



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

Φυσικές διεργασίες στην επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων

Επικ. Καθηγητής Αλέξανδρος Στεφανάκης

Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης

Κτήριο Κ3, Γραφείο Α23,

Τηλ: 28210 06121, email: astefanakis@enveng.tuc.gr

Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος

<https://www.leem.tuc.gr>

<https://www.facebook.com/LEEMtuc>

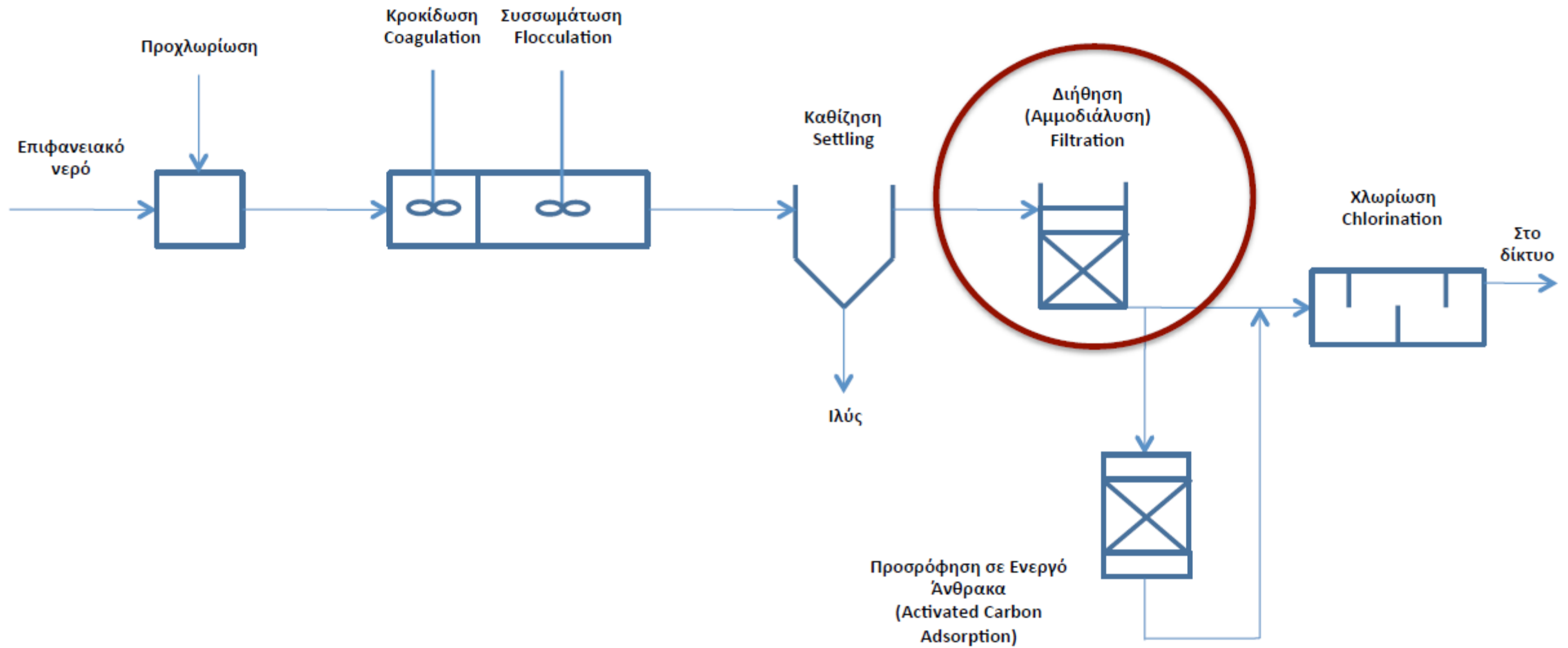
Απρίλιος 2021



Διήθηση



Διήθηση



Πηγή νερού



Διήθηση - γιατί;

- Συνήθως το 90% των αιωρούμενων σωματιδίων που περιέχονται αρχικά στα υγρά απόβλητα έχουν ήδη απομακρυνθεί κατά την διάρκεια της κροκίδωσης – καθίζησης
- Παραμένει όμως ένα **σημαντικό μέρος μικρών σωματιδίων**, σχετικά χαμηλής συγκέντρωσης (50 mg/L) που απαιτεί απομάκρυνση με διήθηση
- Οι απαιτήσεις για την ποιότητα του διηθήματος μπορεί να φθάνουν μέχρι **10 mg/L** για επεξεργασμένα υγρά απόβλητα
- Για την επίτευξη αυτής της διεργασίας απαιτείται εφαρμογή ορισμένης κινητήριας δύναμης (διαφορά πίεσης) στα άκρα του διηθητικού μέσου
- Η δύναμη αυτή μπορεί να είναι η βαρύτητα, η φυγόκεντρος δύναμη ή το κενό
- Υπό την επίδραση της δύναμης αυτής τα υγρά απόβλητα διέρχονται διαμέσου των πόρων του διηθητικού μέσου

- Τα περισσότερα βιομηχανικά φίλτρα είναι φίλτρα πίεσης ή φίλτρα κενού ή φυγοκεντρικοί διαχωριστές
- Η λειτουργία τους μπορεί να είναι **συνεχής ή ασυνεχής**, ανάλογα με το αν η απομάκρυνση των στερεών είναι σταθερή ή διακοπτόμενη
- Κατά τη διάρκεια ενός μεγάλου μέρους του κύκλου λειτουργίας ενός ασυνεχούς φίλτρου, η ροή του υγρού μέσω του φίλτρου είναι συνεχής, αλλά πρέπει να διακόπτεται περιοδικά για να επιτρέψει την απομάκρυνση των στερεών που έχουν συσσωρευτεί
- Σε ένα συνεχές φίλτρο η απομάκρυνση των στερεών και του ρευστού δε διακόπτεται σε όλη τη διάρκεια της λειτουργίας της συσκευής

Είδη και Τεχνικές Διήθησης

Απομάκρυνση σωματιδίων μεγέθους μεταξύ 0.1 – 1000 μm

- **Διήθηση χώρου:** Κλίνη κοκκώδους υλικού (συνήθως κλίνη άμμου)
- **Διήθηση επιφανείας:** Μηχανική κοσκίνιση



Απομάκρυνση αιωρούμενων και κολλοειδών σωματιδίων

- **Διήθηση με μεμβράνες:** Μικροδιήθηση, Υπερδιήθηση, Νανοδιήθηση, Αντίστροφη όσμωση, Διάλυση και Ηλεκτροδιάλυση



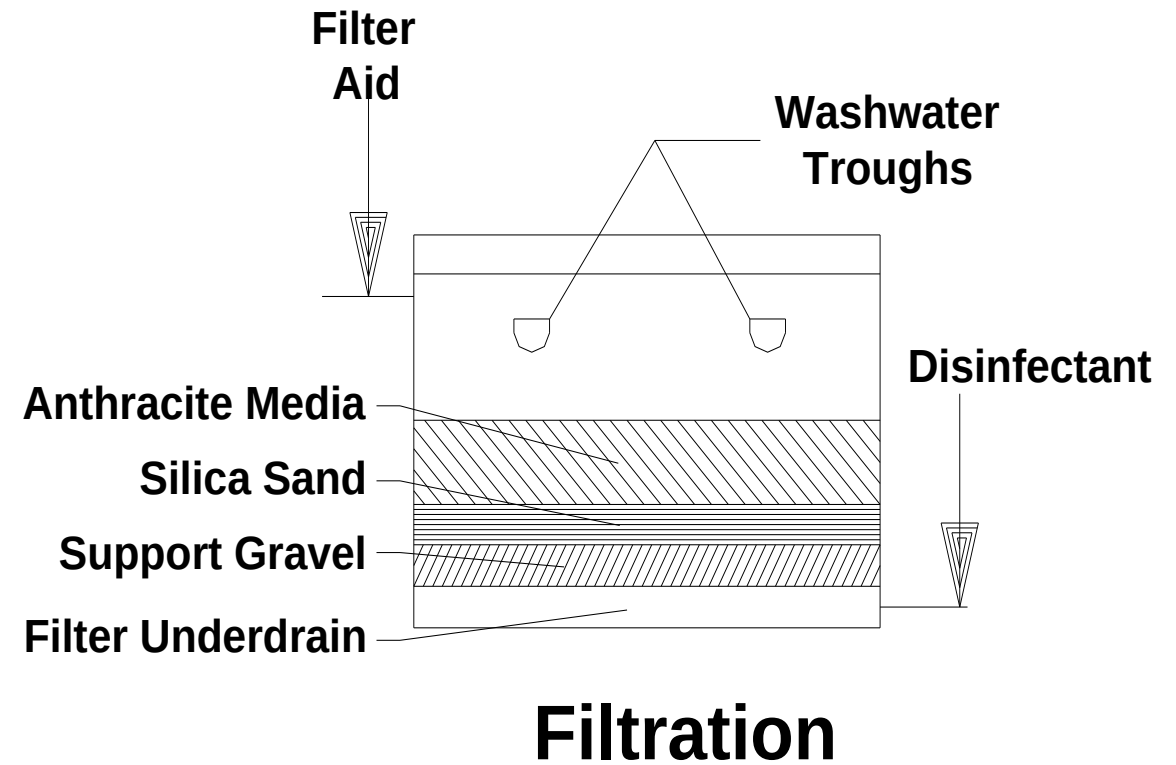
Απομάκρυνση και διαλυτών συστατικών

ΓΙΑΤΙ;

- νερό για πόση
- νερό για άρδευση

Ρύποι

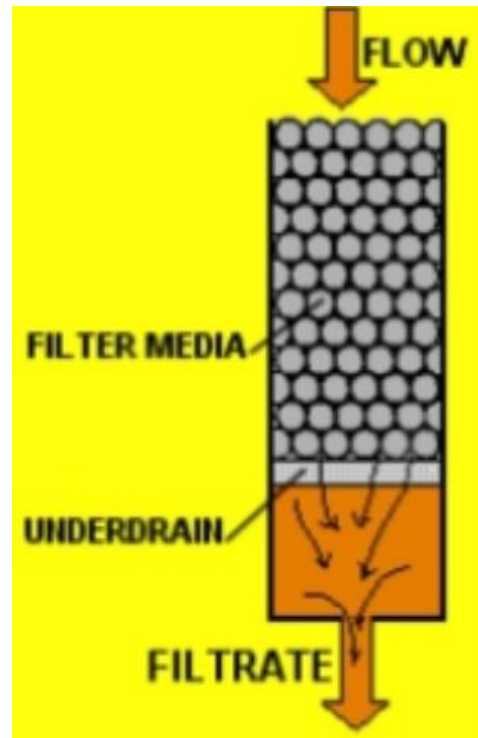
- παθογόνοι μικροοργανισμοί
- χημικές ουσίες
- άλατα
- ακαθαρσίες
- οσμές
- άσχημη γεύση



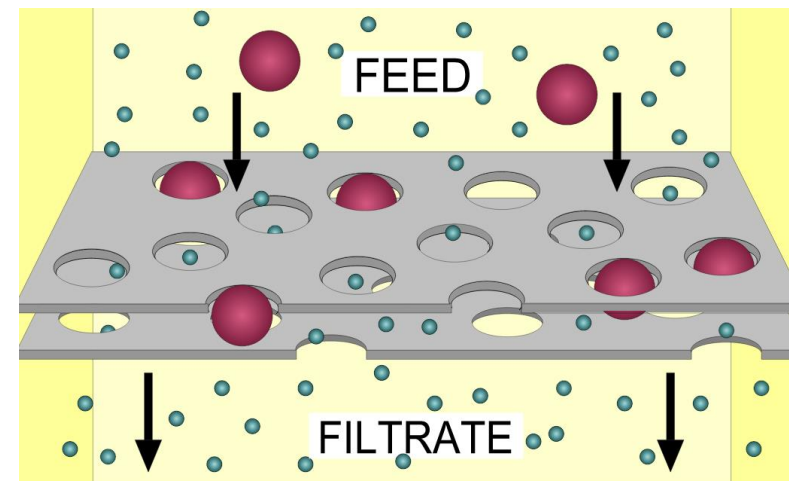
Χαρακτηριστικά σωματιδίων που απομακρύνονται με την διήθηση

Είδος	Εύρος μεγέθους μm	Πυκνότητα g/ml	Ισχύς θρόμβου
Θρόμβοι βακτηρίων	0,5 – 1000	$\approx 1,02$	Μέση
Άλγη	1 – 200	$\approx 1,05$	Μέση
Fe(OH)_3 Al(OH)_3 –	0,1 – 1000	$\approx 1,01$	Χαμηλή
Fe_2O_3	0,1 – 50	$\approx 5,2$	Χαμηλή
CaCO_3	0,1 - 50	$\approx 2,4$	Χαμηλή

Η διήθηση είναι μία φυσική διεργασία απομάκρυνσης στερεών σωματιδίων από ρευστό (αιώρημα) μέσω της κατακράτησής τους σε μια πορώδη κλίνη που αποτελείται από κοκκώδες ή συμπιέσιμο διηθητικό μέσο (φίλτρο), καθώς το υγρό διέρχεται διαμέσου της κλίνης.



Από τη διήθηση προκύπτει το **διήθημα (filtrate)** που είναι ο όγκος του καθαρού υγρού που συλλέγεται μετά τη διήθηση. Τα στερεά που έχουν κατακρατηθεί στο φίλτρο ονομάζονται **ίζημα**.



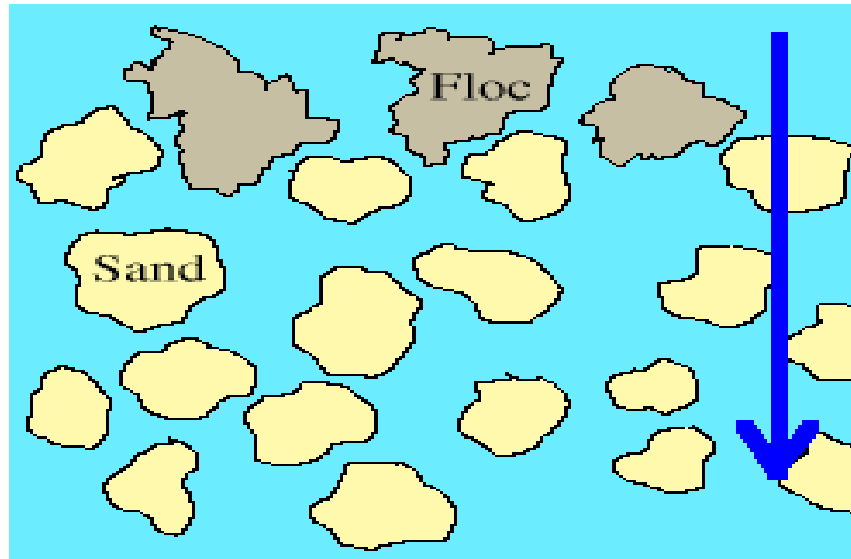
Κατά τη διάρκεια της διήθησης, τα αιωρούμενα στερεά του υγρού κατακρατούνται στην κλίνη, με αποτέλεσμα τον κορεσμό της κλίνης μετά από τη διήθηση μίας ποσότητας νερού.

Όταν συμβεί αυτό, η διήθηση θα πρέπει να σταματήσει και το φίλτρο να καθαριστεί, έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα στερεά που συσσωρεύτηκαν στο διάκενα της κλίνης.

Ο καθαρισμός της κλίνης γίνεται με αντίστροφη πλύση, η οποία επιτυγχάνεται με την αντιστροφή της ροής μέσα στο φίλτρο και τη χρήση καθαρού νερού.

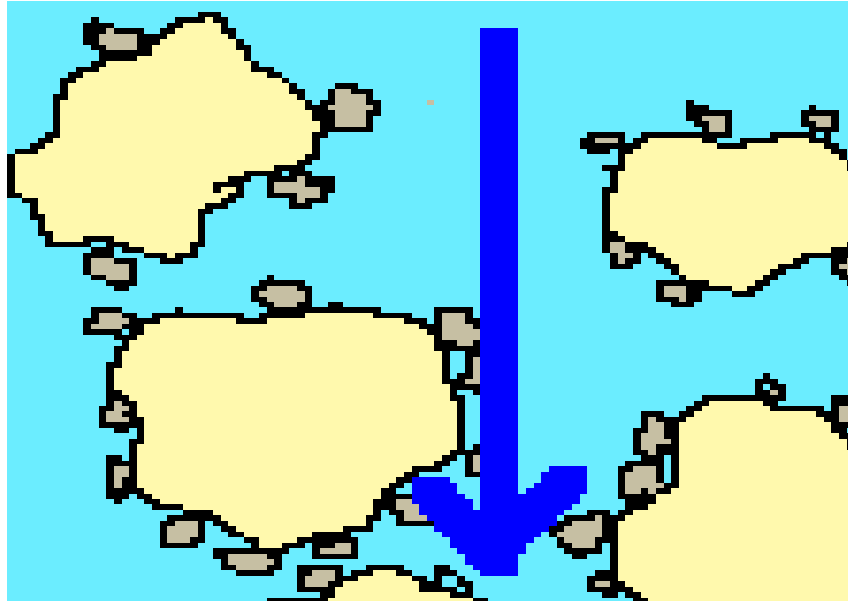
Πίεση και στράγγιση

- το νερό περνά διαμέσω ενός φίλτρου του οποίου οι πόροι είναι μικρότεροι από τα προς απομάκρυνση σωματίδια.
- εικόνα: παράδειγμα σε ένα φίλτρο. Το συσσωμάτωμα δεν μπορεί να περάσει μέσα από τα κενά μεταξύ των σωματιδίων της άμμου, συνεπώς κατακρατείται. Το νερό μπορεί να περάσει μέσα από την άμμο, αφήνοντας το συσσωμάτωμα πίσω του.



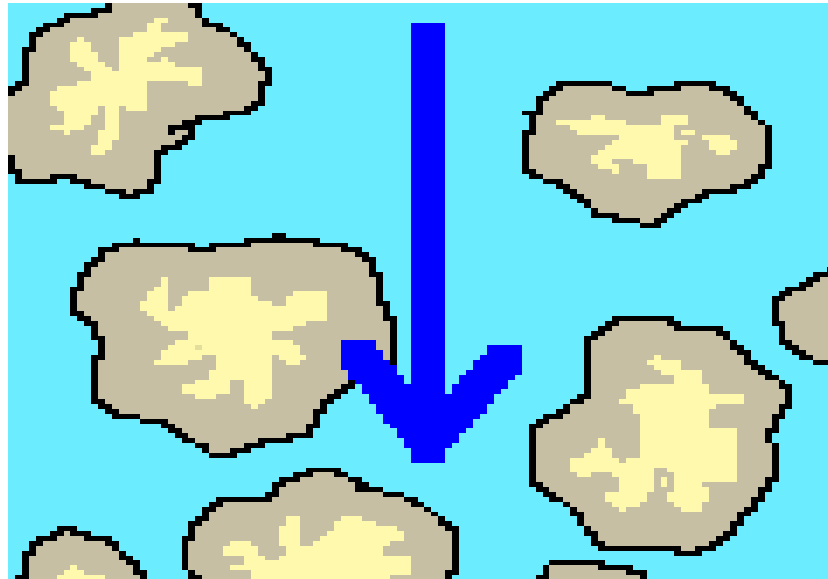
Προσρόφηση

- σε πολλές περιπτώσεις, ο πιο σημαντικός μηχανισμός της διήθησης.
- είναι η συγκέντρωση αερίου, υγρού ή διαλελυμένων στερεών στην επιφάνεια ενός άλλου υλικού (χημική διεργασία)



Απορρόφηση

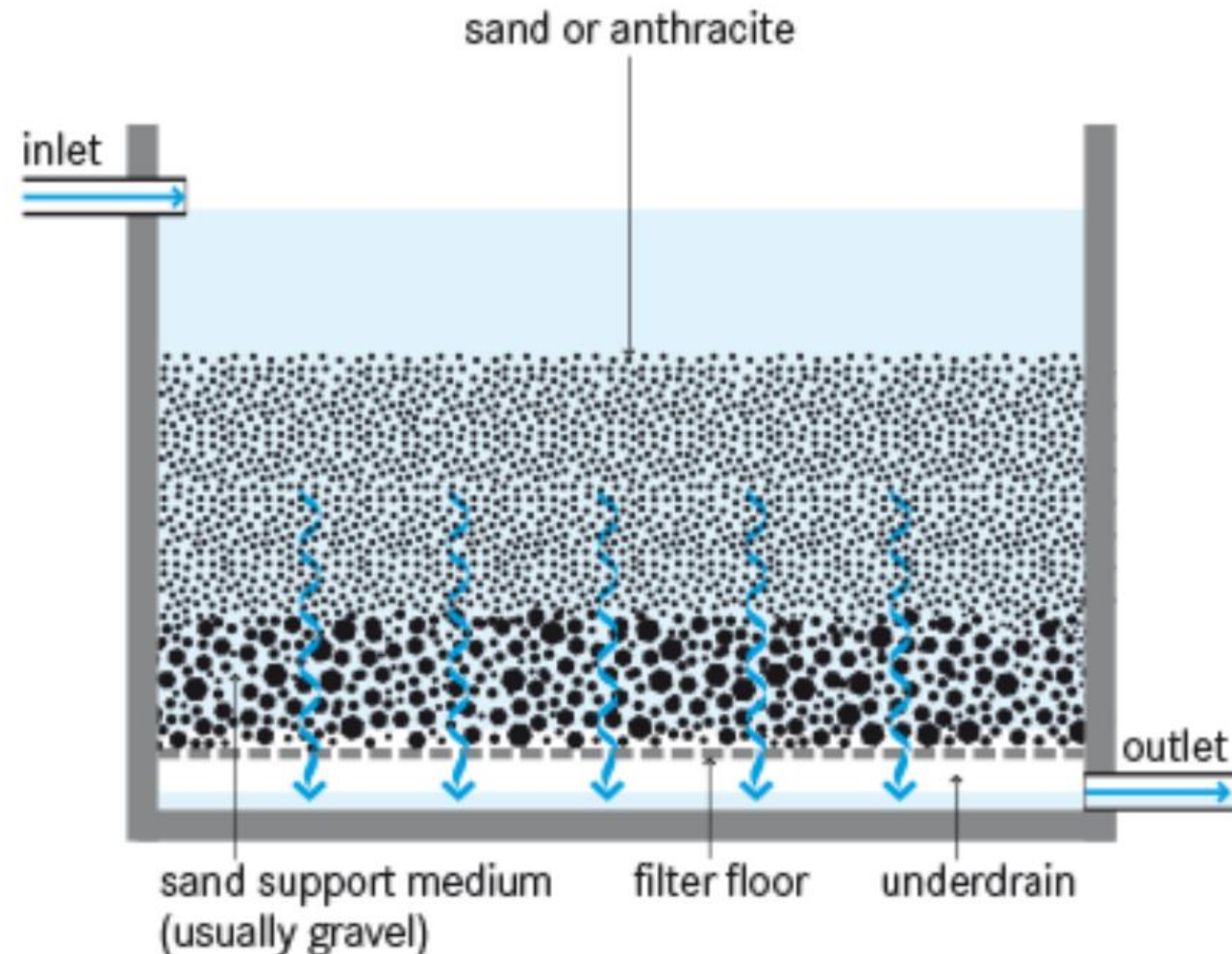
- η απορρόφηση/ενσωμάτωση μιας ουσίας μέσα στο σώμα μιας άλλης ουσίας
- σε ένα φίλτρο, η απορρόφηση περιλαμβάνει υγρά που απορροφώνται μέσα σε κόκκους άμμου.



ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Το υγρό το οποίο πρόκειται να διηθηθεί εισέρχεται στο φίλτρο από ένα κανάλι εισόδου. Το διηθημένο νερό συλλέγεται από ένα **σύστημα αποστράγγισης** στο κάτω μέρος του φίλτρου.

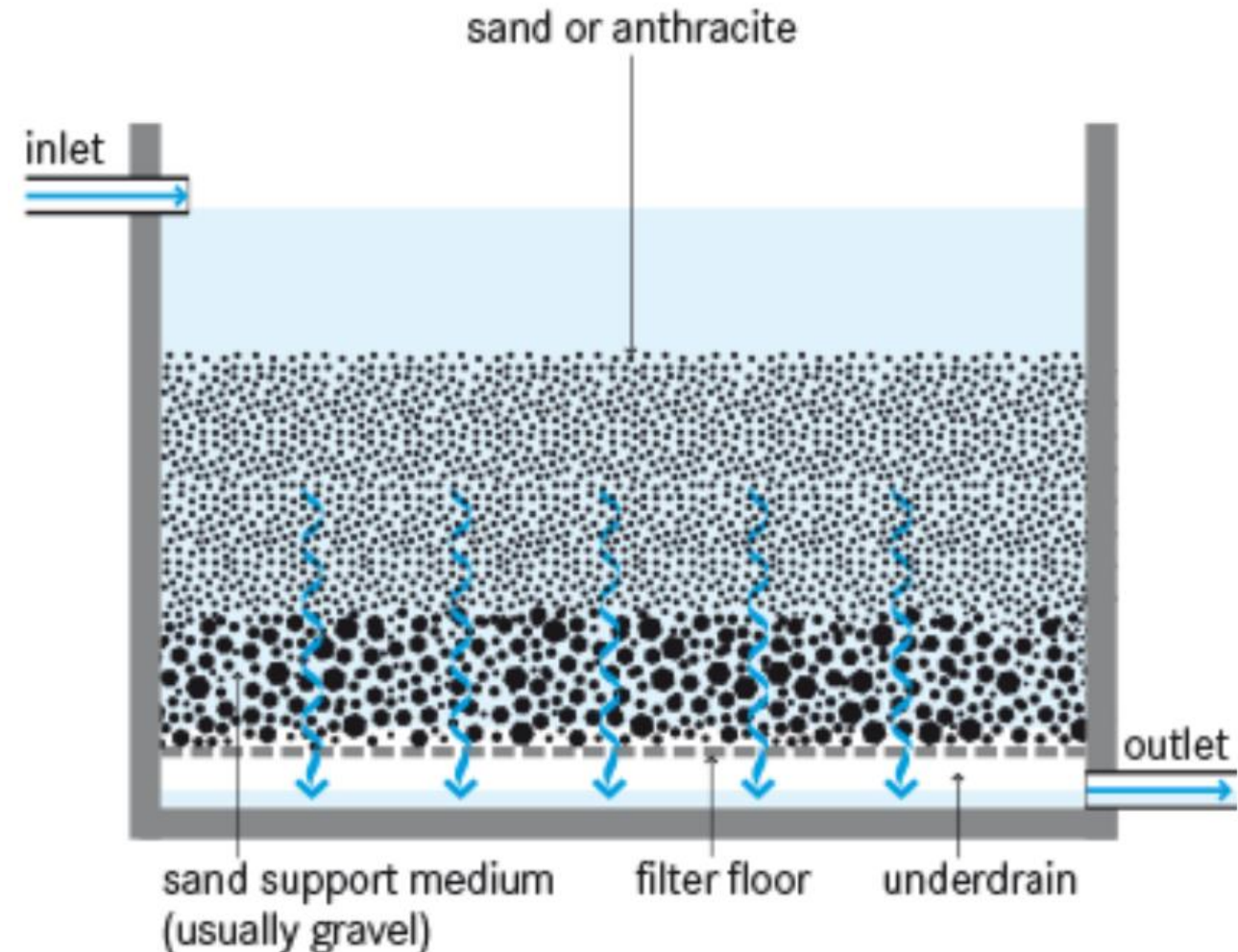
Κατά τη διάρκεια της καθίζησης τα αιωρούμενα σωματίδια που εμπεριέχονται στα υγρά συσσωρεύονται στο φίλτρο με αποτέλεσμα το νερό το οποίο εξέρχεται από το φίλτρο να είναι διαυγές.



ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

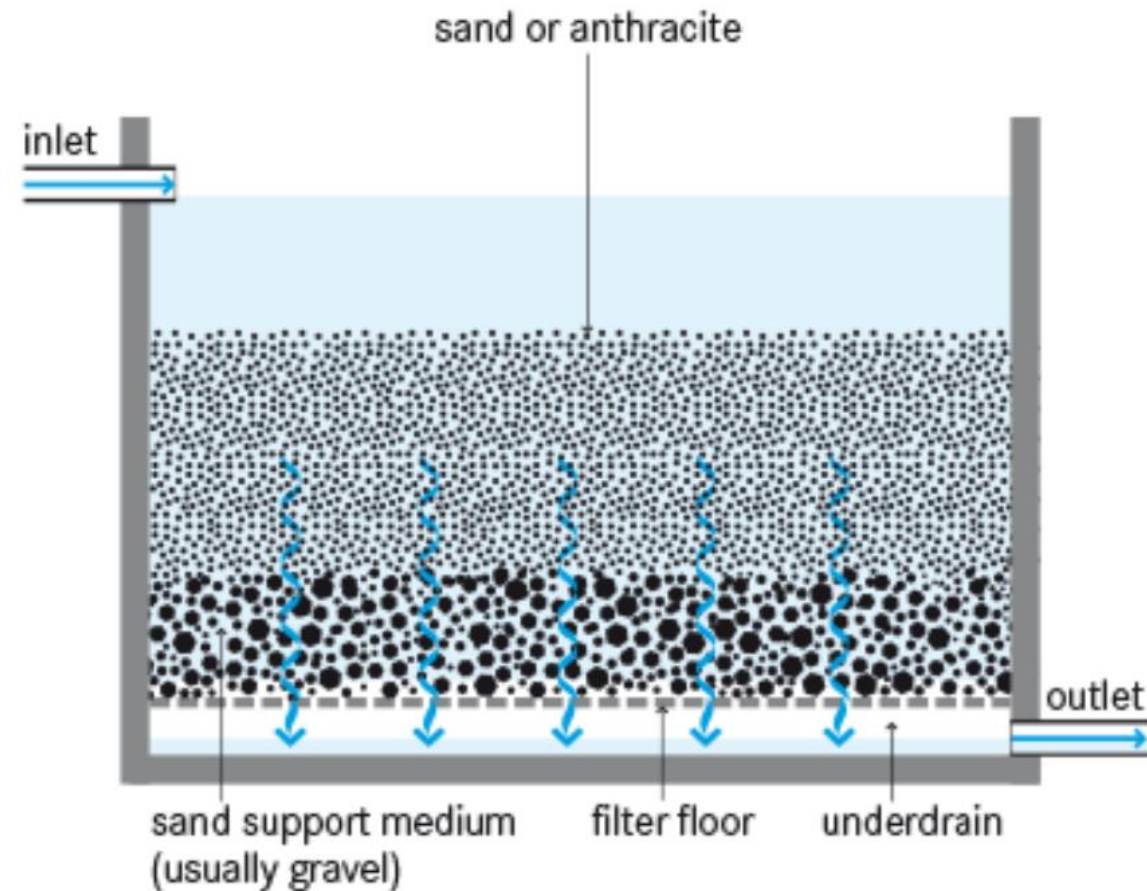
Τα συσσωρευμένα σωματίδια προκαλούν **στένωση** των πόρων του φίλτρου με αποτέλεσμα να κατακρατούνται και μικρότερα σωματίδια.

Όσο τα στερεά συσσωρεύονται στα διάκενα του κοκκώδους μέσου, αρχίζει να αναπτύσσεται μία **πτώση πίεσης** μέσα στο φίλτρο πέρα από την αρχική τιμή και αύξηση της ταχύτητας του υγρού.



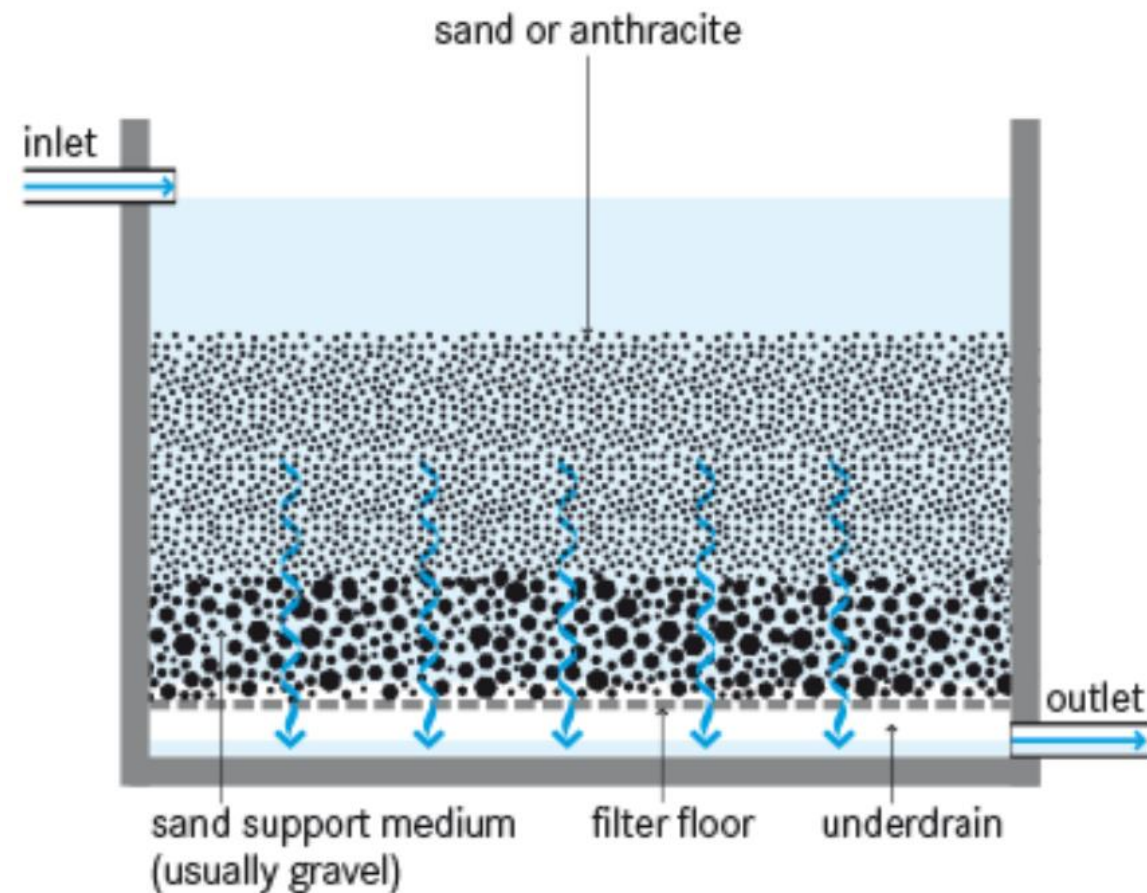
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται μεταφέρουν κάποια από τα στερεά στα χαμηλότερα στρώματα της κλίνης. Όταν η συσσώρευση των στερεών γίνει μεγάλη, τότε σωματίδια αρχίζουν να **περνούν στην εκροή** του φίλτρου με αποτέλεσμα της αύξηση της θολότητας και τη μείωση της ποιότητάς της. Επίσης, η πτώση πίεσης στο φίλτρο αυξάνει και φτάνει σε μία ανώτατη προκαθορισμένη τιμή. Όταν συμβεί αυτό, το φίλτρο θα πρέπει να καθαριστεί με αντίστροφη πλύση.



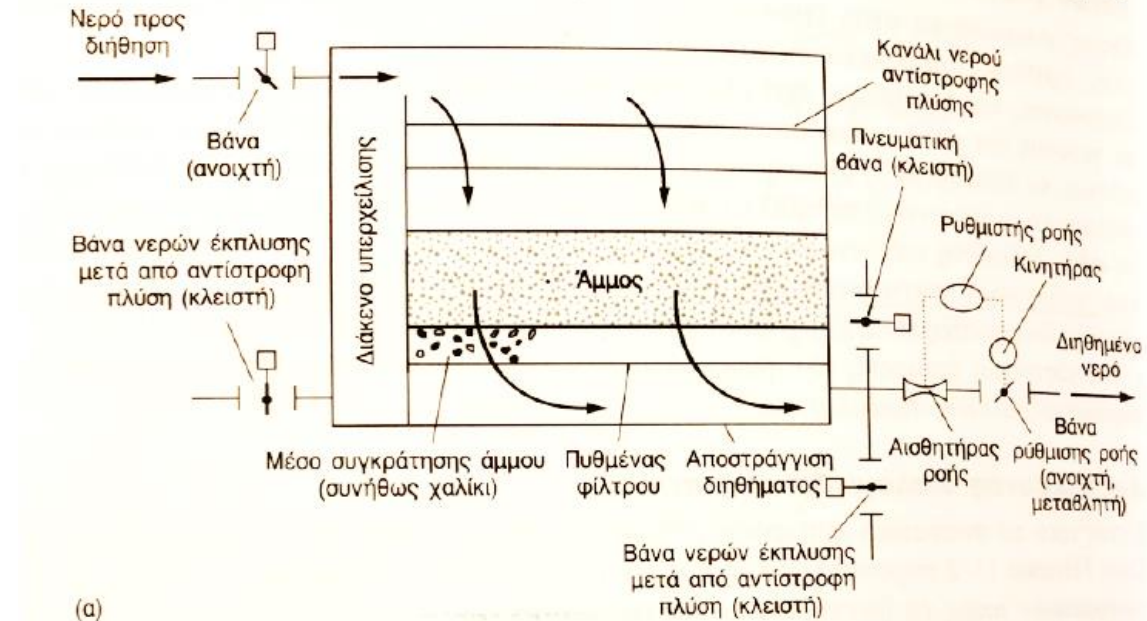
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Σε περίπτωση που η χρονική διάρκεια λειτουργίας του φίλτρου έως ότου η εκροή καταστεί μη αποδεκτή, συμπίπτει με την χρονική διάρκεια της διήθησης, έως ότου η πτώση πίεσης μεγαλώσει σε μη αποδεκτά επίπεδα, τότε η λειτουργία της διήθησης είναι βέλτιστη. Αυτό στην πράξη δεν είναι πάντα εφικτό και γι' αυτό ελέγχεται τόσο η ποιότητα της εκροής όσο και η πτώση πίεσης στο φίλτρο.

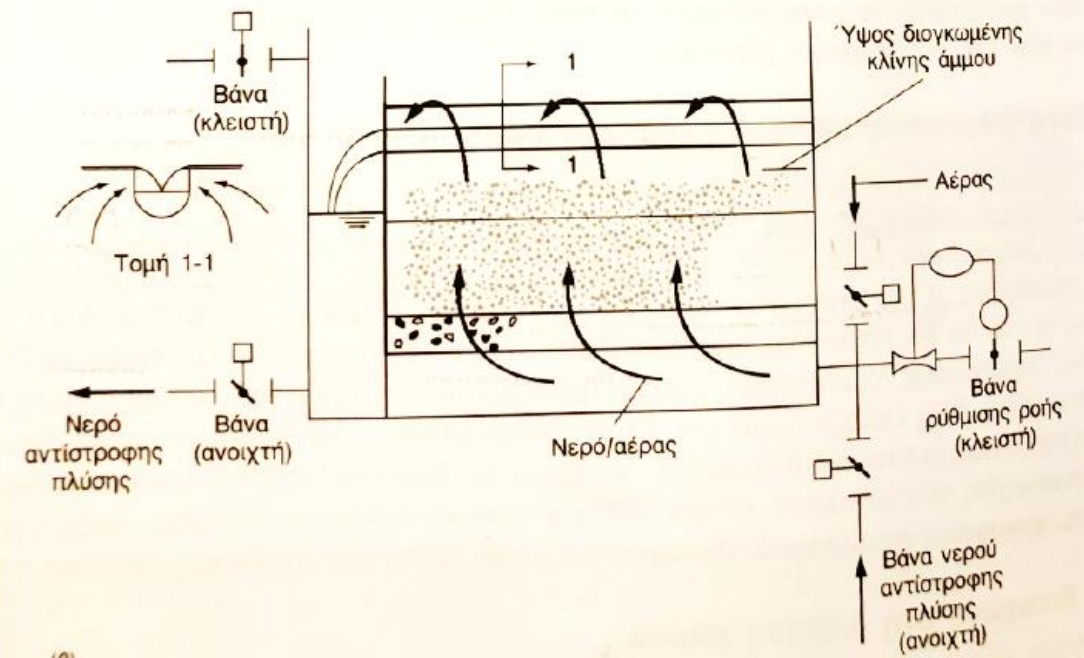


ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

α) ροή κατά τη διάρκεια της διήθησης



β) ροή κατά τη διάρκεια της αντίστροφης πλύσης



Γενικά χρησιμοποιείται είτε στην πρωτοβάθμια επεξεργασία καθαρισμού, είτε σαν τελική επεξεργασία βελτιστοποίησης της ποιότητας των επεξεργασμένων αποβλήτων μετά τον βιολογικό καθαρισμό.

- Η διήθηση χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του πόσιμου νερού για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών και κολλοειδών σωματιδίων τα οποία προσδίδουν θολότητα στο νερό. Στην επεξεργασία πόσιμου νερού η διήθηση χρησιμοποιείται συνήθως μετά την κροκίδωση και την καθίζηση.
- Η διήθηση εφαρμόζεται επίσης στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί βιολογική ή χημική επεξεργασία, για την περαιτέρω απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών (οργανικά και ανόργανα) και την βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της εκροής και την επαναχρησιμοποίησή της πχ. για άρδευση καλλιεργειών.

- Η διήθηση εφαρμόζεται **πριν το στάδιο της απολύμανσης** για την αποτελεσματικότερη απολύμανση της διηθημένης εκροής. Ειδικά, οι παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό.
- Η διήθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως **προεπεξεργασία** των αποβλήτων πριν την επεξεργασία (διήθηση) αυτών με μεμβράνες.
- Η διήθηση χρησιμοποιείται για την **απομάκρυνση φωσφόρου** που έχει κατακρινησθεί χημικά.

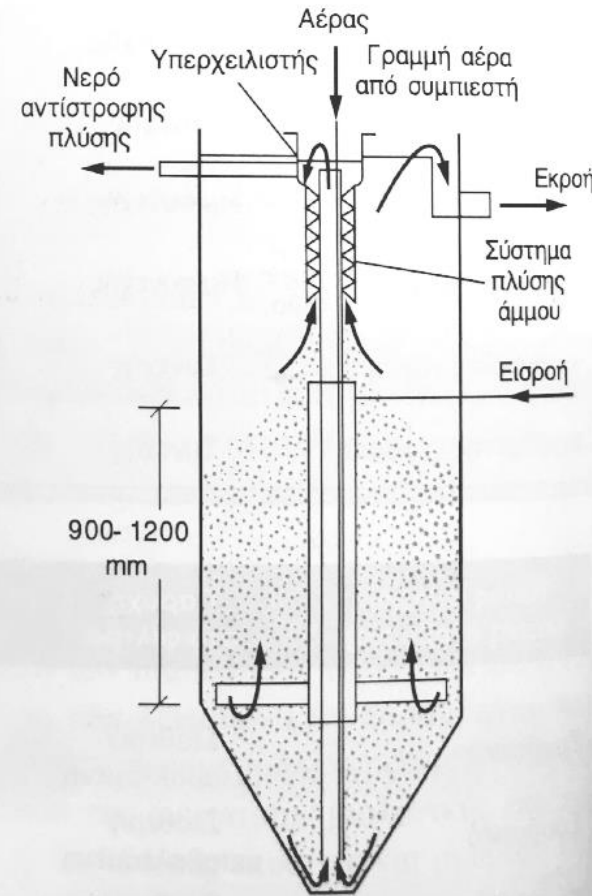
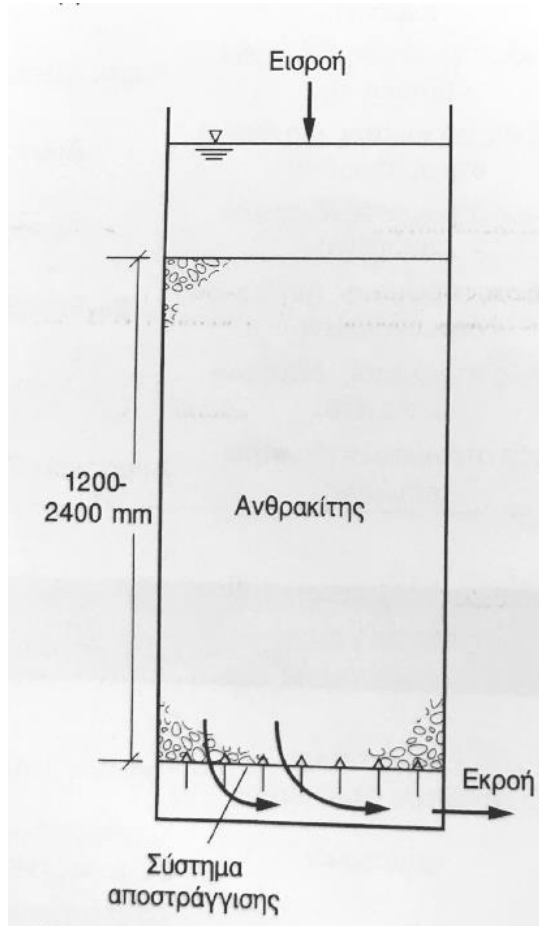
Η διήθηση διακρίνεται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με κάποια βασικά χαρακτηριστικά ή λειτουργίες:

- 1) την κατεύθυνση κίνησης του υγρού
- 2) τον τρόπο λειτουργίας του φίλτρου
- 3) το είδος του μέσου διήθησης
- 4) την ωθούσα δύναμη
- 5) τον έλεγχο της παροχής του φίλτρου

1. Διάκριση διήθησης ανάλογα με την κατεύθυνση κίνησης του υγρού

- **Καθοδική διήθηση** (downflow filtration): Όταν η κίνηση του υγρού είναι προς τα κάτω.
- **Ανοδική διήθηση** (upflow filtration): Όταν η κίνηση του υγρού είναι προς τα πάνω.

Μονοστρωματική
βαθεία κλίση
καθοδικής ροής



Μονοστρωματική
βαθεία κλίση
ανοδικής ροής

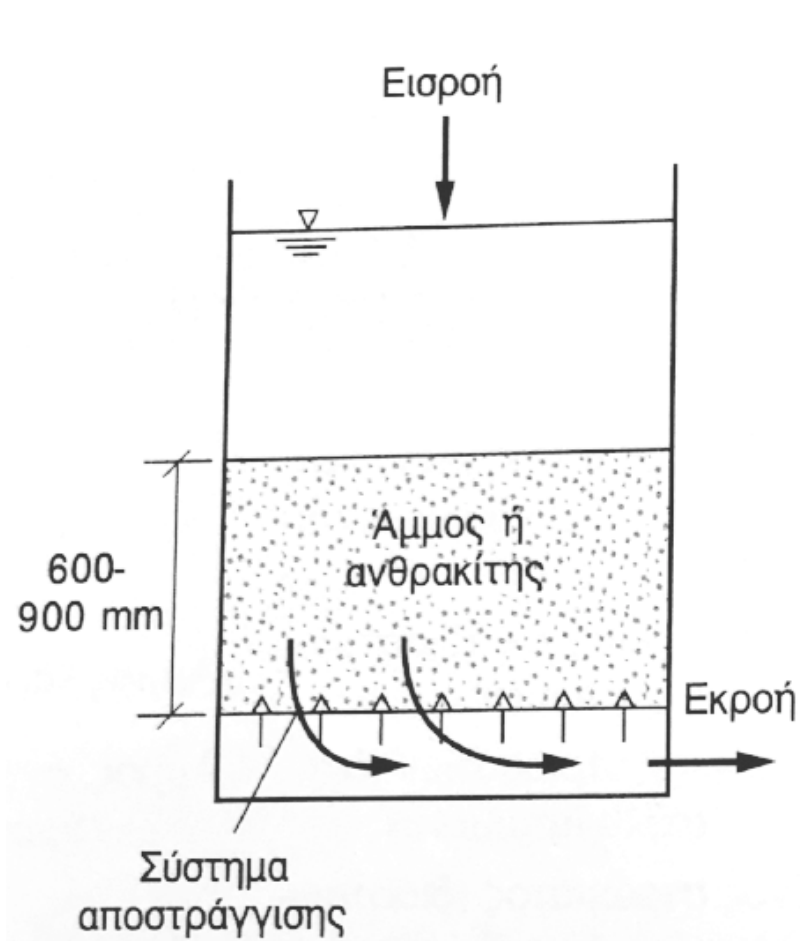
2. Διάκριση διήθησης ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του φίλτρου

- **Ημισυνεχής λειτουργία:** Όταν η λειτουργία των φίλτρων πρέπει να διακόπτεται περιοδικά για να γίνει η αντίστροφη πλύση (καθαρισμός). Αυτό συμβαίνει όταν τα αιωρούμενα στερεά στην εκροή αρχίζουν να αυξάνουν μέχρι ένα ορισμένο αποδεκτό επίπεδο, ή όταν η προσθήκη στερεών στα διάκενα του φίλτρου έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση στην πτώση πίεσης στο φίλτρο.
- **Συνεχής λειτουργία:** Όταν η διαδικασία της διήθησης και ο καθαρισμός (αντίστροφη πλύση) γίνονται ταυτόχρονα.

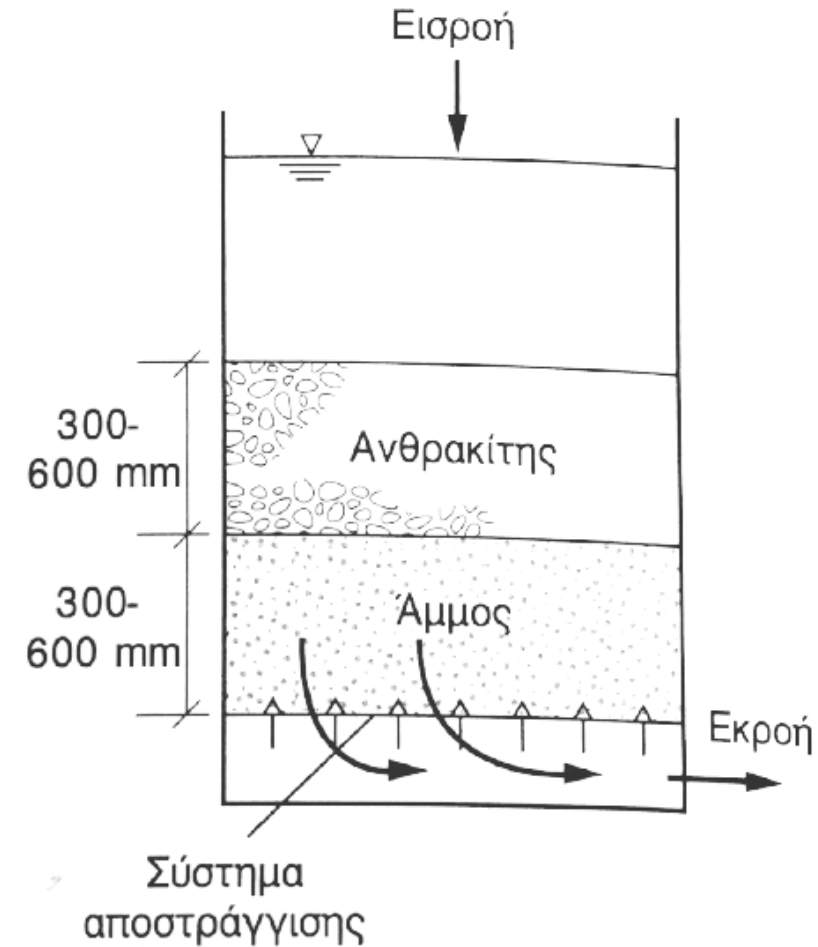
3. Διάκριση διήθησης ανάλογα με το είδος του μέσου διήθησης

- **Μονοστρωματικά φίλτρα:** Όταν χρησιμοποιείται μόνο ένα μέσο διήθησης (πχ. άμμος).
- **Πολυστρωματικά φίλτρα:** Όταν χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα μέσα διήθησης (πχ. ανθρακίτης και άμμος για ένα διστρωματικό φίλτρο). Στα πολυστρωματικά φίλτρα, το διηθητικό μέσο με το μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων τοποθετείται στο επάνω μέρος του φίλτρου έτσι ώστε να επιτρέπεται η βαθύτερη διείσδυση των σωματιδίων στην κλίνη και άρα η καλύτερη αξιοποίησή της καθώς και η μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας της πριν το καθαρισμό της.

3. Διάκριση διήθησης ανάλογα με το είδος του μέσου διήθησης



Μονοστρωματικό φίλτρο
καθοδικής ροής



Διστρωματικό φίλτρο
καθοδικής ροής

4. Διάκριση διήθησης ανάλογα με την ωθούσα δύναμη

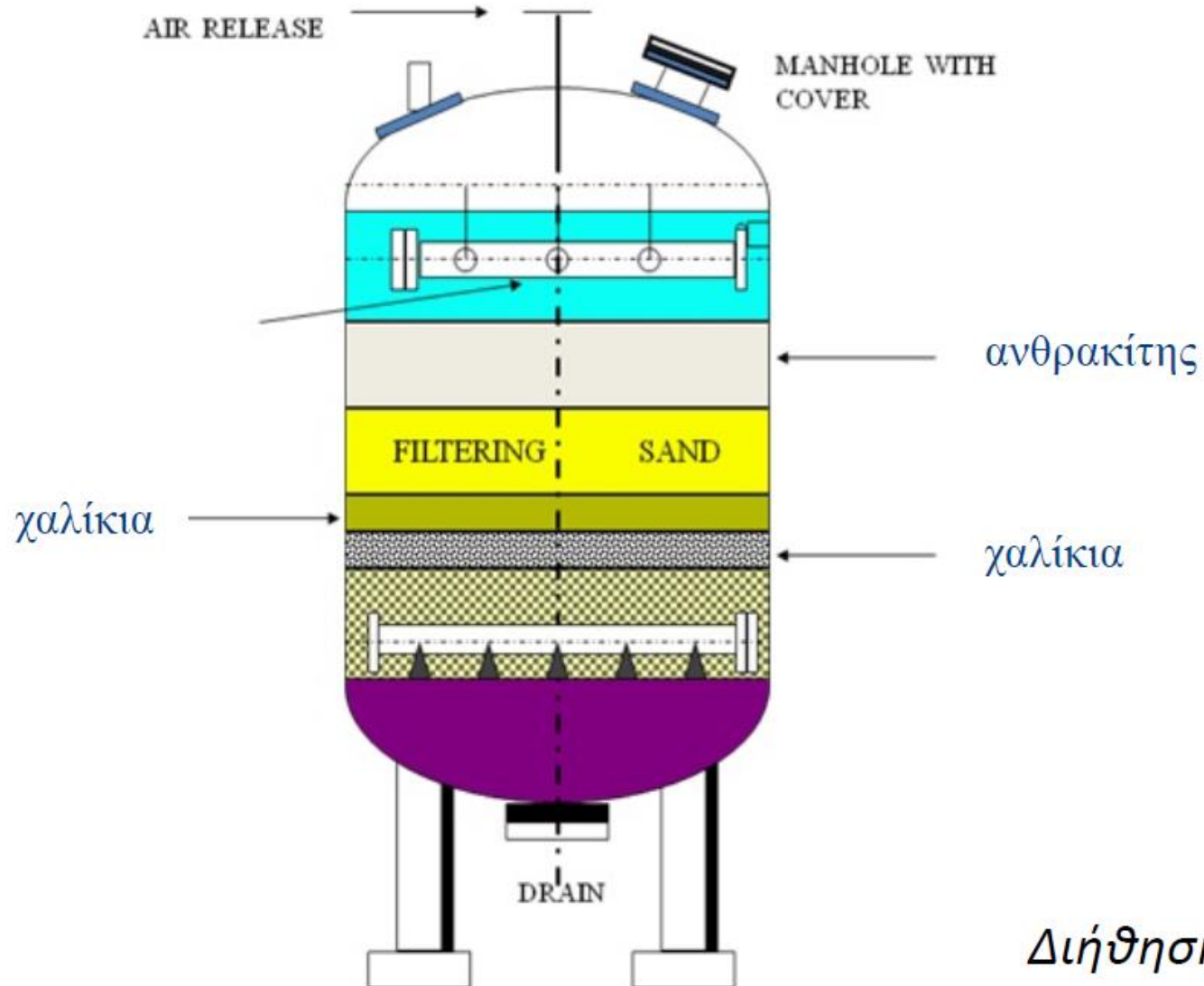
Στη διήθηση, η ωθούσα δύναμη (στα άκρα του διηθητικού μέσου) μπορεί να είναι

- η βαρύτητα
- η φυγόκεντρος δύναμη (φυγοκεντρική διήθηση)
- η πίεση, η οποία ασκείται μέσω της άντλησης του νερού (πχ φιλτρόπρεσσες).
- ή το κενό (διήθηση υπό κενό π.χ. τυμπανόφιλτρα και δισκόφιλτρα)

Η διήθηση με πίεση, η οποία εφαρμόζεται σε μικρότερες μονάδες, γίνεται σε κλειστό δοχείο. Αντίθετα, η διήθηση υπό συνθήκες βαρύτητας χρησιμοποιείται σε μεγάλες εγκαταστάσεις και πραγματοποιείται σε ανοιχτό δοχείο.

Τα περισσότερα βιομηχανικά φίλτρα είναι πίεσης ή κενού, συνεχή ή ασυνεχή.

4. Διάκριση διήθησης ανάλογα με την ωθούσα δύναμη



4. Διάκριση διήθησης ανάλογα με την ωθούσα δύναμη

Η ωθούσα δύναμη επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό διήθησης $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ (παροχή νερού ανά επιφάνεια φίλτρου), δηλαδή την παροχή νερού που διέρχεται από το φίλτρο ανά μονάδα επιφάνειας φίλτρου:

$$\text{Ρυθμός διήθησης} = \frac{\text{Ωθούσα δύναμη}}{\text{Αντίσταση του φίλτρου}}$$

Φίλτρα υψηλού ρυθμού διήθησης: ο ρυθμός διήθησης είναι ψηλός, η διήθηση πραγματοποιείται σε όλο το μήκος της κλίνης (διήθηση βαθειάς κλίνης).

Φίλτρα χαμηλού ρυθμού διήθησης: αντίθετα, στα φίλτρα χαμηλού ρυθμού διήθησης, η απομάκρυνση των σωματιδίων λαμβάνει χώρα στα ανώτερα στρώματα του φίλτρου.

5. Διάκριση διήθησης ανάλογα με τον έλεγχο της παροχής του φίλτρου

- **Διήθηση σταθερού ρυθμού** (constant - rate filtration): η διατήρηση σταθερού ρυθμού διήθησης πραγματοποιείται είτε με έλεγχο της εισροής (με τη χρήση αντλιών ή υπερχειλιστών) είτε με έλεγχο της εκροής (με τη χρήση βανών χειρονακτικά ή αυτόματα).
- **Διήθηση με ελαττούμενο ρυθμό** (declining - rate filtration): καθώς τα στερεά συσσωρεύονται στο φίλτρο, η πτώση πίεσης (αντίσταση) στο φίλτρο αυξάνει. Αν δεν μεταβληθεί η πίεση άντλησης ή η παροχή εκροής, τότε θα μειωθεί ο ρυθμός διήθησης. Όταν ο ρυθμός διήθησης ή αντίστοιχα η παροχή εκροής μειωθεί σε ένα ελάχιστο επίπεδο, τότε το φίλτρο πρέπει να καθαριστεί με αντίστροφη πλύση.

A] με βάση το είδος του διηθητικού υλικού

- **φίλτρα στρώματος:** περιέχουν σε σημαντικό βάθος συνήθως άμμο, ανθρακίτη ή συνδυασμό τους, καθώς και άλλα υλικά
- **προεπενδεδυμένα φίλτρα:** οι κόκκοι του πληρωτικού υλικού καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα πολύ λεπτομερούς διηθητικού υλικού, όπως διατομικές γαίες, που αλλάζει μετά από κάθε κύκλο διήθησης

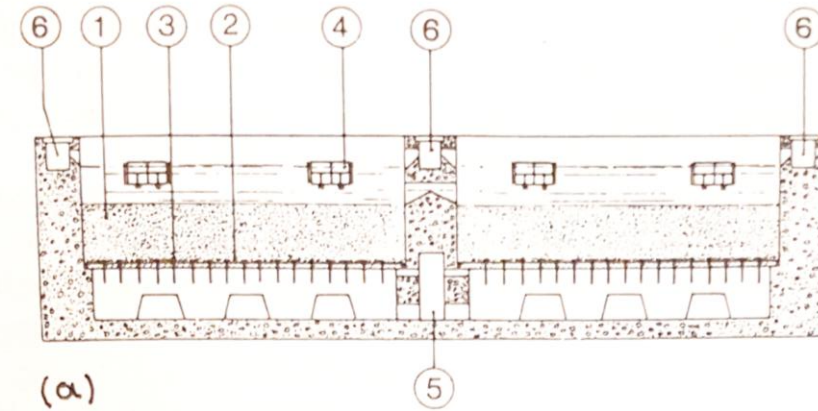
B] με βάση τα υδραυλικά χαρακτηριστικά

- **φίλτρα βαρύτητας:** ανοιχτά στην ατμόσφαιρα στο πάνω μέρος, και η ροή μέσω του διηθητικού υλικού γίνεται με τη βαρύτητα
- **φίλτρα πίεσεως:** το διηθητικό υλικό βρίσκεται μέσα σε συσκευή υπό πίεση. Το προς επεξεργασία νερό εισέρχεται υπό πίεση και εξέρχεται με ελαφρώς μειωμένη πίεση

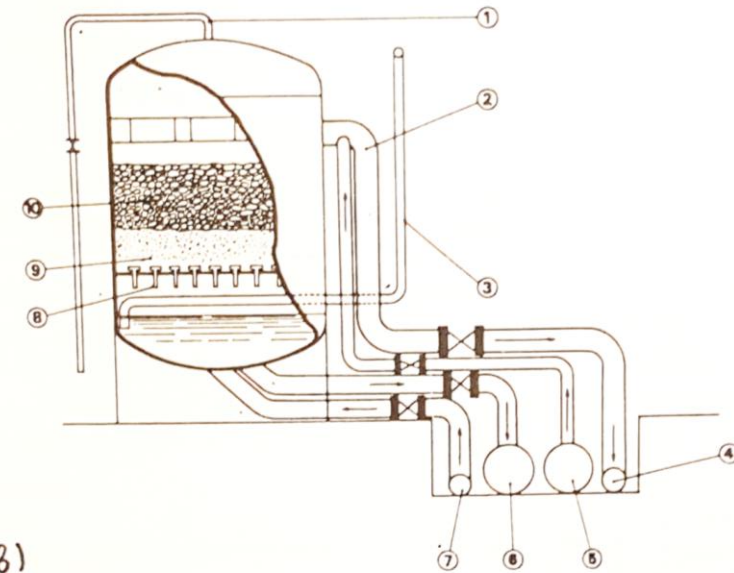
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ

α) φίλτρο βαρύτητας - στρώματος υψηλής ροής

β) φίλτρο πίεσεως - στρώματος υψηλής ροής



- | | |
|--------------|--|
| 1. Άμμος | 4. Είσοδος ακατέργαστου νερού |
| 2. Δάπεδο | 5. Κανάλι εξαγωγής διηθημένου νερού και είσοδος νερού έκπλυσης |
| 3. Ακροφύσια | 6. Κανάλι εξαγωγής ιλύος |



- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Αέρας | 6. Έξοδος διηθημένου νερού |
| 2. Έξοδος νερού έκπλυσης | 7. Είσοδος νερού έκπλυσης |
| 3. Είσοδος αέρα | 8. Στήριγμα διηθ. υλικού με ακροφύσια |
| 4. Αποχέτευση νερού έκπλυσης | 9. Άμμος |
| 5. Είσοδος ακατέργαστου νερού | 10. Ανθρακίτης |

Με βάση την ταχύτητα διήθησης = ρυθμός φόρτισης, έχουμε δύο άλλες κατηγορίες φίλτρων κοκκώδους διηθητικού υλικού

1] **φίλτρα ταχείας διήθησης** (υψηλής ροής)

2] **φίλτρα βραδείας διήθησης** (χαμηλής παροχής), οπότε ευνοείται η απομάκρυνση των αιωρούμενων μόνο από το επάνω μέρος του διηθητικού υλικού.

Όταν η απομάκρυνση στερεών γίνεται μέσω του διηθητικού υλικού, αναφερόμαστε σε **διήθηση στρώματος** (deep-bed filtration), ενώ όταν γίνεται μόνο στην επιφάνεια του υλικού η διεργασία λέγεται **διήθηση πλακούντα** (cake filtration).

Στην επεξεργασία νερού χρησιμοποιείται η πρώτη κατηγορία (ταχεία φίλτρα).

Ρυθμός φόρτισης: η ταχύτητα του νερού καθώς φτάνει στην επιφάνεια του φίλτρου

$$v_a = \frac{Q}{A_s}$$

v_a = ταχύτητα προσέγγισης (m/d) = ρυθμός φόρτισης (m³/m²/d)

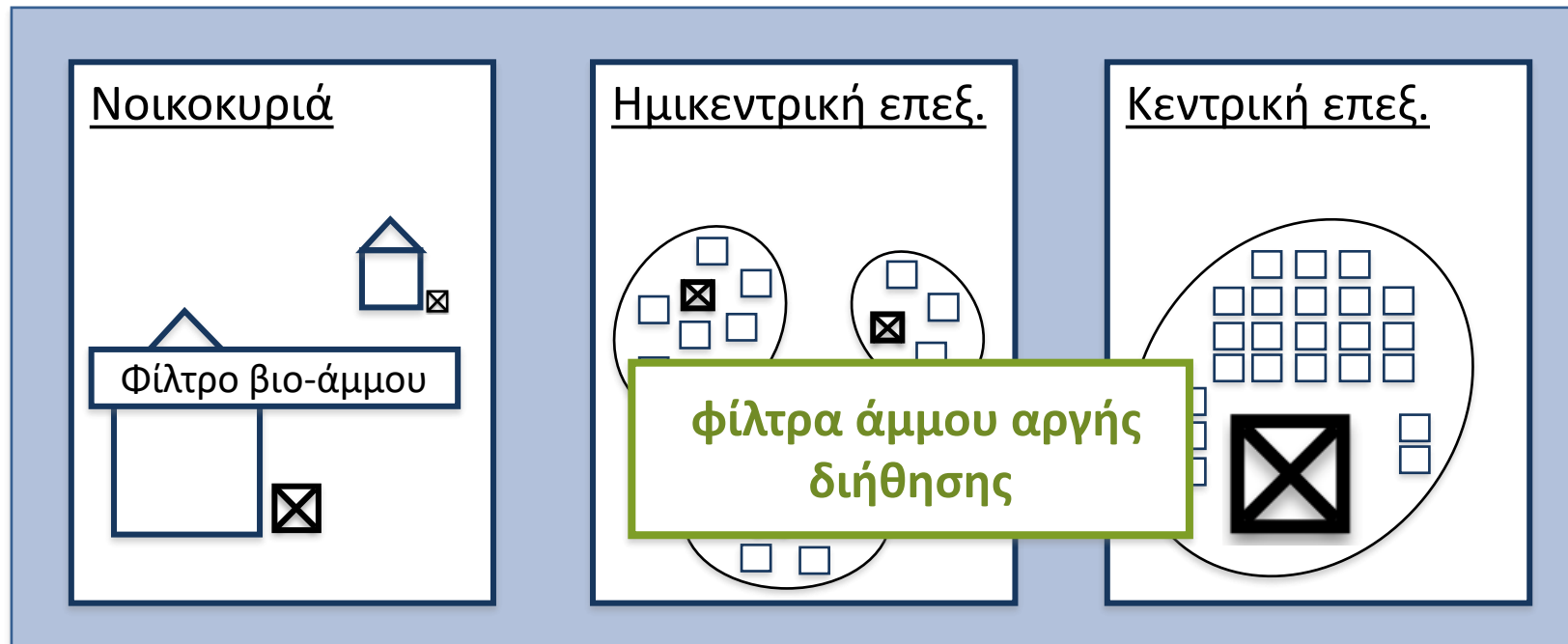
Q = παροχή στην επιφάνεια του φίλτρου (m³/d)

A_s = επιφάνεια φίλτρου (m²)

ΦΙΛΤΡΑ ΑΡΓΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (SLOW SAND FILTERS)

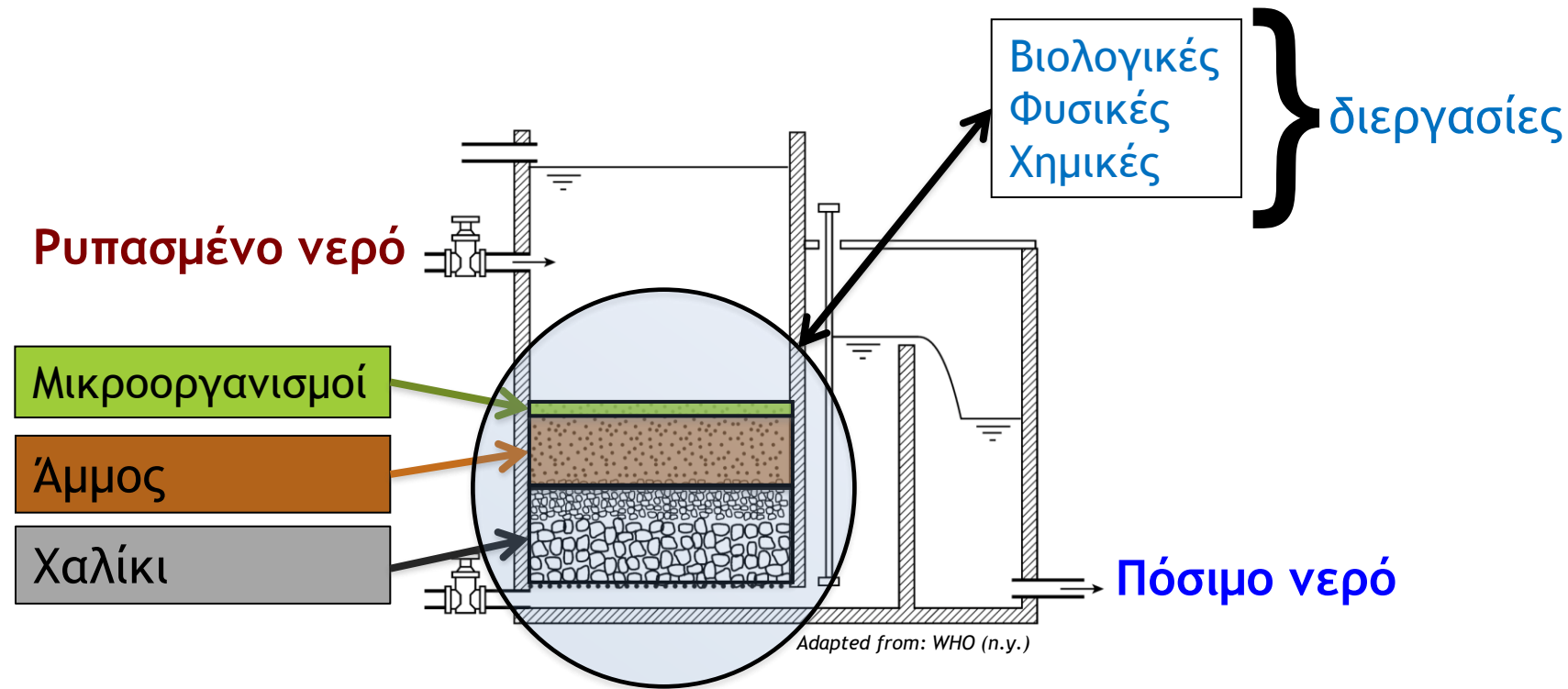
Τα φίλτρα άμμου αργής διήθησης είναι ένας τύπος συστήματος επεξεργασίας νερού για κεντρικές ή ημικεντρικές μονάδες επεξεργασίας

Η βασική αρχή λειτουργίας είναι το βιολογικό φίλτρο άμμου που χρησιμοποιείται στα σπίτια.



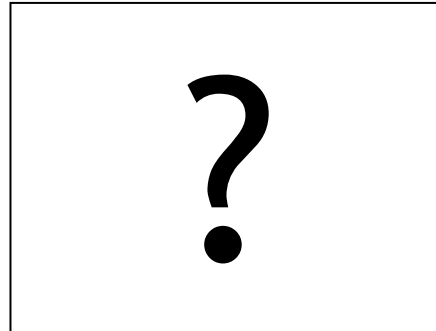
ΦΙΛΤΡΑ ΑΡΓΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (SLOW SAND FILTERS)

Αρχή λειτουργίας: νερό ρέει διαμέσου μιας κλίνης άμμου όπου υπάρχει μια λεπτή στρώση με μικροοργανισμούς. Εδώ το νερό καθαρίζεται μέσω διαφόρων διεργασιών (βιολογικών, φυσικών, χημικών).



ΦΙΛΤΡΑ ΑΡΓΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (SLOW SAND FILTERS)

- πως το επιφανειακό νερό γίνεται πόσιμο νερό;



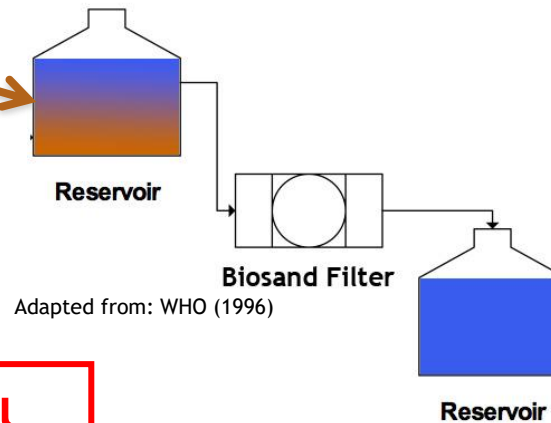
ΦΙΛΤΡΑ ΑΡΓΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (SLOW SAND FILTERS)

- πως το επιφανειακό νερό γίνεται πόσιμο νερό;



Source:
<http://www.govisitcostarica.com/images/photos/full-cano-negro-brown-river.jpg> [Accessed: 21.02.2012]

ΔΕΝ απαιτούνται χημικά



Adapted from: WHO (1996)

**ΔΕΝ απαιτούνται
αντλίες ή ενέργεια**



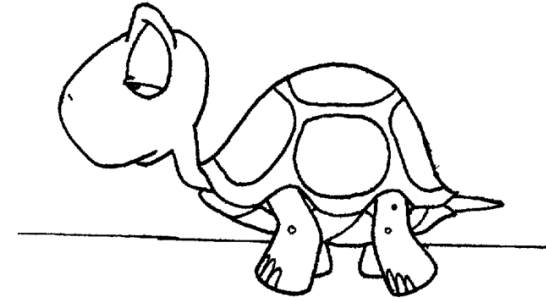
ΦΙΛΤΡΑ ΑΡΓΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (SLOW SAND FILTERS)

απόδοση

100-300 L/hr/m²

→ αργός ρυθμός

→ μεγάλη απαίτηση σε επιφάνεια



παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού



Υψηλή απόδοση για:	Σχετικώς αποδοτικά για:	Μη αποδοτικά για:
- Βακτήρια - Πρωτόζωα - Ιούς - Θολότητα - Βαρέα μέταλλα (Zn, Cu, Cd, Pb)	- Οσμές - Γεύση - Σίδηρο, μαγγάνιο - Οργανικά υλικά - Αρσενικό	- Άλατα - Φθόριο - Τριαλομεθάνια (THM) - Περισσότερες χημικές ενώσεις

ΦΙΛΤΡΑ ΑΡΓΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (SLOW SAND FILTERS)

Κατασκευή

- χρήση ντόπιων υλικών και γνώσης
- κατασκευή από πεπειραμένους εργολάβους ή ακόμη και από κοινότητες με μικρή εξωτερική τεχνική βοήθεια (σε αναπτυσσόμενες περιοχές)
- Φθηνά υλικά

Υλικά κατασκευής

- (Ενισχυμένο) σκυρόδεμα, τουβλοκατασκευή
- Σωληνώσεις
- Βαλβίδες
- Άμμος, χαλίκι
- Εργαλεία

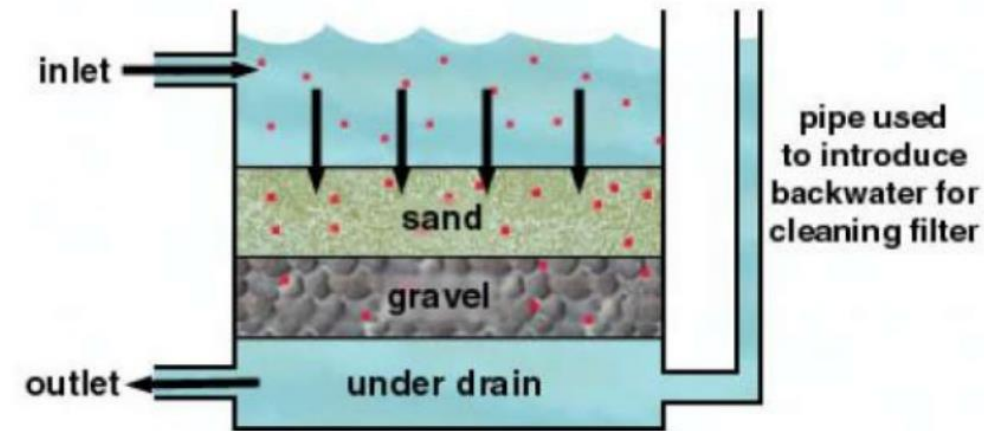


ΦΙΛΤΡΑ ΑΡΓΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (SLOW SAND FILTERS)

απαιτούμενα

- αναγκαία έκταση γης
- σχετικά χαμηλή αρχική θολότητα (<30 NTU), αλλιώς χρειάζεται προ-επεξεργασία
- Ήπιες κλιματικές συνθήκες (όχι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες)
- Έμπειρος εργολάβος για την κατασκευή και έμπειρο προσωπικό για τη λειτουργία
- κυρίως για αγροτικές περιοχές ή μικρές πόλεις όπου υπάρχει συνήθως αρκετή διαθέσιμη γη

Slow Sand Filtration



ΦΙΛΤΡΑ ΑΡΓΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (SLOW SAND FILTERS)

πλεονεκτήματα

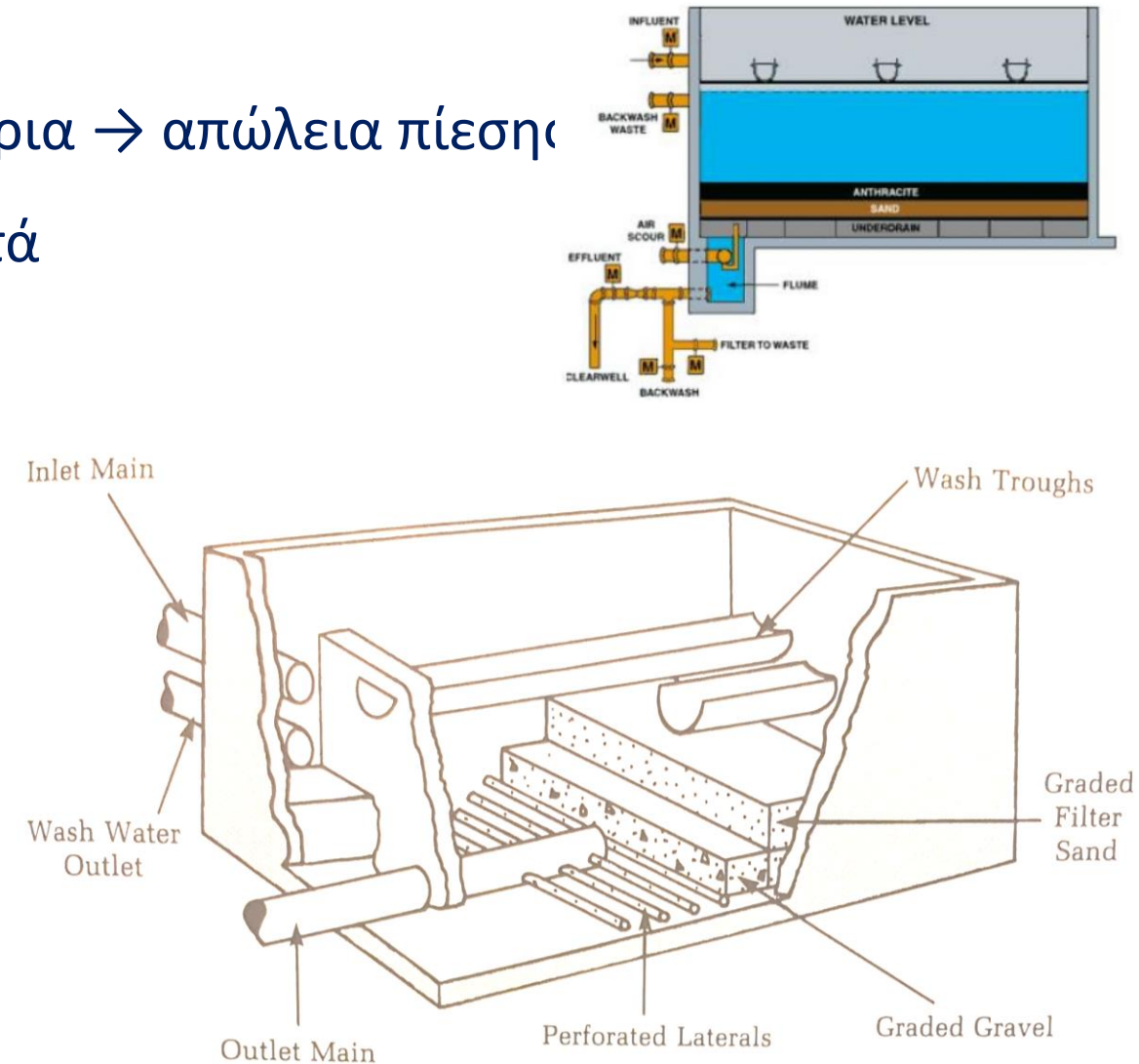
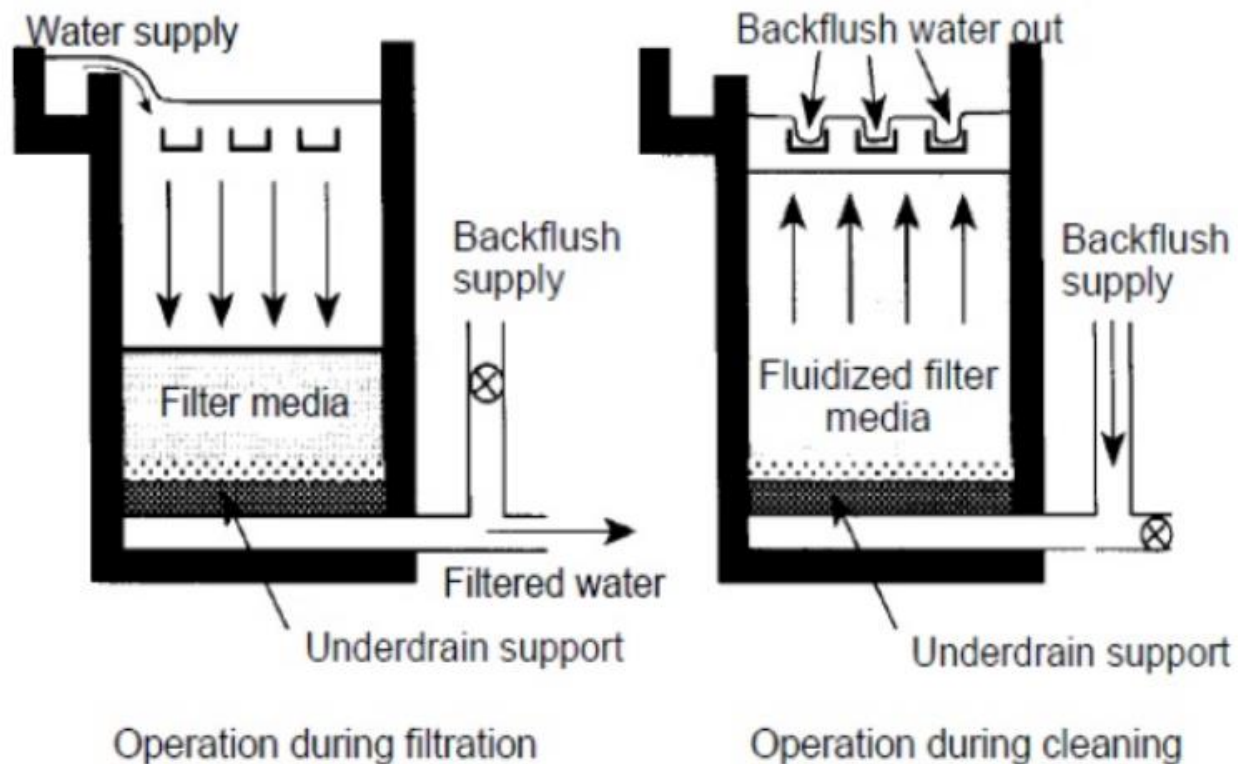
- αποτελεσματική απομάκρυνση των περισσότερων ρύπων
- απλός σχεδιασμός και φθηνή κατασκευή
- απλή λειτουργία και συντήρηση
- δεν απαιτείται ενέργεια
- κατασκευή με ντόπια υλικά
- δεν απαιτούνται χημικά
- μεγάλη διάρκεια ζωής (>10 έτη)

μειονεκτήματα

- ελάχιστη ποιότητα αρχικού νερού προς επεξεργασία
- ψυχρά κλίματα μετριάζουν την απόδοση
- η πλειοψηφία των χημικών ρύπων δεν απομακρύνονται
- απώλεια παραγωγικότητας κατά τη συντήρηση

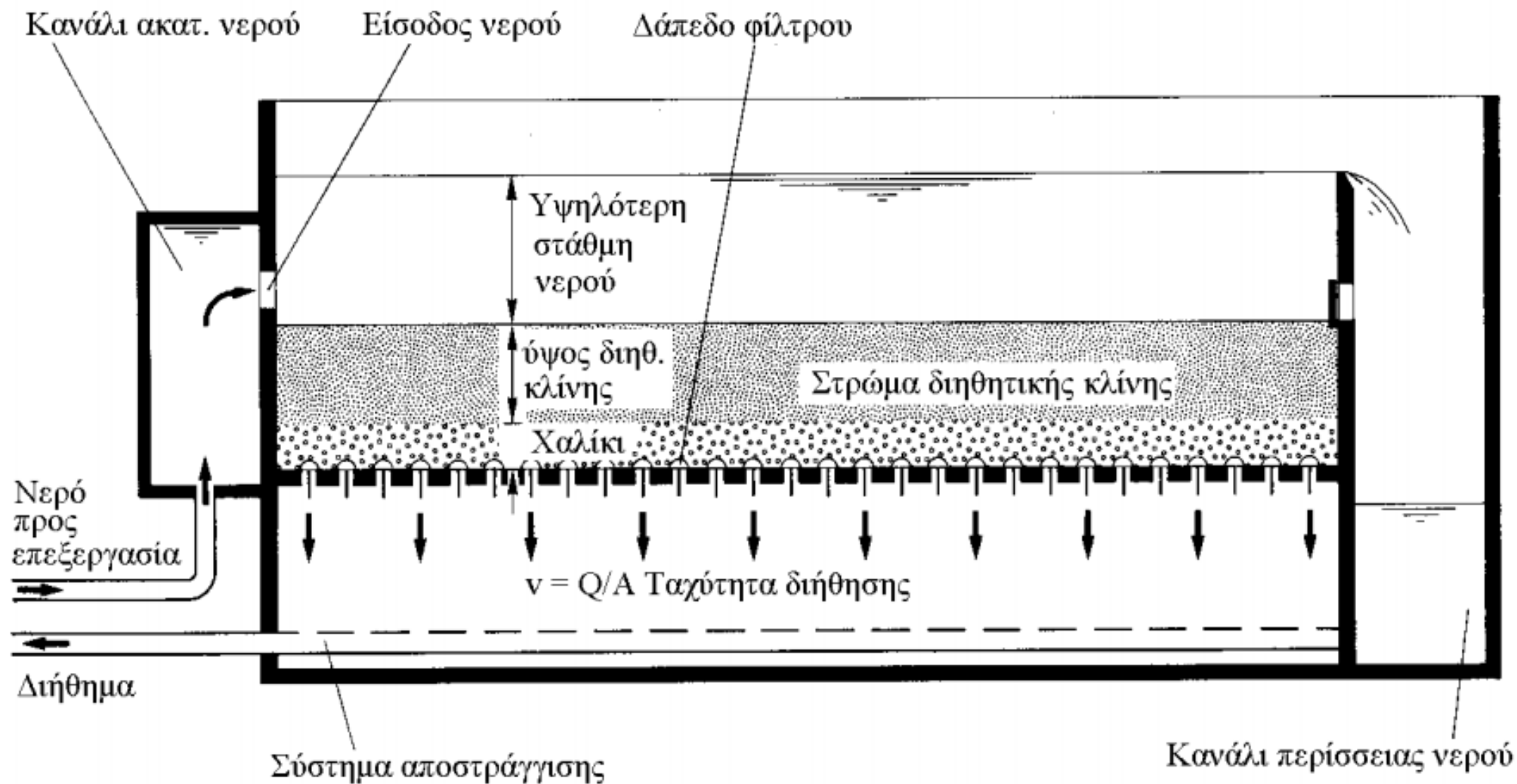
ΦΙΛΤΡΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (RAPID SAND FILTERS)

- χονδρόκοκκη άμμος (μέγεθος κόκκου 0,4 - 0,7 mm)
- βάθος κλίνης άμμου: 0,3 - 4,5 m
- έμφραξη ή αιωρούμενες ακαθαρσίες και βακτήρια → απώλεια πίεσης
- καθαρισμός με αντίστροφη πλύση κάθε 15 λεπτά



ΦΙΛΤΡΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (RAPID SAND FILTERS)

Ανοικτά φίλτρα υψηλής ροής



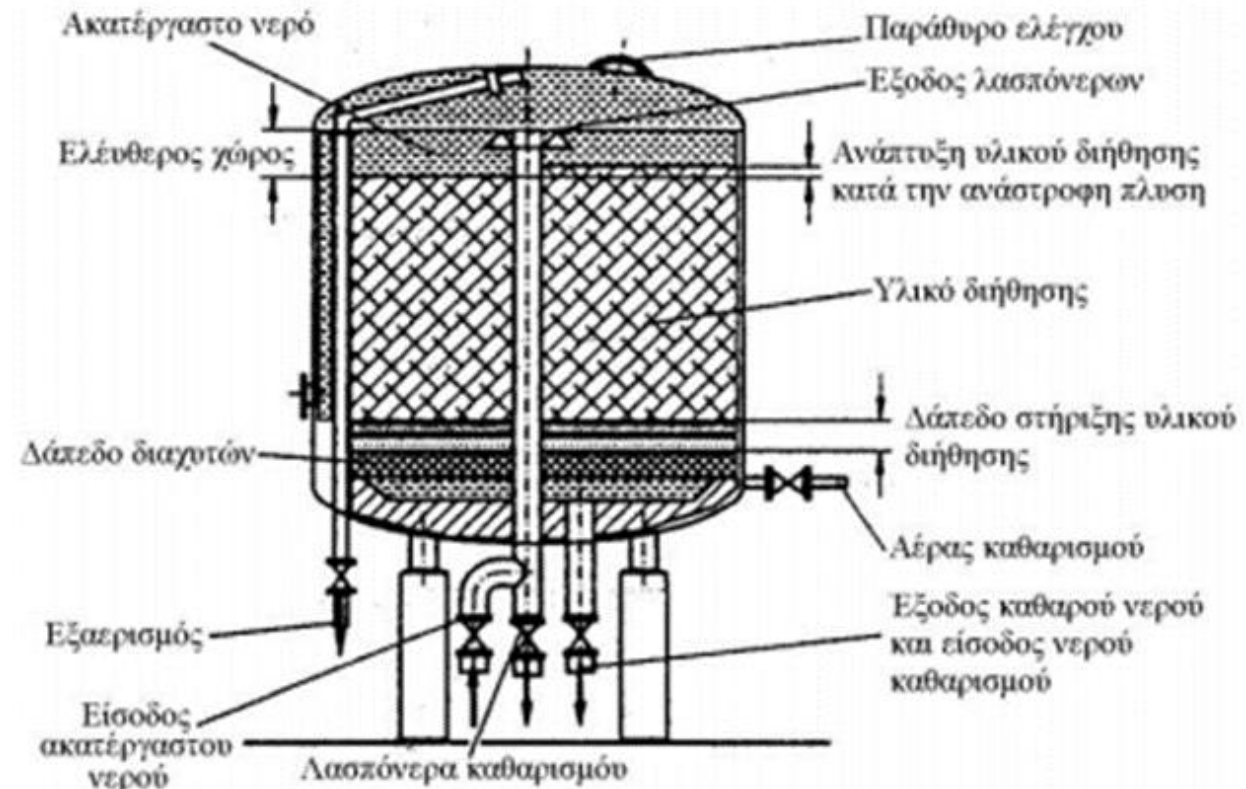
ΦΙΛΤΡΑ ΤΑΧΕΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (RAPID SAND FILTERS)

πλεονεκτήματα

- άμεση επαφή με το νερό
- ταχεία διήθηση, 40-50 φορές ταχύτερη από τα φίλτρα βραδείας διήθησης
- δεν απαιτείται προκαταρκτική αποθήκευση
- μικρότερη επιφάνεια
- εύκολος καθαρισμός
- μεγαλύτερη ευελιξία στη λειτουργία

μειονεκτήματα

- ελλιπής οπτικός έλεγχος
- μικρότερη επιφάνεια διύλισης

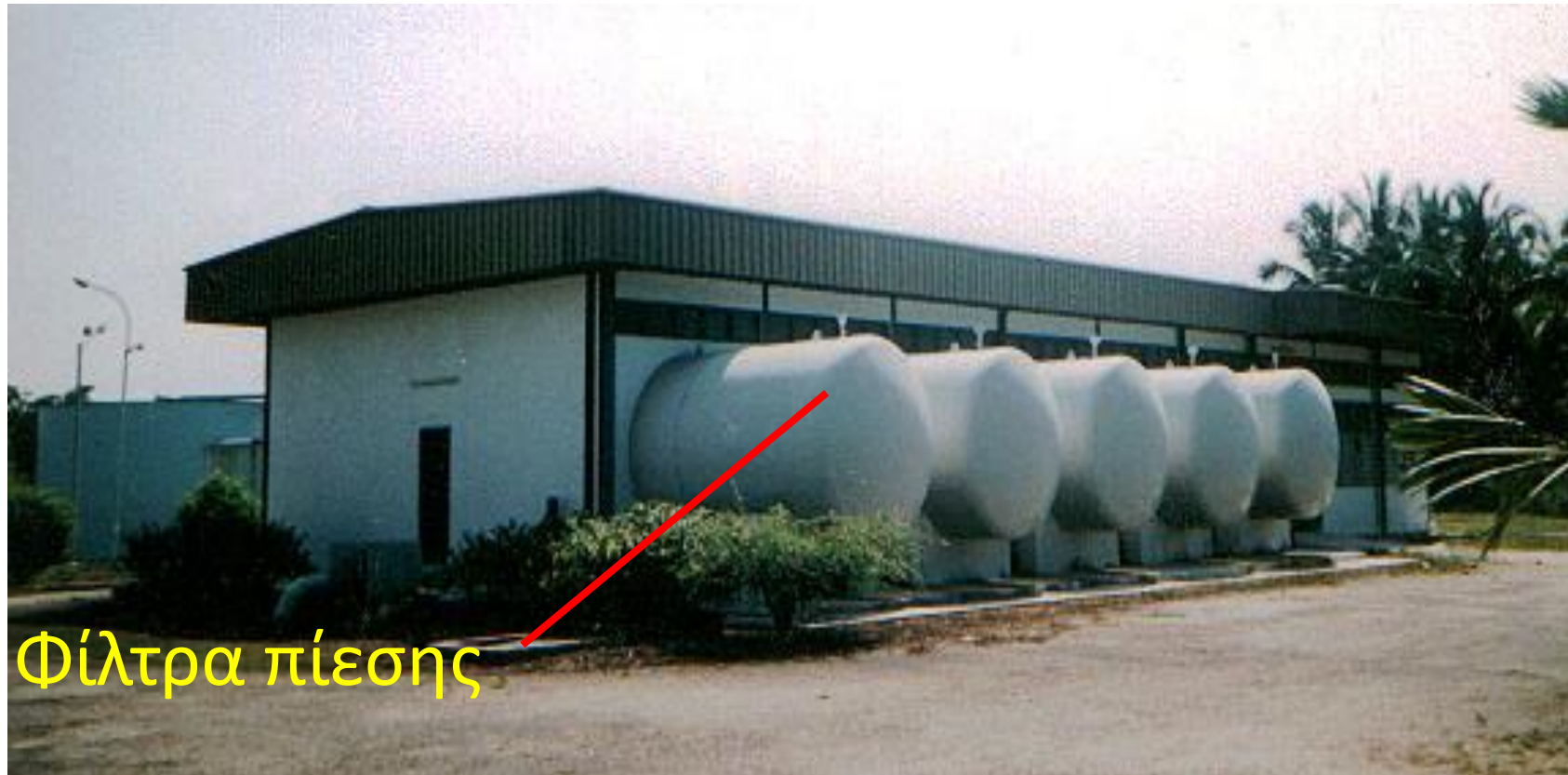


Σύγκριση φίλτρων αργής και ταχείας διήθησης

Ιδιότητα	Φίλτρο ταχείας διήθησης	Φίλτρο αργής διήθησης
Επιφάνεια	μικρή	μεγάλη
Ρυθμός φόρτισης ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)	120-230	2,9-7,6
Ρυθμός διήθησης ($\text{L}/\text{m}^2/\text{g}$)	4000-7500	100-400
Ταχύτητα διήθησης (mm/s)	5-15	0,010-0,110
Διάμετρος άμμου	0,4-0,7 mm	0,2-0,4 mm
Πάχος στρώματος διήθησης	60-100 cm	30-75 cm
Προεπεξεργασία	Κροκίδωση και καθίζηση	Καθίζηση
Καθαρισμός	Αντίστροφη πλύση	Απόξεση
Χρόνος μεταξύ καθαρισμών	12-72 ώρες	20-60 ημέρες
Ποσοστό επεξεργασμένου νερού για τον καθαρισμό	1-6%	0,2-0,6%
Λειτουργία	Έμπειρο προσωπικό	Λιγότερο έμπειρο προσωπικό
Μέγεθος κάθε μονάδας	Μικρό (5 x 8 m), επιφάνεια 10-80 m^2	Μεγάλο (30 x 60 m), επιφάνεια 100-2000 m^2
Απομάκρυνση χρώματος	Καλή	καλύτερη
Απομάκρυνση βακτηρίων	98-99%	99,9-99,99%
Προηγούμενη αποθήκευση νερού	Απαιτείται	Δεν απαιτείται

Σύγκριση φίλτρων αργής και ταχείας διήθησης

	Φίλτρα χαμηλού ρυθμού διήθησης	Φίλτρα υψηλού ρυθμού διήθησης
Πλεονεκτήματα	Πολύ καλή απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών	Υψηλή απόδοση σε νερά με μεγάλη θολότητα και χρώμα
	Χαμηλό λειτουργικό κόστος	Απαίτηση για μικρή επιφάνεια
Μειονεκτήματα	Απαίτηση για μεγάλη επιφάνεια διήθησης	Δεν απομακρύνει πλήρως τους παθογόνους μικροοργανισμούς
	Χαμηλή αποδοτικότητα σε νερά υψηλής θολότητας	



Φίλτρα πίεσης

ΤΥΠΟΙ ΦΙΛΤΡΩΝ



Φίλτρο βαρύτητας
ταχείας διήθησης



Το πλαίσιο του φίλτρου

- Ανοικτά φίλτρα με τετραγωνική επιφάνεια (μέχρι 3 μέτρα πλάτος και 20 μέτρα μήκος) από οπλισμένο σκυρόδεμα,
- Κλειστά φίλτρα πίεσης με τις περισσότερες φορές κυκλική βάση (μέχρι 5 μέτρα διάμετρο) από στεγανό χαλύβδινο κύλινδρο με δυνατότητα εισόδου.

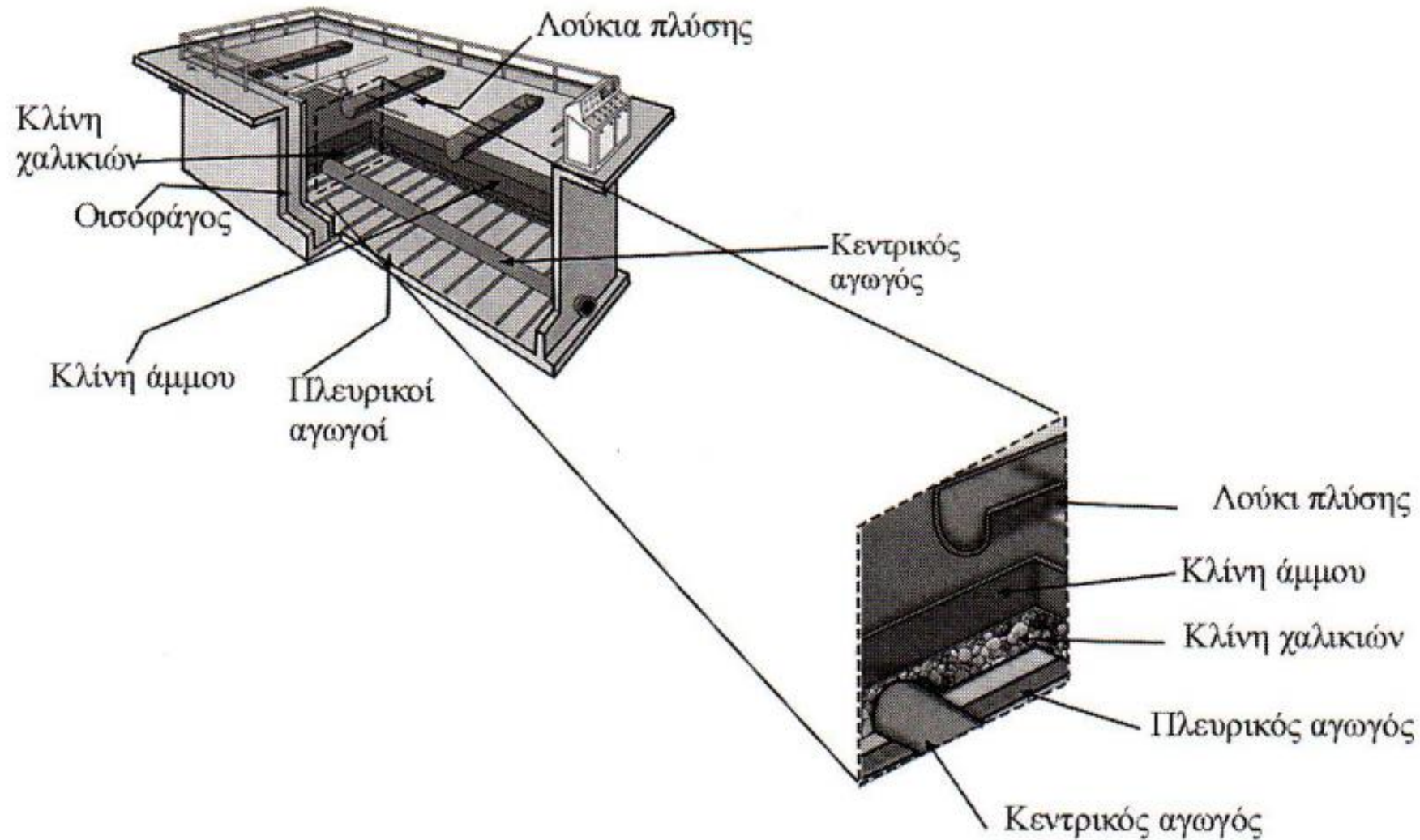
Ο πυθμένας

συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλική επιφάνεια με 64 μέχρι 90 διαχυτές / τετραγωνικό μέτρο. Κάτω από τον πυθμένα διύλισης βρίσκεται ο χώρος διήθησης.

Οι διαχυτές πρέπει να αερίζονται αυτόματα ή να υπάρχει ειδική γραμμή εξαερισμού και οι οπές των διαχυτών να είναι 60-80 mm ώστε να κρατούν και την λεπτότερη άμμο.

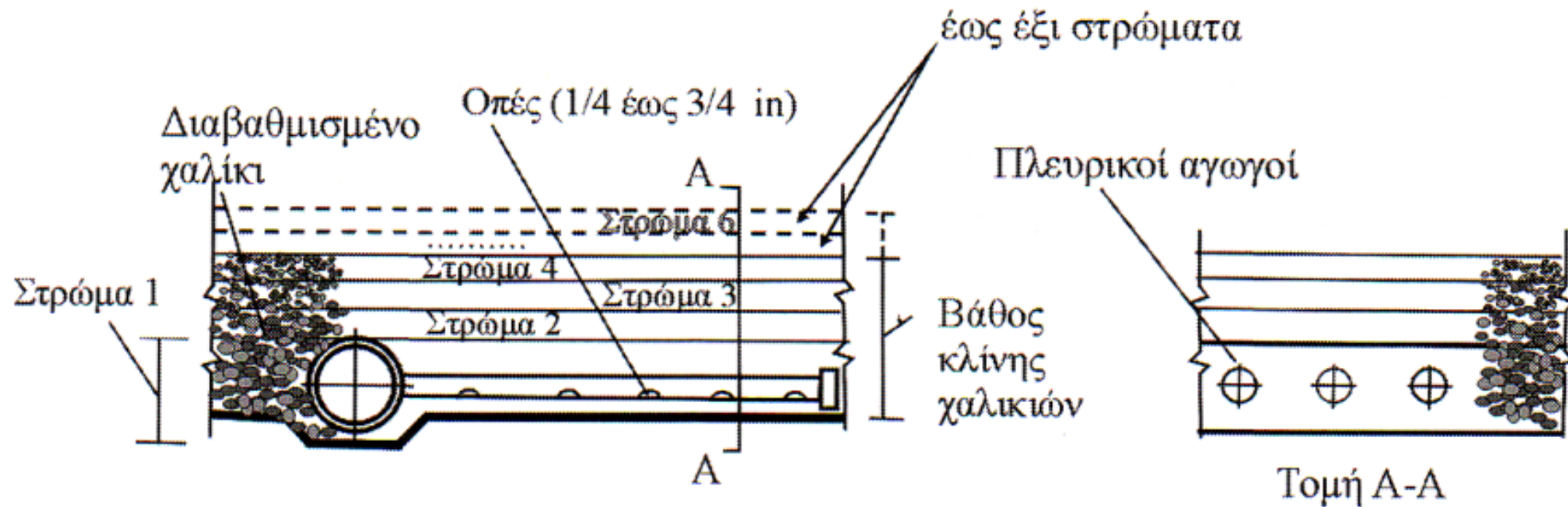
Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

Πυθμένας με δίκτυο σωληνώσεων στράγγισης και κλίνη χαλικιών



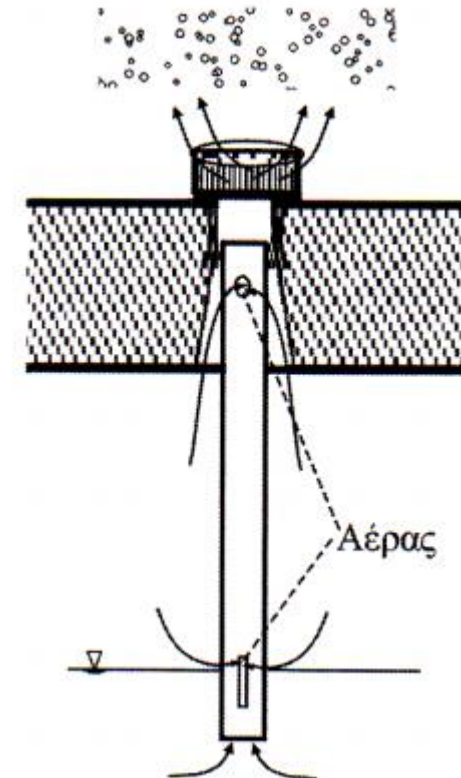
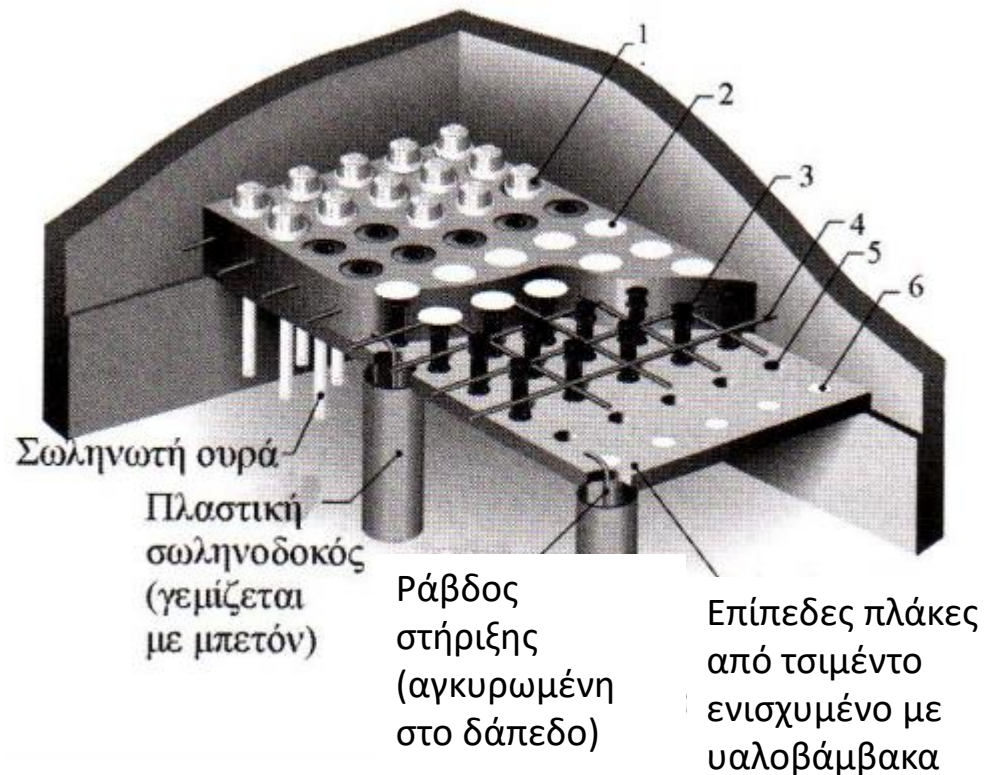
Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

Πυθμένας με δίκτυο σωληνώσεων στράγγισης και κλίνη χαλικιών

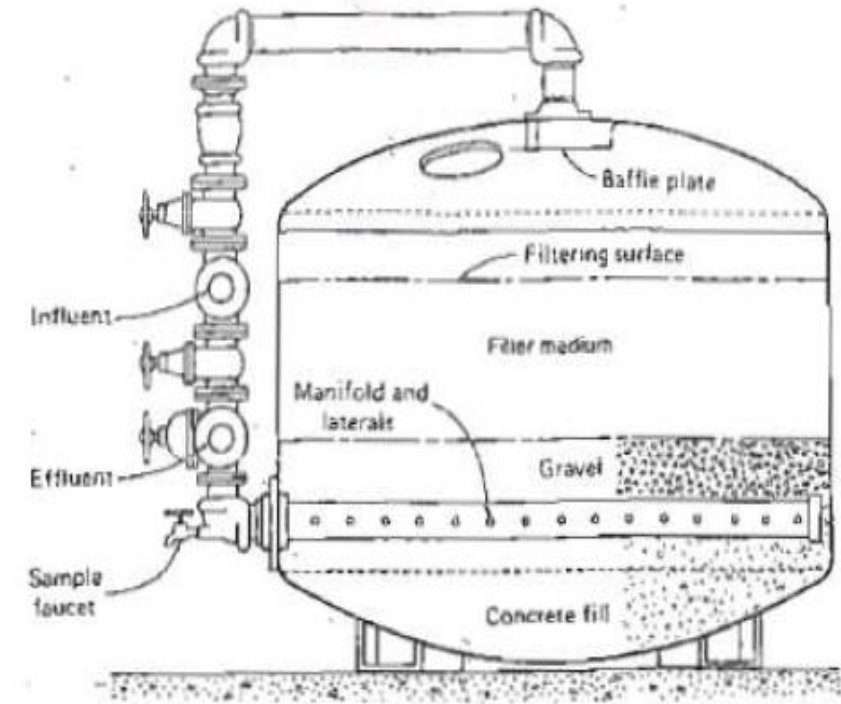
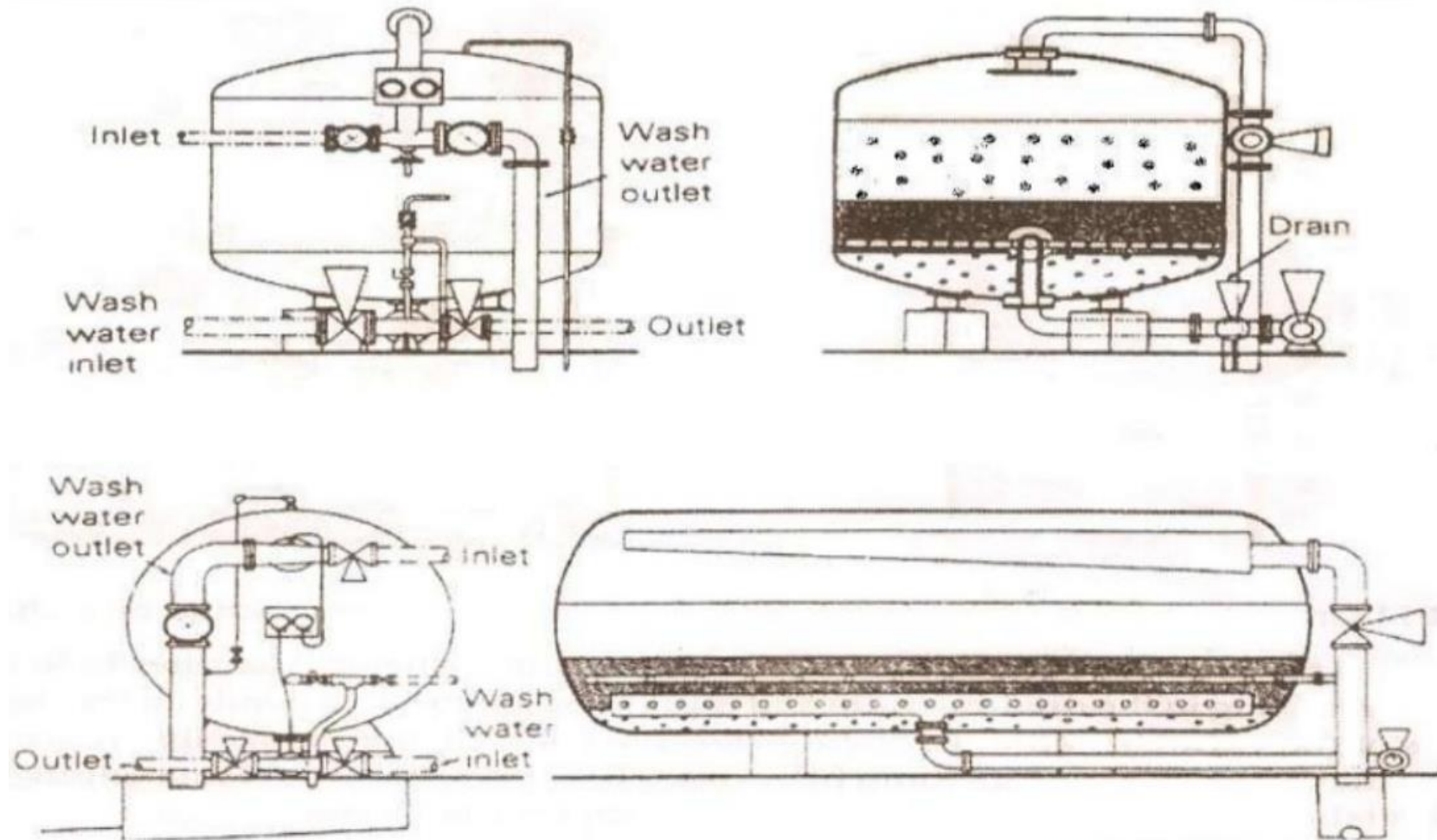


Πυθμένους με διάτρητες κεφαλές στράγγισης – λεπτομέρεια κεφαλής

1. Διάτρητη κεφαλή στράγγισης με πλευρικές σχισμές
2. Προστατευτικό καπάκι
3. Σωληνωτό τμήμα
4. Ράβδοι οπλισμού
5. Δαχτυλίδι με εσωτερικό σπείρωμα
6. Κάλυμμα δαχτυλιδιού



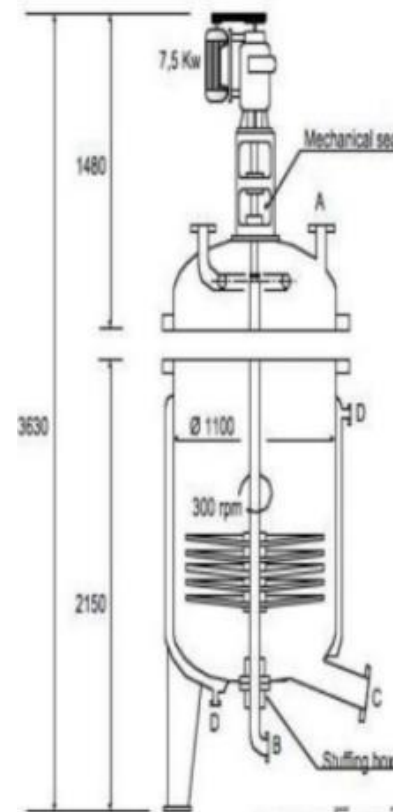
ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΠΙΕΣΗΣ



Pressure filters. Top: Vertical pressure filter, Bottom: Horizontal pressure filter

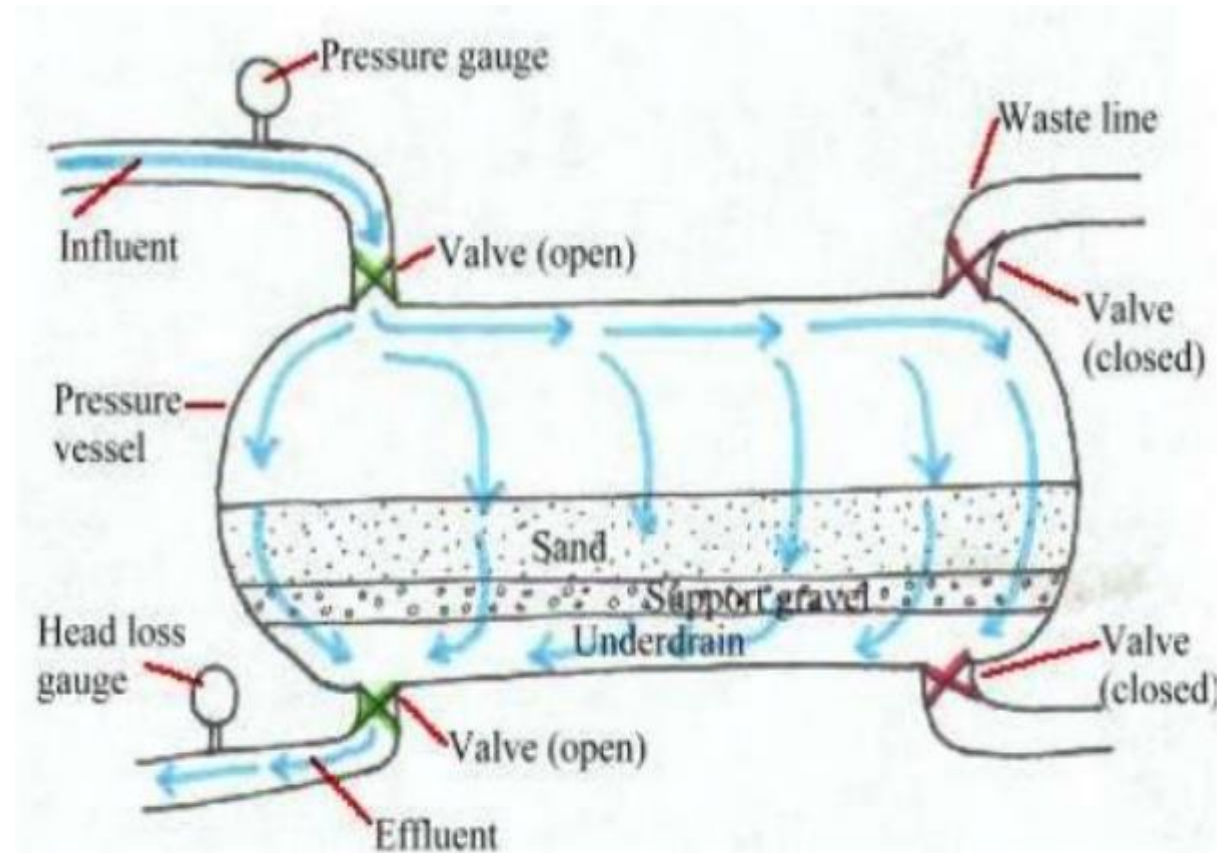
ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΠΙΕΣΗΣ

- κλειστοί κύλινδροι (συνήθως από ατσάλι)
- διάμετρος 1,5-3 m
- μήκος ή ύψος 3,5-8 m
- φρεάτιο επιθεώρησης στην κορυφή
- νερό αναμεμιγμένο με κροκιδωτικά στην εισροή
- καθαρισμός με συμπιεσμένο αέρα για να ταραξει τους κόκκους άμμου
- ρυθμός διήθησης 6000 - 15000 L/hr/m²
- απόδοση: λιγότερο αποδοτικά από τα φίλτρα βραδείας διήθησης

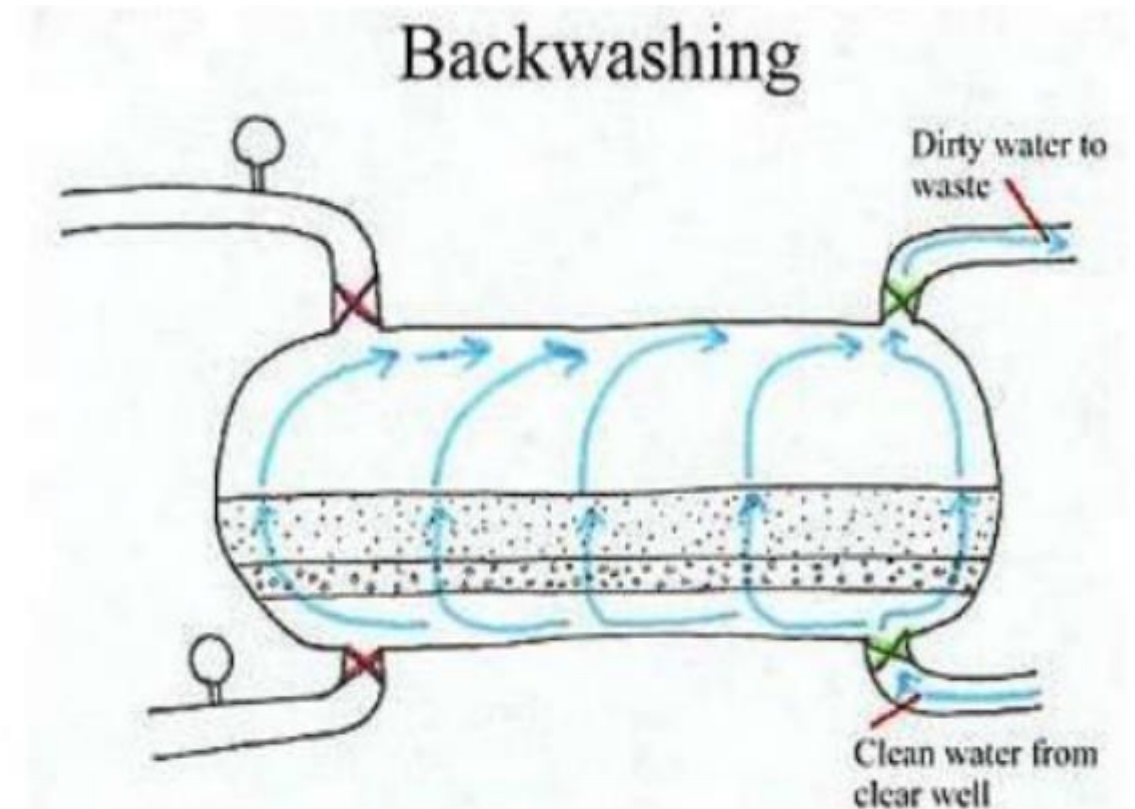


ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΠΙΕΣΗΣ

- καθαρισμός

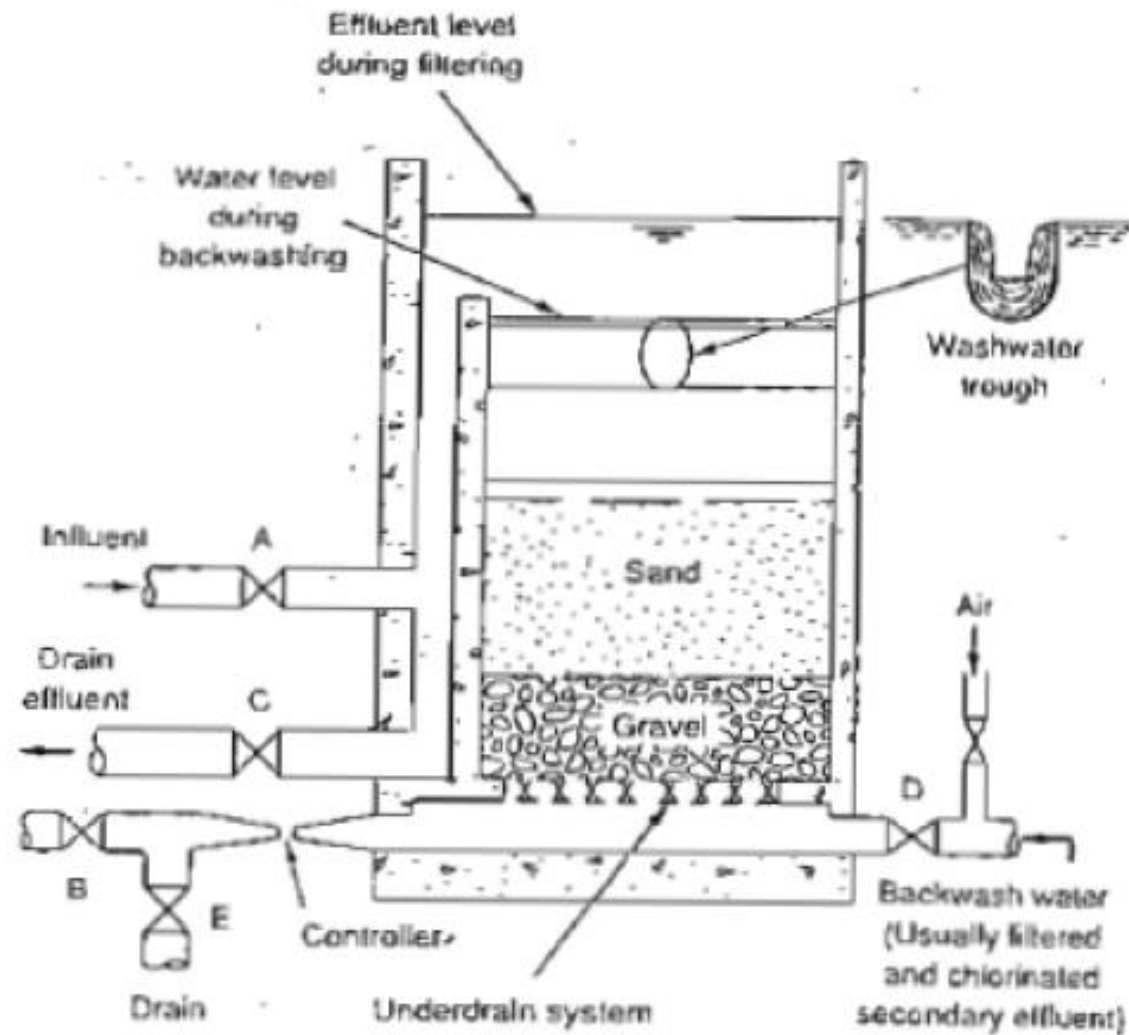


Water passing through a pressure filter in the normal direction.



Water passing through a pressure filter in the reverse direction.

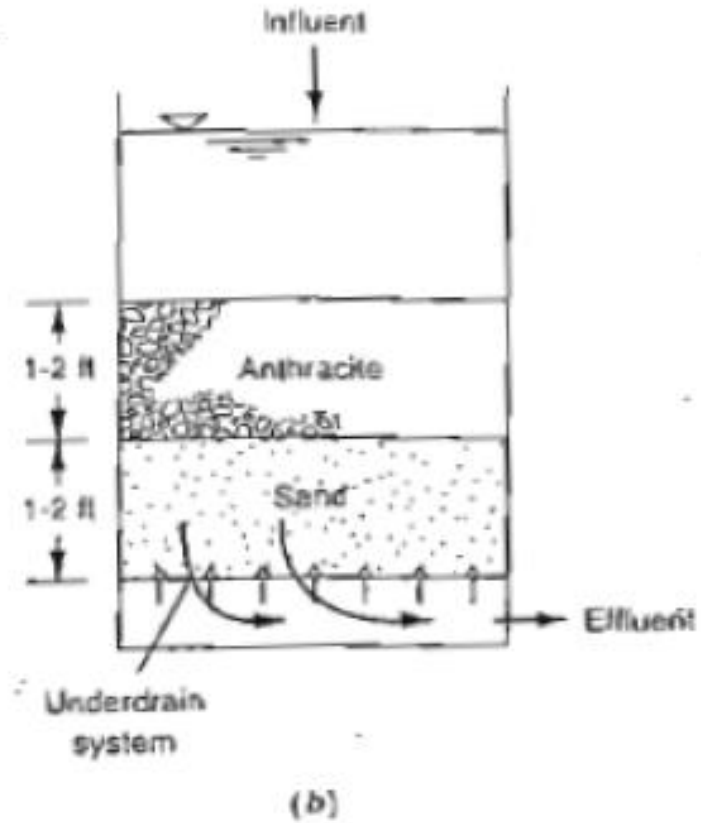
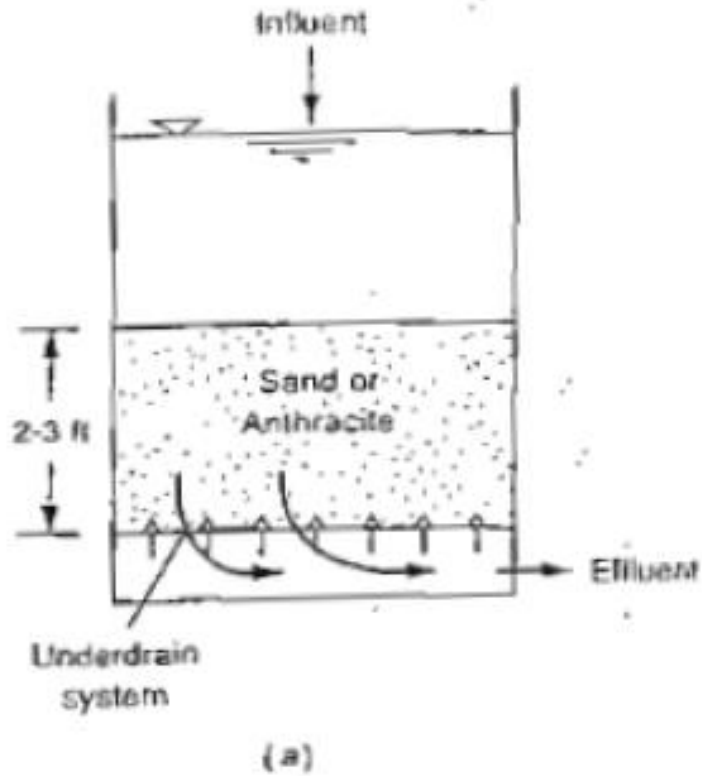
ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΤΟΜΗ ΦΙΛΤΡΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΡΟΗΣ



ΕΙΔΗ ΦΙΛΤΡΩΝ

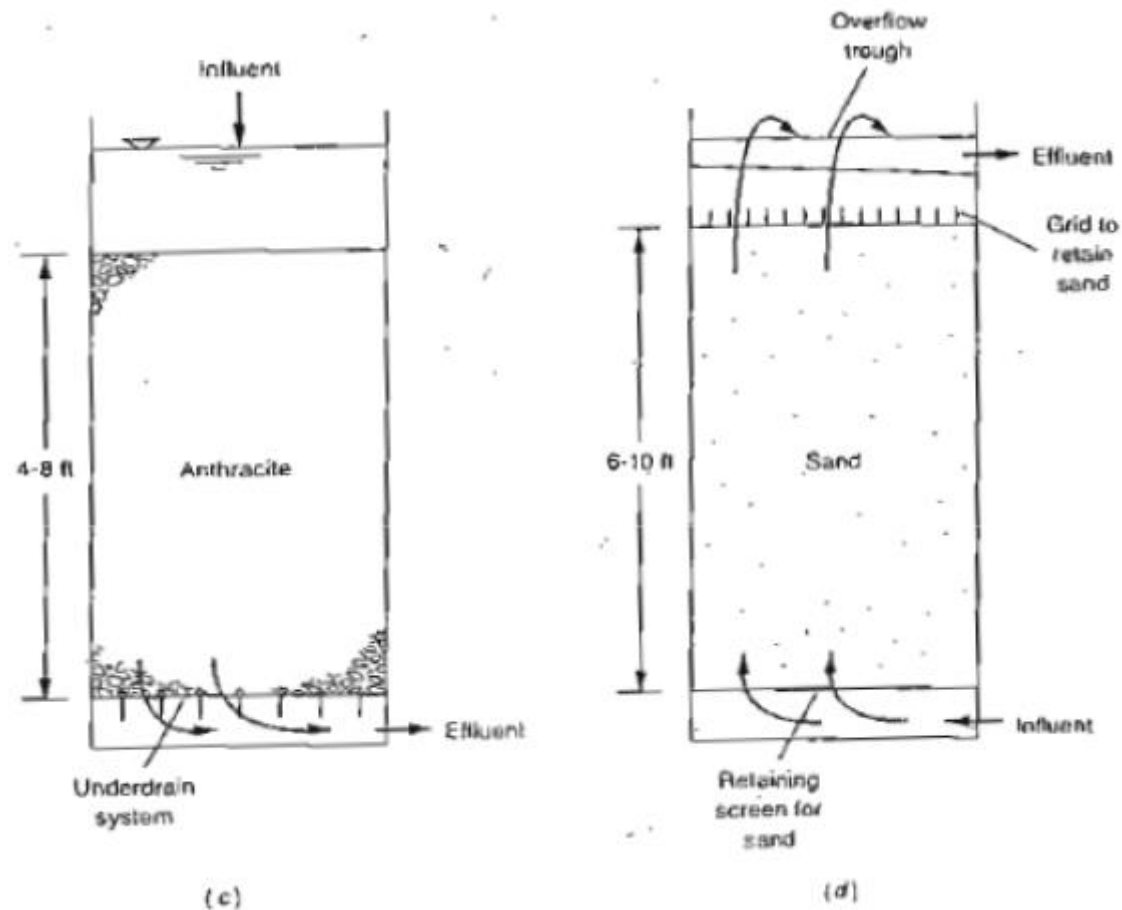
A) μονοστρωματικό καθοδικής ροής

B) διστρωματικό καθοδικής ροής



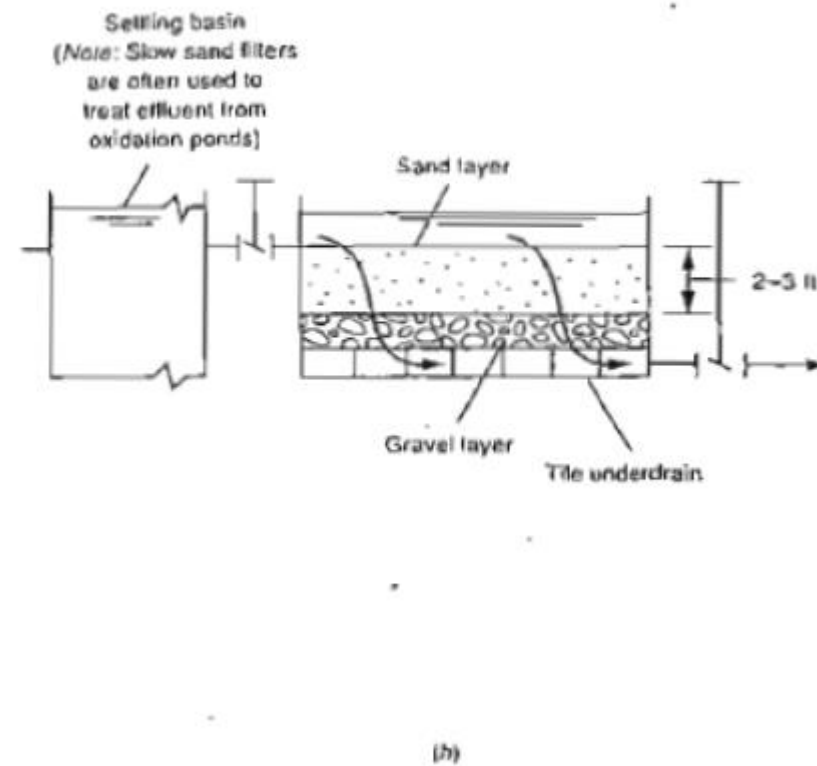
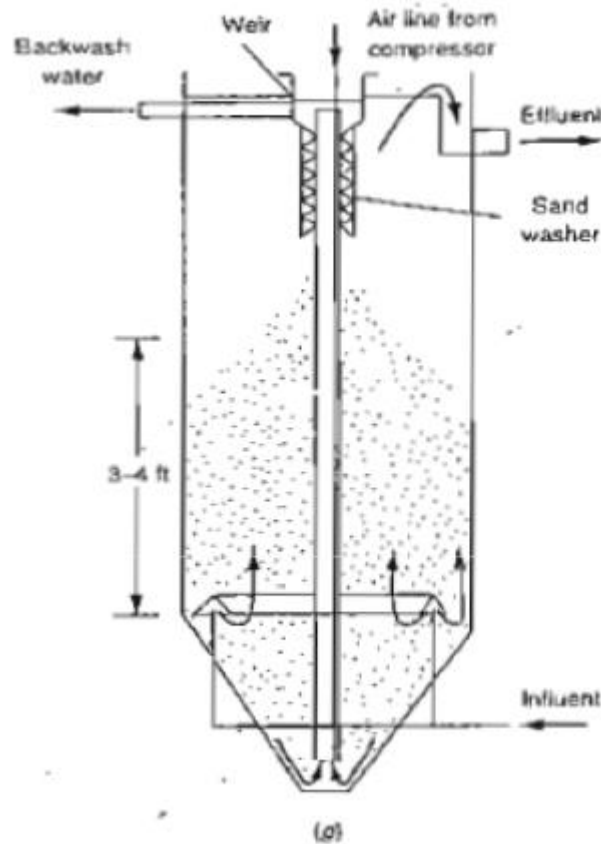
Γ) Μονοστρωματική βαθειά κλίνη καθοδικής ροής

Δ) Μονοστρωματική βαθειά κλίνη ανοδικής ροής



Ε) Φίλτρο ανοδικής ροής με συνεχή πλύση άμμου

Ζ) Φίλτρο άμμου βραδέως ρυθμού διήθησης



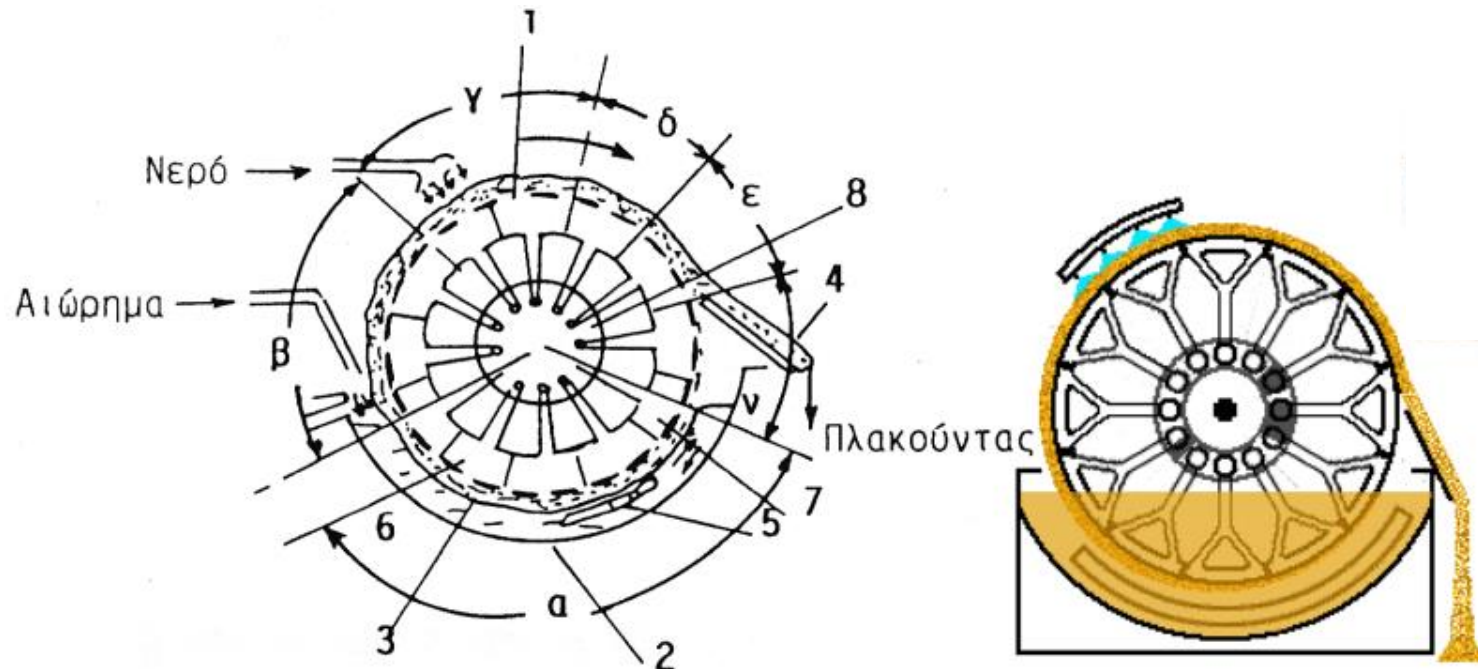
Διήθηση με κενό

- Τυμπανόφιλτρο
- Δισκόφιλτρο
- Φίλτρο οριζόντιας ταινίας

Διήθηση με κενό

Περιστρεφόμενο τυμπανοειδές φίλτρο

(1) Οριζόντιο κυλινδρικό τύμπανο από μεταλλικό πλέγμα επάνω στο οποίο στηρίζεται το διηθητικό μέσο (3). Το τύμπανο περιστρέφεται αργά μέσα στο θάλαμο αιωρήματος (2). Το τύμπανο χωρίζεται σε αριθμό διαμερισμάτων (6) τα οποία διαμέσου σωληνώσεων (7) συνδέονται διαδοχικά με σύστημα κενού, ατμόσφαιρα και σύστημα πεπιεσμένου αέρα

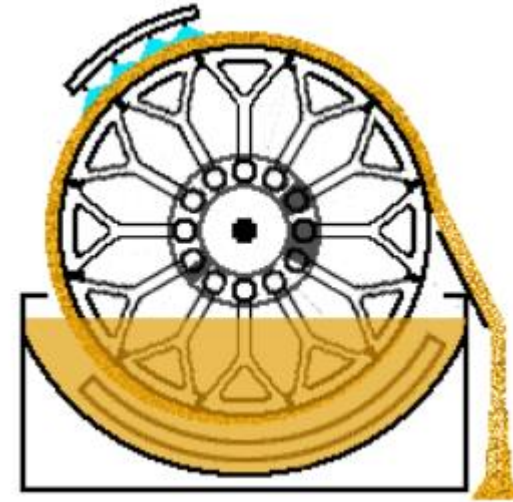


Διήθηση με κενό

Περιστρεφόμενο τυμπανοειδές φίλτρο

Ο κάθε θάλαμος ανά μια περιστροφή περνάει διαδοχικά από τις παρακάτω ζώνες:

- Διήθησης
- Πρώτης ξήρανσης
- Έκπλυσης του πλακούντα
- Δεύτερης ξήρανσης
- Απομάκρυνσης του πλακούντα με ξέστρο

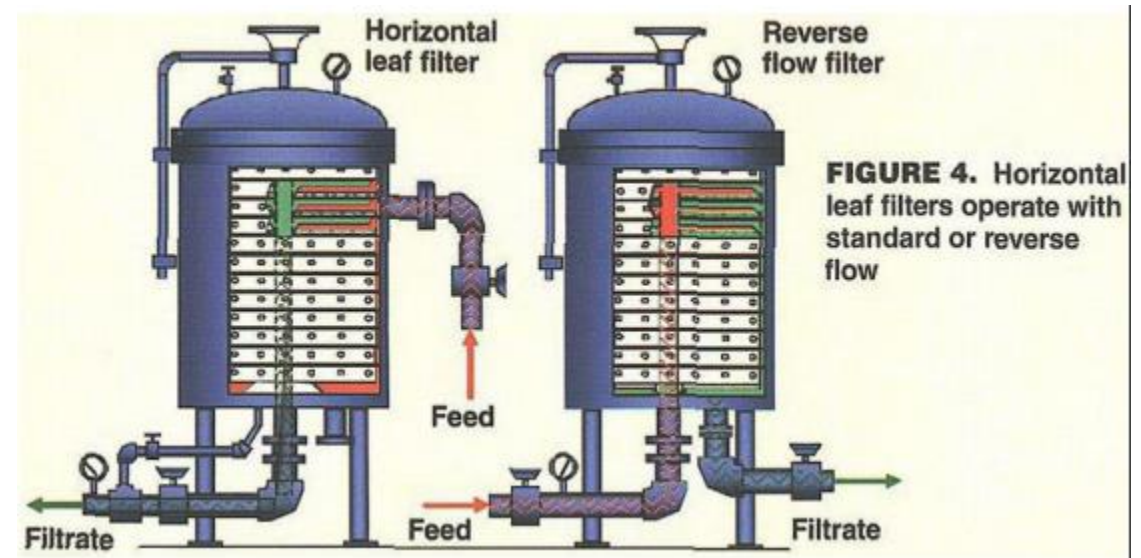
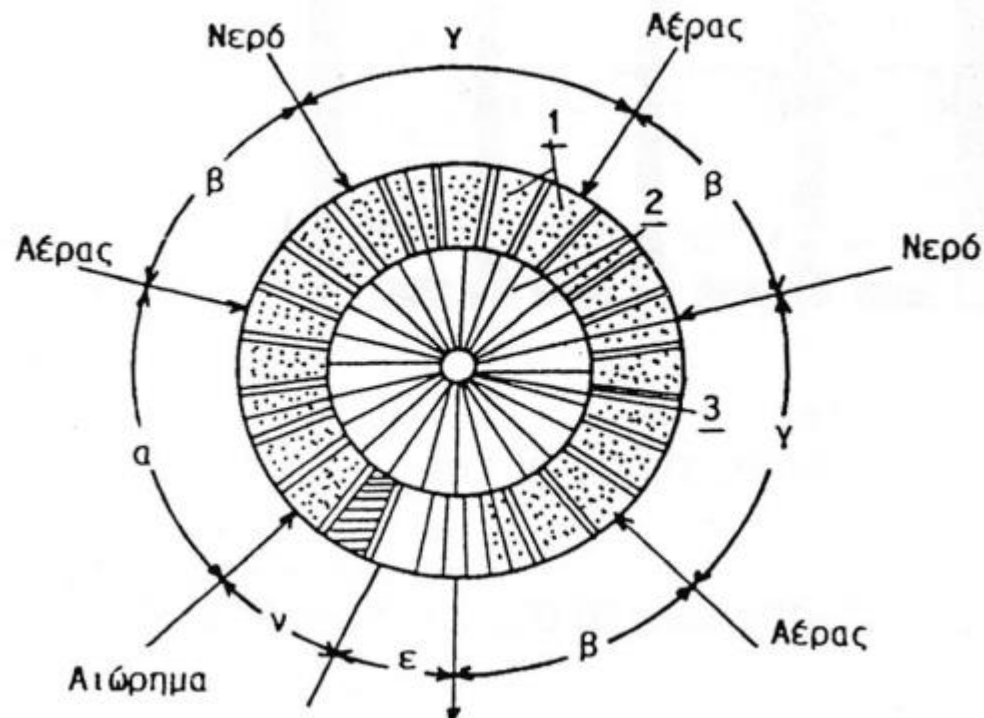


Στο στάδιο πρώτης ξήρανσης ο πλακούντας εκτίθεται στην ατμόσφαιρα και με την επίδραση του κενού ο αέρας εκτοπίζει την υγρή φάση από του πόρους αυτού

Διήθηση με κενό

Φίλτρο Οριζόντιας Ταινίας

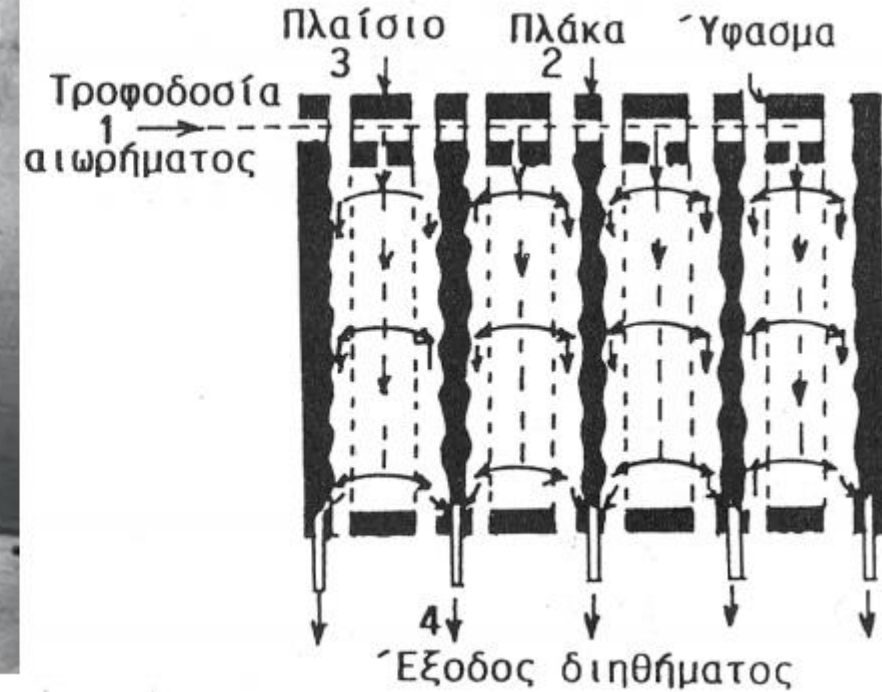
Αποτελείται από σειρά οριζόντιων φίλτρων τύπου Nutsche (δοχεία διήθησης με διάτρητο ή πορώδες πυθμένα) (1), τοποθετημένα κυκλικά τα οποία συνδέονται (2) με το σύστημα κατανομής (3) των υγρών αποβλήτων



Διήθηση με κενό

Φιλτροπρέσες

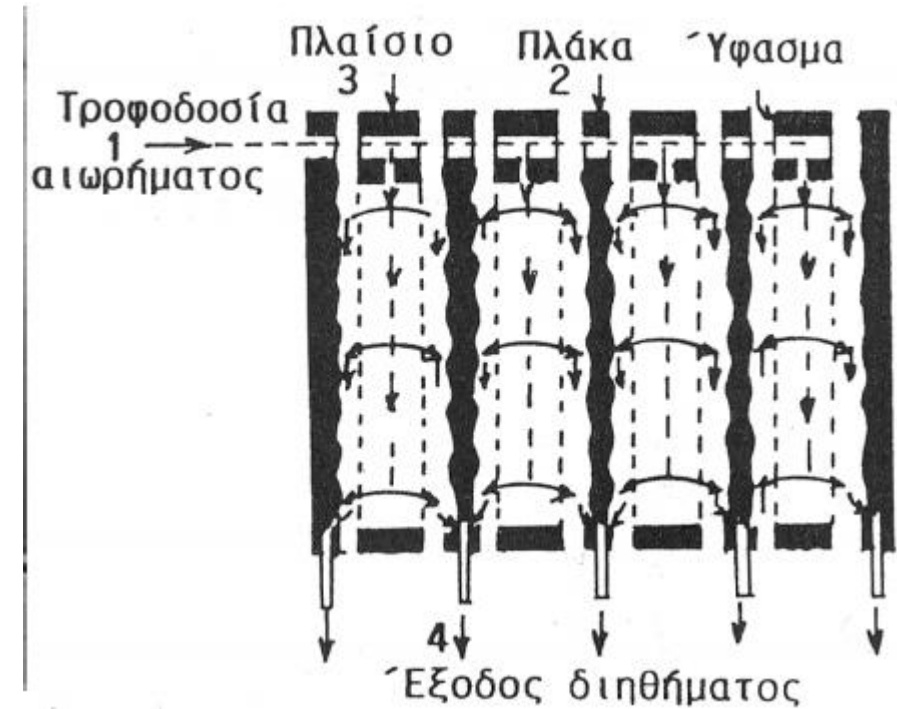
Φίλτρα πρέσεως ασυνεχούς λειτουργίας με ορθογώνια κατεύθυνση βαρύτητας και κίνησης του διηθήματος



Διήθηση με κενό

Φιλτροπρέσες

- Αποτελούνται από σειρά πλακών (2) που φέρουν μεταλλικό πλέγμα και διηθητικό μέσο
- Οι πλάκες εναλλάσσονται με πλαίσια (3) κατάλληλα για σχηματισμό πλακούντα
- Τα προς διήθηση υγρά απόβλητα διαχέονται διαμέσου σωληνώσεων (1) και εισέρχεται στο χώρο των πλαισίων
- Η υγρή φάση διέρχεται από τον πλακούντα και το διηθητικό μέσο εξέρχεται από τις σωληνώσεις (4)
- Την έκπλυση ακολουθεί απομάκρυνση του πλακούντα με πεπιεσμένο αέρα

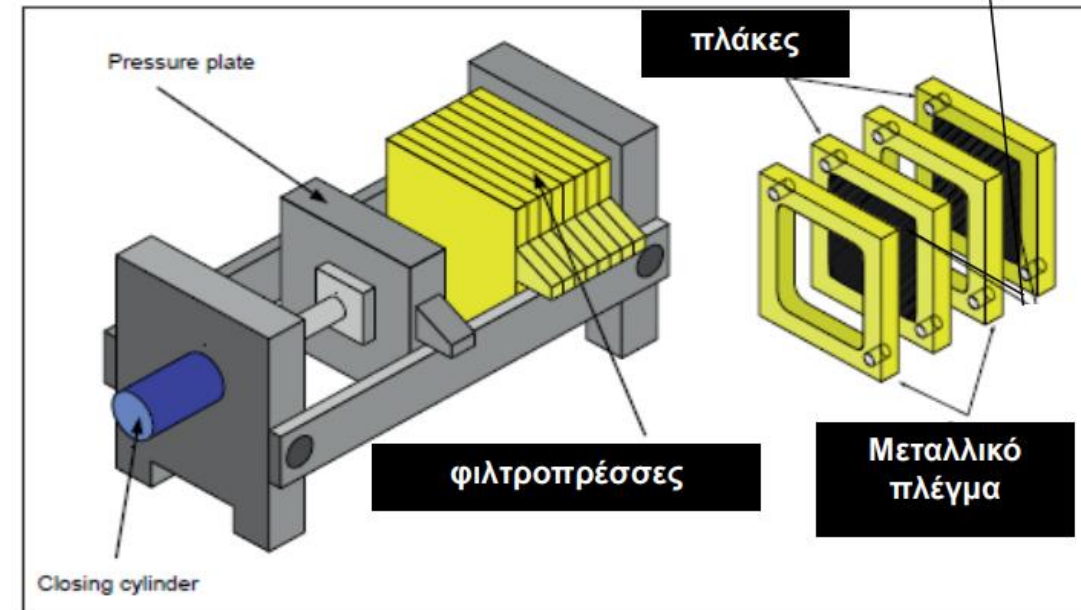


Διήθηση με κενό

Φιλτροπρέσες

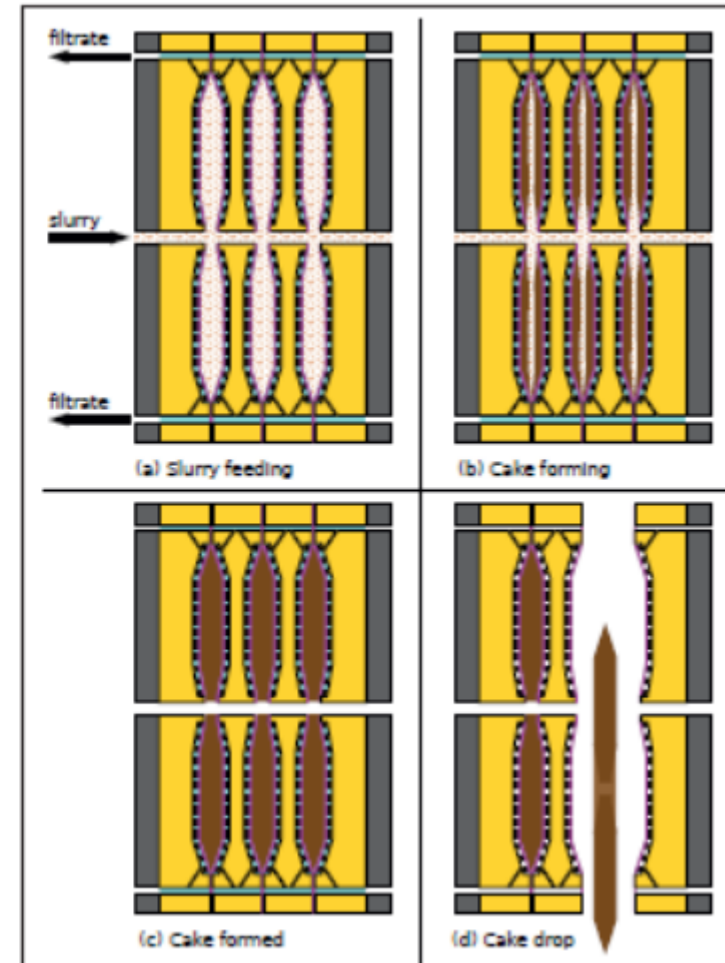
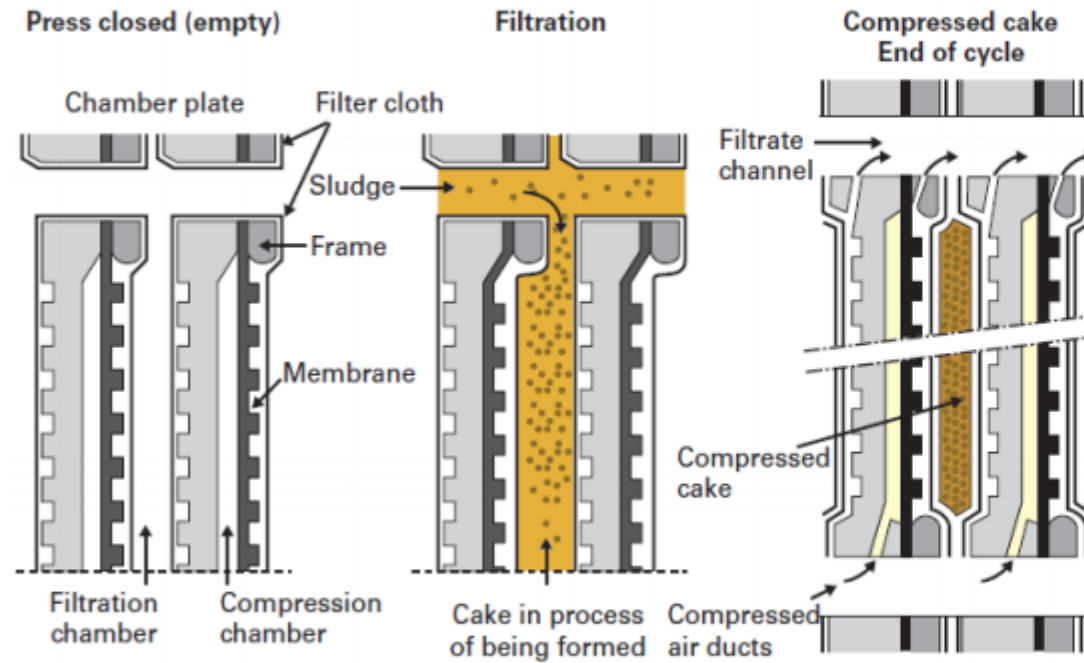


διηθητικό μέσο



Διήθηση με κενό

Φιλτροπρέσες



Χαρακτηριστικά σημαντικότερων ειδών φίλτρων διήθησης

Είδος φίλτρου	Τρόπος λειτουργίας	Είδος κλίνης	Μέσο διήθησης	Διάταξη μέσου	Κατεύθυνση ροής	Αντίστροφη πλύση	Παροχή κατά τη διήθηση	Παρατηρήσεις
Συμβατικό	Ημισυνεχής	Ενός μέσου	Άμμος ή ανθρακίτης	Στρωματοποιημένη ή μη	Προς τα κάτω	Ασυνεχής	Σταθερή / μεταβλητή	Ταχεία ανάπτυξη πτώσης πίεσης
Συμβατικό	Ημισυνεχής	Δύο μέσων	Άμμος και ανθρακίτης	Στρωματοποιημένη	Προς τα κάτω	Ασυνεχής	Σταθερή / μεταβλητή	Μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας πριν την πλύση
Βαθείας κλίνης	Ημισυνεχής	Ενός μέσου	Άμμος ή ανθρακίτης	Στρωματοποιημένη ή μη	Προς τα κάτω	Ασυνεχής	Σταθερή / μεταβλητή	
Βαθείας κλίνης	Ημισυνεχής	Ενός μέσου	Άμμος ή ανθρακίτης	Στρωματοποιημένη	Προς τα πάνω	Ασυνεχής	Σταθερή	
Βαθείας κλίνης	Συνεχής	Ενός μέσου	Άμμος	Μη στρωματοποιημένη	Προς τα πάνω	Συνεχής	Σταθερή	Η άμμος κινείται συνεχώς κατ' αντιστροφή με το νερό
Παλμική κλίνη	Ημισυνεχής	Ενός μέσου	Άμμος	Στρωματοποιημένη	Προς τα κάτω	Ασυνεχής	Σταθερή	Περιοδική παροχή αέρα διασπά το επιφανειακό φίλμ
Κινητής γέφυρας	Συνεχής	Ενός μέσου	Άμμος	Στρωματοποιημένη	Προς τα κάτω	Ημισυνεχής	Σταθερή	Επιμέρους τμήματα του φίλτρου εκπλύονται διαδοχικά
Κινητής γέφυρας	Συνεχής	Δύο μέσων	Άμμος και ανθρακίτης	Στρωματοποιημένη	Προς τα κάτω	Ημισυνεχής	Σταθερή	Επιμέρους τμήματα του φίλτρου εκπλύονται διαδοχικά

Προσδιορίστε το ποσοστό του διηθημένου νερού που απαιτείται για αντίστροφη πλύση με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

Παροχή, Q_f	=	250 L/s
Ρυθμός διήθησης, v_{of}	=	150 m ³ /m ² /day
Χρόνος πλυσίματος	=	10 min/24 hr
Ρυθμός πλυσίματος, v_{oBW}	=	15 mm/s

1) Ποσότητα διηθημένου νερού για κάθε 24 ώρες λειτουργίας:

$$V = Q \cdot t = (250 \text{ L/s} \times 24 \text{ hr} \times 60 \text{ s/min} \times 60 \text{ min/hr} \times \text{m}^3/10^3 \text{ L}) = 21600 \text{ m}^3$$

2) Επιφάνεια φίλτρου A_s

$$\begin{aligned} A_s &= Q_f / v_{of} \\ &= (250 \text{ L/s}) / (150 \text{ m/day}) = 144 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Προσδιορίστε το ποσοστό του διηθημένου νερού που απαιτείται για αντίστροφη πλύση με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

Παροχή, Q_f	=	250 L/s
Ρυθμός διήθησης, v_{of}	=	150 m ³ /m ² /day
Χρόνος πλυσίματος	=	10 min/24 hr
Ρυθμός πλυσίματος, v_{BW}	=	15 mm/s

3) Ποσότητα νερού πλυσίματος:

$$Q_{BW} = A_s \times v_{BW} = 144 \text{ m}^2 \times 15 \text{ mm/s} = 129,6 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$V_{BW} = (129,6 \text{ m}^3/\text{min}) \times 10 \text{ min} = 1296 \text{ m}^3$$

4) Ποσοστό διηθημένου νερού που απαιτείται για την πλύση

$$V_{BW} / V_f = (1296 / 21600) \times 100 = 6\%$$

Για μια νέα μονάδα επεξεργασίας, ένα φίλτρο αργής διήθησης θα τοποθετηθεί με ρυθμό φόρτισης $200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. Πόση πρέπει να είναι η επιφάνεια του φίλτρου για μια παροχή $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$; Αν η επιφάνεια ανά δεξαμενή φίλτρου πρέπει να περιοριστεί στα 50 m^2 , πόσες δεξαμενές φίλτρων θα χρειαστούν;

1) Επιφάνεια φίλτρου A_s

$$A_s = \frac{Q}{v_a} = \frac{\left(0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \left(86400 \frac{\text{s}}{\text{d}}\right)}{200 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}}} = 216 \text{ m}^2$$

Αν η μέγιστη επιφάνεια είναι 50 m^2 , θα χρειαστούν $216/50 = 4,32$ μονάδες φίλτρων.

Για μια νέα μονάδα επεξεργασίας, ένα φίλτρο αργής διήθησης θα τοποθετηθεί με ρυθμό φόρτισης $200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. Πόση πρέπει να είναι η επιφάνεια του φίλτρου για μια παροχή $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$; Αν η επιφάνεια ανά δεξαμενή φίλτρου πρέπει να περιοριστεί στα 50 m^2 , πόσες δεξαμενές φίλτρων θα χρειαστούν;

Αν η μέγιστη επιφάνεια είναι 50 m^2 , θα χρειαστούν $216/50 = 4,32$ μονάδες φίλτρων.

Εφόσον δεν μπορούμε να χτίσουμε $0,32$ φίλτρα, θα κάνουμε στρογγυλοποίηση. Εδώ, θα φτιάξουμε 4 φίλτρα και θα ελέγχουμε αν οι ρυθμοί φόρτισης υπερβαίνουν τις μέγιστες τιμές. Για 4 φίλτρα ο ρυθμός φόρτισης θα πρέπει να είναι

$$A_s = \frac{Q}{v_a} \rightarrow v_a = \frac{Q}{A_s} = \frac{\left(0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \left(86400 \frac{\text{s}}{\text{d}}\right)}{(4 \text{ φίλτρα}) \left(50 \frac{\text{m}^2}{\text{φίλτρο}}\right)} = 216 \text{ m/d}$$

Για μια νέα μονάδα επεξεργασίας, ένα φίλτρο αργής διήθησης θα τοποθετηθεί με ρυθμό φόρτισης $200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. Πόση πρέπει να είναι η επιφάνεια του φίλτρου για μια παροχή $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$; Αν η επιφάνεια ανά δεξαμενή φίλτρου πρέπει να περιοριστεί στα 50 m^2 , πόσες δεξαμενές φίλτρων θα χρειαστούν;

Η τιμή αυτή είναι μικρότερη της οδηγίας για **max 235 m/d** και είναι αποδεκτή.

Όμως σε πολλές περιπτώσεις, απαιτείται η χωρητικότητα των φίλτρων να είναι επαρκής για να επεξεργαστούν την παροχή με μια μονάδα φίλτρου εκτός λειτουργίας. Γι' αυτό ελέγχουμε τη φόρτιση με 3 φίλτρα

$$A_s = \frac{Q}{v_a} \rightarrow v_a = \frac{Q}{A_s} = \frac{\left(0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \left(86400 \frac{\text{s}}{\text{d}}\right)}{(3 \text{ φίλτρα}) \left(50 \frac{\text{m}^2}{\text{φίλτρο}}\right)} = 288 \text{ m/d}$$

Για μια νέα μονάδα επεξεργασίας, ένα φίλτρο αργής διήθησης θα τοποθετηθεί με ρυθμό φόρτισης $200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. Πόση πρέπει να είναι η επιφάνεια του φίλτρου για μια παροχή $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$; Αν η επιφάνεια ανά δεξαμενή φίλτρου πρέπει να περιοριστεί στα 50 m^2 , πόσες δεξαμενές φίλτρων θα χρειαστούν;

Η τιμή αυτή (288) υπερβαίνει την οδηγία για τη μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση ($235 \text{ m}^3/\text{d}$).

Αν η τιμή της μονάδας (50 m^2) δεν μπορεί να αλλαχθεί, θα πρέπει να πάρουμε και 4η μονάδα φίλτρου.

Σχεδιάστε ένα φίλτρο άμμου ταχείας διήθησης για την επεξεργασία παροχής 100.000 m³/day.

Τα φίλτρα είναι ρυθμισμένα να λειτουργούν 18 ώρες/ημέρα.

Υποθέστε επιφάνεια 5 x 8 m.

Πόσες μονάδες φίλτρων θα απαιτούνται;

Μια **στερεή κλίνη** (fixed or packed bed) είναι μια κλίνη με πληρωτικό υλικό σωματίδια (π.χ. κόκκοι άμμου, ανθρακίτη) διαφόρων κοκκομετριών και βρίσκει εφαρμογές στην διήθηση του νερού, στην προσρόφηση, στις καταλυτικές αντιδράσεις και γενικά σε διεργασίες διαχωρισμού σωματιδίων.

Ρευστοποιημένη κλίνη είναι η κλίνη σωματιδίων τα οποία κινούνται τυχαία και ασταμάτητα μέσα στην κλίνη με την βοήθεια μιας ρευστής φάσης.

Τα διηθητικά μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η χαλαζιακή άμμος και ο ανθρακίτης, ενώ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και άλλα υλικά όπως είναι ο ενεργός άνθρακας, ύφασμα, χαρτί, υαλοβάμβακας.

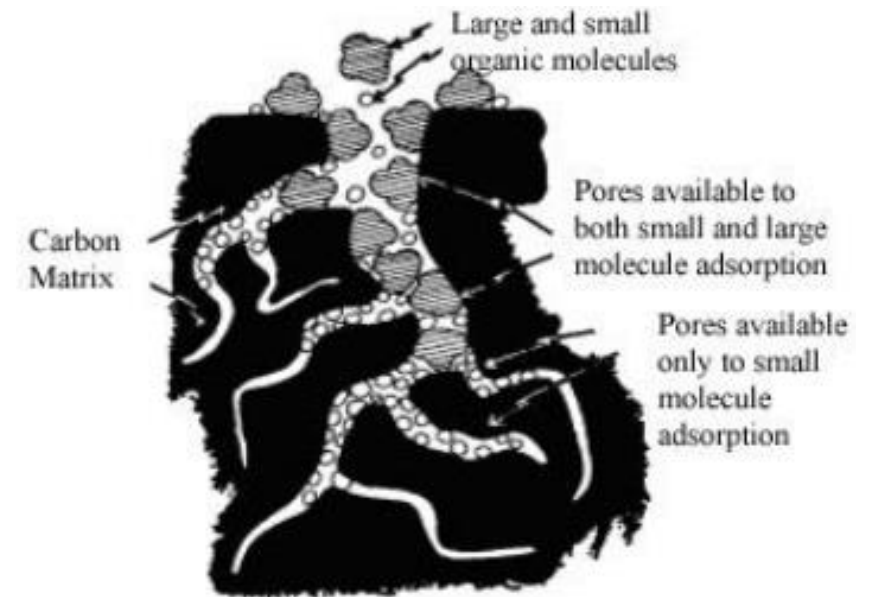
Για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων συνήθως χρησιμοποιούνται κλίνες διήθησης με δύο ή τρία διηθητικά μέσα, όπως:

- Ανθρακίτης και άμμος
- Ενεργός άνθρακας και άμμος
- Ανθρακίτης, άμμος και γρανίτης
- Ενεργός άνθρακας, ανθρακίτης και άμμος
- Ενεργός άνθρακας, άμμος και γρανίτης



Οι ιδιότητες που πρέπει να έχει ένα υλικό για να χρησιμοποιηθεί σαν μέσο διήθησης είναι:

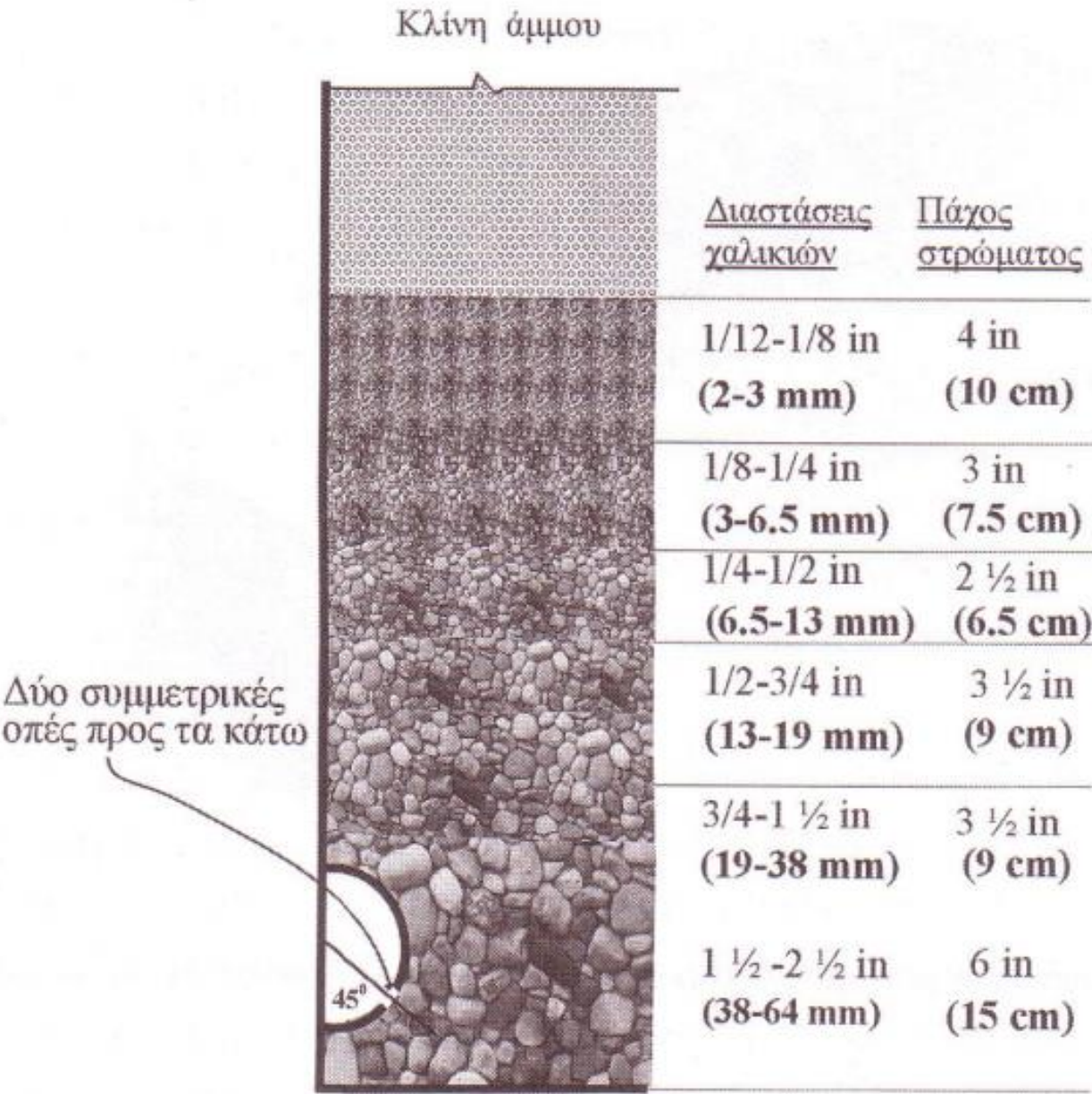
- ✓ Να υποβοηθά τη δημιουργία λεπτού πλακούντα
- ✓ Να συγκρατεί τον πλακούντα και να διευκολύνει την απομάκρυνσή του μετά την χρήση
- ✓ Να είναι μη τοξικό και χημικά συμβατό με το υλικό που θα διηθηθεί
- ✓ Να προβάλλει μικρή αντίσταση στη ροή
- ✓ Να είναι ανθεκτικό για να συγκρατεί τον πλακούντα
- ✓ Να μην είναι ιδιαίτερα ακριβό



Τυπικά χαρακτηριστικά συνηθισμένων διηθητικών υλικών

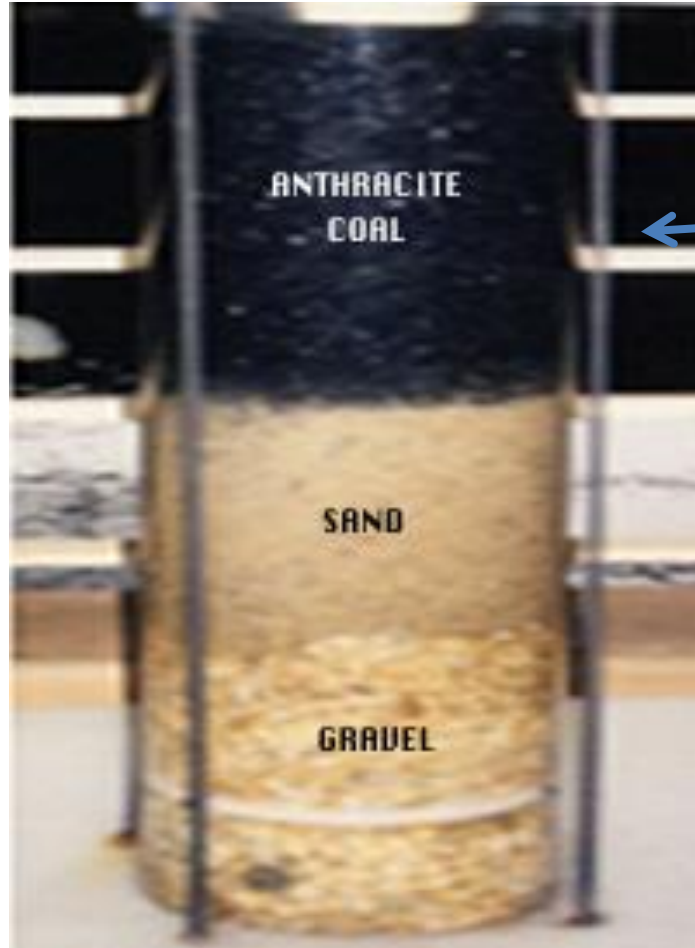
Υλικό	Πυκνότητα (g/cm ³)	Πορώδες	Σφαιρικότητα
Πυριτική άμμος	2,65	0,42-0,47	0,7-0,85
Ανθρακίτης	1,4-1,73	0,50-0,55	0,7-0,75
Υδροανθρακίτης	1,74		0,65
Κοκκώδης ενεργός άνθρακας	1,3-1,5	0,50	0,75
Γρανάτης	3,6-4,2	0,45-0,55	0,60-0,65
Ιλμενίτης	4,2-4,6		

-Διαβαθμισμένη κλίση χαλικιών



ΠΛΗΡΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΦΙΛΤΡΩΝ

Το διηθητικό υλικό είναι το μέρος του φίλτρου που πραγματικά απομακρύνει τα σωματίδια από το νερό



← Η εφαρμογή της στρώσης ανθρακίτη παρέχει μεγαλύτερο ρυθμό διήθησης και μεγαλύτερο χρόνο λειτουργίας από ότι μόνο η στρώση άμμου

Οι φυσικές ιδιότητες των πληρωτικών υλικών επηρεάζουν το πορώδες της κλίνης, τη λειτουργία της διήθησης καθώς και τη λειτουργία της πλύσης κατ' αντιρροή (αντίστροφη πλύση).

Οι σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες είναι οι εξής:

- 1) Μέγεθος κόκκων
- 2) Σχήμα κόκκων
- 3) Πυκνότητα διηθητικού μέσου

1) Μέγεθος κόκκων

Οι κόκκοι του διηθητικού μέσου δεν έχουν όλοι το ίδιο μέγεθος αλλά παρουσιάζουν μια κατανομή μεγέθους σωματιδίων, η οποία προσδιορίζεται με κοκκομετρική ανάλυση. Για το χαρακτηρισμό του μεγέθους των κόκκων χρησιμοποιούνται δύο χαρακτηριστικά μεγέθη:

Ενεργό μέγεθος E (d_{10}): Η διάμετρος εκείνη από την οποία το 10% κατά βάρος του υλικού έχει μικρότερη διάμετρο.

Συντελεστής ομοιομορφίας ($U=d_{60}/d_{10}$): είναι το πηλίκο της διαμέτρου από την οποία το 60% κατά βάρος του υλικού έχει μικρότερη διάμετρο διά του ενεργού μεγέθους.

Ο συντελεστής ομοιομορφίας κυμαίνεται συνήθως από **1,2 έως 1,8**.

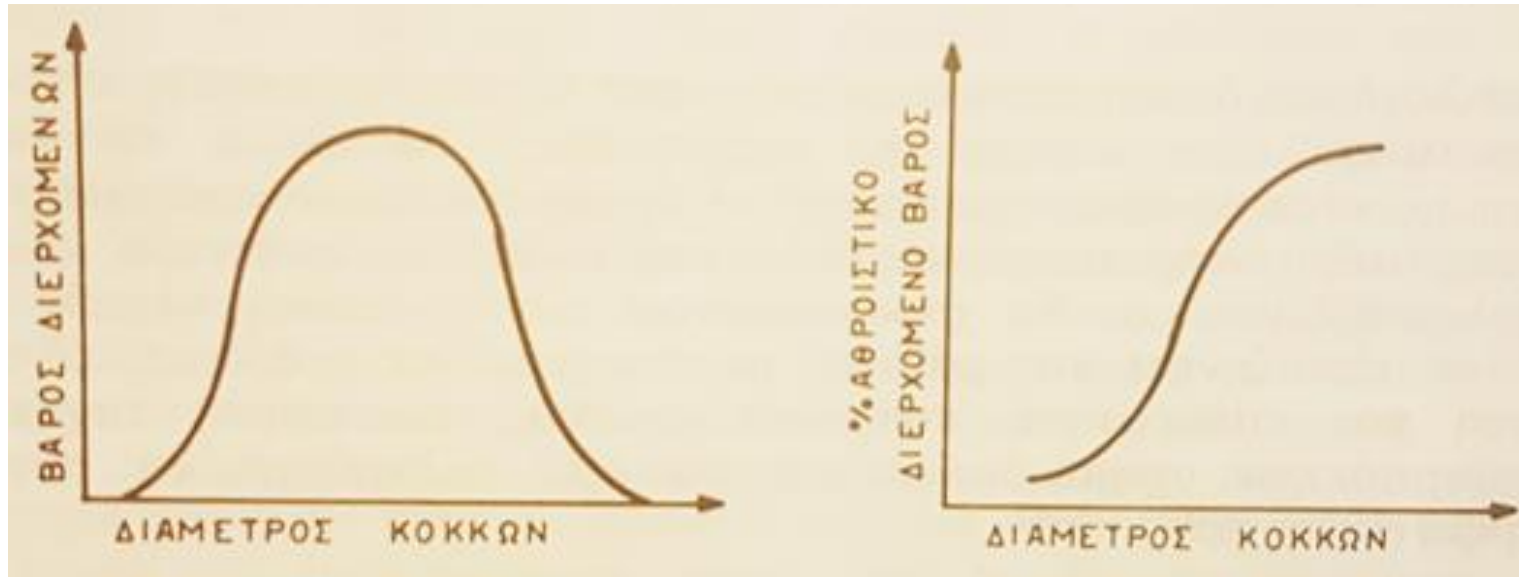
Για τον ορισμό του μεγέθους που αντιστοιχεί στο 90% των διερχομένων μπορεί να

χρησιμοποιηθεί και η $D_{90} = D_{10} 10^{1,67 \log U}$

Το μέγεθος και η κατανομή των κόκκων προσδιορίζονται με κοκκομετρική ανάλυση με διαδοχική κοσκίνιση προζυγισμένης ξηρής ποσότητας.

Αν τα αποτελέσματα εκφρασθούν ως % βάρος που παραμένει σε κάθε κόσκινο σε σχέση με το άνοιγμα της βροχίδας του κοσκίνου, προκύπτει καμπύλη (κανονική κατανομή).

Αν τα αποτελέσματα αποδοθούν αθροιστικά, η καμπύλη είναι σιγμοειδής.

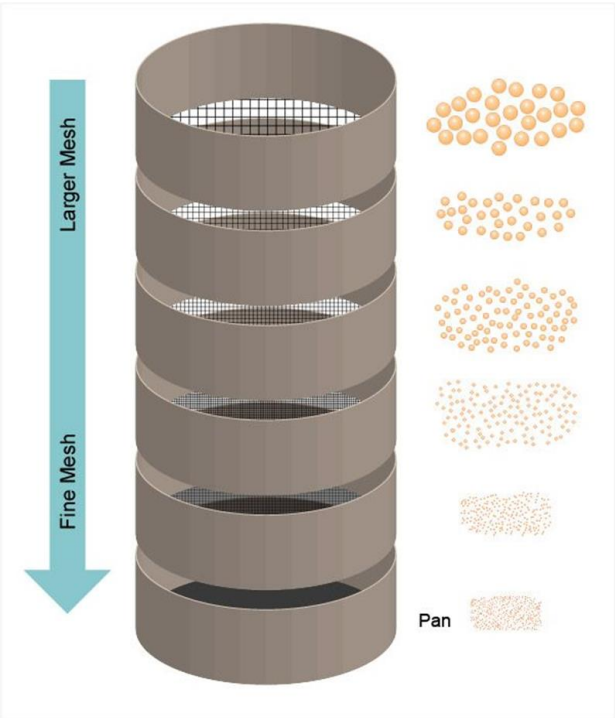


Καμπύλες κοκκομετρικής ανάλυσης διηθητικού υλικού

ΠΛΗΡΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΦΙΛΤΡΩΝ

U.S. Standard Sieve Series

Τυπική σειρά ανάλυσης κοσκίνων στις ΗΠΑ



Αριθμός αναφοράς κοσκίνου	Άνοιγμα κοσκίνου (mm)
200	0,074
140	0,105
100	0,149
70	0,210
50	0,297
40	0,42
30	0,59
Αριθμός αναφοράς κοσκίνου	Άνοιγμα κοσκίνου (mm)
20	0,84
18	1,00
16	1,19
12	1,68
8	2,38
6	3,36
4	4,76

2) Σχήμα κόκκων

Το σχήμα των κόκκων του διηθητικού μέσου επηρεάζει τις συνθήκες ροής μέσα στο φίλτρο. Κόκκοι με ακανόνιστο σχήμα δημιουργούν μεγαλύτερα διάκενα (πορώδες) στην κλίνη, με αποτέλεσμα η κλίνη να εμφανίζει μικρότερη πτώση πίεσης στη ροή του νερού.

Ο παράγοντας σχήματος (σ_s) καθορίζει σε τι βαθμό είναι ακανόνιστο το σχήμα των κόκκων.

Ο παράγοντας σχήματος ορίζεται ως $6/\Phi$, όπου Φ η σφαιρικότητα των κόκκων.

Οι τιμές του παράγοντα σχήματος κυμαίνονται από 6 (για σφαιρικά σωματίδια) έως 8,5 (για κόκκους που προήλθαν από θραύση).

Σφαιρικότητα (Φ) είναι ο λόγος της επιφάνειας μίας σφαίρας που έχει ίδιο όγκο με το σωματίδιο, προς την επιφάνεια του σωματιδίου.

2) Σχήμα κόκκων

Σφαιρικότητα (Φ): τιμές από 0-1

Επειδή είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η επιφάνεια αυτή, χρησιμοποιείται και ο ακόλουθος ορισμός: το πηλίκο της διαμέτρου που έχει σφαιρικό στερεό με όγκο ίσο με του στερεού (D_e) προς τη μέση διάμετρο του στερεού (D_s), δηλ D_e/D_s .

Υψηλότερη: αλλουβιακές άμμοι

Χαμηλή: υλικά από θρυμματισμό, πχ ανθρακίτης, ιλμενίτης, μερικοί γρανίτες.

Σχήμα	Σφαιρικότητα ψ	Συντελεστής σχήμα	Τυπικό πορώδες
Σφαιρικό	1,00	6,0	0,38
Κυλινδρικό	0,98	6,1	0,38
Φθαρμένο	0,94	6,4	0,39
Αιχμηρό	0,81	7,4	0,40
Γωνιώδες	0,78	7,7	0,43
Κονιοποιημένο	0,71	8,5	0,48

Το μέγεθος καθώς και το σχήμα των κόκκων του διηθητικού μέσου καθορίζει το **πορώδες** της κλίνης, δηλαδή το λόγο του κενού χώρου (διάκενων) της κλίνης προς τον ολικό όγκο που καταλαμβάνει η κλίνη.

Το πορώδες επηρεάζει επηρεάζει το βαθμό κατακράτησης των στερεών σωματιδίων καθώς και τις συνθήκες ροής.

Τυπικές τιμές πορώδους:

0,40 – για μικρούς σφαιρικούς ή λείους κόκκους

0,50 – για μεγάλους ακανόνιστου σχήματος κόκκους (πχ. κόκκοι που προήλθαν από θραύση)

Για τα μεγέθη και συχνότητες μεγεθών κατά βάρος και αριθμό δείγματος άμμου στον πίνακα, βρείτε το ενεργό μέγεθος E και το συντελεστή ομοιομορφίας U

Αριθμός αναφοράς κοσκίνου (US Standard Sieve No)	Ανάλυση άμμου (αθροιστική μάζα % που διαπερνά)
140	0,2
100	0,9
70	4,0
50	9,9
40	21,8
30	39,4
20	59,8
16	74,4
12	91,5
8	96,8
6	99,0

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

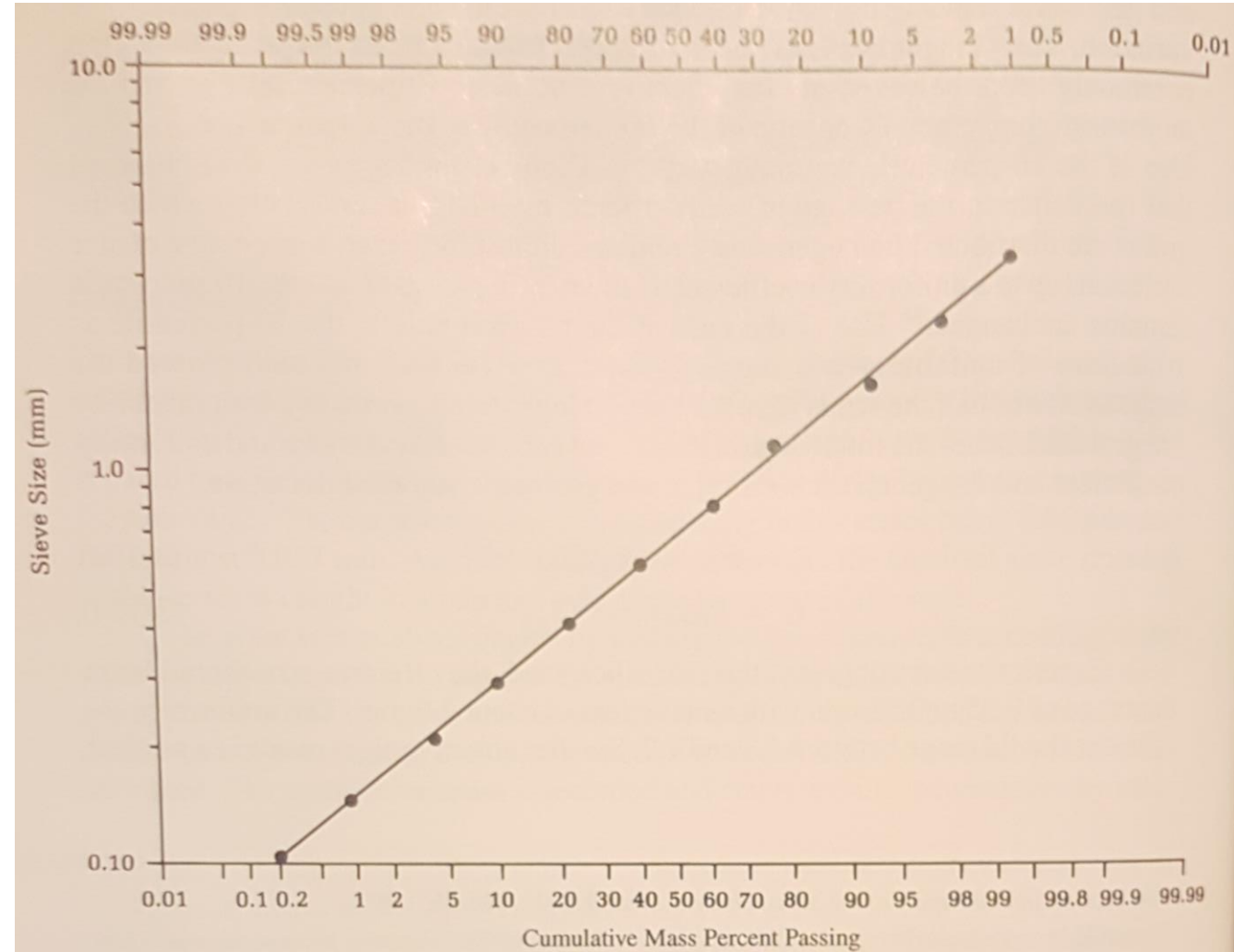
Για τα μεγέθη και συχνότητες μεγεθών κατά βάρος και αριθμό δείγματος άμμου στον πίνακα, βρείτε το ενεργό μέγεθος E και το συντελεστή ομοιομορφίας U

Πρώτα φτιάχνουμε το διάγραμμα με τα δεδομένα.

Από αυτό βρίσκουμε $E = d_{10} = 0,30 \text{ mm}$

Ο συντελεστής ομοιομορφίας

$$U = d_{60}/d_{10} = 0,85 / 0,30 = 2,8$$



3) Πυκνότητα διηθητικού μέσου

Η πυκνότητα του διηθητικού μέσου είναι καθοριστική στην πλύση του φίλτρου κατ'αντιρροή. Για υλικά υψηλότερης πυκνότητας απαιτούνται υψηλότερες ταχύτητες ροής.

Τυπικές τιμές πυκνότητας για διάφορα διηθητικά μέσα είναι:

Χαλαζιακή άμμος: $2,60- 2,70 \text{ g/cm}^3$

Ανθρακίτης: $1,40- 1,70 \text{ g/cm}^3$

Χαρακτηριστικά	Μονάδες	Διπλή κλίση		Τριπλή κλίση	
		Διακύμαν- ση τιμών	Συνηθισμέ- νη τιμή	Διακύμαν- ση τιμών	Συνηθισμέ- νη τιμή
1. Ανθρακίτης (Ειδικό βάρος 1,35-1,75)					
α. Πάχος	cm	20-60	45	20-50	40
β. Δραστική διάμετρος	mm	0,8-2,0	1,2	1,0-2,0	1,4
γ. Συντελεστής ομοιό- μορφίας D_{60}/D_{10}		1,4-1,8	1,5	1,4-1,8	1,5
2. Άμμος (πυριτική): (Ειδικό βάρος 2,65)					
α. Πάχος	cm	25-60	30	20-40	30
β. Δραστική διάμετρος	mm	0,3-0,8	0,5	0,4-0,8	0,6
γ. Συντελεστής ομοιο- μορφίας D_{60}/D_{10}		1,2-1,6	1,4	1,2-1,6	1,4
3. Γρανίτης (Ειδικό βάρος 4,0-4,2)					
α. Πάχος	cm	-	-	5-10	8
β. Δραστική διάμετρος	mm	-	-	0,2-0,6	0,3
γ. Συντελεστής ομοιο- μορφίας	(D_{60}/D_{10})	-	-	-	1
4. Ρυθμός διύλισεως	m^3/m^2h	5-25	15	5-30	15

Σχεδιαστικά δεδομένα για φίλτρα διήθησης μονού μέσου (μονοστρωματικά φίλτρα)

Χαρακτηριστικό	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Ρηχή κλίση (στρωματοποιημένη)		
Άμμος		
Βάθος (m)	0,25-0,30	0,28
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	0,35-0,6	0,45
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,2-1,6	1,5
Ρυθμός διήθησης (L/m ² •min)	80-240	120
Ανθρακίτης		
Βάθος (m)	0,30-0,50	0,40
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	0,8-1,5	1,3
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,3-1,8	1,6
Ρυθμός διήθησης (L/m ² •min)	80-240	120
Συμβατική κλίση (στρωματοποιημένη)		
Άμμος		
Βάθος (m)	0,50-0,75	0,60
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	0,4-0,8	0,65
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,2-1,6	1,5
Ρυθμός διήθησης (L/m ² •min)	80-240	120
Ανθρακίτης		
Βάθος (m)	0,60-0,90	0,75
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	0,8-2,0	1,3
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,3-1,8	1,6
Ρυθμός διήθησης (L/m ² •min)	80-325	160

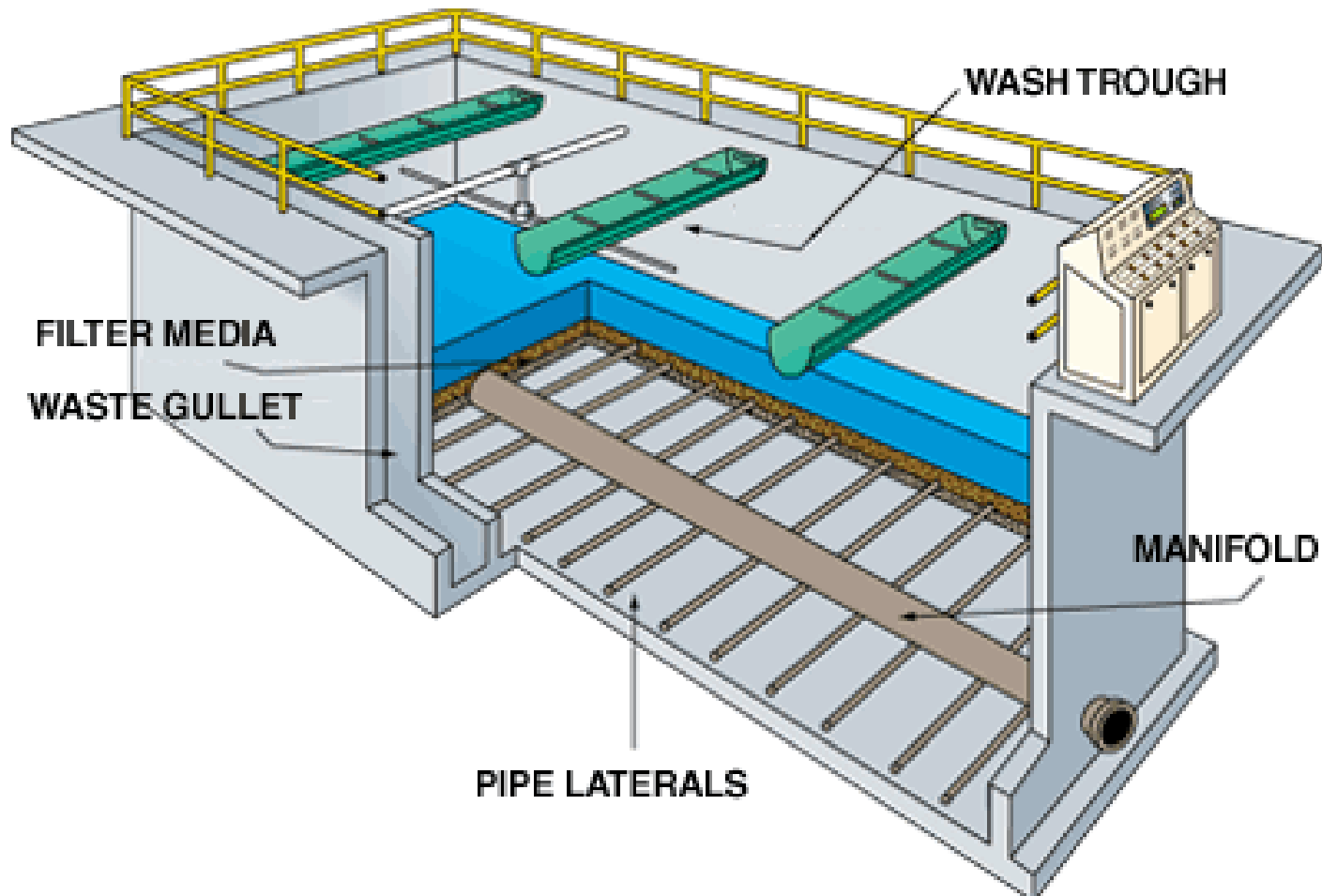
Χαρακτηριστικό	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Βαθεία κλίση (μη στρωματοποιημένη)		
Άμμος		
Βάθος (m)	0,90-1,80	1,20
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	2-3	2,5
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,2-1,6	1,5
Ρυθμός διήθησης (L/m ² •min)	80-400	200
Ανθρακίτης		
Βάθος (m)	0,90-2,10	1,50
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	2-4	2,75
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,3-1,8	1,6
Ρυθμός διήθησης (L/m ² •min)	80-400	200

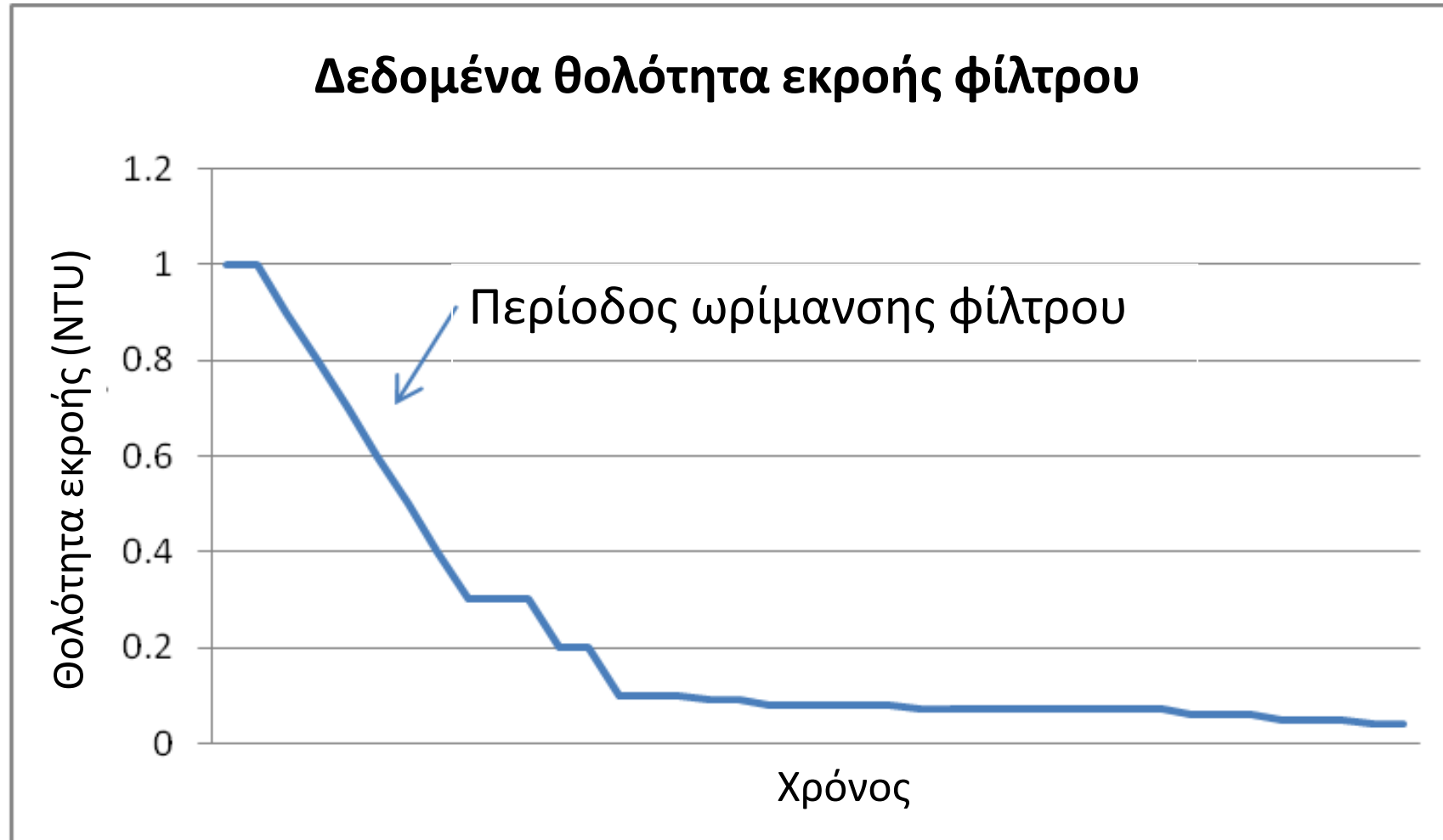
Σχεδιαστικά δεδομένα για πολυστρωματικά φίλτρα

Χαρακτηριστικό	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Διστρωματικές κλίνες		
Ανθρακίτης		
Βάθος (m)	0,30-0,75	0,60
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	0,8-2,0	1,3
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,3-1,8	1,6
Άμμος		
Βάθος (m)	0,35-0,75	0,75
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	0,4-0,8	0,65
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,2-1,6	1,5
Ρυθμός διήθησης (L/m ² •min)	80-400	200

Χαρακτηριστικό	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή
Πολυστρωματικές κλίνες		
Ανθρακίτης		
Βάθος (m)	0,20-0,50	0,40
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	1,3-2,0	1,6
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,5-1,8	1,6
Ανθρακίτης		
Βάθος (m)	0,10-0,40	0,20
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	1,0-1,6	1,1
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,5-1,8	1,6
Ανθρακίτης		
Βάθος (m)	0,20-0,50	0,40
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	1,0-2,0	1,4
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,4-1,8	1,6
Άμμος		
Βάθος (m)	0,20-0,40	0,25
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	0,4-0,8	0,5
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,3-1,8	1,6
Garnet ή Ιλμενίτης		
Βάθος (m)	0,05-0,15	0,10
Ενεργό μέγεθος κόκκων (mm)	0,2-0,6	0,3
Συντελεστής ομοιομορφίας	1,5-1,8	1,6
Ρυθμός διήθησης (L/m ² •min)	80-400	200

TYPICAL PIPE LATERAL UNDERDRAIN INSTALLATION





Προβλήματα φίλτρων

Μπάλες λάσπης: ένα μικρό συσσωμάτωμα σωματιδίου και διηθητικού υλικού που σχηματίζεται στην επιφάνεια των φίλτρων, και που μπορεί να μεγαλώσει σε μέγεθος κατά τον κύκλο λειτουργίας



Δέσμευση αέρα: προκαλείται από την απελευθέρωση διαλυμένων αερίων από το νερό στο φίλτρο ή στο σύστημα συλλογής

Ποια η είναι η ικανότητα επεξεργασίας ενός συστήματος φίλτρων αν η κλίνη άμμου έχει επιφάνεια 700 m^2 και τα φίλτρα έχουν σχεδιαστεί για ρυθμό διήθησης 3 L/min/m^2 .

$$\begin{aligned}\text{Ικανότητα φίλτρου} &= \text{ρυθμός διήθησης} \times \text{επιφάνεια} \\ &= 3 \text{ L/min/m}^2 \times 700 \text{ m}^2 = 2100 \text{ L/min}\end{aligned}$$

Ένα φίλτρο έχει μήκος 15 m και πλάτος 10 m. Ποια είναι η ικανότητα επεξεργασίας για ρυθμό διήθησης 5 L/min/m².

$$\begin{aligned} 1) \text{ επιφάνεια} &= \text{μήκος} \times \text{πλάτος} \\ &= 15 \times 10 = 150 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Ικανότητα φίλτρου} &= \text{ρυθμός διήθησης} \times \text{επιφάνεια} \\ &= 5 \text{ L/min/m}^2 \times 150 \text{ m}^2 = 750 \text{ L/min} \end{aligned}$$

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1

Ζητείται να σχεδιαστεί ένα αμμόφιλτρο για την επεξεργασία της εκροής της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων των Χανίων, με στόχο την επαναχρησιμοποίηση του νερού για άρδευση.

Δίνεται: Παροχή εκροής = $13.000 \text{ m}^3/\text{d}$.

Ο χαρακτηρισμός των εγκαταστάσεων διήθησης απαιτεί την **εύρεση των παραμέτρων**:

- 1) επιτρεπτή ταχύτητα διήθησης
- 2) αναγκαία επιφάνεια διήθησης, αριθμός των φίλτρων
- 3) Είδος του υλικού διήθησης, σκόπιμο μέγεθος κόκκων και τάξεις κόκκων
- 4) Ύψος στρώματος ποσότητα
- 5) Επιτρεπτός χρόνος διήθησης (εξαρτώμενος από την αντίσταση της διήθησης) το είδος και ο κύκλος της αντίστροφης πλύσης,
- 6) ποσότητα του νερού πλύσης,
- 7) απόδοση της αντλίας αερισμού και νερού πλύσης
- 8) κατασκευαστικές δεσμεύσεις για το ύψος του νερού υπερχείλισης και του ελεύθερου χώρου.

Η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών στο φίλτρο μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά από ένα ισοζύγιο μάζας στων στερεών (εξίσωση συνέχειας), το οποίο έχει τη μορφή:

$$-u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial q}{\partial t}$$

u = ο ρυθμός διήθησης ($L/m^2/min$)

$\frac{\partial C}{\partial x}$ = η μεταβολή της συγκέντρωσης των στερεών στο νερό στο στοιχειώδες τμήμα του φίλτρου ($mg/L/m$)

$\frac{\partial q}{\partial t}$ = η μεταβολή με το χρόνο της ποσότητας των στερεών που εναποτίθενται στο φίλτρο, ($mg/L/min$)

x = η απόσταση από την επιφάνεια του φίλτρου (m)

Στην πράξη έχει βρεθεί ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την **χρονική - χωρική** απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών είναι οι εξής:

1. το μέγεθος των κόκκων του διηθητικού μέσου
2. ο ρυθμός διήθησης
3. το μέγεθος και η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων στην εισροή
4. η σταθερότητα των συσσωματωμάτων που σχηματίζονται από τα στερεά που εναποτίθενται
5. η ποσότητα των στερεών που εναποτίθενται στο φίλτρο

Μία εξίσωση που έχει προταθεί και λαμβάνει υπόψη αυτούς τους παράγοντες είναι η εξής:

$$\frac{dC}{dx} = \frac{-1}{(1 + \alpha x)^n} \cdot r_o \cdot C \left(1 - \frac{q}{q_u} \right)^m$$

C = η συγκέντρωση των στερεών σε κάποιο βάθος x του φίλτρου (mg/L)

q = η ποσότητα των αιωρούμενων στερεών που έχει εναποτεθεί στο φίλτρο

q_u = η μέγιστη ποσότητα των στερεών που δύναται να εναποτεθεί στο φίλτρο

r_o = ο αρχικός ρυθμός απομάκρυνσης των στερεών (m^{-1})

α, n = σταθερές

m = σταθερά που σχετίζεται με την αντοχή των συσσωματωμάτων

Αν δεχθούμε ότι στο δεξί σκέλος της παραπάνω εξίσωσης, οι συντελεστές της συγκέντρωσης C δίνουν ένα σταθερό αποτέλεσμα (η προσέγγιση αυτή δεν έχει γενική εφαρμογή), τότε προκύπτει η εξίσωση Iwasaki, η οποία ήταν και η πρώτη που προτάθηκε για τον υπολογισμό της συσσώρευσης των στερεών στην κλίνη:

$$\frac{dC}{dx} = -\lambda C$$

ολοκληρώνοντας προκύπτει ότι : $C = C_0 e^{-\lambda L}$

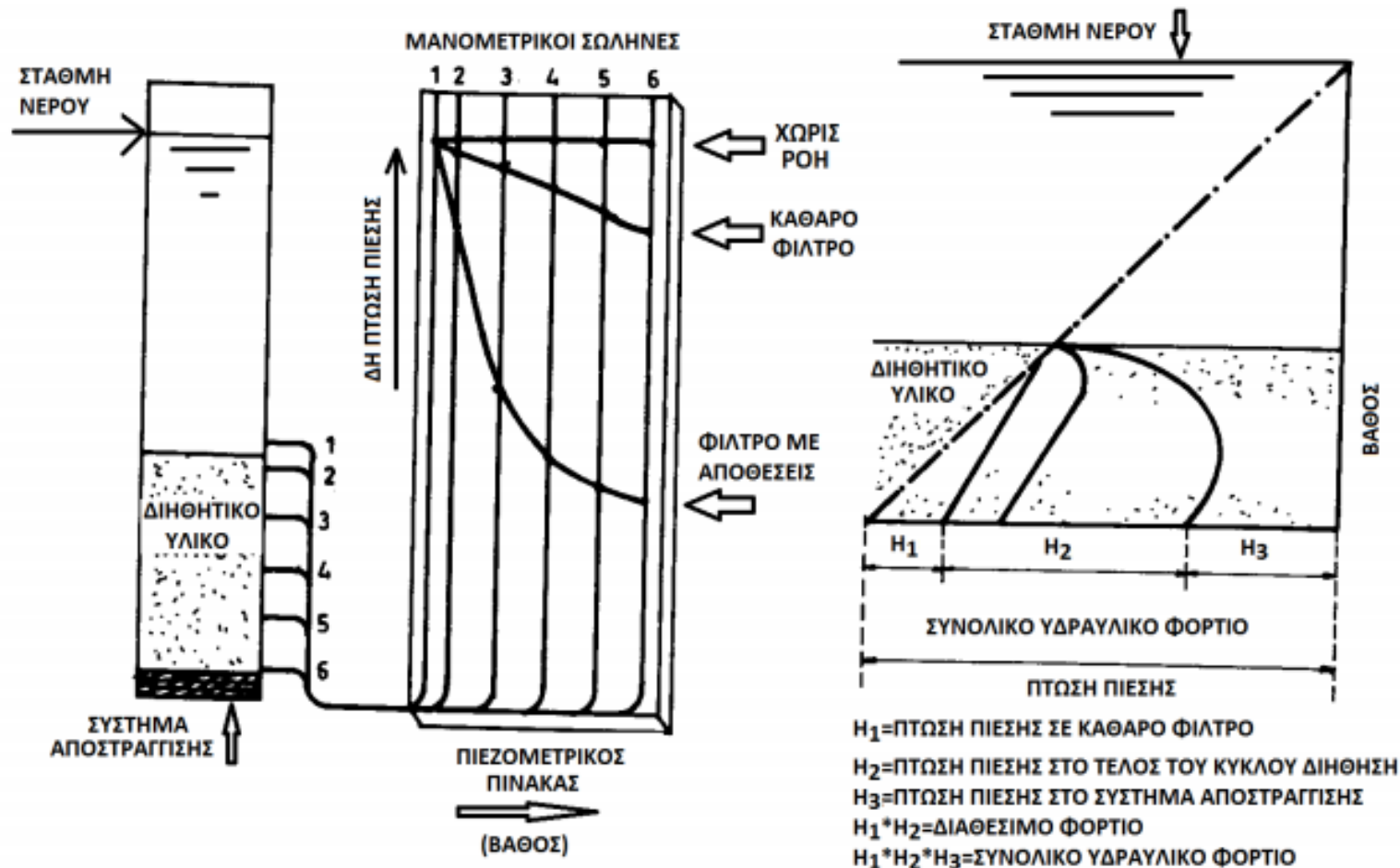
C_0 = η συγκέντρωση των στερεών στο υδατικό αιώρημα που εισέρχεται στην κλίνη, mg/L

L = το βάθος της κλίνης, m

ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΦΙΛΤΡΟ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΦΙΛΤΡΩΝ

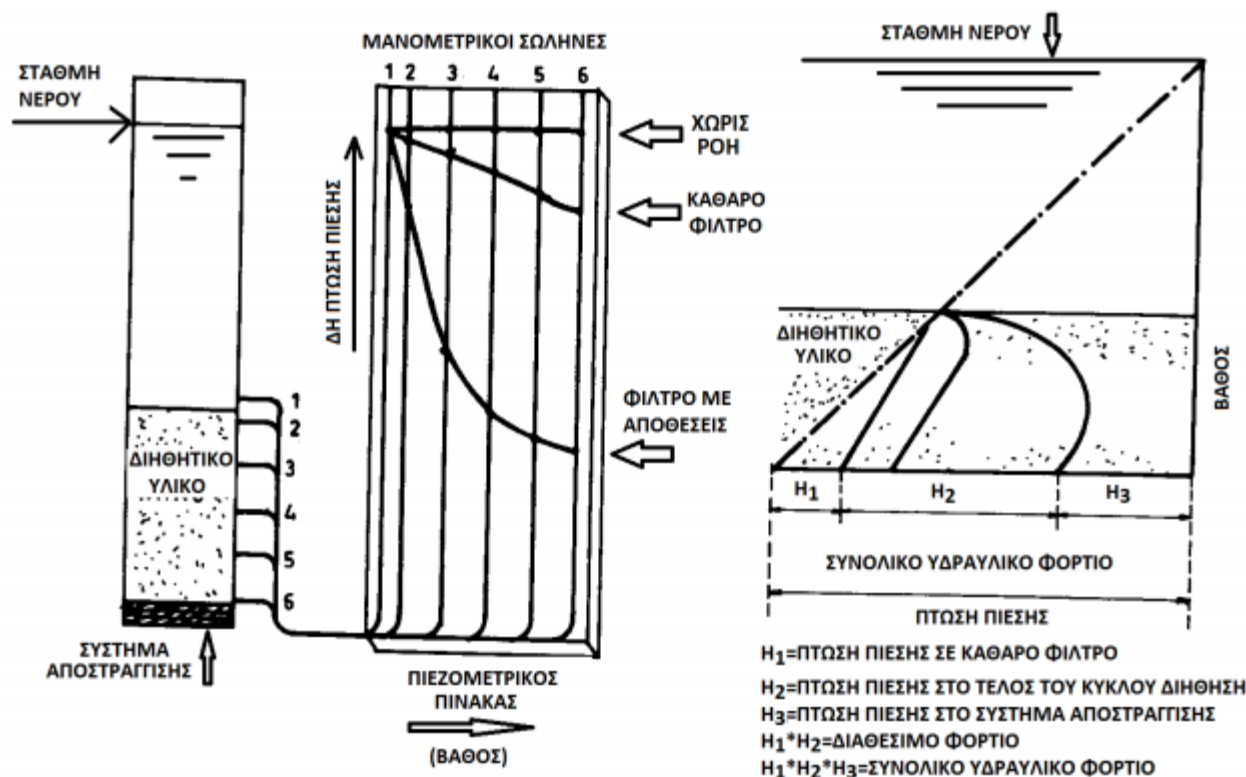
Όταν ένα φίλτρο είναι γεμάτο με νερό και δεν υπάρχει ροή, η πτώση πίεσης από ένα σημείο σε ένα άλλο του στρώματος είναι μηδέν.

Η πίεση σε κάθε βάθος του στρώματος άρα και στο σημείο εκροής (κατώτερο σημείο του φίλτρου) ισούται με την υδροστατική πίεση του νερού.



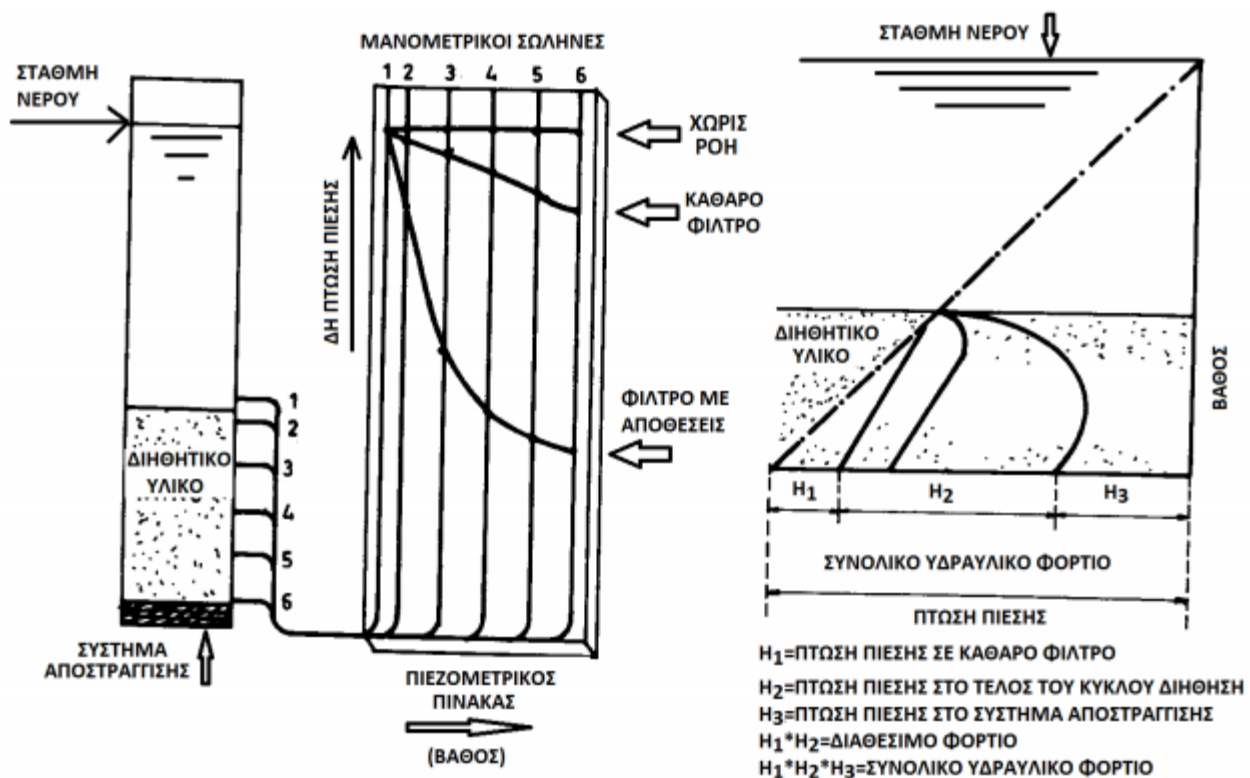
ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΦΙΛΤΡΟ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΦΙΛΤΡΩΝ

Όταν αρχίσει η ροή, παρατηρείται μια μείωση της πίεσης λόγω αντίστασης λόγω τριβής των κόκκων του διηθητικού μέσου στη ροή του νερού και στην έξοδο του νερού από το σύστημα αποστράγγισης. Με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η πτώση πίεσης (αύξηση στην απώλεια του μανομετρικού ύψους - head loss), λόγω συσσώρευσης στερεών στα διάκενα του φίλτρου.



ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΦΙΛΤΡΟ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΦΙΛΤΡΩΝ

Ύστερα από μακρούς χρόνους μπορεί να αναπτυχθεί και αρνητική πίεση (πίεση μικρότερη από την ατμοσφαιρική) σε κάποιο σημείο της κλίνης. Η αρνητική πίεση είναι ανεπιθύμητη καθώς συντελεί στο σχηματισμό θηλάκων αέρα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση τη ενεργού επιφάνειας για διήθηση, καθώς και την αύξηση της πτώσης πίεσης στην υπόλοιπη περιοχή του φίλτρου.



Η πτώση πίεσης εκφραζόμενη σε στήλη νερού είναι ίση με την κάθετη απόσταση μεταξύ της στάθμης του νερού πάνω από το φίλτρο και της στάθμης του νερού στους μανομετρικούς σωλήνες. Δηλ η πτώση πίεσης (ΔP) χαρακτηρίζεται και ως απώλεια του μανομετρικού ύψους (ΔH). Η σχέση που συνδέει τα παραπάνω είναι:

$$\Delta P = \Delta H \cdot \rho_w \cdot g$$

ρ_w = η πυκνότητα του νερού (kg/m^3)

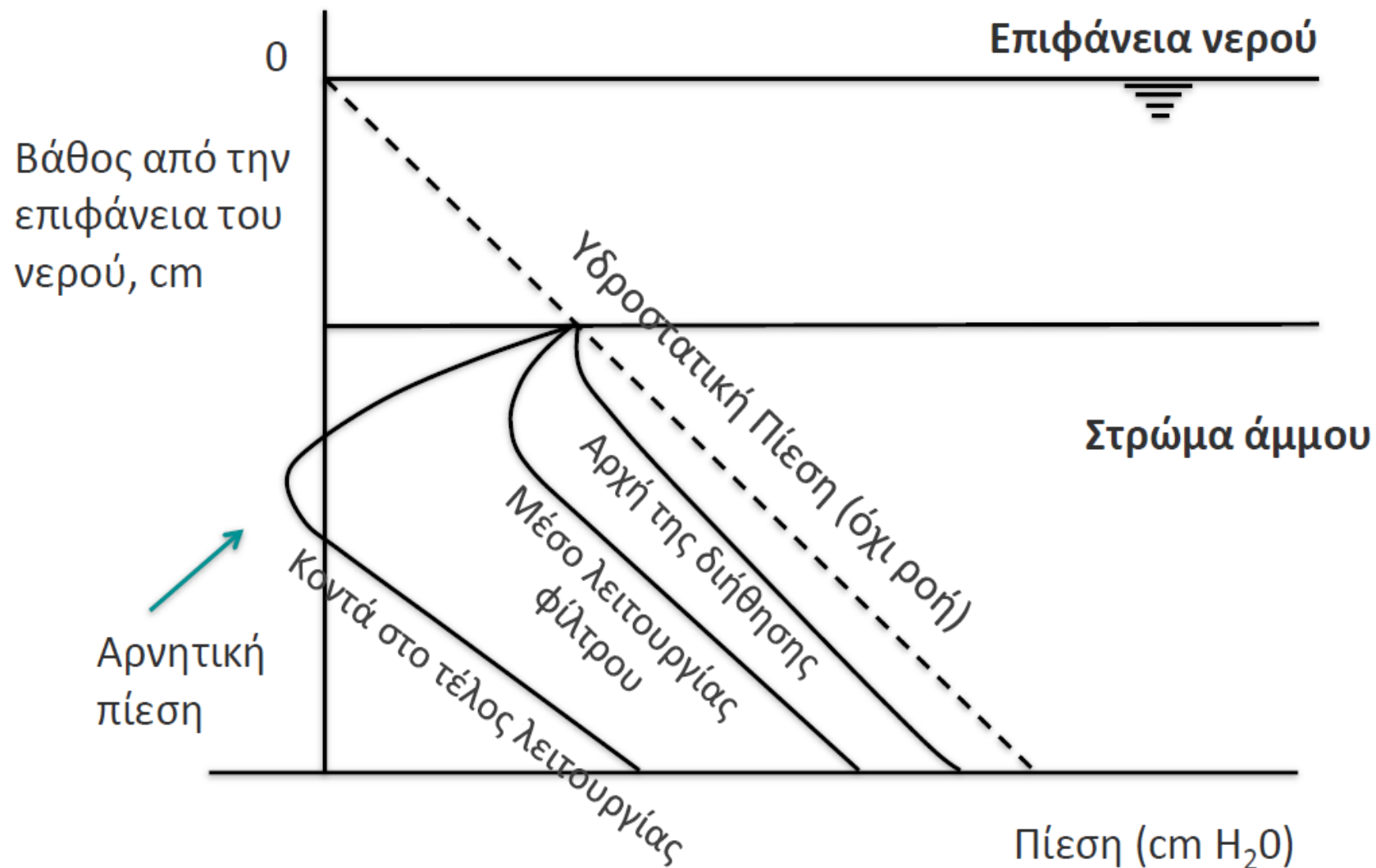
g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

Όταν το φίλτρο είναι καθαρό η καμπύλη της πτώσης πίεσης με το βάθος είναι ευθεία (προϋπόθεση ομοιομορφίας κόκκων).

Όταν γίνονται αποθέσεις η καμπύλη γίνεται εκθετική συνάρτηση. Εξαρτάται από το σημείο του υπερχειλιστή του διηθημένου νερού

ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΦΙΛΤΡΟ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΦΙΛΤΡΩΝ

Γραφική παράσταση της αύξησης της αντίστασης του υλικού διήθησης (πτώση πίεσης)



Για προσδιορισμό πτώσης πίεσης σε καθαρή κλίνη έχουν προταθεί πολλές σχέσεις.

Παρουσιάζονται δύο εξ' αυτών που βρίσκουν εφαρμογή σε διαφορετικές συνθήκες ροής (διαφορετικές τιμές του αριθμού Re):

- Εξίσωση Carman-Kozeny (για $Re < 6$)
- Εξίσωση Ergun (Ισχύει για $1 < Re < 2000$)

Εξίσωση Carman-Kozeny ($Re < 6$)

$$\frac{h}{L} = \frac{k\mu}{\rho g} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \left(\frac{a}{u}\right)^2 \cdot U$$

h = η απώλεια μανομετρικού ύψους στη στήλη (m H_2O)

L = βάθος κλίνης (m)

k = σταθερά Kozeny ≈ 5

μ = δυναμικό ιξώδες νερού (kg/m/s)

ρ = πυκνότητα νερού (kg/m³)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)

ε = πορώδες κλίνης (αδιάστατο)

(a/u) = ειδική επιφάνεια κόκκου (m⁻¹) = $6/\Phi deq$

Φ = σφαιρικότητα κόκκου

deq = διάμετρος σφαίρας με όγκο ίσο με τον όγκο του κόκκου

U = ταχύτητα κενής κλίνης (πηλίκο ογκομετρικής παροχής προς τη διατομή της κενής κλίνης)

Εξίσωση Carman-Kozeny ($Re < 6$)

$$\frac{h}{L} = \frac{k\mu}{\rho g} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \left(\frac{a}{u}\right)^2 \cdot U$$

Η εξίσωση Carman – Kozeny ισχύει για συνθήκες στρωτής ροής ($Re < 6$).

Τέτοιες συνθήκες απαντώνται για μεγέθη κόκκων στην περιοχή 0,5-1 mm και ταχύτητες διήθησης 5-13 m/h.

Στην περίπτωση μη σφαιρικών κόκκων, ο αριθμός Reynolds ορίζεται ως εξής:

$$Re = \frac{\Phi \rho U d_{eq}}{\mu}$$

Εξίσωση Ergun ($1 < Re < 2000$)

Η εξίσωση Ergun μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υψηλές τιμές του αριθμού Reynolds, δηλαδή σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται διηθητικά μέσα με μεγάλη κοκκομετρία ή εφαρμόζονται υψηλές ταχύτητες διήθησης. Η εξίσωση Ergun έχει τη μορφή:

$$\frac{h}{L} = \frac{f}{\Phi d_{eq}} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{U^2}{g}$$

όπου $f = 150 \left(\frac{1 - \varepsilon}{Re} \right) + 1,75$

Εξίσωση Ergun ($1 < Re < 2000$)

Αντικαθιστώντας προκύπτει ότι:

$$\frac{h}{L} = 150 \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \left(\frac{1}{\Phi d_{eq}} \right)^2 \cdot \frac{\mu}{\rho g} \cdot U + 1,75 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{1}{\Phi d_{eq}} \cdot \frac{U^2}{g}$$

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2

Να υπολογιστεί η απώλεια μανομετρικού ύψους (πτώση πίεσης) σε ένα διστρωματικό φίλτρο για την αρχή της διήθησης, όταν το φίλτρο αποτελείται από ένα στρώμα ανθρακίτη (άνω στρώμα) ύψους 35 cm και ένα στρώμα άμμου (κάτω στρώμα) ύψους 30 cm. Η ταχύτητα διήθησης είναι 150 l/m²min. Δίδονται τα εξής δεδομένα:

Ιδιότητα	Ανθρακίτης	Άμμος
Σφαιρικότητα, ϕ	0,73	0,82
Μέση διάμετρος κόκκων, mm	1,5	0,6
Πορώδες	0,4	0,35

Εξίσωση Ergun ($1 < Re < 2000$) (στρωματοποιημένη κλίνη)

Στην παραπάνω προσέγγιση θεωρήθηκε ότι το διηθητικό μέσο αποτελείται από κόκκους του ιδίου μεγέθους. Σε περίπτωση που η κλίνη περιέχει στρωματοποιημένους κόκκους, όπως συνήθως συμβαίνει μετά από πλύση της κλίνης κατ' αντιρροή, τότε είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η κατανομή μεγέθους των κόκκων (όπως προκύπτει από κοκκομετρική ανάλυση). Η εξίσωση Ergun για στρωματοποιημένη κλίνη γράφεται ως εξής:

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{\Phi g} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)U^2}{\varepsilon^3} \cdot \sum \frac{f_p X_p}{d_p}$$

Εξίσωση Ergun ($1 < Re < 2000$) (στρωματοποιημένη κλίνη):

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{\Phi g} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)U^2}{\varepsilon^3} \cdot \sum \frac{f_p X_p}{d_p}$$

X_p = κλάσμα βάρους διηθητικού μέσου που χαρακτηρίζεται από μέγεθος κόκκων ανάμεσα στο μέγεθος των διακένων (βροχίδων) δυο διαδοχικών κοσκίνων κατά την κοκκομετρική ανάλυση.

d_p = μέσο μέγεθος (διάμετρος) κόκκων κλάσματος X_p . Συνήθως λαμβάνεται ως ο μέσος όρος του μεγέθους των βροχίδων δύο διαδοχικών κοσκίνων

f_p = ο συντελεστής τριβής της εξίσωσης Ergun, ο οποίος αντιστοιχεί στο κλάσμα X_p .

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 3

Κατά τη διήθηση ενός επιφανειακού νερού για πόσιμο, το νερό διέρχεται από αμμόφιλτρο βάθους 0,75 m με ταχύτητα διήθησης (ταχύτητα κενής κλίνης) ίση με 0,002 m/s. Το πορώδες της κλίνης είναι 0,40, η σφαιρικότητα της άμμου είναι 0,82 και η πυκνότητα 2,65 g/cm³. Να υπολογισθεί η πτώση πίεσης καθαρής κλίνης αν το διηθητικό μέσο είναι πλήρως στρωματοποιημένο και η κοκκομετρία του περιγράφεται από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα:

Άνοιγμα βροχίδας, mm	Κλάσμα βάρους, Χρ
>1	0,01
0,8-1	0,10
0,7-0,8	0,21
0,6-0,7	0,33
0,5-0,6	0,22
0,4-0,5	0,12
<0,4	0,01

Η καλή έκπλυση των φίλτρων είναι βασικός παράγοντας για την σταθερή απόδοση της διήθησης

- Στα **φίλτρα βραδείας διήθησης** όπου το διήθημα βρίσκεται σε χαμηλό βάθος, ο καθαρισμός του φίλτρου γίνεται κατά καιρούς με απομάκρυνση του πλακούντα και πλύση του φίλτρου. Η διεργασία αυτή συνεπάγεται και διακοπή της λειτουργίας του συστήματος διήθησης
- Στα **φίλτρα ταχείας διήθησης**, όπου το διήθημα βρίσκεται σε μεγάλο βάθος και υπάρχει υψηλή υδραυλική πίεση, ο καθαρισμός του φίλτρου πραγματοποιείται με αντίστροφη ροή καθαρού νερού με ροή 10 φορές υψηλότερη από το ρυθμό διήθησης.
- Διοχέτευση πεπιεσμένου αέρα πριν την παροχή νερού συμβάλει στην πιο αποτελεσματική έκπλυση

Όταν η πτώση πίεσης ανέλθει σε μη επιθυμητά επίπεδα (συνήθως 2-2,5 m H₂O) ή όταν η εκροή του φίλτρου είναι μη ικανοποιητική από πλευράς ποιότητας, τότε το φίλτρο θα πρέπει να καθαριστεί με πλύση κατ' αντιρροή.

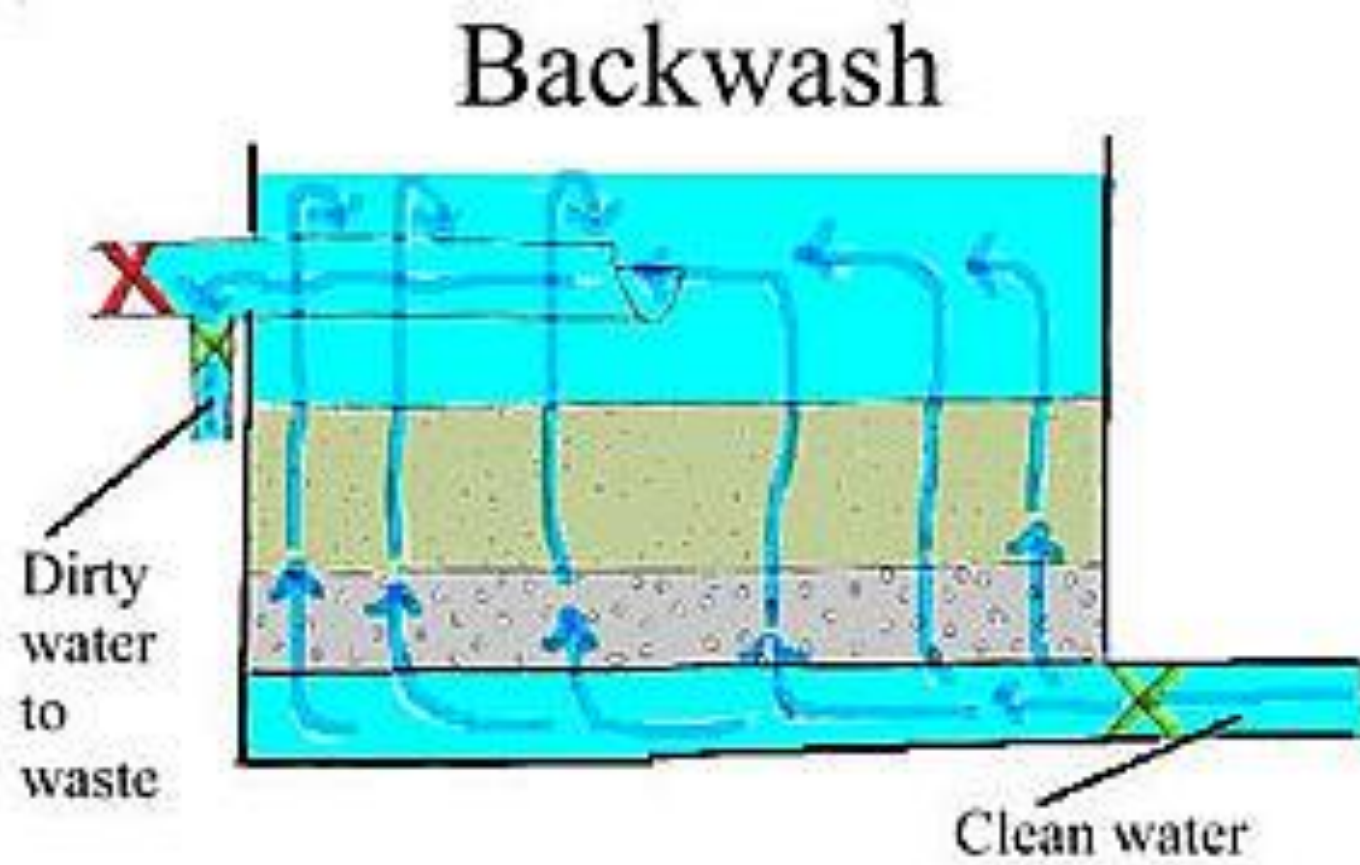
Συνήθως το νερό πλύσης αντιστοιχεί σε 2-3% του νερού που έχει παραχθεί κατά τη διάρκεια ενός κύκλου διήθησης.

Για τον αποτελεσματικό καθαρισμό της κλίνης με πλύση κατ' αντιρροή, είναι απαραίτητη η ρευστοποίηση της κλίνης (fluidized bed).

Η ρευστοποίηση επιτυγχάνεται όταν η ταχύτητα ροής του νερού φτάσει μια ορισμένη τιμή, που ονομάζεται ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης.

Για την αποτελεσματική αντίστροφη πλύση απαιτείται διόγκωση της κλίνης σε ποσοστό 15% - 30 %.

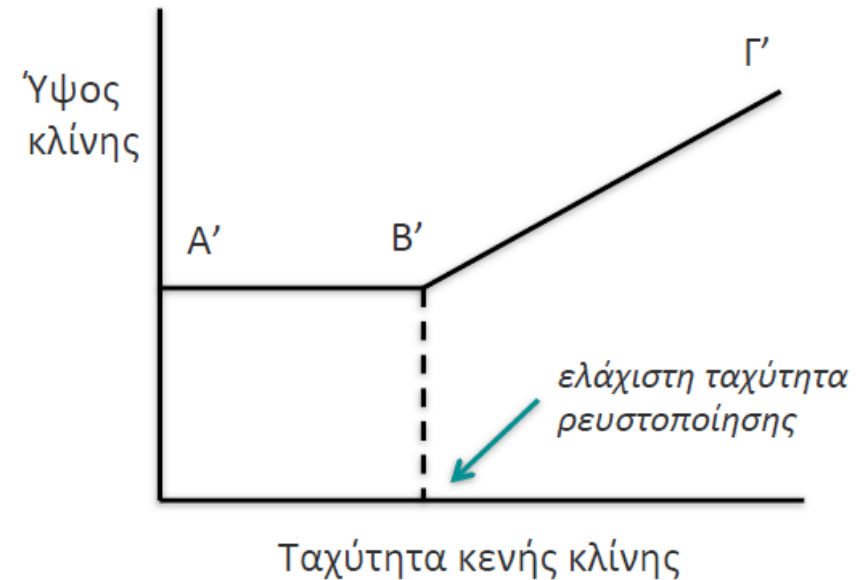
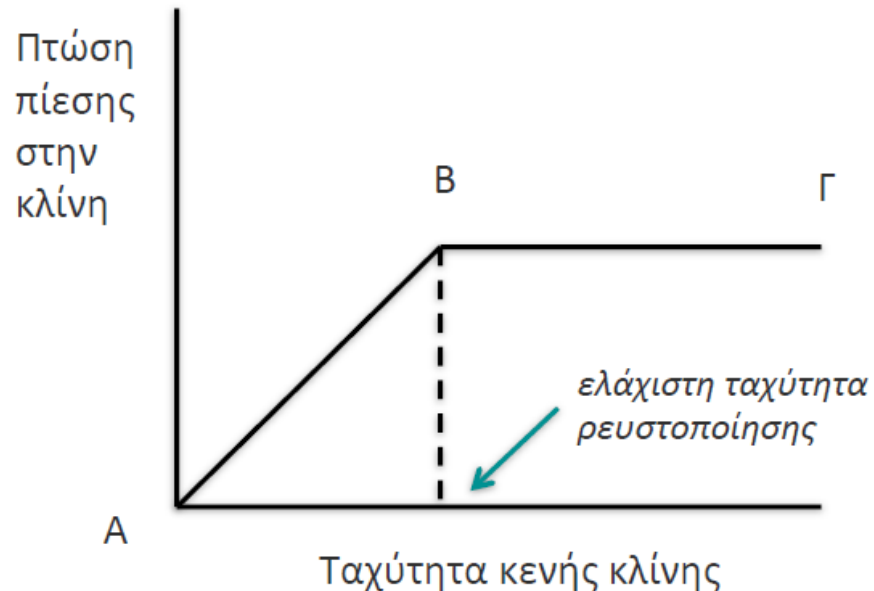
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΑΤ' ΑΝΤΙΡΡΟΗ



ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΑΤ' ΑΝΤΙΡΡΟΗ

Μέχρι την επίτευξη αυτής της ταχύτητας, το ύψος της κλίνης παραμένει σταθερό (σταθερή κλίνη), ενώ όταν η ταχύτητα ροής ξεπεράσει την ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης, τότε το **ύψος της κλίνης αρχίζει και αυξάνεται** αναλογικά με την ταχύτητα.

Η πτώση πίεσης στην κλίνη αυξάνει αναλογικά με την ταχύτητα ροής του νερού έως ότου φτάσουμε την ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης. Περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας ροής **δεν μεταβάλλει τη πτώση πίεσης στην κλίνη** (αυξάνει μόνο το ύψος της κλίνης).



Όταν η κλίνη είναι σταθερή (σταθερό ύψος, τμήμα Α'-Β'), μπορούν να εφαρμοστεί η εξίσωση Carman –Kozeny ή η εξίσωση Ergun. Στο σημείο ελάχιστης ταχύτητας ρευστοποίησης (σημείο Β) η πτώση πίεσης ισούται με το βάρος του διηθητικού μέσου μείον την αντίστοιχη άνωση:

$$\Delta P = (\Delta H) \cdot \rho_w \cdot g = L(1 - \varepsilon)(\rho_s - \rho_w)g$$

ΔP = η πτώση πίεσης (διαφορά πίεσης) κατά μήκος του διηθητικού μέσου

ΔH = η απώλεια μανομετρικού ύψους (m στήλης H_2O)

ρ_w = η πυκνότητα του νερού,

ρ_s = η πυκνότητα των σωματιδίων,

L = το μήκος της κλίνης κατά την έναρξη της ρευστοποίησης,

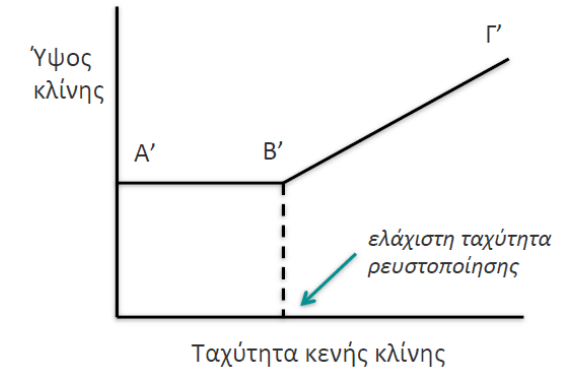
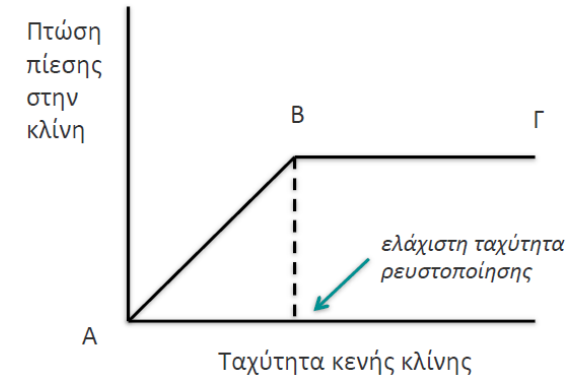
ε = το πορώδες κλίνης,

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΑΤ' ΑΝΤΙΡΡΟΗ

Η παραπάνω σχέση μετασχηματίζεται ως εξής:

$$\Delta H = \frac{L(1 - \varepsilon)(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w}$$



Η σχέση αυτή ισχύει για ταχύτητες ροής ίσες ή μεγαλύτερες της ελάχιστης ταχύτητας ρευστοποίησης (σταθερή πτώση πίεσης στο φίλτρο, τμήμα B-Γ).

Επιπρόσθετα, για το σημείο B (άκρο της ευθείας AB) ισχύει η εξίσωση Carman – Kozeny ή η εξίσωση Ergun.

Ο συνδυασμός των δύο εξισώσεων δύναται να δώσει την ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης U_f .

Το ύψος της ρευστοποιημένης κλίνης δίνεται από το ισοζύγιο όγκου του διηθητικού μέσου πριν και μετά τη ρευστοποίηση, δηλαδή

$$A L(1 - \varepsilon) = A L_f(1 - \varepsilon_f)$$

A = η διατομή του φίλτρου (σταθερή) (m^2)

L = το ύψος (βάθος) της κλίνης πριν τη ρευστοποίηση (m)

L_f = το ύψος της ρευστοποιημένης κλίνης (m)

ε = το πορώδες της κλίνης πριν τη ρευστοποίηση

ε_f = το πορώδες της ρευστοποιημένης κλίνης

Η σχέση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι σε μία κλίνη με σταθερή διατομή σ' όλο το μήκος της, ο όγκος των σωματιδίων της κλίνης δεν μεταβάλλεται πριν και μετά τη ρευστοποίηση.

Η ταχύτητα αντιρροής για την επίτευξη ενός επιθυμητού βαθμού ρευστοποίησης υπολογίζεται από την εξίσωση Richardson – Zaki:

$$\frac{U_f}{U_p} = \epsilon_f^n$$

U_f = η ταχύτητα αντιρροής (m/s)

U_p = η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων του διηθητικού μέσου (m/s)

e_f = το πορώδες της ρευστοποιημένης κλίνης

n = σταθερά (αδιάστατη)

Η σταθερά n εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds, ο οποίος αντιστοιχεί στην ταχύτητα καθίζησης των κόκκων ($N_{Re,s}$) και όχι στην ταχύτητα αντιρροής.

- Για $N_{Re,s} < 200$,
$$n = \left(4,45 + 18 \frac{d_p}{D} \right) N_{Re}^{-0,1}$$

d_p = η μέση διάμετρος των κόκκων

D = η διάμετρος του φίλτρου (κλίνης)

Στην πράξη σε φίλτρα διήθησης πλήρους κλίμακας $d_p \ll D$ και άρα $4,44 \gg 18d_p/D$, οπότε η εξίσωση δύναται να απλουστευθεί ως:

- Για $N_{Re,s} < 200$,
$$n = 4,45 N_{Re,s}^{-0,1}$$

- Για $200 < N_{Re,s} < 500$,
$$n = 4,45 N_{Re,s}^{-0,1}$$

- Για $N_{Re,s} > 500$,
$$n = 2,39$$

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΦΙΛΤΡΟΥ ΚΑΤ' ΑΝΤΙΡΡΟΗ

Η σταθερά n εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds, ο οποίος αντιστοιχεί στην ταχύτητα καθίζησης των κόκκων (NRe_s) και όχι στην ταχύτητα αντιρροής.

$$n = 4,65 \quad \text{για } Re < 0.2$$

$$n = 4,35 Re^{-0.03} \quad \text{για } 0.2 < Re < 1.0$$

$$n = 4,45 Re^{-0.1} \quad \text{για } 1 < Re < 500$$

$$n = 2,39 \quad \text{για } Re > 500$$

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 4

Να υπολογιστεί η ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης για μία κλίνη άμμου με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μέση διάμετρος κόκκων = 0,6 mm
- Σφαιρικότητα = 0,82
- Πορώδες κλίνης = 0,4
- Βάθος κλίνης = 0,75 m
- Πυκνότητα άμμου = 2,65 g/cm³

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 5

Για τα δεδομένα του προβλήματος 4 να υπολογιστεί το μήκος της κλίνης κατά τη διάρκεια της πλύσης κατ' αντιρροή όταν η ταχύτητα αντιρροής είναι $0,03 \text{ m/s}$.