STATYKA I DYNAMIKA PŁYNÓW DOSKONAŁYCH

Płyny: ciecze, gazy

Ciecze doskonałe:

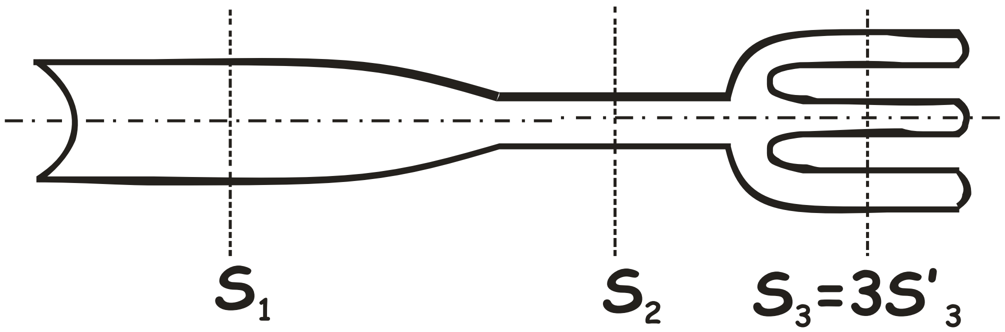
- gęstość cieczy na całej długości przewodu się nie zmienia,
- brak tarcia wewnętrznego, cząstki idealnie ruchliwe, cząstki nieściśliwe,
- spełnia prawa Eulera, Pascala i Archimedesa,

Gazy doskonałe:

- zbiór punktów o idealnej sprężystości i braku wzajemnych oddziaływań,
- spełnia prawa Boyle'a-Mariotta, Gay-Lussaca, Charlesa, Clapeyrona

RÓWNANIA CIĄGŁOŚCI STRUMIENIA CIECZY (STRUGI) W RUCHU USTALONYM:

Założenie: ciecz wypełnia przewód całkowicie!



Natężenie przepływu masy cieczy płynącej ruchem ustalonym przez dowolny przewód, jest stałe we wszystkich przekrojach przewodu, prostopadłych do kierunku przepływu. Zatem **MASOWE NATĘŻENE PRZEŁYWU**:

$$W_1=W_2=\ldots\ldots=W_n$$

$$W = S \cdot u \cdot \rho_L \ \ [\mathrm{kg/s}]$$

u - średnia prędkość przepływu, ρ - gęstość płynu,

S - pole powierzchni przekroju przewodu,

$U = S \cdot u \quad [\mathrm{m}^3/\mathrm{s}]$ **OBJĘTOŚCIOWE NATĘŻENIE PRZEPŁYWU**

$$W = U \cdot \rho_L \quad [\mathrm{kg/s}]$$

zakładając brak zmian gęstości płynu na całej długości przewodu (przepływ izotermiczny, płyny są wówczas nieściśliwe) można stwierdzić, że:

$$\boldsymbol{U_1 = U_2 = \ldots\ldots = U_n}$$

$$S_1 \cdot u_1 = S_2 \cdot u_2 = \cdots = S_n \cdot u_n$$

$$S_1 \cdot u_1 = S_2 \cdot u_2$$

zakładając przekrój kołowy pole przekroju S wyniesie odpowiednio:

$$\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot u_1 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot u_2$$

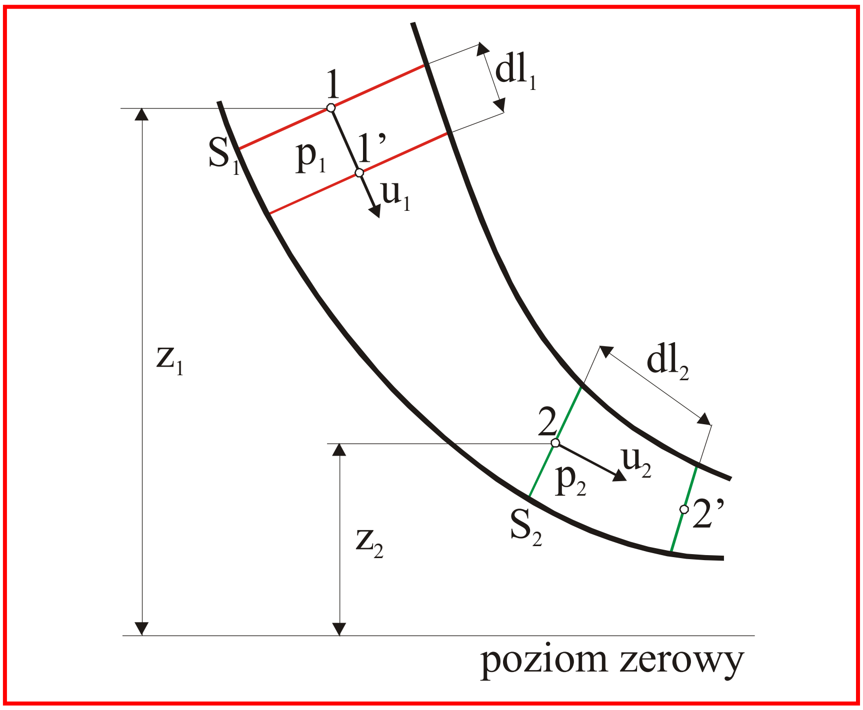
$$\boxed{\frac{u_1}{u_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}}$$

<u>PRĘDKOŚĆ MASOWA STRUMIENIA CIECZY</u>

Jest to stosunek masowego natężenia przepływu do pola powierzchni przekroju przewodu.

$$w_L = \frac{W}{S} = \frac{S \cdot u \cdot \rho_L}{S} = u \cdot \rho_L \qquad [\mathrm{kg/m^2} \cdot s]$$

RÓWNANIE BERNOULIEGO DLA PŁYNU DOSKONAŁEGO



gęstość płynu jest wielkością stałą ρ_L=const

Energia kinetyczna:

$$dE_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{dmu^2}{2} = dm\left(\frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2}\right)$$

$$dm = S \cdot u \cdot d\tau \cdot \rho_L$$

Praca sił ciśnienia (energia potencjalna ciśnienia):

$$dA = p_1 S_1 u_1 d\tau - p_2 S_2 u_2 d\tau$$

Energia potencjalna położenia:

$$dE_p = S_1 u_1 d\tau \rho_L g z_1 - S_2 u_2 d\tau \rho_L g z_2$$

ZASADA ZACHOWANIA ENERGII

(***wzrost energii kinetycznej powoduje jednoczesny spadek energii potencjalnej położenia i ciśnienia***):

$$dE_k = dE_p + dA$$

po podstawieniu i skróceniu przez $S \cdot u \cdot d\tau$, ponieważ zachowana jest zasada ciągłości strugi otrzymuje się:

$$\frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho_L} + g \cdot z_1 = \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho_L} + g \cdot z_2 = const \quad \mathbf{/:g}$$

w powyższym równaniu każdy z członów ma wymiar [m²/s²]

$$\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\rho_L \cdot g} + z = H$$

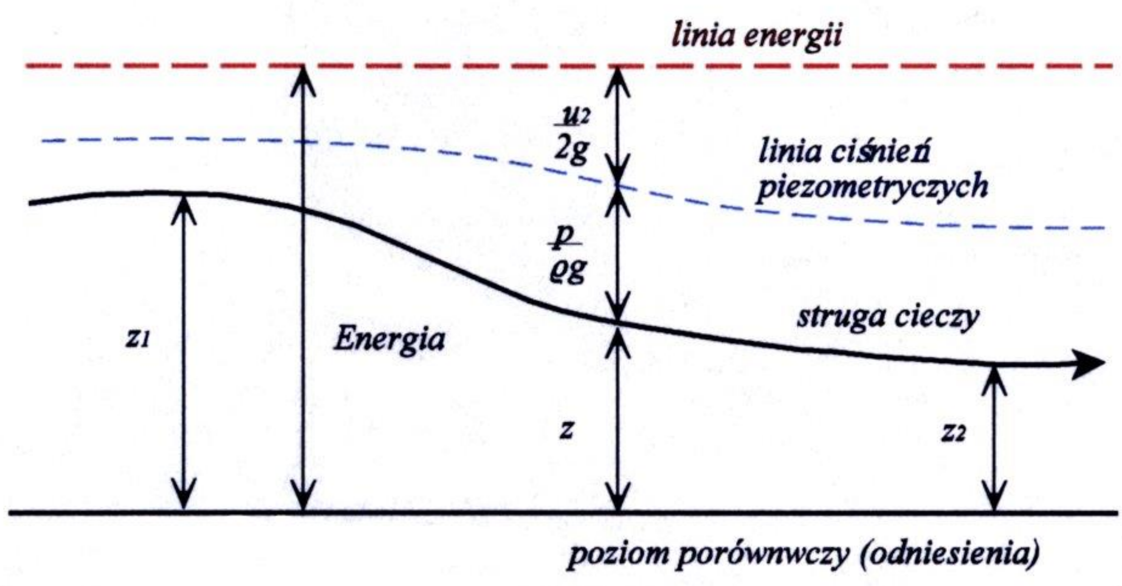
natomiast w powyższym równaniu każdy z członów ma wymiar [m]

Z równania tego wynika, że suma trzech wysokości a mianowicie wysokości odpowiadającej ciśnieniu dynamicznemu $\frac{u^2}{2g}$, wysokości odpowiadającej ciśnieniu statycznemu $\frac{p}{\rho_L \cdot g}$ i wysokości niwelacyjnej (odniesienia) z jest wielkością stałą dla jednostki masy strugi w każdym przekroju przewodu.

lub inaczej

W czasie ustalonego ruchu cieczy doskonałej suma energii kinetycznej, energii ciśnienia i energii potencjalnej położenia dla jednostki masy płynącej strugi cieczy jest wielkością stałą.

RÓWNANIE BERNOULIEGO DLA PŁYNU DOSKONAŁEGO



z - wysokość położenia tj. wysokość wzniesienia środka określonego przekroju poprzecznego strugi cieczy ponad przyjęty poziom odniesienia

$\frac{p}{\rho g}$ **- wysokość ciśnienia** tj. wysokość wzniesienia takiego słupa cieczy, która na podstawę wywiera ciśnienie p

$\frac{u^2}{2g}$ - **wysokość prędkości** tj. wysokość, z której ciecz musiałaby swobodnie spadać, aby osiągnąć prędkość końcową u.

W większości w praktyce przewody są poziome lub bardzo zbliżone do poziomu, czyli $z_1=z_2$ (człony te opuszcza się w równaniu). Przekształcając dalej równanie Bernouliego, mnożąc przez $\rho \cdot g$ otrzymuje się:

$$p_1 - p_2 = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} \cdot \rho$$

czyli zwiększenie prędkości spowoduje spadek ciśnienia i odwrotnie.

Gdy natomiast w równaniu $\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\rho_L \cdot g} + z = const$ opuści się z i pomnoży obie strony przez $\rho \cdot g$ otrzyma się następujące równanie

$$\frac{u^2 \cdot \rho}{2} + p = const.$$

Każdy z członów ma wymiar ciśnienia [Pa], zatem otrzymuje się wyrażenie na ciśnienie całkowite p_c, gdzie $\frac{u^2 \cdot \rho}{2}$ jest ciśnieniem dynamicznym p_d a p jest ciśnieniem statycznym p_s. Stąd prędkość można obliczyć w oparciu o następujący wzór:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_c - p_s)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$$

Objętościowe natężenie przepływu wynosi zatem:

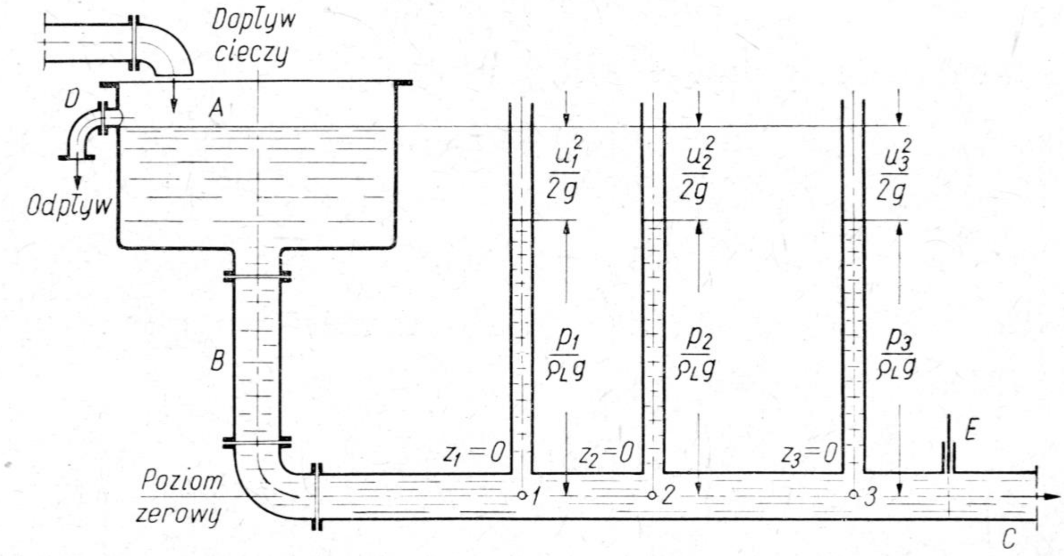
$$U = S \cdot u = S \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_c - p_s)}{\rho}} = S \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}} \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}\right]$$

Natomiast masowe natężenie przepływu jest następujące:

$$W = S \cdot u \cdot \rho = S \cdot \sqrt{2\rho \cdot (p_c - p_s)} = S \cdot \sqrt{2\rho \cdot p_d} \left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}\right]$$

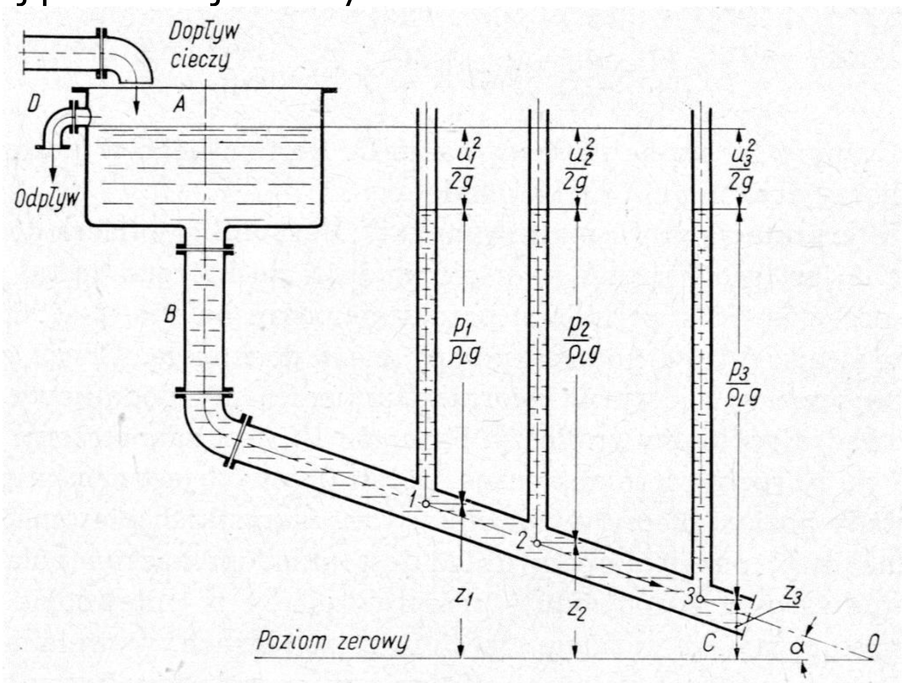
INTERPRETACJA GRAFICZNA RÓWNANIA BERNOULIEGO DLA CIECZY DOSKONAŁEJ

1. Równoległy, poziomy przebieg przewodu w stosunku do poziomu odniesienia. Przekrój przewodu wzdłuż całej długości jest stały tzn., że prędkość przepływu też jest stała.



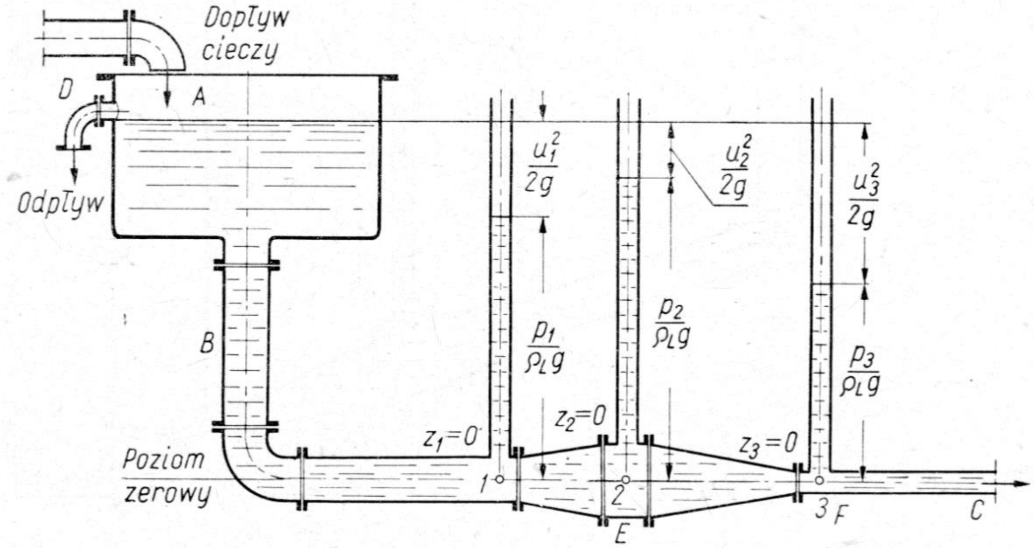
Istnieje zatem niezmienność wysokości: odniesienia, ciśnienia statycznego i dynamicznego przy w/w położeniu przewodu.

2. Przewód przebiega pod kątem α w stosunku do poziomu odniesienia. Przekrój przewodu jest stały.



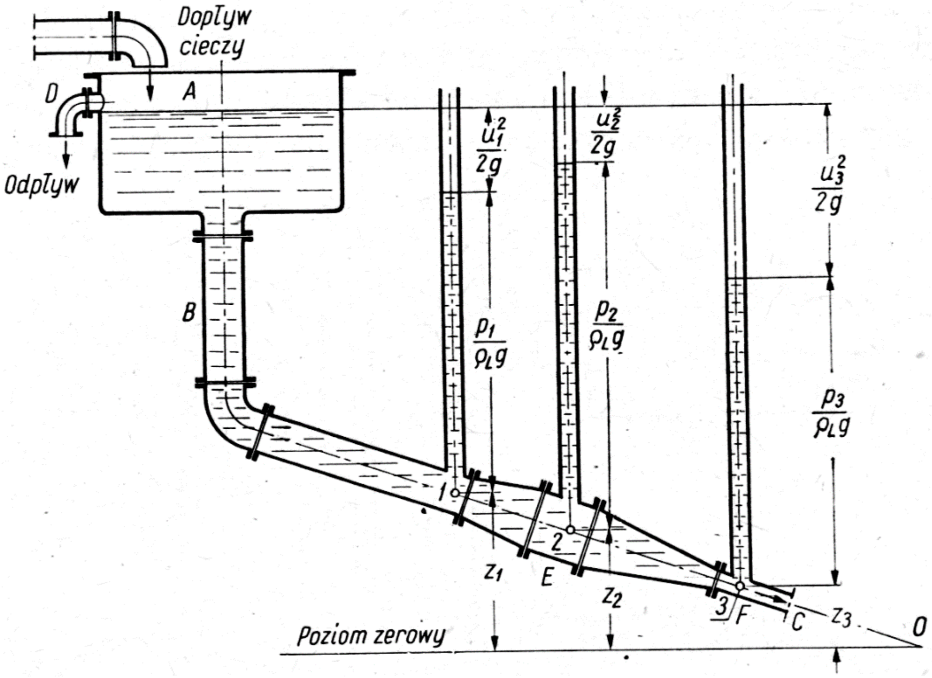
Mimo zmienności wartości trzech wysokości ich suma jest wielkością stałą.

3. Równoległy, poziomy przebieg przewodu w stosunku do poziomu odniesienia. Przekrój przewodu zmienny tzn., że prędkości są różne w różnych przekrojach przewodu.



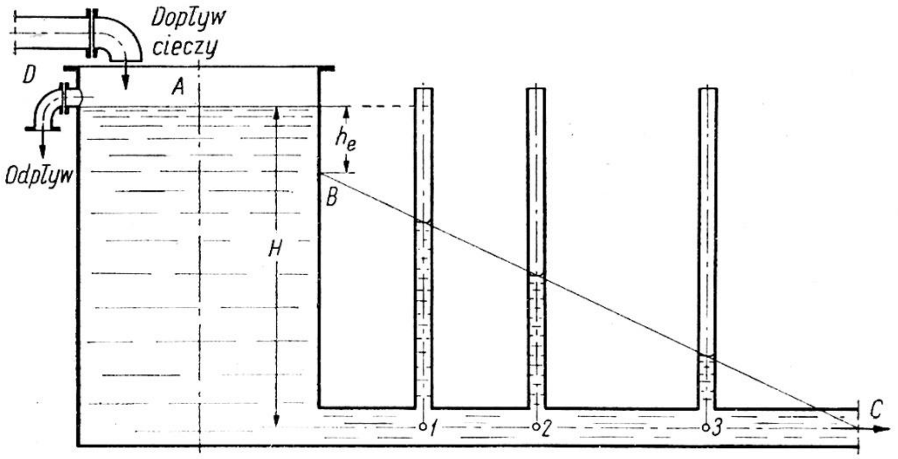
Zwiększenie przekroju oznacza zmniejszenie prędkości przepływu tzn. zmniejszenie energii kinetycznej wzrasta natomiast ciśnienie statyczne. Odwrotnie gdy przekrój zmniejsza się, wzrasta energia kinetyczna czyli ciśnienie dynamiczne a spada ciśnienie statyczne.

4. Przebieg przewodu pod kątem α w stosunku do poziomu odniesienia. Przekrój przewodu zmienny tzn., że prędkości są różne w różnych przekrojach przewodu. (Interpretacja identyczna jak w przypadku 2 i 3).



DYNAMIKA PŁYNÓW RZECZYWISTYCH

RÓWNANIE BERNOULIEGO DLA PŁYNÓW RZECZYWISTYCH

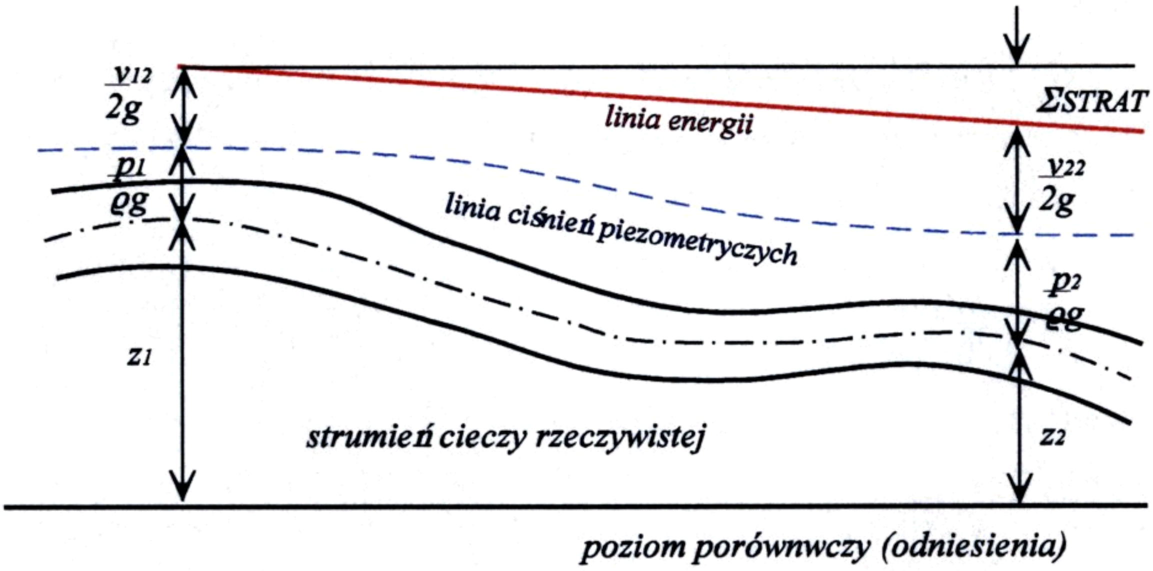


CZĘŚĆ ENERGII JEST TRACONA I ZAMIENIANA NA CIEPŁO

Wysokość h_e odpowiada energii kinetycznej, która jest stała dla każdego z przekrojów (średnica przewodu jest niezmienna). Obserwowane straty ciśnienia tłumaczy się oporami jakie musi pokonać ciecz w czasie przepływu. Opory te wynikają z występowania tarcia wewnętrznego cieczy rzeczywistych jak również mogą być związane z nagłą zmianą przekroju przewodu i kierunku przepływu, istnieniem na przewodzie kurków, zaworów, zasuw itp..

$$\Delta P = f(d, L, u, \rho_F, \eta_F)$$

RÓWNANIE BERNOULIEGO DLA PŁYNÓW RZECZYWISTYCH



$$\frac{u_1^2}{2}+\frac{p_1}{\rho_L}+g\cdot z_1=\frac{u_2^2}{2}+\frac{p_2}{\rho_L}+g\cdot z_2+\frac{\Delta p_{str}}{\rho_L}\quad\left[\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}\right]$$

lub

$$\frac{u_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\rho_L\cdot g}+z_1=\frac{u_2^2}{2g}+\frac{p_2}{\rho_L\cdot g}+z_2+h_{str}\quad[\mathrm{m}]$$

gdzie: Δp_{str} i h_{str} – straty ciśnienia spowodowane oporami przepływu,

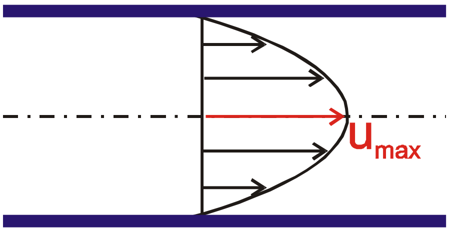
KRYTERIUM REYNOLDSA

$$\mathrm{Re} = \frac{u \cdot d \cdot \rho_L}{\eta} = \frac{u \cdot d}{\nu} = \frac{w \cdot d}{\eta}$$

Ruch laminarny	Ruch przejściowy	Ruch burzliwy
Re<2100	2100<Re<3000	Re>3000

ROZKŁAD PRĘDKOŚCI

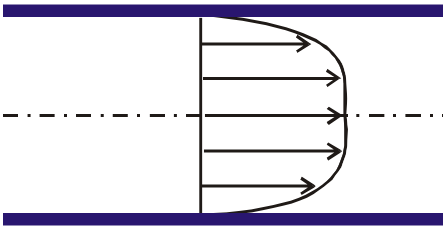
r. laminarny



Strugi czynnika układają się równolegle do osi przewodu, rozkład prędkości ma kształt paraboli. Prędkość maksymalna przypada w osi przewodu.

$u_{śr}=0,5\ u_{max}$

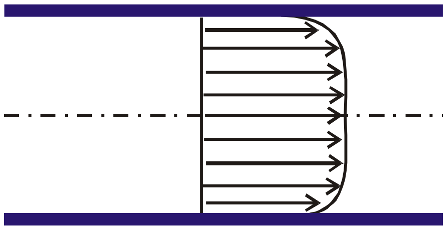
r. przejściowy



$u_{śr}\cong 0,8\ u_{max}$

Strugi czynnika wirują w różnych kierunkach, rozkład prędkości ma kształt spłaszczonej krzywej. W środkowej części przewodu prędkość pozostaje ta sama, maleje do zera przy ściankach.

r. burzliwy



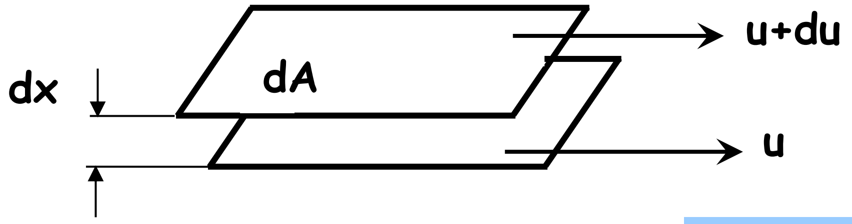
$u_{śr}\cong 0,85\ u_{max}$

PROMIEŃ HYDRAULICZNY - $r_h = \dfrac{powierzchnia}{obwód} = \dfrac{S}{B}$

ŚREDNICA ZASTĘPCZA - $d_e = 4r_h = \dfrac{4S}{B}$

LEPKOŚĆ

Lepkość płynów rzeczywistych wywołuje opór podczas przesuwania się cząstek lub warstewek płynu względem siebie. Siły lepkości (siły tarcia wewnętrznego) występują tylko w czasie ruchu.



SIŁA TARCIA $dT = \eta \dfrac{du}{dx} \cdot dA$ stąd $\eta = \dfrac{dx}{du} \cdot \dfrac{dT}{dA}$

gdzie:

η - **współczynnik lepkości dynamicznej [kg/m·s]=[Pa·s]**

1 Poise=1P=0,1 kg/m·s

1cP=0,001 kg/m·s

ν - **współczynnik lepkości kinematycznej [m²/s]**

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \left[\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}} \right]$$

1 Stokes=0,0001 m^2/s

1cSt=0,01 St

Lepkość dynamiczna cieczy zmniejsza się ze wzrostem temperatury, praktycznie nie zależy od ciśnienia. Dla gazów lepkość dynamiczna zwiększa się z temperaturą, gdy są to gazy doskonałe nie zależy od ciśnienia. Lepkość kinematyczna dla gazów silnie zależy od ciśnienia, dlatego posługujemy się tzw. zredukowaną lepkością kinematyczną ν

RÓWNANIE POISEUILLE'A

Wyprowadza się w oparciu o równowagę sił działających na element poruszającego się płynu. Na taki element działają: siła ciężkości, siła parcia (wywołująca ruch), siła przeciwparcia, siły ściskające element płynu i siła tarcia. Postać równania jest następująca: W założeniu płyn porusza się

RUCHEM UWARSTWIONYM, CZYLI LAMINARNYM.

$$U = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot d^4}{128\eta_L \cdot L}$$

zaś prędkość maksymalną, która przy w/w założeniu przypada w osi przewodu i prędkość średnią można wyliczyć w oparciu o wzory:

$$u_{śr} = \frac{\Delta P \cdot d^2}{32\eta_L \cdot L}$$

$$u_{\max} = \frac{\Delta P \cdot d^2}{16\eta_L \cdot L}$$

stąd $\dfrac{u_{\max}}{u_{śr}} = 2$

zatem $u_{\max} = 2 \cdot u$

RUCH BURZLIWY

Dla ruchu burzliwego objętościowe natężenie przepływu i prędkość maksymalną można wyznaczyć w oparciu o wzory:

$$U = \frac{49}{60} \cdot \frac{\pi \cdot u_{\max} \cdot d^2}{4}$$

$$u_{\max} \cong 1{,}18 \cdot u$$

RUCH PRZEJŚCIOWY

Natomiast dla przejściowego przepływu płynu w/w wyznacza się w oparu o podane niżej wzory:

$$U = \frac{49}{60} \cdot \frac{\pi \cdot u_{\max} \cdot d^2}{4}$$

$$u_{\max} \cong 1{,}25 \cdot u$$

STRATY CIŚNIENIA WYWOŁANE TARCIEM WEWNĘTRZNYM

$$\Delta P = f(d, L, u, \rho_F, \eta_F)$$

zgodnie z analizą wymiarową

$$Eu = A\left(\frac{L}{d}\right)^b \mathrm{Re}^{-e}$$

$$\frac{L}{d} = K_g$$ - kryterium podobieństwa geometrycznego

$$\mathrm{Re} = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\eta}$$ - kryterium Reynoldsa

$$\mathrm{Eu} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot u^2}$$ - kryterium Eulera

Na podstawie doświadczeń ustalono, że wykładnik potęgowy **b=1**, natomiast wykładnik potęgowy **e** i współczynnik proporcjonalności **A** przybierają różne wartości.

Stąd spadek ciśnienia można wyrazić następująco:

$$\Delta p = 2A \cdot \mathrm{Re}^{-e} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2 \cdot \rho}{2} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2 \cdot \rho}{2}$$

przy czym

$$\lambda = f(\mathrm{Re})$$

CIŚNIENIE HYDROSTATYCZNE

Różnica ciśnień na dwóch poziomach płynu o gęstości ρ_L i odległych w kierunku pionowym h wynosi:

$$\Delta p = h \cdot \rho_L \cdot g \ \ [\mathrm{Pa}]$$

Jeżeli na zwierciadłem panuje ciśnienie p_0 to w dowolnym punkcie cieczy oddalonym o h od zwierciadła ciśnienie wynosi:

$$p = p_0 + h \cdot \rho_L \cdot g$$

OPORY TARCIA WEWNĘTRZNEGO

Spadek ciśnienia płynu w czasie przepływu przez rurę o długości L i niezmiennej średnicy d, spowodowany oporami tarcia wewnętrznego:

$$\boxed{\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2 \cdot \rho}{2}}$$ - **r. Darcy-Weisbacha**

gdzie: λ – współczynnik oporu tarcia wewnętrznego, funkcja liczby Reynoldsa,

a) RUCH LAMINARNY:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}} \quad \text{zatem} \quad \Delta p = \frac{32u \cdot \eta \cdot L}{d^2}$$ - **r. Poiseuille'a**

b) RUCH BURZLIWY (rura gładka):

gdy **$3 \cdot 10^3 < \mathrm{Re} < 10^5$**

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{\mathrm{Re}}}$$ - **r. Blasiusa**

gdy **$3 \cdot 10^3 < \mathrm{Re} < 3 \cdot 10^6$**

$$\lambda = 0{,}0052 + \frac{0{,}5}{\mathrm{Re}^{0{,}32}}$$ - **r. Koo**

gdy **$10^5 < \mathrm{Re} < 10^8$**

$$\lambda = 0{,}0032 + \frac{0{,}221}{\mathrm{Re}^{0{,}237}}$$ - **r. Nikuradsego**

gdy **$10^4 < \mathrm{Re} < 10^7$**

$$\lambda = \frac{0{,}184}{\mathrm{Re}^{0{,}2}}$$ - **r. Blasiusa**

c) RUCH BURZLIWY (rura szorstka):

$$\lambda = \frac{1}{(2\lg 3{,}72 \cdot d/k)^2}$$

gdzie: k – szorstkość bezwzględna [m],

Oprócz oporów tarcia wewnętrznego wyróżniamy **opory lokalne (zmiana kierunku lub kształtu geometrycznego rurociągu)**, zatem opory sumaryczne są sumą oporów tarcia wewnętrznego i oporów lokalnych.

$$\boxed{\Delta p_n = \zeta_n \cdot \frac{u^2 \cdot \rho}{2}}$$

ζ - współczynnik oporu lokalnego zależny od rodzaju oporu np. nagłe przewężenie lub rozszerzenie przewodu, istnienie zaworu na przewodzie, zmiana kierunku przepływu itp.

Zatem:

$$\Delta p + \Delta p_n = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2 \cdot \rho}{2} + \Sigma \zeta_n \cdot \frac{u^2 \cdot \rho}{2}$$

URZĄDZENIA SŁUŻĄCE DO POMIARU PRĘDKOŚCI PRZEPŁYWU PŁYNU

1. ZWĘŻKA POMIAROWA (w postaci dyszy lub kryzy)

Zasada pomiaru polega na stwierdzeniu proporcjonalności objętościowego natężenia przepływu płynu do pierwiastka kwadratowego spadku ciśnienia mierzonego w obrębie zwężki. Zwężka jest pierścieniową płytką mającą kołowy otwór o średnicy mniejszej niż średnica przewodu, środek otworu pokrywa się z osią przewodu.

2. RURKA PITOTA I PRANDLA

Rurka Pitota. Jedno ramię rurki ustawione jest „pod prąd" i mierzy sumę ciśnienia statycznego i dynamicznego, drugie ramię wskazuje ciśnienie statyczne w tym samym przekroju, co ramię pierwsze. Różnica słupów w manometrze odpowiada, zatem energii kinetycznej płynu, która jak wiadomo jest proporcjonalna do prędkości przepływu.

3. RURA VENTURIEGO

Rura Venturiego składa się z cylindrycznej tulei wlotowej, zwężki właściwej i dyfuzora tworzącego łagodnie rozszerzający się stożek ścięty. Straty ciśnienia w tym przypadku spowodowane są z przewężeniem strumienia płynu a następnie z jego powiększeniem są znacznie mniejsze niż przy użyciu zwężki. Rura Venturiego służy do precyzyjnych pomiarów prędkości przepływu na stałe.

4. ROTAMETRY

Rotametr składa się z pionowej rury rozszerzającej się w kierunku przepływu płynu. Podczas przepływu płynu z dołu do góry wewnątrz rury umieszczony jest pływak o gęstości większej niż przepływający płyn. Pływak utrzymywany jest na stałym poziomie, gdy prędkość przepływu jest stała. W tym przypadku zachodzi równowaga dwóch sił: siły ciężkości pływaka (F_p) i siły parcia (R), jakie wywiera płyn na pływak poruszający się ku górze. Prędkość przepływu będzie, zatem równa:

$$u = \sqrt{\frac{2g(\rho_p - \rho_L)V_p}{S\rho_L}}$$

ZADANIA

ZADANIE 1

Przewodem o średnicy wewnętrznej 42mm płynie wodny roztwór gliceryny o gęstości 1190 kg/m^3 (15°C). Obliczyć prędkość liniową oraz objętościowe natężenie przepływu, jeśli w ciągu godziny przepływa 6000kg roztworu.

ZADANIE 2

W wymienniku ciepła o średnicy wewnętrznej 0,53 m płynie woda o temperaturze 60°C z prędkością 0,3 m/s. Wewnątrz wymiennika znajduje się 61 rurek, które ułożone są w foremne sześciokąty. Średnica zewnętrzna każdej z rurek wynosi 33mm. Wyznaczyć charakter ruchu wody, przyjąć, że gęstość wody wynosi 983 kg/m^3, lepkość dynamiczna jest równa $0{,}47\cdot10^{-3}$ Pa·s oraz, że przepływ wody jest równoległy do rurek.

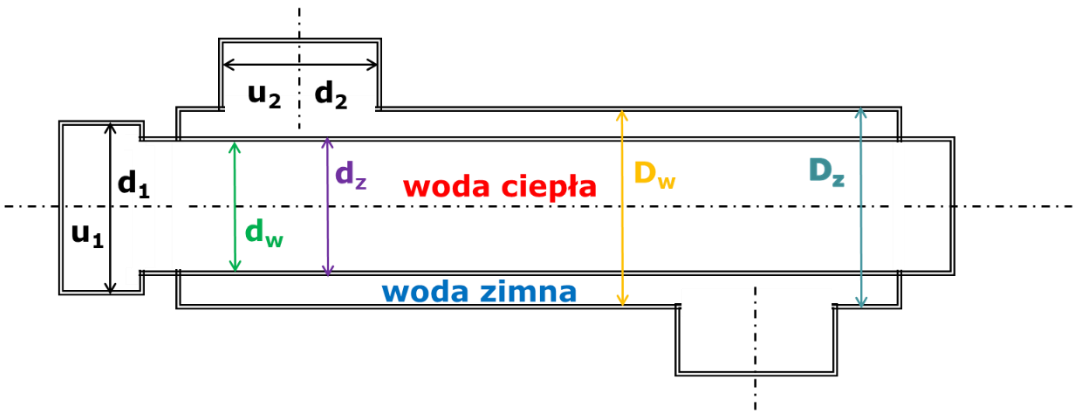
ZADANIE 3

Obliczyć krytyczną prędkość, przy której następuje zmiana charakteru przepływu z laminarnego na przejściowy dla:

a) wody o temperaturze 20°C (dane dla wody ρ=998 kg/m^3; $\eta=10^{-3}$ Pa·s),

b) oleju mineralnego o temperaturze 20°C (dane dla oleju ρ=910 kg/m^3; $\eta=114\cdot10^{-3}$ Pa·s) w przewodzie o średnicy 92mm.

ZADANIE 4



Do wymiennika ciepła przewodem o średnicy wewnętrznej d_1 26 mm dopływa woda ciepła z prędkością u_1=1,43 m/s oraz przewodem o średnicy wewnętrznej d_2 32 mm woda zimna z prędkością 0,8 m/s. Woda ciepła dopływa do wewnętrznej rury wymiennika. Obliczyć średnice rur wymiennika, jeżeli wiadomo, że woda ciepła i zimna płyną w wymienniku z prędkością u=2 m/s. Grubość ścianek obu rur wymiennika wynosi 2mm. Gęstość cieczy jest stała.

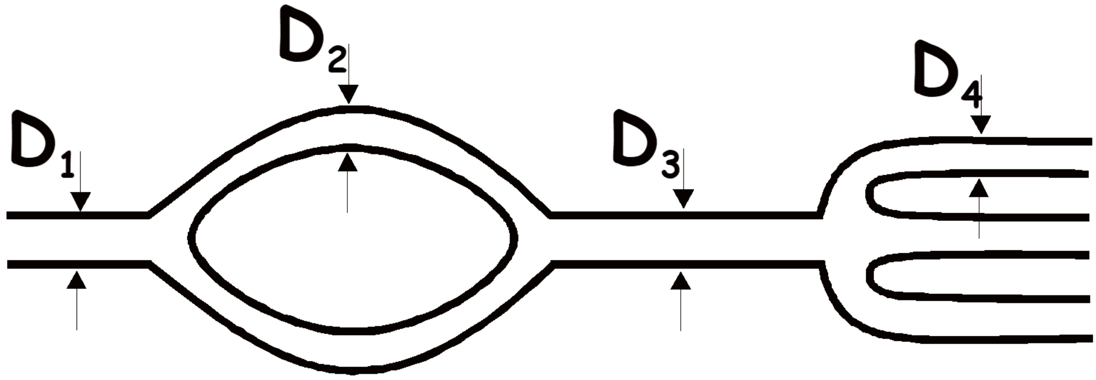
ZADANIE 5

Do rurek wymiennika ciepła przewodem o średnicy wewnętrznej 200 mm dopływa ciecz z prędkością 0,7 m/s. W rurkach, które mają średnice wewnętrzną 14mm prędkość przepływu wynosi 2,8 m/s. Obliczyć liczbę rurek w wymienniku. Gęstość cieczy jest stała.

ZADANIE 6

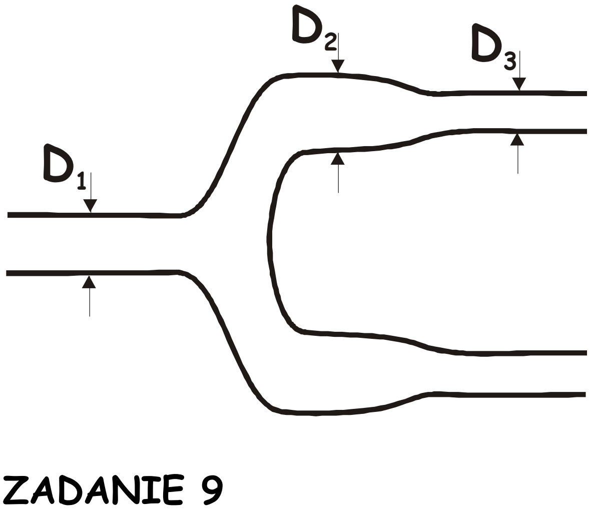
Rurociągiem o średnicy D_1=150mm płynie ciecz z prędkością u_1 równą 20m/s. Rurociąg rozdziela się na dwie nitki, obliczyć średnice tych dwu nitek, wiedząc, że $u_1=1/2u_2$. Zakładamy gęstość cieczy stałą na całej długości rurociągu.

ZADANIE 7



Średnica D_1 wynosi 0,13 m zaś prędkość przepływu cieczy u_1=0,7 m/s. Następnie rurociąg rozdziela się na dwie nitki a średnica D_2 wzrasta dwukrotnie w porównaniu z D_1. Kolejno rurociąg łączy się w jedną nitkę a prędkość u_3 wynosi 0,3 m/s. Na koniec rurociąg rozdziela się na trzy nitki, w których prędkość przepływu u_4 wzrasta do 0,5 m/s. Obliczyć u_2, D_3 i D_4.

ZADANIE 8



Rurociągiem płynie kwas siarkowy. Średnice rurociągu zmieniają się jak na rysunku. Objętościowe natężenie przepływu wynosi 0,006 m^3/s. Średnica d_1=51mm, natomiast średnica d_2 jest nieznana, d_3 stanowi 0,7 średnicy d_2. Wyznaczyć prędkości u_1, u_3 wiedząc, że prędkość u_2=1,2 m/s oraz średnice d_2 i d_3?

ZADANIE 9

W poziomej rurze o średnicy 30 mm, w której płynie woda (ρ_L=1000 kg/m^3) panuje ciśnienie statyczne równe 87 mmHg. Całkowite ciśnienie wynosi 154 mmHg. Wyznaczyć prędkość przepływu wody i objętościowe natężenie przepływu.

ZADANIE 10

Ciśnienie całkowite w przewodzie o przekroju 250x270mm, którym płynie gliceryna (ρ_L=1261,3 kg/m^3) wynosi 115 mmHg. Wiedząc, że objętościowe natężenie przepływu wynosi 0,25 m^3/s wyznaczyć ciśnienie statyczne panujące w płynącej glicerynie. Przewód jest poziomy.

ZADANIE 11

Dany jest poziomy przewód o zmiennym przekroju. Natężenie objętościowe przepływu wody przez ten przewód wynosi 0,07 m^3/s. W pierwszej części przewodu gdzie d_1=250 mm ciśnienie statyczne wynosi 1,2 mH_2O. Wyznaczyć ciśnienie statyczne panujące w drugiej części przewodu, gdzie d_2=470 mm. Przyjąć gęstość wody równą 1000 kg/m^3.

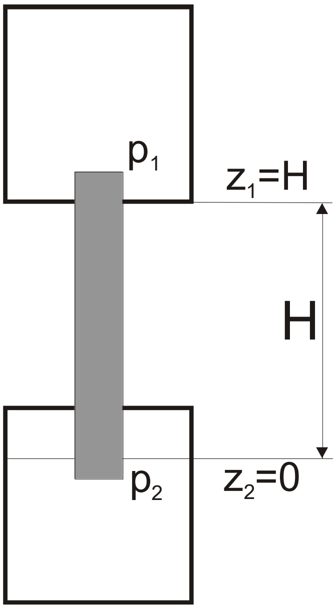
ZADANIE 12

Przewód, którym płynie woda, nachylony pod kątem do poziomu ma taki sam przekrój na całej długości d=50 mm. Poziom odniesienia z_1 wynosi 1 m natomiast poziom odniesienia z_2 jest równy 0,4 m. Objętościowe natężenie przepływu wody wynosi 0,02 m^3/s. Ciśnienie statyczne w pierwszej części przewodu wynosi natomiast 1,03 mH_2O. Wyznaczyć ciśnienie statyczne panujące w drugiej części przewodu. Gęstość wody jest równa 1000 kg/m^3.

ZADANIE 13

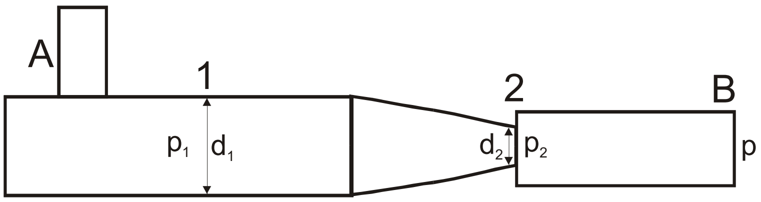
Przewód jest usytuowany pod kątem do poziomu. Średnica w pierwszej części przewodu wynosi 75 mm. Wysokość odniesienia z_1 stanowi 5/4 wysokości z_2, która jest równa 0,6 m. Prędkość przepływu cieczy w drugiej części przewodu u_2=3,1 m/s. W ciągu 1 sekundy transportowane jest 2,03 kg cieczy o gęstości 779,1 kg/m^3. Wyznaczyć wartość ciśnienia statycznego w pierwszej części przewodu, wiedząc, że natomiast drugiej części wynosi ono 0,4 mH_2O. Wyznaczyć także z_1 i d_2.

ZADANIE 14



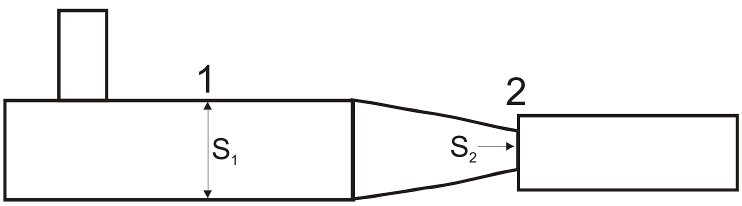
Z ostatniego działu wyparki trójdziałowej wpływa do skraplacza barometrycznego para o ciśnieniu 15 kPa. Obliczyć konieczną wysokość rury barometrycznej i jej średnicę, jeżeli masowe natężenie przepływu masy wody wynosi 25 kg/s. Przyjąć prędkość przepływu wody w rurze skraplacza równą 0,3 m/s, a ciśnienie atmosferyczne 750 mmHg. Opory przepływu pominąć a gęstość wody przyjąć równą 1000 kg/m^3.

ZADANIE 15



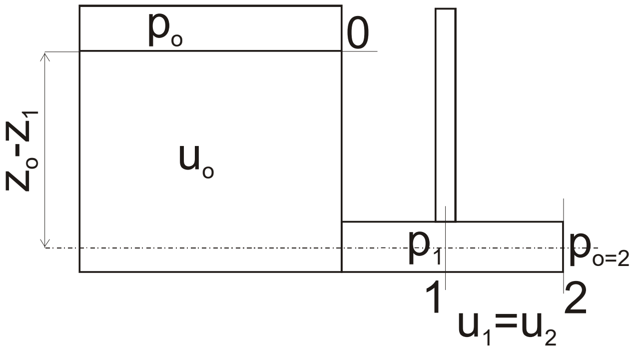
W inżektorze wodno-wodnym przewodem A o średnicy 0,1 m płynie woda z natężeniem 0,015 m^3/s. Średnica przewężenia wynosi 0,05 m. Piezometr ustawiony w przewodzie A wskazuje ciśnienie 6,85 kPa. Woda z rury B wypływa do atmosfery (p=101,07 kPa). Obliczyć ciśnienie absolutne p_2 w przekroju 2. (gęstość wody= 1000 kg/m^3).

ZADANIE 16



Obliczyć prędkość przepływu w inżektorze wodno-wodnym w przekroju 2 oraz objętościowe natężenie przepływu wiedząc, że powierzchnia przekroju w przewężeniu wynosi 0,02 m^2, stosunek przekroju zwężonego do normalnego wynosi 0,02, ciśnienie w przewodzie normalnym wynosi 150 kPa natomiast w przekroju 2 wynosi 2,34 kPa (ρ_L=1000 kg/m^3).

ZADANIE 17



Na rysunku przedstawiono wygląd zbiornika z wodą i rurociągu, obliczyć h_{str}:
a) pomiędzy zbiornikiem i przekrojem 2,
b) pomiędzy przekrojem 1 i 2,
Ciśnienie statyczne w zbiorniku p_0 wynosi 778 mmHg, woda z przekroju 2 wylewa się do atmosfery, ciśnienie statyczne p_1 wynosi natomiast 800 mmHg. Różnica pomiędzy wysokością odniesienia z_0 i z_2 wynosi 2 m, prędkość przepływu wody ze zbiornika do rury u_0 wynosi 0,0004 m/s natomiast prędkość u_1=u_2 i wynosi 1,7 m/s. Przyjąć gęstość wody równą 1000 kg/m^3.

ZADANIE 18

Przewód, który transportuje wodę (ρ_L=1000 kg/m^3) jest nachylony pod kątem do poziomu. Poziom odniesienia z_1 wynosi 1,2 m natomiast z_2=0,6 m. Przewód transportuje 76 kg wody na minutę, średnica w przekroju 1 wynosi 50 mm, średnica w przekroju 2 stanowi 86% średnicy d_1.Ciśnienia statyczne wynoszą odpowiednio p_1=8 mH_2O natomiast p_2=4,5 mH_2O. Obliczyć h_{str} pomiędzy przekrojami 1 i 2.

ZADANIE 19

Przewodem prostoliniowym o średnicy 120 mm i długości 120 m przepływa woda w temperaturze 20^{0}C z liniową prędkością 1,2 m/s. Współczynnik lepkości dynamicznej dla wody w tej temperaturze wynosi 1 cP, gęstość jest bliska 1000 kg/m^3. Obliczyć objętościowe natężenie przepływu i straty ciśnienia wywołane tarciem wewnętrznym. Opory lokalne pominąć.

ZADANIE 20

Woda wodociągowa o temperaturze 10^{0}C jest transportowana pionową rurą o średnicy 130 mm i wysokości 15000 mm do aparatu umieszczonego na trzeciej kondygnacji hali technologicznej. Obliczyć straty ciśnienia spowodowane przepływem 3,5 litra wody na sekundę. (ρ_L=1000 kg/m^3, η=1,3071 cP).

ZADANIE 21

Oblicz objętościowe natężenie przepływu płynu poruszającego się ruchem laminarnym w przewodzie o powierzchni przekroju 10 cm^2, którego prędkość w osi przewodu wynosi 2 cm/s.

ZADANIE 22

Rurociągiem o średnicy 120 mm, w temperaturze 30°C, ruchem laminarnym płynie roztwór gliceryny z prędkością średnią 5 m/s. Obliczyć straty ciśnienia spowodowane występowaniem sił tarcia wewnętrznego i objętościowe natężenie przepływu wiedząc, że lepkość kinematyczna gliceryny w w/w temperaturze wynosi $5{,}3 \cdot 10^{-4}$ m^2/s, gęstość roztworu gliceryny jest równa 1190 kg/m^3 a długość rurociągu wynosi natomiast 4000 mm.