

9. POMIARY PRZEPLYWU CIECZY W RUROCIĄGU

Cel zadania: *Poznanie funkcjonowania rozproszonego systemu sterowania DCS, na przykładzie sterowania przepływem cieczy w rurociągu. Badanie charakterystyki przepływu zaworu motylkowego oraz charakterystyki pompy wirowej odśrodkowej z napędem sterowanym przetwornicą częstotliwości.*

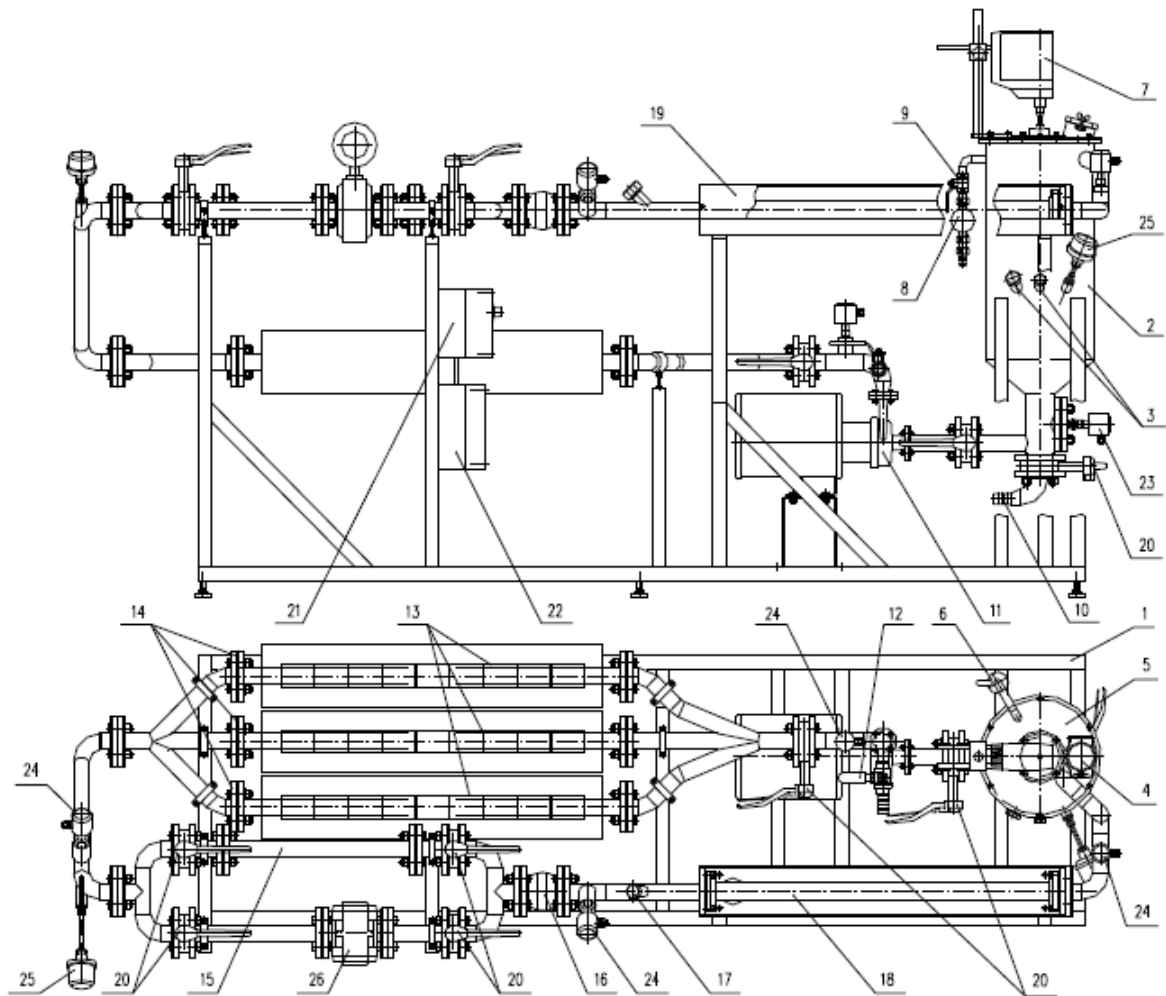
9.1. STANOWISKO POMIAROWE

Schemat stanowiska do pomiaru przepływu cieczy przedstawia rysunek 9.1. Na ramie nośnej **1** jest umieszczony zbiornik **2** o pojemności ok. 50 dm³, w którym znajduje się ciecz (woda), doprowadzana przez zawór **9** i licznik przepływu (wodomierz) skrzydełkowy z impulsatorem pomiarowym **8**. Zbiornik jest wyposażony w separujący wewnątrz od powietrza zamek wodny **6**, mieszadło **7** o nastawianej prędkości obrotowej, termorezystancyjny przetwornik temperatury **25**, manometryczny, piezorezystorowy, membranowy przetwornik poziomu **23** i przepustnicę spustową **20**.

Woda może być zasysana ze zbiornika przez pompę wirową odśrodkową **11** i tłoczona w obiegu zamkniętym przez wymiennik ciepła (nagrzewnicę) trójfazową **13** o łącznej mocy ok. 10 kW. Pompa jest napędzana silnikiem trójfazowym prądu przemiennego o mocy 1,1 kW, zasilanym z przetwornicy częstotliwości. Przetwornica umożliwia łagodny rozruch silnika pompy, płynne nastawianie jego prędkości obrotowej oraz stabilizowanie tej prędkości przy zmianach obciążenia pompy i napięcia zasilania; pozwala też na pomiar mocy elektrycznej pobieranej przez silnik.

Na przewodzie tłocznym pompy są zainstalowane: kolejny piezorezystancyjny przetwornik ciśnienia **24**, przetwornik temperatury z czujnikiem PT-100 **25** oraz przepustnice sterujące przepływem **20**. W górnej, powrotnej części rurociągu zainstalowano przepływomierz elektromagnetyczny **26**, gumowy kompensator termicznego wydłużenia rur **16**, jeszcze jeden przetwornik ciśnienia **24** oraz szklaną rurę w osłonie poliwęglanowej, służącą do obserwowania przepływu cieczy. W przewodzie dopływowym tej rury umieszczono króciec, służący do ewentualnego wprowadzania markera (np. barwnika) ułatwiającego obserwowanie strumienia cieczy.

Cała instalacja została wykonana ze stali kwasoodpornej przez Zakłady Automatyki RORAMETR, a większość jej elementów pokryto izolacją cieplną systemu PUR Instaline firmy HYDROSOLAR.



Rys. 9.1. Schemat układu do pomiarów przepływu cieczy

- | | | |
|---|---|---------------------------------------|
| 1. Rama nośna | 10. Króciec spustowy $\varnothing 33$ | 18. Rura szklana |
| 2. Zbiornik | 11. Pompa | 19. Osłona z poliwęglanu |
| 3. Króćce $\frac{1}{4}$ " i 1" NPT | 12. Zawór z króćcem $\varnothing 33$
do odpompowania wsadu | 20. Przepustnice |
| 4. Króciec wlewowy z
pokrywą – wziernikiem | 13. Nagrzewnica | 21. Obudowa termostatów |
| 5. Pokrywa zbiornika | 14. Złącza kołnierzowe | 22. Skrzynka połączeniowa grzałek |
| 6. Zamek wodny | 15. Łącznik (gniazdo na
przepływomierz masowy) | 23. Przetwornik poziomu |
| 7. Napęd mieszadła | 16. Kompensator gumowy | 24. Przetworniki ciśnienia |
| 8. Wodomierz z impulsatorem | 17. Króciec do wprowadzenia
markera | 25. Czujniki temperatury |
| 9. Zawór $\frac{1}{2}$ " | | 26. Przepływomierz elektromagnetyczny |

W instalacji zastosowano czujniki i przetworniki pomiarowe oraz silnik napędzający pompę firmy ABB. Zawory motylkowe wyprodukowała firma SOCLA.

Elementy sterujące mieszadłem, nagrzewnicą i napędem pompy oraz przetwornicę częstotliwości (firmy ABB), a także system DCS zbierania danych (**Freelance 2000** firmy ABB), umieszczono w szafie sterowniczej, umocowanej do ściany z prawej strony stanowiska pomiarowego. Wizualizację procesu umożliwia zestaw komputerowy z zainstalowanym oprogramowaniem stacji inżyniersko-operatorskiej klasy HMI (*Human Machine Interface*) **DigiVis** firmy ABB. Układy sterowania oraz przystosowanie oprogramowania stacji inżyniersko-operatorskiej wykonała firma AP System.

Rozproszony system sterowania **DCS** (*Distributed Control System*), to system odpowiadający za sterowanie i wizualizację procesu przemysłowego posiadający, w odróżnieniu od systemu zbudowanego na bazie sterowników **PLC** (*Programmable Logic Controller*), wspólną bazę danych do sterowania i wizualizacji. Wspólna baza punktów (tagów) pomiarowych, regulacyjnych i wizualizacji, zapewnia ich całkowitą jednoznaczność oraz ułatwia konfigurowanie systemu.

Podstawowe cechy DCS (czasami wspólne z PLC) to:

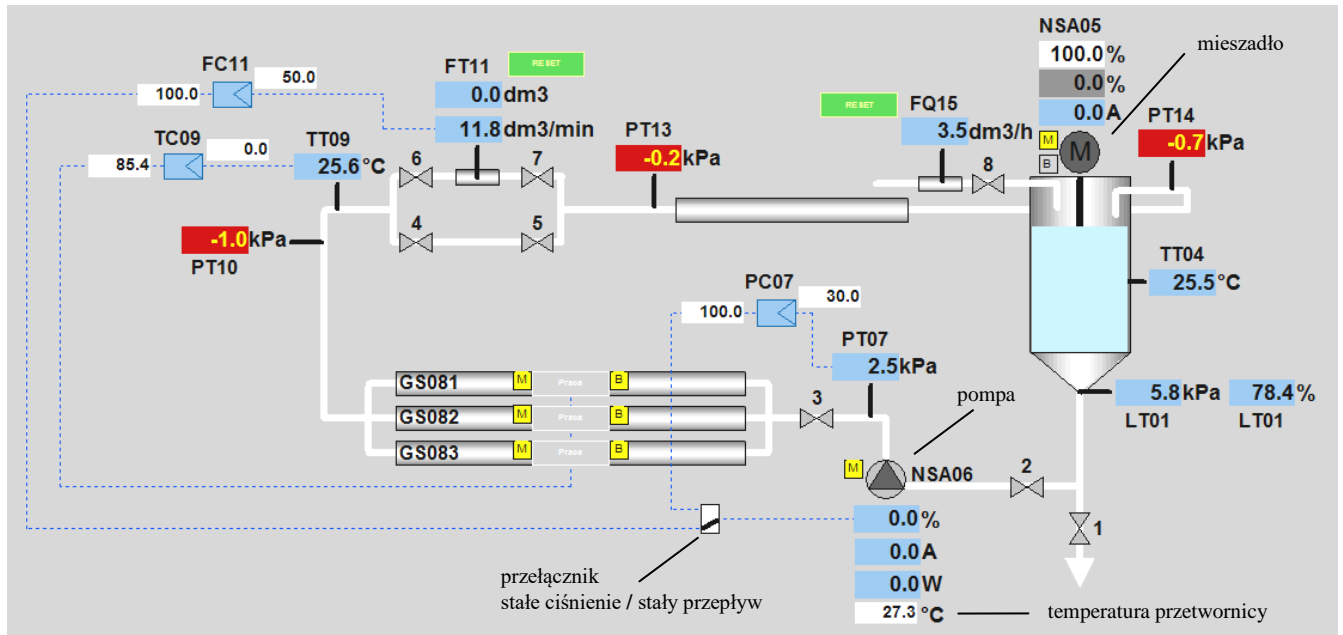
- programowanie przy pomocy zdefiniowanych bloków funkcjonalnych,
- przechowywanie aktualnej dokumentacji dla całego systemu w stacji inżynierskiej,
- archiwizacja zdarzeń (nawet kilkuletnia),
- możliwość zastosowania redundantnych (zwielokrotnionych) elementów, takich jak regulatory, układy wejść-wyjść, stacje operatorskie,
- możliwość załadowania programu i dokonywania w nim zmian bez zatrzymywania systemu (sterowanego procesu),
- sprawna obsługa bardzo dużych obiektów (nawet do 50 000 wejść/wyjść),
- możliwość równoczesnego programowania z kilku stacji roboczych,
- możliwość podłączenia wszystkich typów urządzeń pomiarowych i wykonawczych, nawet o różnych standardach komunikacji, we wspólną sieć.

9.2. URUCHOMIENIE OBIEGU CIECZY

Zasilanie elektryczne całego układu pomiarowego **włącza laborant**. Na przedniej ścianie szafy sterowniczej powinien być podświetlony na niebiesko przycisk „Reset przekaźnika bezpieczeństwa”. Znajdujący się powyżej niego, zabezpieczony przed przypadkowym przyciśnięciem „**Przycisk bezpieczeństwa**”, służy do awaryjnego zatrzymania zasilania elektrycznego całej instalacji w przypadku wystąpienia jakiegoś zagrożenia. Przycisk ten jest zdublowany po lewej stronie drzwi wyjściowych z pomieszczenia laboratorium. **Nie naciskać** tych przycisków bez uzasadnienia!

Komputer, zainstalowany na nim system operacyjny Windows 7 oraz system stacji inżyniersko-operatorskiej DigiVis też uruchamia laborant.

Na ekranie monitora z przygotowanym do pracy systemem Freelance 2000, powinien być wyświetlony schemat synoptyczny całego stanowiska badawczego, pokazany na rys. 9.2.



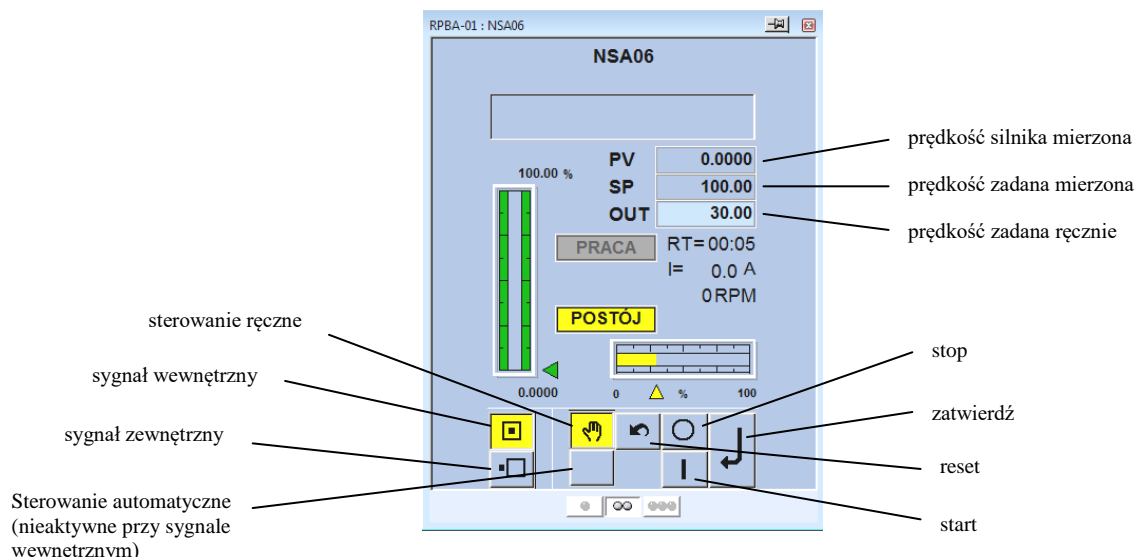
Rys. 9.2. Wizualizacja stanowiska badawczego na ekranie monitora

Sprawdzić napętnienie zbiornika wodą do zadanego poziomu (70...80%), odczytując wartość ciśnienia słupa cieczy w zbiorniku (punkt **LT01**), przeliczaną automatycznie na % napętnienia z uwzględnieniem założonej gęstości wody, równej 1 g/cm^3 (gęstość roztworu w zbiorniku może być dowolnie programowana). W przypadku wskazań spoza podanego przedziału, poprosić laboranta o dolanie wody przez zawór **Z₈** i licznik przepływu **FQ15**.

Sprawdzić wstępne ustawienia instalacji pomiarowej. Zawór (przepustnica) spustowa **Z₁** powinna być zamknięta (kąt $\alpha_1 = 0^\circ$) i zablokowana, natomiast należy całkowicie otworzyć przepustnicę **Z₂** na przewodzie ssawnym pompy (kąt $\alpha_2 = 90^\circ$). Otworzyć całkowicie zawór **Z₃** na przewodzie tłocznym pompy (kąt $\alpha_3 = 90^\circ$) oraz zawory **Z₆** i **Z₇** w obiegu cieczy (kąty $\alpha_{6-7} = 90^\circ$). Zawory **Z₄** i **Z₅** powinny być zamknięte (kąty $\alpha_{4-5} = 0^\circ$).

Włączyć dostęp do sterowania silnikiem pompy, klikając na ekranie monitora (dwa razy) jej symbol (czarny trójkąt **NSA06**), co spowoduje wyświetlenie stacyjki operatorskiej napędu pompy (rys. 9.3).

Zmieniając prędkość obrotową silnika i pompy, można zmieniać jej wydajność i tym samym natężenie przepływu cieczy w obiegu. W okienku **OUT** stacyjki operatorskiej **NSA06** wpisać z klawiatury wartość prędkości obrotowej pompy równą 40% zakresu jej zmienności (od 0 do 2870 obr/min) i potwierdzić wpis przyciskiem „Enter” z klawiatury komputera. Prędkość obrotowa 40% jest nieco większa od dopuszczalnej prędkości minimalnej, zmniejszanie tej prędkości poniżej 30% jest zablokowane, ponieważ grozi przegrzaniem silnika, możliwe jest natomiast całkowite zatrzymanie pompy.



Rys. 9.3. Stacyjka operatorska napędu pompy

Pozostałe ustawienia przycisków i wskaźników stacyjki powinny odpowiadać rysunkowi 9.3. Włączyć napęd przyciskiem „|” stacyjki i zatwierdzić przyciskiem „↵” stacyjki lub „Enter” komputera. Pompa zacznie się obracać z zadaną prędkością 40% zakresu, tj. ok. 1200 obr/min. Wypróbować nastawianie różnych prędkości obrotowych pompy i jej wyłączenie przyciskiem „O”.

9.3. CHARAKTERYSTYKA PRZEPLYWU CIECZY PRZEZ ZAWÓR MOTYLKOWY

Zawór motylkowy, nazywany też przepustnicą, posiada element zamykający w postaci metalowej tarczy, obracanej siłownikiem elektrycznym lub pneumatycznym albo dźwignią ręczną o kąt α od 0° do 90° (0° – zawór zamknięty, 90° – zawór otwarty). Wnętrze korpusu przepustnicy jest wyłożone elastycznym tworzywem i zapewnia bardzo dobrą szczelność zaworu. Naszym zadaniem jest wyznaczenie tzw. charakterystyki przepływu badanej przepustnicy, czyli zależności strumienia przepuszczanej cieczy od kąta obrotu elementu zamykającego, przy kilku ciśnieniach cieczy przed zaworem (kilku prędkościach obrotowych pompy).

Prędkość obrotową pompy określa parametr „%” (zakresu) w punkcie **NSA06** schematu synoptycznego, a przepływ cieczy \dot{V} mierzy przepływomierz elektromagnetyczny **FT11** (okienko z wartością w dm^3/min).

Otworzyć całkowicie zawór **Z₃** ($\alpha_3 = 90^\circ$). W stacyjce napędu pompy nastawić % = 40 i odczytać wartość \dot{V} wyświetlaną w punkcie **FT11**. Kontynuować pomiary przy prędkości

silnika 40%, przymykając zawór Z_3 kolejno o kąt $\alpha_3 = 10^\circ$ i zmniejszając w ten sposób wydajność pompy \dot{V} , aż do całkowitego zamknięcia przepływu po osiągnięciu w Z_3 kąta $\alpha_3 = 0^\circ$. Po każdej zmianie α_3 odczytywać z punktu **FT11** przepływ \dot{V} (wszystko notować w tabelce!). Przy małych kątach α_3 , przepustnica może już całkowicie zdławić przepływ i wartość \dot{V} wyświetlana w punkcie **FT11** może być zbliżona do zera lub nawet ujemna (przepływomierze elektromagnetyczne mogą błędnie mierzyć bardzo małe przepływy!).

Zwrócić uwagę na umieszczone przy punkcie **FT11** okienko, wyświetlające sumę przepuszczonej przez przepływomierz cieczy (w dm^3). Są to wskazania licznika przepływu (całki z przepływu \dot{V}), zliczające przepuszczoną objętość cieczy od momentu kliknięcia zielonego przycisku „**RESET**” (można wypróbować!).

Powtórzyć pomiary wpływu zmian stopnia otwarcia przepustnicy na przepływ cieczy (tabelka), po nastawieniu większych prędkości silnika pompy, równych 60%, 80% i 100% zakresu.

9.4. BADANIE CHARAKTERYSTYKI POMPY WIROWEJ ODŚRODKOWEJ

Badanie charakterystyki pompy ma na celu określenie jej podstawowych parametrów technicznych: ciśnienia tłoczenia P_h i wydajności \dot{V} w funkcji prędkości obrotowej silnika (% obrotów), a także maksymalnej mocy N_{max} pobieranej przez silnik.

9.4.1. MAKSYMALNE CIŚNIENIE TŁOCZENIA POMPY

Ciśnienie to określa maksymalną wysokość H (tzw. wysokość podnoszenia), na którą pompa może podawać ciecz o znanej gęstości i przy określonej wydajności przepływu. Można je mierzyć umieszczonym na wylocie pompy manometrem **PT07**, dławiąc zaworem Z_3 przewód tłoczny pompy. Ciśnieniu tłoczenia równemu 100 kPa odpowiada wysokość podnoszenia wody (o temperaturze $+20^\circ\text{C}$) $H \approx 10,7$ m.

Zamknąć całkowicie zawór Z_3 na przewodzie tłocznym pompy ($\alpha_3 = 0^\circ$). W stacyjce sterowania silnikiem pompy nastawić jego prędkość obrotową równą 40% zakresu. Z punktu **PT07** odczytać ciśnienie tłoczenia pompy P_h .

Pomiary powtórzyć przy prędkościach obrotowych silnika 60%, 80% i 100% zakresu, wszystkie wyniki pomiarów zebrać w tabelce.

9.4.2. WYDAJNOŚĆ POMPY

Wydajność pompy jest zależna od jej konstrukcji, ciśnienia tłoczenia (wysokości podnoszenia) i prędkości obrotowej wirnika. Należy określić wzajemną zależność wydajności i ciśnienia tłoczenia przy kilku prędkościach obrotowych wirnika pompy (tzw. podstawową charakterystykę pompy). Z zależności tych można określić przydatność danej pompy w konkretnej sytuacji, gdy znana jest wysokość podnoszenia i natężenie przepływu cieczy. Możliwe jest również wybranie do napędu pompy silnika o odpowiedniej prędkości obrotowej i mocy.

Otworzyć całkowicie zawór Z_3 na przewodzie tłocznym pompy ($\alpha_3 = 90^\circ$). Nastawić w punkcie **NSA06** prędkość obrotową silnika 40% zakresu. Odczytać ciśnienie tłoczenia pompy P_h (**PT07**) oraz natężenie przepływu cieczy \dot{V} (**FT11**). Pomiar powtarzać (zbierając wyniki w tabelce), przymykając zawór Z_3 kolejno o kąt $\alpha_3 = 10^\circ$ i zmniejszając w ten sposób wydajność \dot{V} pompy, aż do całkowitego zamknięcia przepływu po osiągnięciu w Z_3 kąta $\alpha_3 = 0^\circ$.

Ponownie otworzyć zawór Z_3 ($\alpha_3 = 90^\circ$). Nastawić prędkość obrotową silnika pompy na 60% zakresu. Jak poprzednio, określić zależność P_h i \dot{V} zmniejszając wydajność \dot{V} pompy (przymykając zawór Z_3 kolejno o kąt $\alpha_3 = 10^\circ$), aż do całkowitego zamknięcia przepływu po osiągnięciu kąta $\alpha_3 = 0^\circ$.

Pomiary powtórzyć przy 80% i 100% zakresu prędkości wirowania silnika pompy.

9.4.3. MOC POBIERANA PRZEZ SILNIK POMPY

Znajomość wartości mocy pobieranej przez silnik pompy, a zwłaszcza jej wartości maksymalnej, pozwala na dobranie do napędu pompy odpowiedniego silnika. Zastosowanie silnika o zbyt małej mocy może spowodować jego uszkodzenie wskutek przeciążenia, natomiast silnik o zbyt dużym zapasie mocy (zwłaszcza asynchroniczny prądu przemienne), będzie miał niską sprawność wskutek niedociążenia.

Energia elektryczna pobierana przez silnik pompy wirowej jest zużywana na zwiększenie energii potencjalnej cieczy – jej objętości (wydajności tłoczenia \dot{V}) i wysokości podnoszenia (ciśnienia tłoczenia P_h). Zwykle największe zużycie mocy następuje przy zerowej wydajności i maksymalnym ciśnieniu tłoczenia (tzw. całkowite zdławienie pompy), kiedy to występują duże straty energii na mieszanie cieczy w pompie i sprawność pompy dąży do zera. W nowoczesnych pompach wirowych, dzięki specjalnej konstrukcji wirnika, straty na mieszanie cieczy w pompie mogą być małe i dławienie pompy, dzięki zmniejszaniu energii na

łoczenie cieczy, może powodować zmniejszanie zużycia mocy. Wtedy największe zużycie mocy występuje przy maksymalnej wydajności tłoczenia.

Otworzyć całkowicie zawór Z_3 na przewodzie tłocznym pompy ($\alpha_3 = 90^\circ$). Nastawić prędkość obrotową silnika 40% zakresu. W punkcie **FT11** odczytać wydajność pompy \dot{V} , w punkcie **PT07** ciśnienie tłoczenia P_h oraz w punkcie **NSA06** moc pobieraną z sieci elektrycznej przez jej silnik („W” w watach, w okienku pod symbolem pompy).

Pomiary powtórzyć przy 60%, 80% i 100% zakresu prędkości wirowania silnika pompy. Po odczytaniu wartości \dot{V} , P_h i W przy 100% obrotów pompy, należy kontynuować pomiary przy stałej (100%) prędkości obrotowej pompy, zmniejszając natężenie przepływu cieczy \dot{V} (zwiększając ciśnienie tłoczenia P_h) przez przemykanie zaworu Z_3 kolejno o kąt $\alpha_3 = 10^\circ$, aż do całkowitego zamknięcia przepływu po osiągnięciu kąta $\alpha_3 = 0^\circ$.

Po zakończeniu pomiarów **zatrzymać pompę**.

9.5. BADANIE TRENDU ZMIAN PARAMETRÓW PRZEPŁYWU CIECZY

Otworzyć całkowicie zawór Z_3 na przewodzie tłocznym pompy ($\alpha_3 = 90^\circ$). Nastawić w stacyjce operatorskiej prędkość obrotową silnika 60% zakresu (napęd pompy nadal zatrzymany).

Ustawić kursor na ekranie wizualizacji na symbolu pompy (punkt **NSA06**). Prawym klawiszem myszy wybrać **TREND1_OS1**.

Uruchomić pompę, odczekać ok. 12 s na ustalenie się parametrów przepływu cieczy (obserwować powstający wykres oraz poziomy rejestrowanych wielkości), a następnie rozpocząć zmniejszanie przepływu \dot{V} , poprzez stopniowe przemykanie zaworu Z_3 , od $\alpha_3 = 90^\circ$ do $\alpha_3 = 0^\circ$, o 10° co ok. 3 s.

Po osiągnięciu całkowitego zdlawienia przepływu ($\alpha_3 = 0^\circ$), zatrzymać rysowanie wykresu lewym przyciskiem w pasku u dołu ekranu („Time scroll left”). Otworzyć całkowicie zawór Z_3 (kąt $\alpha_3 = 90^\circ$). Zatrzymać pompę przez kliknięcie w stacyjce operatorskiej jej napędu przycisku **O** i potwierdzenie przyciskiem \leftarrow stacyjki lub „Enter” komputera.

Przyciskami „Time scroll” i „Zoom” wybrać i ustawić na środku ekranu uzyskany wykres badanego trendu. Włączyć drukarkę, wciskając na kilka sekund przycisk jej zasilania. W górnej belce programu wybrać „Print” i „Region”. Po zaznaczeniu kursorem pola do wydruku (zaznaczyć cały wykres trendu, wraz z legendą punktów i opisami obu osi)

i odczekaniu kilku sekund na przygotowanie się drukarki, samoczynnie uruchomi się drukowanie wybranego obszaru ekranu.

Na uzyskanym wydruku zaznaczyć, zgodnie z wyświetloną na ekranie monitora legendą, które przebiegi odpowiadają mocy pobieranej przez silnik (W) w watach, natężeniu prądu silnika (A) w amperach, prędkości obrotowej pompy (%), ciśnieniu tłoczenia pompy (P_h) i natężeniu przepływu cieczy (\dot{V}).

Do głównej planszy ekranu stacji inżyniersko-operatorskiej można powrócić po kliknięciu w górnym pasku ekranu skierowanej w lewo strzałki w zielonym kółku!

9.6. ZAKOŃCZENIE ZADANIA

Sprawdzić wyłączenie napędu pompy i całkowite otwarcie zaworu Z_3 (kąt $\alpha_3 = 90^\circ$). Zamknięcie systemów DigiVis, Windows i wyłączenie zasilania całego stanowiska badawczego **wykona laborant**.

9.7. OPRAWOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

9.7.1. CHARAKTERYSTYKA PRZEPLÝWU CIECZY PRZEZ ZAWÓR MOTYŁKOWY

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 9.3, sporządzić we wspólnym układzie współrzędnych (na tym samym rysunku) wykresy zależności $\dot{V} = f(\alpha_3)$ dla wszystkich badanych prędkości wirowania pompy (40, 60, 80 i 100%).

9.7.2. CIŚNIENIE TŁOCZENIA POMPY

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 9.4.1, przeliczyć wartości prędkości obrotowej pompy z % zakresu na liczbę obrotów na minutę n . Przyjąć zakres zmienności prędkości obrotowej pompy 0...2870 obr/min (dane z tabliczki znamionowej silnika). Wykreślić zależność $P_h = f(n)$. Sprawdzić, czy ciśnienie tłoczenia pompy wirowej jest proporcjonalne do kwadratu jej prędkości obrotowej zgodnie z równaniem:

$$P_h \approx K \cdot n^2 \quad (9.1)$$

obliczając dla prędkości obrotowej pompy 40% (n_1) i 100% (n_2) proporcję:

$$\frac{n_2}{n_1} \approx \sqrt{\frac{P_{h2}}{P_{h1}}} \approx 2 \quad (9.2)$$

9.7.3. WYDAJNOŚĆ POMPY

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 9.4.2, wykreślić na **poziomym** arkuszu papieru o formacie A-4 (najlepiej ręcznie, na papierze milimetrowym), we wspólnym układzie współrzędnych, zależności $\dot{V} = f(P_h)$ dla czterech badanych prędkości obrotowych silnika pompy (przeliczonych na liczbę n w obr/min, jak w p. 9.7.2). Jest to wykres podstawowej charakterystyki pompy $\dot{V} = f(P_h, n)$.

Sprawdzić, czy wydajność pompy wirowej jest wprost proporcjonalna do jej prędkości obrotowej zgodnie z równaniem:

$$\dot{V} \approx K \cdot n \quad (9.3)$$

obliczając dla prędkości wirowania pompy 40% (n_1) i 100% (n_2) i **całkowicie otwartego zaworu Z₃** proporcję:

$$\frac{n_2}{n_1} \approx \frac{\dot{V}}{\dot{V}} \approx 2 \quad (9.4)$$

9.7.4. MOC POBIERANA PRZEZ SILNIK POMPY

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 9.4.3, przeliczyć wartości mocy W pobieranej z przetwornicy częstotliwości na moc N oddawaną przez silnik do pompy:

$$N = W \cdot \cos \varphi \quad [\text{W}] \quad (9.5)$$

Przyjąć wartość współczynnika mocy silnika (przesunięcia fazowego prądu i napięcia), zgodnie z danymi z jego tabliczki znamionowej, $\cos \varphi = 0,80$.

Wykreślić na **poziomym** arkuszu papieru o formacie A-4 (najlepiej ręcznie, na papierze milimetrowym), we wspólnym układzie współrzędnych, zależność $N = f(\dot{V})$ przy rosnącej prędkości obrotowej silnika pompy n , a następnie przy stałej, maksymalnej prędkości obrotowej ($n = 100\%$) i rosnącego ciśnienia tłoczenia pompy, podczas dławienia przepływu cieczy zaworem (**jeden punkt krzywych będzie wspólny**).

Sprawdzić, czy moc pobierana przez silnik pompy wirowej jest proporcjonalna do trzeciej potęgi jej prędkości obrotowej zgodnie z równaniem:

$$N \approx K \cdot n^3 \quad (9.6)$$

obliczając dla prędkości wirowania pompy 40% (n_1) i 100% (n_2) i **całkowicie otwartego zaworu Z₃** proporcję:

$$\frac{n_2}{n_1} \approx \sqrt[3]{\frac{N_2}{N_1}} \approx 2 \quad (9.7)$$

9.7.5. SPRAWNOŚĆ POMPY

Moc pobierana przez silnik pompy może być określona z wzoru:

$$N = \frac{\dot{V} \cdot P_h}{\eta_p \cdot \eta_s} \quad (9.8)$$

gdzie: \dot{V} – wydajność pompy [m^3/s],

P_h – ciśnienie podnoszenia pompy [Pa],

η_p – współczynnik mechanicznej sprawności pompy,

η_s – współczynnik elektrycznej sprawności silnika.

Przekształcając równanie (9.8) otrzymamy:

$$\eta_p = \frac{\dot{V} \cdot P_h}{N \cdot \eta_s} \quad (9.9)$$

Korzystając z wykonanego wykresu charakterystyki pompy $P_h = f(\dot{V}, n)$, należy znaleźć dla $n = 100\%$ trzy dowolne pary wielkości P_h i \dot{V} . Następnie z wykresu $N = f(\dot{V})$ określić dla wybranych \dot{V} moce N pobierane przez silnik pompy przy $n = 100\%$. Z równania (9.9) obliczyć współczynnik sprawności pompy przy trzech wybranych wartościach natężeniach przepływu \dot{V} , zakładając wartość współczynnika elektrycznej sprawności silnika $\eta_s = 0,90$.

9.7.6. WYKORZYSTANIE CHARAKTERYSTYKI POMPY

Znając przebieg charakterystyki pompy $P_h = f(\dot{V}, n)$, należy sprawdzić możliwość wykorzystania tej pompy w konkretnym przypadku oraz dobrać do jej napędu silnik o odpowiedniej prędkości obrotowej n_s i mocy N_s .

Badana pompa ma podawać ciecz o gęstości $\rho = 1004 \text{ kg/m}^3$ na wysokość $H = 5,4 \text{ m}$ z maksymalną wydajnością $\dot{V} = 0,8 \text{ m}^3/\text{godz}$. Korzystając z wzoru na ciśnienie podnoszenia pompy:

$$P_h = H \cdot \rho \cdot g \quad (9.10)$$

oraz wykresu charakterystyki pompy $P_h = f(\dot{V}, n)$, określić minimalną prędkość obrotową n_s silnika, jaki powinien być użyty do napędu pompy. Przyjąć $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Z wykresu zależności $N = f(n)$, określić dla wybranej prędkości obrotowej silnika n_s jego moc N_{\max} . Obliczyć moc zainstalowaną silnika N_s z wzoru:

$$N_s = N_{\max} \cdot R \quad (9.11)$$

przyjmując wartość współczynnika rezerwy mocy $R = 1,5$.

9.8. WYDRUK TRENDU ZMIAN PARAMETRÓW PRZEPIYWU CIECZY

Przeanalizować wykresy wszystkich zależności pokazanych na uzyskanym wydruku trendu zmian parametrów przepływu cieczy przy dławieniu przepływu aż do wartości zerowej. Spróbować wytłumaczyć zmiany niektórych parametrów wraz ze zmniejszaniem przepływu cieczy aż do wartości zerowej.

9.9. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z wykonania zadania powinno zawierać:

- **uproszczony** schemat instalacji pomiarowej z krótkim opisem,
- tabele z wynikami pomiarów,
- wydruk trendu zmian parametrów przepływu cieczy **wraz z jego analizą**,

- wykres charakterystyki przepływu przepustnicy:

$$\dot{V} = f(\alpha_3),$$

gdzie α_3 to kąt obrotu tarczy przepustnicy, dla wszystkich badanych prędkości obrotowych silnika pompy,

- wykresy charakterystyki pompy:

$$P_h = f(n), \quad \dot{V} = f(P_h, n), \quad N = f(\dot{V}, n),$$

- obliczenia proporcji według wzorów: 9.2, 9.4, 9.7,
- obliczenie sprawności pompy η_p ,
- obliczenia wartości n_s i N_s ,
- wnioski dotyczące **wszystkich** wykonanych doświadczeń i wyników obliczeń.

9.10. LITERATURA

Podstawowymi źródłami umożliwiającymi poszerzenie materiału zawartego w instrukcji są notatki z wykładów „Pomiary, automatyka i elektrotechnika” na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności, dostępne na stronie internetowej wykładowcy dodatkowo cztery instrukcje teoretyczne do laboratorium oraz książki:

- [1] Ludwicki M., Ludwicki M., **Sterowanie procesami technologicznymi w produkcji żywności**, PWN Warszawa, 2015,
- [2] Ludwicki M.: Sterowanie procesami w przemyśle spożywczym, PTTŻ, Łódź 2002,
- [3] Romer E.: Miernictwo przemysłowe, PWN, W-wa 1978,
- [3] Żelazny M.: Podstawy automatyki, PWN, W-wa 1976.

Opracował: dr inż. Marek Ludwicki, Politechnika Łódzka, I-30

<http://snack.p.lodz.pl/ludwicki>
marek.ludwicki@p.lodz.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana, czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie w jakikolwiek sposób, bądź elektroniczny, bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych nośników informacji, bez zgody autora.