

## SEDIMENTACIJA



1

- PRI SEDIMENTACIJI SE KRUTE ČESTICE U SUSPENZIJI GIBAJU POD DJELOVANJEM SILE TEŽE
- RAZMATRAMO GIBANJE KRUTE ČESTICE U KAPLJEVINI PRI ČEMU NA TO GIBANJE NEMA NIKAKVOG UTJECAJA EVENTUALNO GIBANJE U KAPLJEVINI NEKE DRUGE ČESTICE ILI STIJENKA SPREMNIKA – TADA TO NAZIVAMO **SLOBODNIM TALOŽENJEM**
- Npr./NEKA JE ČESTICA U OBLIKU KUGLE I NA NJU DJELUJE NAKA SILA

2

- KUGLA POPRIMA NEKO UBRZANJE
- KAPLJEVINA SE GIBANJU KUGLE SUPROSTAVLJA SILOM TRENJA
- KUGLA SE GIBA UBRZANO SVE DOK SE SILA TRENJA NE IZJEDNAČI SA SILOM KOJA DJELUJE NA KUGLU I TADA SE GIBA **JEDNOLIKO - BRZINA TALOŽENJA**

3

- OTPOR NASTAJE USLIJED PRENOŠENJA KOLIČINE GIBANJA U GRANIČNOM SLOJU UZ ČVRSTU POVRŠINU ČESTICE
- SILA OTPORA OVISI O OBLIKU ČESTICA I POTIČE OD TRENJA IZMEĐU FLUIDA I ČVRSTE POVRŠINE ČESTICE:

$$F_t = (C_D v^2 \rho A) / 2$$

- A - projekcija površine čestice u smjeru okomitom na smjer toka, m<sup>2</sup>
- v - brzina gibanja fluida ili pada čestica kroz fluid, m/s

4

- faktor oblika :

$$\psi = A_k / A_\varepsilon$$

A<sub>k</sub> - površina presjeka kugle koja ima obujam V<sub>k</sub> jednak obujmu čestice V<sub>ε</sub>

A<sub>ε</sub> - stvarna površina presjeka čestica

- Pri slobodnom padu:

$$F = m (dv/dt)$$

F - rezultantna sila koje djeluju na neko tijelo  
dv/dt - ubrzanje čestice

m - masa čestice

5

- Newtonov zakon - sila zemljine teže je:

$$F_G = m a$$

a - ubrzanje čestice proizašlo iz djelovanja vanjske sile

- Arhimedovim zakonom definirana je sila potiska:

$$F_p = (m/\rho_\varepsilon) \rho a$$

- masa fluida istisnuta čvrstim tijelom (m/ρ<sub>ε</sub>)ρ, gdje su ρ<sub>ε</sub> i ρ gustoća čvrstog tijela i fluida

6

- Pri laminarnom strujanju - Stokesov zakon

$$F_t = 3\pi\mu d_\xi$$

$$g(1 - \rho/\rho_\xi) m - 3\pi\mu d_\xi = m(dv/dt)$$

- površina okomita na smjer gibanja je  $A = \pi d_\xi^2/4$ , a masa čestice  $m = (\pi d_\xi^3/6) \rho_\xi$  pa se dobije:

$$(g(\rho_\xi - \rho)) (\pi d_\xi^3/6) - 3\pi\mu d_\xi = ((\pi d_\xi^3/6) \rho_\xi) (dv/dt)$$

- ako je  $(dv/dt) = 0$ :

$$v = (g(\rho_\xi - \rho) d_\xi^2) / 18\mu$$

$$C_D = ((4g(\rho_\xi - \rho) d_\xi) / (3v\rho)) (18\mu / (g(\rho_\xi - \rho) d_\xi^2)) = 24/Re$$

jednadžbe vrijede za  $Re < 0,05$

7

- $Re > 0,05$  - Stokes-laminarno područje

$$C_D = 24 / (Re (0,843 \log(\psi/0,065)))$$

$$v = g(\rho_\xi - \rho) d_\xi^2 / (18\mu) (0,843 \log(\psi/0,065))$$

- $1000 < Re < 200000$  - **Newton-turbulentno područje**

$$C_D = 0,44$$

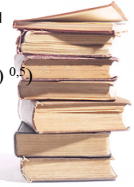
- kugla

$$v = 1,74(g(\rho_\xi - \rho) d_\xi)^{0,5} / (\rho^{0,5})$$

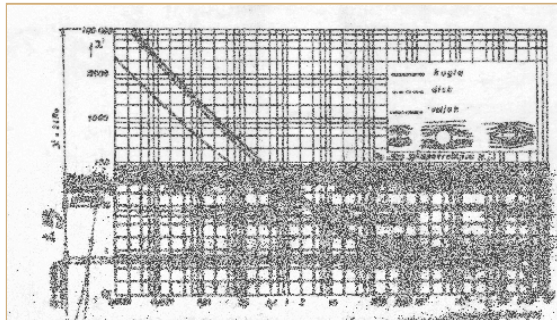
- kugla

$$v = 1,74(g(\rho_\xi - \rho) d_\xi)^{0,5} / (\rho^{0,5} (12,1 - 11,1\psi)^{0,5})$$

$$C_D = 5,31 - 4,88\psi$$



8



Dijagram ovisnosti  $C_D = \lambda'$  o Re-broju za kuglu, disk i valjak

9

- $0,4 < Re < 1000$  - Allen - prijelazno područje

$$C_D = 18,5 / Re^{0,6}$$

$$v = 0,78((\rho_\xi - \rho)^{0,715} d_\xi^{0,48})^{0,5} / (\rho^{0,5} \mu^{0,43})$$



10

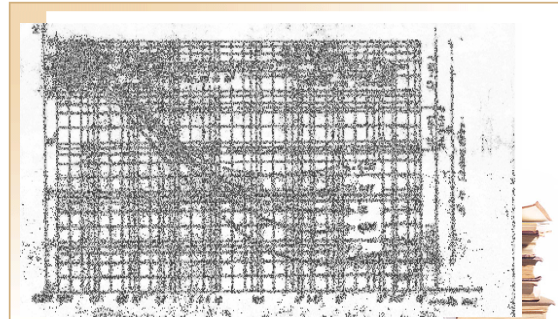
### ARHIMEDOV BROJ

$$Ar = d^3 \rho g (\rho_\xi - \rho) / \mu^2$$

- $c_D Re^2 = (4/3) Ar$
- STOKESOVA JEDNADŽBA:  $Re = 2, Ar < 36$        $Re = Ar/18$
- ALLENNOVA JEDNADŽBA:  $Re = 500,36 < Ar < 83000$
- $Re = 0,152 Ar^{0,715}$
- Newtonova jednadžba:  $Ar > 83000$
- $Re = 1,74 Ar^{0,5}$



11



Dijagram ovisnosti  $C_D = \lambda'$  o Re-broju za čestice koje nemaju oblik kugle

12

## OMETANO TALOŽENJE

- BRZINA OMETANOG TALOŽENJA JE NEKOLIKO PUTA MANJA OD BRZINE SLOBODNOG TALOŽENJA
- USLIJED ISTISKIVANJA KAPLJEVINE KRUTIM ČESTICAMA KOJE PADAJU PREMA DNU USPOSTAVLJA SE STRUJANJE PREMA GORE
- VISKOZNOST SE SUSPENZIJE POVEĆAVA S POVEĆANJEM KONCENTRACIJE KRUTIH ČESTICA
- BRZINA OMETANOG TALOŽENJA JE GIBANJE KRUTE ČESTICA U ODNOSU NA STIJENKU SPREMNIKA,  $v_o$



13

## Brzina ometanog taloženja

- obujam kapljevine koju krute čestice istiskuju prema gore jednak je obujmu krutih čestica
- brzina se u slobodnom presjeku struje kapljevine  $v_t$  u odnosu na stijenku spremnika može odrediti iz jednakosti obujamskog protoka krutih čestica i kapljevine
- obujamski protok kapljevine prema gore po  $1 \text{ m}^2$  presjeka uređaja je  $v_t$ , a obujamski protok krutih čestica po  $1 \text{ m}^2$  presjeka uređaja  $v_o(1 - \varphi_B)$ ,  $\varphi_B$  - obujamski udio
- Te je :  $v_t \varphi_B = v_o(1 - \varphi_B)$

14

## Brzina gibanja krutih čestica u odnosu na kapljevinu

$$v = v_o - (-v_t) = v_o + v_t$$

- objedinjavanjem jednačbi za ometano taloženje se dobije:

$$v = v_o + v_o(1 - \varphi_B) / \varphi_B = v_o / \varphi_B$$

- prema tome je brzina ometanog taloženja:

$$v_o = v \varphi_B$$



15

- U području valjanosti STOKES-ove jednačbe brzina gibanja krutih čestica je:

$$v = d^2(\rho_c - \rho_s)g / 18\mu_s$$

- srednja gustoća suspenzije:

$$\rho_s = \rho_c(1 - \varphi_B) + \rho\varphi_B$$

- dinamička viskoznost suspenzije:

$$\mu_s = \mu / f(\varphi_B)$$



16

- prema tome je brzina ometanog taloženja:

$$v_o = d^2(\rho_c - \rho)g \varphi_B^2 f(\varphi_B) / 18\mu = v \varphi_B f(\varphi_B)$$

$$\varphi_B > 0,7 ; f(\varphi_B) = 10^{-1,82(1 - \varphi_B)}$$

$$\varphi_B < 0,7 ; f(\varphi_B) = 0,123 \varphi_B^2 / (1 - \varphi_B)$$



17

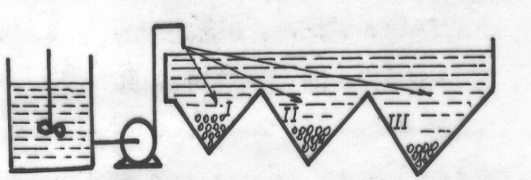
## Hidraulička klasifikacija

- hidrauličkom klasifikacijom se dvo- ili višekomponentne smjese sastavljene od krutih čestica različitih dimenzija odijeljuju u više frakcija
- zasniva se na različitoj brzini taloženja krutih čestica u kapljevini



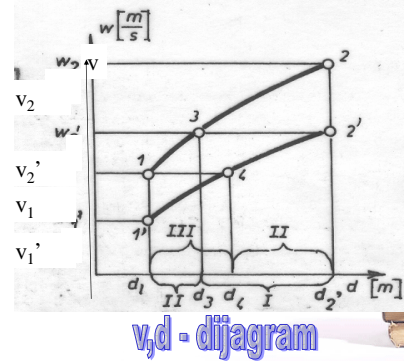
18

## Uređaj za hidrauličku klasifikaciju



- smjesa se sastoji od dvije komponente A i B različite gustoća i dimenzije čestica od  $d_1$  do  $d_2$

19



20

- točkom 3 je određena minimalna dimenzija  $d_3$  čestica veće gustoće, a koje se talože istom brzinom  $v_2'$  kao i najveće čestice  $d_2'$  manje gustoće
- točkom 4 su određene dimenzije čestica manje gustoće  $d_4$  koje imaju istu brzinu taloženja  $v_1$  kao i najmanje čestice veće gustoće
- mjesto taloženja bilo koje čestice zavisi o brzini taloženja čestice
- na istom mjestu se talože čestice iste brzine taloženja bez obzira na njihovu gustoću

21

## Dobivaju se tri osnovne frakcije

### 1. frakcija

- isključivo čestice veće gustoće promjera od  $d_3$  do  $d_2$

### 2. frakcija

- mješana frakcija se sastoji od čestica veće gustoće promjera  $d_1$  do  $d_3$  i čestica manje gustoće promjera od  $d_4$  do  $d_2'$

### 3. frakcija

- isključivo čestice manje gustoće promjera od  $d_1$  do  $d_4$

22

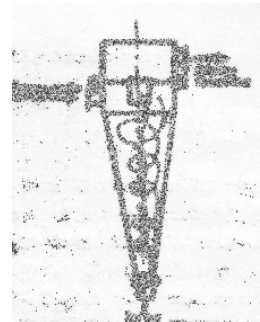
## Iz $v_d$ -dijagrama se vidi:

- I stožac : talože se čestice komponente veće gustoće (3/2) dimenzija  $d_3$  do  $d_2'$ , brzine taloženja  $v_2$  do  $v_2'$
- II stožac: dio čestica veće gustoće (1/3) dimenzije  $d_1$  do  $d_3$  i dio čestica manje gustoće (2'/4) dimenzija  $d_2'$  do  $d_4$  koje imaju brzinu taloženja  $v_1$  do  $v_2'$
- III stožac: čestica manje gustoće (1'/4) dimenzija  $d_1$  do  $d_4$  koje imaju brzinu taloženja  $v_1'$  do  $v_1$



23

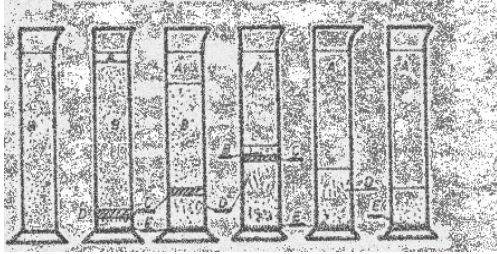
## HIDROCIKLON



24

## TALOŽENJE

- Tok diskontinuirane sedimentacije



25

Taloženje je tehnološka operacija pomoću koje se krute čestice iz suspenzije izdvajaju silom teže.

- A - izbistrena kapljevina
- B - sloj suspenzije jednake koncentracije kao i polazna suspenzija
- C - prijelazna zona
- D - sloj suspenzije veće koncentracije krutih čestica
- E - sloj taloga



26

## Tok taloženja

- A, D i E rastu
- B se smanjuje
- u kritičnom vremenu  $t_k$  nestaju slojevi B i prijelazna zona C
- u daljoj fazi rastu A i E
- D se postepeno smanjuje budući da je u njemu taloženje ometano
- na dijagramu zt vidi se da se visina razdjelne ploštine između bistre kapljevine i suspenzije smanjuje sa razmjerno vremenu - pravac na dijagramu



27

- Brzina taloženja je konstantna sve dok postoji sloj B
- u sloju B se koncentracija krutih čestica ne mijenja tijekom čitavog procesa taloženja,
- pri slobodnom taloženju obujamski udio kapljevine se smanjuje u talogu i kad se sva kruta tvar istaloži obujamski udio u talogu je minimalan
- brzina taloženja raste s smanjenjem viskoznosti kapljevine i s povećanjem temperature
- brzina taloženja raste s povećanjem dimenzija čestica
- za koloidne taloge treba suspenziji dodati elektrolit



28

- u većini suspenzija su dimenzije krutih čestica različite i prvo se talože čestice većih, a zatim manjih dimenzija
- neme sloja s jednakom koncentracijom krutih čestica za čitavo vrijeme taloženja



29

## dimenzioniranje taložnika

- zasniva se na iskustvenim metodama
- ovisi o  $\rho_s, \rho, \mu$ , dimenzijama i obliku čestica, i koncentraciji suspenzije
- određuje se ploština taloženja i visina taložnika
- ako se ne uočavaju jasne granice između slojeva tijekom taloženja koristi se metoda duge cijevi



30



## Metoda duge cijevi

$$L = 2,5 \text{ m}, \quad d_v = 0,075 \text{ m}$$

- uzorak 0,2 L
- uzorci se uzimaju sve dok se na dnu ne sakupi gusti talog
- bilježi se razina,  $t$  (vrijeme) i  $c$  (konc.) na mjestu gdje se uzima uzorak
- iz tih podataka se može dobiti brzina otjecanja bistrre suspenzije i vrijeme taloženja
- vrijeme proteklo od naljevanja suspenzije u cijev do trenutka kad je iz cijevi uzet dovoljno bistar uzorak zove se **vrijeme taloženja**



31

Brzina otjecanja se dobiva dijeljenjem **visine** s koje je uzorak uzet s **vremenom** kada je uzet

- ucrtana se krivulja ovisnosti **koncentracije krute faze** u kapljevini koja otiče o **brzini otjecanja**
- vrijeme taloženja i brzina preliva određeni pomoću duge cijevi koristi se za određivanje potrebne visine sloja za bistrjenje i visine na koju se dovodi polazna suspenzija



32

- visina prelazne zone se procjenjuje iskustvom
- pri ometanom taloženju koncentracija krutih čestica povećava se od polazne koncentracije suspenzije do konačne koncentracije taloga
- visina sloja ometanog taloženja dobiva se dijeljenjem obujma sloja ometanog taloženja s ploštinom taloženja
- obujam se sloja ometanog taloženja određuje iz vremena zadržavanja krutih čestica u sloju ometanog taloženja



33

## Bilanca mase

- $m_s'$  - maseni protok suspenzije
- $m_b'$  - maseni protok izbistrjene kapljevine
- $m_t'$  - maseni protok taloga
- $x_s$  - maseni udio krutih čestica u suspenziji
- $x_b$  - maseni udio krutih čestica u izbistrenoj kapljevini
- $x_t$  - maseni udio krutih čestica u talogu
- $m_s = m_b + m_t$



34

Bilansa krutih čestica:

$$m_s x_s = m_b x_b + m_t x_t$$

Maseni protok izbistrjene kapljevine:

$$m_b = m_s (x_s - x_t) / (x_b - x_t)$$

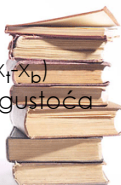
Maseni protok taloga:

$$m_t = m_s (x_b - x_s) / (x_b - x_t)$$

Površina taloženja se određuje:

$$A = 1,3 [m_s / (\rho_b v_o)] [(x_t - x_s) / (x_t - x_b)]$$

$v_o$  - brzina ometanog taloženja,  $\rho_b$  - gustoća bistrre kapljevine



35

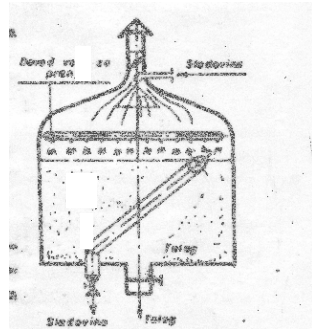
Tipovi taložnika:

1. Diskontinuirani
2. Polukontinuirani
3. Kontinuirani



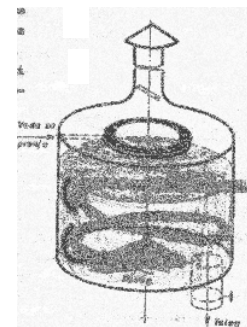
36

### Posuda za taloženje



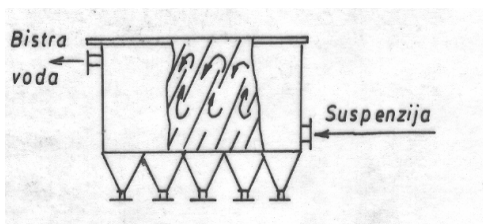
37

### Vrtložni taložnik



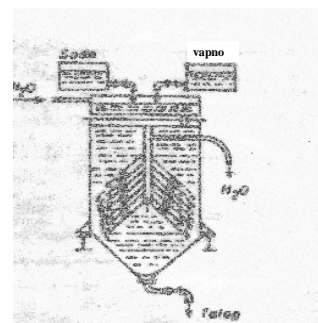
38

### Pregradni taložnik



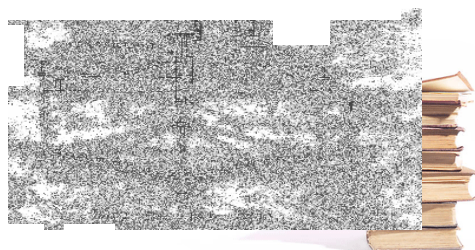
39

### Dervaux-ov taložnik



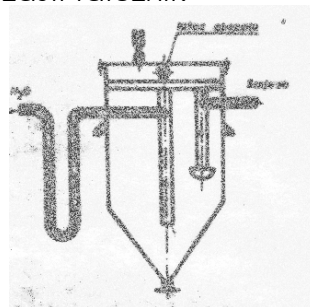
40

### Taložnik koji radi kontinuirano s lopaticama za uklanjanje taloga



41

### Stožasti taložnik



42