

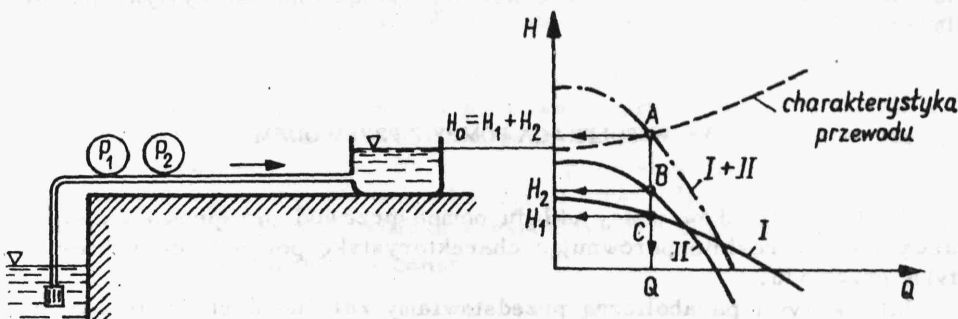
$H = f_1(Q)$. Punkt przecięcia charakterystyk przewodu i pompy zwany punktem pracy pompy, daje wartość wydatku, któremu odpowiada całkowita wysokość pompowania.

Na rysunku 8.23 przedstawiono najprostszy przypadek współpracy pompy z przewodem, ilustrowany oprócz wymienionych charakterystyk krzywymi mocy silnika pompy $N_s = f_2(Q)$ oraz współczynnika sprawności $\eta = f_3(Q)$.

8.3.6. WSPÓŁPRACA KILKU POMP Z PRZEWODEM

W praktyce stosowane są często dwa rodzaje układów szeregowo i równolegle połączonych pomp.

Przy połączeniu szeregowym (rys.8.24) wysokość pompowania jest równa sumie wysokości pompowania wszystkich pomp zespołu przy jednakowym wydatku cieczy płynącej przez każdą pompę.



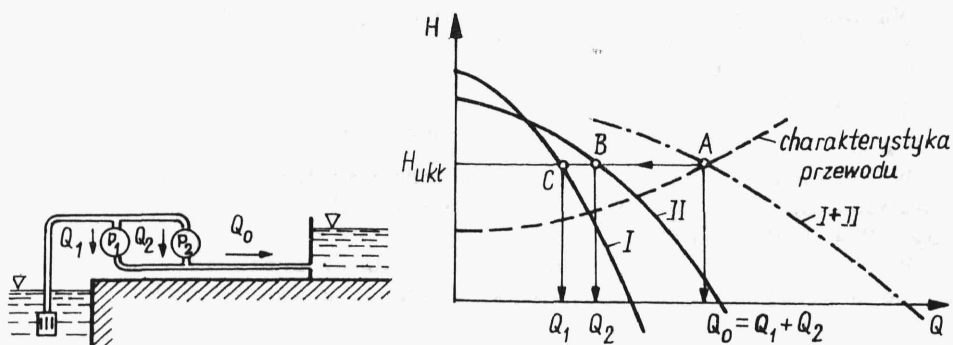
Rys.8.24

Na rysunku 8.24 przedstawiono charakterystykę łącznej pracy szeregowo połączonych pomp. Charakterystykę tę skonstruowano przez zsumowanie rzędnych (wysokości pompowania) charakterystyk poszczególnych pomp przy tej samej wartości odciętej (wydatku).

Połączenie szeregowe pomp stosuje się wówczas, gdy zachodzi potrzeba zwiększenia wysokości pompowania w stosunku do wysokości pompowania poszczególnych pomp.

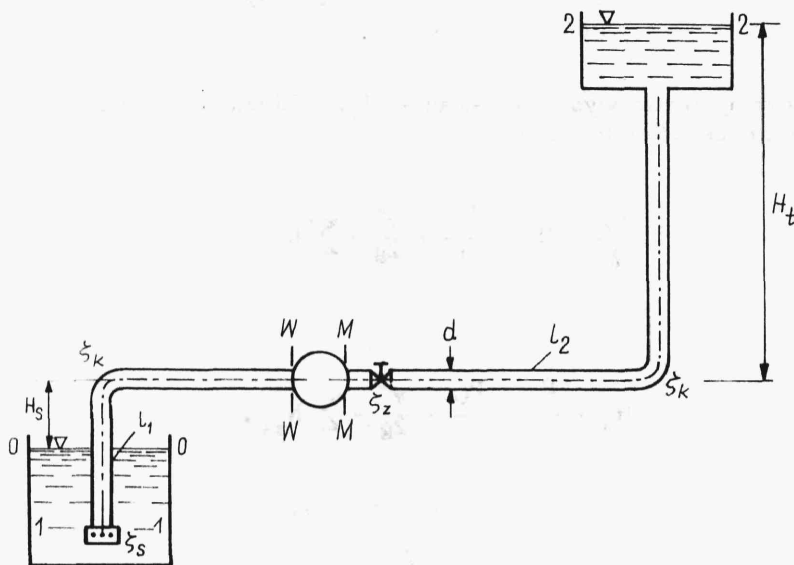
Przy połączeniu równoległym (rys.8.25) wydatki poszczególnych pomp sumują się, natomiast jednakowe być muszą wysokości pompowania rozwijane przez poszczególne pompy.

W tym przypadku wyznaczamy punkty łącznej charakterystyki sumując odcięte (wydatki) charakterystyk poszczególnych pomp, odpowiadające tej samej wysokości pompowania (rys.8.25). Tego rodzaju połączenia stosowane są oczywiście wtedy, gdy wymagane jest zwiększenie wydatku przepompowanej cieczy.



Rys.8.25

Przykład 8.11. Pompa wirowa tłoczy wodę o wydatku $Q = 65 \text{ l/s}$ ze studni do zbiornika (rys.8.26), długość przewodu ssawnego $l_1 = 30 \text{ m}$, tłocznego $l_2 = 200 \text{ m}$, wysokość tłoczenia $H_t = 20 \text{ m}$. Prędkość dopuszczalna w przewodzie $v = 1 \div 2 \text{ m/s}$.



Rys.8.26

Współczynnik sprawności pompy $\eta_o = 0,8$.

Obliczyć moc N_w na wale pompy i wysokość ssania H_s , jeżeli dopuszczalne podciśnienie na wlocie do pompy wynosi $h_w = 7,5 \text{ m H}_2\text{O}$.

Wartości współczynników strat miejscowych przyjąć jak następuje:

$$\zeta_s = 4,45 \text{ - (smok z zaworem),}$$

$$\zeta_k = 0,4 \text{ - (kolana),}$$

$$\zeta_z = 0,07 \text{ - (zasuwa za pompą),}$$

$$\zeta_w = 1,0 \text{ - przekrój wylotowy przewodu tłocznego.}$$

W obliczeniach należy przyjąć wartość współczynnika chropowatości przewodów stalowych $\varepsilon = 0,013$ i współczynnika kinetycznej lepkości wody $\nu = 0,0131 \text{ cm}^2/\text{s}$.

Rozwiązanie. Dla wyznaczenia średnicy przewodu ssawnego i tłocznego przyjmujemy $v = 1,5 \text{ m/s}$, a więc z prawa ciągłości

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,065}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,234 \text{ m.}$$

Według normy dobieramy $d = 250 \text{ mm}$.

Prędkość przepływu w przewodzie o średnicy $d = 250 \text{ mm}$ równa jest

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,065}{3,14 \cdot 0,25^2} = 1,32 \text{ m/s.}$$

Obliczamy teraz wysokość ssania H_s . Układamy równanie Bernoulliego dla przekrojów 0-0 i w-w

$$\frac{p_a}{\gamma} = H_s + \frac{p_w}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \sum h_{ss},$$

stąd

$$H_s = \frac{p_a - p_w}{\gamma} - \frac{v^2}{2g} - \sum h_{ss},$$

lub

$$H_s = h_w - \frac{v^2}{2g} - \sum h_{ss}.$$

Suma strat w przewodzie ssawnym równa jest

$$\sum h_{ss} = \frac{v^2}{2g} \left(\zeta_s + \zeta_k + \lambda \frac{l_1}{d} \right).$$

Dla wyznaczenia współczynnika λ obliczymy liczbę Reynoldsa

$$Re = \frac{v d}{\nu} = \frac{132 \cdot 25}{0,0131} = 252\,000.$$

Z wykresów Colebrooka i White'a znajdujemy dla zadanej wartości ξ współczynnik $\lambda = 0,0336$.

Możemy więc obliczyć sumę strat

$$\sum h_{ss} = \frac{v^2}{2g} \left(4,45 + 0,4 + 0,0336 \frac{30}{0,25} \right) = 8,87 \frac{v^2}{2g}$$

oraz wysokość ssania

$$H_s = h_w - \frac{v^2}{2g} - 8,87 \frac{v^2}{2g} = 7,5 - 9,87 \frac{1,32^2}{2 \cdot 9,81} = 6,62 \text{ m.}$$

Całkowita wysokość pompowania ze wzoru (8.36)

$$H_o = H + \frac{p_a - p_o}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum_{1-2} h_s.$$

W naszym przypadku napiszemy:

$$H = H_s + H_t, \quad p_o = p_a, \quad v_2 = 0, \quad \sum_{1-2} h_s = \sum h_{ss} + \sum h_{st}.$$

Po podstawieniu podanych zależności otrzymamy

$$H_o = H_s + H_t + \sum h_{ss} + \sum h_{st}.$$

Obliczmy sumę strat dla przewodu tłocznego

$$\sum h_{st} = \frac{v^2}{2g} \left(\zeta_z + \zeta_k + \zeta_w + \lambda \frac{l_2}{d} \right) =$$

$$= \frac{1,32^2}{2 \cdot 9,81} \left(0,07 + 0,4 + 1 + 0,0336 \frac{200}{0,25} \right) = 2,55 \text{ m.}$$

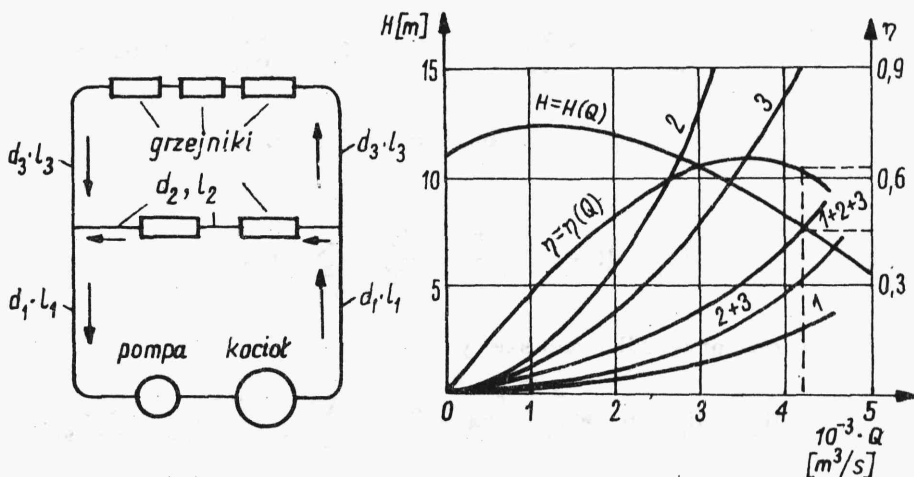
Całkowita wysokość pompowania

$$H_o = 6,62 + 20 + 0,80 + 2,55 = 29,97 \text{ m.}$$

Moc na wale pompy

$$N_w = \frac{N_p}{\eta_p} = \frac{\rho Q H_o}{102 \eta_p} = \frac{1000 \cdot 0,065 \cdot 29,97}{102 \cdot 0,8} \approx 24 \text{ kW.}$$

Przykład 8.12. W układzie centralnego ogrzewania o wymuszonym obiegu (rys.8.27a), składającym się z kotła o współczynniku strat $\zeta_k = 15$ i z pięciu grzejników każdy o współczynniku strat $\zeta = 18$,



Rys.8.27

krąży woda o średniej temperaturze $T = 333 \text{ K}$, tłoczona pompą wirową, której charakterystyka podana jest na rys.8.27b.

Określić natężenie przepływu wody, przechodzącej przez kocioł oraz moc na wale pompy, jeżeli znane są średnice i długości przewodów: $d_1 = 65 \text{ mm}$, $d_2 = 40 \text{ mm}$, $d_3 = 50 \text{ mm}$, $l_1 = 39 \text{ m}$, $l_2 = 16 \text{ m}$, $l_3 = 20 \text{ m}$. Współczynnik strat liniowych dla wszystkich odcinków przyjąć stały i równy $\lambda = 0,03$.

Rozwiązanie. Charakterystyka pierwszego przewodu określona jest stratami wysokości ciśnienia na pokonanie oporów na tym odcinku

$$H_{o1} = \left(\lambda \frac{l_1}{d_1} + \zeta_k \right) \frac{Q_1^2}{2g F_1^2} =$$

$$= \left(0,03 \frac{39}{0,065} + 15 \right) \frac{4^2 Q_1^2}{2 \cdot 9,81 \cdot \pi^2 \cdot 0,065^4} = 1,53 \cdot 10^5 Q_1^2.$$

Charakterystyka drugiego przewodu

$$H_{o2} = \left(\lambda \frac{l_2}{d_2} + \sum \zeta_2 \right) \frac{Q_2^2}{2g F_2^2} =$$

$$= \left(0,03 \frac{16}{0,04} + 2 \cdot 18 \right) \frac{4^2 Q_2^2}{2 \cdot 9,81 \cdot \pi^2 \cdot 0,04^4} = 1,55 \cdot 10^6 Q_2^2.$$

Charakterystyka trzeciego przewodu

$$H_{o3} = \left(\lambda \frac{l_3}{d_3} + \sum \zeta_3 \right) \frac{Q_3^2}{2g F_3^2} =$$

$$= \left(0,03 \frac{20}{0,05} + 3 \cdot 18 \right) \frac{4^2 Q_3^2}{2 \cdot 9,81 \cdot \pi^2 \cdot 0,05^4} = 8,72 \cdot 10^5 Q_3^2.$$

Wszystkie trzy charakterystyki (rys.8.27b) wychodzą z początku układu współrzędnych, gdyż wysokość podnoszenia w zamkniętym obwodzie równa się zero.

Sumaryczną charakterystykę drugiego i trzeciego przewodu sporządzamy wykreślnie, sumując wydatki przy jednakowych stratach ciśnienia zgodnie, z zasadą równolegle połączonych przewodów.

Otrzymaną łączną charakterystykę przewodów (2+3) sumujemy z charakterystyką pierwszego przewodu (1) według zasad szeregowo połączonych przewodów, tzn. sumujemy straty wysokości ciśnienia przy jednakowych wydatkach i otrzymujemy sumaryczną charakterystykę całego układu przewodów (1 + 2 + 3).

Punkt przecięcia sumarycznej charakterystyki z charakterystyką pompy określa wydatek

$$Q = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s},$$

któremu odpowiada całkowita wysokość pompowania

$$H_o = 7,8 \text{ m H}_2\text{O}.$$

Moc na wale pompy, przy współczynniku sprawności pompy $\eta_p = 0,65$, otrzymanym z charakterystyki sprawności $\eta = f(Q)$, wynosi

$$N_w = \frac{N_p}{\eta_p} = \frac{\rho Q H_o}{102 \eta_p} = \frac{983 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 7,8}{102 \cdot 0,65} = 0,485 \text{ kW}.$$

9. OBLICZANIE PRZEPŁYWU W GAZOCIĄGACH

W zależności od ciśnienia gazu - gazociągi dzielimy na gazociągi magistralne lub wysokiego ciśnienia powyżej 3 bar, gazociągi średniego ciśnienia od 0,05 do 3 bar, i gazociągi niskiego ciśnienia do 0,05 bar (nadciśnienia).

Gazociągi magistralne służą do transportu gazu od źródła (gazownie, koksownie, złoża gazu ziemnego) do miejsca odbioru (miasta, osiedla, duże ośrodki przemysłowe). Dla zaopatrywania miast, osiedli w gaz, który jest przesyłany często z dużych odległości pod wysokim ciśnieniem, budowane są systemy gazociągów dalekosiężnych o dużych średnicach. Do rozprowadzania gazu w sieciach rozdzielczych miejskich i osiedlowych służą gazociągi średniego i niskiego ciśnienia.

9.1. OBLICZANIE GAZOCIĄGÓW WYSOKIEGO I ŚREDNIEGO CIŚNIENIA

9.1.1. IZOTERMICZNY PRZEPŁYW GAZU W GAZOCIĄGACH POZIOMYCH

Rozważmy ustalony przepływ gazu w poziomym gazociągu zakładając, że temperatura przepływającego gazu jest stała ($T = \text{const}$).

Równanie stanu gazu rzeczywistego dla przemiany izotermicznej przedstawimy w postaci