujący | 6 Czujnik ciśnienia |
| 2 Membrana z uszczelnieniem | 7 O ring |
| 3 Membrana | 8 Pokrywa |
| 4 Obudowa | 9 Ciecz wypełniająca |
| 5 Odciążenie membrany | 10 Kapilara z cieczą |

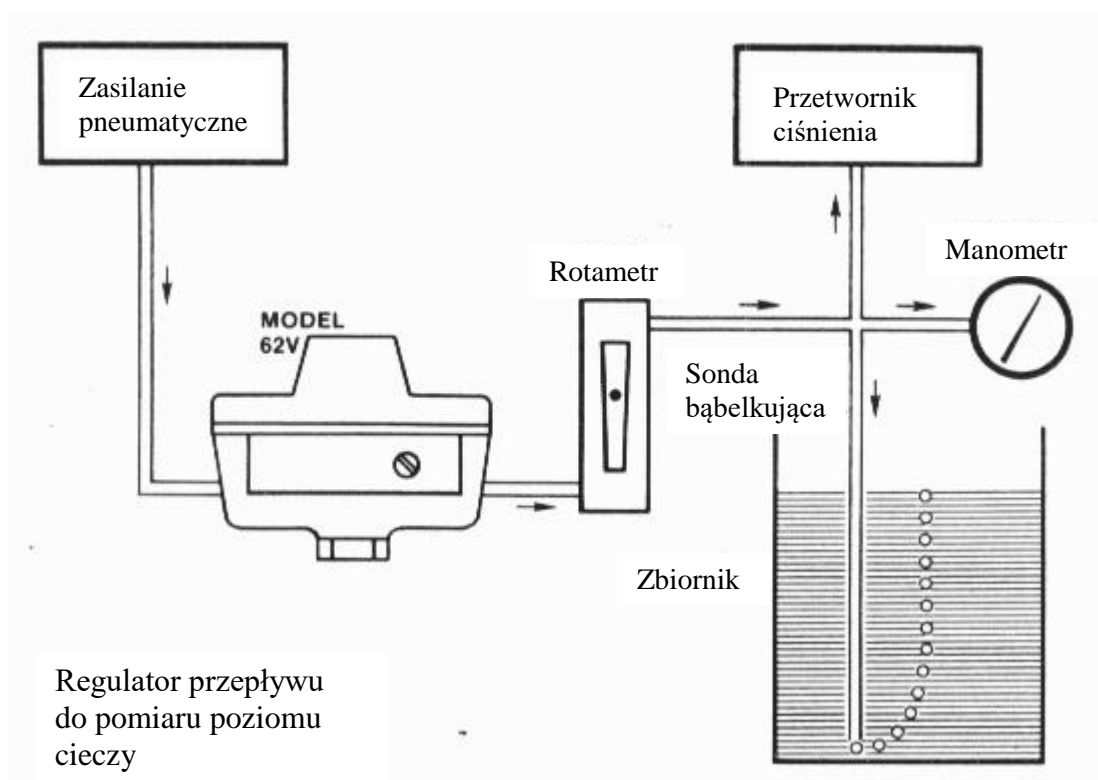
Rys. 7 Schemat elektrycznego przetwornika różnicy ciśnień z rysunku 6.



Rys. 8 Mechaniczno-pneumatyczny przetwornik różnicy ciśnień.

Różnica ciśnień działająca na blok membran 1 powoduje przesunięcie dźwigni 5 i tym samym zmianę odległości między przesłoną a dyszą 7. Przesunięcie to zmienia ciśnienie kaskadowe układu dysza-przesłona działające, po wzmocnieniu we wzmacniaczu 8, na mieszek sprężenia zwrotnego 3. Siła wywierana przez mieszek 3 równoważy wypadkową siłę parcia działającą na blok membran 1. Ciśnienie wyjściowe p_{wy} jest miarą różnicy ciśnień $p_{we2} - p_{we1}$. Wewnątrz bloku membran 1 znajduje się ciecz 2. Przetwornik pierwotny oddzielony jest od przetwornika wtórnego membraną 4. Regulacja zakresu pomiarowego dokonywana jest przy pomocy elementu 6. Sprężyna 9 służy do nastawiania wartości początkowej p_{wy} .

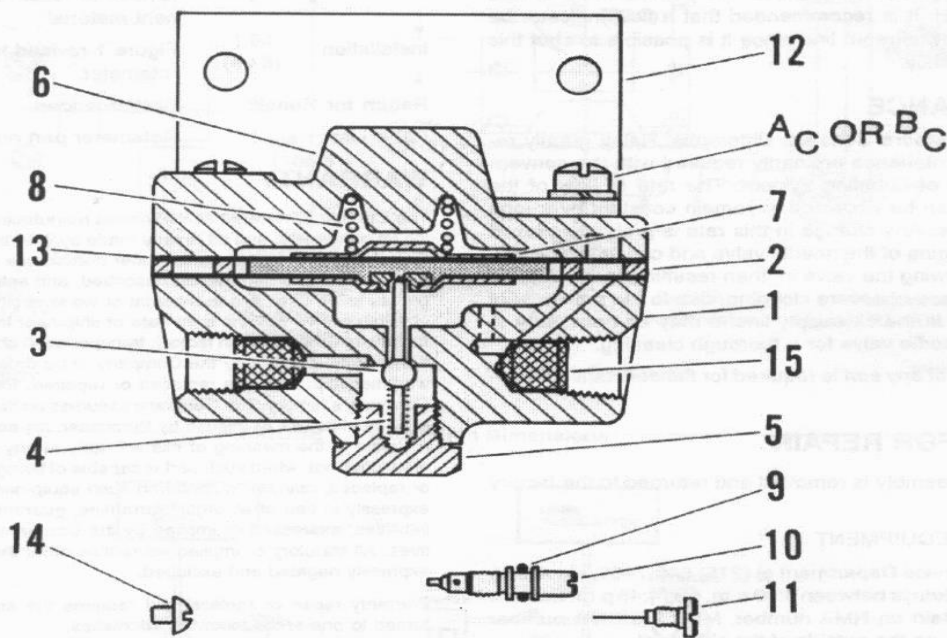
Zmodyfikowaną wersją pomiaru poziomu cieczy jest metoda pomiaru za pomocą sondy bąbelkowej, rys. 9.



Rys. 9 Układ pomiarowy poziomu cieczy metodą sondy bąbelkowej.

Przedstawiony układ na rys. 9 również bazuje na pomiarze ciśnienia hydrostatycznego cieczy. Przewód pneumatyczny zwany sondą bąbelkową doprowadza się do dna zbiornika z góry lub dowolnego miejsca. Przewód sondy bąbelkowej zasila się powietrzem o ciśnieniu wyższym od ciśnienia hydrostatycznego. Naturalnie powietrze pokona ciśnienie hydrostatyczne cieczy i zacznie wypływać do zbiornika. Pokarzą się charakterystyczne bąbelki powietrza w cieczy. Stąd nazwa metody pomiarowej. Instalacja wymaga dodatkowego wyposażenia, aby ciśnienie powietrza zrównać z ciśnieniem hydrostatycznym. Następnie mierzymy ciśnienie powietrza w sondzie i po przeliczeniu otrzymujemy wysokość cieczy w zbiorniku. Dodatkowym wyposażeniem jest regulator małych przepływów (rys. 10) i przepływomierz. Do tego celu najlepiej nadaje się przepływomierz typu rotametr z uwagi na bardzo małe natężenie przepływu powietrza.

Zadaniem regulatora małych przepływów jest utrzymanie stałego natężenia przepływu powietrza. Powietrze przepływa przez instalację i sondę bąbelkową, jeżeli pokona opory przepływu. W tym przypadku jest to ciśnienie hydrostatyczne. Regulator zwiększa ciśnienie w przewodzie sondy bąbelkowej do momentu pojawienia się przepływu powietrza. Przepływ powietrza przez sondę bąbelkową oznacza wyrównanie się ciśnień w układzie i prawidłowy odczyt poziomu cieczy. Prawidłową pracę instalacji ocenia się poprzez wskazania przepływomierza i jest koniecznym elementem instalacji sondy bąbelkowej. Brak przepływu powietrza oraz narastanie ciśnienia na manometrze oznacza dobrą pracę regulatora małych przepływów, ale prawidłowy odczyt poziomu jest dopiero po ustaleniu się przepływu. Oznacza to bąbelkowanie w zbiorniku. Wielkość przepływu reguluje się zaworem iglicowym, pozycja 10 z rys. 10. Wartość przepływu nie wpływa zasadniczo na wynik pomiaru i ustala się go w połowie zakresu rotametr, który jest dopasowany do układu pomiarowego.



Rys. 10 Regulator małych przepływów: Siemens model series 62 Constant Differential Relay. Budowa:

1-obudowa dolna, 2-krawędź montażowa membrany, 3-zawór kulkowy z popychaczem, 4-sprężyna, 5-nakrętka mocująca, 6-obudowa górna, 7- usztywnienie membrany, 8-sprężyna, 9-O-ring, 10-zawór iglicowy do regulacji przepływu, 11-czyścik, 12 uchwyt montażowy, 13-membrana, 14-śruba mocująca, 15 filtr siatkowy.

Podstawowym elementem regulatora małych przepływów jest membrana 13, która tworzy dwie komory powietrza: górną o ciśnieniu p_g i dolną o ciśnieniu p_d . Membrana z dołu łączy się z zaworem kulkowym oraz z góry jest naciskana sprężyną 8. Obie komory górna i dolna są połączone szeregowo kanałem, w którym jest zawór iglicowy 10. Należy wyróżnić dwa stany pracy membrany. Jeżeli ciśnienie w obu komorach jest równe to nacisk sprężyny w górnej komorze powoduje otwarcie zaworu zasilającego 3 i wzrost ciśnienia. Ma to miejsce przy braku przepływu powietrza przez instalację. Brak przepływu powietrza wywołuje wzrost ciśnienia we wszystkich elementach połączonych szeregowo. Ostatnim elementem w szeregu jest sonda bąbelkująca w zbiorniku, a oporem pneumatycznym w układzie są zawór iglicowy w regulatorze i ciśnienie hydrostatyczne w zbiorniku. Drugi stan charakterystyczny występuje, jeżeli regulator ustali stały przepływ powietrza. Na membranie ustala się równowaga sił i ciśnień:

$$p_d \cdot A = p_g \cdot A + F_s$$

oraz

$$p_d = p_g + \Delta p_z$$

gdzie: p_d – ciśnienie w komorze dolnej,
 p_g – ciśnienie w komorze górnej,
 A – powierzchnia membrany,
 F_s – siła nacisku sprężyny,
 Δp_z – spadek ciśnienia na zaworze iglicowym.

Spadek ciśnienia na zaworze iglicowym zleży od jego oporu R i natężenia przepływu powietrza m :

$$\Delta p_z = R \cdot m$$

Porównując obie zależności otrzymujemy stan równowagi membrany:

$$\frac{F_s}{A} = R \cdot m$$

W stanie równowagi membrany iloczyn oporu zaworu i natężenia przepływu powietrza jest stały. Opór zaworu regulujemy śrubą iglicową. Jeżeli zwiększymy opór zaworu to natężenie przepływu powietrza zmaleje tak, aby iloczyn $R \cdot m$ pozostał stały. Membrana ma wiele punktów równowagi, które wybiera się nastawą zaworu iglicowego. Dla jednej nastawy zaworu iglicowego występuje jedno stałe natężenie przepływu powietrza.

Ostatecznie regulator małych przepływów utrzymuje stałe natężenie przepływu zmieniając ciśnienie. W momencie, gdy ciśnienie w komorze górnej zrówna się z ciśnieniem hydrostatycznym cieczy to powstanie przepływ powietrza przez sondę w zbiorniku. W stanie równowagi ciśnienie w komorze górnej regulatora zrównuje się z ciśnieniem hydrostatycznym sondy. Pomiar ciśnienia w dowolnym punkcie za regulatorem jest wartością pomiarową poziomu cieczy. W tej metodzie miejsce pomiaru nie jest związane z położeniem manometru i nadaje się do pomiarów zdalnych na statku. Stosując przekaźnik cyfrowy ciśnienia pomiary można zebrać na ekranie komputera i rozwinąć o sygnalizację alarmową napełnienia zbiornika.

a)

b)

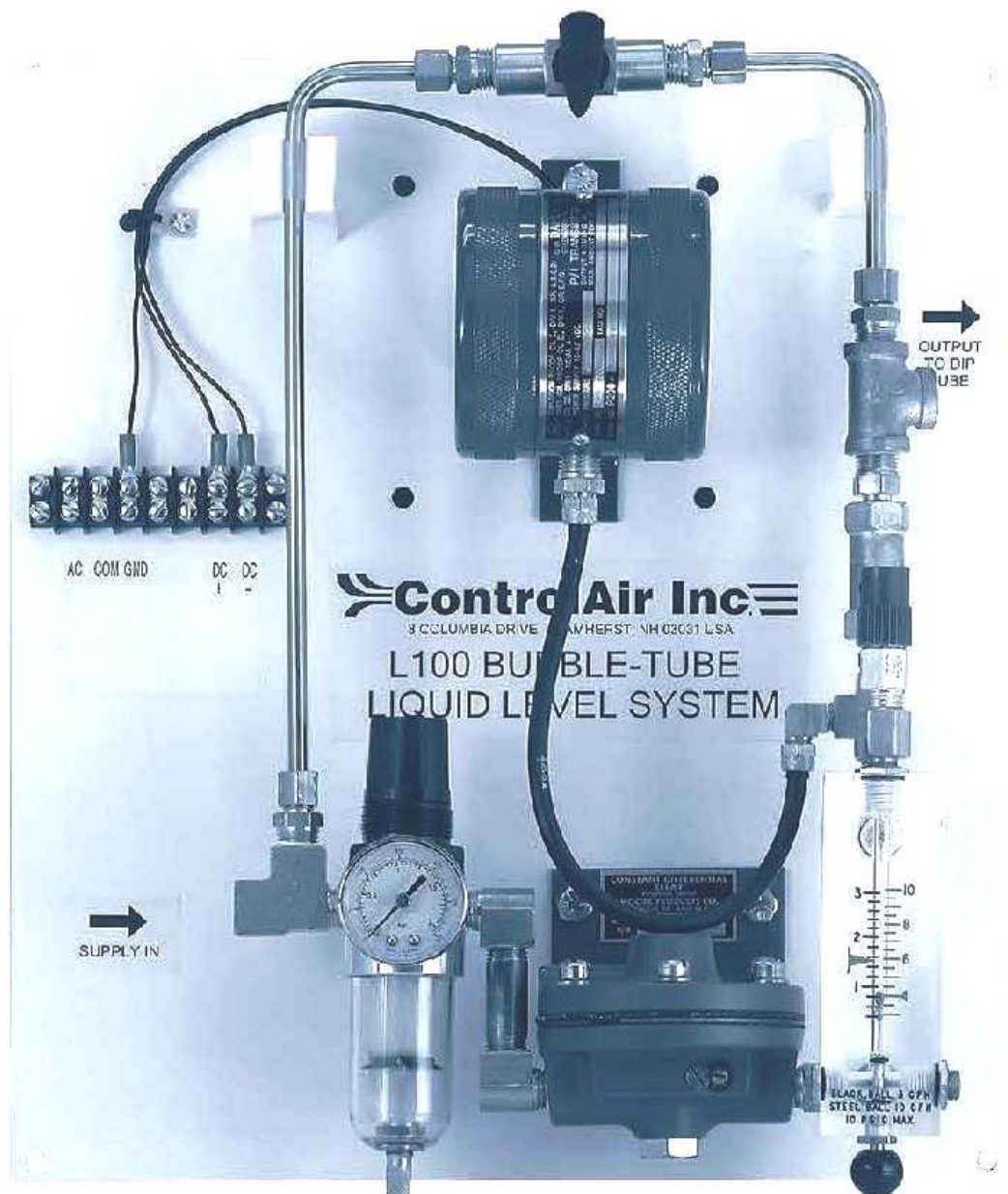


Rys. 11 Regulator małych przepływów, a-widok zewnętrzny regulatora z widocznym zaworem iglicowym, b-zespół regulatora z rotametrem.

Na rysunku 11 pokazano wygląd rzeczywisty elementów, a rysunek 12 zawiera pełny zestaw pomiarowy dla pojedynczego zbiornika. Przedstawiony zestaw pomiarowy może być montowany w dowolnym, wygodnym miejscu nie związanym z położeniem zbiornika. Tylko przewód sondy bąbelkującej musi być doprowadzony do dna zbiornika. Metoda pomiaru jest beziskrowa (brak zasilania elektrycznego) i można ją stosować do zbiorników paliwowych. Jest szeroko stosowana na statkach również tankowcach.

Od strony praktycznej metoda sondy bąbelkującej jest wrażliwa na nieszczelności sondy. Już przy drobnej nieszczelności wynik pomiaru będzie zaniżony. Sprawdzenie układu pomiarowego sondy wykonuje się przez jednorazowy niezależny pomiar na przykład sondą taśmową.

Odrębną sprawą jest sygnalizacja przekroczenia poziomu: zbiornik pełny lub pusty. Do tego stosuje się niezależną sygnalizację wybranego poziomu dla wybranych zbiorników np. settling tank lub daily tank. Tego typu sygnalizację rozwiązuje się za pomocą pływaków typu mombrey, rys. 13.



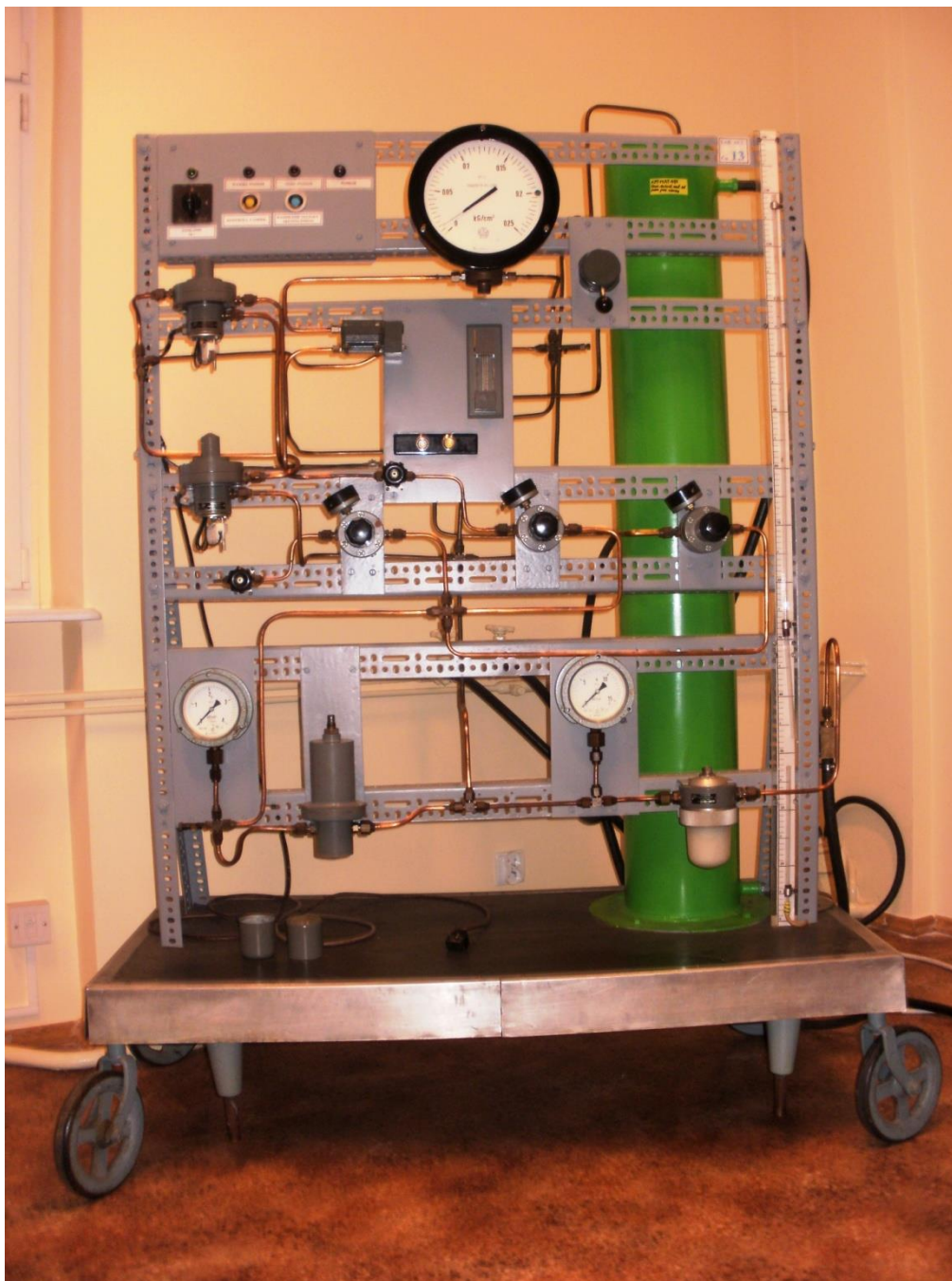
Rys. 12 Pełny zestaw pomiarowy sondy bąbelkowej do pojedynczego zbiornika firmy ControlAir.



Rys. 13 Przykłady sygnalizacji alarmowej przekroczenia poziomu.

3. Stanowisko ćwiczeniowe

Stanowisko laboratoryjne do pomiaru poziomu metodą sondy bąbelkowej zawiera zbiornik o wysokości 1.5m napełniany wodą, rys. 14.



Rys. 14. Stanowisko laboratoryjne do pomiaru poziomu metodą sondy bąbelkowej.

Układ pomiarowy został wyposażony w reduktory powietrza, regulator małych przepływów, zawór do przedmuchu sondy z wyższym ciśnieniem i manometr wysokiej dokładności. Porównawczo zbiornik ma wskazania poziomu za pomocą u-rurki. Wskazania manometryczne można porównywać z pomiarem bezpośrednim.

4. Przebieg ćwiczenia

Stanowisko laboratoryjne sondy bąbelkowej łączy przewody.

Według wskazówek prowadzącego należy zapoznać się z:

- punktami pomiarowymi zbiornika,
- elementami automatyki,
- punktami sterowania pomiarem poziomym,
- punktami sygnalizacji alarmowej poziomu.

Według wskazówek prowadzącego należy wykonać:

- załączenie pomiaru poziomu zbiornika,
- przedmuch sondy bąbelkowej,
- charakterystykę wskazań poziomu metodą hydrostatyczną i bezpośrednią,
- ocenę jakości wskazań metodą sondy bąbelkowej,
- symulację nieszczelności sondy bąbelkowej,
- załączenie sygnalizacji alarmowej poziomu.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać schemat połączeń układu pomiarowego sondy bąbelkowej z oznaczeniem elementów wg symboliki znormalizowanej wraz z krótkim opisem elementów.

6. Pytania kontrolne

Metody hydrostatyczne pomiaru poziomu cieczy.

Elementy automatyki do pomiaru poziomu cieczy w zbiornikach.

Budowa i zasada działania przetwornika poziomu cieczy – przetwornika różnicy ciśnień.

Budowa i zasada działania sondy bąbelkowej.

Budowa i zasada działania regulatora małych przepływów.

Przeliczenie poziomu cieczy na ciśnienie w stosowanych jednostkach np. Pa, mmH₂O, mmHg, bar.

Obsługa układu z sondą bąbelkową.

Dobór ciśnienia zasilania układu z sondą bąbelkową.

Umiejętność rysowania i czytania schematów automatyki

Literatura

1. S. Ciesielski, Z. Górski. Automatykacja okrętowych maszyn i urządzeń pomocniczych. Gdynia, Trademar 2001.
2. B. Chorowski, M. Werszko. Mechaniczne urządzenia automatyki. WNT Warszawa 1990.
3. Instrukcja sondy bąbelkowej firmy ControlAir.
4. Instrukcja sondy bąbelkowej firmy Siemens.
5. Materiały internetowe.