OPADANIE CZĄSTEK CIAŁ STAŁYCH W PŁYNACH

UKŁAD NIEJEDNORODNY – złożony jest z fazy rozpraszającej (gazowej lub ciekłej) i fazy rozproszonej stałej.
Rozdzielanie układów niejednorodnych prowadzi się w celu oczyszczenia fazy płynnej i/lub wyodrębnienia fazy rozproszonej stałej.

OPORY W TRAKCIE RUCHU CZĄSTEK CIAŁ STAŁYCH W PŁYNACH

Ciała spadają swobodnie w powietrzu ruchem jednostajnie przyspieszonym. W próżni po czasie τ prędkość jest równa:

$$u = g \cdot \tau$$

Gdy spadające ciała są duże i prędkość spadania niewielka, opór ośrodka jest pomijany. Gdy natomiast ciała posiadają średnicę mniejszą bądź równą 10^{-4}m opór ośrodka jest znaczący, tym większy im większa jest prędkość opadania. Opadające cząstki ciał stałych mogą być kuliste i niekuliste. W technologii ceramicznej bardzo często ma się do czynienia z cząstkami o w/w rozmiarach.
W celu prześledzenia mechanizmu opadania cząstki stałej w płynie należy założyć:

1) cząstka opadająca jest pojedyncza, nie wywierają na nią wpływu inne cząstki,
2) cząstka jest kulista o średnicy d,

Ciśnienie jakie jest wywierane na opadającą cząstkę zależy od jej średnicy d, prędkości opadania u_o, gęstości ośrodka płynnego ρ_F i jego lepkości η_F.

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

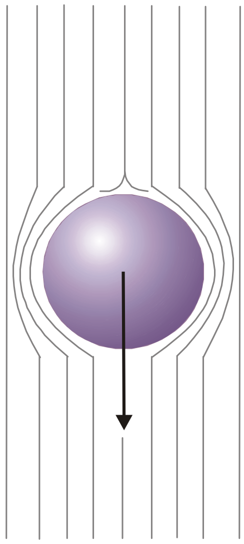
Posługując się analizą wymiarową, metodą Rayleigha dochodzi się do następującej zależności na siłę oporu ośrodka

$$R = \lambda A \frac{u_o^2}{2} \rho_F$$

gdzie współczynnik oporu ośrodka λ jest funkcją liczby Reynoldsa $\lambda = f(\mathrm{Re})$

Siła oporu ośrodka zależy od energii kinetycznej opadającej cząstki, gęstości ośrodka oraz charakteru ruchu cząstki kulistej.

Zależność współczynnika oporu ośrodka od liczby Reynoldsa wyznaczono doświadczalnie, gdy:



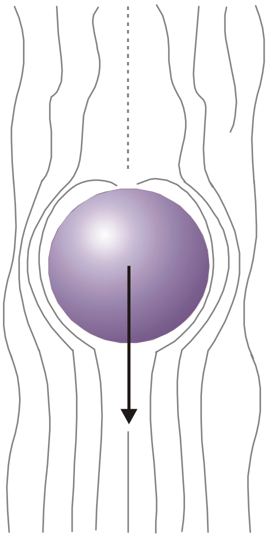
1. Liczba Reynoldsa zawiera się w granicach od 10^{-4} do 0,4 (2), jest to ruch uwarstwiony cząstki w płynie współczynnik oporu można przedstawić w postaci zależności

$$\lambda = \frac{24}{\mathrm{Re}}$$

zatem siła oporu ośrodka wynosi

$$R = 3\pi d \eta_F u_o \quad \text{równanie Stokesa}$$

Z równania tego wynika, że siła oporu ośrodka jest wprost proporcjonalna do lepkości ośrodka, średnicy cząstki i prędkości opadania.



2. W zakresie liczby **Reynoldsa od 0,4 do 10^3** współczynnik λ określony jest funkcją

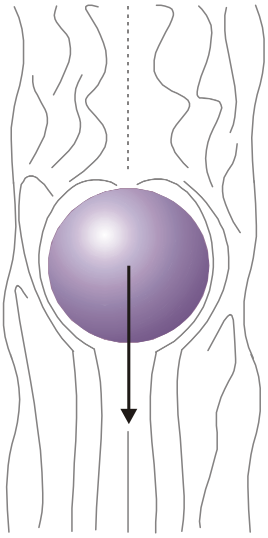
$$\lambda = \frac{18{,}5}{\mathrm{Re}^{0,6}}$$

natomiast siła oporu ośrodka

$$R = 2{,}3 d^{1,4} \eta_F^{0,6} u_o \rho_F^{0,4} \quad \text{równanie Allena}$$

$$(R = 7{,}26 d^{1,4} \eta_F^{0,6} u_o^{1,4} \rho_F^{0,4})$$

Siła oporu ośrodka zależy od gęstości i lepkości płynu.



3. Dla ruchu burzliwego gdy **$10^3 < \mathrm{Re} < 2\cdot 10^5$** współczynnik oporu ośrodka λ jest wielkością stałą i wynosi 0,44. Zatem siła oporu ośrodka jest równa

$$R = 0{,}44 A \frac{u_o^2}{2} \rho_F \quad \text{równanie Newtona}$$

Siła oporu ośrodka zależy od kwadratu średnicy cząstki opadającej, od jej energii kinetycznej i od gęstości ośrodka płynnego.

Dla cząstek niekulistych zamiast średnicy wprowadza się pojęcie średnicy zastępczej d_e.

CZĄSTKI IZOMETRYCZNE (NIEKULISTE)

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

gdzie:
ψ – współczynnik kształtu, sferyczność cząstki równa jest stosunkowi powierzchni kuli o tej samej objętości co ziarno do powierzchni ziarna,

1. Gdy **Re<0,05** wówczas cząstki izometryczne opadają w płynie ruchem laminarnym wtedy

$$\lambda = \frac{\alpha}{\mathrm{Re}} \quad \text{podczas gdy} \quad \alpha = \frac{24}{0{,}843 \lg \frac{\psi}{0{,}065}}$$

2. Gdy **0,05<Re<2·10^3** wówczas cząstki opadają w płynie ruchem przejściowym

współczynnik oporu λ odczytuje się z tablic lub wykresów dla odpowiedniej liczby Reynoldsa i sferyczności cząstek niekulistych

3. Gdy **Re** zawiera się w granicach **od 2·10^3 do 2·10^5** wówczas cząstki opadają w płynie ruchem burzliwym wtedy

$$\lambda = 5{,}31 - 4{,}87\psi$$

OPADANIE GRAWITACYJNE NIEAKŁÓCONE

Cząstka opada gdy prędkość opadania jest stała i wynosi u_o. Ciężar cząstki F o średnicy d i gęstości ρ_S w ośrodku o gęstości ρ_F przy uwzględnieniu zasady Archimedesa wynosi:

$$F = \frac{\pi d^3}{6}(\rho_S - \rho_F)g$$

Stałość prędkości opadania zachodzi w przypadku równości sił ciężkości i oporu ośrodka. Po porównaniu odpowiednich równań prędkość opadania jest równa:

$$u_o = \sqrt{\frac{4dg(\rho_S - \rho_F)}{3\lambda\rho_F}}$$

Aby wyznaczyć prędkość opadania należy znać wartość współczynnika oporu ośrodka λ który jak wiadomo jest funkcją liczby Reynoldsa czyli zależy od rodzaju ruchu z jakim porusza się opadająca cząstka. Z kolei wartość liczby Reynoldsa jest zależna od prędkości opadania u_o. Zatem bezpośrednie wykorzystanie powyższego równania jest niemożliwe.

Aby wyznaczyć prędkość opadania $\mathbf{u_o}$ z ogólnego równania na prędkość opadania wyznacza się współczynnik λ, który jest równy:

$$\lambda = \frac{4dg(\rho_S - \rho_F)}{3u_o^2\rho_F}$$

Mnożąc obie strony równania przez Re^2 można wyeliminować nieznaną prędkość u_o.

$$\lambda Re^2 = \frac{4dg(\rho_S - \rho_F)}{3u_0^2\rho_F} \cdot \left(\frac{u_0 d\rho_F}{\eta_F}\right)^2 \; stąd \; \lambda Re^2 = \frac{4d^3 g(\rho_S - \rho_F)\rho_F}{3\eta_F^2}$$

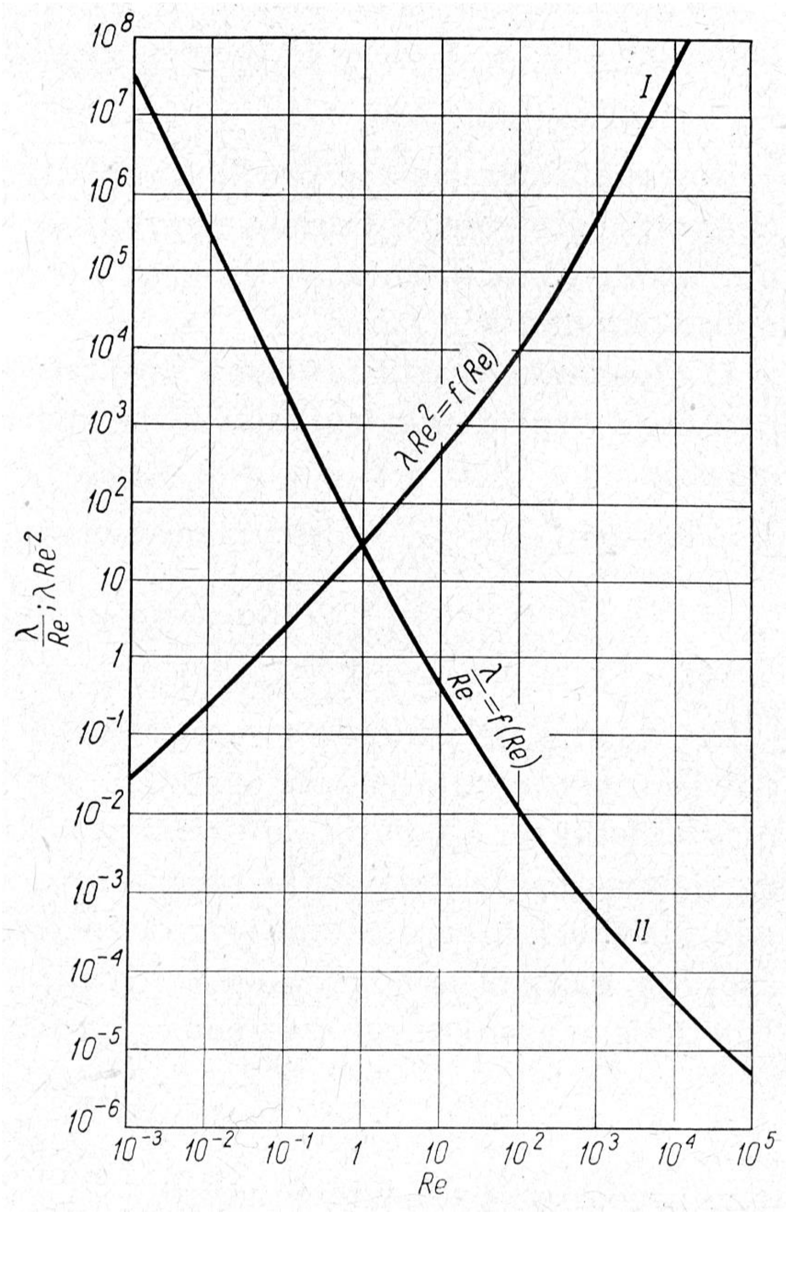
Wszystkie wielkości po prawej stronie równania są znane zatem można wyznaczyć u_o. W tym celu oblicza się λRe^2 a następnie korzysta z wykresu zależności $\lambda Re^2=f(Re)$ i odczytuje wartość Re_1 dzięki której można wyznaczyć wartość u_o.

Podobnie można wyznaczyć średnicę cząstek **d** opadających w ośrodku o znanej gęstości i lepkości dynamicznej z prędkością opadania u_o. W tym celu w równaniu na współczynnik λ, obie strony dzieli się przez Re.

$$\frac{\lambda}{Re} = \frac{4dg(\rho_S - \rho_F)}{3u_0^2\rho_F} \cdot \left(\frac{\eta_F}{u_0 d\rho_F}\right) \quad stąd \quad \frac{\lambda}{Re} = \frac{4g(\rho_S - \rho_F)\eta_F}{3u_0^3\rho_F^2}$$

$$Re = \frac{u_0 d \rho_F}{\eta_F}$$

Na podstawie danych wyjściowych wyznacza się wartość prawej strony równania. Następnie posługując się wykresem λ=f(Re) sporządza się wykres pochodny λ/Re=f(Re). Następnie na osi rzędnych odkłada się wyznaczoną wartość λ_1/Re_1 i odczytuje szukaną wartość liczby Reynoldsa Re_1, która jest charakterystyczna dla znanej prędkości u_o. Dzięki znajomości obu wartości można wyznaczyć szukaną wartość średnicy d.



CZĄSTKI KULISTE

1. **OPADANIE CZĄSTKI RUCHEM UWARSTWIONYM**

$$u_o = \frac{d^2(\rho_S - \rho_F)g}{18\eta_F}$$

$$d \le 1,93\sqrt[3]{\frac{\eta_F^2}{(\rho_S - \rho_F)\rho_F g}}$$ założenia: Re=0,4 i λ=24/Re

2. **OPADANIE CZĄSTKI RUCHEM PRZEJŚCIOWYM**

$$u_o = \frac{0,153 \cdot d^{1,14} \cdot g^{0,71}(\rho_S - \rho_F)^{0,71}}{\rho_F^{0,28} \cdot \eta_F^{0,43}}$$

$$1,93\sqrt[3]{\frac{\eta_F^2}{(\rho_S - \rho_F)\rho_F g}} \le d \le 69\sqrt[3]{\frac{\eta_F^2}{(\rho_S - \rho_F)\rho_F g}}$$

założenia: 0,4<Re<1000 i λ=18,5/$Re^{0,6}$

3. **OPADANIE CZĄSTEK RUCHEM BURZLIWYM**

$$u_o = 1,74\sqrt{\frac{dg(\rho_S - \rho_F)}{\rho_F}}$$

$$d \ge 69\sqrt[3]{\frac{\eta_F^2}{g(\rho_S - \rho_F)\rho_F}}$$ założenia: Re=1000 i λ=0,44

CZĄSTKI NIEKULISTE – IZOMETRYCZNE

1. **OPADANIE CZĄSTKI RUCHEM UWARSTWIONYM Re<0,05**

$$u_o = \frac{K_S d_e^2 (\rho_S - \rho_F) g}{18\eta_F}$$

gdzie:

$$K_S = 0{,}843 \lg \frac{\psi}{0{,}065}$$

ψ – sferyczność cząstek, równa stosunkowi powierzchni kuli o tej samej objętości co ziarno do powierzchni ziarna,

$$d_e \le \left(\frac{0{,}9}{K_S}\right)^{1/3} \cdot \sqrt[3]{\frac{\eta_F^2}{(\rho_S - \rho_F)\rho_F g}}$$

2. **OPADANIE CZĄSTKI RUCHEM PRZEJŚCIOWYM 0,05<Re<2000**

$$\left(\frac{0{,}9}{K_S}\right)^{1/3} \cdot \sqrt[3]{\frac{\eta_F^2}{(\rho_S - \rho_F)\rho_F g}} \le d_e \le \frac{158{,}5}{K_N^{2/3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\eta_F^2}{(\rho_S - \rho_F)\rho_F g}}$$

3. **OPADANIE CZĄSTEK RUCHEM BURZLIWYM Re>2000**

$$u_o \cong K_N \cdot \sqrt{\frac{d_e g (\rho_S - \rho_F)}{\rho_F}}$$

gdzie:

$$K_N = \sqrt{\frac{4}{3 \cdot (5{,}31 - 4{,}87\psi)}}$$

$$d_e \ge \frac{158{,}3}{K_N^{2/3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\eta_F^2}{g(\rho_S - \rho_F)\rho_F}}$$

SEDYMENTACJA

Metoda rozdzielania zawiesin.
Wraz z prędkością opadania wielu cząstek przesuwa się granica podziału między klarowną cieczą i zawiesiną.

Dla ruchu uwarstwionego prędkość opadania wyraża się wzorem:

$$u_o = \frac{d^2(\rho_S - \rho_F)g}{18\eta_F}$$

W rzeczywistości prędkość opadania jest mniejsza i prędkość należy pomnożyć przez współczynnik poprawkowy zależny od właściwości i stężenia sedymentującej zawiesiny.

$$u = \sqrt{\frac{2V(\rho_S - \rho_F)\cdot g}{\varphi \cdot \rho_F \cdot S_p}}$$

gdzie:
V – objętość cząstki [m^3],
S_p – pole rzutu opadającej cząstki na płaszczyznę prostopadłą do kierunku jej ruchu [m^2],
φ – współczynnik oporu,

Opór ośrodka zależy nie tylko od parametrów wchodzących w skład równania Stokesa ale i od porowatości zawiesiny. Siłą napędową sedymentacji jest ciężar cząstek (jest to opadanie pod wpływem siły ciężkości).

W wyniku sedymentacji powstają dwa rodzaje osadów:
1. osady o wyraźnej granicy między cieczą a osadem (osady o dużych ziarnach),
2. osady gdzie nie ma wyraźnej granicy między cieczą a osadem (osady o drobnych ziarnach), przy dnie stwierdza się zagęszczenie ciała stałego,

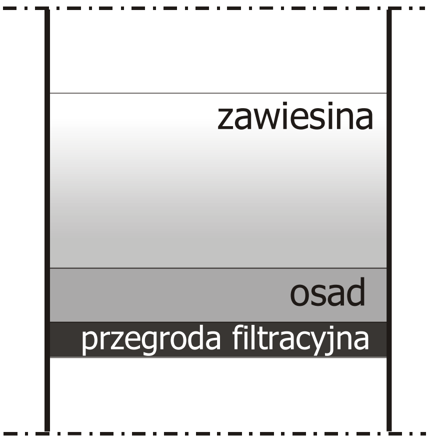
Urządzenia, w których prowadzi się sedymentację to **odstojniki**.

FILTRACJA

Polega na rozdzieleniu składników mieszaniny cieczy lub gazu z zawieszonymi cząstkami ciał stałych za pomocą urządzeń posiadających przegrodę przepuszczalną dla płynów a nieprzepuszczalną dla ciała stałego. Ciało stałe jest zatrzymywane na przegrodzie filtracyjnej, podczas gdy ciecz (*przesącz, filtrat*) jest przez tą przegrodę przepuszczana. Przegroda filtracyjna może mieć strukturę ziarnistą (piasek) lub włóknistą (tkaniny, azbest).Ciecz przepływająca przez warstwę osadu i przegrodę filtracyjną napotyka na opór, który musi pokonać. W zależności od wielkości tego oporu stosuje się różne typy filtrów i różne warunki filtracji.

Opory przepływu niewielkie

- wykorzystuje się ciśnienie hydrostatyczne słupa cieczy nad warstwą osadu,
- urządzenia: filtr grawitacyjny, którego siłą napędową jest ciśnienie słupa surówki filtracyjnej nad przegrodą filtracyjną,



Większe opory przepływu:

- wykorzystuje się ciśnienie lub siłę odśrodkową,
- urządzenia:
  - ✓ filtry próżniowe (nucze, próżniowe filtry obrotowe). W tego typu filtrach przesącz wypływa do przestrzeni o ciśnieniu niższym niż atmosferyczne,
  - ✓ filtry ciśnieniowe (prasy filtracyjne). W tego typu filtrach surówka filtracyjna wprowadzana jest do filtru pod ciśnieniem wyższym niż atmosferyczne,
  - ✓ wirówki lub hydrocyklony. Siłą napędową procesu filtracji w tego typu urządzeniach jest siła odśrodkowa.

FILTRACJA POD STAŁYM CIŚNIENIEM I ZE STAŁĄ SZYBKOŚCIĄ

OSAD – pory+ciało stałe,

Opory przepływu cieczy płynącej ruchem uwarstwionym przez utworzone kapilary można wyrazić poniższym równaniem
(zmodyfikowane równanie Leva):

$$\Delta P = 200 \cdot \frac{\eta_L u L}{d_e^2} \cdot \left[\frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^2} \varphi^2 \right]$$

gdzie:
ε- porowatość osadu,
φ – czynnik kształtu ziaren,
L – grubość warstwy osadu,
u – prędkość przepływu cieczy,
d_e – średnica zastępcza ziarna =(powierzchnia)A/V_z(objętość)=6/a,
α – współczynnik oporu osadu,
η_L – współczynnik lepkości dynamicznej cieczy,

Prędkość przepływu cieczy (szybkość filtracji) zdefiniowana jest następująco:

$$u = \frac{\Delta P}{\left[\dfrac{k(1-\varepsilon)^2 \cdot a^2 \cdot \varphi^2}{\varepsilon^2} \right] \cdot \eta_L L} = \frac{U_L}{A} = \frac{dV}{A d\tau}$$

$$\text{gdzie: } \alpha = \frac{k(1-\varepsilon)^2 \cdot a^2 \cdot \varphi^2}{\varepsilon^2}$$

Grubość warstwy osadu można wyrazić:

$$L = \frac{V \cdot x}{A(1-\varepsilon) \cdot \rho_S}$$

gdzie:
V – objętość filtratu,
x – masa osadu przypadająca na jednostkę objętości czystego filtratu,
A – powierzchnia filtracji,

Łącząc dwa powyższe równania można stwierdzić, że szybkość filtracji zależy:

$$\frac{dV}{Ad\tau} = \frac{\Delta P}{\frac{\eta_L \alpha x V}{A}}$$

Poza warstwą osadu filtrat przepływa także przez przegrodę filtracyjną, dlatego:

$$\frac{dV}{Ad\tau} = \frac{\Delta P}{\eta_L \left(\frac{\alpha x V}{A} + R_M \right)}$$

gdzie:

R_M – opór przegrody filtracyjnej $R_M = \frac{\alpha x C}{A}$,

C – objętość filtratu jaki otrzymano by podczas filtracji gdyby tworzyć osad równy oporowi rzeczywistej przegrody filtracyjnej,

powyższe równanie można zatem zapisać następująco:

$$\frac{dV}{Ad\tau} = \frac{\Delta P}{\frac{\eta_L \alpha x}{A} \cdot (V + C)}$$

FILTRACJA – OSADY NIEŚCISLIWE

FILTRACJA POD STAŁYM CIŚNIENIEM

W przypadku osadów nieściśliwych istnieje stałość porowatości osadu przy zmianie ciśnienia.

Zatem

α=const, bo ε=const i **Δp=const**

powyższe równanie, po rozdzieleniu zmiennych całkuje się w granicach

$$\int_0^V (V+C)dV = \int_0^\tau \frac{A^2 \cdot \Delta p}{\eta_L \alpha x} d\tau$$

Po rozwiązaniu, otrzymuje się

$$\frac{V^2}{2} + VC = \frac{A^2 \cdot \Delta p}{\eta_L \alpha x} \tau$$

gdzie:
K i C – stałe filtracji wyznaczane doświadczalnie,

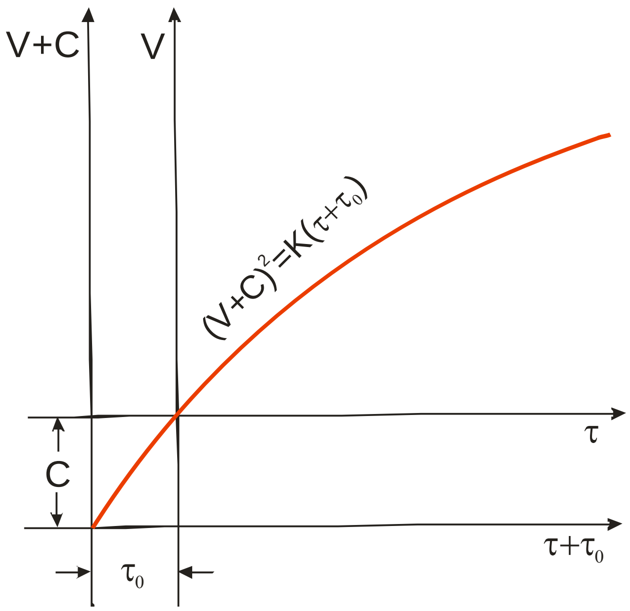
$$K = \frac{2A^2 \cdot \Delta p}{\eta_L \alpha x} \left[\frac{\mathrm{m}^6}{\mathrm{s}}\right] \text{ i } C = \frac{A \cdot r_1}{\alpha x} \left[\mathrm{m}^3\right]$$

gdzie: r_1 – opór właściwy osadu

stąd

$$\boxed{V^2 + 2VC = K\tau}$$

Wg powyższego równania zależność między czasem filtracji a objętością przesączu otrzymanego w tym czasie można zilustrować przy pomocy paraboli.



Jeśli przedstawione równanie się zróżniczkuje otrzyma się zależność na objętościowe natężenie przepływu

$$U = \frac{dV}{d\tau} = \frac{K}{2(V+C)}$$

Dla A=1m²

$$K^{'} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\eta_L \alpha x} \left[\frac{\mathrm{m}^6}{\mathrm{m}^4 \cdot \mathrm{s}} \right] \text{ i } C^{'} = \frac{r_1}{\alpha x} \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{m}^2} \right]$$

stąd

$$(V+C)^2 = K(\tau + \tau_0) \text{ gdzie } \tau_0 = \frac{C^2}{K}$$

Jeżeli opór przegrody filtracyjnej jest nieznaczny w stosunku do oporu osadu szybkość filtracji można przedstawić następującym równaniem.

$$V^2 = \frac{2A^2 \Delta P}{\eta_L \alpha \cdot x} \tau = K\tau$$

FILTRACJA PRZY STAŁYM OBJĘTOŚCIOWYM NATĘŻENIU PRZEPŁYWU

W tym przypadku α**=const, bo** ε**=const** i $\frac{dV}{d\tau} = const = \frac{V}{\tau}$ zatem

$$\frac{dV}{Ad\tau} = \frac{\Delta P}{\frac{\eta_L \alpha x}{A}(V+C)} = \frac{V}{A\tau} = const$$

Ponieważ objętościowe natężenie przepływu filtratu jest stałe i powierzchnia filtru jest niezmienna równanie można doprowadzić do następującej postaci

$$\left(\frac{V}{A\tau}\right)^2 \tau + \left(\frac{V}{A\tau}\right) \eta_L \alpha x C = \Delta p$$

Z zależności tej wynika, że utrzymanie stałej szybkości filtracji wymaga stałego wzrostu Δp z upływem czasu filtracji i jest to zależność liniowa.

FILTRACJA – OSADY ŚCISLIWE

Większość osadów charakteryzuje się ściśliwością polegającą na zmniejszaniu się porów międzyziarnowych w miarę wzrostu ciśnienia wywieranego na osad.

Współczynnik ściśliwości **s** zawiera się w granicach od 0 do 1

$$\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} = b \cdot P_c^S$$

Zmiana porowatości osadu pod wpływem zmieniającego się ciśnienia wywołuje zmianę oporu jaki stawia warstwa osadu przepływającej cieczy

$$R = r\frac{L}{A}$$

gdzie:
r – opór właściwy osadu [kg/m^2·s], opór jaki zachodziłby, przy przepływie jednostki objętości cieczy, w jednostce czasu przez osad o jednostce powierzchni i jednostce grubości,

α≠**const**, bo warstwa osadu poddawana jest ciśnieniu o różnej wartości na różnych przekrojach,

$$\frac{dV}{Ad\tau} = \frac{A}{\eta_L x V} \cdot \frac{\Delta P}{r''}$$

opór właściwy osadu można wyrazić następująco:

$$r'' = \frac{\Delta P}{\int\limits_{\Delta P=0}^{\Delta P=P-P_1} \frac{dP}{r_m}} \qquad r_m = f(\Delta P)$$

WIROWANIE

Operacja polegająca na opadaniu cząstek w polu sił odśrodkowych.

Rozdzielanie układów niejednorodnych odbywa się w wirówkach na zasadzie:

- Filtracji pod działaniem siły odśrodkowej,
- Sedymentacji pod działaniem siły odśrodkowej,

W wirówce działającej na zasadzie **filtracji** w pobocznicy bębna są otwory. Przegrodę filtracyjną stanowi tkanina ułożona na sitkach metalowych. Ciało stałe zatrzymywane jest na tkaninie a ciecz przepływa przez pory osadu i przegrody filtracyjnej.
W wirówce działającej na zasadzie **sedymentacji** nie ma otworów w pobocznicy bębna. Ciało stałe osadza się na ściance bębna. Rozdzielanie emulsji lub zawiesin przebiega tym lepiej, im różnica gęstości składników jest większa.

SIŁY ODŚRDKOWE >> SIŁ GRAWITACJI

gdy:

siła odśrodkowa < siły grawitacji	*cząstki bezładnie wirują*
siła odśrodkowa = siła grawitacji	*cząstki poruszają się z bębnem*
siła odśrodkowa > siła grawitacji	*cząstki są dociskane do brzegów bębna*

Przyspieszenie odśrodkowe: $\frac{u^2}{r} = \omega^2 \cdot r$

Siła odśrodkowa: $F_r = \frac{mu^2}{r} = m\omega^2 \cdot r$

Stosunek siły odśrodkowej do siły ciężkości wynosi:

$$\frac{F_r}{F_g} = \frac{\frac{mu^2}{r}}{mg} = \frac{m\omega^2 r}{mg} = \frac{\omega^2 r}{g}$$

uwzględniając, że prędkość kątowa $\omega = 2\pi n$ oraz, że $\pi^2 \cong g$ można stwierdzić:

$$\frac{F_r}{F_g} = \frac{(2\pi n)^2 r}{g} = 4n^2 r$$

Zatem, na prędkość poruszania się cząstki w bębnie ma wpływ liczba obrotów bębna n i promień obrotu r.

WSPÓŁCZYNNIK UWIELOKROTNIENIA (współczynnik rozdziału)

$$\Phi = \frac{\omega^2 r}{g} \text{ wiedząc, że } \omega = \frac{2\pi\text{n}}{60} \text{ [sek.}^{-1}\text{]}$$

$$\Phi = \frac{(2\pi n)^2 r}{60^2 \cdot g} \approx \frac{nr^2}{900}$$

WYDAJNOŚĆ WIROWANIA

$$\frac{dV}{Ad\tau} = \frac{\Delta P}{\eta_L \left(\frac{\alpha x V}{A} + R_M \right)}$$

przy czym R_M (opór przegrody filtracyjnej) jest bardzo mały ≈ 0

MIESZANIE

Celem mieszania jest:

1. homogenizacja, otrzymanie jednorodnej emulsji lub zawiesiny,
2. intensyfikacja wymiany ciepła lub masy (rozpuszczanie, otrzymanie jednorodnego stężenia układu),
3. intensyfikacja przebiegu reakcji chemicznych w reaktorach,

Mieszaniu podlegają układy:

- gaz w cieczy
- ciecz w cieczy
- ciało stałe w cieczy
- ciało stałe w ciele stałym

Mieszanie prowadzi się w różnego rodzaju mieszadłach mechanicznych: propelerowych (śmigłowych), turbinowych i łapowych.
Rzadziej stosuje się mieszanie pneumatyczne, wibracyjne i ultradźwiękowe.

MOC MIESZANIA

Moc mieszania zależy od:

$$N = f(d, D, H, y, L, b, a, g, n, \rho_L, \eta_L)$$

gdzie:
d – średnica mieszadła [m],
D – średnica mieszalnika [m],
H – wysokość słupa cieczy w mieszalniku [m],
y – odległość mieszadła od dna mieszalnika [m],
L – długość (wysokość) przegród [m],
b – szerokość łopatek [m],
a – szerokość przegród [m],
ρ_L – gęstość cieczy (lub układu mieszanego) [kg/m^3],
η_L – lepkość dynamiczna cieczy [Pa·s],
n – liczba obrotów mieszadła [1/s],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

Posługując się analizą wymiarową, metodą Reyleigha otrzymuje się następujące wzory:

Zakres uwarstwiony $Re_m<10$– MOC MIESZANIA

$$N = K \cdot d^3 \cdot n^2 \cdot \eta_L$$

Zakres przejściowy $10<Re_m<10^3$ – MOC MIESZANIA

$$N = K \cdot d^{5-2r} \cdot n^{3-r} \cdot \eta_L^r \cdot \rho_L^{1-r}$$

Zakres burzliwy $Re_m<10^3$ – MOC MIESZANIA

$$N = K \cdot d^5 \cdot n^3 \cdot \rho_L$$

JEDNORODNOŚĆ (HOMOGENICZNOŚĆ) UKŁADÓW MIESZANYCH

Jeżeli głównym celem mieszania jest otrzymanie jednorodnej zawiesiny to układ będzie uważany za jednorodny, gdy stężenie obu faz rozpraszającej i rozpraszanej będzie jednakowe w dowolnej próbce objętości pobranej z mieszanego układu.

$$c = \frac{b}{b_o} \cdot 100$$

gdzie:
b – stężenie fazy rozpraszanej w pobranej próbce w dowolnym miejscu układu w % masowych,
b_o – średnie stężenie fazy rozpraszanej w układzie mieszanym w % masowych,
c – względne stężenie fazy rozpraszanej w układzie mieszanym w % masowych,
s – liczba prób,

Gdy $b>b_o$ wtedy c wyznacza się z następującego wzoru:

$$c = \frac{100-b}{100-b_o} \cdot 100$$

Zatem na podstawie s pobranych prób stopień jednorodności układu oblicza się wg następującego wzoru:

$$I = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + ... + c_s}{s}$$

Wielkość I nazywana jest także indeksem mieszania.

Im wartość I jest bliższa 100% tym układ jest bliższy jednorodności doskonałej.

ZADANIA

ZADANIE 1

Obliczyć zakres średnic kulistych ziaren boksytu opadających w wodzie, ruchem przejściowym, w temperaturze 20°C, z prędkością 0,1 m/s. Dane: gęstość boksytu 2550 kg/m^3, gęstość wody 998 kg/m^3, lepkość wody $1 \cdot 10^{-3}$ Pa·s

ZADANIE 2

Obliczyć średnicę największych ziaren kwarcu opadających ruchem laminarnym w wodzie o temperaturze 20°C. Obliczyć również opór ośrodka, zakładając kulisty kształt ziaren. Parametry fizykochemiczne są następujące: gęstość kwarcu ρ_S=2650 kg/m^3; gęstość wody o temperaturze 20°C ρ_F=998 kg/m^3, współczynnik lepkości dynamicznej wody η_F=0,001 Pa·s.

ZADANIE 3

Obliczyć średnicę cząstek kredy, które będą unoszone przez strumień wody o temperaturze 15°C płynący do góry z prędkością 0,2m/s. Cząstki kredy przyjąć jako kuliste. Dane: gęstość kredy ρ_S=2710 kg/m^3; gęstość wody o temperaturze 15°C ρ_F=999 kg/m^3, współczynnik lepkości kinematycznej wody $\nu_F=4 \cdot 10^{-7}$ m^2/s i Re=239. Wyznaczyć także opór ośrodka.

ZADANIE 4

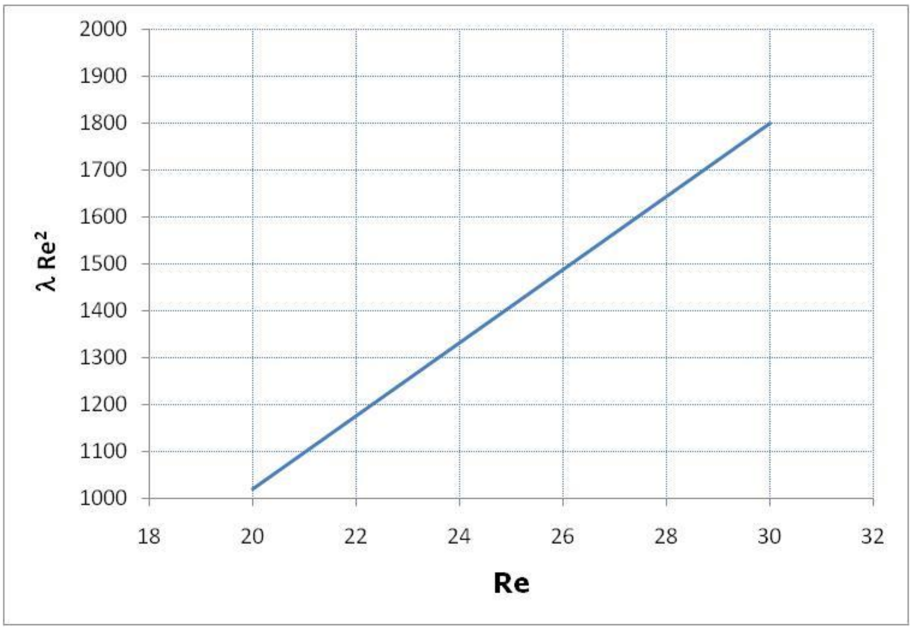
Obliczyć średnicę najmniejszych ziaren kwarcu opadających ruchem burzliwym w powietrzu o temperaturze 20°C. Obliczyć również opór ośrodka i prędkość opadania, zakładając kulisty kształt ziaren. Parametry fizykochemiczne są następujące: gęstość kwarcu ρ_S=2650 kg/m^3; gęstość powietrza o temperaturze 20°C ρ_F=1,164 kg/m^3, współczynnik lepkości dynamicznej powietrza $\eta_F=1{,}82 \cdot 10^{-5}$ Pa·s

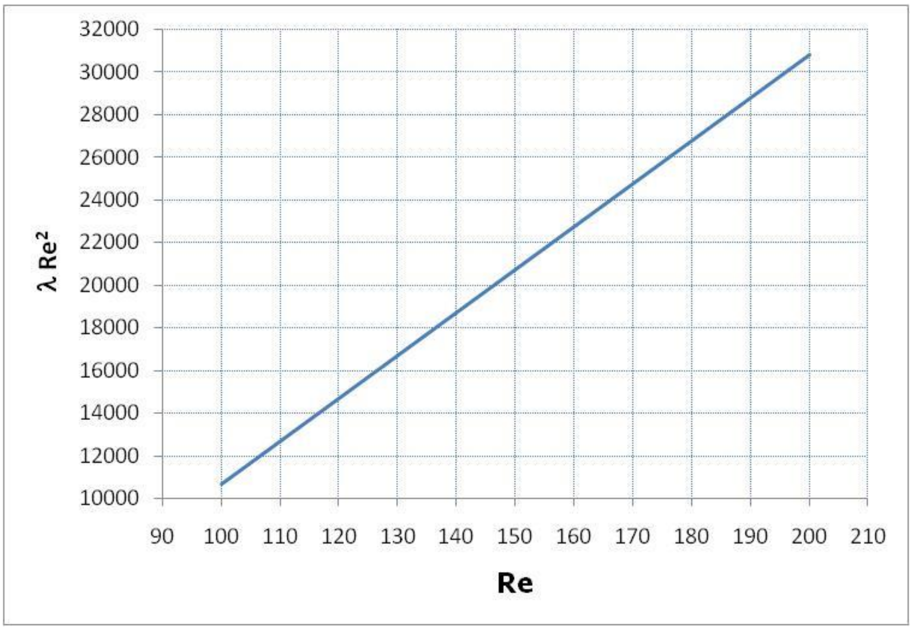
ZADANIE 5

Obliczyć wymiary najmniejszych kryształów soli kuchennej, które będą opadać w powietrzu o temperaturze 20°C ruchem burzliwym. Dane: gęstość soli kuchennej ρ_S=2163 kg/m^3; gęstość powietrza o temperaturze 20°C ρ_F=1,164 kg/m^3, współczynnik lepkości dynamicznej powietrza
$\eta_F=1{,}82 \cdot 10^{-5}$ Pa·s, ψ=0,806.

ZADANIE 6

Obliczyć jak zmieni się prędkość opadania cząstek piasku o średnicy 0,5mm, jeżeli temperatura wody wzrośnie z 10 do 90°C. Cząstki piasku przyjąć jako kuliste. Dane: gęstość piasku ρ_S=2650 kg/m^3; gęstość wody o temperaturze 10°C ρ_F=1000 kg/m^3, współczynnik lepkości dynamicznej wody o temp. 10°C $\eta_F=1{,}304 \cdot 10^{-3}$ Pa·s; gęstość wody o temperaturze 90°C ρ_F=965 kg/m^3, współczynnik lepkości dynamicznej wody o temp. 90°C $\eta_F=0{,}315 \cdot 10^{-3}$ Pa·s.





ZADANIE 7

Obliczyć stopień jednorodności układu olej – woda, jeżeli objętościowy ułamek oleju wynosi x_1=20%, wody x_2=80% a zawartość oleju w czterech próbkach , pobranych w ilości po 5μm^3 na różnych wysokościach wynosi:

Próba	1	2	3	4
Ilość oleju (μm^3)	0,6	1,0	1,8	4,5

ZADANIE 8

Obliczyć stopień jednorodności układu: 1 objętość trójchloroetylenu i 2 objętości wody, jeżeli w pięciu pobranych próbach w ilości po 10cm^3 objętość trójchloroetylenu wynosi:

Próba	1	2	3	4	5
objętość trójchloroetylenu (cm^3)	2,5	2,9	3,2	3,4	3,7

ZADANIE 9

W celu stwierdzenia przydatności prasy filtracyjnej zawierającej 20 ram o wymiarach 0,6x0,6m do rozdzielania wodnej zawiesiny $CaCO_3$, stwierdzono przy wstępnych próbach prowadzonych pod stałym ciśnieniem Δp=200kPa, że 0,002m^3 przesączu otrzymano w czasie 107s a 0,005m^3 przesączu w czasie 423s w przeliczeniu na 1m^2 powierzchni filtracyjnej. Obliczyć czas filtracji 0,4m^3 przesączu?

ZADANIE 10

Doświadczalna filtracja zawiesiny, przeprowadzona na filtrze laboratoryjnym o powierzchni 0,2m^2 przy stałym ciśnieniu dała następujące wyniki:

Δp [kPa]	objętość przesączu **V·10^{-3}** [m^3]	τ [s]
50	3,0 6,0	120 360
150	3,0 6,0	45 140

Obliczyć stałe filtracji K′ i C′ dla warunków laboratoryjnych w odniesieniu do 1m^2 powierzchni filtracyjnej, a następnie czas filtracji 0,5m^3 przesączu z 1m^2 powierzchni filtracyjnej pod stałym ciśnieniem równym 50 i 150kPa.