



# Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

## Τεχνολογία Πόσιμου Νερού

### Έβδομη Διάλεξη: Διήθηση

Διδάσκων: Ανέστης Βλυσίδης

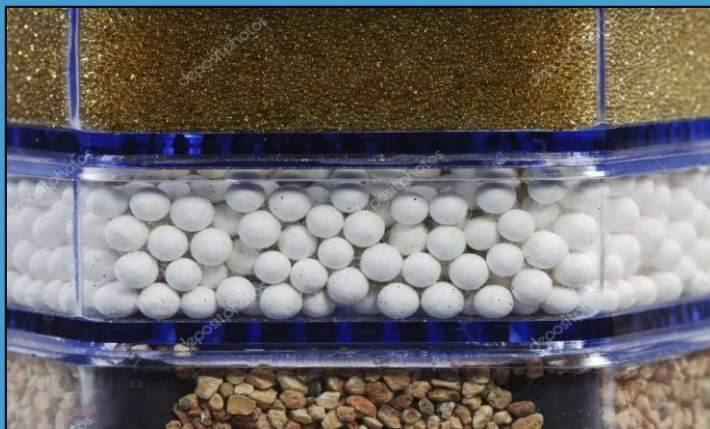
E-mail: [anestisvlysidis@gmail.com](mailto:anestisvlysidis@gmail.com)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS



## 7. Διήθηση



*Πολυστρωματική κλίση διήθησης χώρου*

Διδάσκων: Δρ. Ανέστης Βλυσίδης  
E-mail: [anestisvlysidis@gmail.com](mailto:anestisvlysidis@gmail.com)



## Τι είδαμε στο προηγούμενο μάθημα (Διάλεξη 6)

- Καθίζηση - Επίπλευση γενικά
  - Κατακάθιση διακεκριμένων σωματιδίων
  - Καθίζηση θρόμβων
  - Παρεμποδιζόμενη καθίζηση
  - Είδη δεξαμενών καθίζησης
  - Πάχυνση λάσπης
- 
- Επίπλευση
  - Ταχύτητα Ανόδου Συναθροίσματος Στερεού - Φυσαλίδων
  - Είδη επίπλευσης
  - Επίπλευση με διαλυμένο αέρα
  - Σύγκριση καθίζησης - επίπλευσης



## Σύνοψη Σημερινού μαθήματος

Διήθηση γενικά

Σωματίδια που απομακρύνονται με διήθηση

Είδη διήθησης

Διήθηση χώρου

Μηχανισμοί Συγκράτησης Στερεών

Χαρακτηριστικά διηθητικών μέσων

Αντίστροφη πλύση – μέθοδοι

Διήθηση επιφάνειας – Είδη

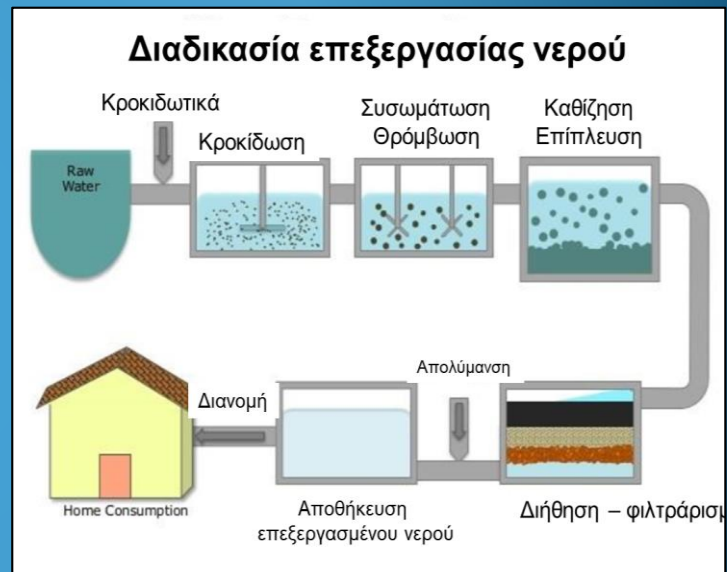
Ερωτήσεις



## Διήθηση

Η διεργασία απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων από το νερό με συγκράτηση στην επιφάνεια ή στη μάζα του διηθητικού μέσου.

- Κατά τη διήθηση τα σωματίδια διέρχονται μέσα από ένα μέσο διήθησης και απομακρύνονται
  - είτε με συσσώρευση στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου,
  - είτε με συγκράτηση στη μάζα του.
- Σε **συνδυασμό** με τις άλλες διεργασίες νερού είναι δυνατόν να οδηγήσει στην απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων όλων των ειδών και μεγεθών.
- Αποτελεί το **τελικό στάδιο** της συνολικής διεργασίας καθαρισμού του νερού **πριν την απολύμανση**



Η χρήση της περιλαμβάνει τους εξής συνδυασμούς διεργασιών, ανάλογα με την κατάσταση των αιωρούμενων σωματιδίων:

- (Συγκέντρωση > 50 mg/L): Καθίζηση → Διήθηση → Απολύμανση
- (Συγκέντρωση < 50 mg/L): Θρόμβωση → Διήθηση → Απολύμανση
- (Ευμεγέθη σωματίδια): Διήθηση → Απολύμανση

Άλλες ονομασίες εκτός από διήθηση: διύλιση ή φιλτράρισμα



## Σωματίδια που απομακρύνονται με διήθηση

Δυνατότητα απομάκρυνσης μιας μεγάλης ποικιλίας σωματιδίων φυσικής ή ανθρώπινης προέλευσης:

- **Μέγεθος:** από 0.1 έως 1000  $\mu\text{m}$
- **Πυκνότητα:** από 1 g/mL έως 5 g/mL

Τα σωματίδια που συγκρατούνται στο διηθητικό μέσο είναι δυνατόν να συμπαρασυρθούν εξαιτίας διατμητικών τάσεων κατά τη συσσώρευση.

Χαρακτηριστικό μέγεθος αντίστασης σε διατμητικές τάσεις είναι η **ισχύς θρόμβου**, η οποία επηρεάζει και τη διεργασία διήθησης.

### Χαρακτηριστικά σωματιδίων που απομακρύνονται με διήθηση

Είδος	Εύρος μεγεθών ( $\mu\text{m}$ )	Πυκνότητα (g/ml)	Ισχύς θρόμβου
Θρόμβοι βακ/ρίων	0,5 – 1000	$\approx 1,02$	Μέση
Άλγη	1 – 200	$\approx 1,05$	Μέση
$\text{Fe}(\text{OH})_3 - \text{Al}(\text{OH})_3$	0,1 – 1000	$\approx 1,01$	Χαμηλή
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,1 – 50	5,2	Χαμηλή
$\text{CaCO}_3$	0,1 – 50	2,4	Χαμηλή

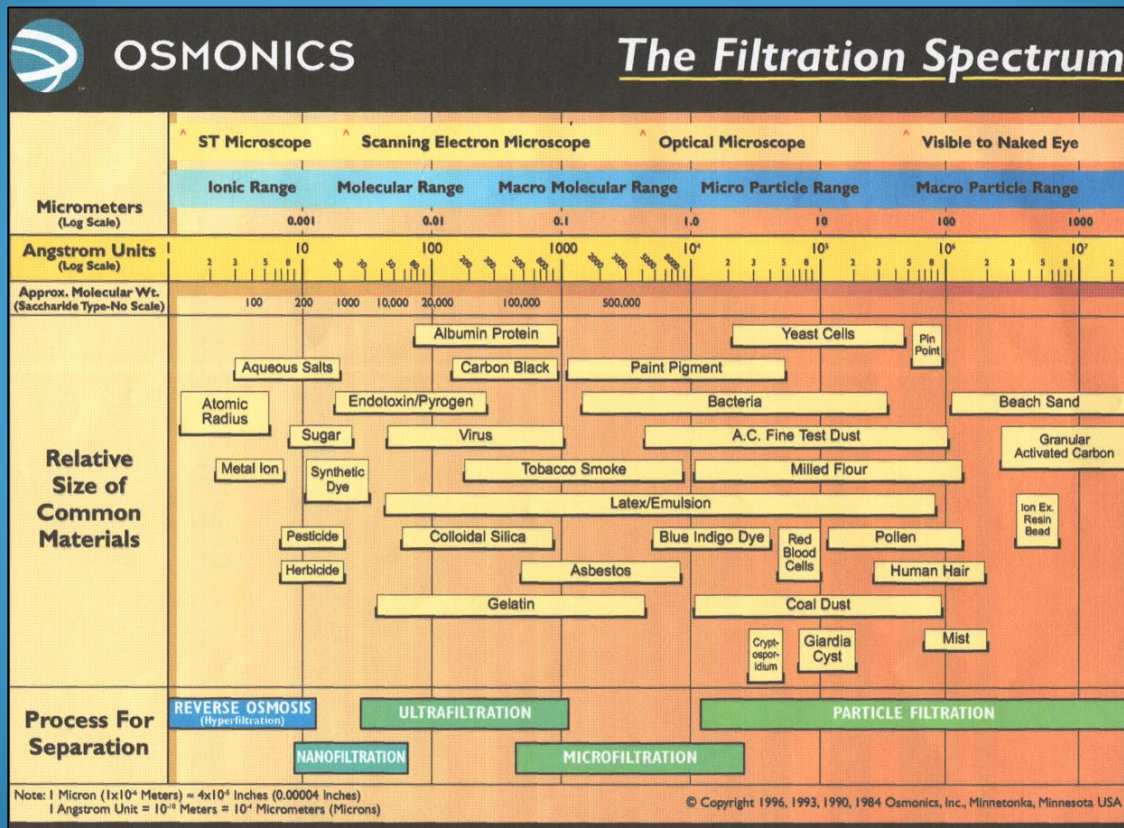
Αντίσταση των σωματιδίων στις διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους καθώς αυξάνεται η ποσότητά τους

Όσο πιο μεγάλη είναι η **Ισχύς Θρόμβου** τόσο μεγαλώνει η ικανότητα συγκράτησής τους στο διηθητικό μέσο.





## Φάσμα Διήθησης





## Είδη διήθησης

### Με βάση το μηχανισμό της διήθησης:

- **Διήθηση επιφανείας** => το νερό με τα σωματίδια διέρχονται από πορώδη επιφάνεια, η οποία συγκρατεί τα σωματίδια
- **Διήθηση χώρου** => το νερό με τα σωματίδια διέρχονται μέσα από παχύ στρώμα πορώδους υλικού (π.χ. άμμος που είναι και το πιο κοινό πληρωτικό υλικό) το οποίο συγκρατεί τα σωματίδια

### Με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά του διηθητικού μέσου:

- **Διήθηση σε κλίνες** με κοκκώδες διηθητικό μέσο (άμμος, ανθρακίτης)
- **Διήθηση σε φίλτρα** με προεπίστρωση (λεπτό στρώμα διηθητικού μέσου)

### Με βάση τον υδραυλικό τρόπο που διέρχεται το νερό από το διηθητικό μέσο:

- **Διήθηση με βαρύτητα** (ανοιχτά φίλτρα)
- **Διήθηση υπό πίεση** (κλειστά φίλτρα)

### Με βάση το ρυθμό διήθησης (σε κλίνες με κοκκώδες διηθητικό μέσο):

- **Ταχεία διήθηση** (5 – 25 m/h)
- **Αργή διήθηση** (0,04 – 0,4 m/h)

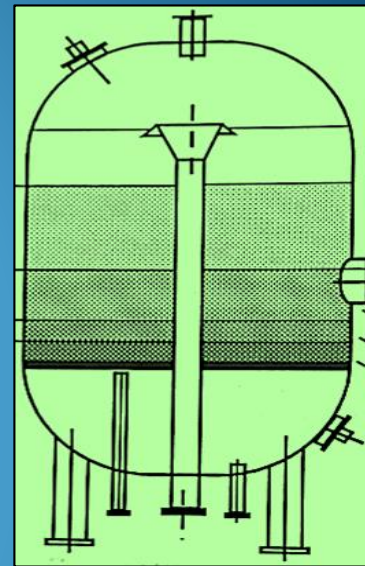




## Διήθηση Χώρου

Είναι η **σημαντικότερη μέθοδος** που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του νερού με τη χρήση στρωμάτων διηθητικού μέσου **αρκετού ύψους**.

- Τα σωματίδια ρέουν διαμέσου της πορώδους κλίνης η οποία **τα συγκρατεί** στη μάζα της.
- Με τη διαδικασία της **αντίστροφης πλύσης** γίνεται απόρριψη των συγκρατούμενων σωματιδίων και έτσι **καθαρίζεται** η κλίνη.
- Η χρονική διάρκεια μεταξύ των πλύσεων ονομάζεται **κύκλος διήθησης**



Στη διήθηση χώρου τα αιωρούμενα σωματίδια ρέουν διαμέσου πορώδους κλίνης, η οποία τα συγκρατεί με τους εξής μηχανισμούς:

1. **Στάδιο μεταφοράς (φυσικά φαινόμενα):** τα σωματίδια παρεκκλίνουν από τη γραμμή ροής και μεταφέρονται στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου.
2. **Στάδιο συγκράτησης (χημικά φαινόμενα):** τα σωματίδια πλησιάζουν τόσο τον κόκκο, ώστε αναπτύσσονται δυνάμεις που επιτρέπουν ή όχι τη συγκράτηση τους στον κόκκο.
3. **Στάδιο αποκόλλησης:** συμπαρασυρμός από το νερό συγκρατημένων σωματιδίων εξαιτίας διατμητικών τάσεων.



## Μηχανισμοί Συγκράτησης Στερεών: 1. Στάδιο μεταφοράς

Τα σωματίδια υπερνικούν τις ροϊκές γραμμές, παρεκκλίνουν από τη ροή του υγρού και μεταφέρονται στην επιφάνεια του κόκκου του διηθητικού μέσου για να συγκρατηθούν.

**Μεταφορά με πρόσκρουση:** Η αδράνεια των σωματιδίων είναι μεγαλύτερη από την υδροδυναμική δύναμη που τείνει να τα παρασύρει.

**Μεταφορά με υδροδυναμικές δυνάμεις:** λόγω ανομοιόμορφης κατανομής των διατμητικών δυνάμεων μέσα στα κενά των πόρων. Κυρίως όταν ο αριθμός  $Re$  είναι μικρός (στρωτή ροή).



*Σχηματική αναπαράσταση των κυρίων μηχανισμών προσέγγισης των σωματιδίων κατά τη διήθηση.*

*A: Ανακοπή πορείας,  
B: Καθίζηση,  
Γ: Διάχυση.*

*Μήτρακας, 2001*

**Παράδειγμα:** Σωματίδια μεγέθους 5 – 50  $\mu\text{m}$ , από διηθητική κλίνη άμμου  $d=1\text{mm}$ , πορώδους 0,4 και διόδους νερού διαμέτρου 500  $\mu\text{m}$  συγκρατούνται



## Κυριότεροι μηχανισμοί μεταφοράς σωματιδίων στο διηθητικό μέσο

### A. Ανακοπή πορείας:

Τα σωματίδια κινούνται πλησιάζουν σε απόσταση ίση με τη μισή διάμετρό τους  $d$  από την επιφάνεια του κόκκου και συγκρατούνται από τους κόκκους του διηθητικού μέσου.

Ποσοστό προσέγγισης των σωματιδίων στους κόκκους με το μηχανισμό της ανακοπής:

$$n_1 = \frac{3}{2} \left( \frac{d}{d_m} \right)^2$$

$d$ : μέγεθος σωματιδίων

$d_m$ : μέγεθος διηθητικού μέσου

$n_1$ : ποσοστό προσεγγίσεων με ανακοπή

Το  $n$  αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο λόγος των μεγεθών των σωματιδίων προς το διηθητικό μέσο.

Το διάστημα που διανύει ένα σωματίδιο για να αγγίξει τον κόκκο είναι ανάλογο προς  $(d/d_m)^2$ .

Για  $d = 10\mu\text{m}$ ,  $d_m = 0,6 \text{ mm} \rightarrow n_1 = 0,001$ . Δηλαδή, μόνο μια στις χίλιες συγκρατήσεις συμβαίνει με ανακοπή πορείας.



*Σχηματική αναπαράσταση των κυρίων μηχανισμών προσέγγισης των σωματιδίων κατά τη διήθηση.*

*A: Ανακοπή πορείας,*

*B: Καθίζηση,*

*Γ: Διάχυση.*

*Μήτρακας, 2001*



## Κυριότεροι μηχανισμοί μεταφοράς σωματιδίων στο διηθητικό μέσο

### Β. Καθίζηση

Τα σωματίδια με μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό ( $\rho_s - \rho_v$ ) παρεκκλίνουν από τις ροϊκές γραμμές εξαιτίας φαινομένων καθίζησης και κάθονται επάνω στους κόκκους.

Ποσοστό προσέγγισης των σωματιδίων στους κόκκους με το μηχανισμό της καθίζησης:

$$n_s = \frac{(\rho_s - \rho_v)gd^2}{18\mu V}$$

**V:** ταχύτητα ροής του νερού

**$n_s$ :** ποσοστό συγκράτησης με καθίζηση

**$\rho_s / \rho_v$ :** πυκνότητα σωματιδίου/νερού

**$\mu$ :** ιξώδες νερού, **g:** σταθ. βαρύτητας



*Σχηματική αναπαράσταση των κυρίων μηχανισμών προσέγγισης των σωματιδίων κατά τη διήθηση.*

*A: Ανακοπή πορείας,*

*B: Καθίζηση,*

*Γ: Διάχυση.*

*Μήτρακας, 2001*

Το διάστημα που διανύει ένα σωματίδιο για να αποτεθεί σε έναν κόκκο είναι ανάλογο προς  $(\rho_s - \rho_v)d^2$ .

Όσο μεγαλύτερης πυκνότητας ( $\rho_s$ ) και μεγέθους ( $d$ ) είναι τα σωματίδια, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο ρόλος της καθίζησης ( $n$ ) στη συγκράτηση και στο διαχωρισμό τους από το υπόλοιπο υγρό.

Για θρόμβους:  $n_s \approx 0,001$  και για ασυνεχή σωματίδια μεγάλης  $\rho$  ( $2 - 5 \text{ Kg/m}^3$ ) π.χ.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :  $n_s \approx 0,01 - 0,1$ .





## Κυριότεροι μηχανισμοί μεταφοράς σωματιδίων στο διηθητικό μέσο

### Γ. Διάχυση

Τα σωματίδια που επηρεάζονται από την κίνηση Brown παρεκκλίνουν από τις ροϊκές γραμμές εξαιτίας της διάχυσης.

Επηρεάζει μόνο τα σωματίδια κολλοειδούς φύσης με μέγεθος **μικρότερο από 1 μm**. Για σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους υπερισχύει ο μηχανισμός καθίζησης.

Ποσοστό προσέγγισης των αιωρούμενων σωματιδίων στους κόκκους με το μηχανισμό της διάχυσης:

$$n_D = 0,9 \left[ \frac{\kappa T}{\mu d d_m V} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$n_D$ : ποσοστό συγκρατήσεων με διάχυση  
 $\kappa$ : σταθερά Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K\*mole)  
 $T$ : απόλυτη θερμοκρασία (K)  
 $V$ : ταχύτητα ροής του νερού  
 $\mu$ : ιξώδες νερού



Σχηματική αναπαράσταση των κυρίων μηχανισμών προσέγγισης των σωματιδίων κατά τη διήθηση.

**A:** Ανακοπή πορείας,

**B:** Καθίζηση,

**Γ:** Διάχυση.

Μήτρακας, 2001





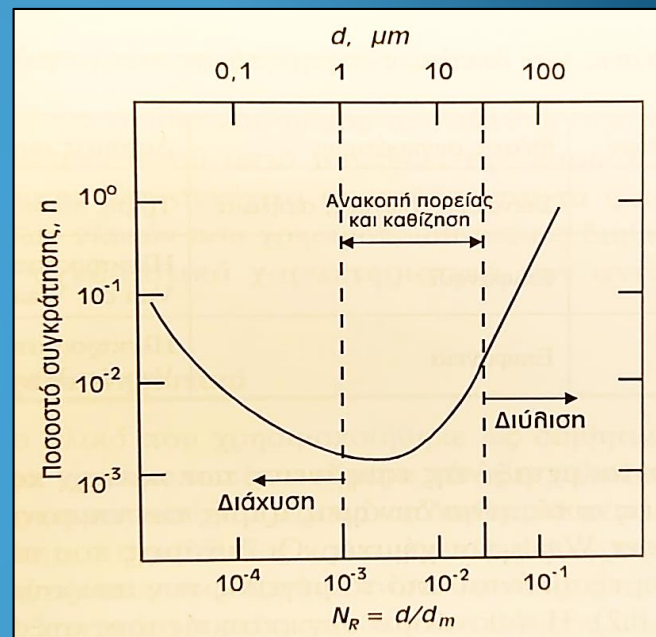
## Κυριότεροι μηχανισμοί μεταφοράς σωματιδίων στο διηθητικό μέσο

Στο σχήμα φαίνεται πως για σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους από 1-2  $\mu\text{m}$  υπερिशύει ο μηχανισμός καθίζησης έναντι της διάχυσης.

### Άλλοι μηχανισμοί μεταφοράς

Επιφανειακές δυνάμεις ηλεκτροστατικής έλξης και δυνάμεις London – Van der Waals είναι ικανές να παρεκκλίνουν τα σωματίδια από τις ροϊκές γραμμές τους. Όμως κάτω από φυσιολογικές συνθήκες διήθησης αυτό είναι απίθανο (Spielman, Goren, 1970).

Το ποσοστό συμμετοχής του κάθε μηχανισμού μεταφοράς των σωματιδίων στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του συστήματος διασποράς και πιο συγκεκριμένα **από το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων**, (σχήμα). Βέβαια, κάθε μηχανισμός συνεπάγεται διαφορετικές απαιτήσεις ταχύτητας κενού χώρου.



**8.2 Συσχέτιση του μεγέθους του αιωρούμενου σωματιδίου με το μηχανισμό που ελέγχει τη συγκράτηση του από το μέσο διήθησης ( $d_m = 1\text{mm}$ ), Μήτρακας 2001**



## Μηχανισμοί Συγκράτησης Στερεών: 2. Στάδιο συγκράτησης των σωματιδίων

Η προσέγγιση των σωματιδίων στους κόκκους του διηθητικού μέσου καταλήγει σε συγκράτηση, αν το επιτρέψουν οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ κόκκων και σωματιδίων.

Οι δυνάμεις αυτές είναι:

- Τριβής επιφανειών
- Van der Waals
- Χημικές

*Θέσεις και δυνάμεις συγκράτησης κατά τη διήθηση χώρου. Μήτρακας, 2001*

Μέγεθος σωματιδίων	Θέσεις συγκράτησης	Δυνάμεις συγκράτησης
>30 $\mu\text{m}$	Στενώσεις, ρωγμές, σπήλαια	Τριβή, πίεση ρευστού
1 - 3 $\mu\text{m}$	Επιφάνεια	Ηλεκτροστατικές, Van der Waals
<0,1 $\mu\text{m}$	Επιφάνεια	Ηλεκτροστατικές, Van der Waals, χημικές

- Η πιθανότητα συγκράτησης αυξάνεται όταν τα σωματίδια φέρουν αντίθετο φορτίο με αυτό του διηθητικού μέσου (κόκκους).
- Η πιθανότητα συγκράτησης μειώνεται με το χρόνο καθώς δημιουργείται φλοιός σωματιδίων γύρω από τους κόκκους (αναπτύσσονται απωστικές δυνάμεις λόγω ομώνυμων φορτίων).



### Μηχανισμοί Συγκράτησης Στερεών: 3. Στάδιο αποκόλλησης

Καθώς συσσωρεύονται τα σωματίδια που συγκρατούνται στους πόρους του διηθητικού μέσου (μεταξύ των κόκκων) **αυξάνονται οι υδροδυναμικές διατμητικές δυνάμεις** εξαιτίας της αύξησης της ταχύτητας του νερού διαμέσου του κενού των πόρων. **Η ροή είναι δυνατόν να μεταβληθεί από στρωτή σε τυρβώδη.**

**Αν οι διατμητικές δυνάμεις ξεπεράσουν τις επιφανειακές δυνάμεις που συγκρατούν τα σωματίδια στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου, τότε τα σωματίδια αποκολλούνται και συμπαράσύρονται από το νερό ή μεταφέρονται σε μεγαλύτερο βάθος στη διηθητική κλίση.**

Το φαινόμενο παρατηρείται:

- ✓ Όταν έχουμε υδραυλικά πλήγματα στα φίλτρα
- ✓ Προς το τέλος του κύκλου της διήθησης, όταν ο αυξημένος βαθμός έμφραξης απαιτεί μεγαλύτερη **υδραυλική πίεση διήθησης.**



## Χαρακτηριστικά διηθητικών μέσων

Η επιλογή του διηθητικού μέσου αποτελεί τη σημαντικότερη σχεδιαστική παράμετρο αφού αποτελεί την καρδιά ενός συστήματος διήθησης χώρου.

### Χημικά χαρακτηριστικά

Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ως διηθητικό μέσο είναι η χαλαζιακή άμμος (Χρησιμοποιείται και σήμερα ευρύτατα). Άλλα υλικά είναι ο ανθρακίτης, ο γρανίτης και ο σχιστόλιθος.

Προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση κάποιου υλικού ως διηθητικού μέσου είναι:

- Η μηχανική του αντοχή (να μην θρυμματίζεται εύκολα)
- Η αντοχή του στα οξέα

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος διασποράς (νερού με σωματίδια) επηρεάζουν την επιλογή του είδους του διηθητικού μέσου. Παραδείγματα:

- Για τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων γίνεται χρήση σχιστόλιθου.
- Για απομάκρυνση οσμής, χρώματος, οργανικών ενώσεων και χλωρίου χρησιμοποιείται ο κοκκώδης ενεργός άνθρακας.

### Χαρακτηριστικά των συνεθέστερων υλικών διήθησης. Μήτρακας, 2001

Υλικό	Πυκνότητα κόκκου g/mL	Πορώδες κλίσης $\epsilon_0$	Σφαιρικότητα $\psi$
Χαλαζιακή άμμος	2,65	0,42 – 0,47	0,70 – 0,80
Ανθρακίτης	1,4 – 1,7	0,56 – 0,60	0,46 – 0,60
Κοκκώδης εν. άνθρακας	1,3 – 1,5	0,48 – 0,52	0,72 – 0,78
Γρανίτης	3,6 – 4,2	0,45 – 0,55	0,58 – 0,62



Χαλαζιακή άμμος



## Φυσικά χαρακτηριστικά

Οι φυσικές ιδιότητες (μερικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα) των διηθητικών μέσων που επηρεάζουν την απόδοση της διήθησης και τη διαδικασία της αντίστροφης πλύσης είναι:

- Μέγεθος κόκκων και κατανομή μεγέθους
- Σχήμα και σφαιρικότητα κόκκων
- Πυκνότητα κόκκων
- Φαινομενική πυκνότητα
- Σκληρότητα κόκκων
- Πορώδες σταθερής κλίνης

*Χαρακτηριστικά των συνηθέστερων υλικών διήθησης.  
Μήτρακας, 2001*

Υλικό	Πυκνότητα κόκκου g/mL	Πορώδες κλίνης $\epsilon_0$	Σφαιρικότητα $\psi$
Χαλαζιακή άμμος	2,65	0,42 – 0,47	0,70 – 0,80
Ανθρακίτης	1,4 – 1,7	0,56 – 0,60	0,46 – 0,60
Κοκκώδης εν. άνθρακας	1,3 – 1,5	0,48 – 0,52	0,72 – 0,78
Γρανίτης	3,6 – 4,2	0,45 – 0,55	0,58 – 0,62





## Φυσικά χαρακτηριστικά

### Μέγεθος κόκκων και κατανομή μεγέθους

Το μέγεθος των κόκκων του διηθητικού μέσου έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση της διήθησης, καθώς επίσης στις απαιτήσεις για την αντίστροφη πλύση του. Υπολογίζεται με κοκκομετρική ανάλυση: Καμπύλη που δείχνει το ποσοστό κατά βάρος των κόκκων που διέρχονται από μια σειρά κοσκίνων (Διάγραμμα).

Το διηθητικό μέσο χαρακτηρίζεται από το πραγματικό μέγεθος των κόκκων και το συντελεστή ομοιομορφίας.

#### Μέγεθος κόκκων και κατανομή μεγέθους

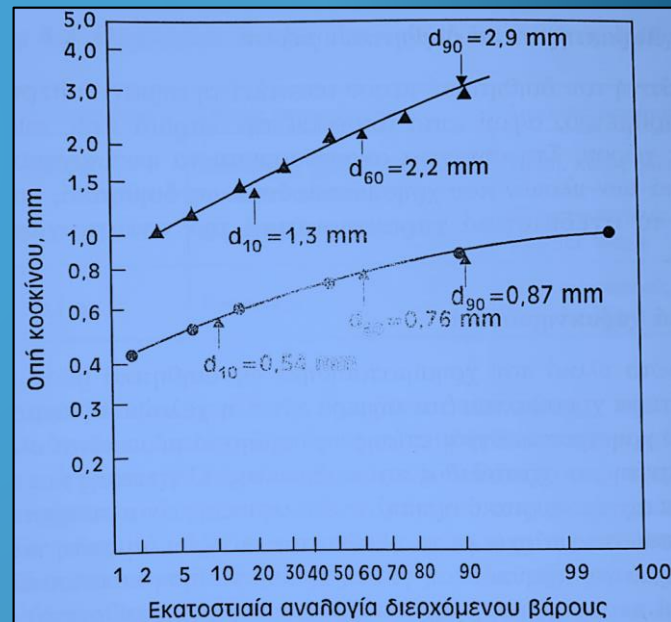
**Πραγματικό μέγεθος  $d_x$ :** το μέγεθος που το X% των κόκκων έχει μικρότερο μέγεθος.

**Συντελεστής ομοιομορφίας (ΣΟ):**  $d_{60}/d_{10}$

Πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ:

$$1,2 < \Sigma.Ο. < 1,6 \text{ και } (\Sigma.Ο.)_{\max} = 1,8$$

Συνήθης κοκκομετρική ανάλυση του ανθρακίτη ( $\Delta$ ) και της χαλαζιακής ( $\bullet$ ) άμμου





## Φυσικά χαρακτηριστικά

### Σχήμα και σφαιρικότητα κόκκων

Η επιφάνεια των κόκκων μπορεί να είναι τραχεία ή λεία. Το σχήμα τους χαρακτηρίζεται από τη σφαιρικότητα  $\psi$  (ισούται με το λόγο της επιφάνειας μιας σφαίρας ισοδύναμου όγκου προς την πραγματική επιφάνεια του κόκκου).

Το σχήμα των κόκκων επηρεάζει και την πτώση πίεσης κατά τη διήθηση, με τους μη σφαιρικούς κόκκους να δημιουργούν μικρότερη πτώση πίεσης από τους σφαιρικούς, καθώς δημιουργούν μεγαλύτερες διόδους του νερού.

**Πίνακας:** Το πορώδες του διηθητικού μέσου αυξάνεται καθώς ελαττώνεται η σφαιρικότητα των κόκκων αφού:

$$\Psi = (\text{επιφάνεια σφαίρας}) / (\text{πραγματική επιφάνεια κόκκου})$$

*Επίδραση του σχήματος των διηθητικών υλικών στα φυσικά χαρακτηριστικά τους. Μήτρακας, 2001*

Περιγραφή σχήματος	Σφαιρικότητα $\psi$	Συντελεστής σχήματος S	Τυπικό πορώδες $\epsilon_0$
Σφαιρικό	1,00	6,0	0,38
Κυλινδρικό	0,98	6,1	0,38
Φθααρμένο	0,94	6,4	0,39
Αιχμηρό	0,81	7,4	0,40
Γωνιώδες	0,78	7,7	0,43
Κονιοποιημένο	0,70	8,5	0,48

Το σχήμα και η σφαιρικότητα του διηθητικού μέσου επηρεάζει την υδραυλική συμπεριφορά της κλίνης.



### Φυσικά χαρακτηριστικά

#### Πυκνότητα κόκκων

Η πυκνότητα των κόκκων επηρεάζει την απαιτούμενη ταχύτητα ροής για αντίστροφη πλύση της κλίνης, αφού κόκκοι με μεγαλύτερη πυκνότητα (και μέγεθος) απαιτούν μεγαλύτερη ταχύτητα ροής, ώστε να επιτευχθεί η ρευστοποίηση της κλίνης.

#### Φαινομενική πυκνότητα

Είναι ένα μέτρο του όγκου που καταλαμβάνει μια δεδομένη μάζα διηθητικού μέσου στο νερό ή στον αέρα.

#### Σκληρότητα κόκκων

Η αυξημένη σκληρότητα των κόκκων είναι **επιθυμητή** γιατί αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους, ενώ δεν θρυμματίζονται σε μικρότερα σωματίδια τα οποία φράσσουν τη διηθητική κλίνη.

#### Πορώδες διηθητικού μέσου ( $\epsilon_0$ )

**Το πορώδες ισούται με το λόγο του όγκου του κενού χώρου της κλίνης προς τον ολικό όγκο της.**

- Επηρεάζει το βαθμό συγκράτησης και την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών, την πτώση πίεσης κατά τη λειτουργία και την ταχύτητα ροής της αντίστροφης πλύσης.
- Εξαρτάται από τη σφαιρικότητα και το μέγεθος των σωματιδίων (βλ. πίνακα σε προηγούμενη διαφάνεια).



## Μέγεθος Κόκκων Και Βάθος Διηθητικής Κλίνης Ενός Στρώματος

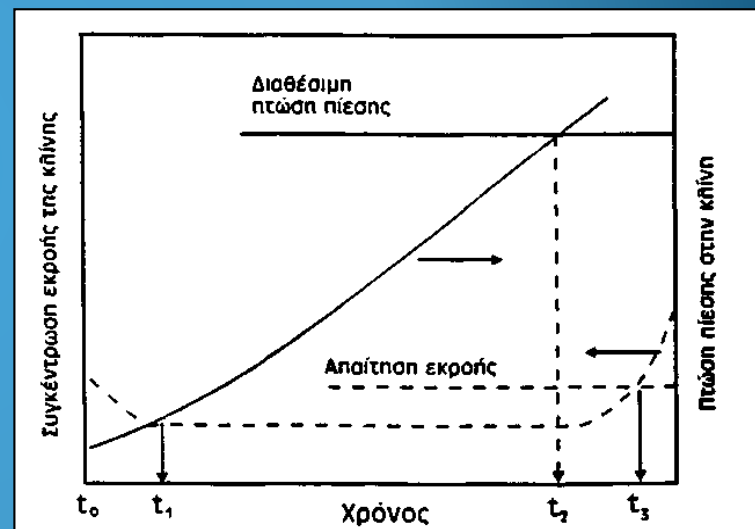
Το μέγεθος των κόκκων που επιλέγεται σε ένα διηθητικό μέσο εξαρτάται από:

- Το είδος της διασποράς που καλείται να συγκρατήσει
- Το βάθος της κλίνης.

Κατά τη διάρκεια ενός κύκλου διήθησης (σχήμα):

- Έχουμε συνεχώς αυξανόμενη πτώση πίεσης.
- Η ποιότητα του νερού εκροής (βλ. διακεκομμένη γραμμή) αρχικά συνεχώς βελτιώνεται ( $t_0 - t_1$ : περίοδος ωρίμανσης).
- Παραμένει σταθερή για μεγάλο χρονικό διάστημα ( $t_1 - t_2$ )
- Στη συνέχεια ( $t_2 - t_3$ ) εμφανίζονται φαινόμενα αποκόλλησης και αρχίζει σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητας του νερού εκροής.
- Από το  $t_3$  και μετά απαιτείται αντίστροφη πλύση του φίλτρου.

Τα συνήθως χρησιμοποιούμενα μεγέθη κυμαίνονται κατά περίπτωση μεταξύ 0.3-0.5 mm, 0.6-0.8 mm, 0.9-1.35 mm, 1.35-2.5 mm, 3-25 mm.



*Σχηματική παράσταση της απόδοσης και της πτώσης πίεσης μιας κλίνης κατά τη διάρκεια του κύκλου διήθησης. Μήτρακας, 2001*



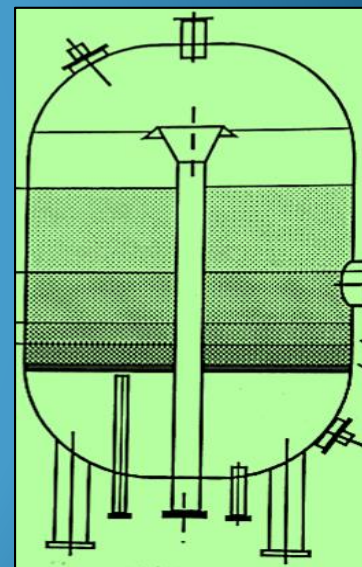
## Μέγεθος Κόκκων Και Βάθος Διηθητικής Κλίνης Πολλών Στρωμάτων

Ο λόγος των ενεργών μεγεθών των κόκκων των υλικών που συνιστούν τα δύο ή τρία στρώματα διήθησης μιας κλίνης πρέπει να έχει ορισμένη τιμή, η οποία εξαρτάται από:

- Τη φύση της διασποράς
- Την πυκνότητα κόκκου κάθε υλικού
- Τη μέθοδο πλύσης της κλίνης

### Προϋποθέσεις στη διηθητική κλίνη πολλών στρωμάτων:

- ✓ Θεωρείται αναγκαίος κάποιος βαθμός ανάμιξης των στρωμάτων
- ✓ Max Συντελεστής Ομοιομορφίας = 1,5 ώστε οι λεπτοί κόκκοι να μη συγκεντρωθούν στην επιφάνεια λόγω της υδραυλικής διαβάθμισης των κόκκων ως προς το μέγεθός τους κατά την πλύση, και προκαλέσουν επιφανειακή έμφραξη.
- ✓ Στην περίπτωση φίλτρων με δύο στρώματα, το ενεργό μέγεθος της άμμου που βρίσκεται ως κάτω στρώμα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,4 – 0,8 mm ενώ του ανθρακίτη (ή της ελαφρόπετρας) μεταξύ 0,8 – 2,5 mm.
- ✓ Μια κλίνη με δύο στρώματα πρέπει να αποτελείται από 2/5 άμμο και 3/5 ανθρακίτη (ή άλλο ελαφρύ υλικό)



*Πολυστρωματική κλίνη. Μανασσής*

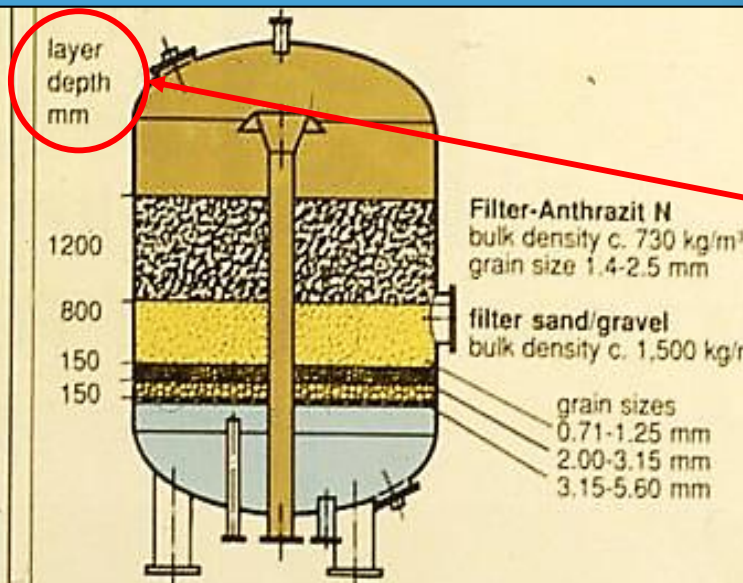
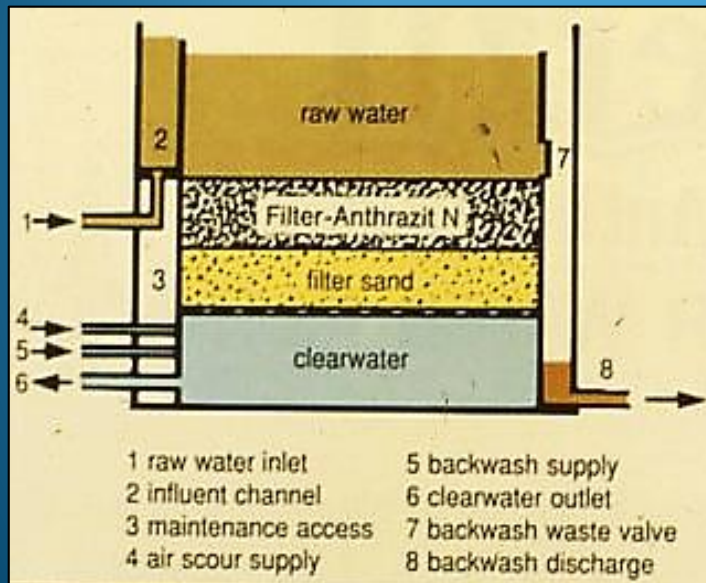




## Μέγεθος Κόκκων Και Βάθος Διηθητικής Κλίνης Πολλών Στρωμάτων

Πολυστρωματική κλίη έναντι μονοστρωματικής:

1. Ελαχιστοποιεί την πιθανότητα επιφανειακής έμφραξης
2. Καλύτερη υδραυλική ομοιομορφία ροής.
3. Καλύτερη συσσωμάτωση.
4. Ισοδύναμο βάθος πολυστρωματικής κλίνης ίσο με το 70% της αντίστοιχης μονοστρωματικής

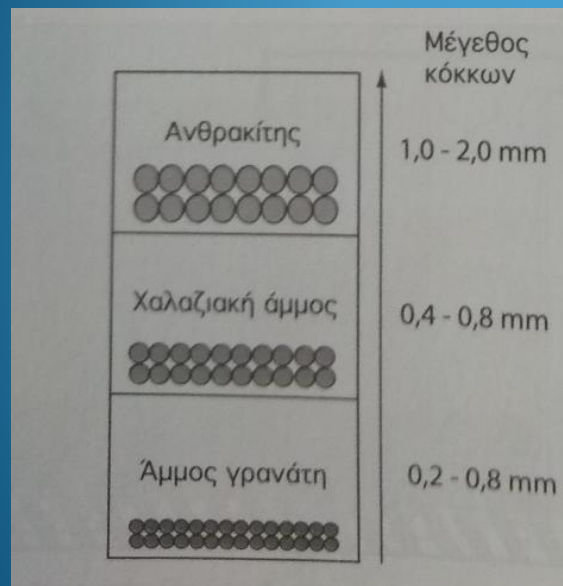


Το βάθος της κλίνης εξαρτάται από:

- Την προηγηθείσα επεξεργασία
- Το ρυθμό διήθησης
- Τη φύση της διασποράς



## Πολυστρωματικό φίλτρο διήθησης



Τρία στρώματα φίλτρου

Το στρώμα του πληρωτικού υλικού:

Με το μεγαλύτερο μέγεθος και το ελαφρύτερο υλικό τοποθετείτε στο πάνω μέρος του φίλτρου

Με το μικρότερο μέγεθος και το βαρύτερο υλικό στο κάτω μέρος

Οπότε σε συνάρτηση με το βάθος του φίλτρου:

Το μέγεθος του πληρωτικού υλικού ελαττώνεται ενώ

Η πυκνότητα (ειδικό βάρος) αυξάνεται



### Διήθηση Χώρου: Ποσότητα αιωρούμενων στερεών που συγκρατούνται

Η ποσότητα των αιωρούμενων στερεών, που συγκρατούνται ανάμεσα στους κόκκους του διηθητικού μέσου, δεν πρέπει κατά μέσο όρο να καταλαμβάνει περισσότερο από το  $1/4$  του κενού όγκου, ώστε να είναι δυνατή η ροή του νερού.

### Ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων που συγκρατεί η κλίνη άμμου

Ανεξάρτητα από το μέγεθος των κόκκων της άμμου σε μια κλίνη θα έχουμε κενό χώρο =  $450 \text{ L} / \text{m}^3$  άμμου. Άρα, ο όγκος που διατίθεται για τη συγκράτηση της διασποράς είναι το 25%, δλδ. έχουμε περίπου  $110 \text{ L}/\text{m}^3$  μέγιστη έμφραξη.

#### Όταν η διασπορά:

- Είναι κολλοειδούς μορφής → συγκρατείται σε μορφή λάσπης. Όταν π.χ. έχουμε  $10 \text{ g}/\text{L}$  συγκέντρωση στερεών στην είσοδο => η μέγιστη ποσότητα σωματιδίων που μπορεί να συγκρατηθεί από  $1 \text{ m}^3$  διηθητικού μέσου είναι  $110 \text{ L}/\text{m}^3 * 10 \text{ g}/\text{L} = 1100 \text{ g}$  ανά  $\text{m}^3$ .
- Περιλαμβάνει σωματίδια μεγαλύτερης πυκνότητας στο νερό που θέλουμε να καθαρίσουμε (Άργιλοι, οξείδια  $\text{Fe}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ) → μπορεί να γίνει συγκράτηση  $60 \text{ g}/\text{L}$  στερεών. Άρα, η μέγιστη ποσότητα σωματιδίων που μπορεί να συγκρατηθεί από  $1 \text{ m}^3$  διηθητικού μέσου είναι  $110 \text{ L}/\text{m}^3 * 60 \text{ g}/\text{L} = 6600 \text{ g}$  ανά  $\text{m}^3$ .



### Διήθηση Χώρου: Ποσότητα αιωρούμενων στερεών που συγκρατούνται

Η μέγιστη ποσότητα αιωρούμενων στερεών που συγκρατούνται αποτελεί το πλέον καθοριστικό παράγοντα για τον υπολογισμό του κύκλου διήθησης

#### Παράδειγμα

Ποιος είναι ο κύκλος διήθησης μιας κλίνης με  $1 \text{ m}^3$  διηθητικού μέσου που επεξεργάζεται  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  νερού με:

- α)  $30 \text{ mg/L}$  ορυκτών σωματιδίων και
- β) ποιος για το ίδιο νερό με  $30 \text{ mg/L}$  οργανικών κολλοειδών;



### Απάντηση

α) Υπολογίζουμε την συνολική ποσότητα των σωματιδίων ανά ώρα που εισάγονται στην διήθηση:

$$10 \frac{m^3}{h} * 30 \frac{mg}{L} \frac{1g}{1000mg} \frac{1000L}{1m^3} = 300 \frac{g}{h}$$

Ξέρουμε από πριν ότι για σωματίδια μεγαλύτερης πυκνότητας στο νερό 6600 g ανά m<sup>3</sup>

Άρα με τη μέθοδο των τριών: 300 g σε μία ώρα , 6600 g σε πόσες ώρες:  $\frac{6600 g}{300 g} = 22 h$

β) Αντίστοιχα: υπολογίζουμε την συνολική ποσότητα των σωματιδίων ανά ώρα που εισάγονται στην διήθηση => 300 g/h

Ξέρουμε από πριν ότι για σωματίδια κολλοειδούς μορφής: 1100 g ανά m<sup>3</sup>

Άρα με τη μέθοδο των τριών: 300 g σε μία ώρα , 1100 g σε πόσες ώρες:  $\frac{1100 g}{300 g} = 3,7 h$





## Διήθηση Χώρου: Υδραυλική Συμπεριφορά Πτώση πίεσης σε σταθερή κλίση

### Υδραυλικές απώλειες σε κλίνες διήθησης εξαρτώνται από:

- ✓ Την παροχή του νερού
  - ✓ Την υδραυλική πίεση
  - ✓ Τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών
  - ✓ Τα χαρακτηριστικά του πληρωτικού υλικού της κλίνης (συλλέκτες)
  - ✓ Το χρόνο
- 
- ✓ Αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου λόγω της κατακράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων από την κλίση => οδηγεί στη μείωση του πορώδους => στην αύξηση του συντελεστή τριβής.
  - ✓ Σε πολυστρωματικά φίλτρα διήθησης η ολική υδραυλική απώλεια της κλίνης ισούται με το άθροισμα των υδραυλικών απωλειών που αντιστοιχεί σε κάθε στρώμα του φίλτρου.



## Διήθηση Χώρου: Υδραυλική Συμπεριφορά Πτώση πίεσης σε σταθερή κλίνη

Η πτώση πίεσης κατά τη διέλευση του νερού σε καθαρή κλίνη υπολογίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια. Η ροή διαμέσου καθαρής κλίνης, για τα συνήθη μεγέθη κόκκων 0,5 έως 1,0 mm και με τη συνήθη ταχύτητα κενού χώρου 5 έως 15 m/h, είναι στρωτή και η πτώση πίεσης υπολογίζεται από την **εξίσωση Kozeny**:

$$\frac{h}{L_o} = \frac{\kappa\mu(1 - \varepsilon_o)^2}{\rho g \varepsilon_o^3} \left(\frac{\alpha}{\nu}\right)^2 V$$

Ο αριθμός Reynolds, με βάση την ταχύτητα κενού χώρου  $V$ , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Re = d_{eq} \frac{V\rho}{\mu} < 6$$

**h**: Πτώση πίεσης για βάθος κλίνης  $L_o$

**$\varepsilon_o$** : Πορώδες της κλίνης

**$\alpha/\nu$** : Επιφάνεια κόκκου στη μονάδα όγκου του = ειδική επιφάνεια  $S_u \Rightarrow$  για σφαίρες  **$\alpha/\nu=6/d$**  , για μη σφαιρικούς συλλέκτες  **$\alpha/\nu=6/\psi*d_{eq}$**

**$d_{eq}$** : Ισοδύναμος διάμετρος σφαίρας με όγκο ίσο με τον όγκο του κόκκου

**V**: Ταχύτητα ροής κενού χώρου

**$\mu$** : Ιξώδες του νερού

**$\rho$** : Πυκνότητα του νερού

**$\kappa$** : Αδιάστατη σταθερά του Kozeny ( $\sim 5$  στις συνήθεις συνθήκες)

και στις περισσότερες περιπτώσεις διήθησης έχει τιμές μικρότερες από 3. Για το λόγο αυτό η εξίσωση του Kozeny περιγράφει ικανοποιητικά τη διήθηση, αφού αποδείχθηκε (Camp, 1964) ότι η ροή είναι στρωτή για τιμές της σταθεράς  $Re < 6$ .



## Διήθηση Χώρου: Υδραυλική Συμπεριφορά Πτώση πίεσης σε σταθερή κλίνη

Για μεγαλύτερες ταχύτητες ροής δεν ισχύει η εξίσωση Kozeny. Έτσι, για τον υπολογισμό στην περίπτωση αυτή της πτώσης πίεσης σε καθαρή κλίνη, ο Ergun (1952) πρότεινε την εξίσωση:

$$\frac{h}{L_0} = \frac{4,17\mu(1-\varepsilon_0)^2}{\rho g \varepsilon_0^3} \left(\frac{\alpha}{\nu}\right)^2 V + k_2 \frac{1-\varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} \left(\frac{\alpha}{\nu}\right) \frac{V^2}{g}$$

η οποία ισχύει για τιμές Re από 1 έως 2000, αν και είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται για τιμές  $Re > 6$ .

Ο πρώτος όρος της εξίσωσης είναι η εξίσωση Kozeny και περιγράφει την απώλεια ενέργειας εξαιτίας εσωτερικών τριβών, η οποία είναι ανάλογη της ταχύτητας ροής κενού χώρου  $V$ .

Ο δεύτερος όρος περιγράφει την απώλεια κινητικής ενέργειας και είναι ανάλογος της  $V^2$ .

$k_2 = 0,29$  για λεία χαλαζιακή άμμο και  
 $K_2 = 0,48$  για θραύσματα πορώδους στερεού.



## Παράδειγμα

Να υπολογιστεί η υδραυλική απώλεια σε κλίνη διήθησης βάθους 82 cm. Η άμμος στην κλίνη έχει μέση διάμετρο  $d_c=0,75$  mm με σφαιρικότητα  $\psi=0,76$  . Η επιφανειακή ταχύτητα ροής είναι  $V=12$  m/h και το πορώδες  $\varepsilon_o=0,4$  ,  $\kappa = 6$  (αδιάστατη σταθερά του Kozeny)

$$Re = d_{eq} \frac{V\rho}{\mu} < 6 \Rightarrow 0,75 * 10^{-3} m \frac{3,3 * 10^{-3} m / s}{10^{-6} m^2 / s} = 2,475 < 6$$

Στρωτή ροή και η εξίσωση Kozeny-Carman ισχύει, για μη σφαιρικούς συλλέκτες  $\alpha/u=6/\psi*d_{eq}$

$$\frac{h}{L_o} = \frac{\kappa\mu(1-\varepsilon_o)^2}{\rho g \varepsilon_o^3} \left( \frac{6}{\psi d_c} \right)^2 V$$

$$V = 12 m / h = 3,3 * 10^{-3} m / s$$

$$\frac{\mu_w}{\rho_w} = 10^{-6} m^2 / s$$

Λύνω ως προς  $h_L = 1,03$  m



### Διήθηση Χώρου: Υδραυλική Συμπεριφορά Πτώση πίεσης σε διηθητική κλίνη από έμφραξη

Ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης μιας καθαρής διηθητικής κλίνης είναι σημαντικός παράγοντας για την εκτίμηση της απαιτούμενης ελάχιστης πίεσης λειτουργίας.

Στην Ελάχιστη Πίεση Λειτουργίας πρέπει να προσθέσουμε τη σταδιακή αύξηση της απαίτησης πίεσης εξαιτίας της συσσώρευσης στερεών μέχρι την έμφραξή της.

Ο Ives (1982) πρότεινε την εξής εξίσωση για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης μετά από έμφραξη, όταν είναι γνωστή η πτώση πίεσης της καθαρής διηθητικής κλίνης:

$$\frac{h_1}{L_o} = \frac{h}{L_o} \left[ 1 + (2b+1) \frac{v}{\varepsilon_o} + (b+1)^2 \left( \frac{v}{\varepsilon_o} \right)^2 \right]$$

Η παραπάνω εξίσωση βρίσκεται σε συμφωνία με πειραματικά δεδομένα. Το αδύνατο σημείο της όμως είναι ο υπολογισμός κάθε φορά του όγκου των συκρατούμενων σωματιδίων στη μονάδα όγκου της κλίνης ( $v$ ).

$$b = \frac{\varepsilon_o}{1 - \varepsilon_o}$$

**h:** Πτώση πίεσης για βάθος κλίνης  $L_o$

**$h_1$ :** Πτώση πίεσης μετά από έμφραξη

**v:** ο όγκος συκρατούμενων σωματιδίων στη μονάδα όγκου της κλίνης.





## Αντίστροφη Πλύση

Στις κλίνες διήθησης η λειτουργία είναι ασυνεχής αφού απαιτείται κατά διαστήματα καθαρισμός όταν η πτώση πίεσης φτάνει ένα ανώτατο όριο. Ο καθαρισμός αυτός γίνεται με **αντίστροφη πλύση**.

Η αντίστροφη πλύση γίνεται όταν:

- Η πτώση πίεσης κατά τη λειτουργία του φίλτρου έχει φτάσει ένα προκαθορισμένο όριο το οποίο συνήθως είναι: 2,5 – 3 Μέτρα Στήλης Ύδατος (ΜΣΥ).
- Η ποιότητα του διηθήματος έχει υπερβεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο.
- Έχει παρέλθει από τη προηγούμενη πλύση ένας προκαθορισμένος χρόνος (συνήθως δεν υπερβαίνει τις 4 μέρες)

Σε άριστες συνθήκες λειτουργίας αυτές οι συνθήκες συμβαίνουν συγχρόνως

Η διαδικασία πλύσης θεωρείται πολύ σημαντική για την απόδοση της κλίνης και οι συνθήκες πλύσης πρέπει να διασφαλίζουν (i) την **πλήρη απομάκρυνση των συκκρατημένων στερεών** και (ii) να αποκλείουν τη στρωματοποίηση της κλίνης.

**Στρωματοποίηση** ονομάζεται ο διαχωρισμός των κόκκων της κλίνης με βάση το μέγεθος τους, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την απόδοση της.



## Αντίστροφη Πλύση

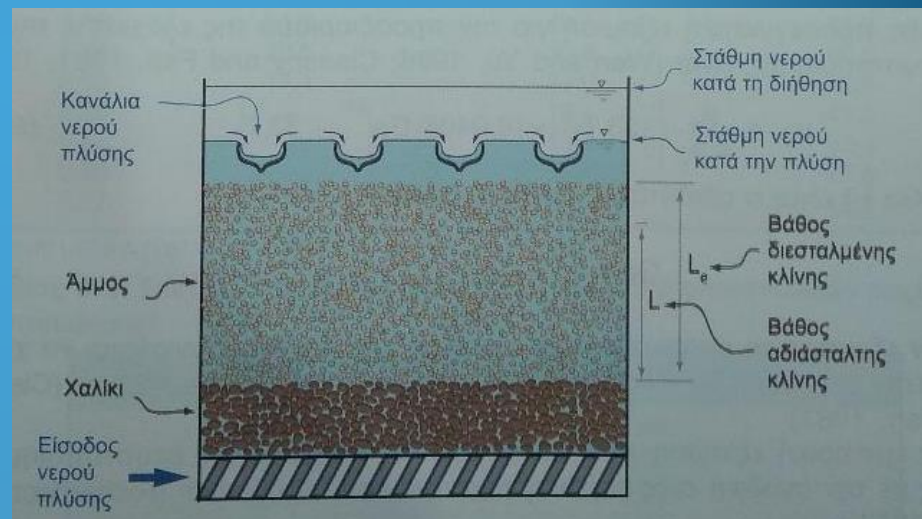
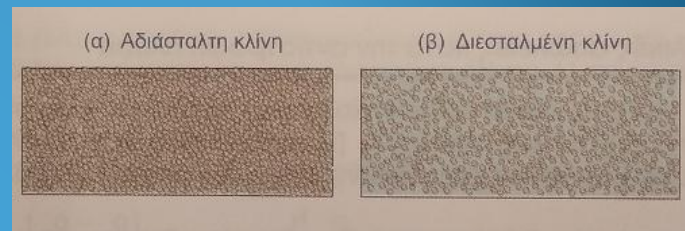
Η διαστολή της κλίνης είναι απαραίτητη για να μπορέσει να αιωρηθεί το πληρωτικό υλικό της κλίνης.

Η επιθυμητή διαστολή είναι 15-30%

Ο όγκος των διάκενων αυξάνεται => διαστολή της στήλης

Μπορεί να διοχετεύσουμε και αέρα μαζί με το νερό πλύσης

Στο σχήμα παρουσιάζεται ένα μονοστρωματικό φίλτρο διήθησης με διεσταλμένη κλίνη κατά τη διάρκεια αντίστροφης πλύσης όπου το καθαρό νερό εισάγεται από τον πυθμένα του φίλτρου και απομακρύνεται μέσω των καναλιών νερού πλύσης



Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.



## Μέθοδοι αντίστροφης πλύσης:

### Αμερικάνικη Μέθοδος:

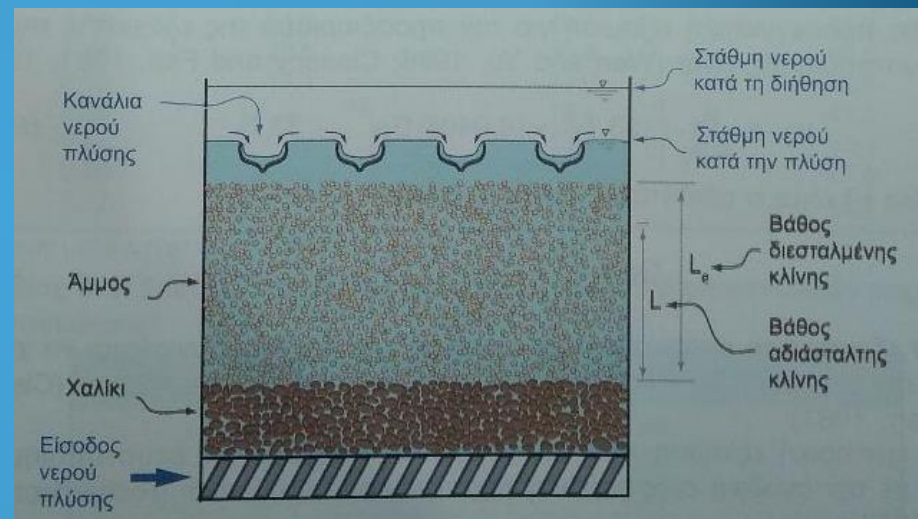
Η μερικώς (έως 15%) διεσταλμένη κλίση αναδεύεται με νερό που εκτοξεύεται στην επιφάνεια της.

### Ευρωπαϊκή Μέθοδος:

Το νερό της αντίστροφης πλύσης και ο αέρας διοχετεύονται ταυτόχρονα, ώστε το νερό χωρίς να προκαλεί διαστολή της άμμου να παρασύρει της ακαθαρσίες που αποκολλά ο αέρας.

### Βρετανική Μέθοδος:

Ο αέρας διοχετεύεται στη διηθητική κλίση πριν από το νερό της αντίστροφης πλύσης. Ο αέρας με την τριβή αποξύνει τα αιωρούμενα στερεά από τους κόκκους της κλίσης ώστε στη συνέχεια να απομακρύνονται ευκολότερα από το νερό πλύσης.



Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.



## Αντίστροφη Πλύση

Για τον καλύτερο καθαρισμό της κλίνης απαιτείται **ρευστοποίηση των κόκκων** της κατά την αντίστροφη πλύση. Η ρευστοποίηση περιγράφεται από την **ταχύτητα κενού χώρου του νερού**, η οποία απαιτείται για αιώρηση των κόκκων της κλίνης.

Η πτώση πίεσης κατά τη ρευστοποίηση της κλίνης θα είναι:

$$\Delta p = h\rho g = L(\rho_s - \rho)g(1 - \epsilon) = L^*(1 - \epsilon)*((\rho_s - \rho)/\rho)$$

$\rho_s$ : Η πυκνότητα των κόκκων (π.χ. άμμου)

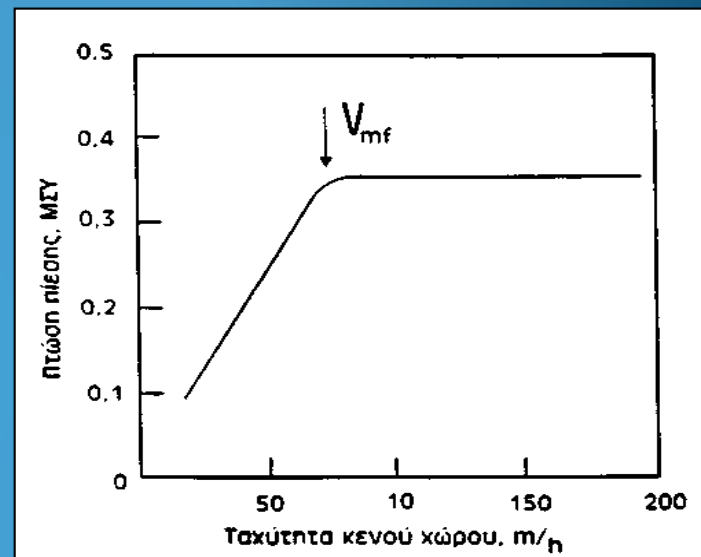
$L$ : βάθος διεσταλμένης κλίνης

$\rho$ : Η πυκνότητα του νερού

$\epsilon$ : Πορώδες της κλίνης

### Διάγραμμα:

Η πτώση πίεσης κατά την αντίστροφη πλύση αυξάνεται αυξανόμενη της ταχύτητας ροής μέχρι την ταχύτητα ρευστοποίησης, όποτε και στη συνέχεια διατηρείται σχεδόν σταθερή



*Συνήθης καμπύλη πτώσης πίεσης κατά την αντίστροφη πλύση κλίνης άμμου. Μήτρακας, 2001*



## Ταχύτητα ρευστοποίησης

Ο υπολογισμός της ελάχιστης ταχύτητας νερού για ρευστοποίηση της κλίνης είναι σημαντικός γιατί καθορίζει την **ελάχιστη παροχή για την σωστή αντίστροφη πλύση της κλίνης**.

Η ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης της κλίνης δίνεται από:

$$V_{mf} = \frac{\mu}{\rho d_{eq}} \left( (33,7)^2 + 0,0408 Ga \right)^{0,5} - \frac{33,7 \mu}{\rho d_{eq}}$$

$d_{eq}$ : Ισοδύναμος διάμετρος σφαίρας με όγκο ίσο με τον όγκο του κόκκου

**Πραγματικό μέγεθος  $d_{90}$** : το μέγεθος που το 90% των κόκκων έχει μικρότερο μέγεθος.

ο αδιάστατος αριθμός  $Ga$  (Γαλιλαίου) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Ga = d_{eq}^3 \frac{\rho(\rho_s - \rho)g}{\mu^2} \quad (1) \quad \text{όπου } d_{eq} = d_{90}$$

Στην πράξη είναι δύσκολος ο υπολογισμός του  $d_{eq}$ , έτσι για τον υπολογισμό της  $V_{mf}$  παίρνουμε το  $d_{90}$  και ως ταχύτητα ροής για αντίστροφη πλύση λαμβάνεται  $V_f = 1,3 V_{mf}$





## Διόγκωση κλίνης

Για την αποτελεσματική αντίστροφη πλύση απαιτείται διόγκωση της κλίνης σε ποσοστό 15% έως 30%. Ο βαθμός διόγκωσης επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους, όπως είναι η ταχύτητα του νερού και η φύση του διηθητικού μέσου. Υπολογίζεται με την ακόλουθη διαδικασία.

Η διόγκωση δημιουργεί ένα νέο πορώδες της κλίνης  $\varepsilon$  και ο πραγματικός αριθμός Reynolds δίνεται από τη σχέση:

$$Re_1 = \frac{V\rho}{S_u(1-\varepsilon)\mu}$$

ειδική επιφάνεια  $S_u$   
=> για σφαίρες =  $6/d$  ,  
για μη σφαιρικούς  
συλλέκτες =  $6/\psi \cdot d_{eq}$

Το πορώδες  $\varepsilon$  υπολογίζεται με δοκιμή και σφάλμα από την εξίσωση (Dharmarajah and Cleasby, 1986):

$$\log \left[ \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \frac{\rho(\rho_s - \rho)g}{S_u^3 \mu^2} \right] = 0,56543 + 1,09348 \log Re_1 + 0,17971 (\log Re_1)^2 - 0,00392 (\log Re)^4 - 1,5 (\log \psi)^2 \quad (2)$$

Οπότε το διογκωμένο μήκος της κλίνης  $L$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{L}{L_o} = \frac{1-\varepsilon_o}{1-\varepsilon}$$

Έτσι, με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά  $\rho_s$ ,  $S_u$  και  $\varepsilon_o$  του διηθητικού μέσου, υπολογίζεται με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων η ταχύτητα κενού χώρου  $V$  του νερού, ώστε ο βαθμός διόγκωσης της κλίνης να βρίσκεται μεταξύ 15 – 30%:

$$15 < \frac{L-L_o}{L_o} \times 100 < 30$$



## Είδη Διήθησης Χώρου

Διακρίνονται δύο κυρίως είδη διήθησης χώρου με βάση την ταχύτητα διήθησης:

- **Αργή διήθηση**
- **Ταχεία διήθηση**

### Αργή διήθηση

- ✓ Στην αργή διήθηση χρησιμοποιούνται φίλτρα άμμου τα οποία λειτουργούν με χαμηλούς ρυθμούς διήθησης.
- ✓ Επεξεργασία νερών που **δεν έχουν υποστεί προκατεργασία** θρόμβωσης ή καθίζησης.

Στην επιφάνεια της διηθητικής κλίνης αναπτύσσονται διάφοροι μικροοργανισμοί, οι οποίοι εκκρίνουν ουσίες που κροκιδώνουν τα σωματίδια του νερού, με αποτέλεσμα να συγκρατούνται ευκολότερα από το διηθητικό μέσο.

Ο καθαρισμός της κλίνης γίνεται με απόξεση και απομάκρυνση της επιφανειακής στοιβάδας των μικροοργανισμών.



## Είδη Διήθησης Χώρου

### Ταχεία διήθηση

Ταχεία διήθηση ονομάζεται η διαδικασία διέλευσης, ενός **προεπεξεργασμένου** συνήθως νερού, διαμέσου μιας κοκκώδους κλίνης με συνήθη ταχύτητα κενού χώρου κυμαινόμενη από **5 - 25 m/h**. Η ροή του νερού γίνεται από πάνω προς τα κάτω με βαρύτητα (φίλτρα βαρύτητας), ή εφαρμογή πίεσης (κλειστά φίλτρα πίεσης).

(!) Όλες οι εφαρμογές που έχουν αναφερθεί έως τώρα **αφορούν την ταχεία διήθηση**.

Τα χαρακτηριστικά των κλινών ταχείας διήθησης με ένα διηθητικό μέσο που χρησιμοποιούνται σήμερα φαίνονται παρακάτω:

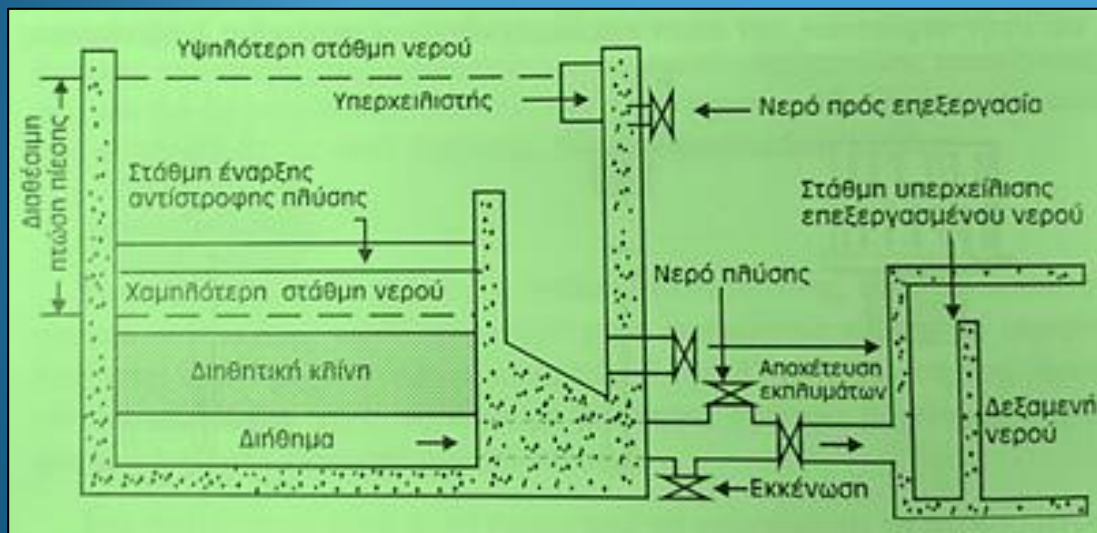
	Μέγεθος mm	Βάθος m
Άμμος για διήθηση μετά από θρόμβωση και καθίζηση	0,45 – 0,55	0,6 – 0,7
Άμμος για διήθηση Fe και Mn	<0,8	0,6 – 0,9
Άμμος χονδρή, που απαιτεί ταυτόχρονη χρήση νερού και αέρα κατά την πλύση, για διήθηση:		
Μετά από θρόμβωση και καθίζηση	0,9 – 1,0	0,9 – 1,2
Απευθείας	1,4 – 1,6	1 – 2
Απομάκρυνσης Fe και Mn	1 – 2	1,5 – 3

*Χαρακτηριστικά κλινών  
άμμου για διάφορες  
εφαρμογές ταχείας  
διήθησης (5 – 25 m/h).  
Μήτρακας, 2001*



## Ανοιχτά φίλτρα

Εδώ υπάγονται οι διηθητικές κλίνες που είναι ανοιχτές στην ατμόσφαιρα και η ροή του νερού επιτυγχάνεται με την **υδροστατική πίεση**, η οποία δημιουργείται από μια στήλη νερού ύψους 0,5 έως 1,5 m πάνω από την επιφάνεια της κλίνης.



**Ρυθμοί διήθησης: 5 – 20 m/h**

**Η απόδοση επηρεάζεται από:**

- Την φύση του υλικού,
- Το βάθος της διηθητικής κλίνης,
- Την μέθοδο πλύσης και
- Την ικανότητα των υδραυλικών εγκαταστάσεων για διακίνηση των απαιτούμενων παροχών.

*Χαρακτηριστικά στοιχεία ανοιχτού φίλτρου. Μήτρακας, 2001*





## Διήθηση Επιφανείας ή Διήθηση με μεμβράνες

Στη διήθηση επιφανείας η συγκράτηση της διασποράς επιτυγχάνεται εξαιτίας της διαφοράς του **μεγέθους των σωματιδίων** της και των **οπών** του διηθητικού μέσου κυρίως με μηχανισμούς αποστράγγισης.

Η πτώση πίεσης κατά τη διήθηση επιφάνειας εξαρτάται από τη **ροή**, τα χαρακτηριστικά της **διηθητικής συσκευής** και το **πορώδες** του πλακούντα (Πλακούντας: Το στρώμα σχηματισμένο από συκρατημένα σωματίδια πάνω στην οπή → **αποτελεί το κύριο μέσο συγκράτησης της διασποράς**)

## Είδη Διήθησης Επιφανείας

Τα είδη Διήθησης Επιφανείας ταξινομούνται με διάφορους τρόπους: Συνεχή ή διακοπόμενη λειτουργία, εφαρμογή ή όχι πίεσης και το **μέγεθος των συκρατούμενων σωματιδίων**.

Με κριτήριο το **μέγεθος των σωματιδίων** που συκρατούνται:

- **Νανοδιήθηση** (0,0005 – 0,01  $\mu\text{m}$ )
- **Υπερδιήθηση** (0,005 – 0,5  $\mu\text{m}$ )
- **Μικροδιήθηση** (0,5 – 150  $\mu\text{m}$ )
- **Μακροδιήθηση** (> 150  $\mu\text{m}$ )

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μικροδιήθηση με κύριους εκπροσώπους τα φίλτρα μικροπλέγματος και τα φίλτρα προεπίστρωσης.



*Συγκρότημα μεμβρανών υπερδιήθησης, Μήτρακας*





## Φίλτρα Προεπίστρωσης

Τα φίλτρα προεπίστρωσης είναι φίλτρα με κύριο διηθητικό μέσο μια **ειδικά σχηματισμένη επίστρωση** από λεπτόκοκκο υλικό και ειδικό διάλυμα υλικού, το οποίο σχηματίζει πλακούντα πάνω στο διηθητικό στοιχείο.

Ο πλακούντας αυτός περιέχει μεγάλο αριθμό διόδων μικρής διαμέτρου που έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη νερού χαμηλής θολερότητας.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για προεπίστρωση είναι:

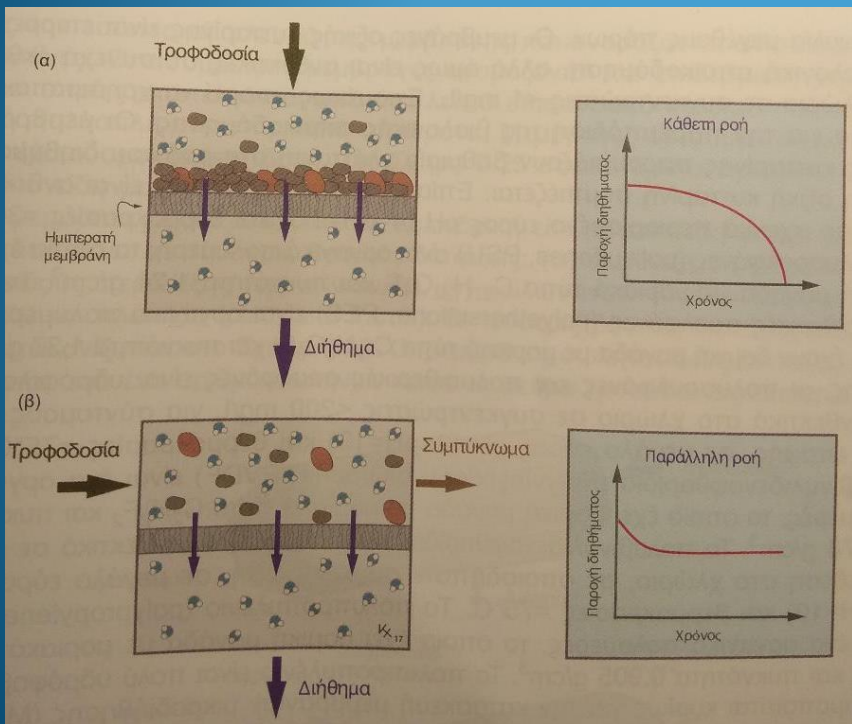
- 1. Κυτταρίνη:** είναι σε μορφή ινών μεγάλης καθαρότητας, έχει μικρή ικανότητα προσρόφησης.
- 2. Γη διατόμων:** Το πιο διαδεδομένο υλικό. Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση από το νερό άλγων, αργίλων, ινών αμιάντου σιδήρου, μαγγανίου, ελαίων κτλ.
- 3. Ενεργός άνθρακας:** Σπάνια χρήση, συνήθως ως στρώμα πάνω από τη γη διατόμων. Απομάκρυνση χρώματος και οργανικών συστατικών του νερού. Διαθέτει μεγάλη προσροφητική ικανότητα.
- 4. Ιοντοανταλλακτικές ρητίνες:** Ανιονικές ή κατιοντικές ρητίνες σε μορφή σκόνης. Χρήση στην επεξεργασία νερού των πυρηνικών σταθμών.



*Φίλτρα προεπίστρωσης.  
Μήτρακας*



## Διήθηση με μεμβράνες

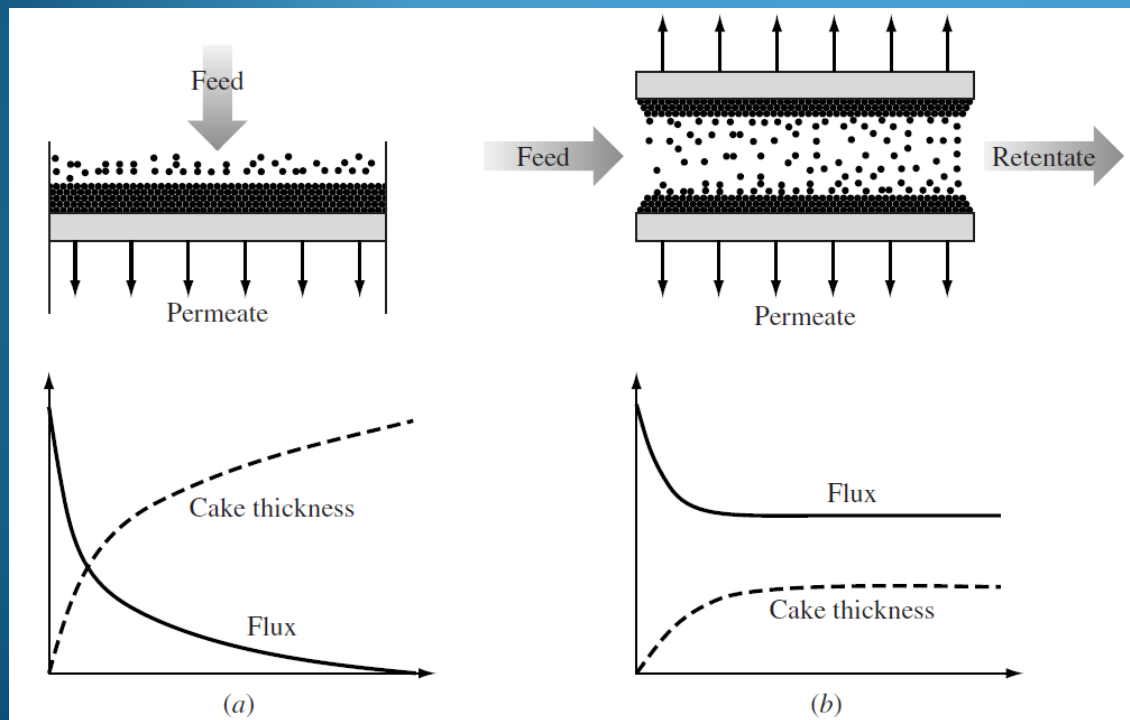


Διαγράμματα λειτουργίας και γραφήματα χρονικής μεταβολής παροχής διηθήματος για συστήματα ημιπερατών μεμβρανών με κάθετη ή κατά μέτωπο ροή και παράλληλη ή διασταυρούμενη ροή

Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.



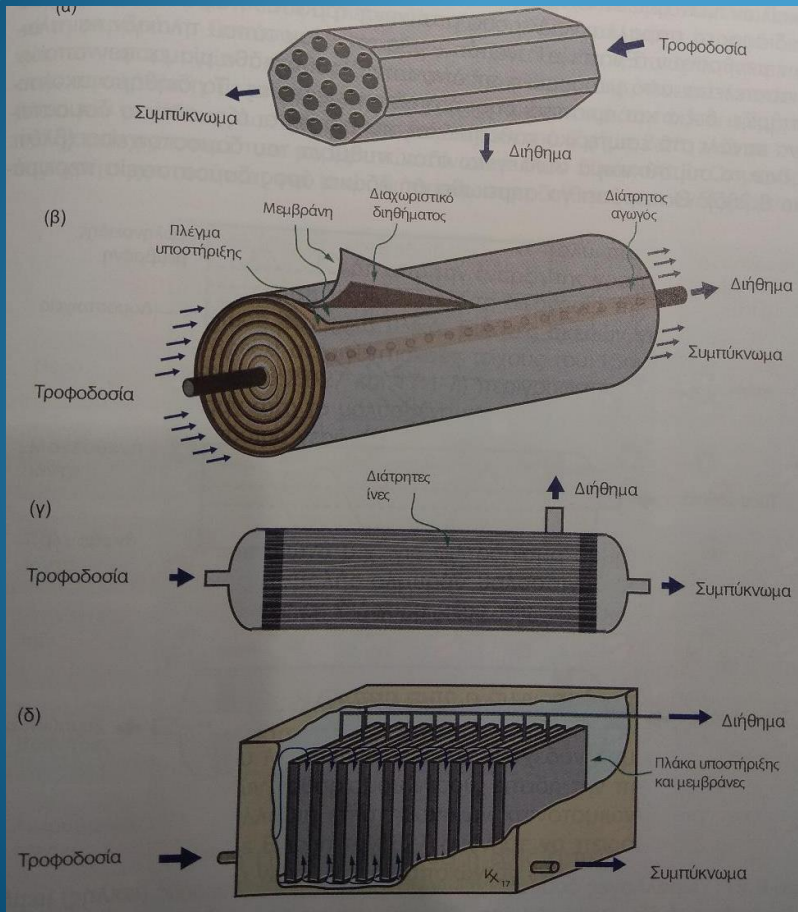
## Διήθηση με μεμβράνες



- Σχηματικά διαγράμματα για (α) συμβατική διήθηση (dead end filtration) και (β) διήθηση εγκάρσιας (εφαπτομενικής) ροής.
- Για τη συμβατική διήθηση το πάχος της συσσώρευσης στερεών αυξάνεται και η ροή του διηθήματος μειώνεται με το χρόνο.
- Στη διήθηση εγκάρσιας ροής, τα στερεά συμπυκνώνονται στην επιφάνεια της μεμβράνης.
- Η ροή του διηθήματος φτάνει σε μια σταθερή τιμή σε μόνιμη κατάσταση.



## Διατάξεις μεμβρανών

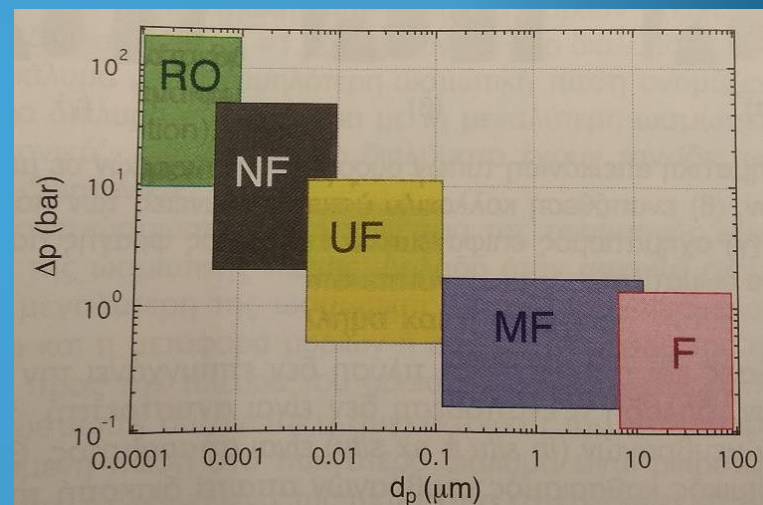
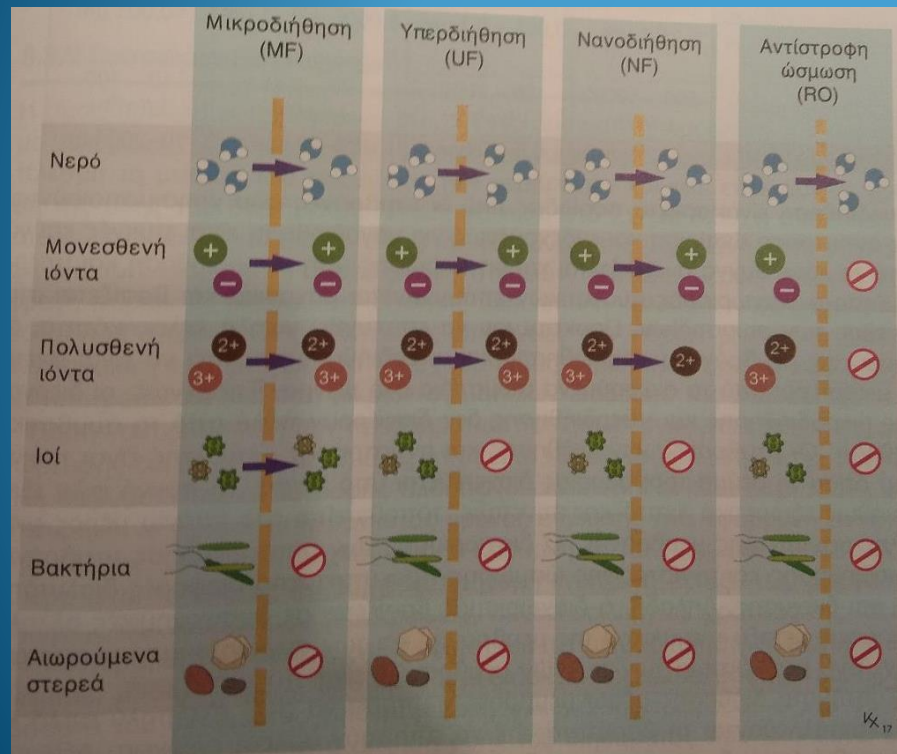


Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.





## Διαχωρισμός διαφορετικών μεμβρανών



Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και Λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.





## Άσκηση 1

Να υπολογισθούν τα χαρακτηριστικά κλίνης διήθησης που επεξεργάζεται 100 m<sup>3</sup>/h επιφανειακό νερό μετά από διεργασία θρόμβωσης καθίζησης.

Η διασπορά περιέχει 10 mg/L αιωρούμενα στερεά.

## Λύση (1/7)

Με βάση τα στοιχεία του άνω Πίνακα επιλέγεται ταχεία διήθηση χώρου με:

- ✓ διηθητικό μέσο άμμο μεγέθους 0,45 - 0,55 mm,  $d_{eq} = 0,50 \text{ mm} = 0,05 \text{ cm}$

Με βάση τα στοιχεία του κάτω πίνακα επιλέγονται:

- ✓ πορώδες κλίνης  $\epsilon_0 = 0,42$  και
- ✓ σφαιρικότητα κόκκων  $\psi = 0,75$
- ✓ Οπότε η ειδική τους επιφάνεια θα είναι:

$$S_u = \frac{6}{\psi d_{eq}} = \frac{6}{0,75 \times 0,05} = 160 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$$

Ειδική επιφάνεια  $S_u$ :  
 Επιφάνεια κόκκου στη μονάδα όγκου του => για σφαίρες  $S_u = 6/d$ , για μη σφαιρικούς συλλέκτες  $S_u = 6/\psi * d_{eq}$

	Μέγεθος mm	Βάθος m
Άμμος για διήθηση μετά από θρόμβωση και καθίζηση	0,45 – 0,55	0,6 – 0,7
Άμμος για διήθηση Fe και Mn	<0,8	0,6 – 0,9
Άμμος χονδρή, που απαιτεί ταυτόχρονη χρήση νερού και αέρα κατά την πλύση, για διήθηση: Μετά από θρόμβωση και καθίζηση	0,9 – 1,0	0,9 – 1,2
Απευθείας	1,4 – 1,6	1 – 2
Απομάζυνσης Fe και Mn	1 – 2	1,5 – 3

Πίνακας 8.3. Χαρακτηριστικά των συνθέστερα χρησιμοποιούμενων υλικών διήθησης

Υλικό	Πυκνότητα κόκκου g/mL	Πορώδες κλίνης $\epsilon_0$	Σφαιρικότητα $\psi$
Χαλαζιακή άμμος	2,65	0,42 – 0,47	0,70 – 0,80
Ανθρακίτης	1,4 – 1,7	0,56 – 0,60	0,46 – 0,60
Κοκκώδης εν. άνθρακας	1,3 – 1,5	0,48 – 0,52	0,72 – 0,78
Γρανίτης	3,6 – 4,2	0,45 – 0,55	0,58 – 0,62



## Λύση (συνέχεια 2/7)

Υποθέτουμε Ταχεία Διήθηση (5 - 25 m/h)

- Επιλέγεται ταχύτητα διήθησης κενού χώρου:
- Η επιφάνεια της κλίνης υπολογίζεται ως εξής:
- Ο όγκος του διηθητικού μέσου θα είναι:
- Επιλέγεται βάθος κλίνης  $L_o = 0,7\text{m}$  (βλ. προηγ. Πίνακες)

$$V = 20 \text{ m/h.}$$

$$E_k = (100 \text{ m}^3/\text{h}) / (20 \text{ m/h}) = 5 \text{ m}^2$$

$$\text{Όγκος} = E_k * L_o$$

$$\Rightarrow E_k L_o = 5 \text{ m}^2 * 0,7 \text{ m} = 3,5 \text{ m}^3$$

Διάρκεια κύκλου διήθησης:

Γνωρίζουμε ότι ο όγκος που μπορούν να καταλάβουν τα αιωρούμενα στερεά χωρίς να δημιουργούν υπερβολική πτώση πίεσης είναι το 1/4 (25%) του κενού χώρου της κλίνης. Επομένως:

$$v = 0,25 \varepsilon_o = 0,25 * 0,42 = 0,105 \text{ m}^3 \text{ στερεών/m}^3 \text{ κλίνης}$$

**Ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων που συγκρατεί η κλίνη άμμου**

Ανεξάρτητα από το μέγεθος των κόκκων της άμμου σε μια κλίση θα έχουμε κενό χώρο = 450 L / m<sup>3</sup> άμμου. Άρα, ο όγκος που διατίθεται για τη συγκράτηση της διασποράς είναι το 25%, δλδ. έχουμε περίπου 110 L/m<sup>3</sup> μέγιστη έμφραξη.



## Λύση (συνέχεια 3/7)

Υπολογίζουμε την συνολική ποσότητα των σωματιδίων ανά ώρα που εισάγονται στην διήθηση:

$$100 \frac{m^3}{h} * 10 \frac{mg}{L} \frac{1g}{1000mg} \frac{1000L}{1m^3} = 1000 \frac{g}{h}$$

Ανάλογα τον τύπο της διασπορά έχουμε και διαφορετική μάζα σωματιδίων που μπορεί να συγκρατηθεί στην κλίνη διήθησης (1100 - 6600 g / m<sup>3</sup>)

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για συγκράτηση θρόμβων μετά από καθίζηση μία ρεαλιστική τιμή θεωρούνται τα 20 g/L. Επομένως η μέγιστη συγκράτηση αιωρούμενων στερεών από την κλίνη είναι:

$$m = 0,105 \frac{m^3 \text{ στερεών}}{m^3 \text{ κλινης}} * 20 \frac{g}{L} \frac{1000L}{1m^3} = 2100 \frac{g}{m^3 \text{ κλινης}}$$

$$m_{\kappa} = 2100 \frac{g}{m^3 \text{ κλινης}} * 3,5 m^3 \text{ κλινης} = 7350 g$$

Επομένως η διάρκεια του κύκλου διήθησης θα είναι:

$$t = m_{\kappa} / m = (7.350 g) / (1000 g/h) = 7,35 h$$

Για περιορισμό των απωλειών νερού εξαιτίας συχνών αντίστροφων πλύσεων, η επιθυμητή διάρκεια του κύκλου διήθησης είναι 8 – 48 h. Ο σχεδιασμός που προηγήθηκε καλύπτει οριακά αυτή την απαίτηση, επομένως είναι δόκιμο να αυξηθεί ο όγκος του διηθητικού μέσου, γεγονός που οδηγεί ουσιαστικά σε μείωση της ταχύτητας κενού χώρου.



## Λύση (συνέχεια 4/7)

Επιλέγεται μία μικρότερη ταχύτητα διήθησης κενού χώρου:

Η καινούργια επιφάνεια της κλίνης:

Ο καινούργιος όγκος του διηθητικού μέσου:

Τα στερεά που μπορεί να συγκρατήσει η κλίνη είναι:

και η διάρκεια του κύκλου διήθησης θα είναι:

$$V = 15 \text{ m/h}$$

$$E_{\kappa} = 100 \text{ (m}^3\text{/h)}/15 \text{ (m/h)} = 6,67 \text{ m}^2$$

$$(E_{\kappa}L_o) = 6,67 * 0,7 = 4,67 \text{ m}^3$$

$$m_{\kappa} = 0,105 * 4,67 * 20 * 10^3 = 9,807 \text{ g}$$

$$t = m_{\kappa}/m = 9,807/1000 = 9,8 \text{ h}$$

Υπολογισμός πτώσης πίεσης στην καθαρή κλίνη στους 20 °C.

$$Re = d_{eq} \frac{V\rho}{\mu} = 2,08$$

$$\begin{aligned}d_{eq} &= 0,05 \text{ cm} \\ \mu/\rho &= 10^{-6} \text{ m}^2\text{/s} = 10^{-2} \text{ cm}^2\text{/s} \\ V &= 15 \text{ m/h} = 0,417 \text{ cm/s}\end{aligned}$$



## Διήθηση Χώρου: Υδραυλική Συμπεριφορά Πτώση πίεσης σε σταθερή κλίνη

Η **πτώση πίεσης** κατά τη διέλευση του νερού σε καθαρή κλίνη υπολογίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια. Η ροή διαμέσου καθαρής κλίνης, για τα συνήθη μεγέθη κόκκων 0,5 έως 1,0 mm και με τη συνήθη ταχύτητα κενού χώρου 5 έως 15 m/h, είναι στρωτή και η πτώση πίεσης υπολογίζεται από την **εξίσωση Kozeny**:

$$\frac{h}{L_o} = \frac{\kappa\mu(1 - \varepsilon_o)^2}{\rho g \varepsilon_o^3} \left( \frac{\alpha}{\nu} \right)^2 V$$

Ο αριθμός Reynolds, με βάση την ταχύτητα κενού χώρου  $V$ , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Re = d_{eq} \frac{V\rho}{\mu} < 6$$

**h**: Πτώση πίεσης για βάθος κλίνης  $L_o$

**$\varepsilon_o$** : Πορώδες της κλίνης

**$\alpha/\nu$** : Επιφάνεια κόκκου στη μονάδα όγκου του = ειδική επιφάνεια  $S_u \Rightarrow$  για σφαίρες  **$\alpha/\nu=6/d$**  , για μη σφαιρικούς συλλέκτες  **$\alpha/\nu=6/\psi*d_{eq}$**

**$d_{eq}$** : Ισοδύναμος διάμετρος σφαίρας με όγκο ίσο με τον όγκο του κόκκου

**V**: Ταχύτητα ροής κενού χώρου

**$\mu$** : Ιξώδες του νερού

**$\rho$** : Πυκνότητα του νερού

**$\kappa$** : Αδιάστατη σταθερά του Kozeny ( $\sim 5$  στις συνήθεις συνθήκες)

και στις περισσότερες περιπτώσεις διήθησης έχει τιμές μικρότερες από 3. Για το λόγο αυτό η εξίσωση του Kozeny περιγράφει ικανοποιητικά τη διήθηση, αφού αποδείχθηκε (Camp, 1964) ότι η ροή είναι στρωτή για τιμές της σταθεράς  $Re < 6$ .





## Λύση (συνέχεια 5/7)

Άρα για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης στην καθαρή κλίνη χρησιμοποιείται η εξίσωση Kozeny:

$$\frac{h}{L_o} = \frac{\kappa \mu (1 - \varepsilon_o)^2}{\rho g \varepsilon_o^3} (S_u)^2 V$$

$$\Rightarrow h = 173,5 \text{ cm } \acute{\eta}$$

$$\Rightarrow h = 1,74 \text{ m}$$

$$\kappa = 5$$

$$\varepsilon_o = 0,42$$

$$\mu = 0,010023 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$\mu/\rho = 0,01003 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$S_u = 160 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$g = 981 \text{ cm}/\text{s}^2$$

$$V = 0,417 \text{ cm}/\text{s}$$

$$L_o = 0,70 \text{ m} = 70 \text{ cm}$$

Ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης μετά την έμφραξη του 1/4 του κενού χώρου της κλίνης γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης του Ivez:

$$\frac{h_1}{L_o} = \frac{h}{L_o} \left[ 1 + (2b+1) \frac{v}{\varepsilon_o} + (b+1)^2 \left( \frac{v}{\varepsilon_o} \right)^2 \right]$$

$$h = 1,74 \text{ m}$$

$$L_o = 0,70 \text{ m}$$

$$v = 0,105 \text{ m}^3 \text{ στερεά}/\text{m}^3 \text{ κλίνης}$$

$$b = \varepsilon_o / (1 - \varepsilon_o) = 0,724$$

$$\text{οπότε } h_1 = 3,12 \text{ ΜΣΥ}$$

v: ο όγκος συγκρατούμενων σωματιδίων στη μονάδα όγκου της κλίνης



### Διήθηση Χώρου: Υδραυλική Συμπεριφορά Πτώση πίεσης σε διηθητική κλίνη από έμφραξη

Ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης μιας καθαρής διηθητικής κλίνης είναι σημαντικός παράγοντας για την εκτίμηση της απαιτούμενης ελάχιστης πίεσης λειτουργίας.

Στην Ελάχιστη Πίεση Λειτουργίας πρέπει να προσθέσουμε τη σταδιακή αύξηση της απαίτησης πίεσης εξαιτίας της συσσώρευσης στερεών μέχρι την έμφραξή της.

Ο Ives (1982) πρότεινε την εξής εξίσωση για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης μετά από έμφραξη, όταν είναι γνωστή η πτώση πίεσης της καθαρής διηθητικής κλίνης:

$$\frac{h_1}{L_o} = \frac{h}{L_o} \left[ 1 + (2b+1) \frac{v}{\varepsilon_o} + (b+1)^2 \left( \frac{v}{\varepsilon_o} \right)^2 \right]$$

Η παραπάνω εξίσωση βρίσκεται σε συμφωνία με πειραματικά δεδομένα. Το αδύνατο σημείο της όμως είναι ο υπολογισμός κάθε φορά του όγκου των συκρατούμενων σωματιδίων στη μονάδα όγκου της κλίνης ( $v$ ).

$$b = \frac{\varepsilon_o}{1 - \varepsilon_o}$$

**h:** Πτώση πίεσης για βάθος κλίνης  $L_o$

**h<sub>1</sub>:** Πτώση πίεσης μετά από έμφραξη

**v:** ο όγκος συκρατούμενων σωματιδίων στη μονάδα όγκου της κλίνης.



## Λύση (συνέχεια 6/7)

Κατά την έμφραξη 1/2 του κενού χώρου της κλίνης (δλδ 50%), εξίσωσης του Ivez =>  $v = 0,5 * 0,42 = 0,21$ , υπολογίζεται  $h_1 = 5,16$  ΜΣΥ (Μέτρα Στήλης Ύδατος)

$$\frac{h_1}{L_o} = \frac{h}{L_o} \left[ 1 + (2b+1) \frac{v}{\varepsilon_o} + (b+1)^2 \left( \frac{v}{\varepsilon_o} \right)^2 \right]$$

*Υπολογιζόμενες τιμές πτώσης πίεσης σε κλίνη άμμου, ως συνάρτηση του πορώδους της κλίνης, της ταχύτητας ροής και του βαθμού έμφραξης ( $L_o = 0,7$  m,  $T = 20$  °C). Μήτρακας 2001*

Στον πίνακα δίνεται η πτώση πίεσης που υπολογίζεται για διάφορες τιμές των μεταβλητών που επηρεάζουν την τιμή της.

Πορώδες $\varepsilon_o$	Ταχύτητα κενού χώρου m/h	Πτώση πίεσης ΜΣΥ		
		Καθαρή κλίνη	Έμφραξη 25%	Έμφραξη 50%
0,42	10	1,16	2,08	3,45
	15	1,74	3,12	5,15
	20	2,31	4,15	6,85
0,45	10	0,38	0,71	1,19
	15	0,56	1,05	1,76
	20	0,75	1,40	2,36
0,47	10	0,17	0,33	0,56
	15	0,26	0,50	0,85
	20	0,35	0,67	1,15



## Λύση (συνέχεια 7/7)

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης ταχύτητας ρευστοποίησης της κλίνης

Υπολογίζεται πρώτα ο αριθμός Ga:

$$Ga = d_{eq}^3 \frac{\rho(\rho_s - \rho)g}{\mu^2}$$

$$d_{eq} = d_{90}$$

Από την εξίσωση υπολογίζεται η ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης:

$$V_{mf} = \frac{\mu}{\rho d_{eq}} \left( 33,7^2 + 0,0408 Ga \right)^{0,5} - \frac{33,7\mu}{\rho d_{eq}}$$

Και η προτεινόμενη ταχύτητα ροής για αντίστροφη πλύση είναι  $1,3 V_{mf}$

Πιν. 2. Υπολογιζόμενες τιμές ταχυτήτων ροής για αντίστροφη πλύση και διόγκωση κατά 20%, 50% και 100%, για διάφορα μεγέθη  $d_{eq}$  χαλαζιακής άμμου ( $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\psi = 0,75$ ).

Μήτρακας 2001

$d_{90}$ cm	Πορώδες $\epsilon_0$	Ga	$V_{mf}$ cm/s	Ροή πλύσης $1,3 V_{mf}$ , m/h	Ροή διόγκωσης, m/h		
					20%	50%	100%
0,03	0,41	435	0,09	4,1	5,4	13,5	27,9
0,04	0,41	1031	0,16	7,3	11,2	24,1	44,5
0,05	0,42	2014	0,24	11,2	19,1	36,5	62,5
0,06	0,43	3480	0,35	16,4	27,7	49,7	80,3
0,07	0,44	5526	0,46	21,5	37,8	63,5	98,3
0,08	0,45	8248	0,59	27,4	48,6	77,4	116,2
0,09	0,46	11744	0,72	33,8	59,4	91,5	133,9
0,10	0,47	16110	0,87	40,6	70,2	105,8	151,6
0,12	0,48	27837	1,17	54,7	86,7	128,2	179,7



## Extra διαφάνεια

### Υπολογισμός υδραυλικής απώλειας κατά τη διάρκεια ρευστοποίησης της κλίνης

Παράμετρος σχεδιασμού: Διόγκωση της στήλης κατά 20%

Όγκος στήλης κατά την πλύση = όγκος στήλης / 0,2 = 3,5/(1-0,2)=4,38 m<sup>3</sup>

Οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε και το καινούργιο μήκος της στήλης κατά την πλύση:  $V' = E_{\kappa} * L' \Rightarrow L' = V'/E_{\kappa} = 4,38 \text{ (m}^3\text{)} / 5 \text{ (m}^2\text{)} = 0,88 \text{ m}$

$$\frac{L}{L_o} = \frac{1-\varepsilon_o}{1-\varepsilon}$$

$$\varepsilon = 0,54$$

$$\Delta p = h\rho g = L(\rho_s - \rho)g(1 - \varepsilon) = L*(1 - \varepsilon)*((\rho_s - \rho)/\rho)$$

$$\Delta p = 0,67 \text{ ΜΣΥ}$$

$\rho_s$ : Η πυκνότητα των κόκκων (π.χ. άμμου)

L: βάθος διεσταλμένης κλίνης

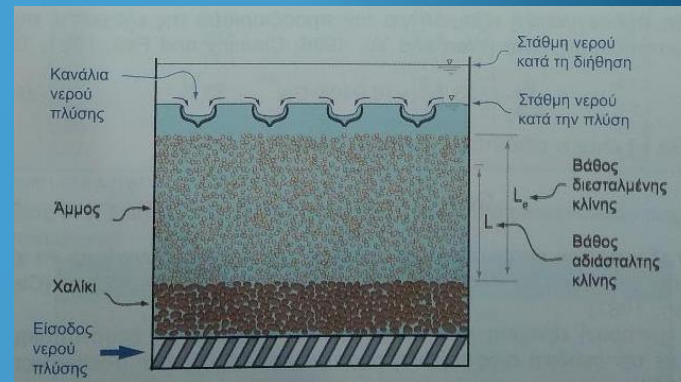
$\rho$ : Η πυκνότητα του νερού

$\varepsilon$ : Πορώδες της κλίνης

$$\rho_s = 2,65 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho = 0,998 \text{ g/cm}^3$$

$$L_o = 70 \text{ cm}$$







## Ερωτήσεις - Διήθηση

**1. Η διήθηση χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του νερού και των αποβλήτων για:**

- α) Την πλήρη καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών.
- β) Τη συνένωση των αιωρούμενων στερεών, με τη βοήθεια φυσικοχημικών μεθόδων.
- γ) Την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων.
- δ) Την απομάκρυνση των ιχνοστοιχείων.

**2. Το μέγεθος των σωματιδίων, τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν από το νερό με διήθηση, είναι μεταξύ:**

- α) 0.0001-0.001  $\mu\text{m}$ .
- β) 0.001-0.01  $\mu\text{m}$ .
- γ) 0.1-1000  $\mu\text{m}$ .
- δ) 1000-10000  $\mu\text{m}$ .

**3. Το ποιοτικό χαρακτηριστικό, που δείχνει την αντίσταση των σωματιδίων στις διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους καθώς συγκρατούνται από το διηθητικό μέσο (αιτία του συμπαρασυρμού στη διήθηση), ονομάζεται ισχύς:**

- α) Διήθησης.
- β) Κόκκου.
- γ) Φίλτρου.
- δ) Θρόμβου



## Ερωτήσεις - Διήθηση

4. Οι δυο κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται τα φίλτρα με βάση το μηχανισμό της διήθησης είναι:

- α) Επιφανείας
- β) Πολυστρωματικής κλίνης.
- γ) Χώρου.
- δ) Πλακούντα – χώρου.
- ε) Πορώδους κλίνης.

5. Η μεταφορά των αιωρούμενων σωματιδίων, με το μηχανισμό της πρόσκρουσης, πραγματοποιείται όταν :

α) Τα σωματίδια, τα οποία παραμένουν στις ροϊκές γραμμές και κινούνται σε απόσταση ίση με τη μισή διάμετρό τους κοντά στην επιφάνεια των κόκκων του διηθητικού μέσου, συγκρατούνται από αυτό, λόγω των στενώσεων που δημιουργούνται ανάμεσα στους κόκκους.

β) Η αδράνεια των σωματιδίων τα οποία πλησιάζουν τους κόκκους του διηθητικού μέσου, είναι μεγαλύτερη από την υδροδυναμική δύναμη που τείνει να τα παρασύρει.

γ) Σωματίδια με πυκνότητα συγκριτικά μεγαλύτερη από αυτή του νερού τείνουν να παρεκκλίνουν από τις ροϊκές γραμμές εξαιτίας του φαινομένου της καθίζησης.

δ) Τα σωματίδια που επηρεάζονται από την κίνηση Brown παρεκκλίνουν από τις ροϊκές γραμμές εξαιτίας της διάχυσης.



## Ερωτήσεις - Διήθηση

**6. Η αποκόλληση των σωματιδίων από ένα διηθητικό μέσο και ο συμπαρασυρμός τους από το νερό, οφείλεται στο ότι :**

- α) Οι δυνάμεις Van der Waals γίνονται μεγαλύτερες από τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις που συγκρατούν τα σωματίδια.
- β) Παύουν να υφίστανται δυνάμεις τριβής λόγω μεταβολών θερμοκρασίας.
- γ) Οι διατμητικές δυνάμεις που δημιουργούνται αποκτούν μεγαλύτερη τιμή από τις επιφανειακές δυνάμεις που συγκρατούν τα σωματίδια.**
- δ) Μεγάλη παροχή του νερού διέρχεται από το διηθητικό μέσο

**7. Τα χημικά χαρακτηριστικά που αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση κάποιου υλικού ως διηθητικό μέσο σε κλίνες είναι :**

- α) Η μηχανική του αντοχή (μη εύθρυπτο).**
- β) Η αντίσταση του σε οργανικά συστατικά του νερού.
- γ) Η αντοχή του σε οξέα.**
- δ) Η αντοχή του σε βάσεις.
- ε) Η αντίσταση του σε οξειδωτικές ενώσεις.



## Ερωτήσεις - Διήθηση

8. Ποιες είναι οι φυσικές ιδιότητες των διηθητικών μέσων οι οποίες επηρεάζουν τόσο την απόδοση της διήθησης όσο και τη διαδικασία αντίστροφης πλύσης :

- α) Μέγεθος - σχήμα - σφαιρικότητα, κόκκων.
- β) Κατανομή μεγέθους - πυκνότητα (και φαινομενική) κόκκων.
- γ) Σκληρότητα κόκκων και πορώδες της κλίνης.
- δ) Όλα τα παραπάνω.

9. Το πραγματικό μέγεθος των κόκκων  $d_{10}$  ενός διηθητικού μέσου είναι το μέγεθος εκείνο, που ποσοστό 10% κατά βάρος των κόκκων, έχουν :

- α) Μεγαλύτερο μέγεθος από αυτό.
- β) Ίσο μέγεθος με αυτό.
- γ) Μικρότερο μέγεθος από αυτό.

10. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η τιμή του λόγου των ενεργών μεγεθών των κόκκων των υλικών, που συνιστούν τα στρώματα διήθησης μιας κλίνης;

- α) Την μέθοδο πλύσης της κλίνης.
- β) Τη σφαιρικότητα των κόκκων του κάθε υλικού.
- γ) Το συντελεστή ομοιομορφίας των κόκκων του κάθε υλικού.
- δ) Την πυκνότητα των κόκκων του κάθε υλικού.
- ε) Τη φύση της διασποράς.
- στ) Το πραγματικό μέγεθος  $d_{10}$  του διηθητικού μέσου.



## 7. Διήθηση



**ΤΕΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ**  
**Ευχαριστώ πολύ**  
**για την προσοχή σας**