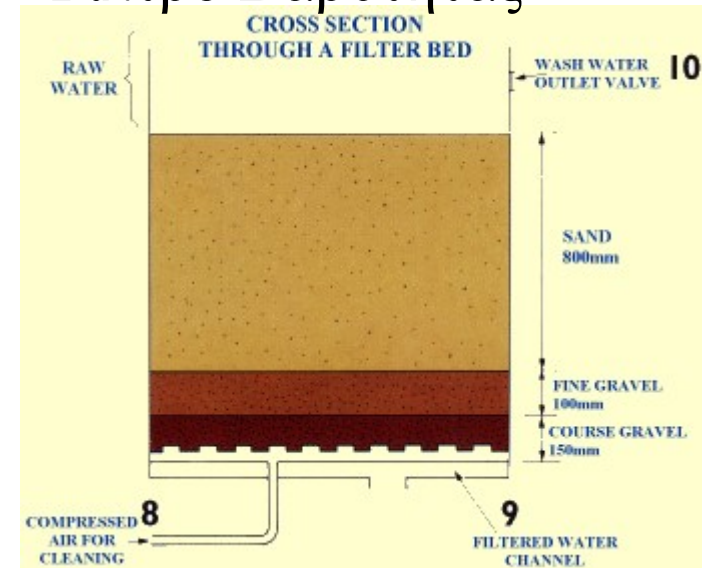


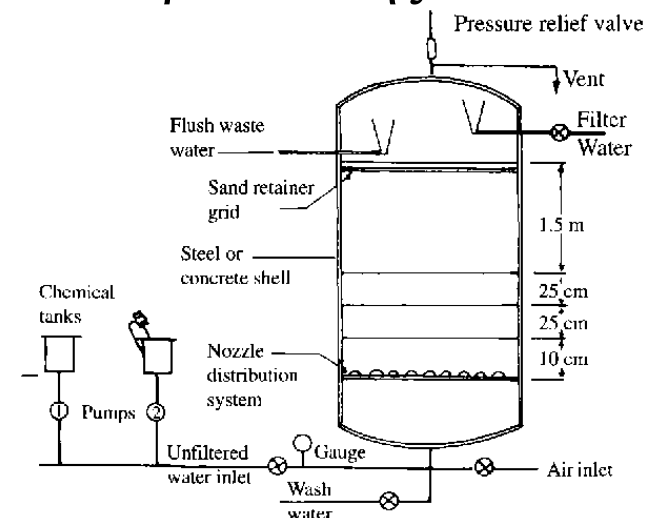
Στερεές (μόνιμες) και Ρευστοποιημένες Κλίνες

- Μια **στερεή κλίνη** (fixed or packed bed) είναι μια κλίνη με πληρωτικό υλικό σωματίδια (π.χ. κόκκοι άμμου, ανθρακίτη, γρανάδια άμμος, ενεργοί άνθρακες, silica gel, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) διαφόρων κοκκομετριών και βρίσκει εφαρμογές στην **διήθηση νερού**, στην προσρόφηση, στις καταλυτικές αντιδράσεις και γενικά σε διεργασίες διαχωρισμού σωματιδίων, μεταφοράς μάζας και θερμότητας.

Φίλτρο Βαρύτητας

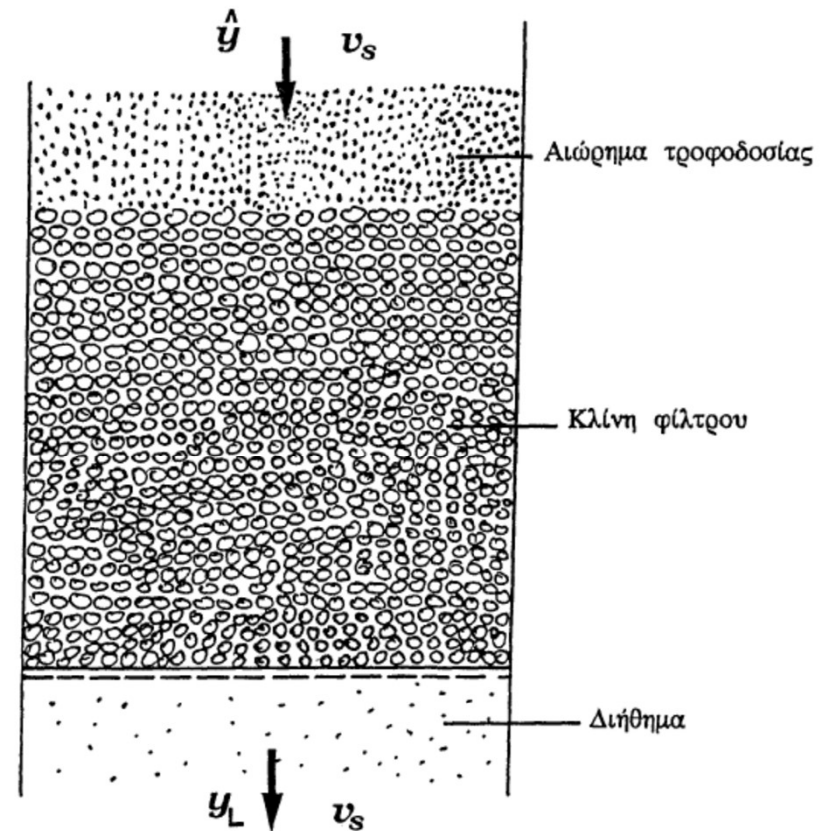


Φίλτρο Πίεσης

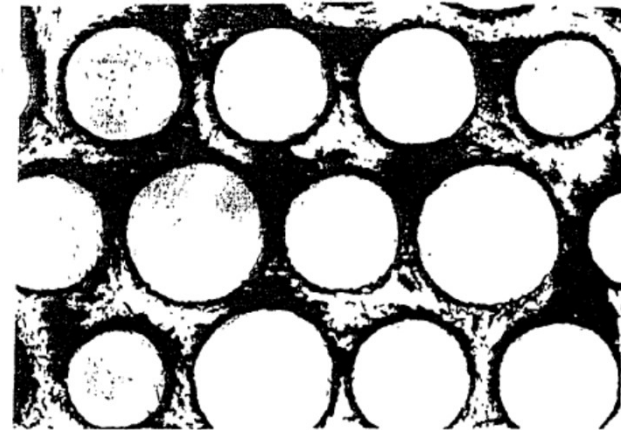
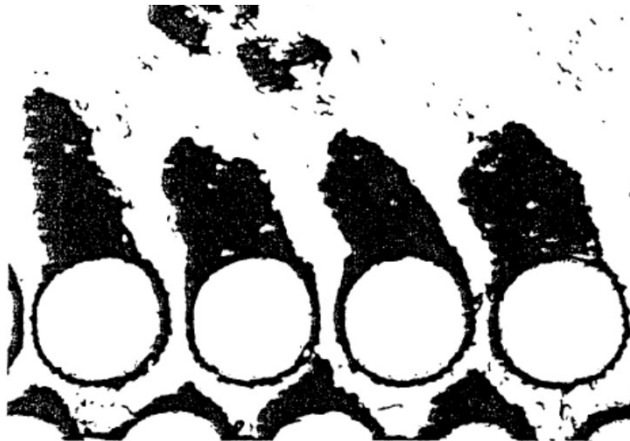
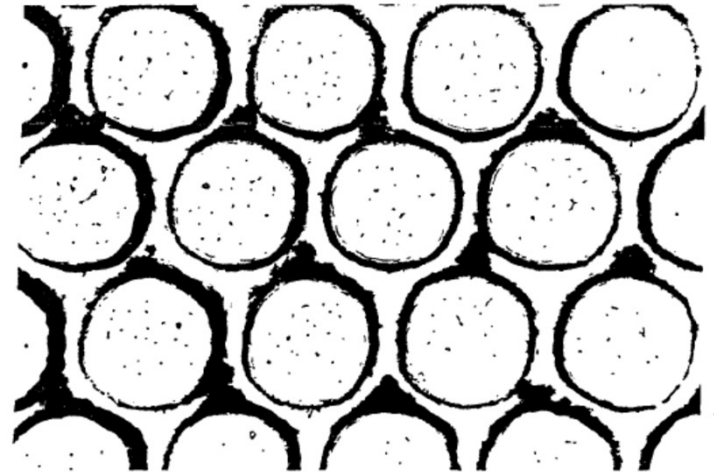
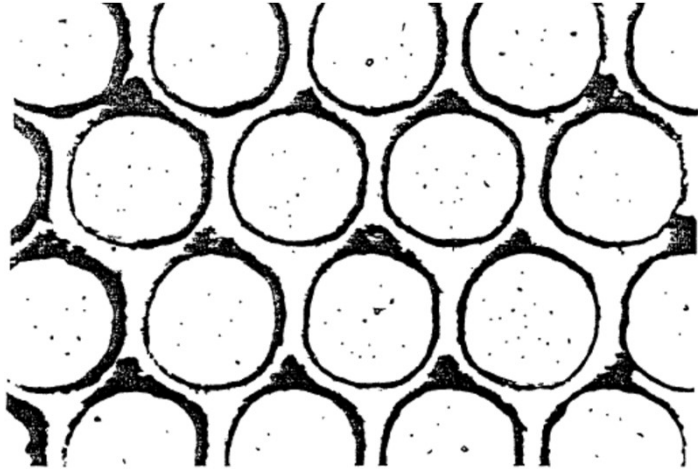


Στερεές Κλίνες

- Διεργασίες διαχωρισμού μιγμάτων στερεών και υγρών, π.χ. νερό ποταμιού, λίμνης, γεωτρήσεων που περιέχουν αιωρούμενα στερεά ή μικροβιακό φορτίου
- Διεργασίες Διαχωρισμού με φραγμό (κλίνη ή φίλτρο άμμου)



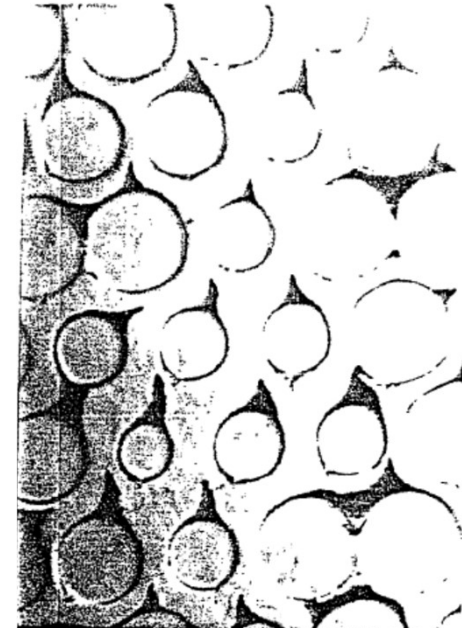
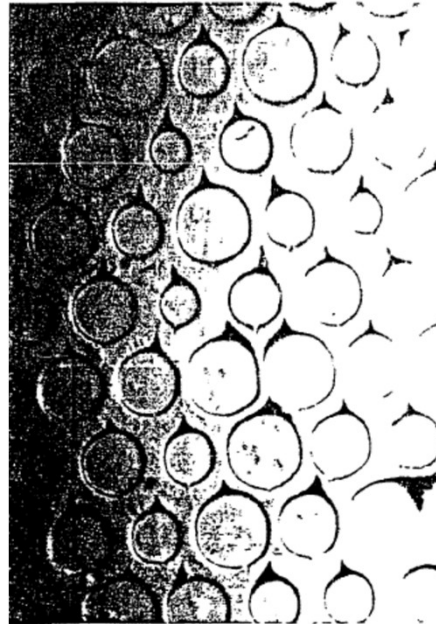
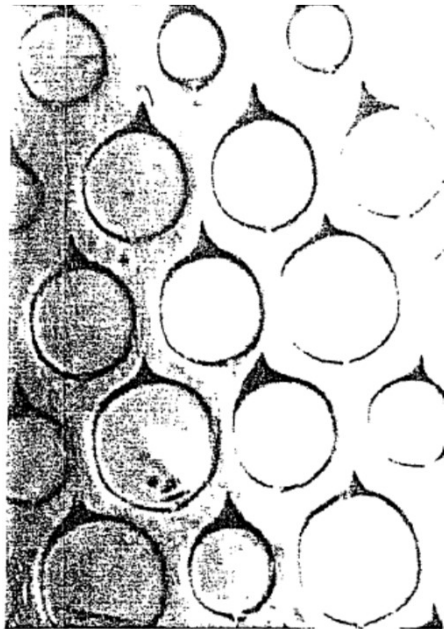
Στερεές Κλίνες



Σχεδιασμός Στερεών κλινών

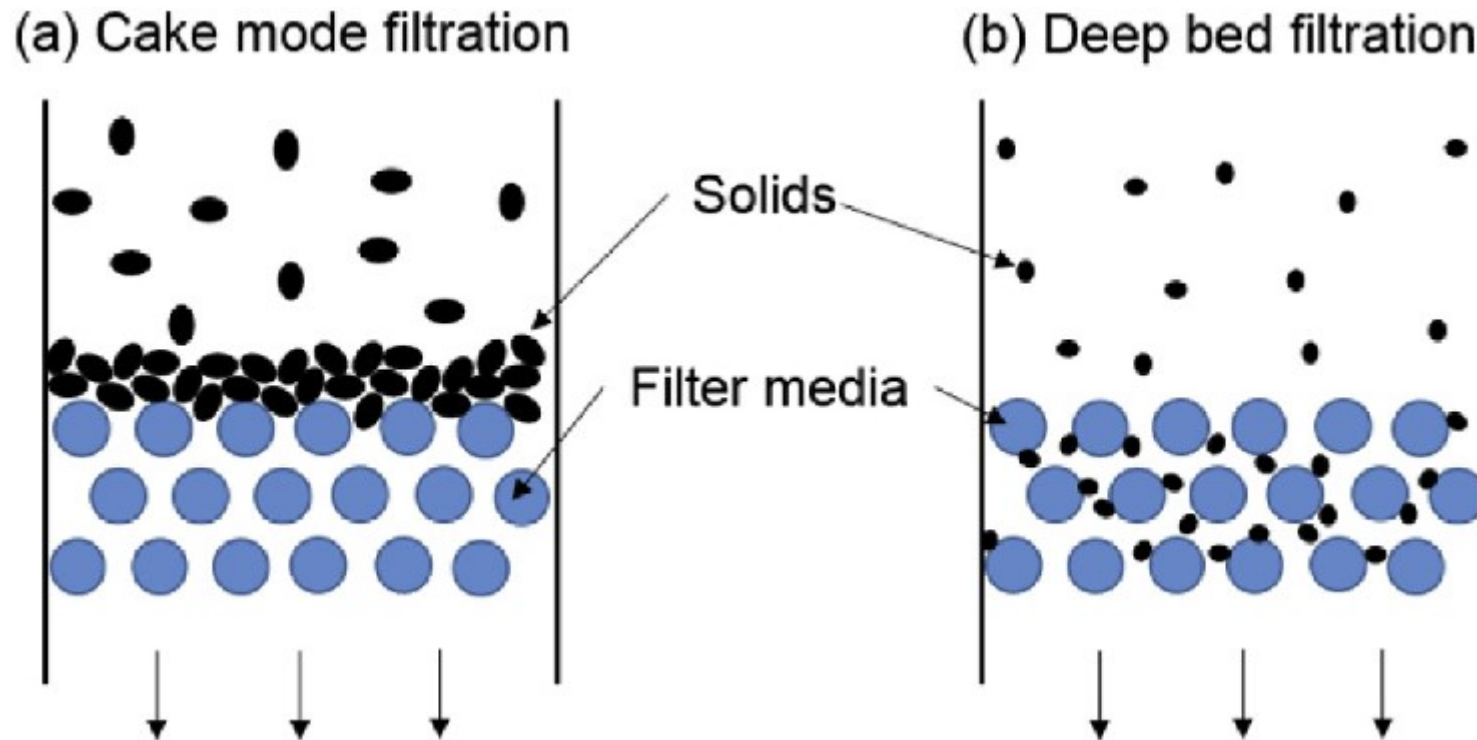
- **Διαστάσεις κλίνης:** Ύψος, διάμετρος, υλικό τοιχωμάτων
- **Πληρωτικό Υλικό:** Είδος υλικού, κατανομή μεγέθους κόκκων, μέση διάμετρος, πορώδες, ειδική επιφάνεια, διαπερατότητα, συντελεστής τριβής
- **Λειτουργικές Παράμετροι:** Πτώση πίεσης
Παροχή, ταχύτητα
- **Πλύση του φίλτρου:** συχνότητα πλύσης, ταχύτητα πλύσης (ανωρροή, νερό και αέρας,)

Σχεδιασμός Στερεών κλινών



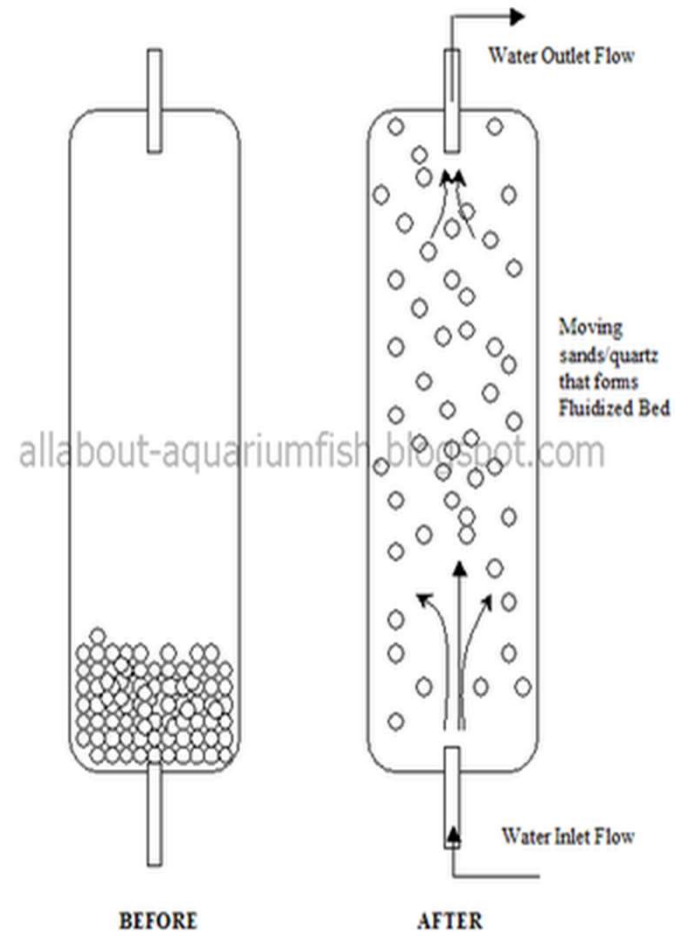
Deep bed filtration or cake filtration

Deep bed filtration or cake filtration



Ρευστοποιημένες Κλίνες

- Η στερεή κλίνη μπορεί κάτω από ορισμένες συνθήκες να **ρευστοποιηθεί**, εάν το επιτρέπει ο σχεδιασμός του χώρου μέσα στον οποίο βρίσκονται τα σωματίδια, το μέγεθος και η μορφολογία των σωματιδίων και οι λειτουργικές παράμετροι - **ανωρροή**



Σχεδιασμός Ρευστοποιημένων Κλινών

Παράμετροι σχεδιασμού

Διαστάσεις κλίνης: Ύψος, διάμετρος, υλικό τοιχωμάτων

Πληρωτικό Υλικό: Είδος υλικού, κατανομή μεγέθους κόκκων, μέση διάμετρος, πορώδες, ειδική επιφάνεια, διαπερατότητα, συντελεστής τριβής

Λειτουργικές Παράμετροι: Πτώση πίεσης, Παροχή, ταχύτητα λειτουργίας, ταχύτητα έναρξης ρευστοποίησης, ταχύτητα παράσυρσης, πορώδες έναρξης ρευστοποίησης, πορώδες ρευστοποιημένης κλίνης,

Επιλογή Υλικού ρευστοποίησης: ρευστό?- υγρό ή αέριο

Ρευστοποιημένες Κλίνες

- Ως ρευστοποιημένη κλίνη εννοούμε **μια κλίνη σωματιδίων τα οποία κινούνται τυχαία και ασταμάτητα μέσα στην κλίνη** με την βοήθεια μιας ρευστής φάσης.
- Οι ρευστοποιημένες κλίνες χρησιμοποιούνται πολύ στις χημικές βιομηχανίες (ανάμιξη, θέρμανση ή ξήρανση σωματιδίων), στις χημικές διεργασίες (καταλυτικές, χημικές αντιδράσεις όπως η διάσπαση υψηλών κλασμάτων πετρελαίου για την παρασκευή χαμηλότερων) και στην μεταλλουργία (**φρύξη**, εναλλαγή θερμότητας).
- Τα πληρωτικά υλικά μπορεί να έχουν σχήμα σφαιρικό, κυλινδρικό, ή διάφορα άλλα σχήματα που έχουν βρεθεί ότι επιτυγχάνουν καλή επαφή στερεού και ρευστού.

Ρευστοποιημένες Κλίνες

Πλεονεκτήματα ρευστοποιημένων κλινών (σε σχέση με τις στερεές)

- i. Ισοθερμοκρασιακές συνθήκες λειτουργίας
- ii. Μικρότερη πτώση πίεσης
- iii. Μεγάλοι συντελεστές μεταφοράς και θερμότητας
- iv. Επιτρέπεται η συνεχής ανάκτηση-αναγέννηση- ανακύκλωση της στερεής φάσης δίχως την διακοπή της λειτουργίας της διαδικασίας

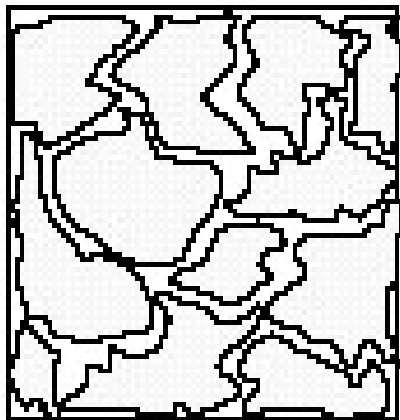
Μειονέκτημα:

- Δύσκολος ο σχεδιασμός και η κλιμάκωση μεγέθους των ρευστοποιημένων κλινών

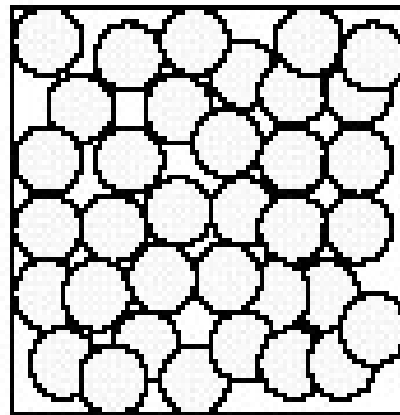
Στερεές (μόνιμες) Κλίνες

Θεωρία για στερεές κλίνες

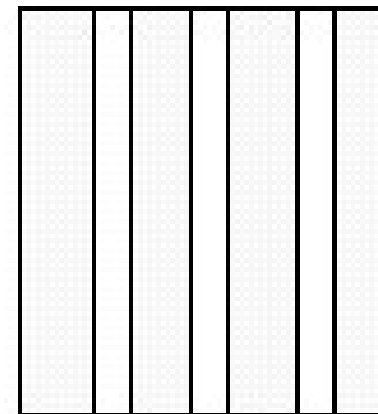
- Η σταθερή κλίνη θεωρείται ως ένα σύνολο αγωγών με περίεργη διατομή
- Η κλίνη αποτελείται από κόκκους βυθισμένα στο ρευστό και η πτώση πίεσης υπολογίζεται αθροίζοντας τις αντιστάσεις στην ροή



porous solid



granular bed



idealized model

Στερεές (μόνιμες) Κλίνες

Ορισμοί

Πορώδες, ε : Ο λόγος του κενού όγκου των πόρων προς τον συνολικό όγκο του πορώδους υλικού

$$\varepsilon = (\text{όγκος κενού χώρου}) / (\text{όγκος κενού χώρου} + \text{όγκος στερεών})$$

$$\varepsilon = V_{\text{pores}} / V_{\text{total}} = 1 - (m_{\text{solids}} / \rho_{\text{solids}}) / V_{\text{total}}$$

$$(1 - \varepsilon) = (\text{όγκος στερεών}) / (\text{όγκος κενού χώρου} + \text{όγκος στερεών})$$

Ειδική επιφάνεια, a_v : Επιφάνεια επαφής/ μονάδα όγκου των στερεών

$$a = \text{συνολική επιφάνεια} / (\text{όγκος κενού χώρου} + \text{όγκος στερεών})$$

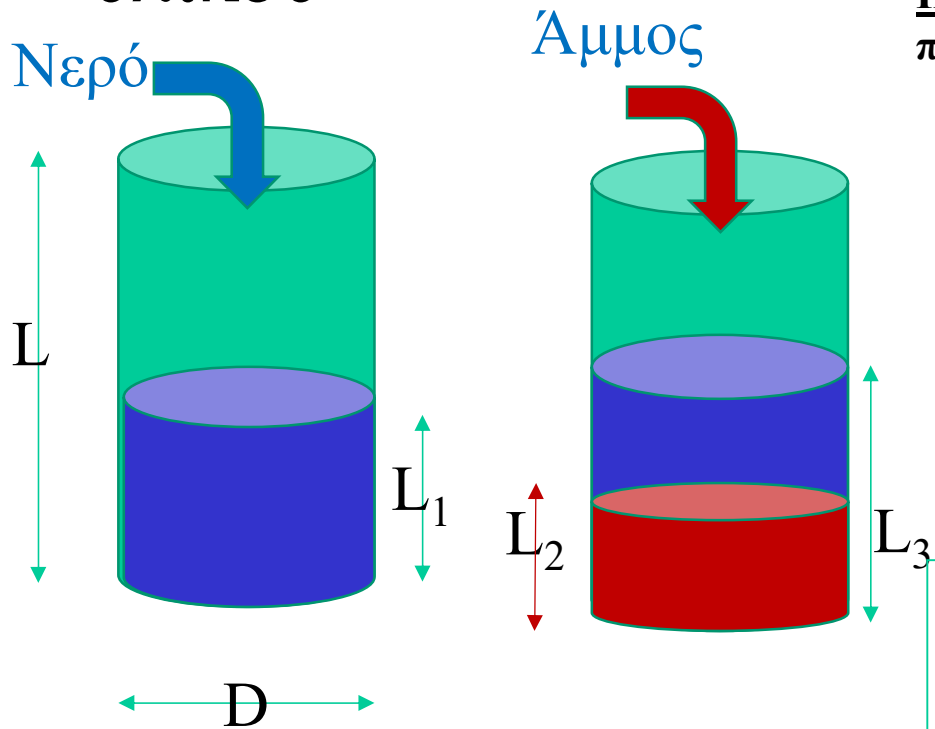
$$a_v = (\text{συνολική επιφάνεια} / \text{όγκος στερεών}) * (\text{συνολικός όγκος} / \text{όγκος στερεών})$$

$$a_v = a * [1 / (1 - \varepsilon)]$$

Μέση διάμετρος κόκκων, D_{mean} = $6 / \psi a_v$, όπου ψ : η σφαιρικότητα, το δ προέκυψε θεωρώντας ότι η μέση διάμετρος ενός κόκκου είναι η διάμετρος ισοδύναμης σφαίρας

Στερεές (μόνιμες) Κλίνες

- Υπολογισμός του πορώδους ενός πληρωτικού υλικού



Πορώδες, ε : Ο λόγος του κενού όγκου των πόρων προς τον συνολικό όγκο του πορώδους υλικού

$$\text{Όγκος πορώδους υλικού, } V_p = \pi (D^2/4)L_2$$

$$\text{Αρχικός Όγκος νερού, } V_p = \pi (D^2/4)L_1$$

$$\text{Όγκος νερού εκτός του πληρωτικού υλικού} = \pi (D^2/4) [L_3 - L_2]$$

$$\begin{aligned} &\text{Όγκος νερού παγιδευμένος εντός} \\ &\text{του πληρωτικού υλικού} \\ &= \text{Αρχικός Όγκος νερού, } V_p - \text{Όγκος νερού} \\ &\text{εκτός του πληρωτικού υλικού} \\ &= \text{Κενός χώρος} \\ &\text{μέσα στο πορώδες υλικό} \\ &= \pi (D^2/4) [L_1 - (L_3 - L_2)] \end{aligned}$$

$$\varepsilon = \{ L_1 - (L_3 - L_2) \} / L_2$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= V_{\text{pores}} / V_{\text{total}} = 1 - (V_{\text{solid}} / V_{\text{total}}) \\ &= 1 - \{ (m_{\text{solids}} / \rho_{\text{solids}}) / V_{\text{total}} \} \end{aligned}$$

Στερεές (μόνιμες) Κλίνες

- Συντελεστής τριβής, f

$$\frac{P_0 - P_L}{\frac{1}{2} \rho v_0^2} = \frac{L}{D_P} 4f$$

- Για αγωγούς με κυκλική διατομή και ακτίνα R έχουμε (εξ. Hagen-Poiseuille):

$$\langle v \rangle = \frac{P_0 - P_L}{8\mu L} R^2 = \frac{P_0 - P_L}{2\mu L} R_h^2 \quad (3)$$

Όπου R_h υδραυλική ακτίνα =(διατομή κάθετη στη ροή)/(περίμετρος διατομής)

Ή

Στερεές (μόνιμες) Κλίνες

$$\begin{aligned} R_h &= (\text{όγκος διαθέσιμος στην ροή} / \text{συνολ. επιφ. επαφής ρευστού στερεού}) = \\ & \quad (\text{όγκος κενός από σωματίδια} / \text{όγκος κλίνης}) \\ &= (\text{όγκος κενός από σωματ.} / \text{όγκος κλίνης}) / (\text{συνολ. επιφ. επαφής} / \text{όγκο κλίνης}) \\ &= \varepsilon / \alpha \end{aligned}$$

Παροχή: Q

Φαινόμενη ταχύτητα: $v_0 = Q/A$, A : διατομή της κλίνης

Μέση ταχύτητα στα διάκενα της στήλης: $\langle v \rangle = v_0 / \varepsilon$

Εξίσωση Blake – Kozeny (Γραμμική Ροή)

$$\begin{aligned} v_0 &= \frac{P_0 - P_L}{2\mu L} R_h \varepsilon = \frac{P_0 - P_L}{2\mu L} \frac{\varepsilon^3}{\alpha^2} = \frac{P_0 - P_L}{2\mu L} \frac{\varepsilon^3}{\alpha_v^2 (1 - \varepsilon)^2} = \\ & \frac{P_0 - P_L}{2\mu L} \frac{\varepsilon^3 D_{mean}^2 \Psi^2}{36(1 - \varepsilon)^2} \xrightarrow{\text{πειραμ. μετρησεις}} \approx \frac{P_0 - P_L}{\mu L} \frac{\varepsilon^3 D_{mean}^2 \Psi^2}{150(1 - \varepsilon)^2} \end{aligned}$$

Στερεές (μόνιμες) Κλίνες

- Με δεδομένο ότι η ειδική επιφάνεια των σωματιδίων (συνολική επιφάνεια επαφής/ όγκος κλίνης) δίνεται από τον τύπο:

$$\alpha_v = \frac{6}{\psi D_p} = \rho_p S$$

- η εξίσωση Blake- Kozeny μπορεί να ξαναγραφεί ως

$$v_0 = \frac{P_0 - P_L}{25 L} \frac{6}{\mu \rho_p^2 S^2} \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2}$$

- Και η μέση διάμετρος των σωματιδίων υπολογίζεται από την σχέση

$$\alpha_v = \frac{6}{\psi D_p} = \rho_p S$$

Στερεές (μόνιμες) Κλίνες

- Η εξίσωση **Blake –Kozeny** είναι ακριβής όταν $\varepsilon < 0.5$ και όταν η ροή είναι γραμμική δηλαδή:

$$\frac{Re_p}{1-\varepsilon} = \frac{D_p G_0}{\mu} \frac{1}{1-\varepsilon} < 10, \text{ όπου } G_0 = \rho v_0, \quad Re = \frac{\rho v D_p}{\mu}$$

Συντελεστής τριβής: $f = \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{75\mu}{\psi^2 D_p G_0}$

- Εξίσωση **Burke-Plummer**:

$$\frac{P_0 - P_L}{L} = \frac{1.75}{\psi D_p} \rho v_0^2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3}$$

$$\frac{Re_p}{1-\varepsilon} = \frac{D_p G_0}{\mu} \frac{1}{1-\varepsilon} > 1000$$

- Συντελεστής τριβής: $f = 0.875 \frac{1-\varepsilon}{\psi \varepsilon^3}$

Στερεές (μόνιμες) Κλίνες

- **Εξίσωση Ergun (Ενδιάμεση περιοχή)**

$$\frac{(P_0 - P_L)\rho}{G_0^2} \left(\frac{\psi D_p}{L}\right) \left(\frac{\varepsilon^3}{1-\varepsilon}\right) = 150 \frac{1-\varepsilon}{\psi D_p G_0 / \mu} + 1.75$$

- **Ή**

$$\left(\frac{-\Delta P}{L}\right) = 150 \left(\frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3}\right) \left(\frac{\mu v_0}{D_{mean}^2}\right) + 1.75 \left(\frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3}\right) \left(\frac{\rho v_0^2}{D_{mean}}\right), \text{ για } \Psi \sim 1, D_P = D_{mean}$$

Στερεές (μόνιμες) Κλίνες

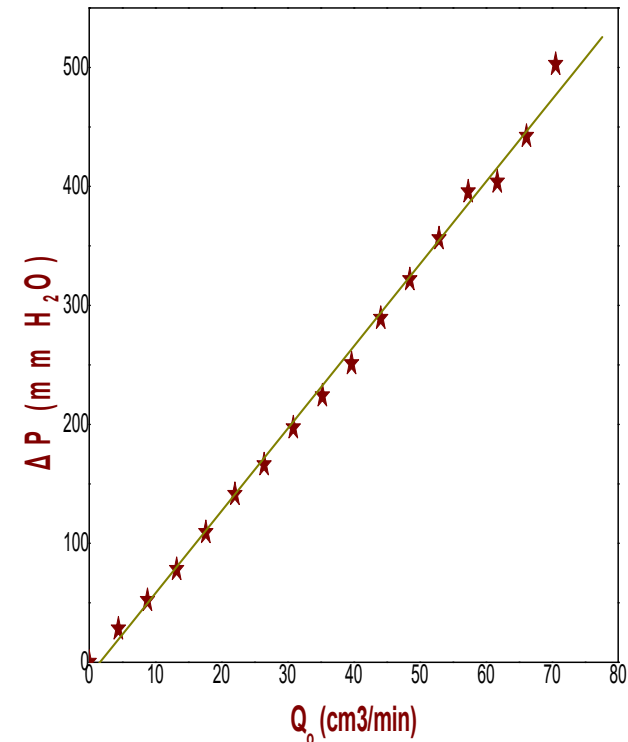
- Φαινομενολογική Εξίσωση Darcy,
 $1\text{Darcy}=0.9869233 (\mu\text{m})^2 \sim 1\mu\text{m}^2$

$$v_0 = \frac{Q}{A} = \kappa \left(\frac{P_0 - P_L}{\mu L} \right)$$

Όπου κ η διαπερατότητα της κλίνης, ιδιότητα που εξαρτάται από γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά του πληρωτικού υλικού (κατανομή μεγέθους κόκκων, πορώδες, κλπ.)

$$\frac{\Delta P}{Q} = \left(\frac{P_0 - P_L}{Q} \right) = \frac{\mu L}{\kappa A}$$

Όπου $\Delta P/Q$, η κλίση διαγράμματος πίεσης και παροχής



Ρευστοποιημένες Κλίνες

- Ρευστοποίηση (fluidization) στερεών σωματιδίων είναι η μετατροπή μιας σταθερής κλίνης σε κατάσταση που μοιάζει με ρευστή ($F_D = F_G$).
- Η ρευστοποιημένη κλίνη συμπεριφέρεται ως σαν ένα ψευδοπλαστικό ρευστό.
- Οι περισσότερες όμως βιομηχανικές εφαρμογές βασίζονται σε ρευστοποίηση με αέρια

Στερεές (μόνιμες) και Ρευστοποιημένες Κλίνες

- Ταχύτητα λειτουργίας, v : $v_m < v < v_t$

Όπου v_m η ταχύτητα έναρξης ρευστοποίησης, v_t , η ταχύτητα παρασύρσεως ή οριακή ταχύτητα.

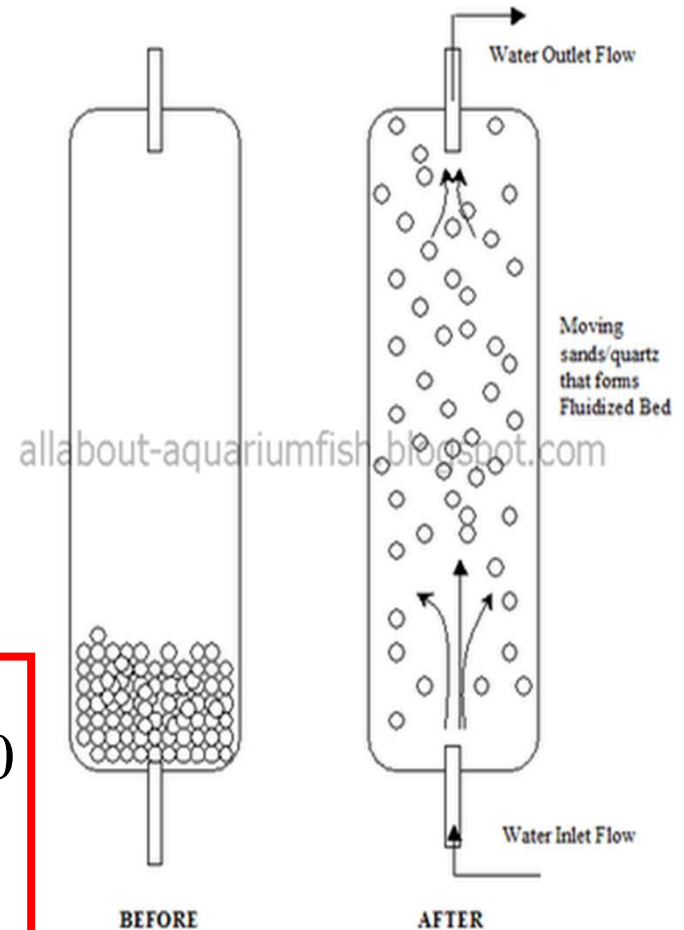
$$F_D = F_G \rightarrow$$

$-\Delta P = (\rho_s - \rho)(1 - \varepsilon)L_m g$ (η πτώση πίεσης γίνεται ίση με το φαινόμενο βάρος ανά μονάδα επιφανείας)

Ταχύτητα έναρξης ρευστοποίησης, v_m :

$$v_m = \frac{\psi^2 D_{mean}^2 (\rho_p - \rho) g}{150 \mu} \frac{\varepsilon_m}{1 - \varepsilon_m} \quad \text{για } Re < 10$$

$$v_m = \left(\frac{\varepsilon^3 \psi D_{mean} (\rho_p - \rho) g}{1.75 \rho} \right)^{1/2} \quad \text{για } Re > 100$$



Στερεές (μόνιμες) και Ρευστοποιημένες Κλίνες

- Οριακή ταχύτητα παράσυρσης

$$v_t = \frac{D_{mean}^2 (\rho_p - \rho) g}{18 \mu}$$
$$\frac{v_t}{v_m} = \frac{8.33 (1 - \varepsilon_m)}{\psi^2 \varepsilon_m^3}$$

- Για σφαιρικά σωματίδια ($\psi=1$) με $\varepsilon_m=0.45$, $v_t=v_m$ με αποτέλεσμα η κλίνη να αρχίσει να ρευστοποιείται σε $v_m=10$ mm/s και να λειτουργεί μέχρι $v=400$ mm/s (v_t)
- Για μεγάλα σωματίδια:

$$v_t = 1.75 \sqrt{\frac{g D_{mean} (\rho_p - \rho)}{\rho}} \quad \frac{v_t}{v_m} = \frac{2.32}{(\psi \varepsilon_m^3)^{1/2}} \quad \text{για } Re > 1000 (= 7.7 < \text{μικρα})$$

Στερεές (μόνιμες) και Ρευστοποιημένες Κλίνες

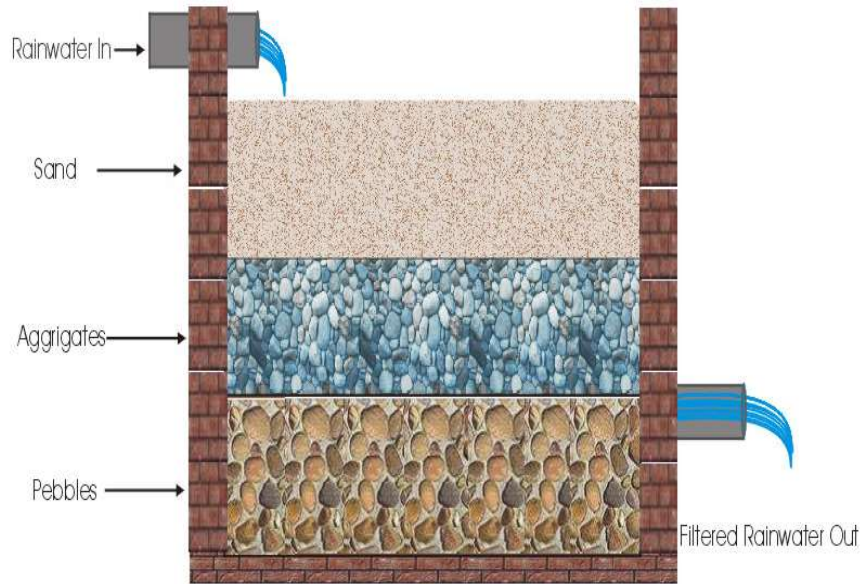
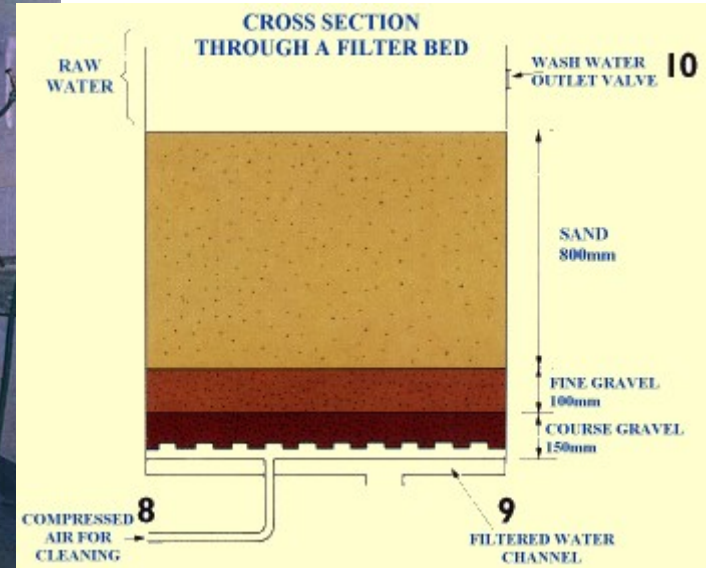
Πορώδες ρευστοποιημένης κλίνης (Richardson- Zaki, 1954)

$$\frac{u}{u_t} = \varepsilon_e^n \Rightarrow \ln u = \ln u_t + n \cdot \ln \varepsilon_e$$

Μήκος ρευστοποιημένης κλίνης

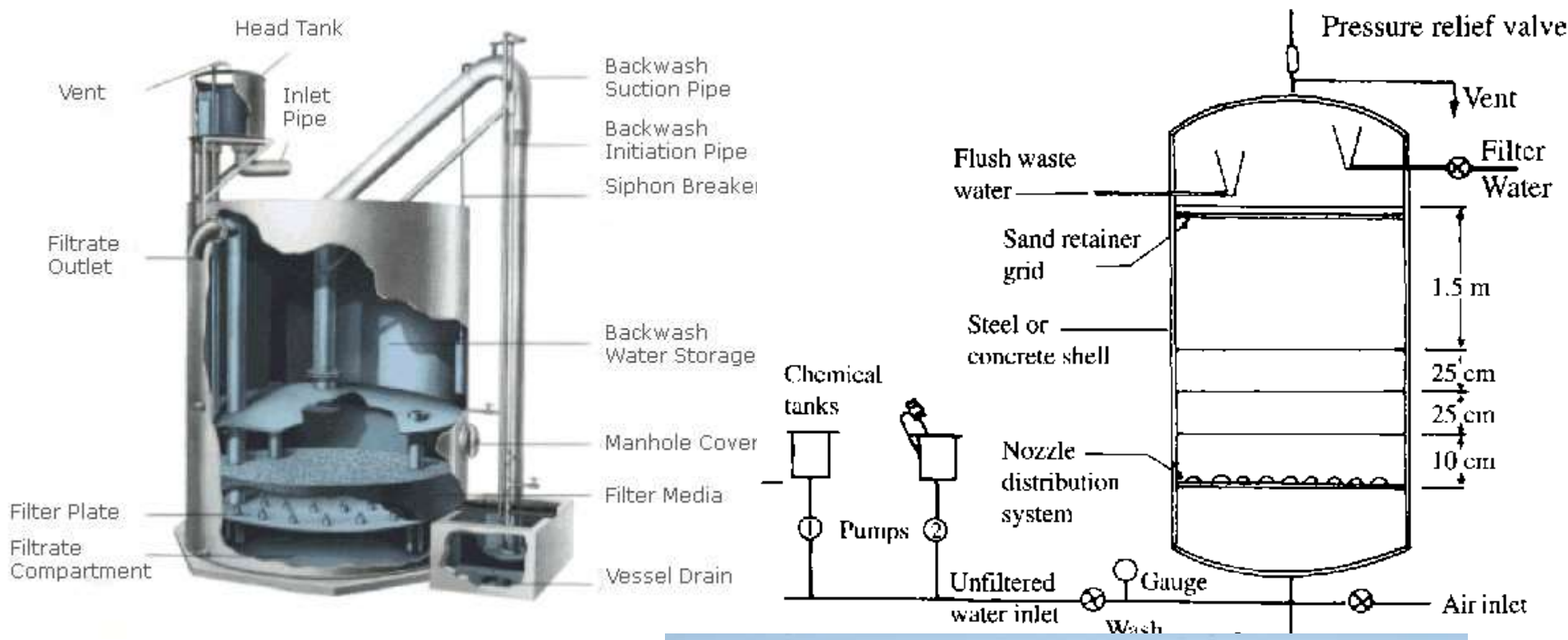
$$L_e = L \frac{(1 - \varepsilon)}{(1 - \varepsilon_e)}$$

$$L_e = \frac{L \cdot (1 - \varepsilon)}{1 - \varepsilon_e} \Rightarrow \varepsilon_e = 1 - \frac{L}{L_e} (1 - \varepsilon)$$



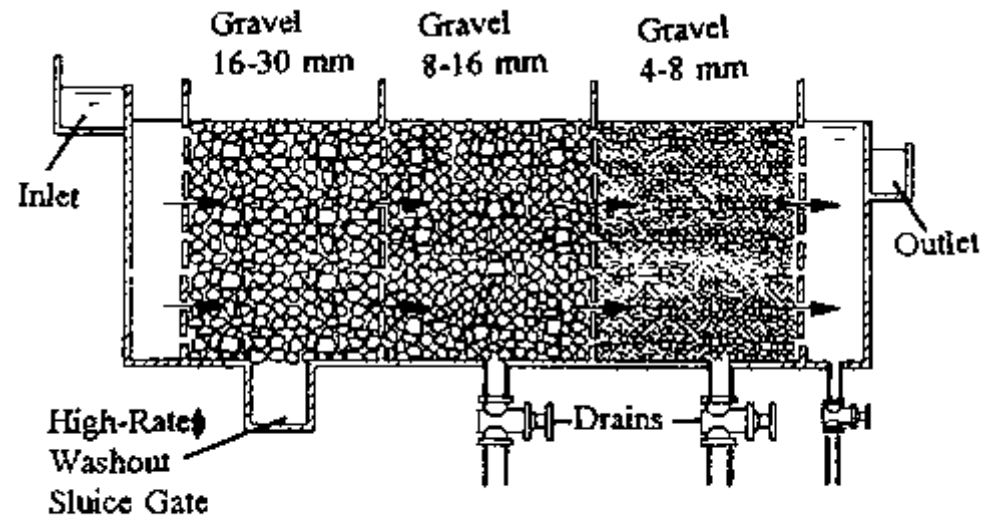
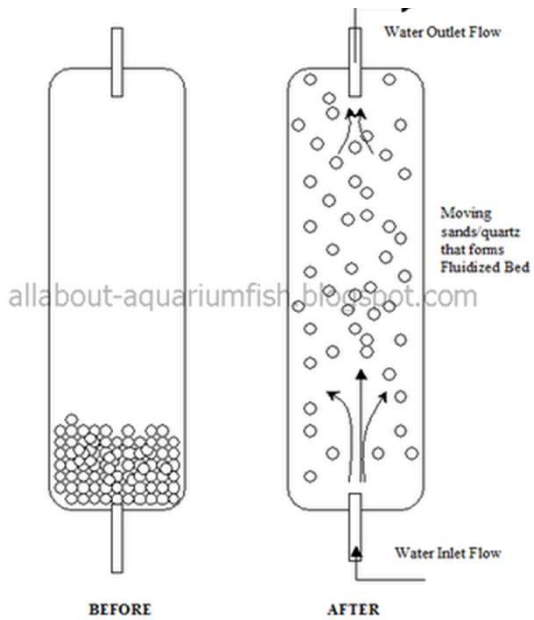
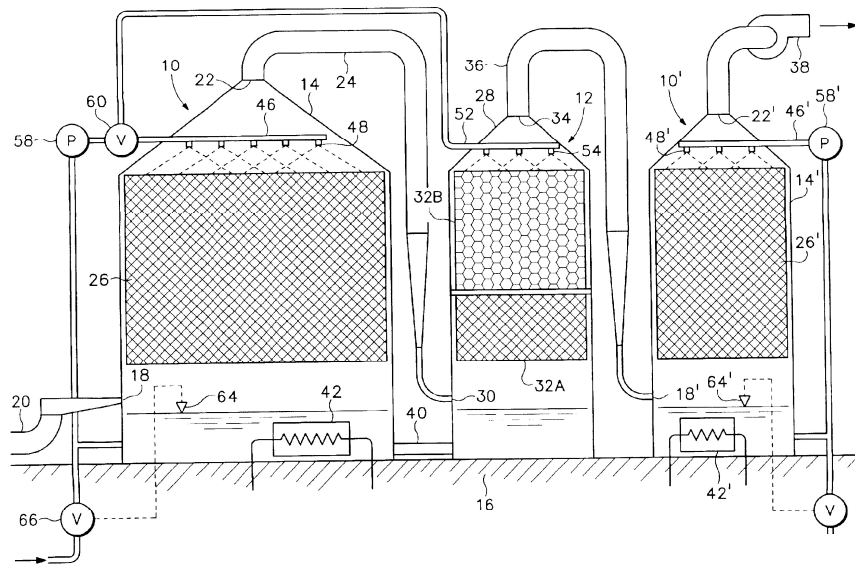
Κλίνες





Κλίνες

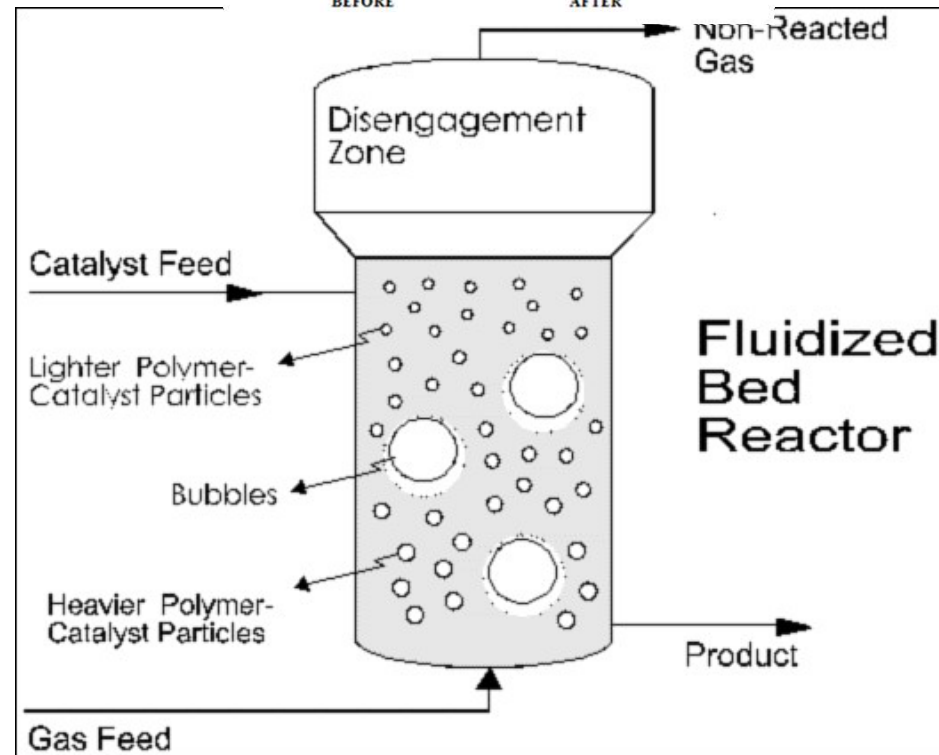
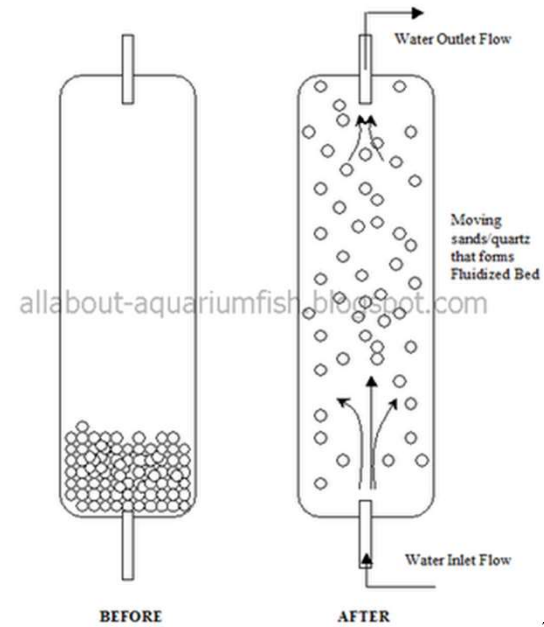




Section



Fluidization is commonly defined as *"the operation by which the fine solids are transformed into a fluid-like state through contact with a gas or liquid"* [1]. Fluidized beds are known for their high heat and mass transfer coefficients, due to the high surface area-to-volume ratio of fine particles. Fluidized beds are used in a wide variety of industrial processes such reaction, drying, mixing, granulation, coating, heating and cooling.



Άσκηση 1^η

Προκειμένου να σχεδιαστούν φίλτρα διήθησης πόσιμου έγιναν πειράματα σε εργαστηριακές πιλοτικές μονάδες (κλίνες σωματιδίων), όπου ελήφθησαν τα κάτωθι αποτελέσματα για την πτώση πίεσης κατά μήκος της κλίνης συναρτήσει της παροχής.

Παροχή cm ³ /min	0	50	100	200	300	400	500	600	700	800
ΔP, στερεής κλίνης mmH ₂ O	0	27	46	102	151	205	265	339	386	444

Δεδομένα:

Ύψος άμμου στην κλίνη: 16 cm, Βάρος άμμου: 286 gr, Πυκνότητα κόκκων άμμου: 2.65 g/cm³, Σφαιρικότητα κόκκων: 0.8, Θ=20 °C, $\rho_{\text{νερού}} = 1000 \text{ kg/m}^3$, Ιξώδες νερού= $1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa S}$, $\rho_{\text{Hg}} = 13.5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, $D_{\text{κλίνης}} = 4 \text{ cm}$

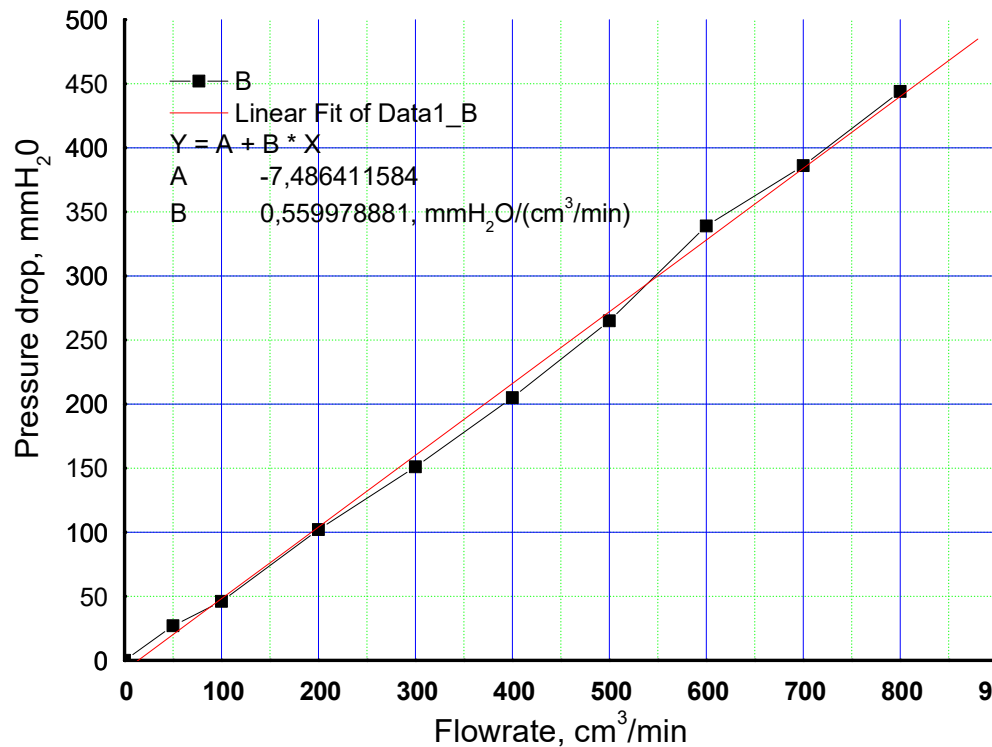
Ζητούνται:

- η διαπερατότητα της κλίνης (από διάγραμμα πτώσης πίεσης έναντι φαινομενικής ταχύτητας ή παροχής) σε Darcy ($1 \text{ Darcy} \sim 10^{-12} \text{ m}^2$)
- υπολογίστε τον αριθμό Reynolds για την μέγιστη παροχή. Σε ποια περιοχή ροής γίνεται η διήθηση (έρπουσα, γραμμική, ενδιάμεση, ή τυρβώδης) αν η λειτουργία της κλίνης γίνεται σε παροχή $400 \text{ cm}^3/\text{min}$?
- το πορώδες της κλίνης
- επιφάνεια των κόκκων, m^2/kg
- μέση διάμετρος κόκκων, σε mm

Κλίνες στ) υπολογίστε το συντελεστή τριβής όταν η ταχύτητα διήθησης είναι ίση με 0.01 m/s

Άσκηση 1^η

A) με την βοήθεια του Πίνακα σχεδιάζουμε το διάγραμμα ΔP έναντι της παροχής (ή της φαινομενικής ταχύτητας) και χρησιμοποιούμε την εξίσωση Darcy για το υπολογισμό της διαπερατότητας της κλίνης



$$v_0 = \frac{Q}{A} = \kappa \left(\frac{P_0 - P_L}{\mu L} \right)$$

$$\frac{\Delta P}{Q} = \left(\frac{P_0 - P_L}{Q} \right) = \frac{\mu L}{\kappa A}$$

κλίση

Η κλίση της ευθείας δίνει
εφθ = 0.56 mmH₂O/[cm³/min]=

ΠΡΟΣΟΧΗ στις ΜΟΝΑΔΕΣ

$$=(\mu L / \kappa A)$$

μ: το ιξώδες, A: διατομή της Κλίνης,
L= μήκος της κλίνης άμμου

Κλίνες



$$k = 3.74 \cdot 10^{-10} \text{m}^2 = 374 \text{ Darcy}$$

Άσκηση 1^η

Α') Αν διαιρέσουμε τις τιμές της παροχής με την διατομή της κλινής ο Πίνακας θα διαμορφωθεί ως εξής:

Φαινομενική Ταχύτητα, m/s	0	7,347E-4	0,00146	0,00293	0,0044	0,0058	0,0073	0,00881	0,01028	0,01175
ΔP, στερεής κλίνης mmH ₂ O	0	27	46	102	151	205	265	339	386	444

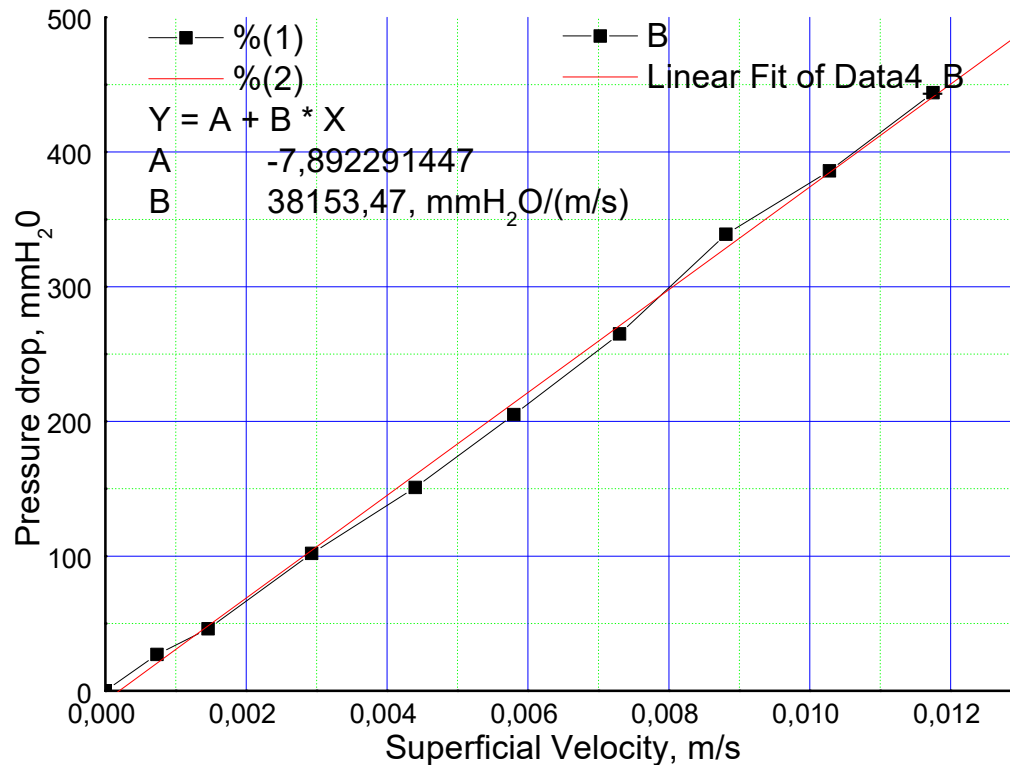
Η εξίσωση Darcy ισχύει και πάλι εδώ $U_0 = \frac{Q}{A} = \kappa \left(\frac{P_0 - P_L}{\mu L} \right)$

Αλλά θα ζωγραφίσουμε την κατανομή της

Πτώσης Πίεσης έναντι της φαινομενικής ταχύτητας

$$\frac{\Delta P}{Q} = \left(\frac{P_0 - P_L}{Q} \right) = \frac{\mu L}{\kappa A} \quad \frac{\Delta P}{U_0} = \frac{\mu L}{\kappa} \text{ αφού } Q = A U_0$$

Άσκηση 1^η



$$\frac{\Delta P}{U_0} = \frac{\mu L}{k}$$

αφού $Q = A U_0$

Η κλίση είναι ίση με
 $\varepsilon\theta = 38153 \text{ mmH}_2\text{O}/ (\text{m/s})$

ΠΡΟΣΟΧΗ στις ΜΟΝΑΔΕΣ

$$=(\mu L/k)$$

$$k = 4.19 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 = 420 \text{ Darcy}$$

Άσκηση 1^η

Υπολογισμός του πορώδους:

$$\varepsilon = 1 - \frac{V_{\alpha\mu\mu\omicron\upsilon}}{V_{\kappa\lambda\iota\nu\eta\varsigma}} = 1 - \frac{\left(\frac{M_{\alpha\mu}}{\rho_{\alpha\mu}}\right)}{\pi \frac{D^2}{4} L} = 1 - \frac{\left(\frac{0.285 \text{ kg}}{2650 \text{ kg/m}^3}\right)}{\pi \frac{0.04^2 \text{ m}^2}{4} 0.16 \text{ m}} = 1 - 0.535 = \mathbf{0.465}$$

Υπολογισμός της ειδικής επιφάνειας, S:

$$U_o = \frac{P_o - P_L}{L} \frac{\psi^2 D_p^2}{150 \mu} \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} \quad \text{Εξίσωση Blake Kozeny}$$

$$\rho_p S = \frac{6}{\psi D_p}, \quad D_p = \frac{6}{\psi \rho_p S} \quad \text{Εμπειρική εξίσωση}$$

Αντικαθιστούμε την μέση διάμετρο κόκκων, D_p στην εξ. Blake Kozeny

$$U_o = \frac{P_o - P_L}{L} \frac{\psi^2}{150 \mu} \left\{ \frac{36}{\psi^2 \rho_p^2 S^2} \right\} \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} \quad S^2 = \frac{P_o - P_L}{L} \frac{\psi^2}{150 \mu} \left\{ \frac{36}{\psi^2 \rho_p^2} \right\} \frac{1}{U_o} \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2}$$

$$S^2 = \frac{1}{[U_o \mu L / \Delta P]} \frac{1}{150} \left\{ \frac{36}{\rho_p^2} \right\} \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} = \frac{1}{k} \frac{1}{150} \left\{ \frac{36}{\rho_p^2} \right\} \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} \quad \mathbf{S = 5.67 \text{ m}^2/\text{kg}}$$

Κλίμακες

Άσκηση 1^η

Υπολογισμός μέσης διαμέτρου κόκκων

$$D_p = \frac{6}{\Psi \rho_p S} = \frac{8}{0.8 \times 2650 \frac{kg}{m^3} \times 5.67 \frac{m^2}{kg}} = 0.499 \text{ mm} = \mathbf{0.5 \text{ mm}}$$

Υπολογισμός συντελεστή τριβής, αν $U_o = 0.01 \text{ m/s}$

$$f = \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{75 \mu}{\Psi^2 D_p \rho_p U_o} = \frac{(1-0.465)^2}{0.465^3} \frac{75 \cdot 10^{-3}}{0.8^2 \times 0.5 \times 2650 \times 0.01} = \mathbf{0.0251}$$