DYNAMIKA PŁYNÓW DOSKONAŁYCH

Płyny: ciecze, gazy

Ciecze doskonałe:

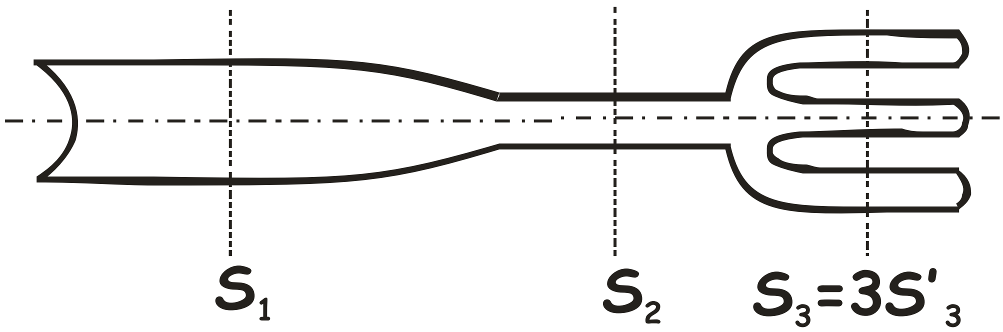
- gęstość cieczy na całej długości przewodu się nie zmienia,
- brak tarcia wewnętrznego, cząstki idealnie ruchliwe, cząstki nieściśliwe,
- spełnia prawa Eulera, Pascala i Archimedesa,

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**:

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

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

u - średnia prędkość przepływu, ρ - gęstość płynu,

S - pole powierzchni przekroju przewodu,

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

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

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

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

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

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

zakładając przekrój kołowy pole przekroju S wyniesie odpowiednio:

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

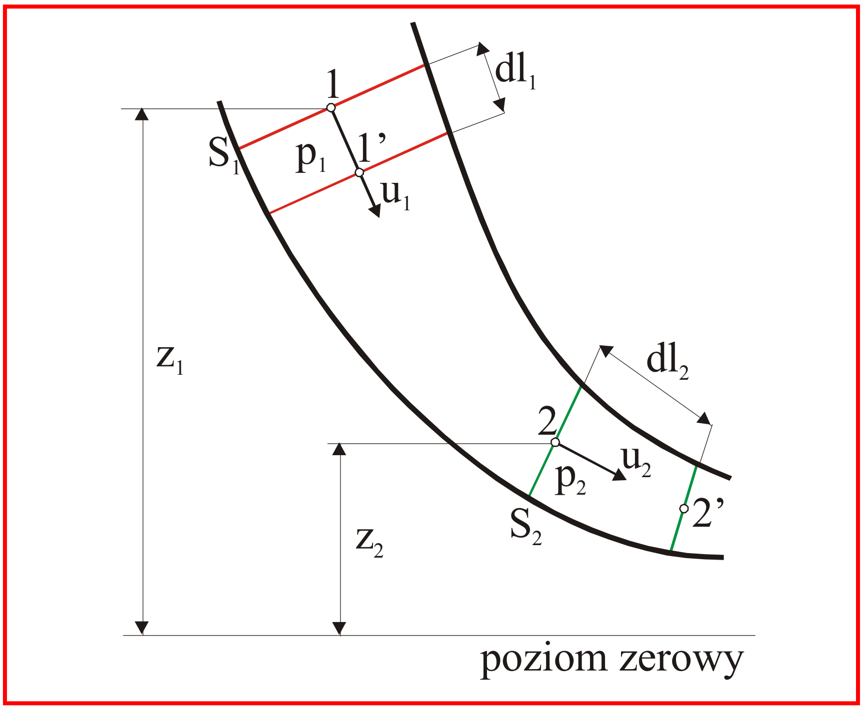
$$\boxed{\frac{u_1}{u_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}}$$

PRĘDKOŚĆ MASOWA STRUMIENIA CIECZY

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.

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

opuści się z i pomnoży obie strony przez $\rho \cdot g$ otrzyma się następujące równanie

$$\frac{u^2\rho}{2} + p = H\rho g$$

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:

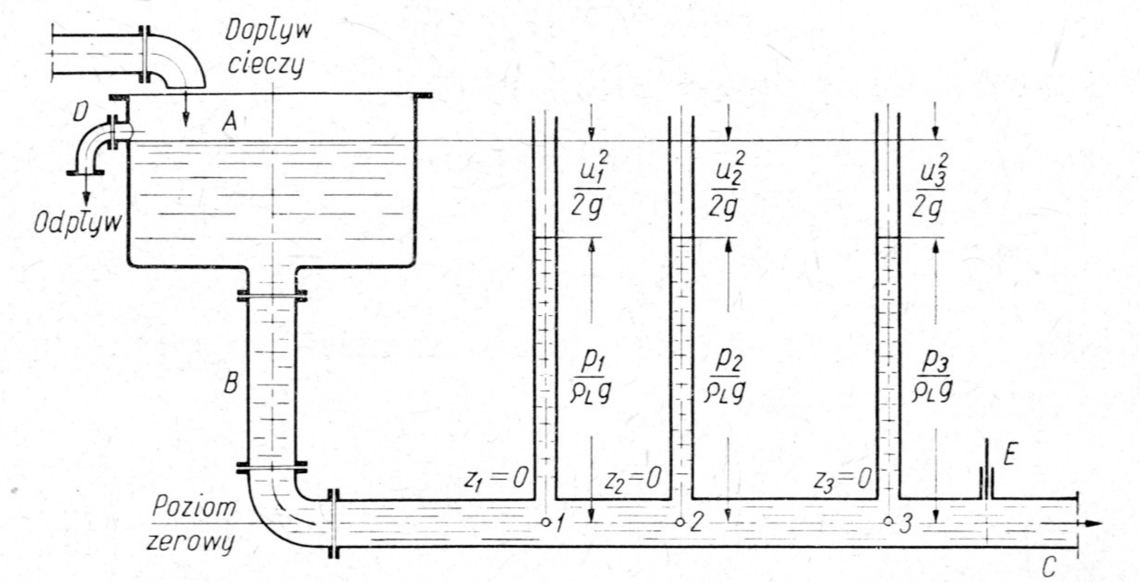
$$U = S \cdot u = S \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_c - p_s)}{\rho}} = S \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}} \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}\right]$$

Natomiast masowe natężenie przepływu jest następujące:

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

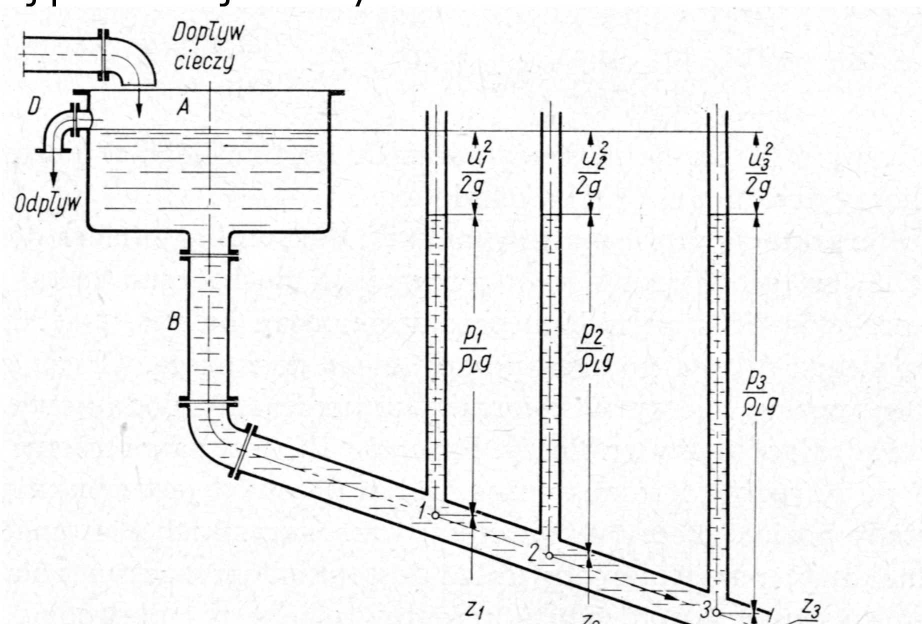
INTERPRETACJA GRAFICZNA RÓWNANIA BERNOULIEGO DLA CIECZY DOSKONAŁEJ

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



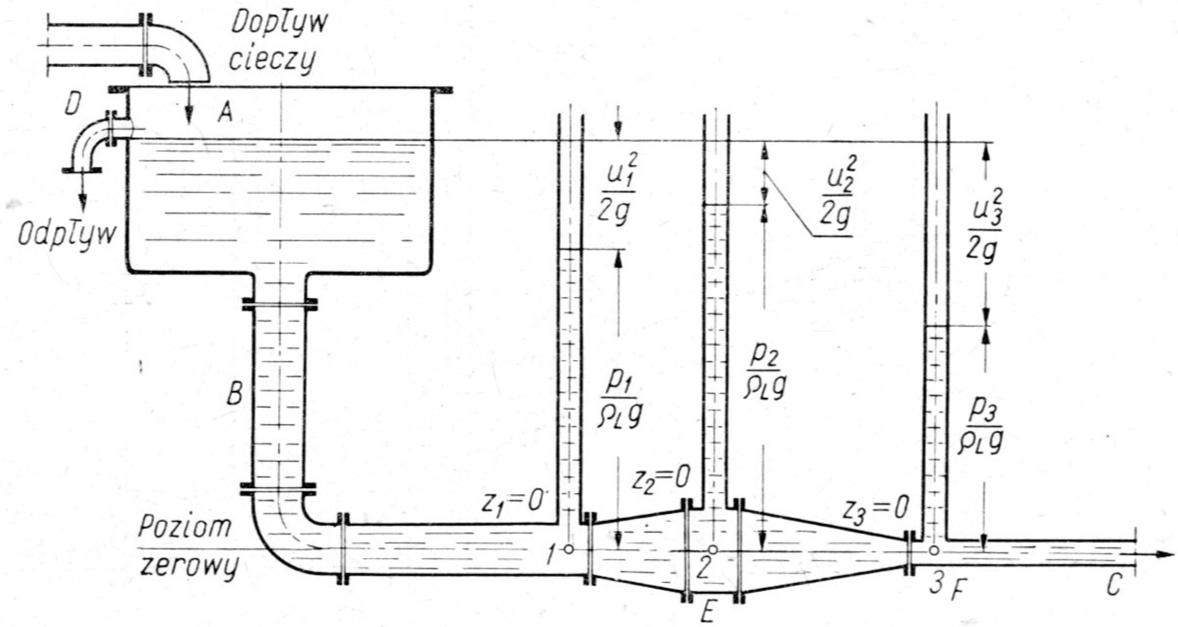
<u>Istnieje zatem niezmienność wysokości: odniesienia, ciśnienia statycznego i dynamicznego przy w/w położeniu przewodu.</u>

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



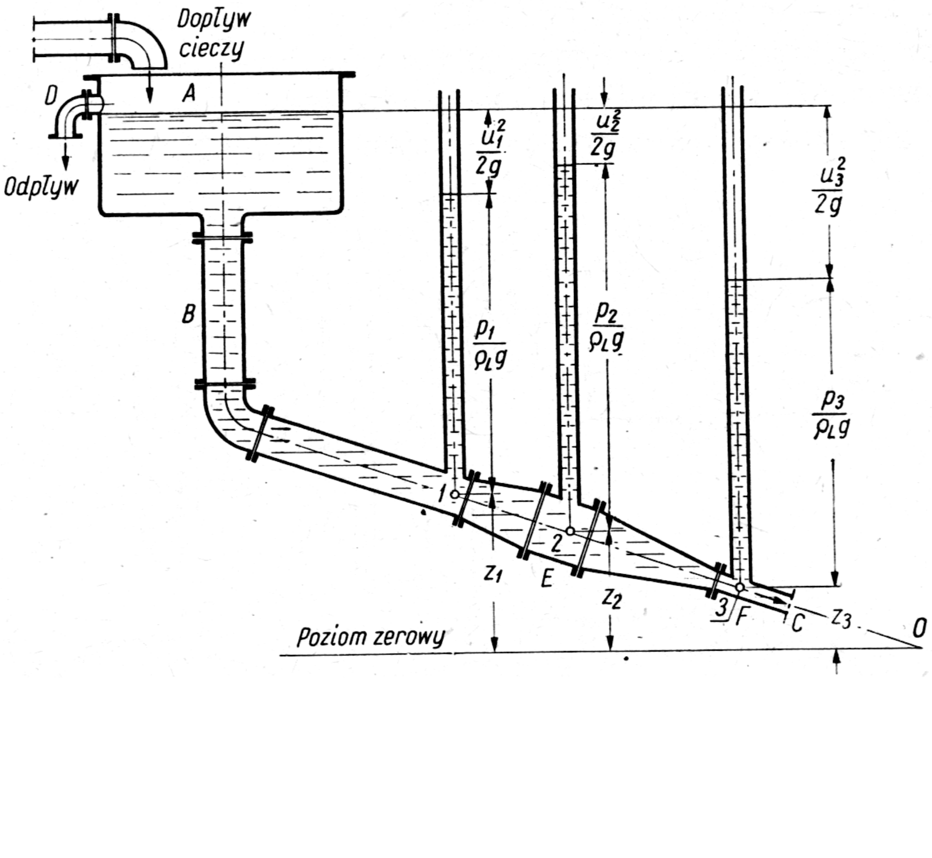
<u>Mimo zmienności wartości trzech wysokości ich suma jest wielkością stałą.</u>

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

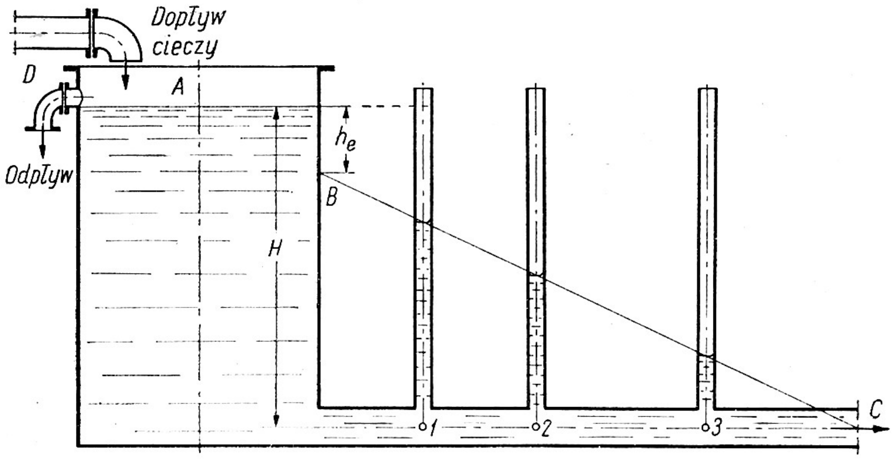


<u>Zwiększenie przekroju oznacza zmniejszenie prędkości przepływu tzn. zmniejszenie energii kinetycznej wzrasta natomiast ciśnienie statyczne. Odwrotnie gdy przekrój zmniejsza się, wzrasta energia kinetyczna czyli ciśnienie dynamiczne a spada ciśnienie statyczne.</u>

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).



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..

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

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

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

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

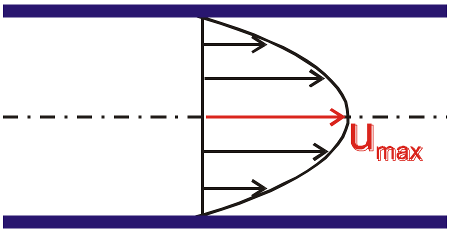
KRYTERIUM REYNOLDSA

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

Ruch laminarny	Ruch przejściowy	Ruch burzliwy
Re<2100	2100<Re<3000	3000<Re<500000

ROZKŁAD PRĘDKOŚCI

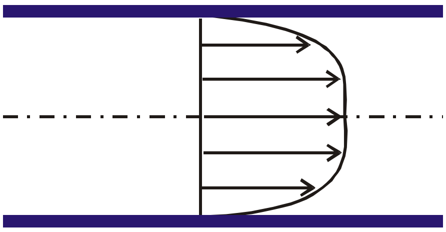
r. laminarny



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

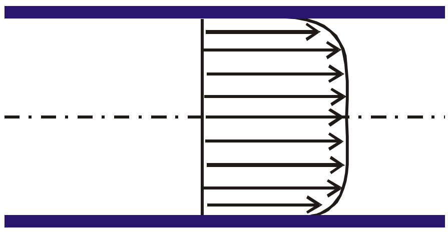
$u_{śr}=0,5\ u_{max}$

r. przejściowy



$u_{śr} \cong 0,8\ u_{max}$

r. burzliwy



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.

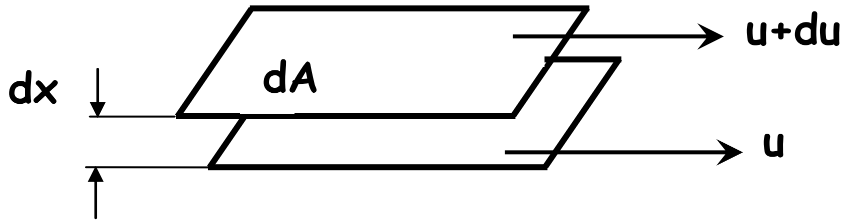
$u_{śr} \cong 0,85\ u_{max}$

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 [m^2/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

DYNAMIKA PŁYNÓW RZECZYWISTYCH

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:

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

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

DYNAMIKA PŁYNÓW RZECZYWISTYCH

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

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:

$\Delta p = h \cdot \rho_L \cdot g$ [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:

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

b) RUCH BURZLIWY (rura gładka):

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

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

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

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

gdy $\mathbf{10^5 < Re < 10^8}$

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

gdy $\mathbf{10^4 < Re < 10^7}$

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

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

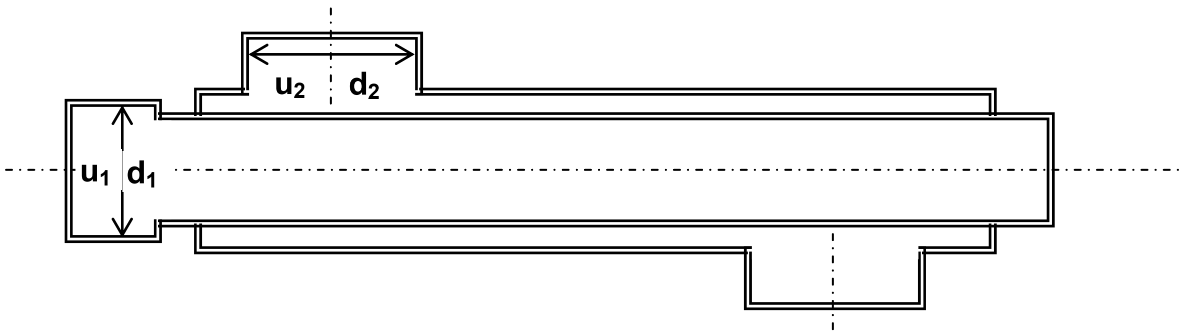
ZADANIE 3

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

a) wody o temperaturze 20^{o}C (dane dla wody r=998 kg/m^3; h=10^{-3} Pa·s),

b) oleju mineralnego o temperaturze 20^{o}C (dane dla oleju r=910 kg/m^3; h=114·10^{-3} Pa·s) w przewodzie o średnicy 92mm.

ZADANIE 4

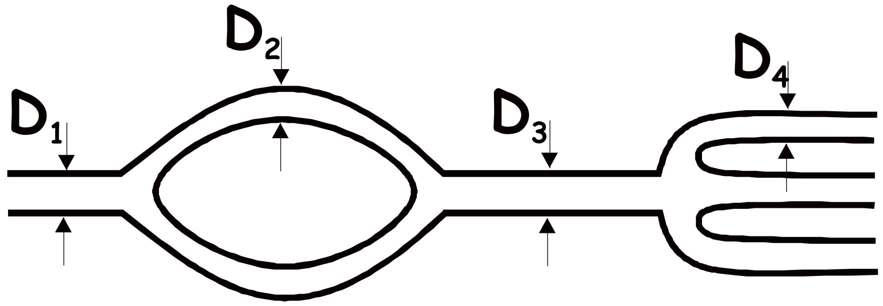


Do wymiennika ciepła przewodem o średnicy wewnętrznej d_1 26mm dopływa woda ciepła z prędkością u_1=1,43 m/s oraz przewodem o średnicy wewnętrznej d_2 32mm woda zimna z prędkością 0,8m/s. Woda ciepła dopływa do wewnętrznej rury wymiennika. Obliczyć średnice rur wymiennika, jeżeli wiadomo, że woda ciepła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

ZADANIE 5

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 6



Jest dany rurociąg średnica D_1 wynosi 0,13m zaś prędkość przepływu cieczy u_1=0,07m/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 i średnica D_3 wynosi 0,64m. Na koniec rurociąg rozdziela się na trzy nitki. Obliczyć u_2, u_3, u_4 i D_4. Ponadto wiadomo, że gęstość jest stała a $S_3=0{,}2S_4'$. UWAGA: $S_4=3S_4'$.

ZADANIE 7

W poziomej rurze o średnicy 30mm, 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 8

Ciśnienie całkowite w przewodzie o przekroju 250x270mm, którym płynie gliceryna (r_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 9

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

ZADANIE 10

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

ZADANIE 11

Rurociągiem o średnicy 120mm, w temperaturze 30^oC, ruchem laminarnym płynie roztwór gliceryny z prędkością średnią 5m/s. Obliczyć straty ciśnienia spowodowane występowaniem sił tarcia wewnętrznego i objętościowe natężenie przepływu wiedząc, że lepkość kinematyczna gliceryny w w/w temperaturze wynosi $5{,}3\cdot10^{-4}$ m^2/s, gęstość roztworu gliceryny jest równa 1190kg/m^3 a długość rurociągu wynosi natomiast 4000mm.

ZADANIE 12

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

ZADANIE 13

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