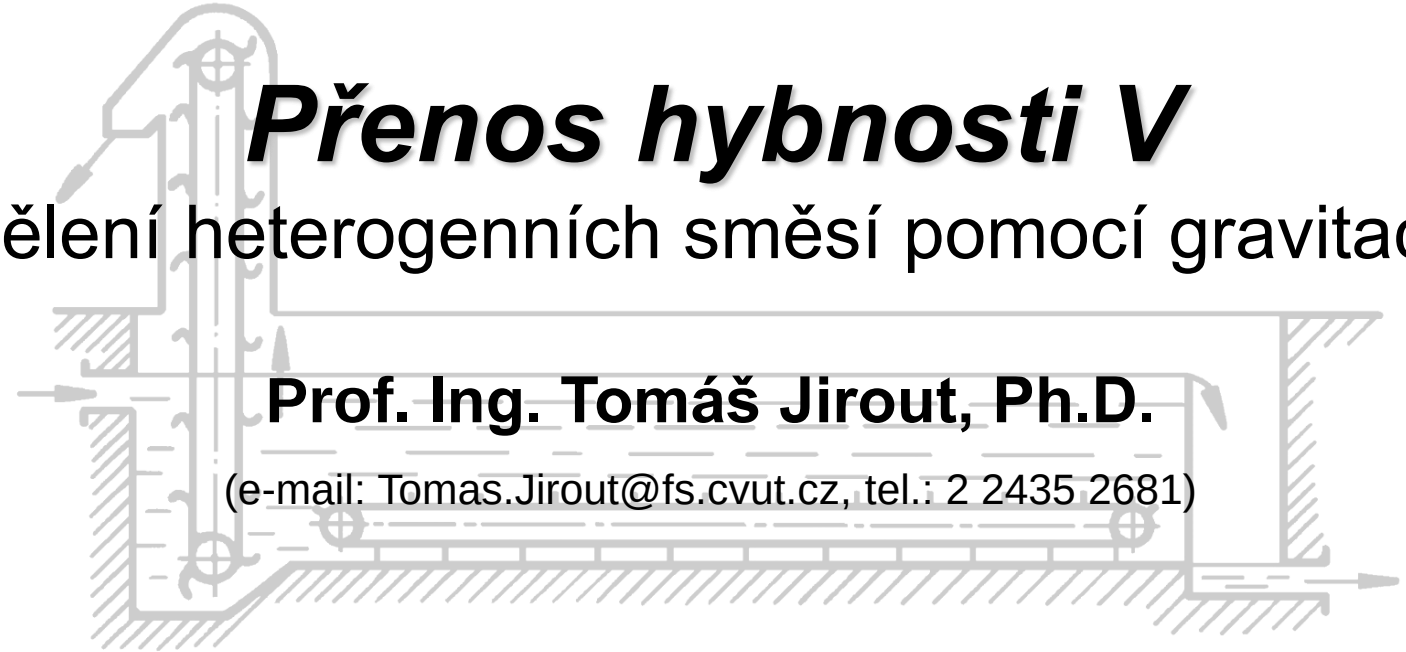
PRŮMYSLOVÉ PROCESY

Přenos hybnosti V

Dělení heterogenních směsí pomocí gravitace

Prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

(e-mail: Tomas.Jirout@fs.cvut.cz, tel.: 2 2435 2681)



UNIVERZITA J. E. PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM
Fakulta výrobních technologií a managementu

DĚLENÍ HETEROGENNÍCH SMĚSÍ PŮSOBENÍM GRAVITACE

Heterogenní systémy

Heterogenní systém	*Kontinuální fáze*	*Skupenství částic*
suspenze	kapalina	pevná látka
emulze	kapalina	kapalina
pěna, probublávaná kapalina	kapalina	plyn
prach, dým	plyn	pevná látka
mlha	plyn	kapalina

Odpor prostředí – odporová síla F

- ***třecí odpor*** – způsobený vazkým třením tekutiny o povrch tělesa
- ***tvarový odpor*** – výsledná síla dynamického tlaku působícího na povrch tělesa

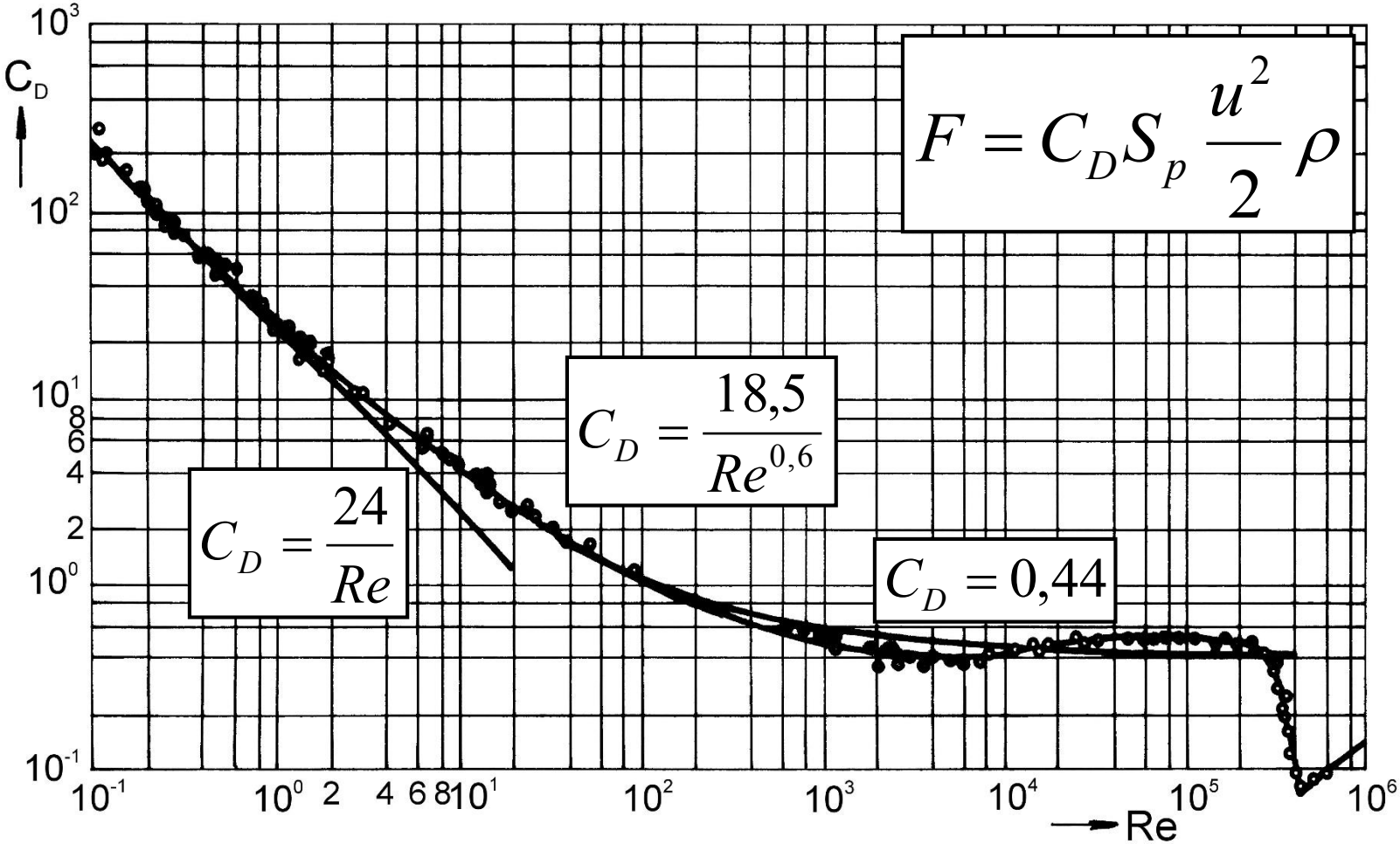
$$F = C_D S_p \frac{u^2}{2} \rho$$

Odpor při obtékání kulové částice

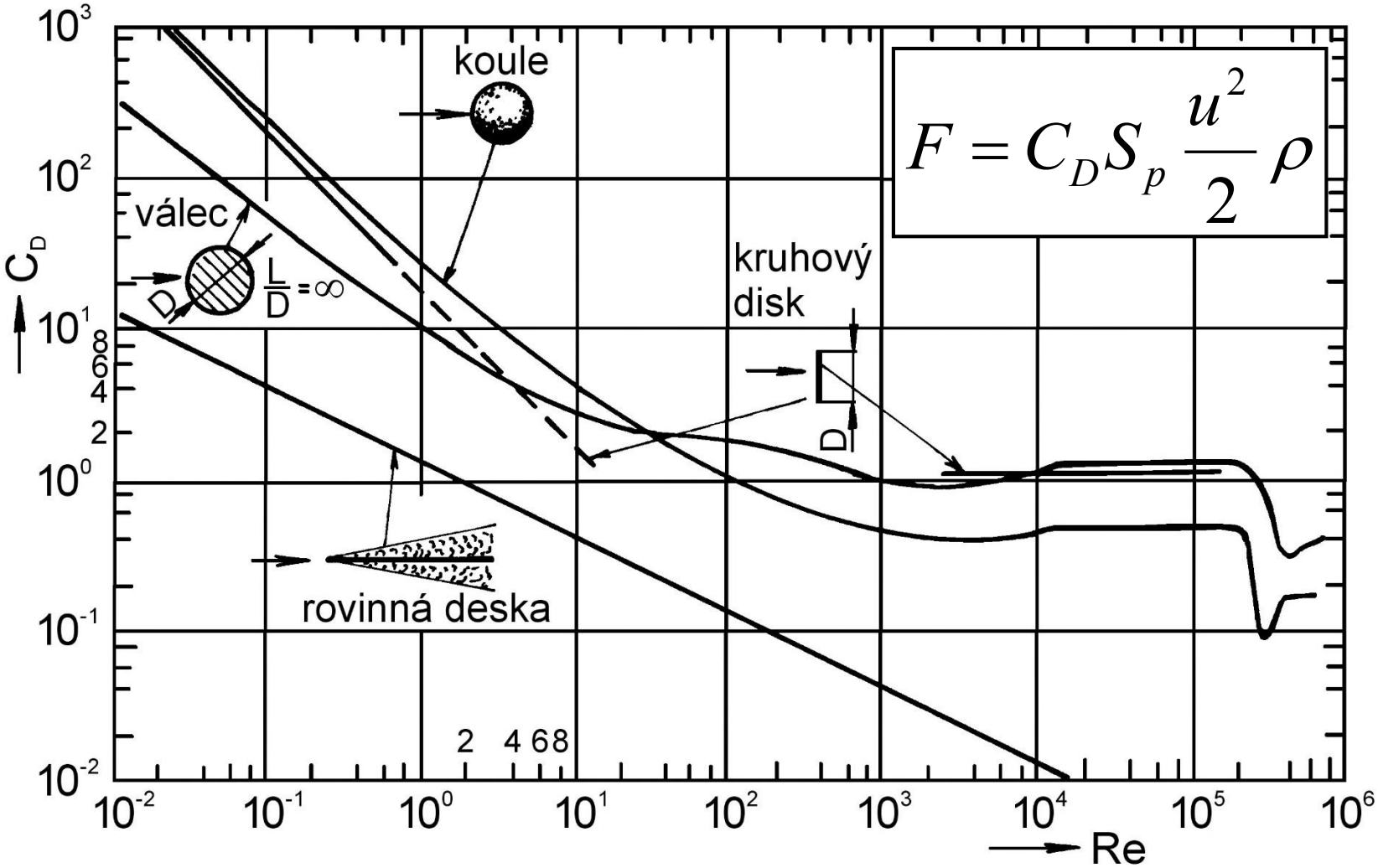
Stokesova oblast
Re ≤ 2

přechodová oblast
2 < *Re* < 500

Newtonova oblast
500 < *Re* < 3·10^5

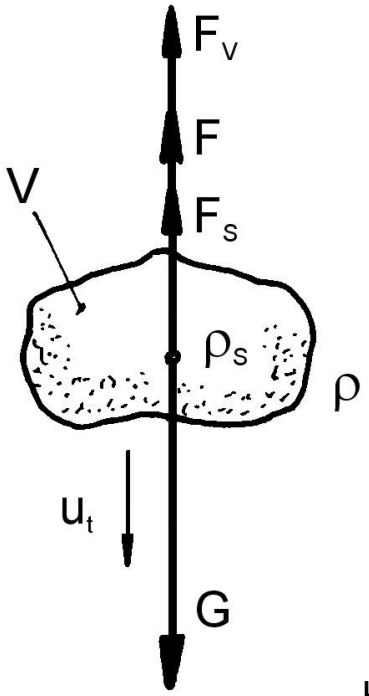


Odpor při obtékání částic nekulového tvaru



Pohyb částice v tekutině v gravitačním poli

Nestacionární pohyb částice



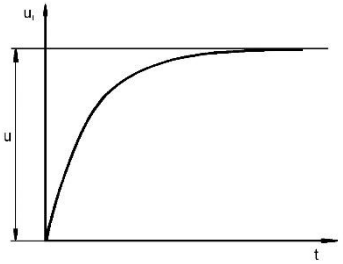
$$\boxed{G - F_V - F_s - F = 0}$$

$$G = V\rho_s g \qquad F = C_{Dt} S_p \frac{u_t^2}{2}\rho$$

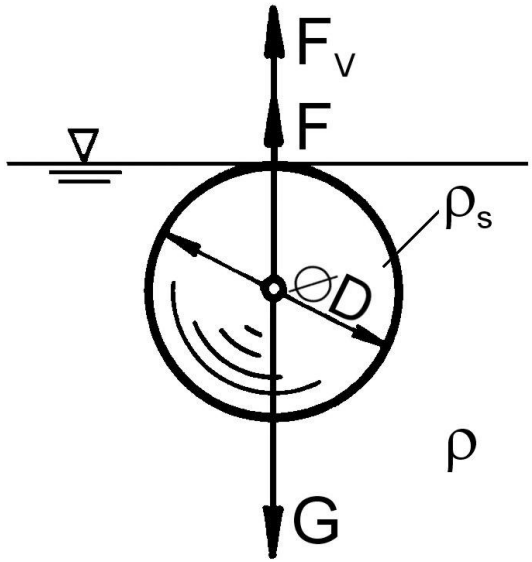
$$F_V = V\rho g \qquad F_s = V\rho_s \frac{\mathrm{d}u_t}{\mathrm{d}t}$$

Kulová částice sedimentující ve Stokesově oblasti

$$u_t = \frac{D^2(\rho_s - \rho)g}{18\mu}\left[1 - \exp\left(-\frac{18\mu}{D^2\rho_s}t\right)\right]$$



Stacionární pohyb částice – mezní usazovací rychlost



$$\boxed{G - F_V - \cancel{F_s} - F = 0}$$

$$\frac{\pi D^3}{6}\rho_s g - \frac{\pi D^3}{6}\rho g - C_D \frac{\pi D^2}{4}\frac{u^2}{2}\rho = 0$$

$$\boxed{u = \sqrt{\frac{4}{3}\frac{D(\rho_s - \rho)g}{C_D \rho}}}$$

Stokesova oblast ($Re \leq 2$):

$$u = \frac{D^2(\rho_s - \rho)g}{18\mu}$$

přechodová oblast ($2 < Re < 500$):

$$u = 0{,}153\frac{D^{1{,}14}(\rho_s - \rho)^{0{,}71} g^{0{,}71}}{\rho^{0{,}29}\mu^{0{,}43}}$$

Newtonova oblast ($500 < Re < 3\cdot 10^5$):

$$u = 1{,}74\sqrt{\frac{D(\rho_s - \rho)g}{\rho}}$$

Výpočet usazovací rychlosti

Usazovací rychlost nelze vypočítat přímo, protože neznáme předem oblast, ve které usazování probíhá. Tato oblast je určena hodnotou Reynoldsova čísla, ve kterém se vyskytuje neznámá rychlost *u*. Proto budeme hledat takové bezrozměrné číslo, ve kterém se neznámá rychlost nevyskytuje.

$$u = \sqrt{\frac{4}{3}\frac{D(\rho_s - \rho)g}{C_D \rho}} \quad \Rightarrow \quad C_D = \frac{4}{3}\frac{D(\rho_s - \rho)g}{u^2 \rho},$$

kde $C_D = \mathrm{f}\,(Re)$

$$Re = \frac{uD\rho}{\mu}.$$

V obou kritériích je obsažena zatím neznámá usazovací rychlost. Hledané kritérium, které neobsahuje neznámou rychlost, lze získat jako součin $C_D Re^2$:

$$C_D Re^2 = \frac{4}{3}\frac{D(\rho_s - \rho)g}{u^2 \rho}\frac{u^2 D^2 \rho^2}{\mu^2} = \frac{4}{3}\frac{D^3(\rho_s - \rho)\rho g}{\mu^2}$$

Hodnotu tohoto bezrozměrného kritéria již lze vypočítat ze zadaných veličin a na základě jeho velikosti můžeme rozhodnout, ve které oblasti usazování probíhá.

Hraniční hodnoty lze vypočítat z udaných mezních hodnot *Re*:

Pro oblast ***Stokesovu*** ($Re < 2$, $C_D = 24/Re$) dostaneme: $\boldsymbol{C_D Re^2 < 48}$
Pro oblast ***přechodovou*** platí: $\boldsymbol{48 < C_D Re^2 < 1{,}1 \cdot 10^5}$
Pro oblast ***Newtonovu*** ($500 < Re < 3 \cdot 10^5$, $C_D = 0{,}44$) dostaneme: $\boldsymbol{1{,}1 \cdot 10^5 < C_D Re^2 < 4 \cdot 10^{10}}$

Výpočet průměru kulové částice z usazovací rychlosti

Je-li známa usazovací rychlost a máme-li určit ***průměr částice***, není přímý výpočet opět možný, protože podobně jako v předchozím případě se neznámý průměr vyskytuje jak ve výrazu pro bezrozměrný součinitel odporu C_D, tak v Reynoldsově čísle *Re*. Bezrozměrné číslo, které neobsahuje neznámý průměr částice, získáme vydělením vztahu pro C_D Reynoldsovým číslem *Re*:

$$\frac{C_D}{Re} = \frac{4}{3}\frac{D(\rho_s - \rho)g}{u^2\rho}\frac{\mu}{uD\rho} = \frac{4}{3}\frac{(\rho_s - \rho)g\mu}{u^3\rho^2}$$

Hraniční hodnoty lze opět snadno určit ze známých mezních hodnot *Re*:

Pro oblast ***Stokesovu*** je $\boldsymbol{C_D/Re > 6}$
Pro oblast ***přechodovou*** je $\boldsymbol{8{,}8\cdot10^{-4} < C_D/Re < 6}$
Pro oblast ***Newtonovu*** je $\boldsymbol{1{,}47\cdot10^{-6} < C_D/Re < 8{,}8\cdot10^{-4}}$

Výpočet *D* ze vztahů pro usazovací rychlost:

Stokesova oblast ($Re \leq 2$):

$$D = 3\cdot\sqrt{\frac{2u\mu}{(\rho_s - \rho)g}}$$

přechodová oblast ($2 < Re < 500$):

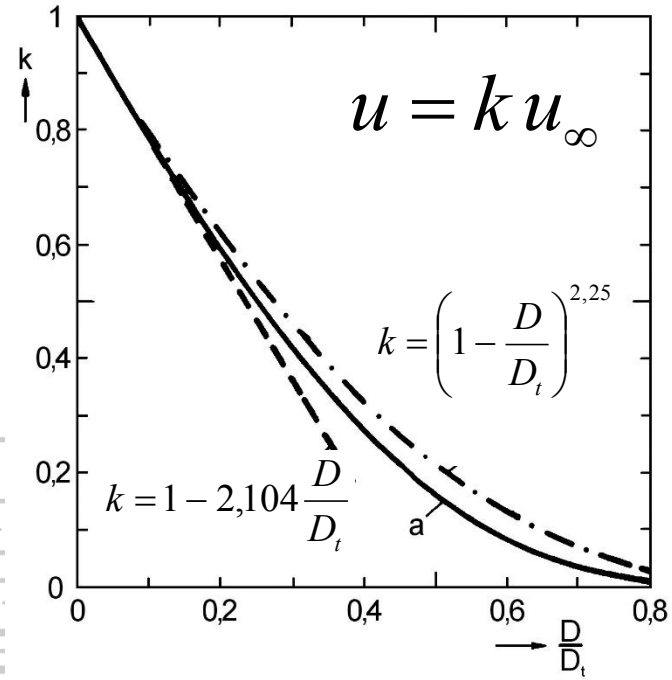
$$D = 5{,}19\frac{u^{0{,}877}\rho^{0{,}254}\mu^{0{,}377}}{(\rho_s - \rho)^{0{,}623}g^{0{,}623}}$$

Newtonova oblast ($500 < Re < 3\cdot10^5$):

$$D = 0{,}33\frac{u^2\rho}{(\rho_s - \rho)g}$$

Další faktory ovlivňující rychlost usazování

- ***Vliv ohraničenosti prostředí na usazování jedné částice***



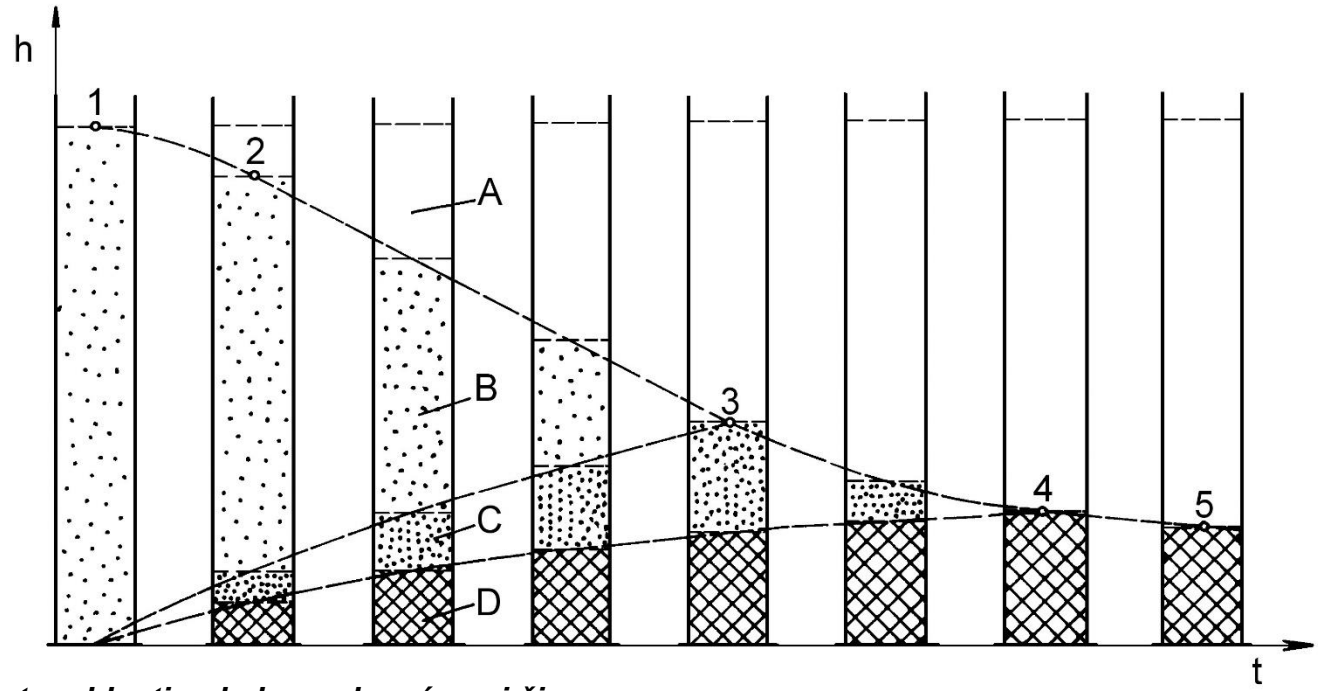
- ***Vliv elektrických sil mezi částicemi***
- ***Vliv nespojitosti prostředí***
- ***Vliv pohybu prostředí***

- ***Vliv vzájemného působení částic –*** $u = u_\infty \varphi(\varepsilon),\ \varphi(\varepsilon) = \varepsilon^n$

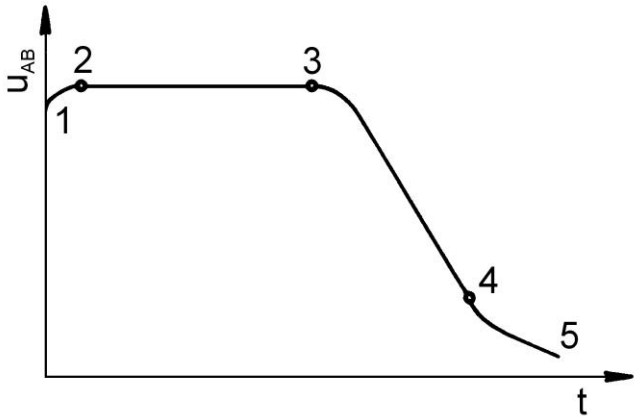
Vztah pro výpočet rychlosti rušeného usazování navrhli Goroško, Rozenbaum a Todes:

$$Re = \frac{Ar\,\varepsilon^{4,75}}{18 + 0{,}6\sqrt{Ar\,\varepsilon^{4,75}}}\,, \quad \text{kde} \quad Ar = \frac{D^3 \Delta\rho\,\rho\,g}{\mu^2}$$

Usazování jemných suspenzí



Závislost rychlosti pohybu rozhraní mezi čirou kapalinou a suspenzí na době usazování

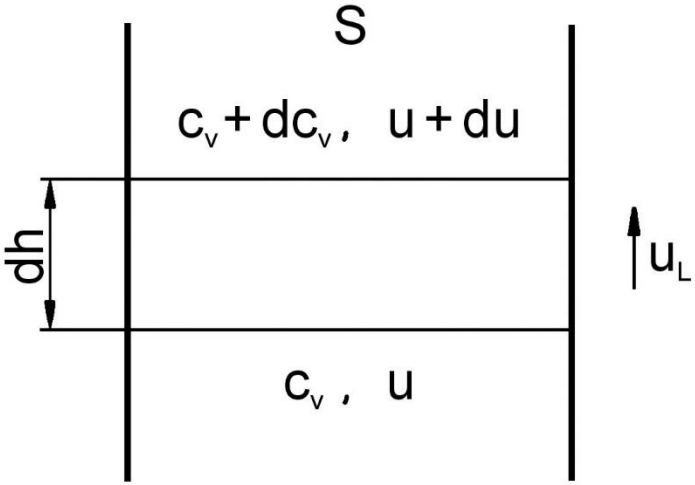


A – čirá kapalina

B – usazující se suspenze s konstantní koncentrací přibližně rovnou počáteční koncentraci suspenze

C – vrstva vysokokoncentrované suspenze s proměnlivou koncentrací

D – vrstva usazeniny



$$c_v S(u_L + u) = (c_v + \mathrm{d}c_v) S(u_L + u + \mathrm{d}u)$$

Hustota objemového toku pevné fáze [m·s^{-1}]

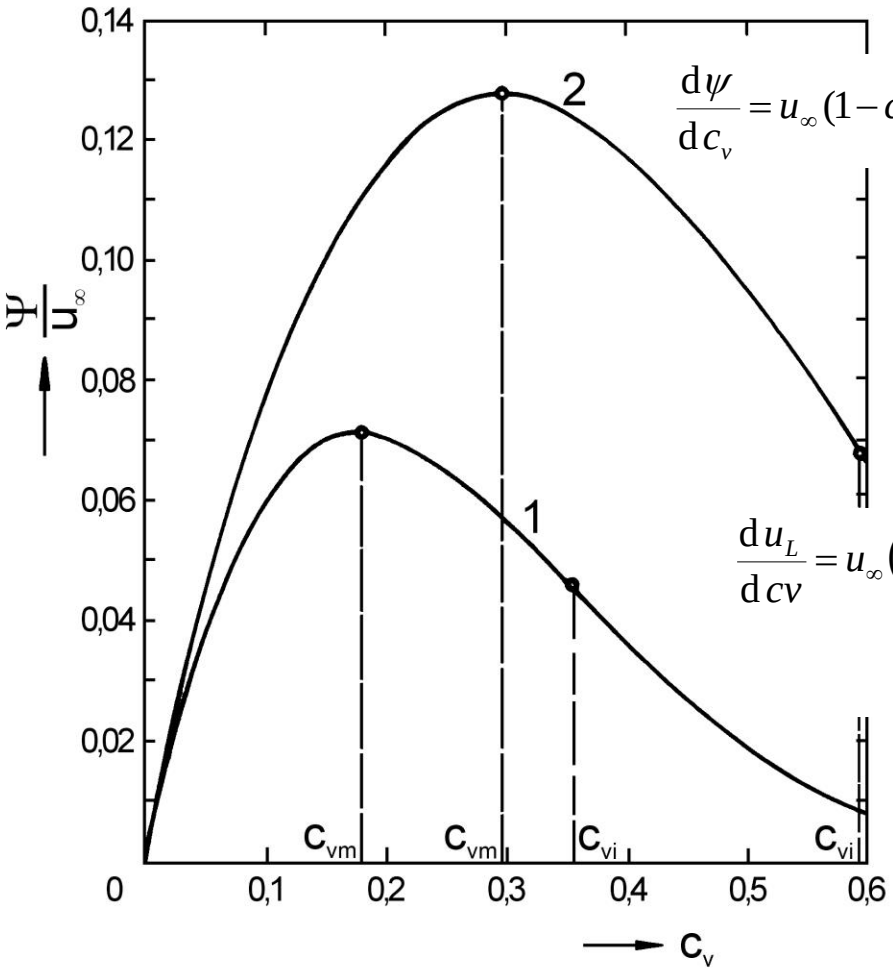
$$\psi = u c_v$$

$$u_L = \frac{-c_v\,\mathrm{d}u - u\,\mathrm{d}c_v}{\mathrm{d}c_v} = -\frac{\mathrm{d}(u c_v)}{\mathrm{d}c_v} = -\frac{\mathrm{d}\psi}{\mathrm{d}c_v}$$

$$u = u_\infty \varphi(\varepsilon),\ \varphi(\varepsilon) = \varepsilon^n \quad \Rightarrow \quad \psi = u_\infty \varepsilon^n (1-\varepsilon) = u_\infty (1-c_v)^n c_v$$

$$\boxed{u_L = -\frac{\mathrm{d}\psi}{\mathrm{d}c_v} = u_\infty (1-c_v)^{n-1}\left[c_v(1+n) - 1\right]}$$

Závislost bezrozměrné hustoty objemového toku pevné fáze ψ / u_∞ na objemové koncentraci c_v



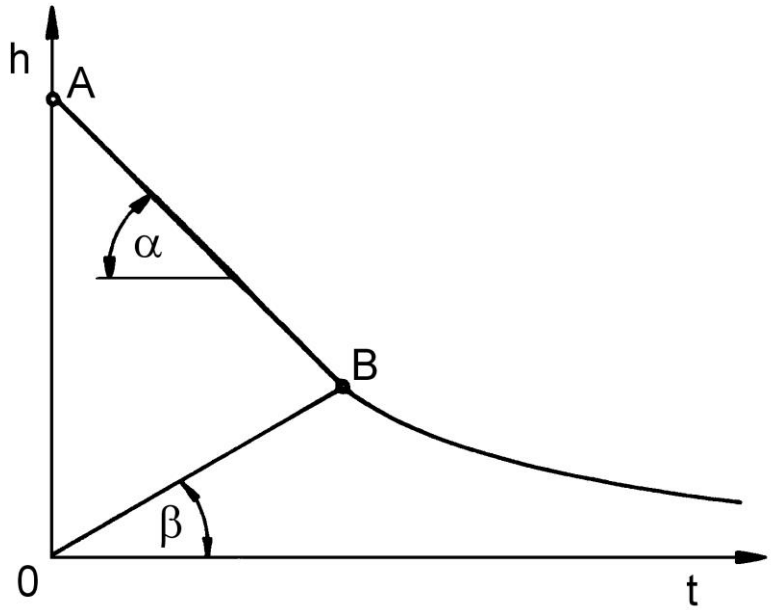
$$\frac{\mathrm{d}\psi}{\mathrm{d}c_v} = u_\infty (1-c_v)^{n-1}\left[-nc_v + (1-c_v)\right] = 0 \;\Rightarrow\; c_v = \frac{1}{1+n} = c_{vm}$$

$$\frac{\mathrm{d}u_L}{\mathrm{d}cv} = u_\infty (1-c_v)^{n-2}\left\{(1-n)\left[c_v(1+n)-1\right] + (1-c_v)(1+n)\right\} = 0$$

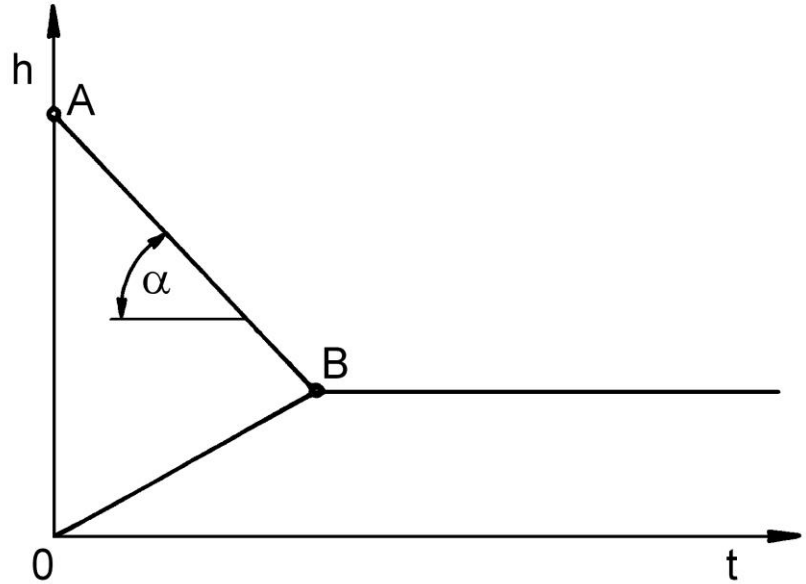
$$\Rightarrow\; c_v = \frac{2}{n+1} = c_{vi}$$

1 *– usazování ve Stokesově oblasti n = 4,65 (jemné suspenze),* ***2*** *– usazování v Newtonově oblasti n = 2,39 (hrubé suspenze)*

Pohyb rozhraní při usazování jemných suspenzí



Pohyb rozhraní při usazování hrubých suspenzí

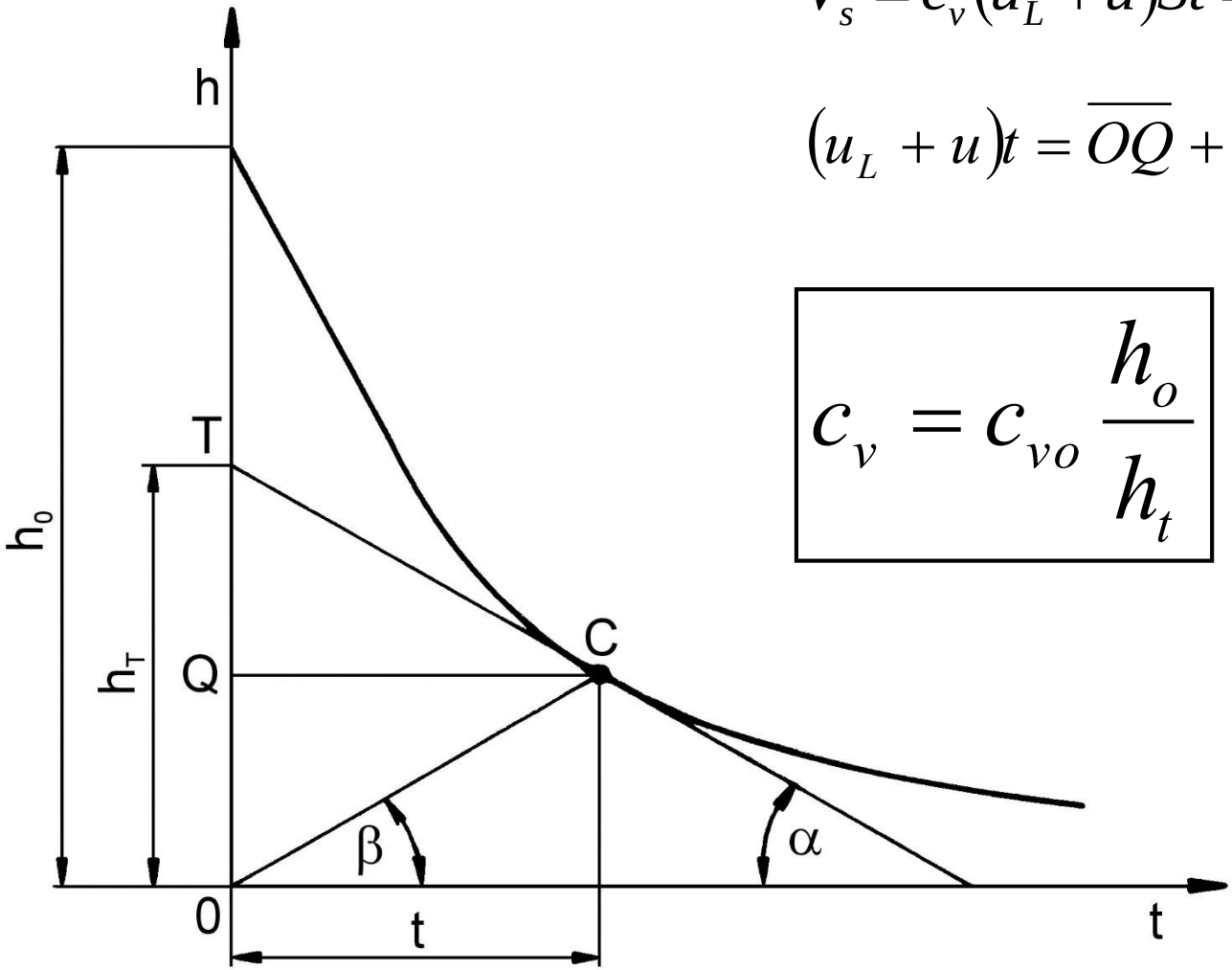


Sedimentační test → stanovení usazovací rychlosti

$$V_s = c_v\left(u_L + u\right)St = c_{vo}Sh_o$$

$$\left(u_L + u\right)t = \overline{OQ} + \overline{QT} = \overline{OT} = h_T$$

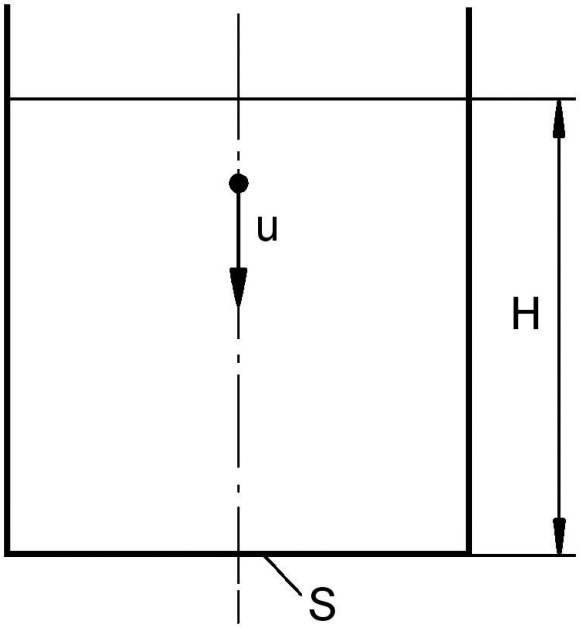
$$\boxed{c_v = c_{vo}\frac{h_o}{h_t}}$$



Zařízení pro gravitační usazování

Periodické usazování

Periodicky pracující usazovák



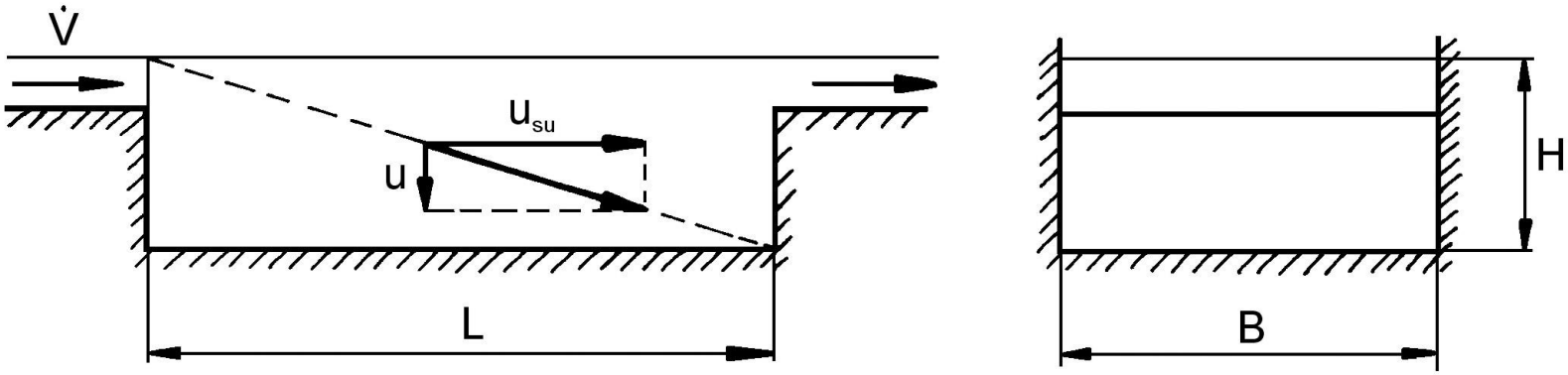
$$t = \frac{H}{u}$$

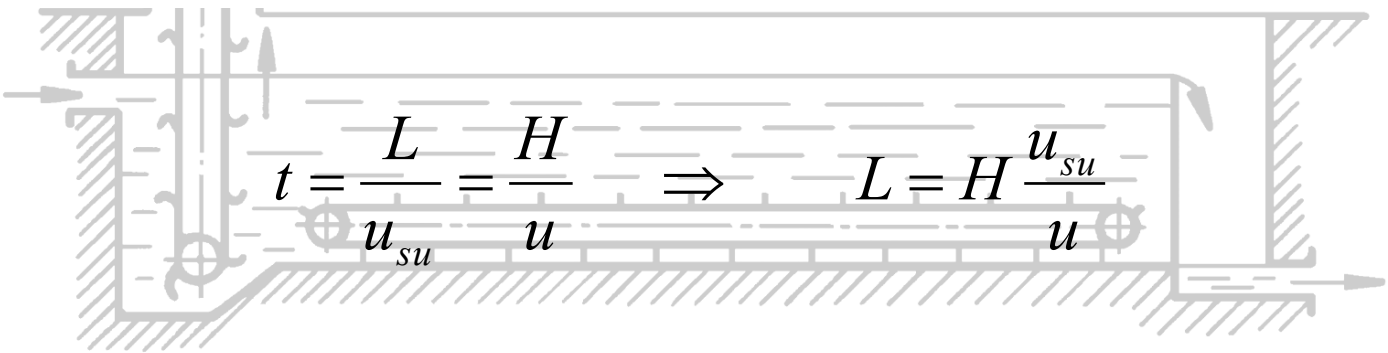
$$\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{SH}{\frac{H}{u}} = Su$$

$$\dot{V}_{stř} = \frac{V}{t + t_m}$$

Polokontinuální usazování

Polokontinuálně pracující usazovák obdélníkového průřezu

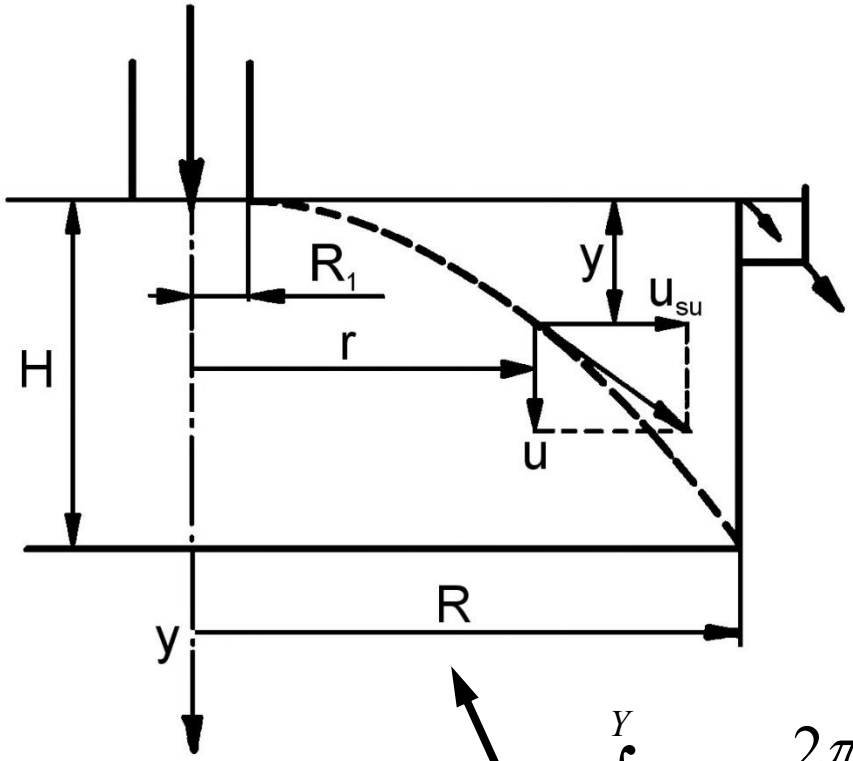




$$t = \frac{L}{u_{su}} = \frac{H}{u} \quad \Rightarrow \quad L = H\frac{u_{su}}{u}$$

$$\boxed{\dot{V} = BHu_{su} = BLu = Su}$$

Polokontinuálně pracující kruhový usazovák



$$\mathrm{d}y = u\,\mathrm{d}t,\ \mathrm{d}r = u_{su}\,\mathrm{d}t$$

$$\mathrm{d}t = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}r} = \frac{u}{u_{su}}$$

$$u_{su} = \frac{\dot{V}}{2\pi r H}$$

$$\mathrm{d}y = \frac{2\pi H u}{\dot{V}} r\,\mathrm{d}r$$

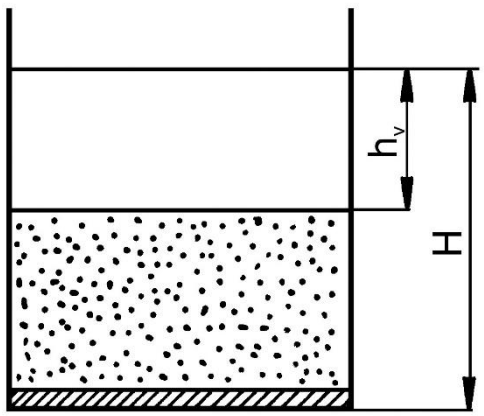
$$\int_0^Y \mathrm{d}y = \frac{2\pi H u}{\dot{V}} \int_{R_1}^{r} r\,\mathrm{d}r \Rightarrow y = \frac{\pi H u}{\dot{V}}\left(r^2 - R_1^2\right)$$

$$y = H, r = R$$

$$\boxed{R = \sqrt{R_1^2 + \frac{\dot{V}}{\pi u}} \Rightarrow \dot{V} = \pi\left(R^2 - R_1^2\right)u}$$

Odlučivost usazovacích zařízení

$$\eta = \frac{m_z}{m}$$



Monodisperzní suspenze

Pokud bude doba usazování nebo doba prodlení suspenze v usazováku $t \geq H/u$, odloučí se všechny částice a odlučivost $\eta = 1$. V případě, že bude $t < H/u$, se vyčiří pouze sloupec kapaliny o výšce $h_v = ut$ a odlučivost bude určena poměrem hmotnosti usazených částic k celkové hmotnosti částic v suspenzi neboli poměrem sloupce vyčiřené kapaliny h_v k celkové výšce vrstvy suspenze H:

$$\eta = \frac{h_v}{H} = \frac{ut}{H}$$

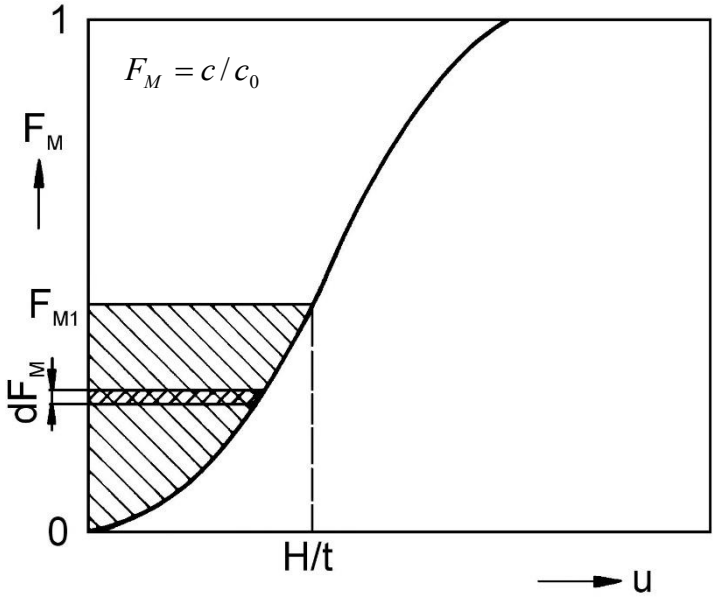
Polydisperzní suspenze

Během doby t se zcela usadí jen ty částice, jejichž rychlost usazování je větší než H/t. Částice s rychlostí usazování $u < H/t$, se usadí jen z objemu příslušejícího výšce $h_v = u \cdot t$. Celkovou odlučivost pak dostaneme jako sumu součinů frakčních odlučivostí η_i a hmotnostních podílů příslušných frakcí w_i:

$$\eta = \sum_{i=1}^{i=k} \eta_i w_i = \frac{u_i t}{H} w_i$$

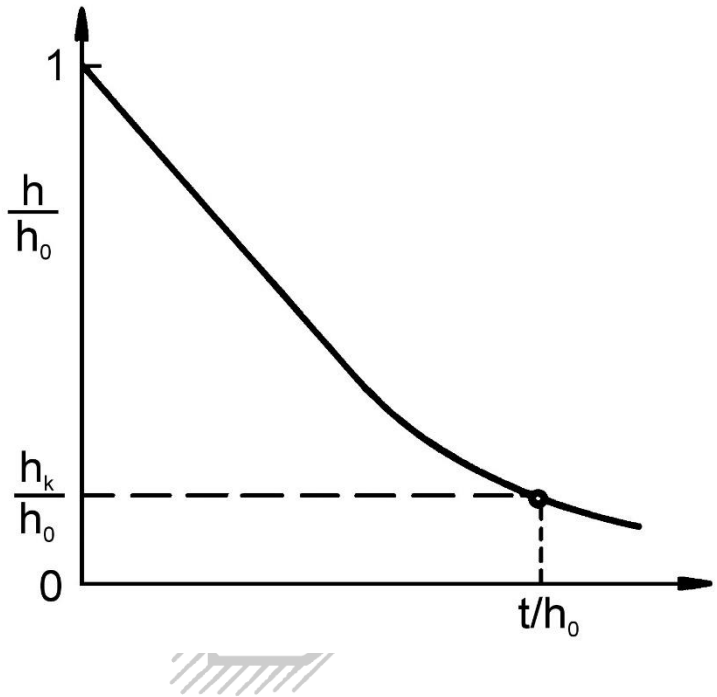
$$\eta = \int_{u_{\min}}^{u_{\max}} \eta(u) E_M \, \mathrm{d}u = \int_0^1 \eta(u) \frac{\mathrm{d}F_M}{\mathrm{d}u} \mathrm{d}u = \int_0^1 \eta \, \mathrm{d}F_M$$

$$\boxed{\eta = \int_0^{F_{M1}} \frac{ut}{H} \mathrm{d}F_M + \int_{F_{M1}}^1 \mathrm{d}F_M = \frac{t}{H} \int_0^{F_{M1}} u \, \mathrm{d}F_M + 1 - F_{M1}}$$



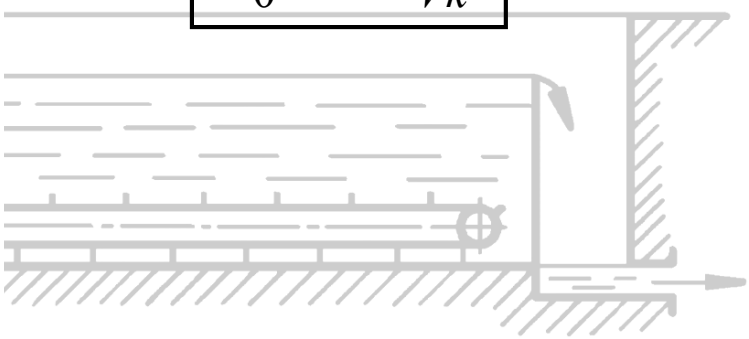
Zařízení pro zahušťování jemných suspenzí

Periodicky pracující zařízení



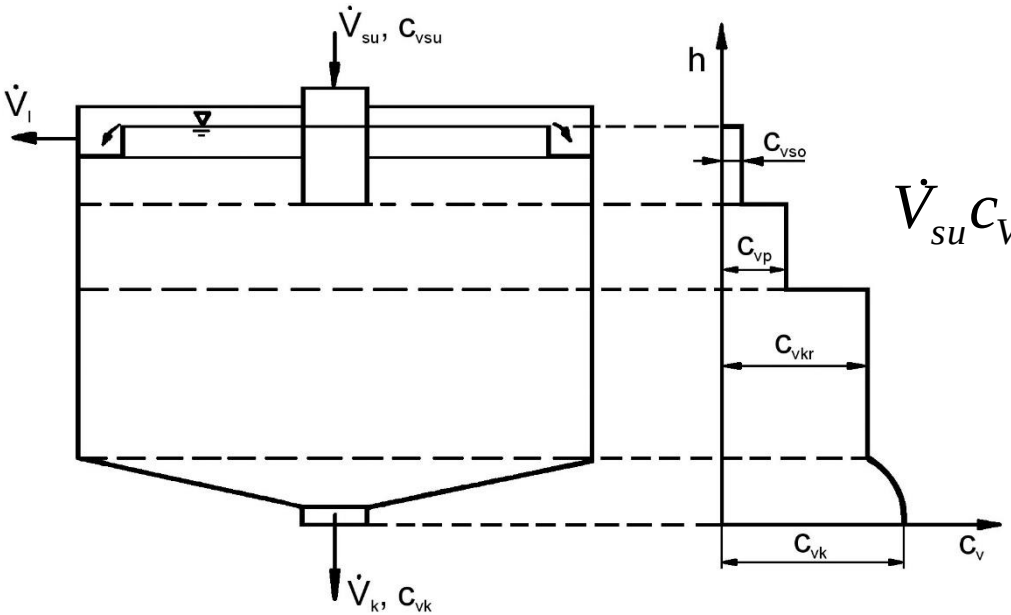
$$h_0 c_{V0} S = h_k c_{Vk} S$$

$$\boxed{\frac{h_k}{h_0} = \frac{c_{V0}}{c_{Vk}}}$$



Usazovací křivka musí být stanovena pro stejnou suspenzi o stejné počáteční koncentraci jako v provozním zařízení. U některých druhů suspenzí závisí tvar křivky také na výšce sloupce suspenze h_0. Pro takovéto suspenze musí být výška válce pro sedimentační pokus srovnatelná s předpokládanou výškou hladiny suspenze v provozním zařízení.

Kontinuálně pracující zařízení



$$\dot{V}_{su} = \dot{V}_l + \dot{V}_k$$

$$\dot{V}_{su} c_{Vsu} = \dot{V}_k c_{Vk} \Rightarrow \dot{V}_l = \dot{V}_{su}\left[1 - \frac{c_{Vsu}}{c_{Vk}}\right]$$

$$\Psi_c = \Psi + \Psi_0 \Rightarrow \frac{\dot{V}_{su} c_{Vsu}}{S} = c_V u + c_V \frac{\dot{V}_{su} \frac{c_{Vsu}}{c_{Vk}}}{S}$$

$$\Psi_0 = c_V u_k$$

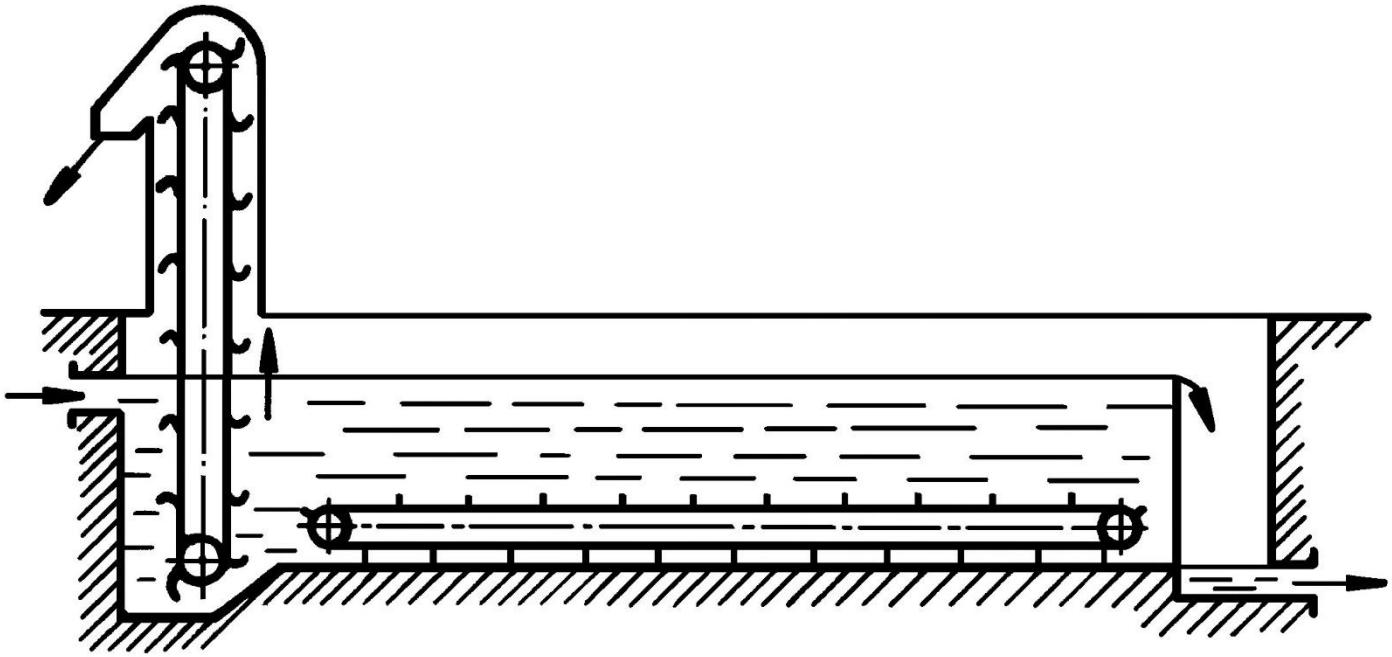
$$u_k = \frac{\dot{V}_k}{S}$$

$$\boxed{S = \frac{\dot{V}_{su} c_{Vsu}}{u}\left(\frac{1}{c_V} - \frac{1}{c_{Vk}}\right)}$$

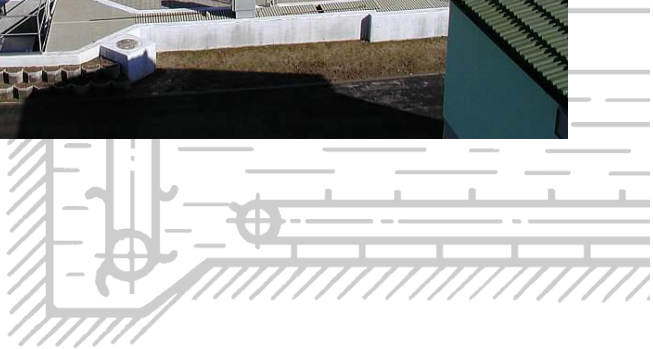
Při dalším výpočtu je nutno postupně pro různé koncentrace c_V dosazovat experimentálně zjištěné hodnoty usazovacích rychlosti u. Určité kritické koncentraci c_{Vkr} (usazovací rychlosti u_{kr}) pak odpovídá největší plocha průřezu S_{kr}, tzv. ***kritická plocha***.

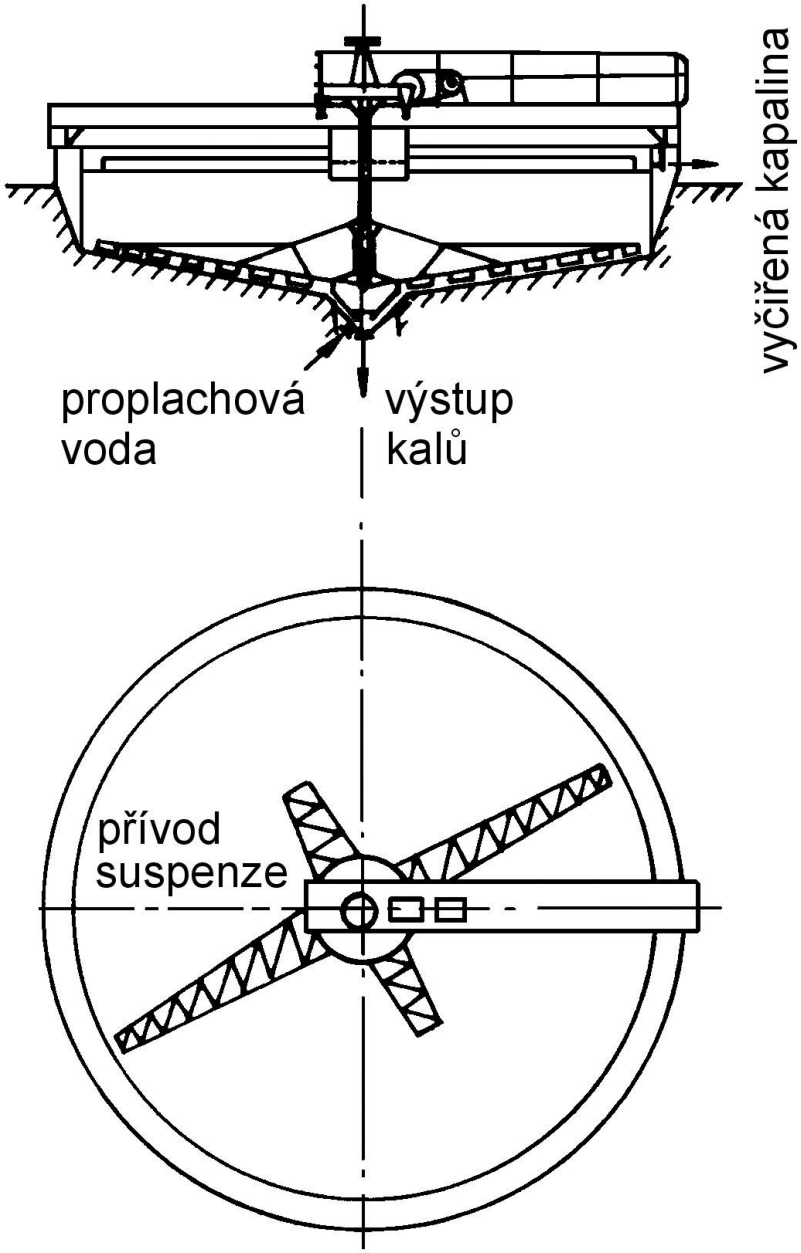
Kontinuální usazování

Kontinuálně pracující usazovák – lapač písku

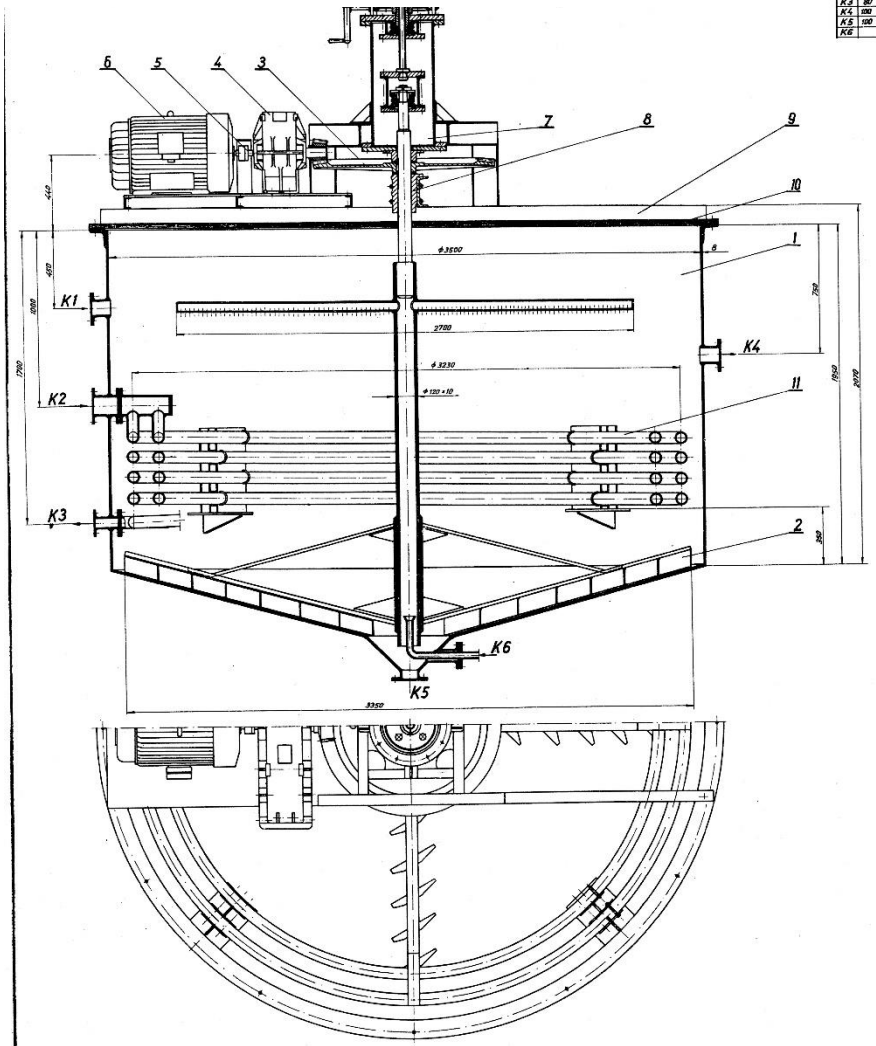


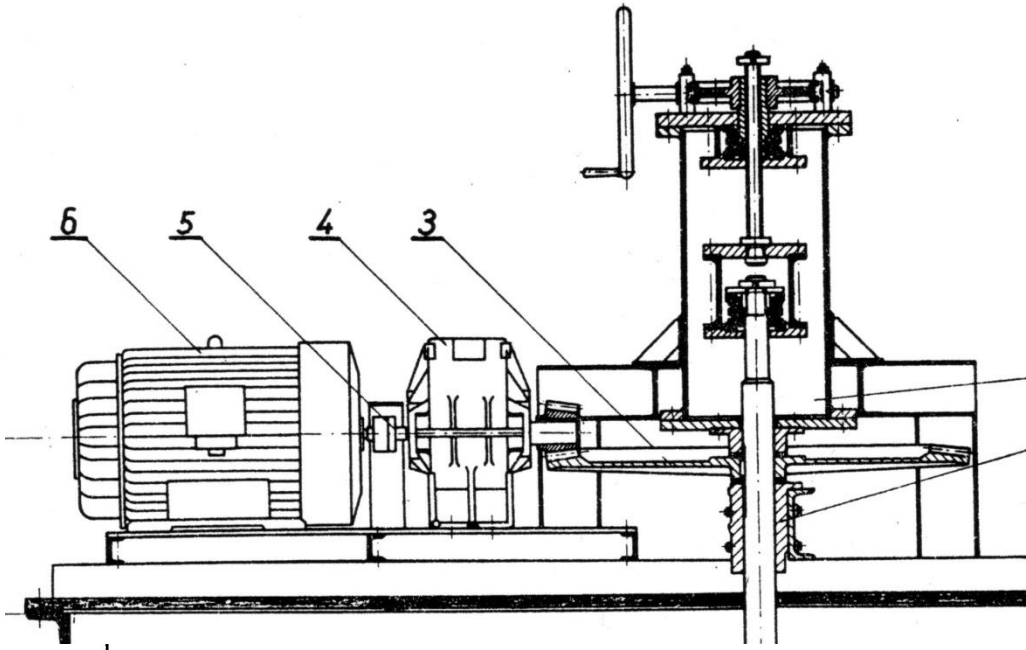
Kruhový usazovák s kontinuálním vyhrabováním kalu





Wykaz króćców			
Nr. króćca	Średnica nom.	Przeznaczenie	Uwagi
K1	100	Dopływ wody	
K2	100	Dopływ pary	
K3	80	Dopływ kondensatu	
K4	100	Dopływ fugu	
K5	100	Upływ powietrza	
K6		Dopływ powietrza	





Masa całkowita ~ 3700 kg

Charakterystyka techniczna	
Mechanizm obrotów	
Silnik elektryczny	N = 5 kW, n = 750 $\frac{obr}{min}$
Obroty wału zgarniacza	n = 0,5 $\frac{obr}{min}$
Prędkość obwodowa	–
Mechanizm podnoszenia	
Max. wysokość podnoszenia	h = 200 mm
Podnoszenie ręczne	

Poz.	Wyszczególnienie	Ilość	Materiał	Nr normy lub rys.		Uwagi
11	Wężownica	1	St35			
10	Pokrywa zbiornika	1	St3			
9	Ceownik 160	2	St35			
8	Łożysko ślizgowe	1	Różny			
7	Mechanizm podn.	1	Różny	5.7		
6	Silnik elektr. 5.5 kW	1	–			
5	Sprzęgło	1	Różny			
4	Przekładnia WT	1	Różny			
3	Przekładnia	1	St5			
2	Zgarniacz	1	St35	5.6		
1	Zbiornik	1	St45			

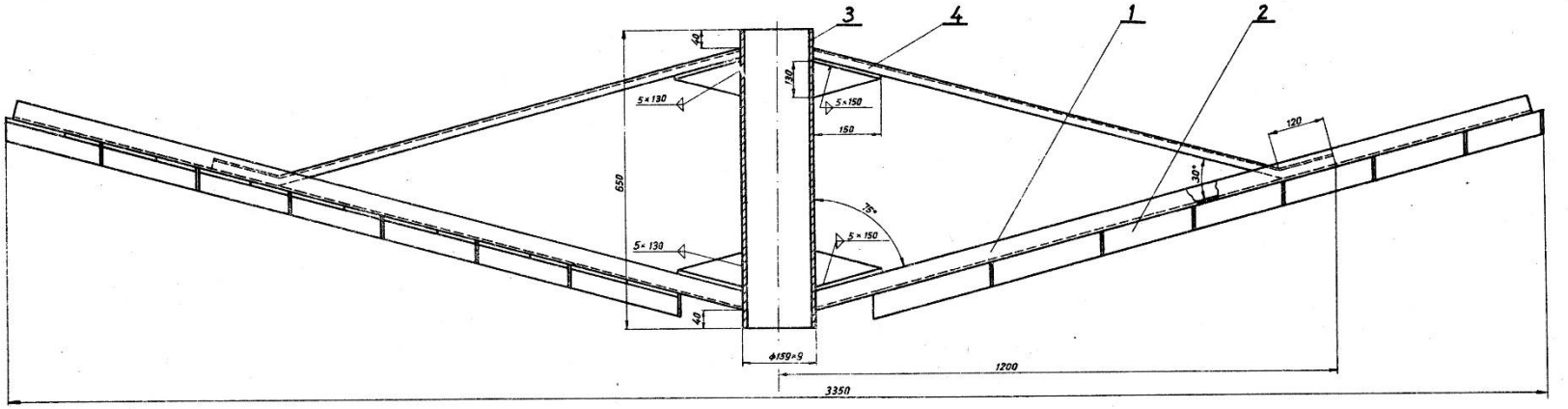
Opracowano pod kierunkiem Prof. dr inż. J. Pałkiewicz Politechnika Śląska Katedra Aparatury Chemicznej

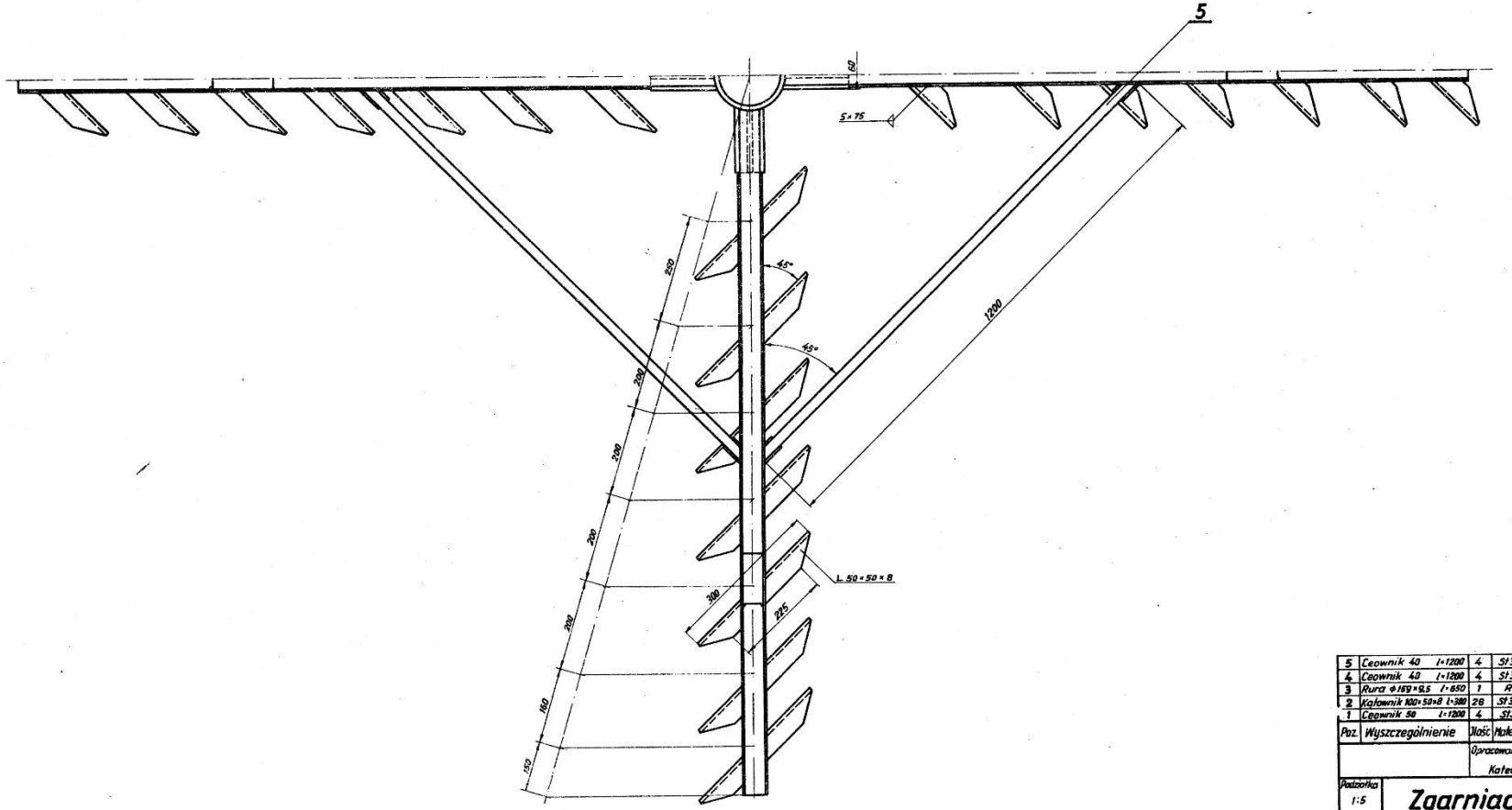
Podziałka 1:10

Ługownik Dorra

$V = 20 m^3$, $p = 3 bar$, $t = 80°C$

Nr rysunku 5.5





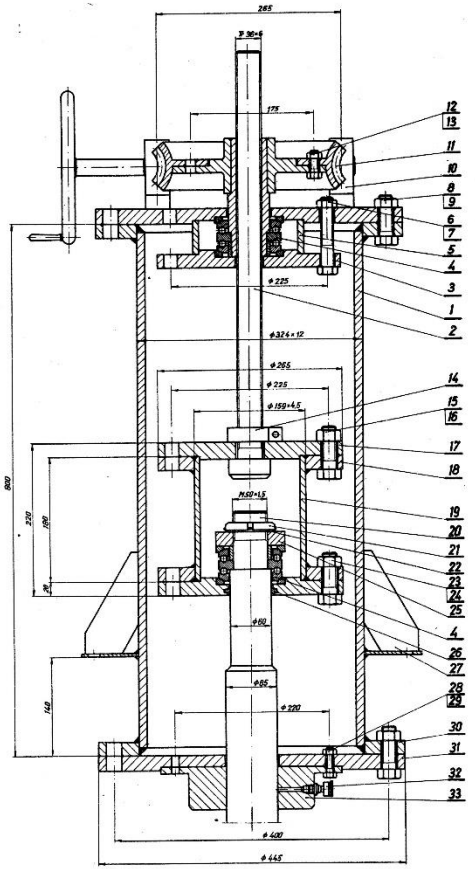
Poz.	Wyszczególnienie	Ilość	Materiał	Nr normy lub rys.	Uwagi
5	Ceownik 40 l=1200	4	St3S	PN-59/H-93403	
4	Ceownik 40 l=1200	4	St3S	PN-59/H-93403	
3	Rura Φ159×9,5 l=650	1	R	PN-61/H-74219	
2	Kątownik 100×50×8 l=380	28	St3S	PN-64/H-93402	
1	Ceownik 50 l=1200	4	St3S	PN-59/H-93403	

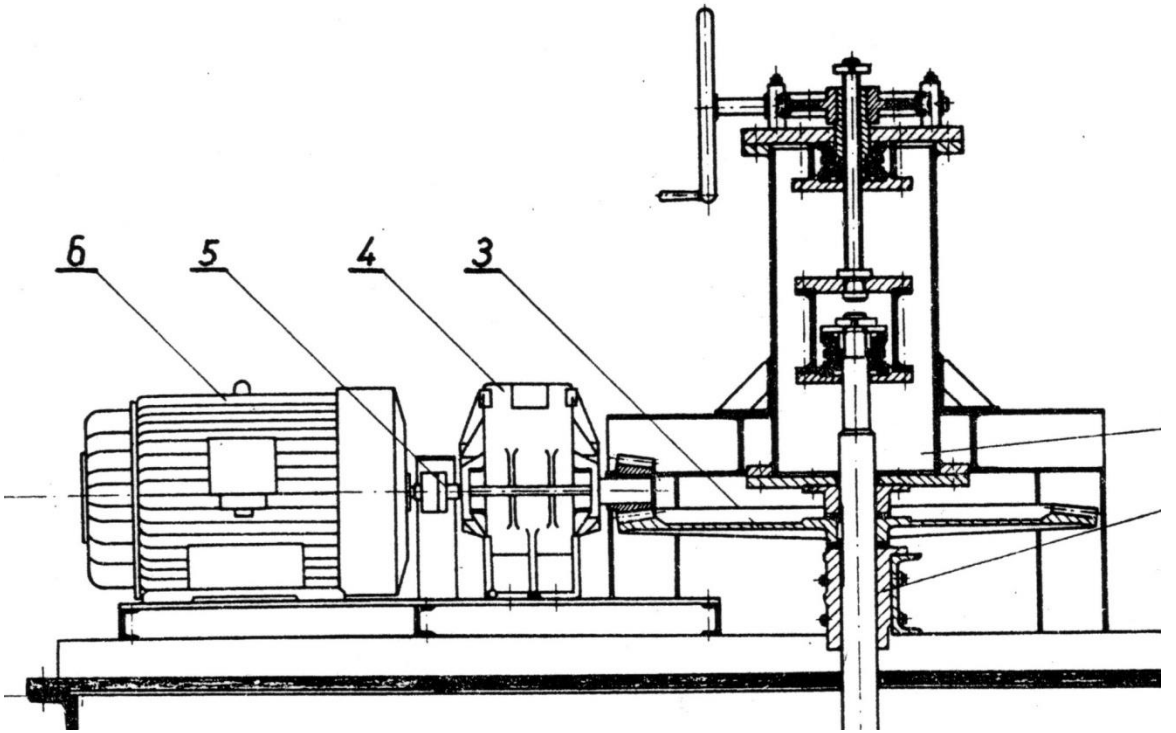
Opracowano pod kierunkiem Prof. dr inż. T. PIKONIA
Politechnika Śląska
Katedra Aparatury Chemicznej

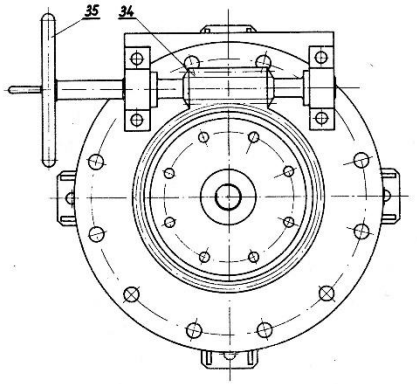
Podziałka 1:5

Zgarniacz

Nr rysunku 5.6







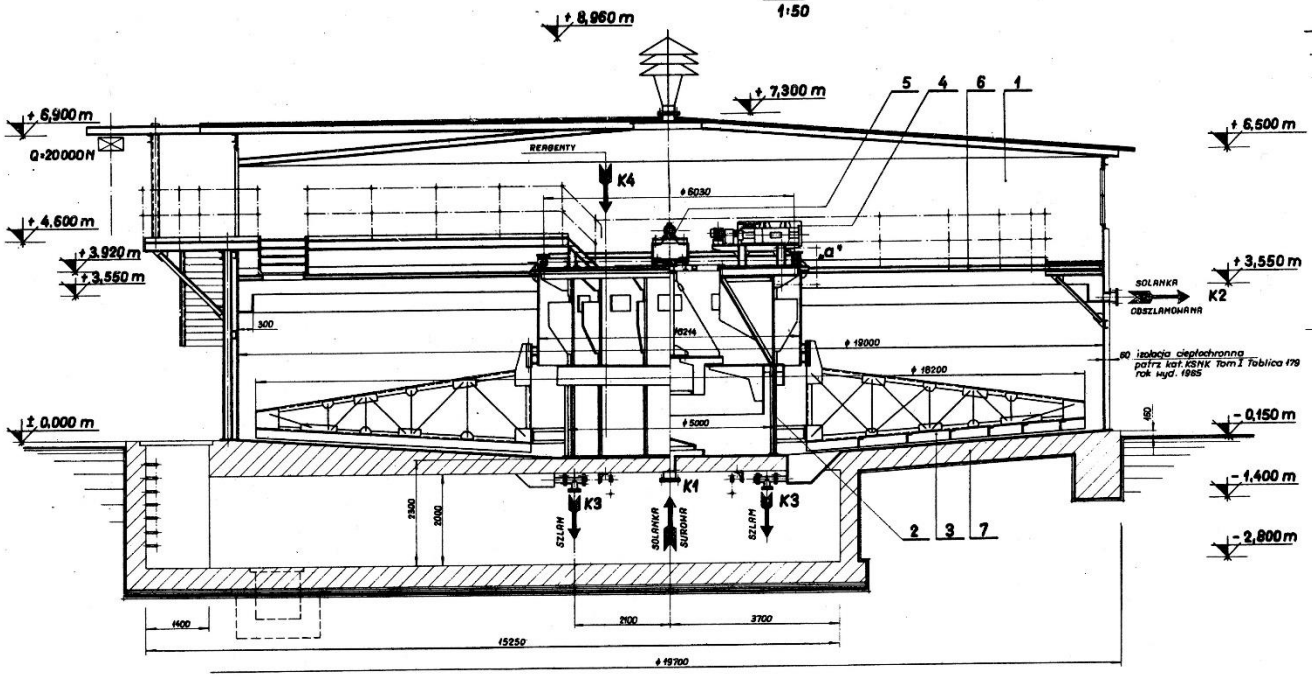
Poz.	Wyszczególnienie	Ilość	Materiał	Nr normy lub rys.	Uwagi
35	Pokrętło	1	Z118		
34	Ślimak	1	S16		
33	Łożysko ślizgowe	1	Z122		
32	Smarownica kapt	1	ręcny	PN/H-86008	
31	Kołnierz specjalny	1	St3		
30	Kołnierz 10/300/324	1	St3	PN/H-74332	
29	Nakrętka M10	8	St4	PN-58/H-82143	
28	Śruba M10 × 40	8	St3	PN-58/H-82105	
27	Łapa wspornika 80	4	St3	SN-64/2212-02	
26	Pierścień filcowy	1	Filc	PN-13	
25	Pierścień dociskowy	1	St3		
24	Nakrętka M16	8	St4	PN-58/H-82143	
23	Śruba M16 l=60	8	St3	PN-58/H-82105	
22	Podkładka zębata	1	St3	NB-10	
21	Nakrętka tulejkowa	1	St4	KN-10	
20	Wrzeciono	1	St3		
19	Rura ϕ 159 × 4,5	1	R		
18	Kołnierz 6/150/159	2	St3	PN/H-74331	
17	Kołnierz specjalny	1	St3		
16	Nakrętka M16	8	St4	PN-58/H-82143	
15	Śruba M16 × 60	8	St3	PN-58/H-82105	
14	Pierścień zaciskowy	1	St3		
13	Nakrętka M12	8	St4	PN-58/H-82143	
12	Śruba M12 × 30	8	St3	PN-58/H-82105	
11	Ślimacznica	1	Z122		
10	Łożysko ślizgowe	2	Z122		
9	Nakrętka M20	24	St4	PN-58/H-82143	
8	Śruba M20 × 70	24	St3	PN-58/H-82105	
7	Nakrętka M16	8	St4	PN-58/H-82143	
6	Śruba M16 × 100	8	St3	PN-58/H-82105	
5	Rura ϕ 159 × 4,5	1	R		
4	Łożysko kulkowe	2		54009 U	
3	Kołnierz specjalny	1	St3		
2	Śruba M 38 × 6	1	St3	PN-62/H-82017	
1	Rura ϕ426 × 12	1	R		

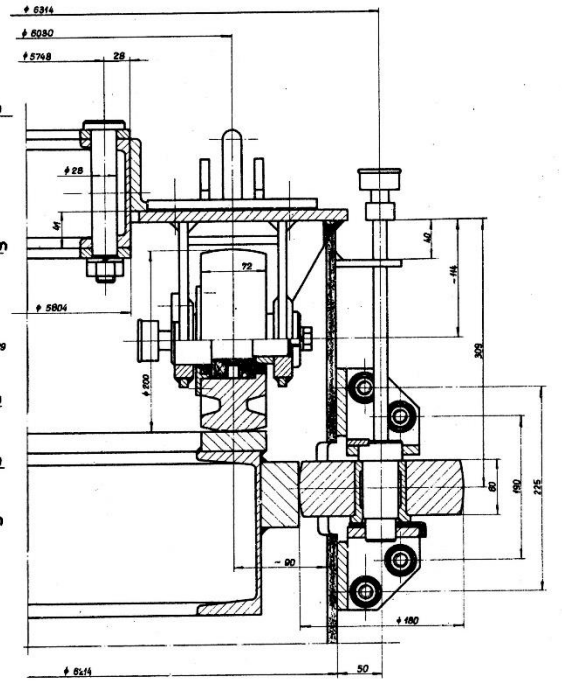
Opracowano pod kierunkiem Prof. dr inż. I. PAORA
Politechnika Śląska
Katedra Aparatury Chemicznej

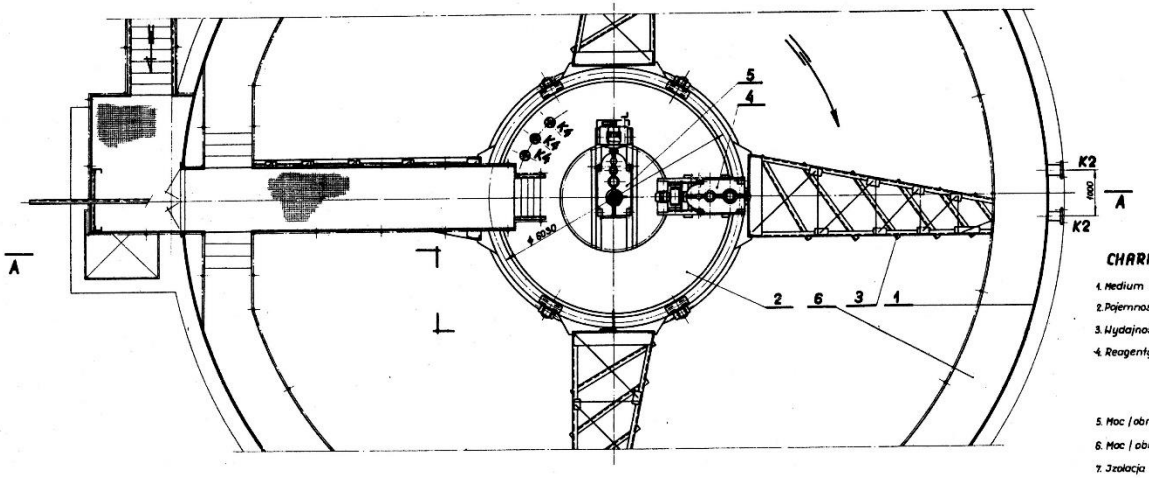
Podziałka	Mechanizm podnoszenia	Nr rysunku
1:2,5		5.7

Wykaz króćców

Nr króćca	ϕ nom.	Przeznaczenie	Uwagi
K1	200	doprow. solanki	
K2	300	odprow. solanki	2 sztuki
K3	100	odprow. szlamu	2 sztuki
K4	50	doprow. reagentów	3 sztuki







Masa całkowita ~1020000 kg

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA:

1. Medium robocze	solanka	
2. Pojemność robocza	1200 m^3	
3. Wydajność solanki oczyszcz.	~93,822 m^3/h	
4. Reagenty: 18% $BaCl_2$	258,28 kg/h	
20% Na_2CO_3	261,40 kg/h	
18% NaOH	45,50 kg/h	
5. Moc / obroty napędu zgarniaj.	1,1 kJs^{-1} / 0,001 s^{-1}	
6. Moc / obroty mieszadła	5,5 kJs^{-1} / (0,058 ÷ 0,138) s^{-1}	
7. Izolacja cieplna	0,060 m	

Poz	Wyszczególnienie	Ilość	Materiał	Nr normy lub rys.	Masa kg	Uwagi
7	Fundament	1	różny	rys.	320000	
6	Podest	1	różny	rys.	5800	
5	Napęd mieszadła	1	różny	rys.	1100	
4	Napęd karuzeli	1	różny	rys.	1400	
3	Karuzela 4-ra ram.	1	różny	rys.	21400	
2	Komora reakcj. ϕ5000	1	różny	rys.	14500	
1	Zbiornik ϕ19000	1	różny	rys.	58000	

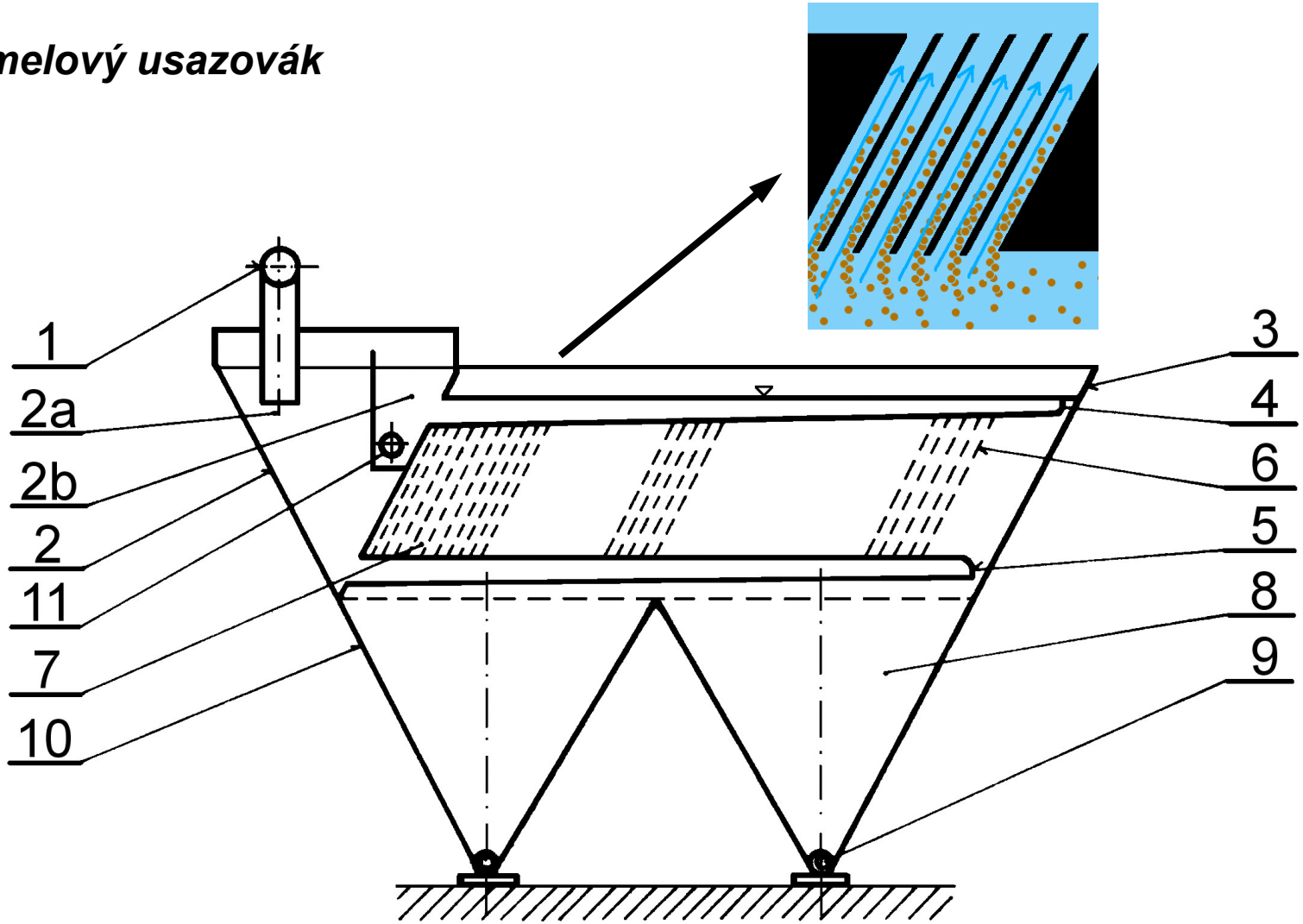
Opracowano pod kierunkiem Prof. dr inż. J. PIKONIA
POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Katedra Aparatury Chemicznej

Podziałka 1:2,5 1:50

GĘSTOŚNIK DORR'A
V = 1200 m^3

Nr rysunku **5.9**

Lamelový usazovák

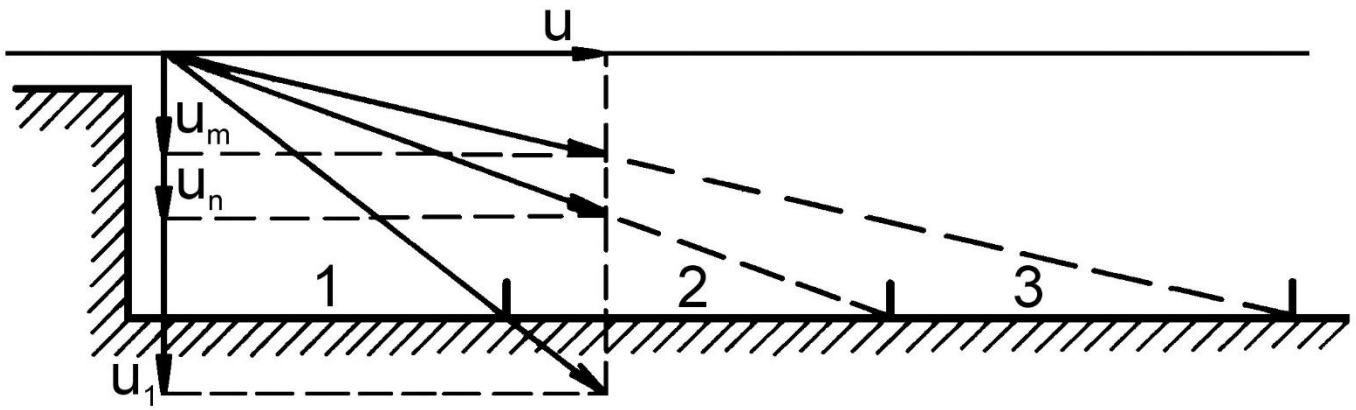


1 *– přívodní trubka,* ***2*** *– nátoková komora,* ***2a*** *– vstupní část,* ***2b*** *– výstupní část,*
3 *– horní stěny,* ***4*** *– přepadové žlaby,* ***5*** *– štěrbinové rozvaděče,* ***6*** *– lamely,*
7 *– účinný prostor,* ***8*** *– zahušťovací prostor,* ***9*** *– míchací a vyhrnovací šnek,*
10 *– spodní nádoba,* ***11*** *– odtahová trubka*

Hydraulické třídění a rozdružování

Polokontinuální hydraulické třídění

Rmutnice



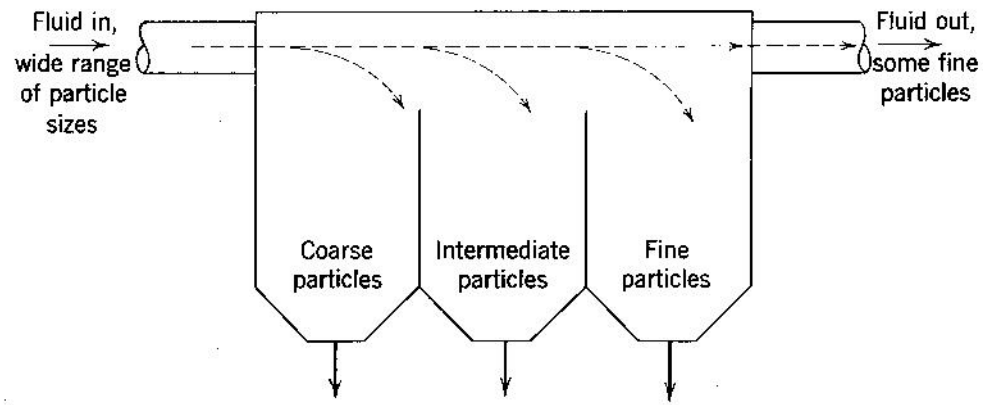
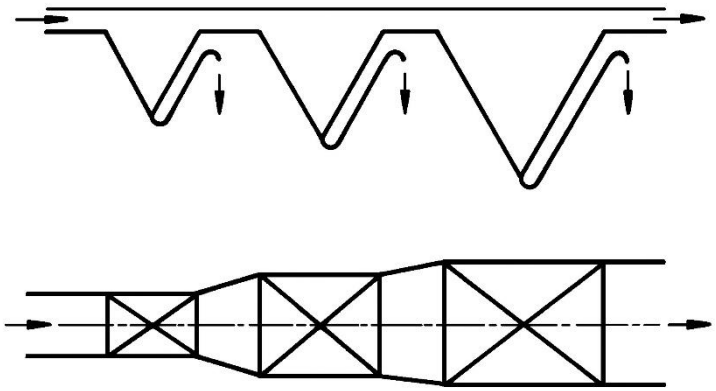


Figure 22.4. Gravity-settling tank.

Kontinuální hydraulické třídění

Nálevky



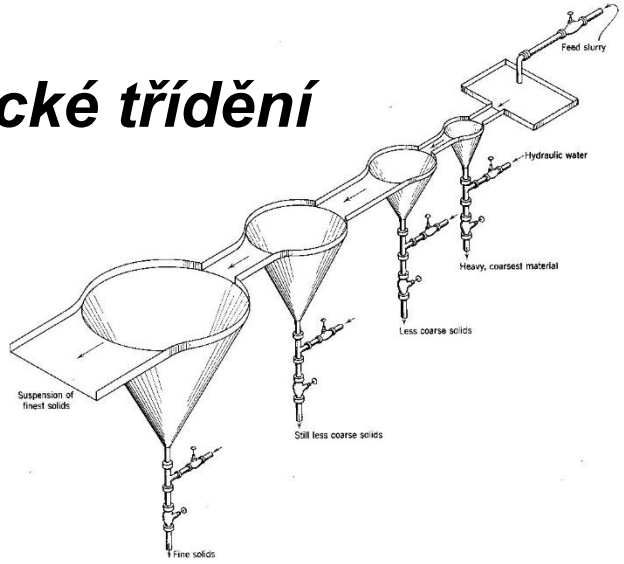
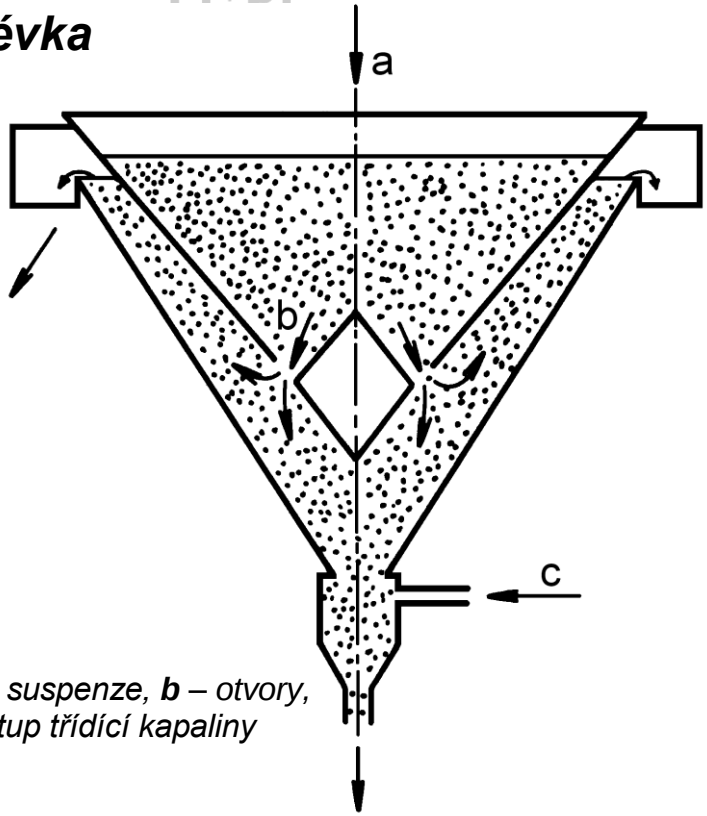


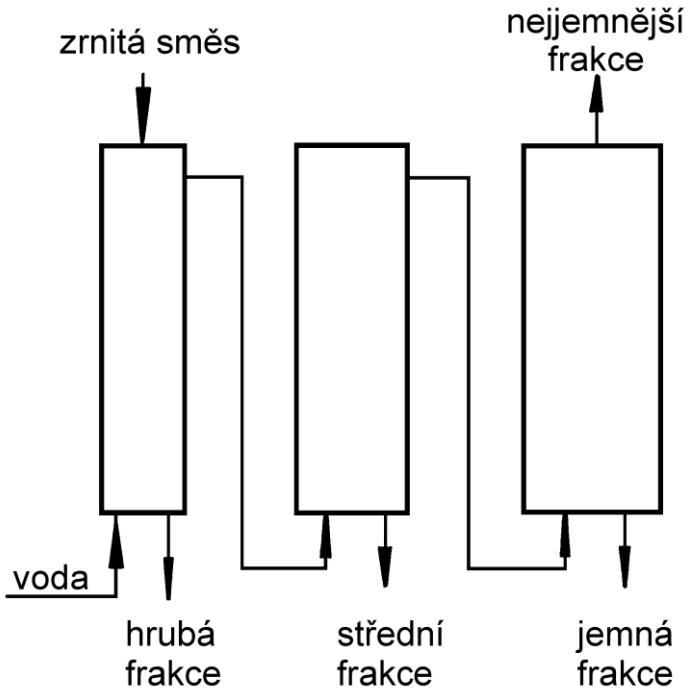
Figure 22.5. Schematic representation of a Spitzkasten.

Prolévka



a *– přívod suspenze,* ***b*** *– otvory,*
c *– vstup třídící kapaliny*

Elutriátory – hydraulické třídiče částic



Základy hydraulického rozdružování

Uvažujme suspenzi se zrny dvojího materiálu o hustotách ρ_{s1} a ρ_{s2} a sledujme, kdy budou tato různá zrna klesat stejnými rychlostmi, čili, kdy:

$$u_1 = u_2$$

Newtonova oblast:

$$D_1(\rho_{s1} - \rho) = D_2(\rho_{s2} - \rho)$$

přechodová oblast:

$$D_1^{1,6}(\rho_{s1} - \rho) = D_2^{1,6}(\rho_{s2} - \rho)$$

Stokesova oblast:

$$D_1^2(\rho_{s1} - \rho) = D_2^2(\rho_{s2} - \rho)$$

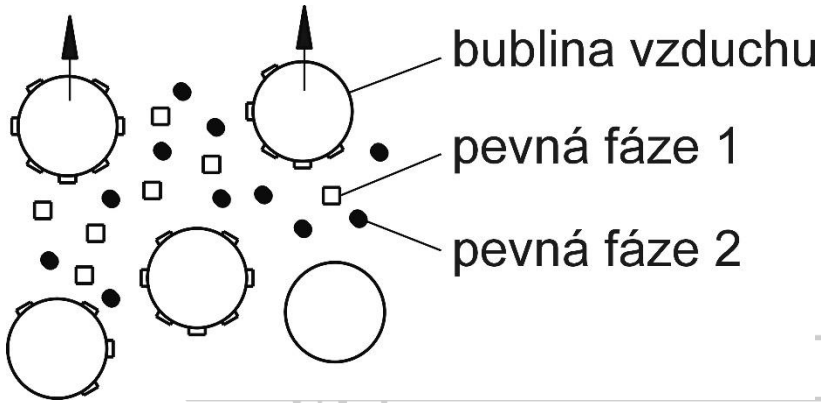
Tyto vztahy, které označujeme jako ***rovnice soupádnosti***, udávají závislost mezi průměry zrn různých materiálů, které se usazují stejně rychle. Tato zrna označujeme jako ***soupádná***.

Např. máme-li směs křemenných zrn o hustotě 2600 kg·m^{-3} a zrn galenitových o hustotě 7400 kg·m^{-3}, budou ve vodě (o hustotě 1000 kg·m^{-3}) s křemennými zrny o velikosti 2 mm soupádná zrna galenitová o velikosti

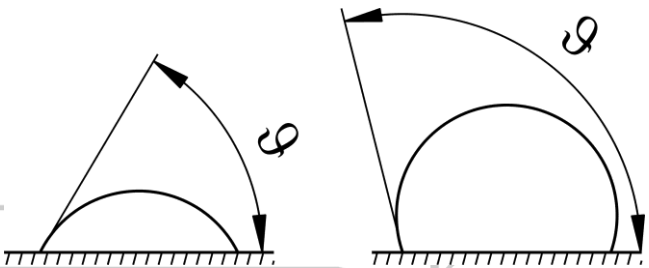
$$D_2 = D_1 \frac{\rho_{s1} - \rho}{\rho_{s2} - \rho} = 2\frac{2{,}6 - 1}{7{,}4 - 1} = 0{,}5 \ \ mm\,.$$

Flotace

Princip flotace



Styčný úhel mezi kapalinou a pevnou látkou



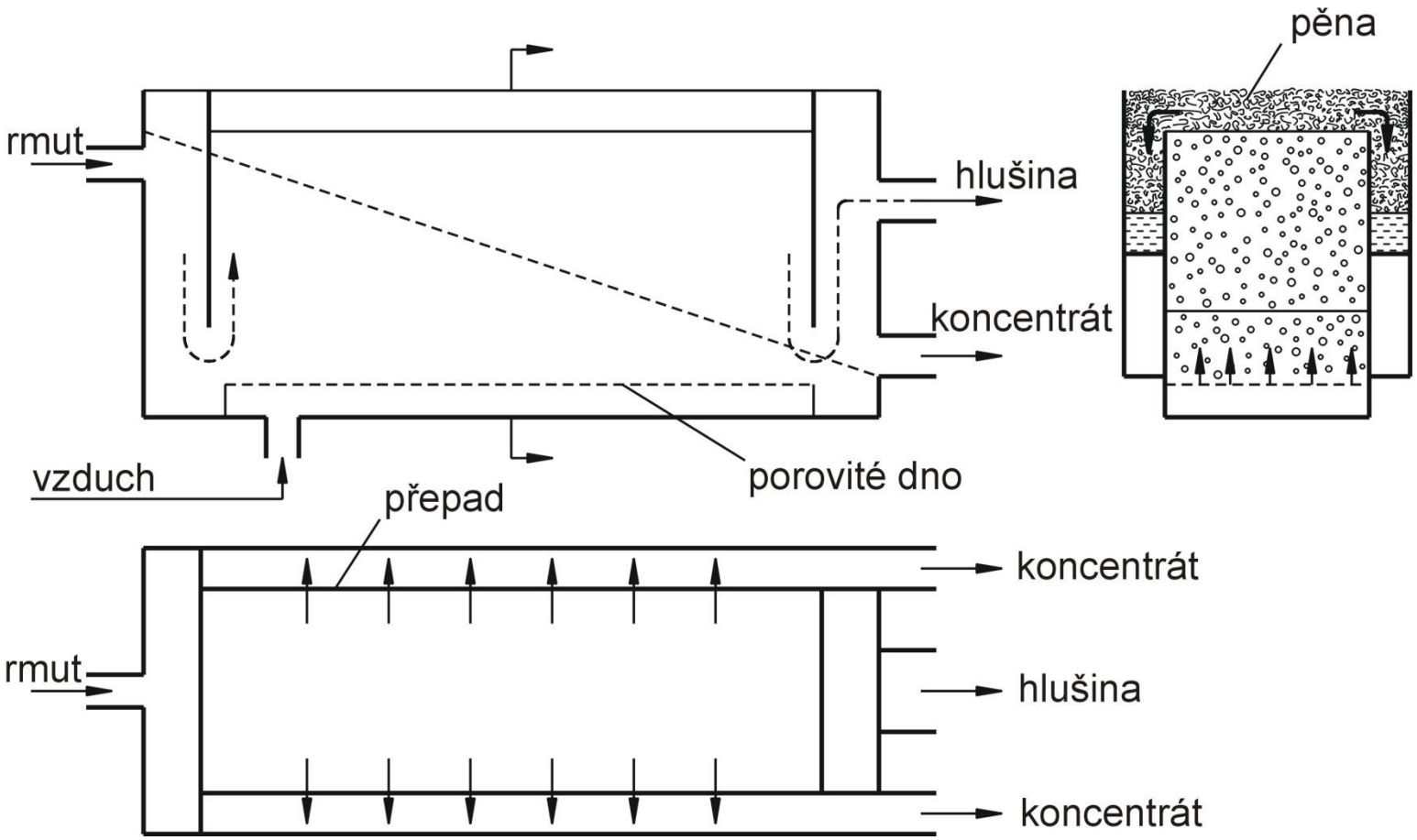
Pevná látka	***Styčný úhel***	***Flotovatelnost***
Břidlice	11 ÷ 13°	5 ÷ 6 %
Křemen	55 ÷ 58°	78 ÷ 79 %
Pískovec	0°	1 %
Pyrit	58 ÷ 73°	89 ÷ 92 %
Vápenec	45°	11 ÷ 56 %
Galenit	70 ÷ 75°	90 %

Flotační aparáty

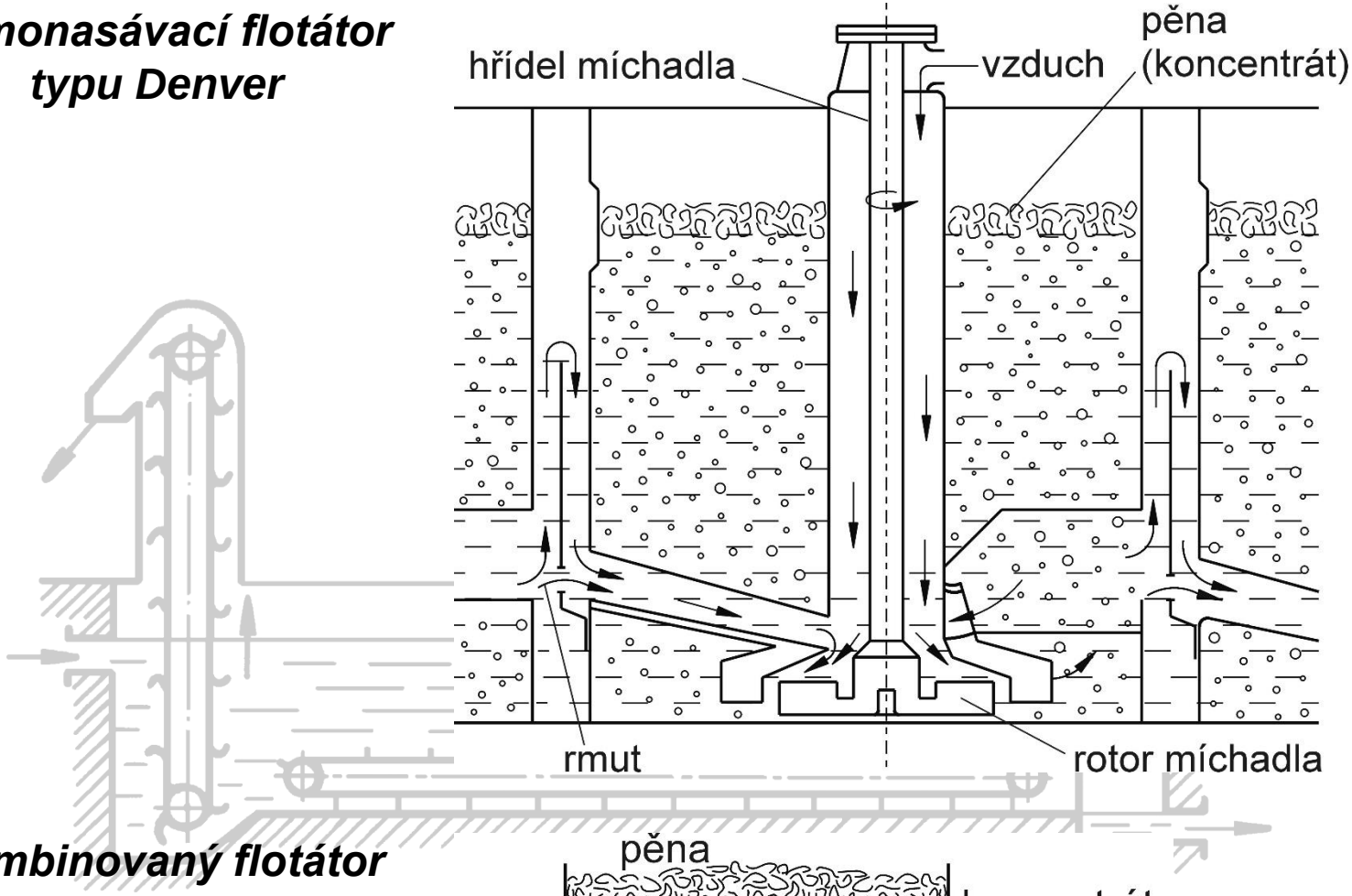
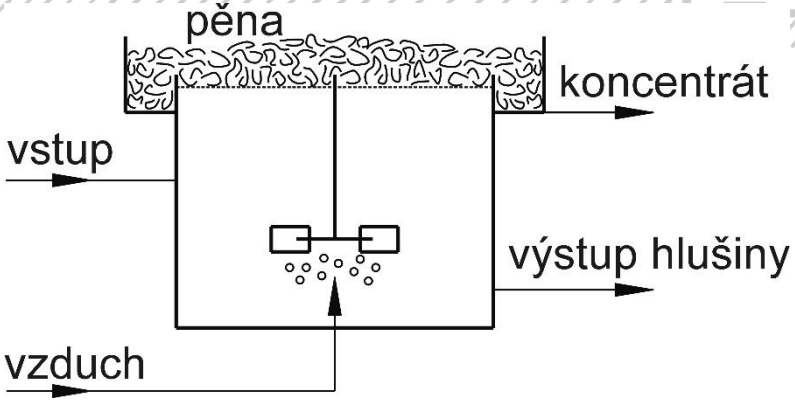
Podle toho jakým způsobem se ve flotátoru vytvářejí bubliny plynu je možno flotaci rozdělit do těchto skupin:

- ***flotátory vakuové.*** Bubliny vznikají snížením tlaku nad hladinou rmutu pod 0,1 MPa. Tím se v kapalné fázi uvolňují bublinky rozpuštěných plynů, které stoupají vzhůru a unášejí dispergovanou fázi nad kapalinu. Používají se jen výjimečně.
- ***flotátory tlakové.*** Nasycení kapaliny vzduchem se docílí zvýšením tlaku. Po jeho snížení dojde k tvorbě bublin. Tlaková flotace je účinnější než vakuová. Používá se u některých zařízení na čištění odpadních vod.
- ***flotátory pneumatické.*** Přivádí se do nich tlakový vzduch, který je rozptylován porézní vestavbou umístěnou u dna flotátoru.
- ***samonasávací beztlakové flotátory s mechanickými míchadly.*** Využívá se podtlak, který vzniká za speciálně tvarovanými míchadly a trubkovým hřídelem je nasáván atmosférický vzduch a dispergován do suspenze.
- ***flotátory kombinované s mechanickým mícháním a samostatným přívodem vzduchu pod rotační míchadlo.***
- ***elektrolytická flotace.*** U dna flotátoru jsou umístěny plošné elektrody napojené na zdroj stejnosměrného proudu. Elektrolýzou se vytvářejí bublinky vodíku a kyslíku, které unášejí dispergované částice na hladinu a vzniklá pěna je shrnována přes přepad k dalšímu zpracování. Při aplikaci na čištění některých odpadních vod může vznikající kyslík přispívat k odbourávání organických nečistot.

Pneumatický žlabový flotátor



Samonasávací flotátor typu Denver



Kombinovaný flotátor