



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

# Τεχνολογίες που αφορούν την νομοθεσία για το πόσιμο νερό II

**Διάλεξη 2: Τεχνολογίες Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού**

**Καθηγητής ΔΠΘ Π. Μελίδης**

Μέσο επικοινωνίας: Τηλέφωνο 25410 79372 ή skype: pmelidis

# Περίγραμμα μαθήματος

- Η Σημασία του πόσιμου νερού
- Μέθοδοι επεξεργασίας πόσιμου νερού
- Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών
- Κροκίδωση - Συσσωμάτωση
- Διήθηση
- Ιοντοεναλλαγή
- Οξείδωση
- Απολύμανση

# Η Σημασία του πόσιμου νερού

1. Χωρίς νερό δεν υπάρχει ζωή, το νερό είναι ένα πολύτιμο αγαθό, χωρίς το οποίο δεν μπορεί να ζήσει ο άνθρωπος.
2. Τα αποθέματα του πόσιμου νερού δεν είναι ατελείωτα και γι αυτό θα πρέπει να τα προσέχουμε ιδιαίτερα, να τα διαχειριζόμαστε με σύνεση και αν είναι δυνατόν να τα αυξήσουμε.
3. Η ρύπανση των νερών σημαίνει ανεπανόρθωτη ζημία για τον άνθρωπο και τους ζώντες οργανισμούς.
4. Η ποιότητα του νερού θα πρέπει να εγγυάται την υγεία του πληθυσμού και να εκπληρώνει της ανάγκες για τις οποίες έχει επιλεγεί
5. Το χρησιμοποιημένο νερό θα πρέπει να επιστρέφεται στους ποταμούς και ταμιευτήρες σε κατάσταση που δεν θα απαγορεύει την δημόσια και ιδιωτική χρήση του.

# Η Σημασία του πόσιμου νερού

6. Η προστασία των νερών απαιτεί την εξειδικευμένη έρευνα, την εκπαίδευση ειδικών και την ενημέρωση των πολιτών.
7. Κάθε άνθρωπος έχει την υποχρέωση να χρησιμοποιεί το νερό οικονομικά και με επιμέλεια για το καλό όλων.
8. Προγράμματα οικονομίας νερού θα πρέπει να εκπονούνται σύμφωνα με τα φυσικά αποθέματα νερού και λιγότερο με απαιτήσεις της πολιτικής και τεχνικής διαχείρισης.
9. Το νερό δεν γνωρίζει σύνορα και η διαχείριση του απαιτεί διεθνή συνεργασία

# Μέθοδοι επεξεργασίας πόσιμου νερού

Μορφές ρύπων νερού



# Μέθοδοι επεξεργασίας πόσιμου νερού

Κατηγορίες επεξεργασίας νερών

Κατηγορία	Περιγραφή	Προέλευση
A	Καμία επεξεργασία	Μερικά νερά γεωτρήσεων Περιστασιακά νερά υψιπέδων
B	Μόνο απολύμανση	Μερικά νερά γεωτρήσεων Περιστασιακά νερά υψιπέδων
Γ	Κλασική επεξεργασία νερού	Νερά ποταμών χαμηλών περιοχών και ταμιευτήρων
Δ	Ειδική επεξεργασία νερού	Από αγροτικές περιοχές (Fe, και Mn) απομάκρυνση χρώματος Απομάκ. Ιχνοστοιχείων Βιομηχανικά νερά Απομάκρυνση φυκιών Απομάκρυνση οργανικών

Κατηγορίες επεξεργασίας	Υπόγειο νερό Κατηγορία Β	Τυπική επεξ. νερού Κατηγορία Γ	Ειδική επεξ. νερού Κατηγορία Δ
Προεπεξεργασία	Εισαγωγή	Εισαγωγή	Εισαγωγή
		Χονδρή σχάρα	Εσχάρωση
		Λεπτή σχάρα	Άντληση
		Άντληση	Αποθήκευση
		Αποθήκευση	Εξισορρόπηση
		Εξισορρόπηση	Εξουδετέρωση
	Εξουδετέρωση	Αερισμός	
Αερισμός	Αερισμός	Αποσκλήρυνση	
		Χημική προεπεξεργασία	Απομάκρυνση φυκιών
Α βάθμια επεξεργασία		Κροκίδωση/ συσσωμάτωση Καθίζηση	Κροκίδωση/ συσσωμάτωση Καθίζηση
Β βάθμια επεξεργασία		Διήθηση	Διήθηση
Απολύμανση	Απολύμανση	Απολύμανση	Απολύμανση
Προχωρημένη επεξεργασία			Προσρόφηση
			Ενεργός άνθρακας
			Διαχωρισμοί μεμβρανών
			Απομάκρυνση Σιδήρου -μαγγανίου
			Απομάκρυνση αλογονομένων παραγώγων

# Μέθοδοι επεξεργασίας πόσιμου νερού

Απαιτούμενη επεξεργασία για ειδικούς ρύπους

Παράμετρος	Επεξεργασία
Επιπλέοντα στερεά	Σχάρα για χοντρά και λεπτά στερεά
Αιωρούμενα στερεά	Μικροκόσκινα
Φύκια	Μικροκόσκινα, προχλωρίωση, προσρόφηση σε άνθρακα, γρήγορη διήθηση
Θολότητα	Κροκίδωση, καθίζηση, Υστεροχλωρίωση
Χρώμα	Κροκίδωση, συσσωμάτωση, διήθηση
Οσμή, γεύση	Ενεργός άνθρακας
Σκληρότητα	Συσσωμάτωση, διήθηση, αποσκλήρυνση με lime
Σίδηρος, μαγγάνιο > 1mg/L < 1mg/L	Προχλωρίωση Συσσωμάτωση, διήθηση, υστεροχλωρίωση
Παθογόνοι μικροοργανισμοί/100 mL <20 20-100 >100	Υστεροχλωρίωση Συσσωμάτωση, διήθηση, υστεροχλωρίωση Προχλωρίωση Συσσωμάτωση, διήθηση, υστεροχλωρίωση
Ελεύθερη αμμωνία	Υστεροχλωρίωση Προσρόφηση



# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών

Αιωρούμενα στερεά διαφορετικού μεγέθους και σύνθεσης παρουσιάζονται και δημιουργούν προβλήματα κυρίως σε επιφανειακά νερά.

Πρέπει να κρατούνται μακριά από την ύδρευση κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες

Εμφανίζονται με την μορφή ορατών ξένων σωμάτων όπως:

1. άμμος
2. φυτικά υπολείμματα

Σύμφωνα με την πυκνότητα τους ταξινομούνται σε:

1. καθιζάνοντα,
2. αιωρούμενα ή
3. επιπλέοντα

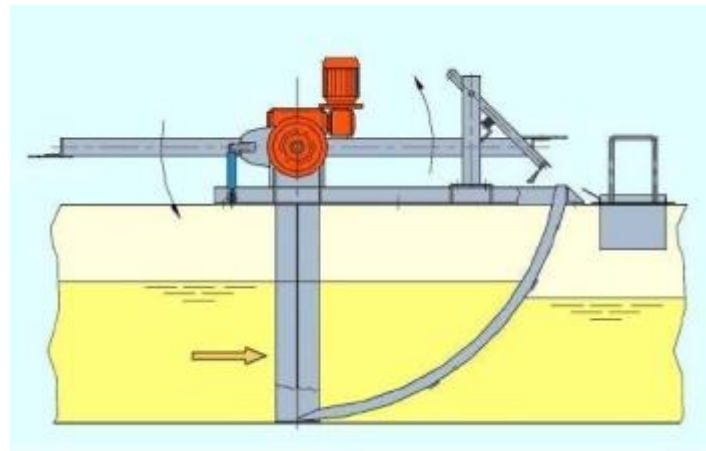
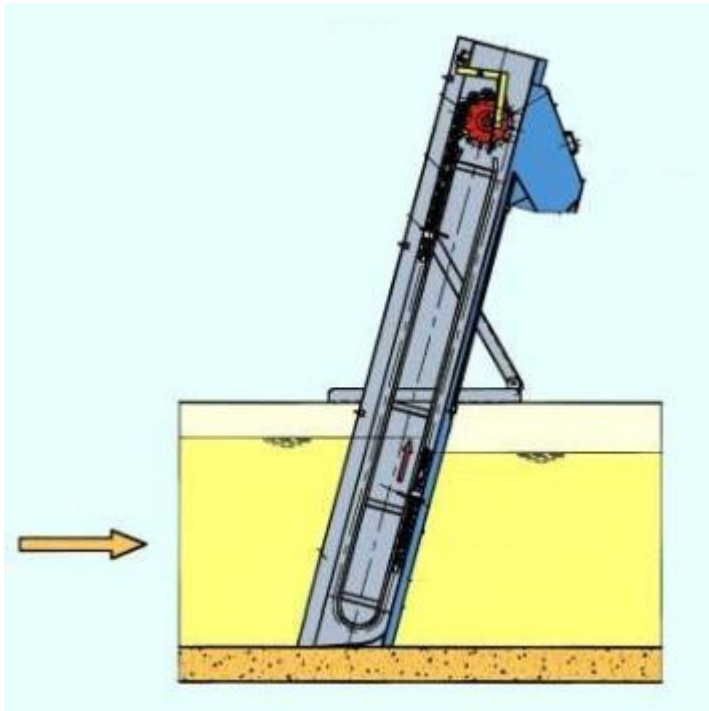
# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών

Επίσης :

3. εμφανίζονται με την μορφή ορατής θολότητας (προκαλείται από σωματίδια κολλοειδούς μεγέθους και τα οποία μειώνουν την ορατότητα σε λιγότερο από ένα μέτρο)
4. εμφανίζονται με την μορφή λεπτοδιασκορπισμένων αιωρούμενων στερεών (τόσο μικρή συγκέντρωση που δεν είναι ορατή η ρύπανση, όμως με την πάροδο του χρόνου οδηγεί σε ρύπανση του δικτύου διανομής)

# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών-εσχάρες

Μεγάλα επιπλέοντα υλικά αλλά και ψάρια που συναντώνται στην υδρομάστευση από ποταμούς, όπως φύλλα, χαρτιά, ξύλα κλπ διαχωρίζονται με την βοήθεια **μηχανικών εσχάρων**



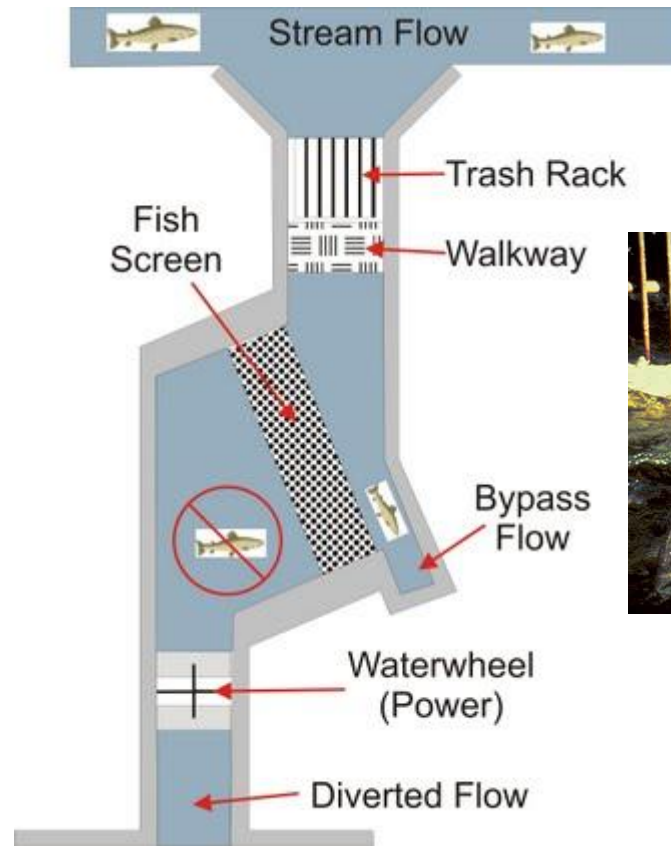
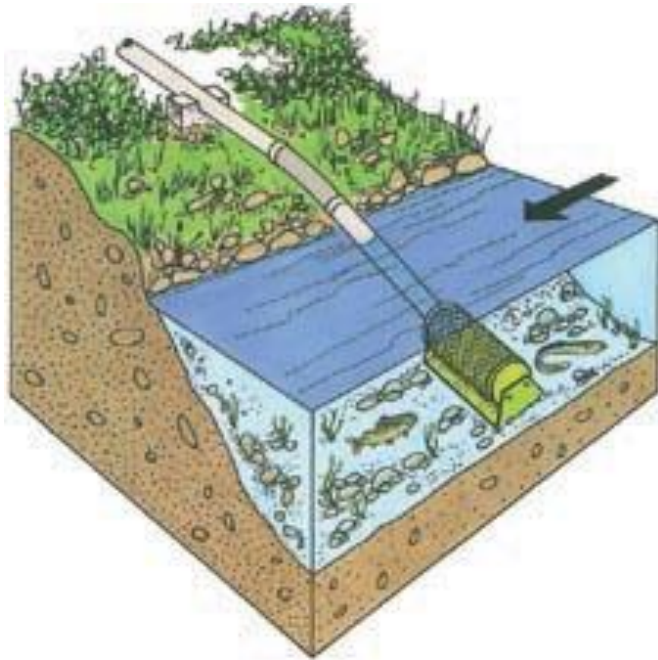
# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών-εσχάρες

Τυπικά κριτήρια σχεδιασμού για μηχανικά καθοριζόμενες εσχάρες ράβδων  
(Πηγή WEF, 1998)

Μέγεθος	Σχεδιαστικά κριτήρια
Πλάτος ράβδου	5-15 mm
Βάθος ράβδου	25-40 mm
Καθαρός ενδιάμεσος χώρος μεταξύ των ράβδων	15-75 mm
Κλίση	0-30 μοίρες
Ταχύτητα προσέγγισης	0,6-1,0 m/s
Επιτρεπόμενη απώλεια ύψους	150 mm

# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών-εσχάρες

Συστήματα εσχάρων και διάτρητων καλαθιών για την απομάκρυνση μεγάλων αντικειμένων και ψαριών (ξεπλένεται με την αναστροφή του νερού όταν σταματά η αντλία)



One Fish Engineering, Colorado

Αναπλ. Καθηγητής Π. Μελίδης

# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών-αμμοσυλέκτες

Μικρά και μεγάλα ποτάμια που ρέουν γρήγορα συμπαρασύρουν ιδιαίτερα σε περιόδους υψηλής στάθμης άμμο.

Απομακρύνεται με την κατασκευή ενός αμμοσυλλέκτη (εξαμμωτή)

Ένας αμμοσυλλέκτης τοποθετείτε συνήθως πριν από τις δεξαμενές καθίζησης και πολύ πριν τα αντλιοστάσια.

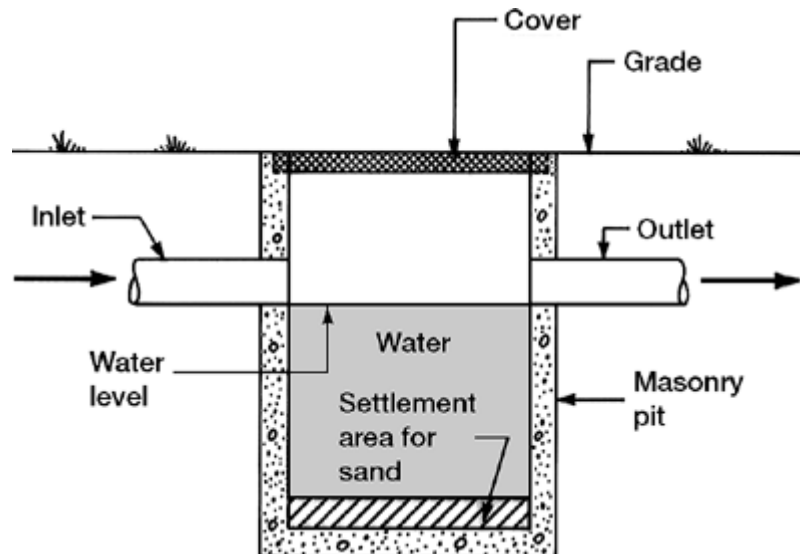
Υπάρχουν βασικά τρεις διαφορετικοί τύποι αμμοσυλλέκτη, της οριζόντιας ροής, του αεριζόμενου του τύπου δίνης.

# Απομάκρυνση αιωρούμένων στερεών-οριζόντια ροή

Κατά την διέλευση του νερού μέσα από την δεξαμενή αμμοσυλλογής οριζόντιας ροής, ρέει με οριζόντια ταχύτητα  $0,3 \text{ m / s}$  και τα σωματίδια προλαβαίνουν να καθιζάνουν πριν φτάσουν στο σημείο εξόδου.

Απομακρύνονται σωματίδια με διάμετρο  $>0,21 \text{ mm}$

Η άμμος που κατακάθεται στον πυθμένα του θαλάμου αφαιρείται περιοδικά από το σύστημα.



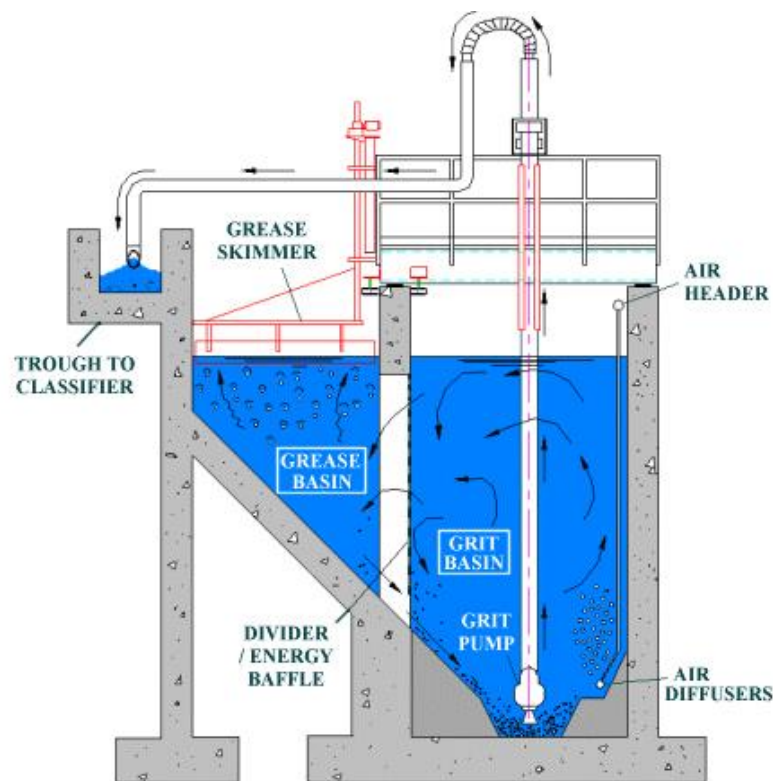
Αναπλ. Καθηγητής Π. Μελίδης

# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών - αεριζόμενος αμμοσυλέκτης

Αποτελείται από μία δεξαμενή αερισμού, που σχεδιάστηκε για τη δημιουργία μιας σπειροειδούς ροής του νερού καθώς κινείται μέσα στο θάλαμο.

Με την ταχύτητα που δημιουργείται από την κίνηση του νερού, τα σωματίδια ορισμένου μεγέθους κατευθύνονται στο κώνο συλλογής στο κάτω μέρος.

Απομακρύνονται με την βοήθεια αντλίας που βρίσκεται πάνω σε παλινδρομική γέφυρα





# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών - αεριζόμενος αμμοσυλέκτης

Τυπικά κριτήρια σχεδιασμού για αεριζόμενους αμμοσυλέκτες  
(Πηγή WEF, 1998)

Σχεδιάζονται για την απομάκρυνση σωματιδίων μεγαλύτερα από 0,21 mm

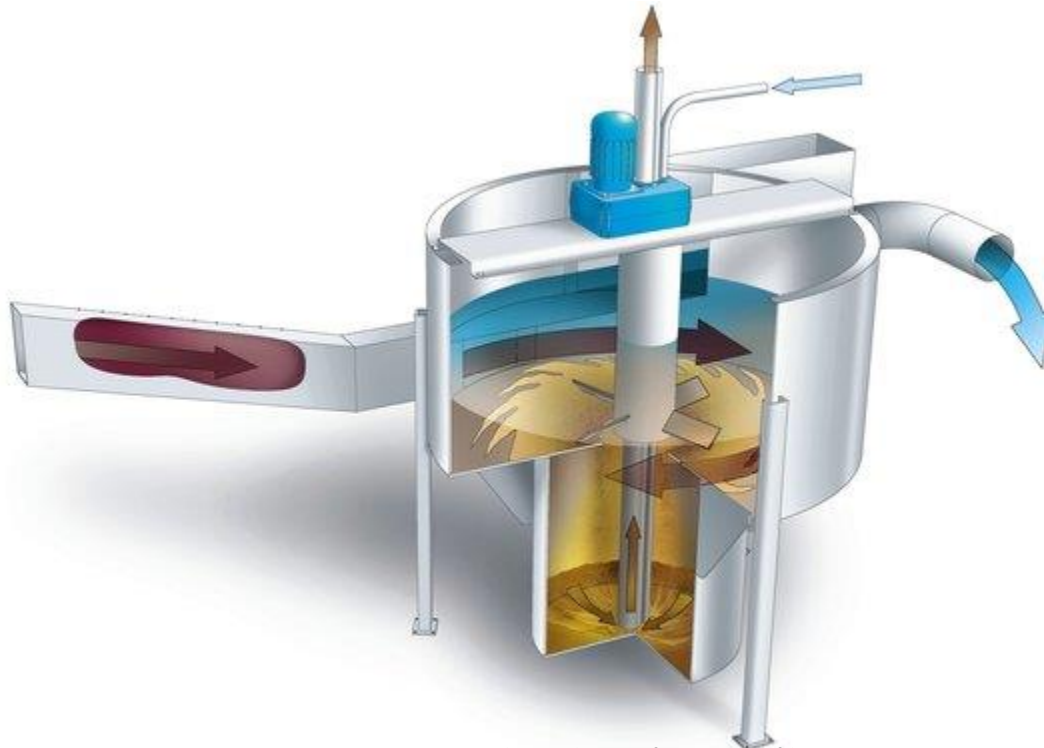
Μέγεθος	Σχεδιαστικά κριτήρια
Παροχή αέρα (ανά μέτρο μήκους της δεξαμενής)	0,3-0,7 m <sup>3</sup> /m.min
Ελάχιστος χρόνος παραμονής	2-3 min 25-40 mm
Λόγος μήκους προς πλάτος	2,5:1 – 5:1
Η είσοδος και η έξοδος είναι τοποθετημένες ώστε η ροή να είναι κάθετη στην σπειροειδή κίνηση της άμμου	
Χρησιμοποιούνται διαφράγματα για την διάχυση της ενέργειας και ελαχιστοποίηση των βραχυκυκλωμάτων	

# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών – αμμοσυλέκτης τύπου δίνης

Η αμμοσυλλογή τύπου δίνης (vortex type grit chamber) λειτουργεί δημιουργώντας μια δίνη μέσα σε μια κυλινδρική δεξαμενή.

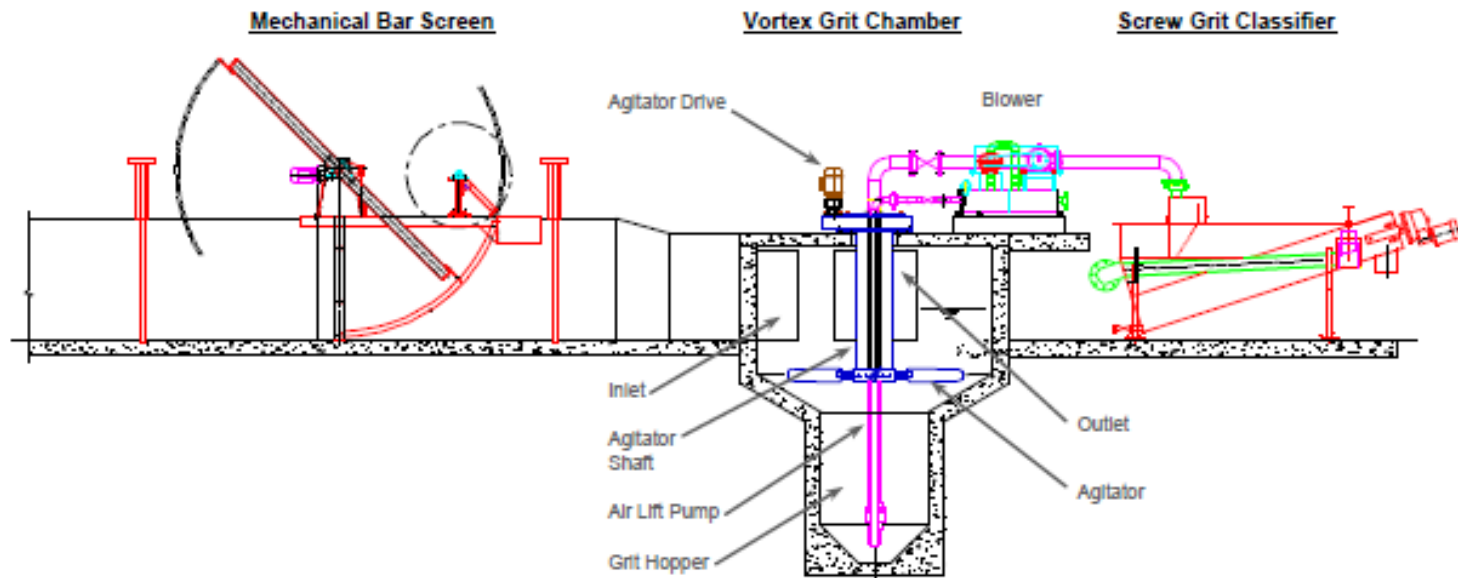
Το νερό εισέρχεται εφαπτομενικά και η φυγόκεντρος δύναμη οδηγεί την άμμο προς τα κάτω ενώ το νερό απαλλαγμένο από αυτή πορεύεται επάνω και έξω.

Η άμμος απομακρύνεται με την βοήθεια νερού



# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών – αμμοσυλέκτης τύπου δίνης

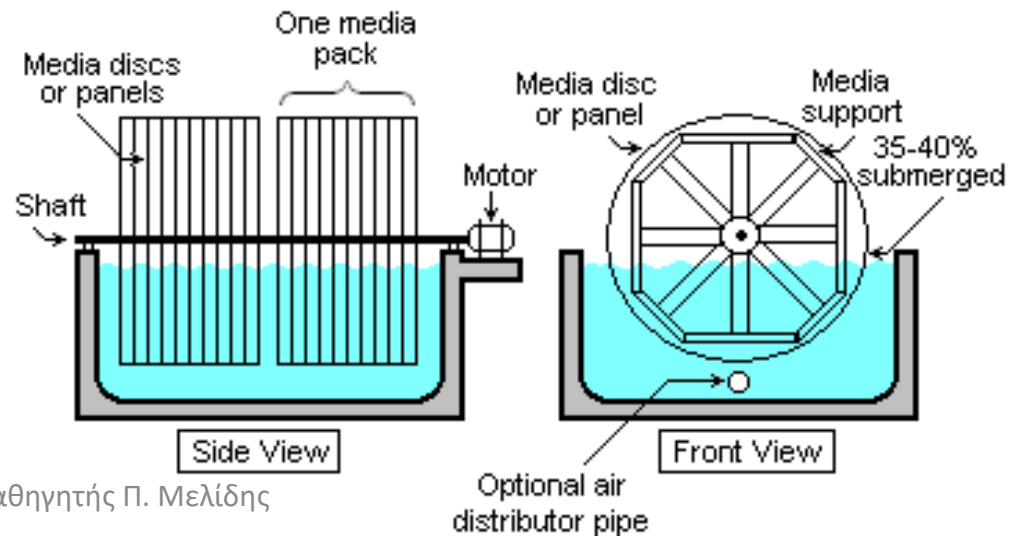
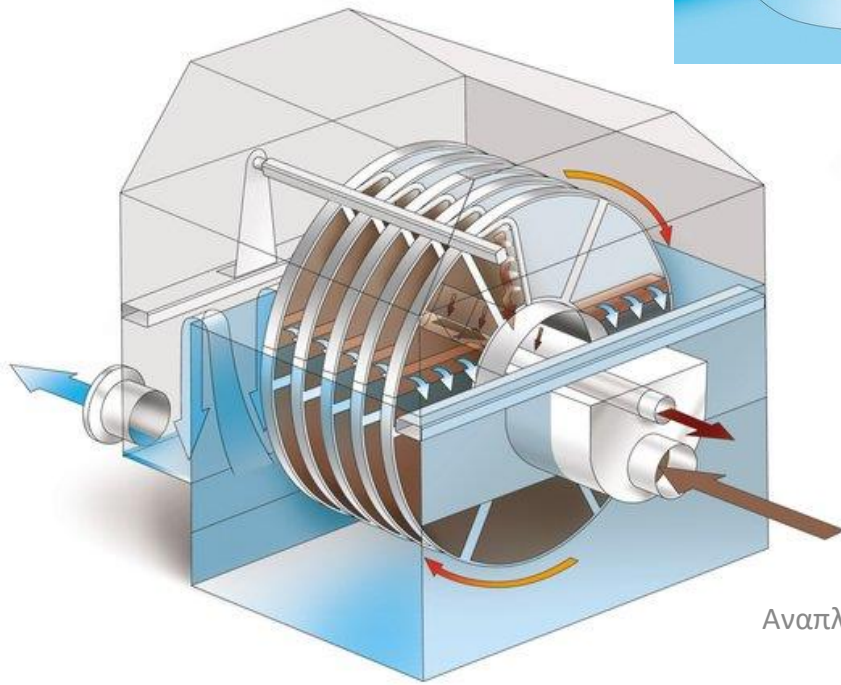
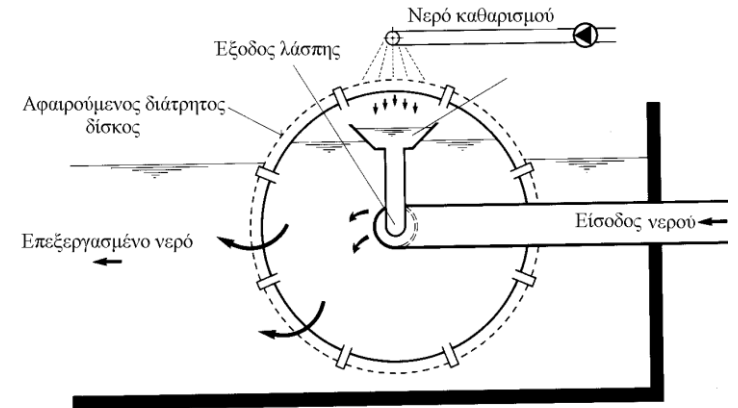
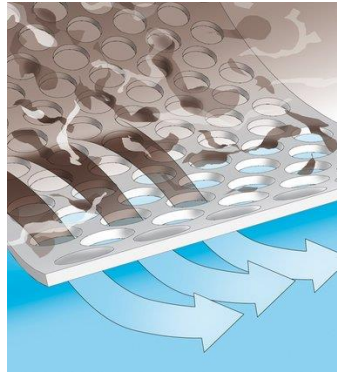
Σχέδιο ενός συστήματος εσχάρωσης και αμμοσυλέκτη τύπου δίνης



Max Flow m <sup>3</sup> /day	4000	10,000	15,000	26,500	35,000	45,000	75,000	120,000
Grit Chamber diameter (m)	1.9	2.2	2.5	3.0	3.4	3.7	5.0	6.0
Agitator (hp)	0.5	0.5	0.75	1.0	1.0	1.5	2.0	2.5

# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών-κόσκινα

Για το μικρό μέρος λεπτού άμμου είναι αναγκαίο ένα κόσκινο το οποίο θα συνδυασθεί με τον εξαμμητή ή θα τον αντικαταστήσει πλήρως



Αναπλ. Καθηγητής Π. Μελίδης

# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών

Νερά πολύ επιβαρημένων ποταμών με πάνω από 500 mg/L ΑΣ είναι δυνατόν να επεξεργασθούν μόνο με σύνθετες μεθόδους που αποτελούνται από κροκίδωση, καθίζηση και διήθηση

Εφαρμόζοντας ισχυρές μέθόδους κατακρήμνισης π.χ. σε ΔΚ κεκλιμένων πλακών ή/και με ανακυκλοφορία της ιλύος αποφεύγουμε την διήθηση γρήγορης ροής (που ακολουθεί κατά κανόνα) και μπορεί να εφαρμοσθεί άμεσα διήθηση αργής ροής (παρουσιάζει το πλεονέκτημα της βιολογικής δράσης)

# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών

ΑΣ μικρότερα από 0,001 mm δεν συμπεριφέρονται ως στερεά αλλά ως κολλοειδή που προκαλούν στο νερό θολότητα, ιριδισμό, και χρώμα  
Επίσης σύμφωνα με το είδος προκαλούν και την οξειδωσιμότητα

Απομακρύνονται πλήρως μόνο με εντατική κροκίδωση

Η υψηλή δόση του κροκιδωτικού 10-100 mg/L απαιτεί ακόλουθη επεξεργασία:

1. καθίζηση σε δεξαμενές επαφής λάσπης
2. διήθηση του νερού

(Η διαδικασία αυτή αντιστοιχεί στις κλασικές μεθόδους απ' ευθείας επεξεργασίας επιφανειακού νερού)

# Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών

## Απομάκρυνση στερεών - ανασκόπηση

Στερεό		Συγκέντρωση	Μέθοδος	Δόση
	d mm	g/m <sup>3</sup>		g/m <sup>3</sup>
Επιπλέοντα	>10	<10000	Εσχάρες	-
Ψάρια, φυτά	<1	>0,1	Διάτρητο καλάθι	-
Άμμος	0,1-10	100-10000	Αμμοσυλέκτης	-
Φύκια, πρωτόζωα	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-1</sup>	1-20	Κόσκινα ή Ταχεία φίλτρα ή βραδέα φίλτρα	-
Φυτά	1-100	<200	Κόσκινα ή λεπτομερές σούρωμα	-
Μικρά φύκια	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	1-200	Κροκίδωση + ταχεία φίλτρα ή βραδέα φίλτρα	1-10
Ανόργανα συστατικά και φύκια	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-1</sup>	20-500	Κροκίδωση + ταχεία φίλτρα Κροκίδωση + Καθίζηση + ταχεία φίλτρα	2-20
Ανόργανα συστατικά + απόβλητα + φύκια	10 <sup>-3</sup> -10	500-5000	Κροκίδωση + Καθίζηση με επιστροφή λάσπης + ταχεία φίλτρα	10-50
Χρώμα, οξειδωσιμότητα, κολλοειδή	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-3</sup>	1-10	Κροκίδωση + Καθίζηση με επιστροφή λάσπης + ταχεία φίλτρα + βραδέα φίλτρα	10-100

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Για τον διαχωρισμό των υλικών που περιέχονται στο νερό εφαρμόζονται στην επεξεργασία του πόσιμου νερού κυρίως φίλτρα, δεξαμενές καθίζησης, και σπάνια εγκαταστάσεις επίπλευσης.

Όταν η ποσότητα των υλικών προς διαχωρισμό είναι μικρή αρκεί μια εγκατάσταση διήθησης, ενώ για μεγαλύτερες ποσότητες πρέπει να προπορευτεί μια εγκατάσταση καθίζησης.

Όταν τα υλικά βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή ή είναι λεπτοδιασκορπισμένα ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται σχεδόν πάντα μόνο με την χρήση κροκιδώτικών, ειδάλλως απαιτούνται αντιοικονομικές διαστάσεις εγκαταστάσεων και μεγάλη χρόνοι δράσης στις δεξαμενές καθίζησης .

Με την κροκίδωση αφαιρείται και ένα μέρος πραγματικά διαλυμένων ουσιών. Κροκίδωση και καθίζηση μπορεί να επιτευχθούν με τα ίδια υλικά, εξελίσσονται κατά ένα μέρος παράλληλα και πολλές φορές στην πράξη δεν μπορεί να διαχωριστούν



# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Χαρακτηριστικά καθίζησης αιωρουμένων σωματιδίων

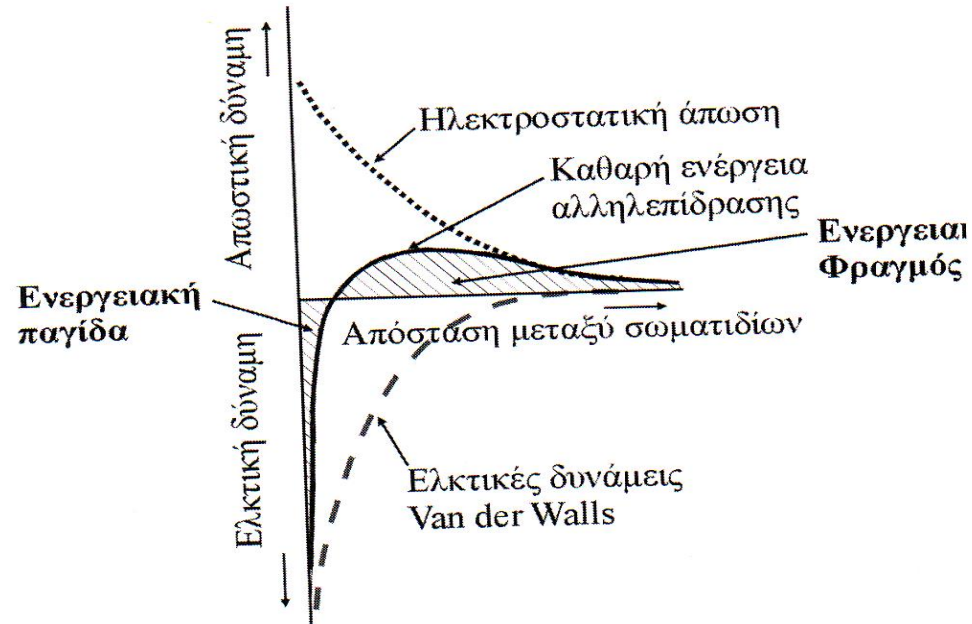
Υλικό	Μέγεθος	Χρόνος καθίζησης, 1m
Χαλαζίας	10.000	1 sec
	1.000	10 sec
	100	125 sec
	10	108 min
Βακτήρια	1	180 h
Κολλοειδή	0,1	755 d

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Σε κολλοειδή ή λεπτοδιασκορπισμένα σωματίδια με το ίδιο φορτίο δρουν σταθεροποιητικές δυνάμεις (απωθητικές δυνάμεις) τις περισσότερες φορές ηλεκτροστατικής φύσης.

Έτσι παρά την δράση των επιφανειακών δυνάμεων έλξης (van der Waals) σχηματίζεται ένα φράγμα δυναμικού που δεν επιτρέπει να επέλθει μια συσσωμάτωση των σωματιδίων

Αποτέλεσμα είναι η καθίζηση να γίνεται ανεπαρκώς και τα φίλτρα δεν έχουν καμία απόδοση.

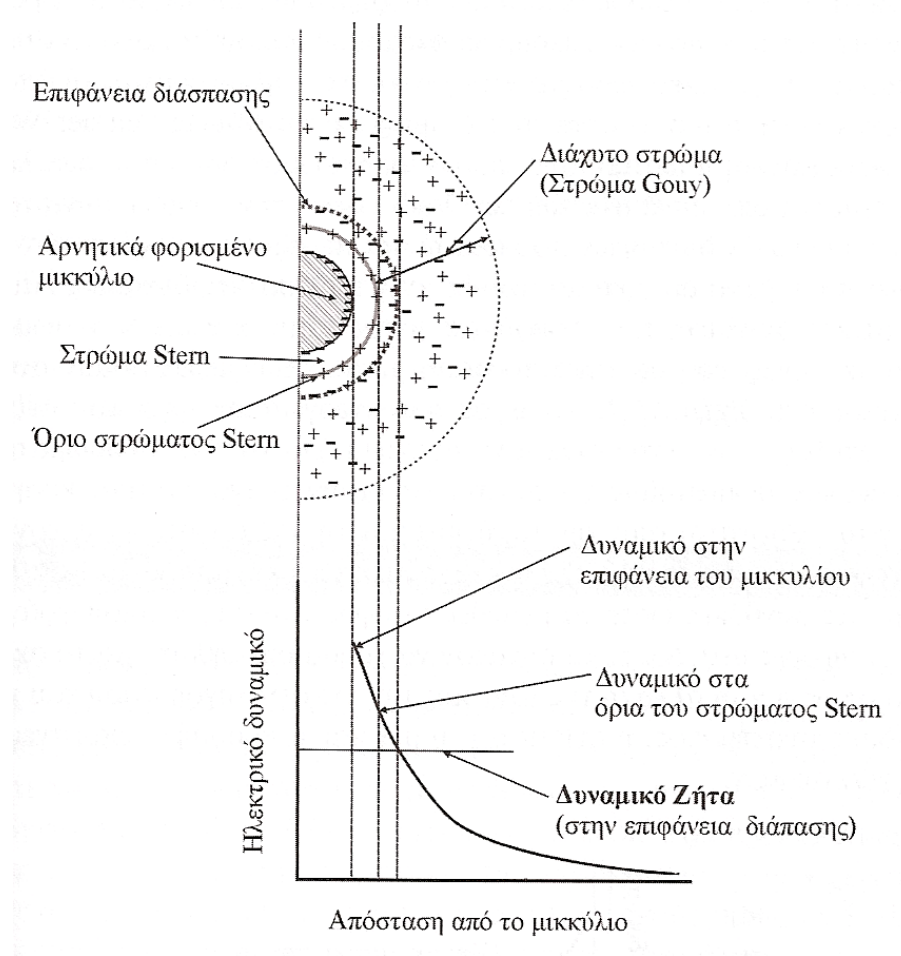


# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Με την πρόσθεση κροκιδωτικών μπορεί να επέλθει μια αποσταθεροποίηση και υπέρβαση του φράγματος του ζ δυναμικού.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως θεικό αργίλιο, και χλωριούχο αργίλιο, θειικός- και χλωριούχος σίδηρος (III), όπως και μίγματα των.

Οι ποσότητες πρόσθεσης κυμαίνονται στην τάξη μεγέθους από 0,03 μέχρι 0,3 mmol/l, αντίστοιχα 0,7 μέχρι 7,0 mg/l αργιλίου και 1,7 μέχρι 17 mg/l σιδήρου.



# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Για την υποστήριξη της καθίζησης και για καλύτευση των ιδιοτήτων καθίζησης χρησιμοποιούνται συχνά και βοηθητικά υλικά κροκίδωσης. Αυτά είναι συνήθως συνθετικά πολυμερή όπως πολυακρυλικά αμίδια με διαφορετική φόρτιση.

Η χρονική απόσταση από την πρόσθεση των κροκιδωτικών είναι τουλάχιστον 30 s.

Επίσης μπορεί να είναι αναγκαία και άλλα υλικά σε σχέση με την κροκίδωση όπως π.χ. οξειδωτικά ή χημικά για την ρύθμιση του pH.



# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Οι μηχανισμοί αποσταθεροποίησης των αιωρημάτων είναι:

1. συμπίεση της ιονικής στοιβάδας
2. προσρόφηση με αποτέλεσμα την εξουδετέρωση των φορτίων
3. παρασυρμός από ίζημα
4. διασωματιδιακή γεφύρωση

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Η συμπίεση της ιονικής στοιβάδας (ηλεκτροστατική)

Προκαλείται με την προσθήκη στο διάλυμα ιόντων αντίθετου φορτίου από το φορτίο των αιωρούμενων στερεών.

Υψηλή ιονική ισχύς συμπιέζει την διπλή ιονική στοιβάδα προς την επιφάνεια του κολλοειδούς.

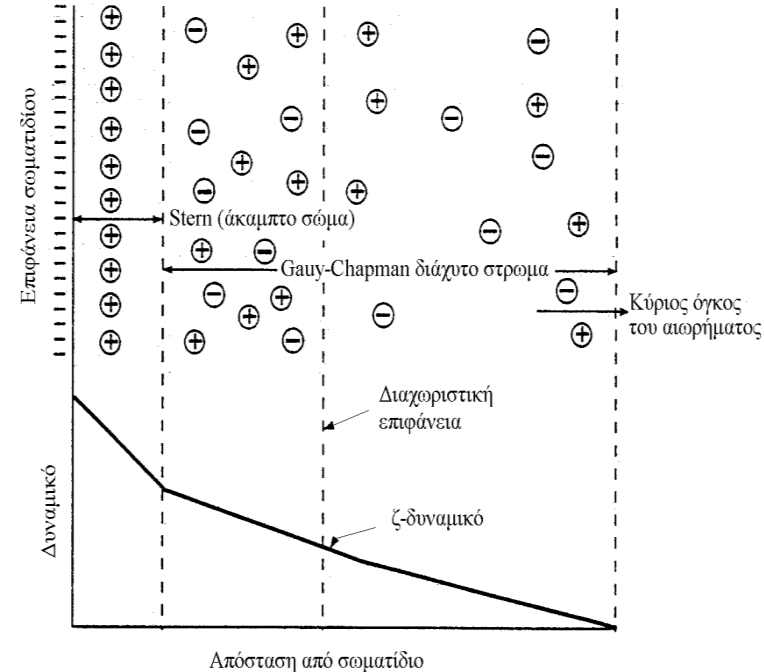
Όταν η συμπίεση αυτή είναι σημαντική, επικρατούν οι ελκτικές δυνάμεις .

Αποτέλεσμα είναι η συσσωμάτωση των επιμέρους κολλοειδών.

Ο βαθμός συμπίεσης της ιονικής στοιβάδας αυξάνει με την αύξηση του φορτίου.

Έτσι η αποτελεσματικότητα μειώνεται από το  $Al^{3+} > Ca^{2+} > Na^+$  (σε συγκέντρωση  $10^{-3}:10^{-2}:1$ )

Δεν επαρκεί από μόνος του



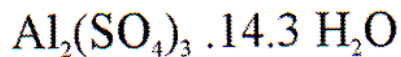
# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Προσρόφηση και εξουδετέρωση φορτίου (χημικοί δεσμοί)

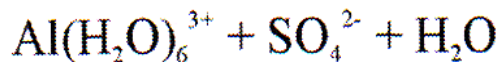
Στον μηχανισμό αυτό καθοριστικό ρόλο παίζει η φύση των κατιόντων που προκαλούν κροκίδωση των κολλοειδών

Ο ιονισμός του θεικού αργιλίου στο νερό παράγει θειικά ανιόντα και κατιόντα αργιλίου.

Τα κατιόντα αργιλίου συμμετέχουν σε αντιδράσεις υδρόλυσης και συμπλοκοποίησης και παράγουν πρωτόνια και μια σειρά συμπλόκων αργιλίου (θετικών και αρνητικών) και στερεό  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .



Γρήγορα ( $10^{-4}$ -1 s)



Αργότερα (1-7 s)



# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

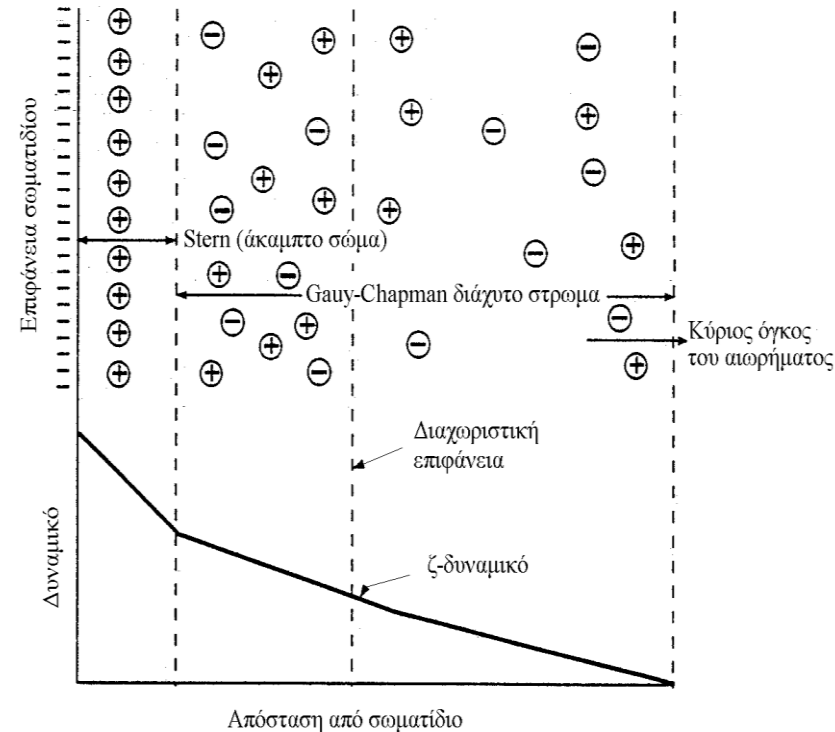
## Προσρόφηση και εξουδετέρωση φορτίου

Από τα σχηματιζόμενα ιόντα αργιλίου, τα θετικά φορτισμένα καθίστανται μέρος της διπλής στοιβάδας, η οποία περιβάλλει τα φυσικά κolloειδή και εξουδετερώνουν το επιφανειακό αρνητικό τους φορτίο.

Αυτό οδηγεί στην καταστροφή της διπλής στοιβάδας (ζ-δυναμικό)

Αύξηση της δόσης επιφέρει την επανασταθεροποίηση του αιωρήματος.

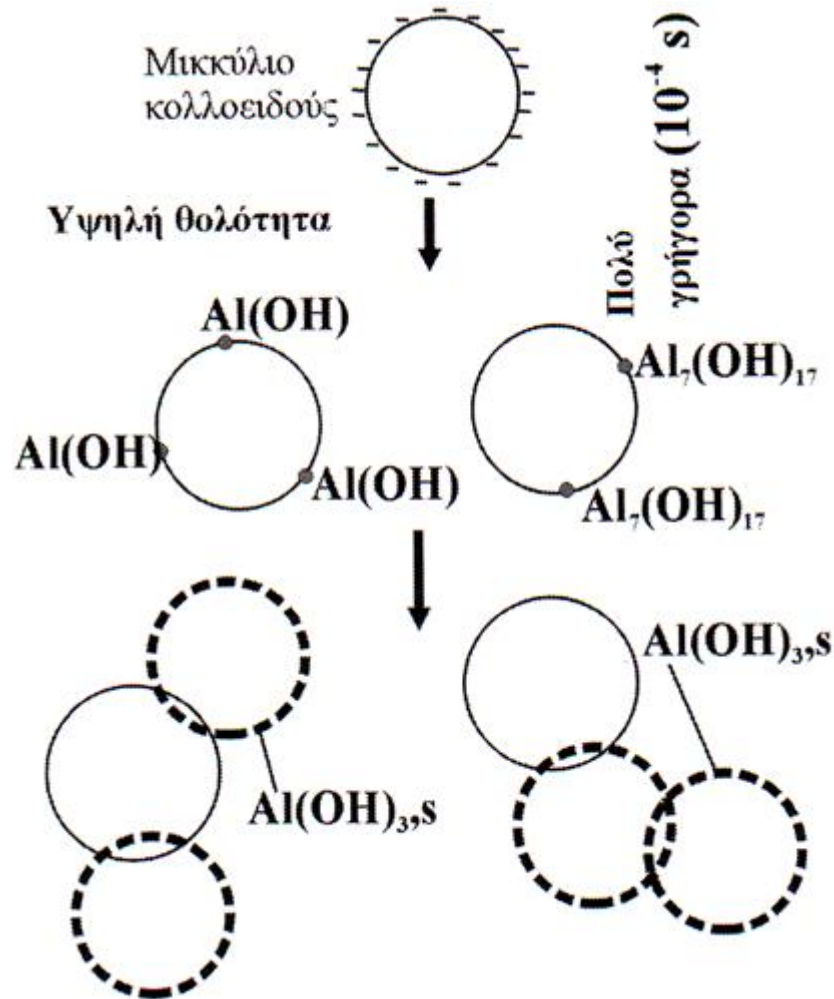
(οφείλεται στην δημιουργία θετικά φορτισμένων σωματιδίων, που προκύπτουν από την προσρόφηση περίσσειας θετικά φορτισμένων ιόντων του  $Al^{3+}$ , και η διπλή στοιβάδα αποτελείται από ανιόντα)





# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

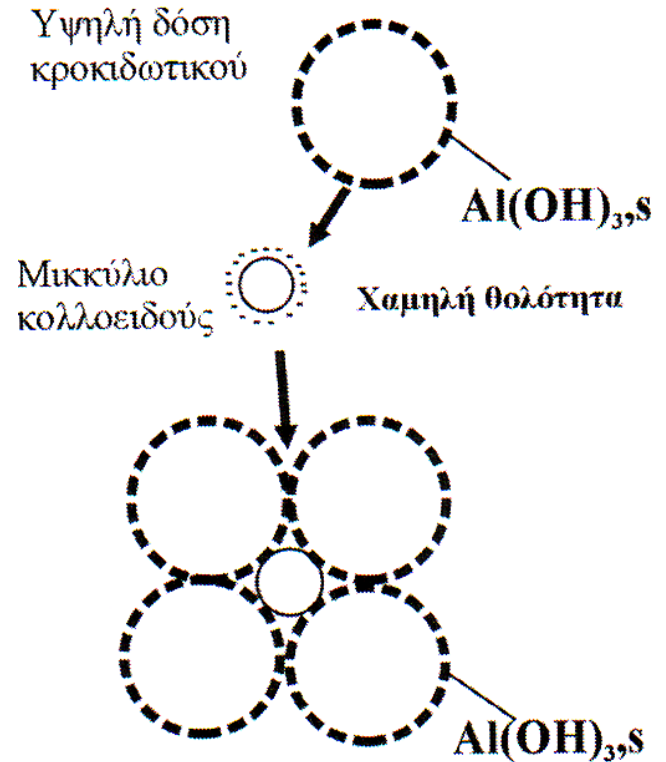
Προσρόφηση και εξουδετέρωση φορτίου (χημικοί δεσμοί)



# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Παρασυρμός από ίζημα

Όταν προστίθενται στο νερό άλατα αργιλίου και σιδήρου σε συγκεντρώσεις που έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ιζημάτων των υδροξειδίων των μετάλλων αυτών (πχ  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), τα κολλοειδή στερεά μπορεί να εγκλωβίζονται στα ιζήματα και να συγκαθιζάνουν. Αφαίρεση χαμηλής θολότητας και χρώματος στο νερό.



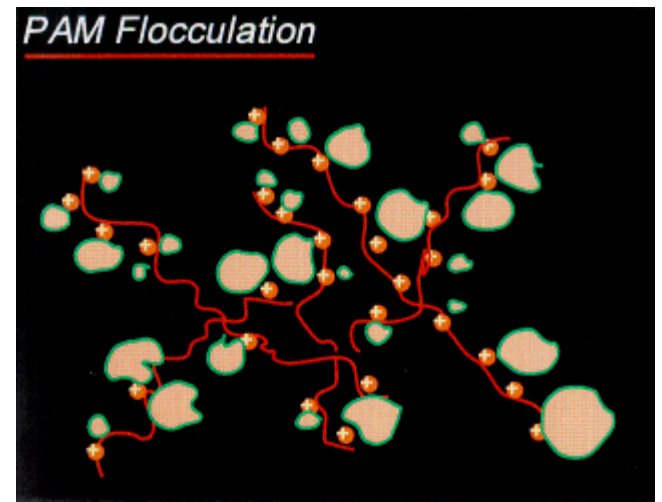
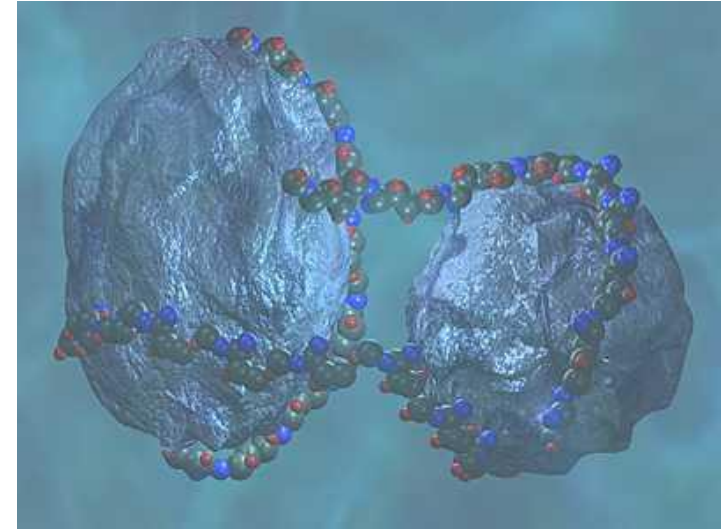
# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Διασωματιδιακή γεφύρωση

Συχνά, επίσης χρησιμοποιούνται συνθετικοί πολυηλεκτρολύτες, είτε από μόνοι τους είτε σε συνδυασμό με άλατα αργιλίου και σιδήρου.

Τα μεγαλομόρια (γραμμικά ή διακλαδισμένα) έχουν μεγάλη συγγένεια για τις επιφάνειες κολλοειδών και προσροφώνται σε αυτές.

Τα οργανικά πολυμερή δε σχηματίζουν ίζημα  
Χρησιμοποιηθεί ως βοηθητικά της κροκίδωσης  
Ως μόνα κροκιδωτικά χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία της άμεσης διήθησης,  
(δηλαδή χωρίς προηγούμενη καθίζηση)



# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Επανασταθεροποίηση

Αύξηση της δόσης επιφέρει την επανασταθεροποίηση του αιωρήματος.

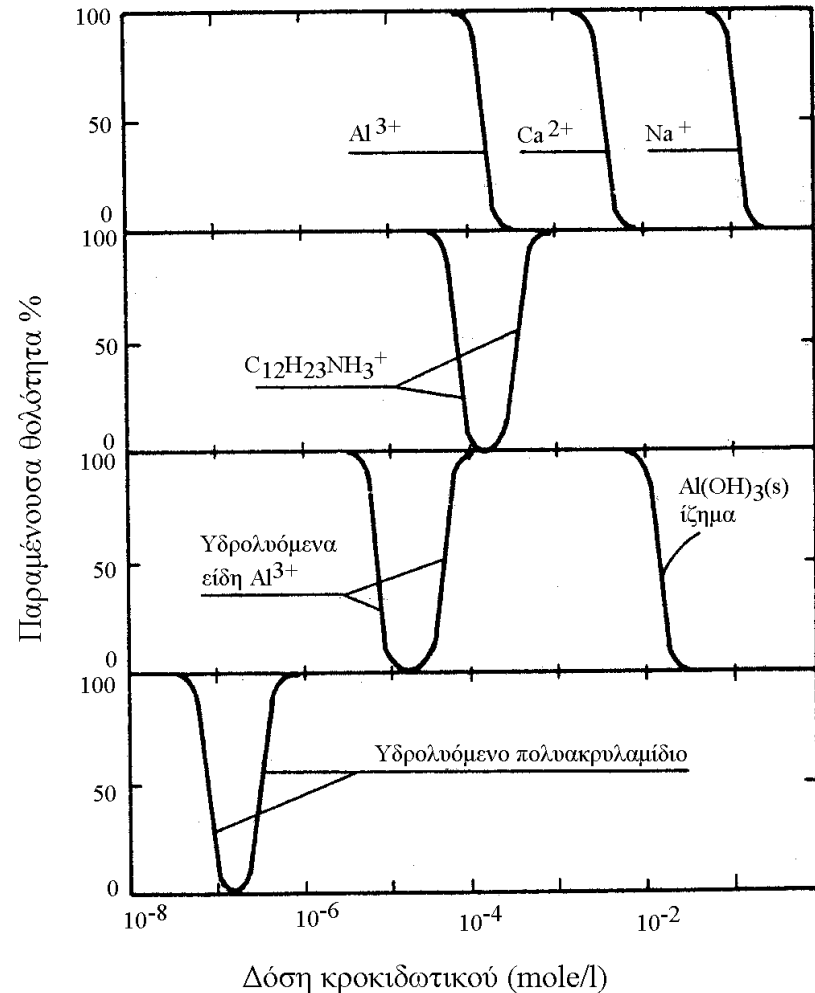
(οφείλεται στην δημιουργία θετικά φορτισμένων σωματιδίων, που προκύπτουν από την προσρόφηση περίσσειας θετικά φορτισμένων ιόντων του  $Al^{3+}$ , και η διπλή στοιβάδα αποτελείται από ανιόντα)

Παράδειγμα αποτελεί η

Δωδεκυλαμίνη ( $C_{12}H_{25}NH_3^+$ ),

τα υδρολυόμενα είδη του  $Al^{3+}$

και το πολυμερές βοηθητικό κροκίδωσης πολυακρύλαμίδιο (μη ιονικό)



# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Στάδια δημιουργίας συσσωματώματος

Βήμα μεθόδου	Οδηγίες
Αποθήκευση, μεταφορά και διάλυση του κροκιδοτικού	Σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή
1. Δοσομέτρηση και ανάμιξη	Γρήγορή και ομοιογενής διασκορπισμός του κροκιδοτικού, συνήθως είναι απαραίτητη η τυρβώδης ανάμιξη (Αναδευτήρας, ανάμιξη αγωγού, στατικός αναμίκτης)
2. Αποσταθεροποίηση	Συνήθως εξελίσσεται ταυτόχρονα με την ανάμιξη και στον ίδιο χώρο.
3. Συσσωμάτωση σε μικρονιφάδες	Συνήθως απαιτείται μεγάλη δύναμη διάτμησης δηλ προσφορά ενέργειας από τον αναδευτήρα
4. Συσσωμάτωση σε μεγάλες νιφάδες	Αύξηση του μεγέθους των νιφάδων με ελάχιστη προσφορά ενέργειας. Πιθανόν πρόσθεση βοηθητικών υλικών κροκίδωσης 0,1 – 1 g/m <sup>3</sup> . Βελτιστοποίηση σύμφωνα με την μέθοδο διαχωρισμού.
Διαχωρισμός των σχηματισθέντων νιφάδων	

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Τα βήματα της μεθόδου της κροκίδωσης και του διαχωρισμού μπορούν να εξελίσσονται στην ίδια μονάδα ή και σε διαφορετικές

Τις μικρότερες απαιτήσεις, βέβαια σε μικρή φόρτιση, απαιτεί η διήθηση – κροκίδωση με την δημιουργία των νιφάδων στο χώρο πάνω από το φίλτρο και ακόμα πιο καλά στο ίδιο το στρώμα του φίλτρου.

Ο σχεδιασμός, η μέτρηση και βελτιστοποίηση εγκαταστάσεων κροκίδωσης απαιτούν σχεδόν πάντα πειράματα σε πιλοτικές μονάδες και στην ίδια την μονάδα, διότι :

1. Το είδος και η ποσότητα των κροκιδωτικών,
2. Το κατάλληλο pH,
3. Η θέση δοσομέτρησης, ο χρόνος παραμονής κλπ

πρέπει να ρυθμιστούν **βάση της ποιότητας του νερού** προς επεξεργασία, την μέθοδο διαχωρισμού, και το τελικό αποτέλεσμα της κατεργασίας.

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Πρακτική της χημικής ιζηματοποίησης

Ακολουθεί τα τρία παρακάτω στάδια:

### α) Ταχεία ανάμιξη

Είναι αναγκαία για την διάδοση του ιζήματος διαμέσου του νερού ώστε να επέλθει η αναγκαία επαφή. Ο χρόνος ανάμιξης είναι μικρός, κυμαίνεται από 10-13 s. Ο αναμικτήρας αποτελείται από μια δεξαμενή με αναδευτήρα.

### β) Θρόμβωση

Η αντίδραση της χημικής ένωσης με την αλκαλικότητα του νερού είναι πρακτικά στιγμιαία.

### γ) Συσσωμάτωση

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Πρακτική της συσσωμάτωσης

Το αρχικά σχηματισμένο ίζημα είναι με μοριακές διαστάσεις.

Στην συνέχεια τα σωματίδια αυξάνουν σε διαστάσεις με την κίνηση Brown και μετατρέπονται σε κρυστάλλους.

Η λειτουργία αυτή συμπληρώνεται γρήγορα (σε μερικά δευτερόλεπτα).

Η ταχύτητα συσσωμάτωσης οφείλεται στην κίνηση ενός σημείου του υγρού και είναι απευθείας ανάλογη προς την περιεκτικότητα και την ταχύτητα των συσσωματούμενων υλικών στο συγκεκριμένο σημείο.

Η ταχύτητα συσσωμάτωσης προσδιορίζεται από τον αριθμό των επαφών μεταξύ των σωματιδίων στην μονάδα του χρόνου.

**Περικινητική** συσσωμάτωση έχουμε όταν οι συγκρούσεις προκαλούνται από την κίνηση Brown

Είναι σημαντική στα σωματίδια που είναι μικρότερα από 1  $\mu\text{m}$

Ο ρόλος της μηδενίζεται όταν η βαρύτητα του σωματιδίου καθορίζει την κίνηση του.



# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Πρακτική της συσσωμάτωσης

**Ορθοκίνητική** συσσωμάτωση έχουμε όταν οι συγκρούσεις προκαλούνται από την διαφορεική κίνηση των στερών.

1. Αυτή μπορεί να οφείλεται στην βαρύτητα (διαφορική καθίζηση) ή
2. Στη διαφορική κίνηση τμημάτων του υγρού.

Χαρακτηριστικό μέγεθος που περιγράφει την διαφορική κίνηση είναι η μέση τιμή της βαθμίδας ταχύτητας

$$G = dv/dy$$

*dv = διαφορά των ταχυτήτων μεταξύ δύο διαφορετικών σωματιδίων,*

*dy = η μεταξύ τους απόσταση*

Το G είναι μία σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό συστημάτων ανάδευσης και σχετίζεται με την **ισχύ** που είναι απαραίτητη για την ανάδευση ανά μονάδα όγκου υγρού καθώς και με το **δυναμικό ιξώδες** του υγρού.

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Πρακτική της ορθοκινητικής συσσωμάτωσης

Η  $G$  στις δεξαμενές συσσωμάτωση μπορεί να υπολογισθεί από την καταναλισκόμενη ισχύ.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Όπου  $G$  = η κλίση της ταχύτητας, που είναι μέτρο διασκορπισμού ισχύος στη δεξαμενή ανάδευσης, ( $s^{-1}$ )

$P$  = η ισχύς που μεταφέρεται και καταναλώνεται στην δεξαμενή ανάδευσης, (watt = N.m/s)

$V$  = ο όγκος της δεξαμενής ανάδευσης ( $m^3$ )

$\mu$  = το δυναμικό ιξώδες του νερού ( $N.s/m^2$ )

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Πρακτική της ορθοκινητικής συσσωμάτωσης

Όταν η ανάδευση είναι υδραυλική η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διασκορπισμένης ισχύος είναι

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h_L \left( \frac{kg}{m^3} \frac{m}{s^2} \frac{m^3}{s} m = \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot \frac{m}{s} = \frac{N \cdot m}{s} = \frac{J}{s} = watt \right)$$

Όπου P η διασκορπισμένη ισχύς (watt)

$\rho$  η πυκνότητα του νερού (Kg/m<sup>3</sup>)

Q η παροχή του νερού (m<sup>3</sup>/s)

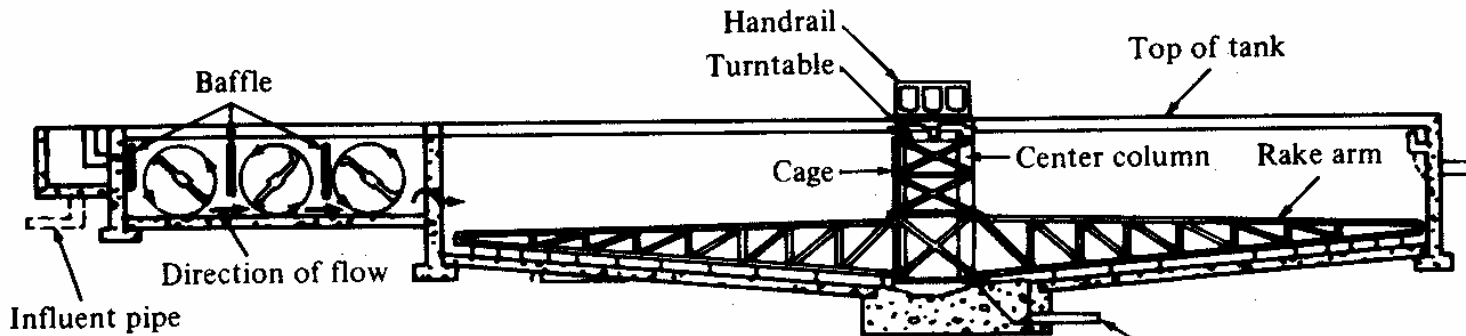
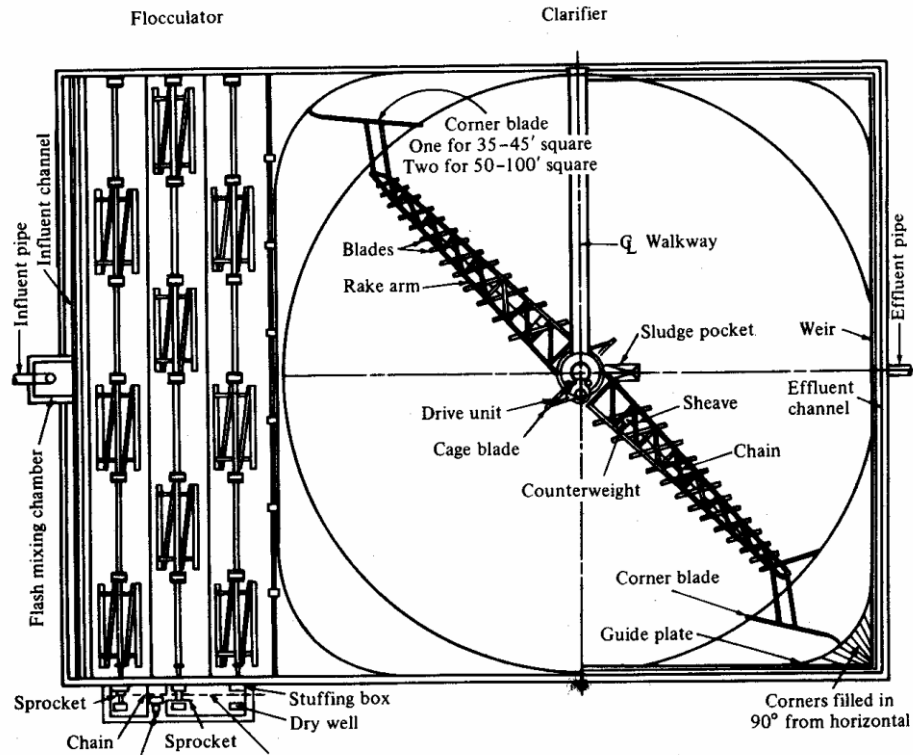
$h_L$  οι υδραυλικές απώλειες (m)

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

## Πρακτική της ορθοκινητικής συσσωμάτωσης

1. Η ταχύτητα σχηματισμού των θρόμβων είναι ανάλογος προς το μέγεθος της  $G$ .
2. Όσο μεγαλύτερη το  $G$  τόσο ταχύτερα γίνεται ο σχηματισμός αυτών. Δηλ. θα ήταν οικονομικό να αυξηθεί αυτή όσο το δυνατόν περισσότερο.
3. Παρόλα αυτά υπάρχει και ένα όριο της μέγιστης ταχύτητας που εξαρτάται από τις διαστάσεις των σωματιδίων.
4. Το ιξώδες ενός υγρού είναι ο σταθερός συντελεστής μεταξύ της μοναδιαίας διατμητικής δύναμης  $\tau$  και της ταχύτητας  $G$ .
5. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα τόσο μεγαλύτερη είναι η διατμητική δύναμη στο υγρό.

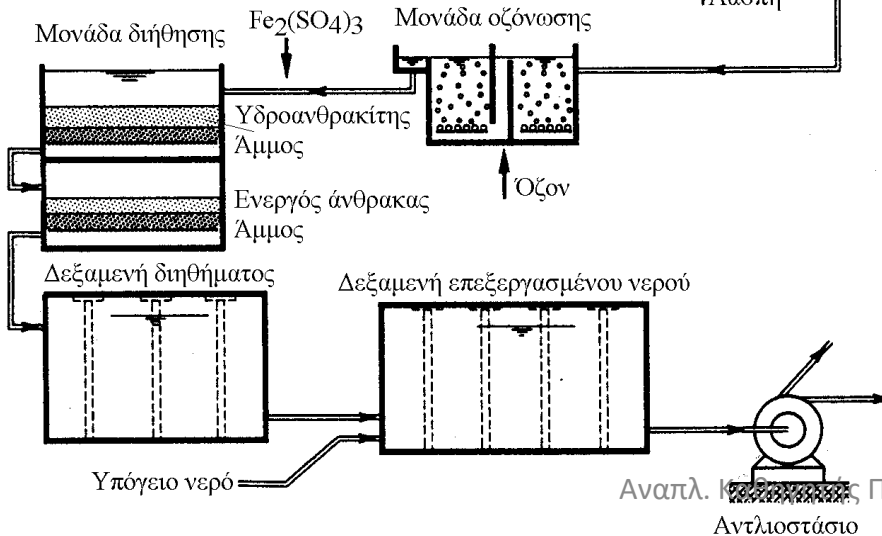
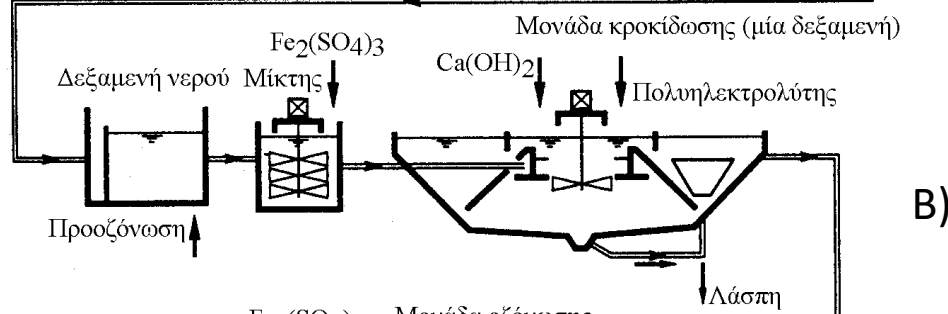
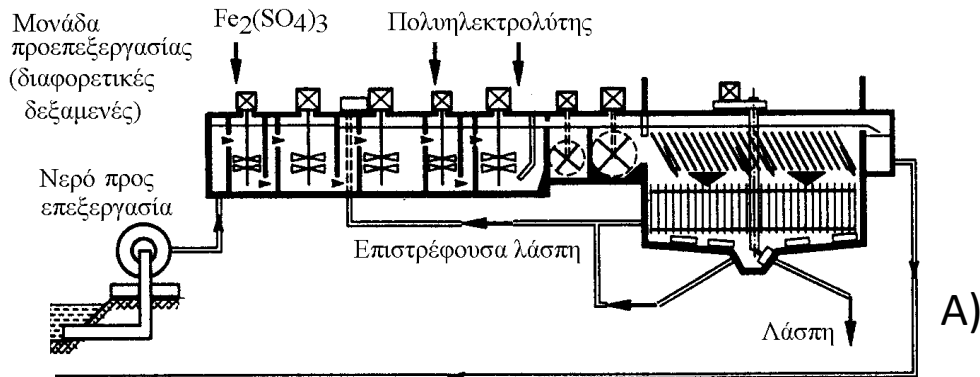
# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση



Αναπλ. Καθηγητής Π. Μελίδης

(b)

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση



Επεξεργασία επιφανειακού νερού ποταμού (Δούναβη)  
 Α) Γραμμή προεπεξεργασίας (ξεχωριστές δεξαμενές) και  
 Β) κύρια μονάδα κροκίδωσης – συσσωμάτωσης (σε μία δεξαμενή).

# Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Παράμετροι λειτουργίας κατά τον διαχωρισμό των νιφάδων μετά την κροκίδωση

Διαχωρισμός νιφάδων	Επιθυμητές ιδιότητες νιφάδων	Λειτουργικές παράμετροι
<b>Καθίζηση</b>	Συμπαγείς νιφάδες με μεγάλη πυκνότητα Μεγάλη μεσαία διάμετρος νιφάδων	$G=50$ μέχρι $100$ $1/s$ Σε αντιδραστήρες με πολλά τμήματα, σταδιακή ενεργειακή είσοδος με $G=10$ μέχρι $30$ $1/s$ . Στο τελευταίο στάδιο $t=30$ min $G.t = 90.000$ μέχρι $180.000$ Πλεονέκτημα με βοηθητικά κροκίδωσης
<b>Διήθηση</b>	Συμπαγείς νιφάδες Μικρότερη μεσαία διάμετρος Μικρή διασπορά μεγέθους των νιφάδων	$G=40 - 60$ $1/s$ $t=2 - 15$ min $G.t=15.000 - 25.000$ Πλεονεκτήματα με βοηθητικά κροκίδωσης ιδίως για οργανικές προσμίξεις
<b>Επίπλευση</b>	Νιφάδες μικρής πυκνότητας Μεγάλη διασπορά μεγέθους νιφάδων	$G=50 - 100$ $1/s$ Πλεονεκτήματα σε πολλαπλών σταδίων αντιδραστήρα. Δεν είναι αναγκαία η σταδιακή ενεργειακή είσοδος $t=15 - 30$ min $G.t=50.000 - 100.000$ Πλεονεκτήματα με βοηθητικά κροκίδωσης. Δοσομέτρηση πάνω από το ισοηλεκτρικό σημείο.

# Διήθηση

Είναι μια φυσική διεργασία

Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών από ρευστά

Στην επεξεργασία του πόσιμου νερού εφαρμόζεται ανεξάρτητα ή συμπληρώνει τις διεργασίες κροκίδωση-συσσωμάτωση-διήθηση

Καλείται να απομακρύνει τα μικρότερα σωματίδια

Χρησιμοποιείται ένα πορώδες στρώμα ως διηθητικό υλικό (φίλτρο)

Η ταξινόμηση των φίλτρων μπορεί να γίνει:

- 1) σύμφωνα με την ταχύτητα διήθησης σε αργά (χαμηλής ροής) και ταχέα (υψηλής ροής).
- 2) σύμφωνα με την πίεση σε ανοικτά (βαρύτητα) και κλειστά (πίεση)
- 3) σύμφωνα με την δομή σε ενός και πολλαπλών στρωμάτων



# Διήθηση

Διακρίνουμε την διήθηση στρώματος (μέσω του διηθητικού υλικού) και την διήθηση πλακούντα (πάνω στην επιφάνεια)

Στην επεξεργασία του ΠΝ εφαρμόζουμε την διήθηση στρώματος ή χώρου που διακρίνεται

1. Κλασική επεξεργασία (κροκίδωση-συσσωμάτωση-καθίζηση-διήθηση)
2. Απ' ευθείας διήθηση (με ή χωρίς δεξαμενή κροκίδωσης/ανάμιξης)

Εφαρμόζεται σε

- Μικρές θολότητες
- Χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις στην ποιότητα

# Διήθηση

Χαρακτηριστικά σωματιδίων που απομακρύνονται με την διήθηση

Είδος	Εύρος μεγέθους $\mu\text{m}$	Πυκνότητα $\text{g/ml}$	Ισχύς θρόμβου
Θρόμβοι βακτηρίων	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	$\approx 5,2$	Χαμηλή
$\text{CaCO}_3$	0,1 - 50	$\approx 2,4$	Χαμηλή

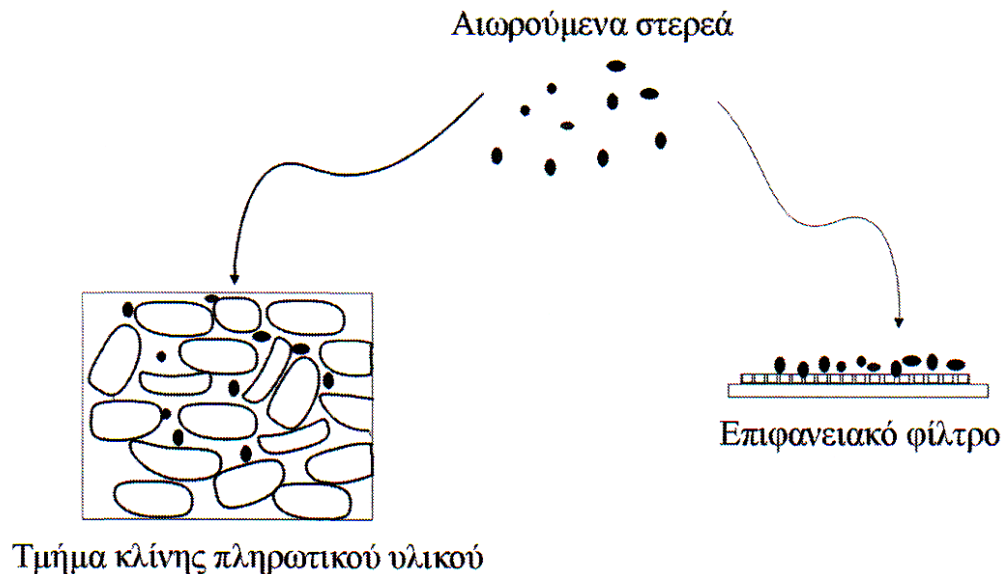
# Διήθηση

Η διήθηση γίνεται με ταχύτητες από 5 – 25 m/h

Συνήθως καθοδική ροή

Τα στερεά απομακρύνονται από το νερό διότι συγκρατούνται και συσσωρεύονται στα διάκενα των κόκκων και στο επάνω μέρος του ΔΥ

Η απόδοση του φίλτρου μεταβάλλεται κατά την λειτουργία, διότι οι αποθέσεις αλλάζουν την γεωμετρία των πόρων



# Διήθηση

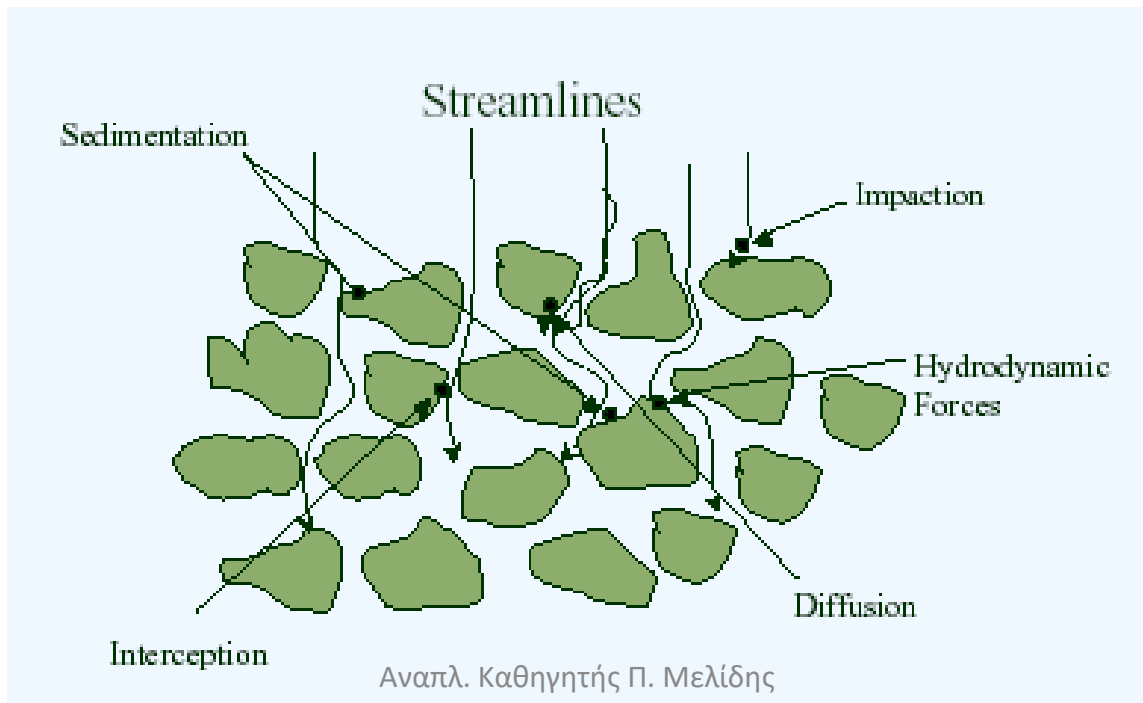
Κατά την διήθηση χώρου αρκετοί μηχανισμοί συνεισφέρουν στην απομάκρυνση όπως:

Καθίζηση (sedimentation),

Διάχυση (diffusion),

Ανάσχεση (interception),

Υδροδυναμικές δυνάμεις (hydrodynamic forces)

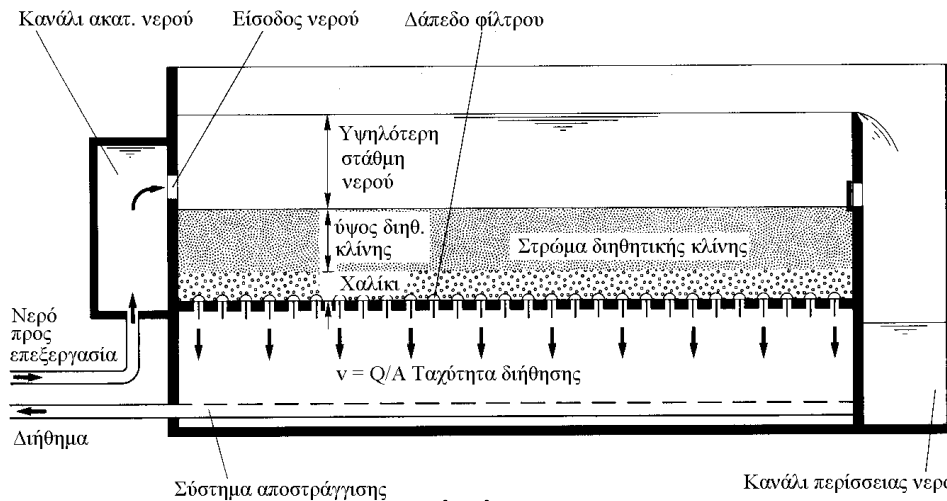


# Διήθηση υψηλής ροής

Κατά την διήθηση επιφανειακών νερών όπως και μετά από την χημική κροκίδωση εφαρμόζονται ανοικτά (A) ή κλειστά φίλτρα (B) υψηλής ροής με πολλαπλές διαφορετικές στρώσεις υλικών

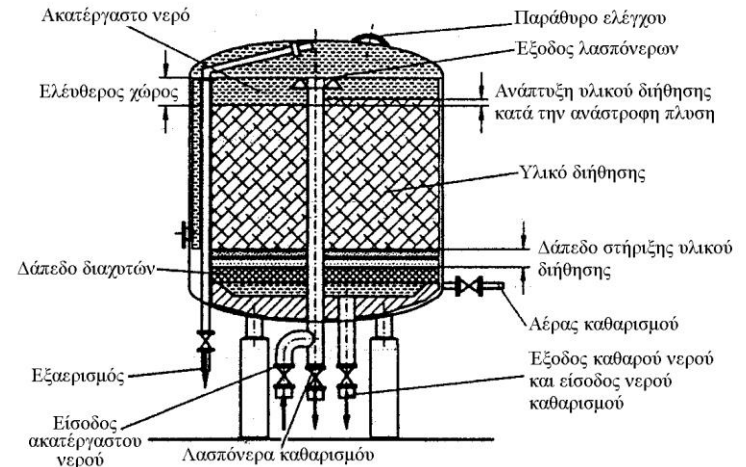
Έτσι επιτυγχάνουν

1. μια καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου
2. μακρύτερο διάστημα λειτουργίας
3. και αντίστοιχα υψηλότερη ταχύτητα.



(A)

Αναπλ. Καθηγητής Π. Μελίδης



(B)

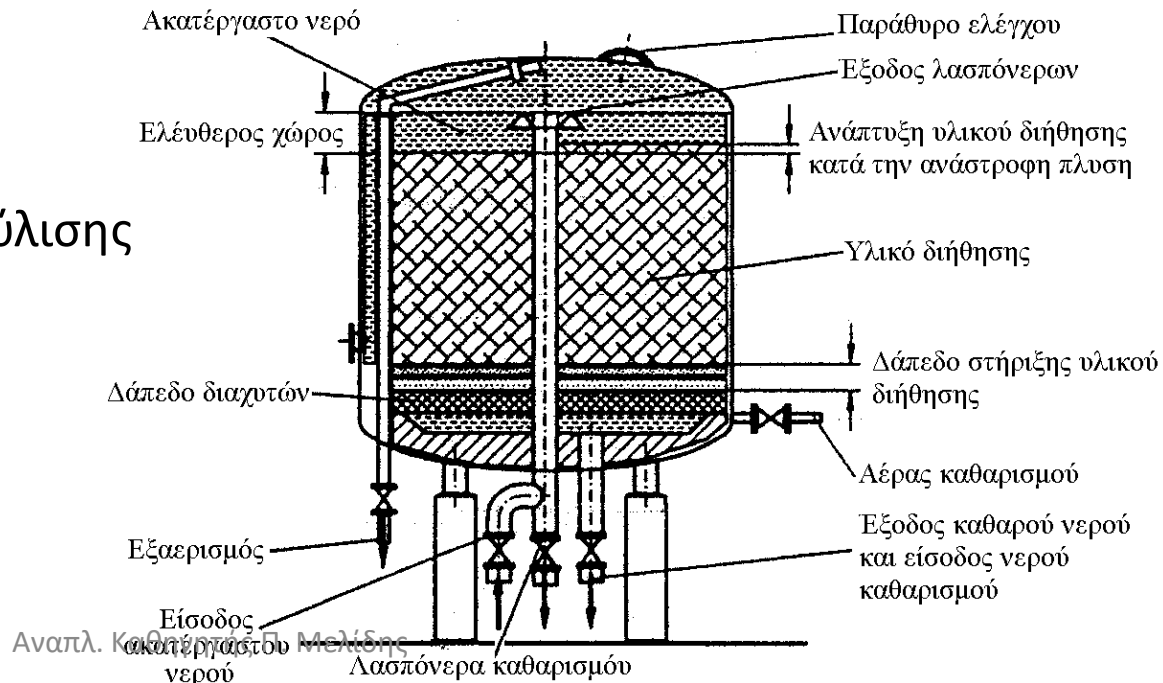
# Διήθηση υψηλής ροής

Φίλτρα υπό πίεση έχουν το πλεονέκτημα απέναντι στα ανοικτά, ότι

1. δεν έχουν καμία ανοιχτή επιφάνεια νερού
2. μεγάλο πάχος στρώματος,
3. υψηλότερες ταχύτητες
4. μακρύτερους χρόνους λειτουργίας

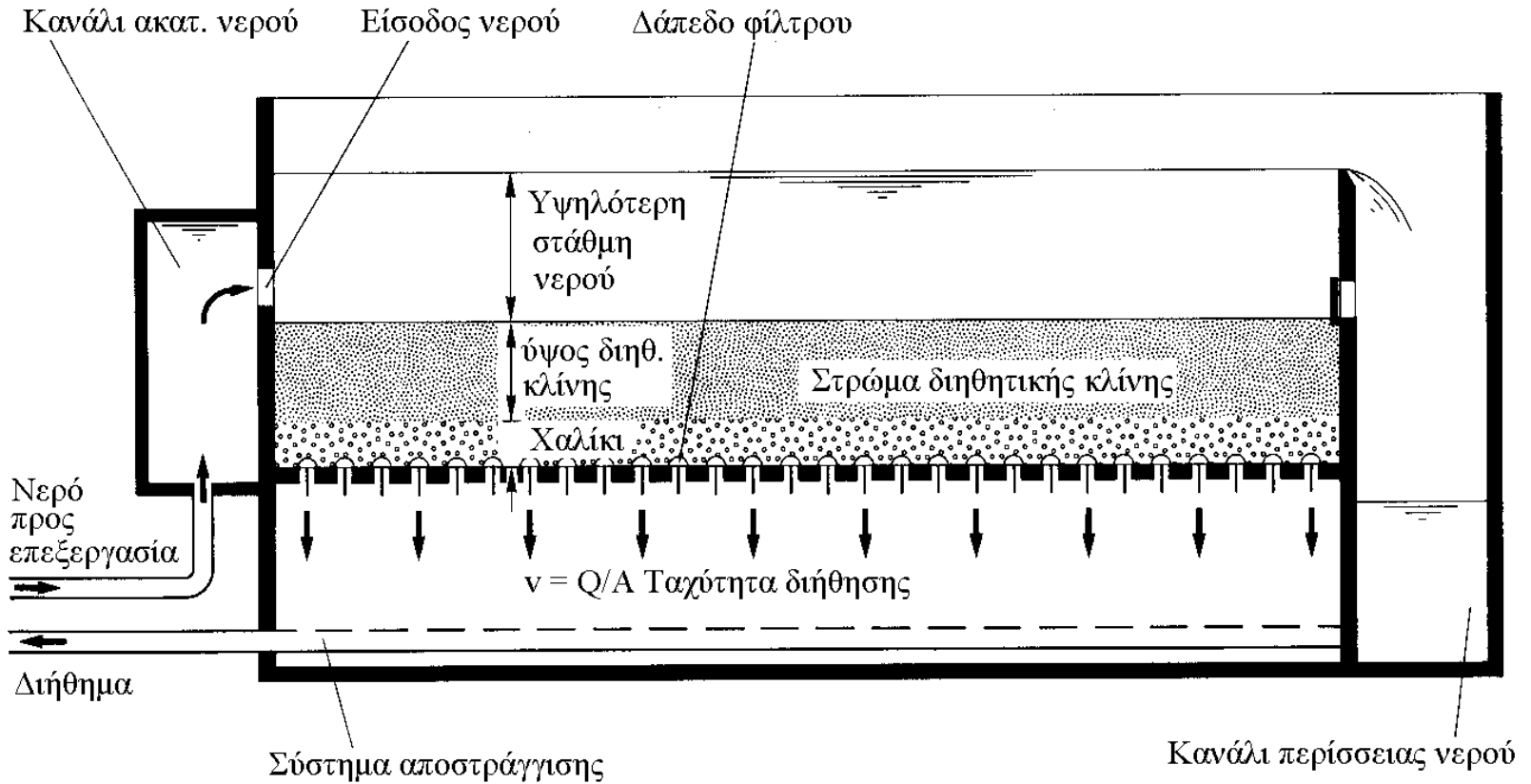
Ελάττωμα τους είναι

1. ελλιπής οπτικός έλεγχος
2. μικρότερη επιφάνεια διύλισης



# Διήθηση υψηλής ροής

## Ανοικτά φίλτρα υψηλής ροής



# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Το πλαίσιο του φίλτρου

Σε ανοικτές μονάδες με τετραγωνική επιφάνεια (μέχρι 3 μέτρα πλάτος και 20 μέτρα μήκος) από οπλισμένο σκυρόδεμα, σε κλειστά διυλιστήρια 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.

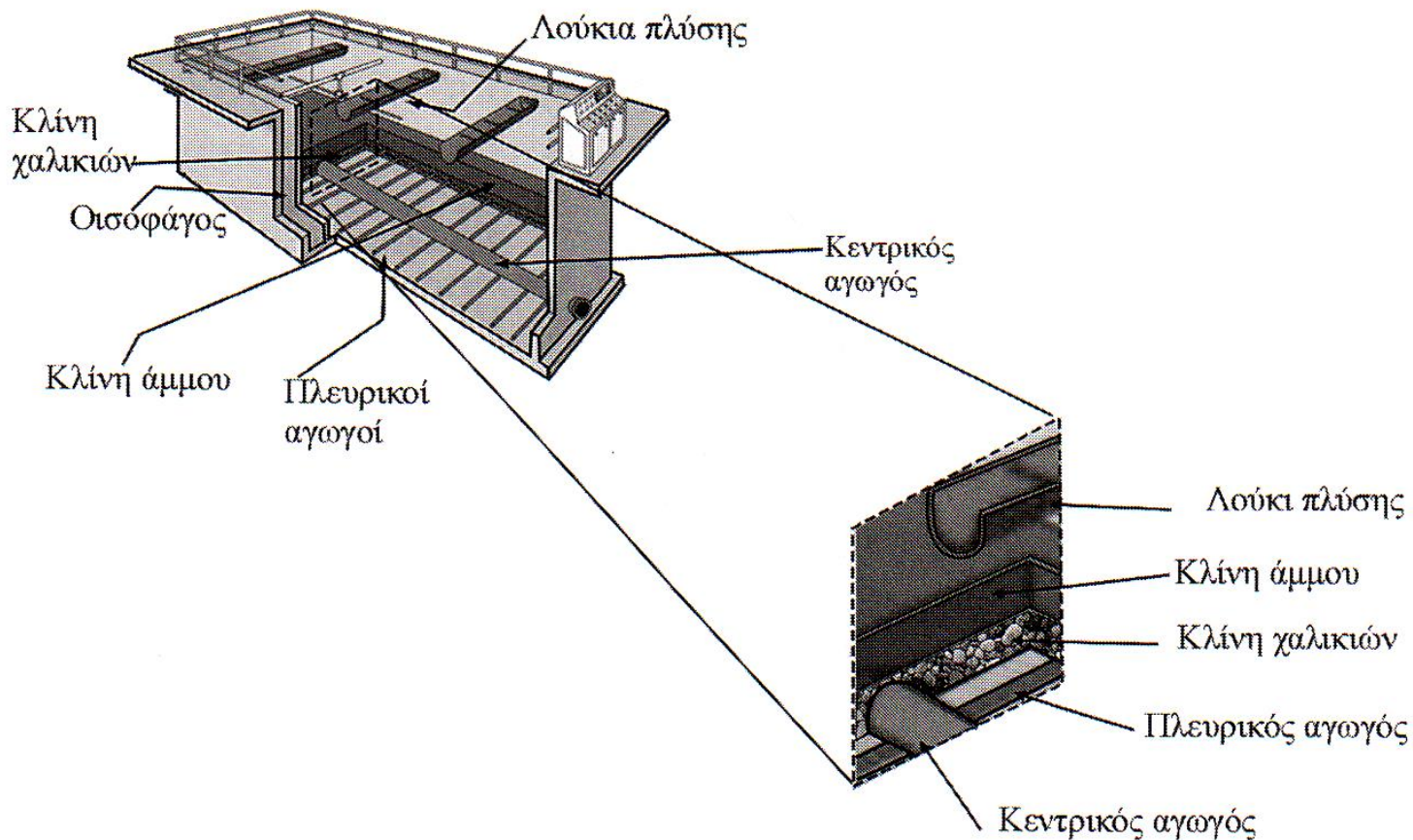
Κάτω από τον πυθμένα διύλισης βρίσκεται ο χώρος διύλισης.

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.



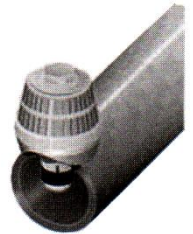
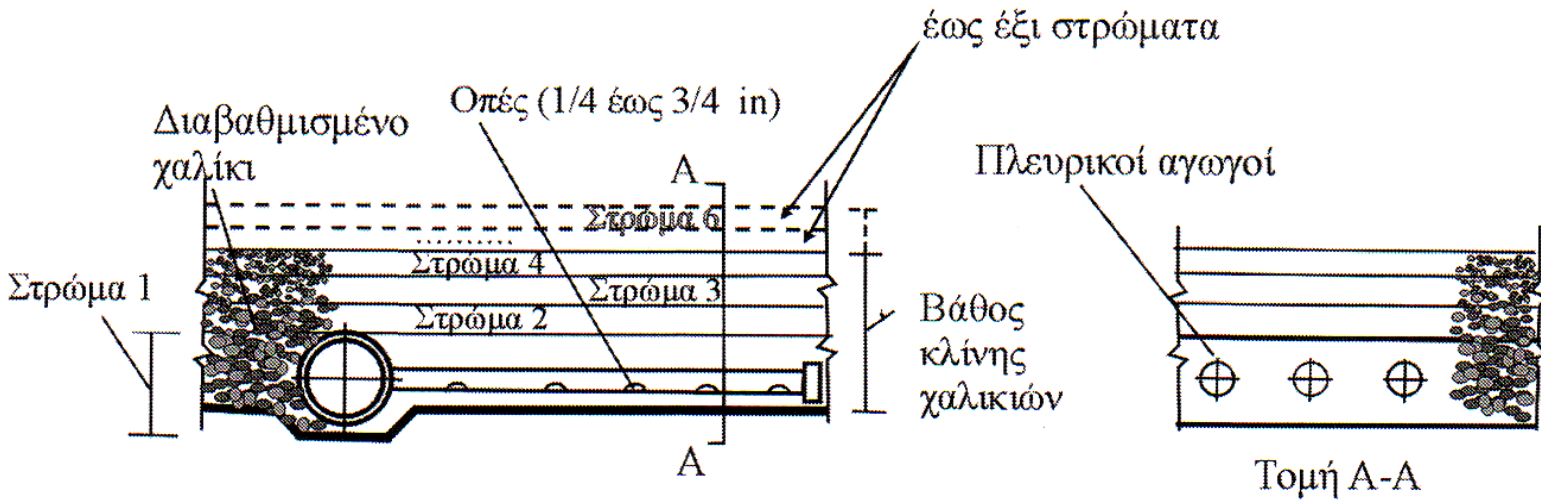
# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

Πυθμένας με δίκτυο σωληνώσεων στράγγισης και κλίση χαλικιών



# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

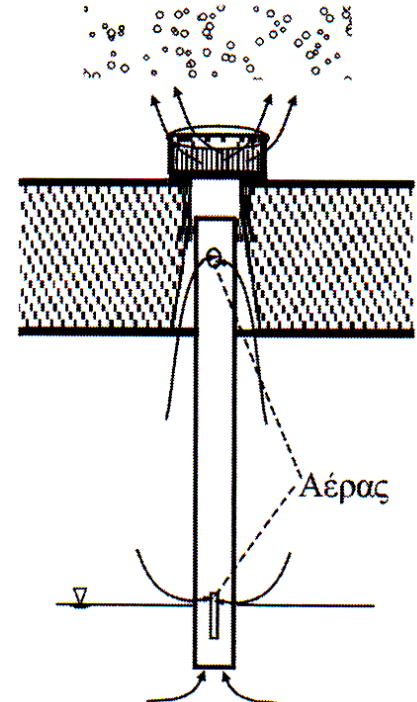
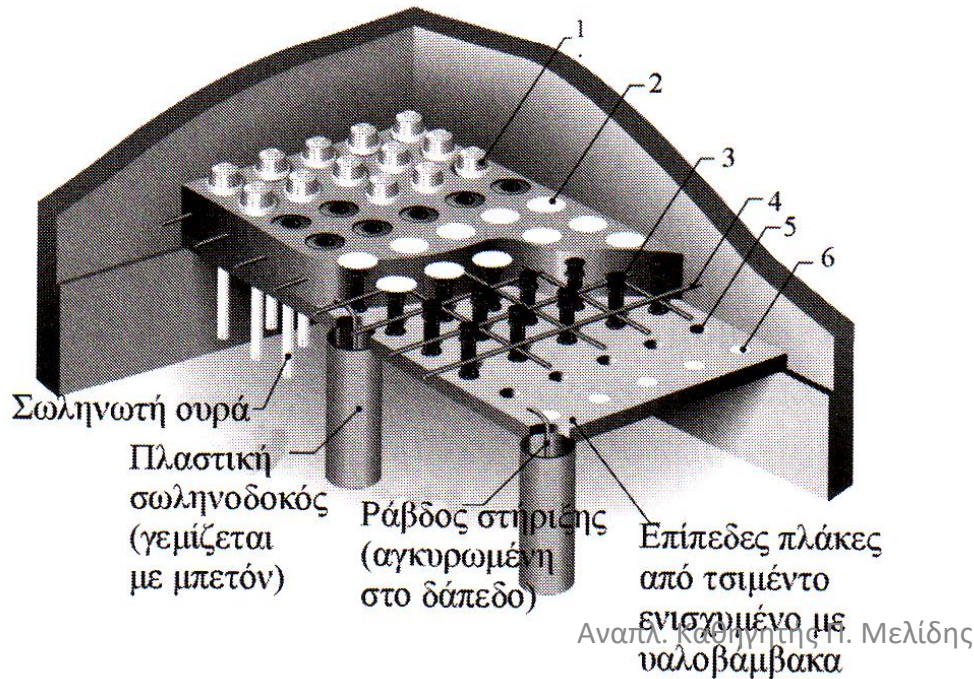
Πυθμένας με δίκτυο σωληνώσεων στράγγισης και κλίνη χαλικιών



# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

Πυθμένας 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



# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Υλικά διήθησης

Η επιλογή τους εξαρτάται από την ποιότητα των υλικών που περιέχονται στο νερό και θέλουμε να απομακρύνουμε.

Συνήθως είναι πυριτική άμμος και χαλίκι (υλικά φθηνά και με άριστες μηχανικές αντιστάσεις).

Σε φίλτρα ενός στρώματος χρησιμοποιείται αποκλειστικά άμμος,

Σε φίλτρα πολλαπλών στρωμάτων τοποθετείται άμμος στο κάτω μέρος σαν λεπτόκοκκο στρώμα πάνω στο οποίο τοποθετούνται πολλαπλά στρώματα από ειδικά ελαφρότερο υλικό όπως ανθρακίτης, χαλαζίας κλπ.



# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

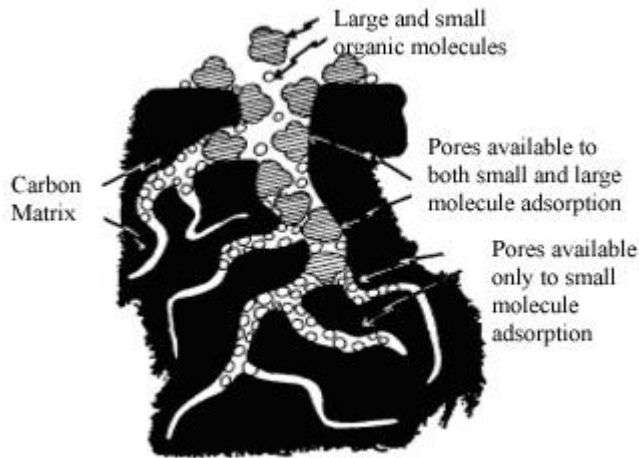
## Υλικά διήθησης

Η ελαφρόπετρα (Basalt) έχει μεγαλύτερο κόστος αλλά και αποφέρει πολύ καλύτερα αποτελέσματα εξαιτίας της επιφανειακής της δομής.

Για την απομάκρυνση οργανικών ιχνοστοιχείων π.χ. CKW, χρησιμοποιείται ενεργός άνθρακας ως υλικό διύλισης.

Αλκαλικά υλικά διύλισης π.χ. δολομίτης, ορυκτό άσβεστος αντιδρούν χημικά με την περίσσεια το ανθρακικού οξέος και αποξινίζουν το νερό.

Η ουσιαστική δράση διήθησης είναι εδώ δευτερεύουσας σημασίας και σε σχέση με τον σίδηρο μαγγάνιο και υλικά θολερότητας πολύ περιορισμένη.



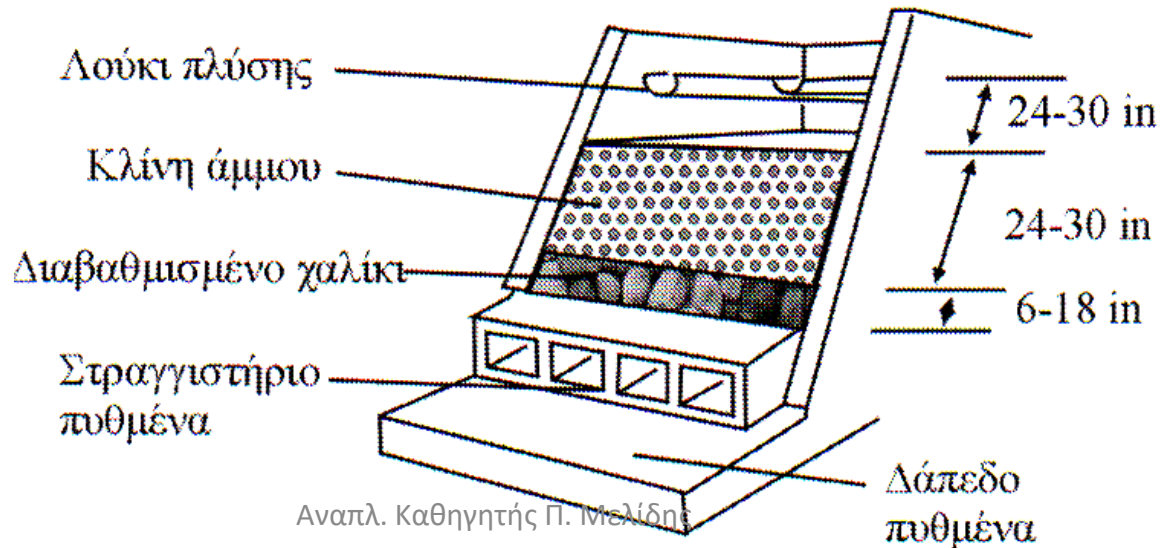
# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Υλικά διήθησης

Συχνά ανάμεσα στο υλικό διήθησης και τον πυθμένα τοποθετείται ένα στρώμα μέχρι 40% παχύ από πολύ χονδρόκοκκο χαλίκι για να συγκρατεί το λεπτό υλικό διήθησης και να διαμορφώνει μια καλύτερη διασπορά κατά την αντίστροφη πλύση.

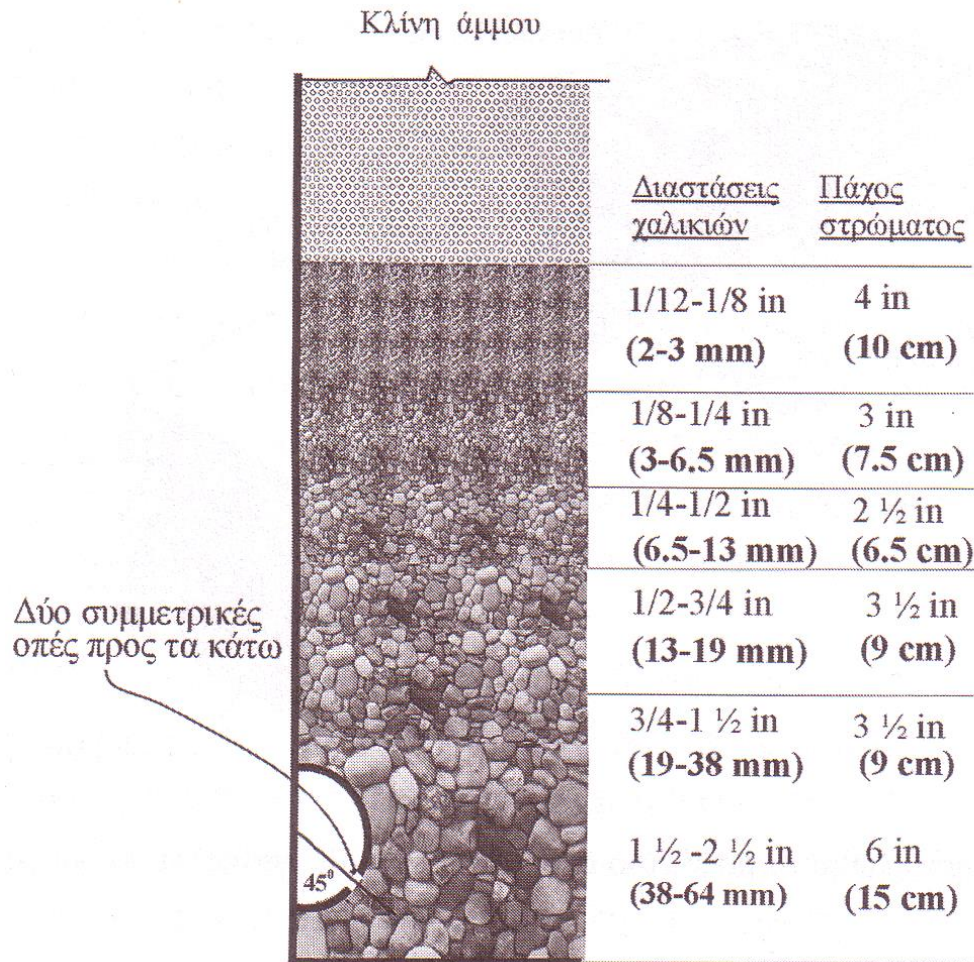
Στην πράξη όμως δεν παραμένει σταθερή η θέση αυτού του στρώματος.

Πάνω από το υλικό διήθησης πρέπει να υπάρχει αρκετός ελεύθερος χώρος μέχρι τον αύλακα πλύσης, ώστε να εξασφαλιστεί η απόπλυση του υλικού μαζί με την λάσπη.



# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

Υλικά διήθησης - Διαβαθμισμένη κλίνη χαλικιών



Αναπλ. Καθηγητής Π. Μελίδης

# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Υλικά διήθησης

Όλα τα υλικά διήθησης πρέπει να χρησιμοποιούνται βάση προδιαγραφών

1. παρόμοιες τάξεις κόκκων
2. ανομοιομορφία  $d_{60}: d_{10} < 1,5$

(ο έλεγχος πρέπει να γίνει με το κόσκινο),

σε άλλη περίπτωση

→ θα μειωθεί η δυνατότητα αφομοίωση στερεών,

→ με αρνητική ταξινόμηση θα σχηματισθεί μια επιφανειακή διύλιση και

→ θα μειωθεί δραστικά ο χρόνος εργασίας του.



# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Υλικά διήθησης

Χαρακτηριστικά των συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων υλικών διήθησης

Υλικό	Πυκνότητα κόκκου $\text{g/cm}^3$	Πορώδες κλίνης $E_0$	Σφαιρικότητα $\psi$
Χαλαζιακή άμμος	2,65	0,42-0,47	0,7-0,8
Ανθρακίτης	1,4-1,7	0,56-0,60	0,46-0,6
Κοκκώδης ενεργ. 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

# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Υλικά διήθησης - Φυσικά χαρακτηριστικά

Οι φυσικές ιδιότητες των διηθητικών μέσων επηρεάζουν άμεσα την απόδοση της διήθησης και είναι οι ακόλουθες:

Το **μέγεθος** των κόκκων του διηθητικού μέσου

Έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση της διήθησης,

Καθώς επίσης και στις απαιτήσεις για την αντίστροφη πλύση του.

Χαρακτηρίζεται από

1. το πραγματικό μέγεθος ( $d_{10}$ )
2. το συντελεστή ομοιομορφίας ( $d_{60}/d_{10}$ , κυμαίνεται μεταξύ 1,2 και 1,6 με μέγιστη τιμή το 1,8)



Αναπλ. Καθηγητής Π. Μελίδης

Sand Sieve Set

# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Υλικά διήθησης - Φυσικά χαρακτηριστικά

### Το σχήμα των κόκκων

χαρακτηρίζεται από τη σφαιρικότητα  $\psi$ , είναι ίση με το λόγο της επιφάνειας μιας σφαίρας ισοδύναμου όγκου προς την πραγματική επιφάνεια του κόκκου.

Το σχήμα των κόκκων επηρεάζει την πτώση της πίεσης κατά την διήθηση.

Οι μη σφαιρικοί κόκκοι δημιουργούν μικρότερη πτώση πίεσης από τους σφαιρικούς, διότι δημιουργούν μεγαλύτερες διόδους για το νερό

Σχήμα	Σφαιρικότητα $\psi$	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

# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Υλικά διήθησης - Φυσικά χαρακτηριστικά

### Η πυκνότητα κόκκων

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

Η φαινομενική πυκνότητα είναι ένα μέτρο του όγκου που καταλαμβάνει μια δεδομένη μάζα διηθητικού υλικού στο νερό ή στον αέρα.

# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Υλικά διήθησης - Φυσικά χαρακτηριστικά

### Το πορώδες

Ισούται με το λόγο του όγκου του κενού χώρου της κλίνης προς τον ολικό όγκο της.

Εξαρτάται από τη σφαιρικότητα και το μέγεθος των σωματιδίων.

Επηρεάζει την πτώση της πίεσης κατά τη λειτουργία, το βαθμό συγκράτησης και την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών, καθώς και την ταχύτητα ροής της αντίστροφης πλύσης

# Διήθηση – Στοιχεία φίλτρου

## Υλικά διήθησης - Φυσικά χαρακτηριστικά

Χαρακτηριστικά κλινών άμμου για διάφορες εφαρμογές ταχείας διήθησης.

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

# Διήθηση – Χαρακτηρισμός και λειτουργία

Ο χαρακτηρισμός των εγκαταστάσεων διήθησης απαιτεί την εύρεση των ακόλουθων 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)

# Διήθηση – Χαρακτηρισμός και λειτουργία

Επιπλέον πρέπει να μελετηθούν

6. το είδος και ο κύκλος της αντίστροφης πλύσης,
7. η ποσότητα του νερού πλύσης,
8. η απόδοση της αντλίας αερισμού και νερού πλύσης
9. οι κατασκευαστικές δεσμεύσεις για το ύψος του νερού υπερχείλισης και του ελεύθερου χώρου.

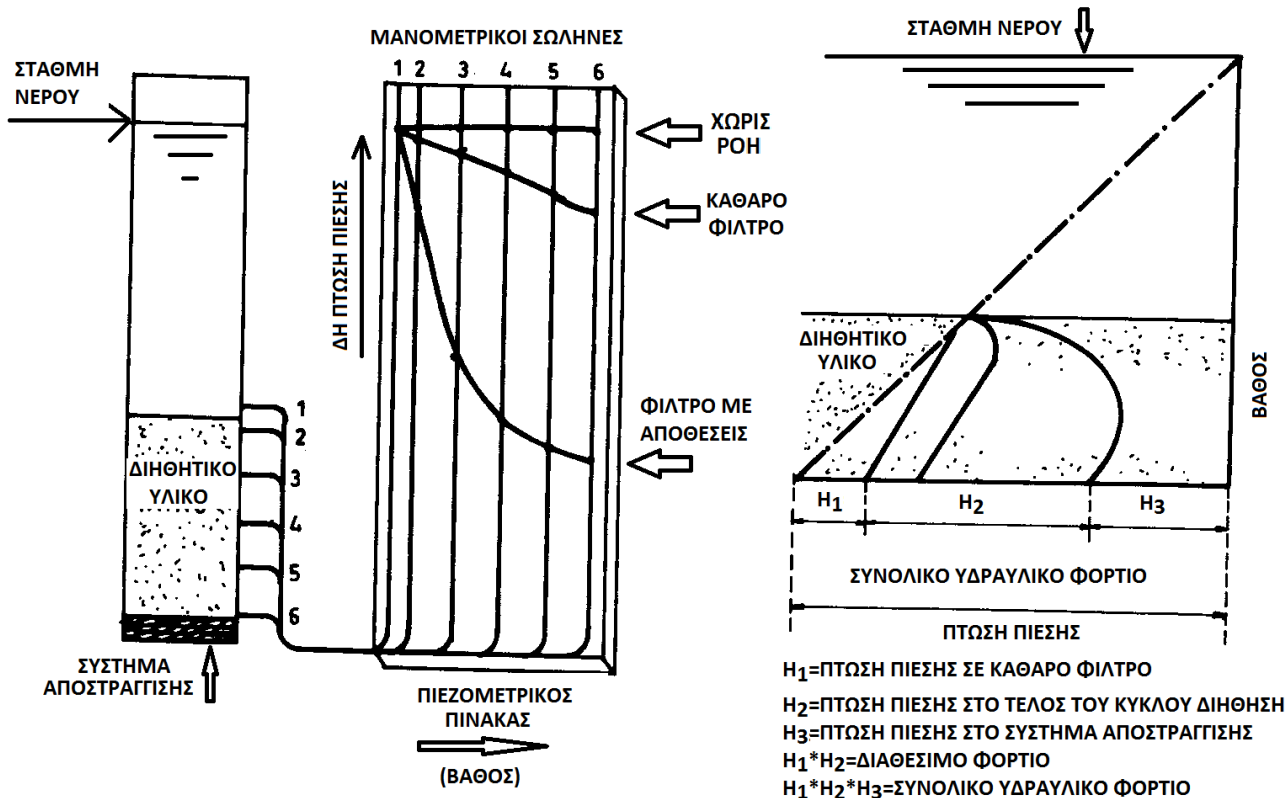
Μερικές παράμετροι μπορούν να αλλαχθούν και αργότερα και να βελτιωθούν π.χ. ο χρόνος και η διάρκεια της αντίστροφης πλύσης, άλλες είναι αποκλειστικά σταθερές ή αλλάζουν με τεράστιο κόστος και εργασία. Π.χ. το μέγεθος του κόκκου του υλικού διήθησης



# Διήθηση – Υδραυλική του φίλτρου

## Πτώση πίεσης ή απώλεια ύψους

Παρατηρείται από τα επίπεδα νερού σε μανομετρικούς σωλήνες ή αισθητήρες πίεσης σε διάφορα βάθη του φίλτρου

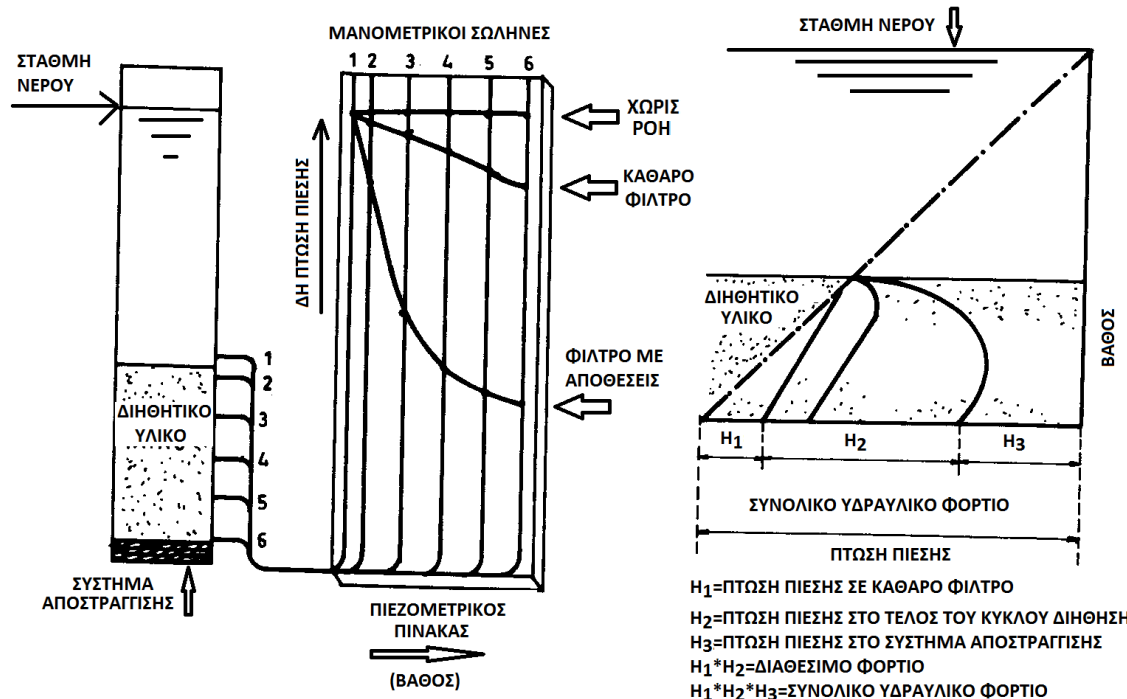


# Διήθηση – Υδραυλική του φίλτρου

## Πτώση πίεσης ή απώλεια ύψους

Όταν δεν υπάρχει ροή η πτώση πίεσης από ένα σημείο σε ένα άλλο του στρώματος είναι μηδέν

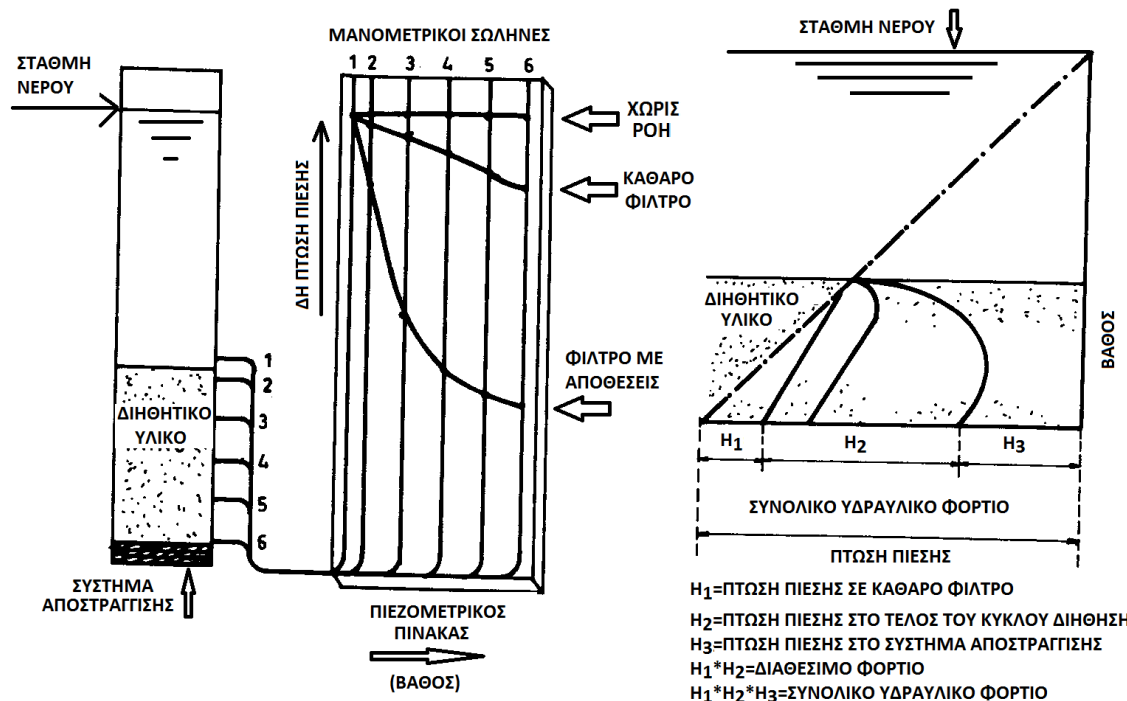
Η πίεση σε κάθε βάθος του στρώματος ισούται με τη στήλη του νερού πάνω από αυτό



# Διήθηση – Υδραυλική του φίλτρου

## Πτώση πίεσης ή απώλεια ύψους

Όταν υπάρχει ροή προκαλείται πτώση πίεσης που οφείλεται στις αντιστάσεις λόγω τριβής κατά την διέλευση μέσα στο στρώμα του κοκκώδους υλικού και στην έξοδο του νερού από το σύστημα αποστράγγισης



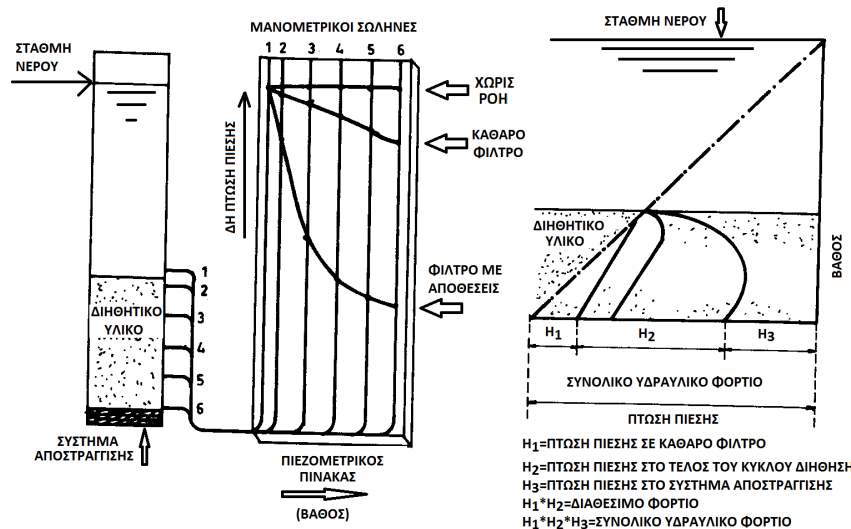
# Διήθηση – Υδραυλική του φίλτρου

## Πτώση πίεσης ή απώλεια ύψους

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

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



# Διήθηση – Υδραυλική του φίλτρου

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

## Πτώση πίεσης ή απώλεια ύψους

Υλικό διήθησης πολύ λεπτόκοκκο.

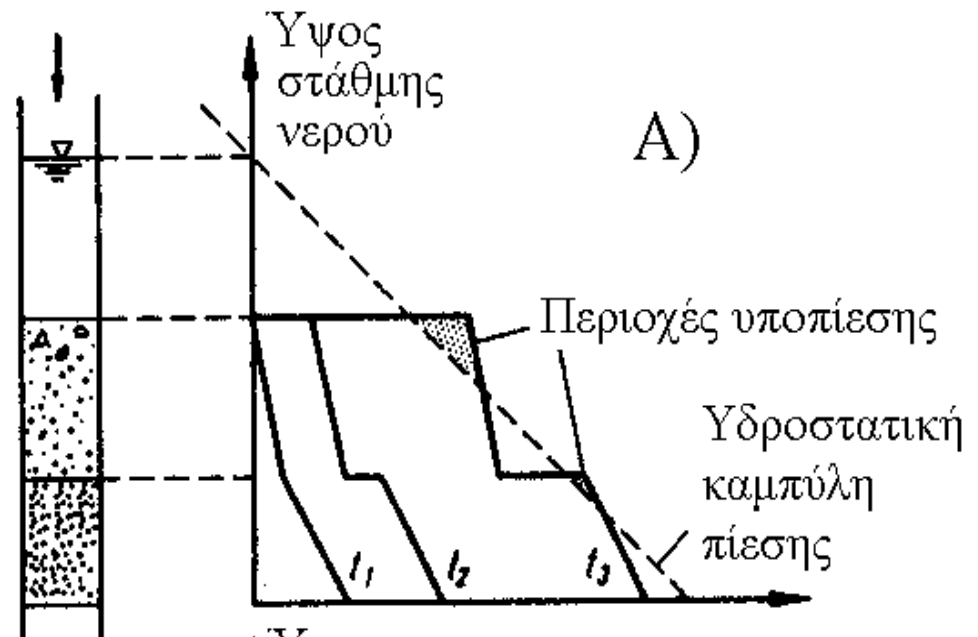
Λαμβάνει χώρα καθαρή διήθηση επιφάνειας.

Υψηλή αύξησης πτώσης πίεσης.

Μεγάλο ύψος του στρώματος παραμένει ανεκμετάλλευτο.

Γρήγορος κορεσμός της υδραυλικής δυναμικότητας.

Φραγμός του φίλτρου.



# Διήθηση – Υδραυλική του φίλτρου

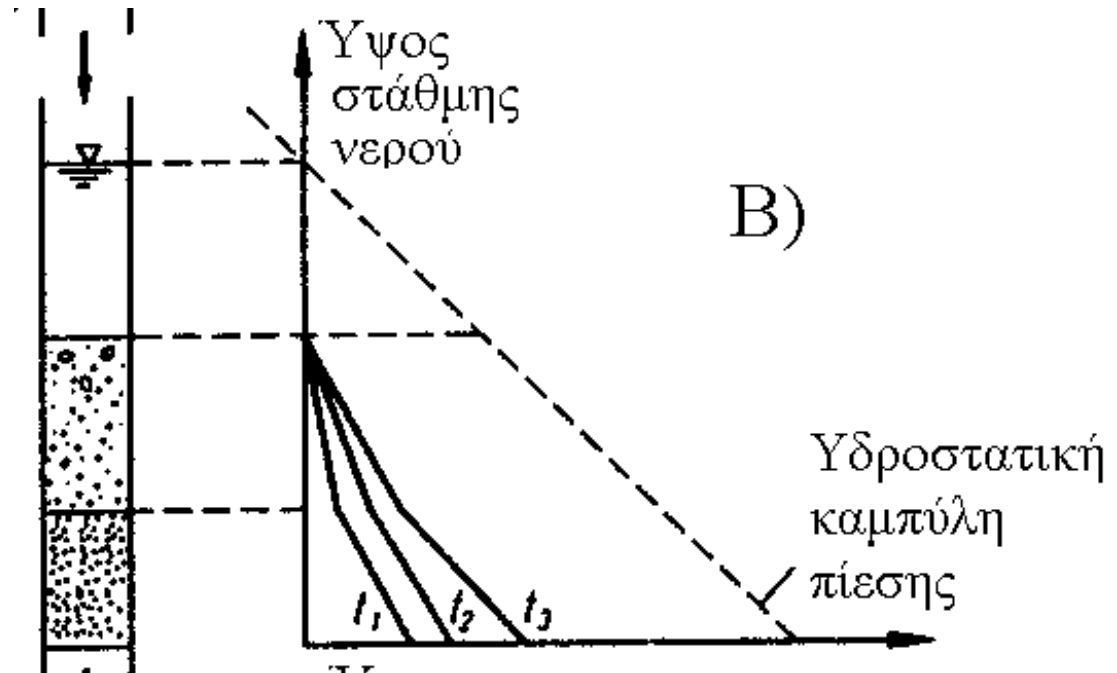
Γραφική παράσταση της αύξησης της αντίστασης του υλικού διήθησης (πτώση πίεσης)

**Πτώση πίεσης ή απώλεια ύψους**

B) Υλικό διήθησης πολύ χοντρόκοκκο. Κακή ποιότητα απορροής.

Ελάχιστη αύξηση πίεσης.

Υδραυλική δυναμικότητα παραμένει ανεκμετάλλευτη.

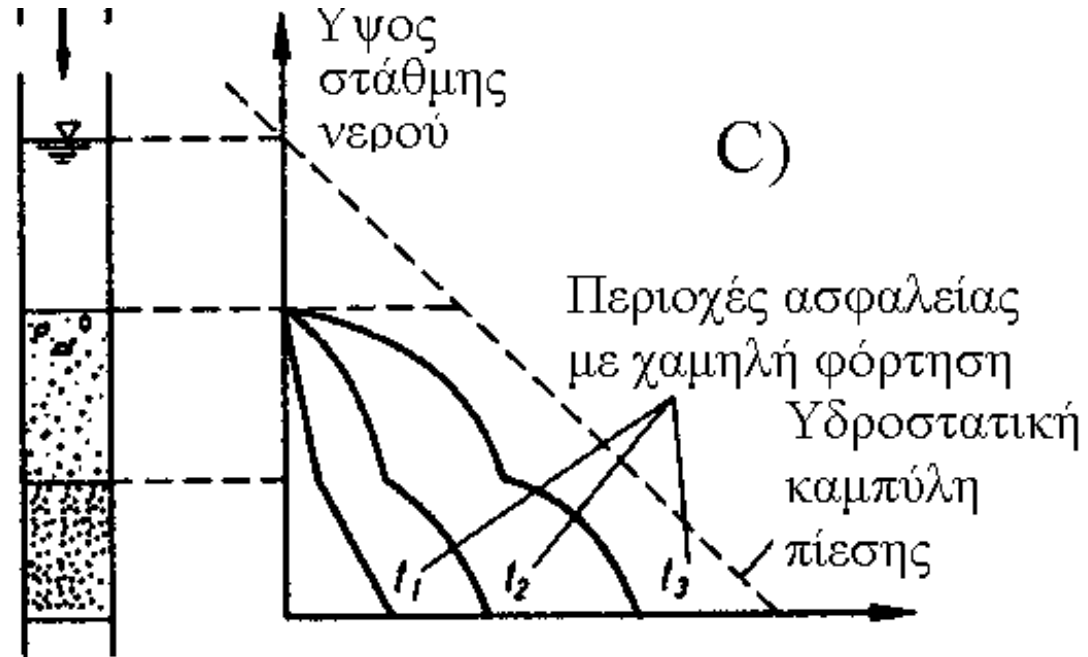


# Διήθηση – Υδραυλική του φίλτρου

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

**Πτώση πίεσης ή απώλεια ύψους**

C) Βελτιστοποιημένη λειτουργία φίλτρου. Καλή εκμετάλλευση της υδραυλικής δυνατότητας και της διαθέσιμου ύψους στρώματος κλίνης.



# Διήθηση – Αντίστροφη πλύση

Η διαδικασία της πλύσης είναι πολύ σημαντική για την απόδοση της μονάδας.

Οι συνθήκες πλύσης θα πρέπει να διασφαλίσουν την πλήρη απομάκρυνση των συγκροτούμενων στερεών και να αποκλείσουν την στρωματοποίηση της κλίνης.

Η αντίστροφη πλύση λαμβάνει χώρα όταν:

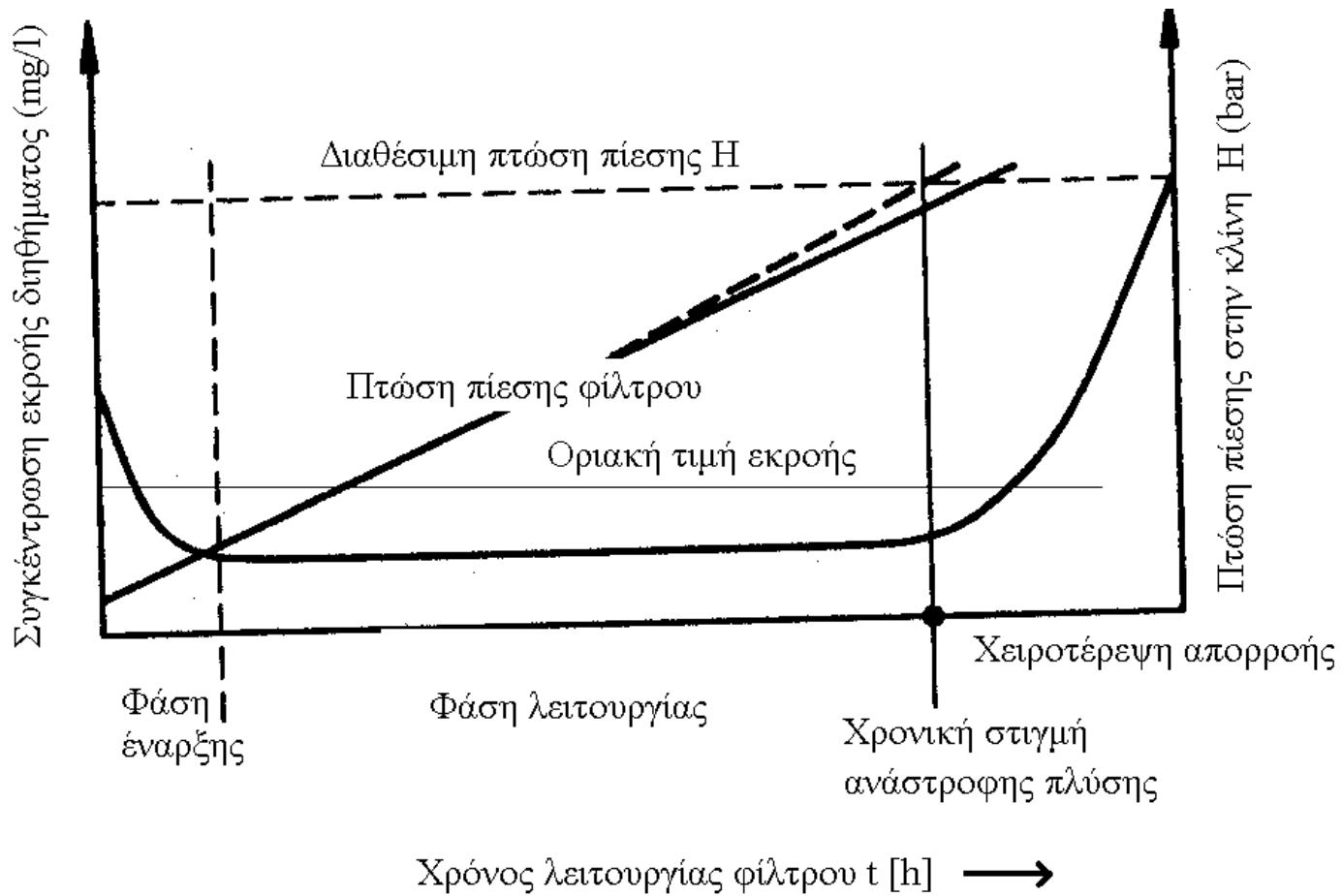
1. Η πτώση πίεσης κατά την λειτουργία έχει φθάσει τη διαθέσιμη πίεση ή ένα προκαθορισμένο όριο (2,5 - 3 μέτρα στήλης ύδατος, ΜΣΥ)
2. Η ποιότητα του κατεργασμένου νερού έχει υπερβεί το ανώτερο επιτρεπτό όριο
3. Έχει παρέλθει κάποιος προκαθορισμένος χρόνος από την προηγούμενη πλύση, που δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 4 ημέρες

Όταν έχουμε άριστες συνθήκες λειτουργίας τότε τα δύο πρώτα σημεία λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα.



# Διήθηση – Αντίστροφη πλύση

Σχηματική παράσταση της απόδοσης και της πτώσης πίεσης μιας κλίνης κατά την διάρκεια του κύκλου διήθησης



Χρόνος λειτουργίας φίλτρου  $t$  [h] →

Αναπλ. Καθηγητής Π. Μελίδης

# Διήθηση – Αντίστροφη πλύση

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

Ο βαθμός διόγκωσης επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους, όπως είναι η ταχύτητα του νερού και η φύση του διηθητικού μέσου

Σήμερα υπάρχουν συστήματα αυτόματης παρακολούθησης της ποιότητας του διηθημένου νερού και της πτώσης της πίεσης στο φίλτρο, δύο παραμέτρων που είναι βασικές για την λήξη του κύκλου διήθησης.

Ένας κύκλος διήθησης διαρκεί 24 - 48 ώρες ανάλογα με το είδος των αιωρουμένων στερεών, την συγκέντρωσή τους, την ταχύτητα και το διηθητικό υλικό που χρησιμοποιείται.

# Διήθηση – Αντίστροφη πλύση

- Η έκπλυση γίνεται κατά αντιρροή με καθαρό νερό,
- με υψηλές ταχύτητες  
*(προκαλείτε μερική ή πλήρης ρευστοποίηση του στρώματος του διηθητικού υλικού και να είναι πιο εύκολη η αποκόλληση των αποθέσεων)*
- Οι αποθέσεις απομακρύνονται με το νερό έκπλυσης, που μπορεί να αντιστοιχεί στο 2-6% της παραγωγής των φίλτρων.
- Υποβοήθηση της αποκόλλησης από τους κόκκους πολλές φορές με αέρα πριν τη διοχέτευση του νερού πλύσης.
- Διάρκεια της έκπλυσης: 5-10 λεπτών, μέχρι δηλαδή το νερό της έκπλυσης να αποκτήσει μια θολότητα της τάξης των 10 NTU.

# Διήθηση – Αντίστροφη πλύση

Στα φίλτρα με ένα στρώμα δ. υλικού η κοινή πλύση Αέρα - νερού αποφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα. Συνήθως με την ακόλουθη σειρά:

1. Ξεσήκωμα του στρώματος φίλτρου: περίπου 2 λεπτά αέρα με  $60 - 90 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$
2. Ξεκόλλημα των ακάθαρτων υλικών: περίπου 5 λεπτά αέρα και νερό (αέρα περίπου  $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ , νερό περίπου  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ )
3. Ξέπλυμα των ακάθαρτων υλικών και τέλος αέρα: μέχρι 5 λεπτά νερό με ελάχιστο  $10 - 20 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ .

Σε χονδρότερο και βαρύτερο υλικό διήθησης μπορούν οι ταχύτητες πλύσης να είναι και μεγαλύτερες, σε πολύ ελαφρύ υλικό αλλά και σε ενεργό άνθρακα δεν εφαρμόζεται η ταυτόχρονη πλύση νερού / αέρα.



# Οξείδωση

Η οξείδωση είναι απαραίτητη πρώτα απ' όλα σε υπόγεια αναγωγικά νερά που αντλούνται από μεγάλο βάθος

Επιφανειακά νερά φέρουν μαζί τους συχνά ουσίες που θα έπρεπε να οξειδωθούν.

Η αναγκαιότητα της οξείδωσης του νερού αποδεικνύεται με την μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) ή του οξειδοαναγωγικού δυναμικού (Redox)

→ DO μικρότερο από 3 mg/L ή ΟΑΔ κάτω από +200mV μας υποδεικνύει την οξυγόνωση του νερού

→ Τιμές κάτω από 1 mg/L και +100 mV αντίστοιχα την καθιστούν αναγκαία.

# Οξείδωση

Η απλούστερη μέθοδος οξείδωσης είναι η διάλυση ατμοσφαιρικού οξυγόνου με την μέθοδο της ανταλλαγής αερίων.

Ως απόρροια της χαμηλής ειδικής πίεσης του οξυγόνου μπορούμε να εμπλουτίσουμε νερά με οξυγόνο σε ανοικτές εγκαταστάσεις και με περιορισμένο χρόνο επαφής μέχρι και 6 mg/L

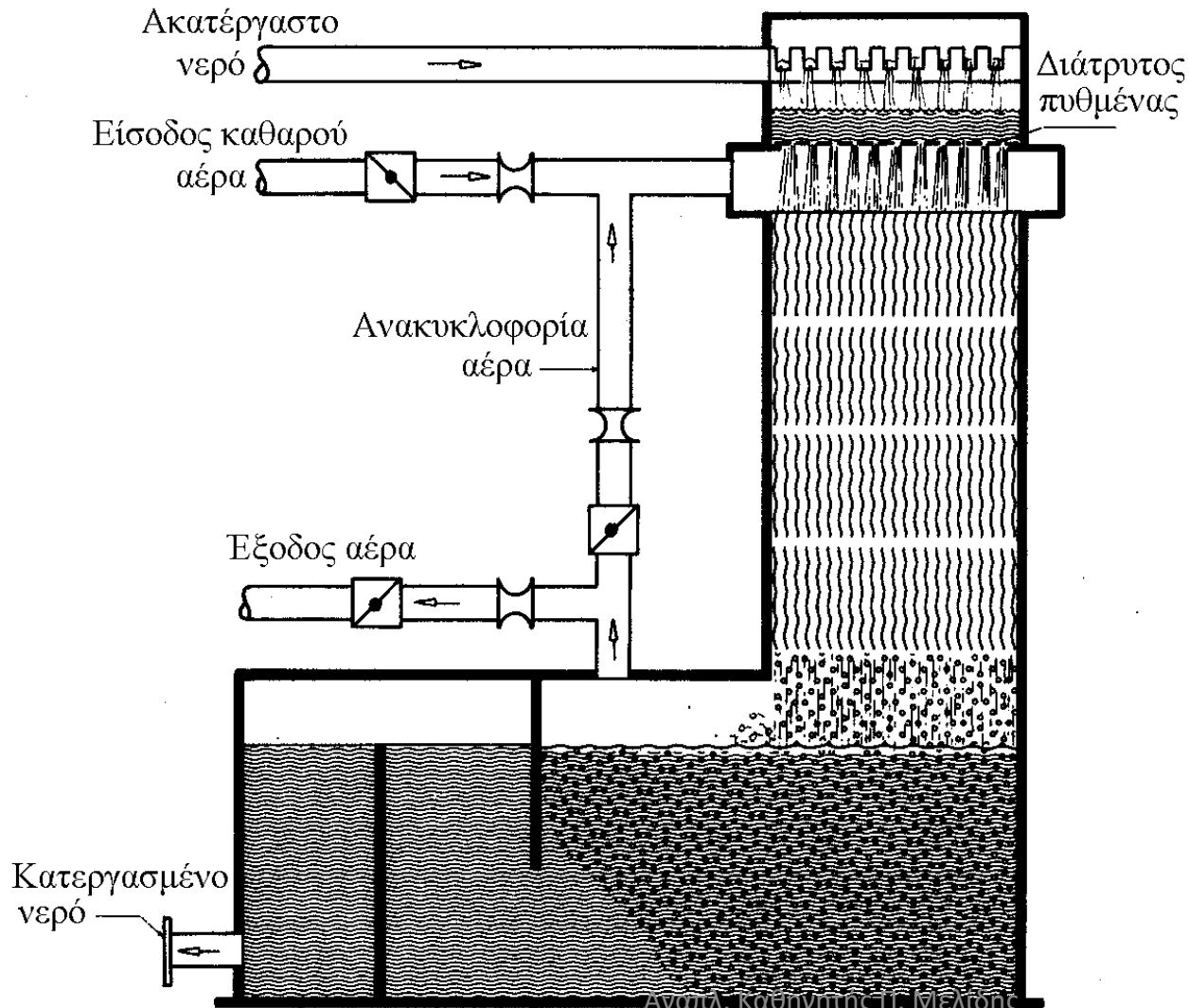
(σε κλειστές εγκαταστάσεις με συνθετικές πλάκες μέχρι και 10 mg/L).

Το ΟΑΔ ανεβαίνει κάτω από αυτές τις συνθήκες στο ελάχιστο μέχρι +200 mV.



# Οξείδωση

Αερισμός με πολλαπλές υδατοπτώσεις





# Οξείδωση

Η μέθοδος αυτή μπορεί να οξειδώσει πολύ καλά και

1) δισθενή σίδηρο

2) Μαγγάνιο

σε δυσδιάλυτα μεγαλύτερου σθένους υδροξείδια και να απομακρυνθούν ακολούθως με καθίζηση και διήθηση.

3) Για την οξείδωση υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνίας σε νιτρικά απαιτείται η τριπλάσια ποσότητα σε οξυγόνο

Αυτό επιτυγχάνεται με την συνεχή τροφοδοσία οξυγόνου, με πολλαπλό αερισμό ή στεγνή διήθηση ή ακόμα και με τεχνικό οξυγόνο από το οποίο μπορούν γρήγορα να διαλυθούν 20- 30 mg/L

# Οξείδωση

Για την οξείδωση οργανικών ιχνοστοιχείων εφαρμόζονται ισχυρότερα οξειδωτικά μέσα, π.χ.

- 1) Όζον
- 2) υπεροξειδίου του υδρογόνου
- 3) υπεριώδους ακτινοβολίας (UV)
- 4) Ιδιαίτερα μεγάλη οξειδωτική δράση αναφέρεται στον συνδυασμό όζοντος ( $O_3$ ), υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) και της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV).

(οφείλεται στην δημιουργία ελεύθερων ριζών υδροξυλίου ( $OH\cdot$ ))

# Οξείδωση

Ο συνδυασμός  $H_2O_2/O_3$  σε αναλογία 0,3 – 0,6 διασπά τα τρι- και τετρα-χλωροεθένια την ατραζίνη και την σιμαζίνη, το μονοχλωριωμένο οξικό οξύ και τις ενώσεις που προκαλούν οσμές

Ο συνδυασμός  $H_2O_2/UV$  επιφέρει επίσης μια ικανοποιητική οξείδωση χουμικών ενώσεων (μείωση του φυσικού DOC).

Για μεγάλες μονάδες επεξεργασίας νερού είναι κατάλληλος ο συνδυασμός  $H_2O_2/O_3$  και για μικρές μονάδες ο συνδυασμός  $H_2O_2/UV$  ή  $O_3/UV$

Η πρόσθεση χλωρίου ( $Cl_2$ ) για την οξείδωση οργανικών ενώσεων οδηγεί στην δημιουργία χλωριωμένων οργανικών ενώσεων και το διοξείδιο του χλωρίου ( $ClO_2$ ) οδηγεί πίσω στην επαναδημιουργία του τοξικού χλωριώδους ιόντος ( $ClO_2^-$ )

# Οξείδωση

Μέθοδοι οξείδωσης και τα πεδία εφαρμογής τους

Προέλευση του νερού	Χαρακτηριστικά που θα πρέπει να καλυτερέψουν	g/m <sup>3</sup> mV	Μέθοδοι επιλογής	Ποσότητα g/m <sup>3</sup>
Υπόγειο νερό	Συγκέντρωση οξυγόνου	< 3	Αερισμός	10
	Οξειδοαναγωγικό δυναμικό	< +200	Αερισμός	10
	Συγκέντρωση οξυγόνου	< 1	Αερισμός ή εισαγ. οξυγόνου και διήθηση	30 10
	Οξειδοαναγωγικό δυναμικό	< +100	Χλωρίωση Διοξείδιο του χλωρίου Οζόνωση	0,2 0,1 1,0
	Ιόντα σιδήρου	> 0,005 > 0,5	Αερισμός Αερισμός + διήθηση	10 10
	Αμμωνία και νιτρικά	> 0,5	Οξυγόνο Πολλαπλός αερισμός Ξηρή διήθηση	30 30 30
	Ιόντα μαγγανίου (μαζί με ιόντα σίδηρο)	> 0,02 (> 0,05)	KMnO <sub>4</sub> και διήθηση	1,0

# Οξείδωση

Μέθοδοι οξείδωσης και τα πεδία εφαρμογής τους

Προέλευση του νερού	Χαρακτηριστικά που θα πρέπει να καλυτερέψουν	g/m <sup>3</sup> mV	Μέθοδοι επιλογής	Ποσότητα g/m <sup>3</sup>
Επιφανειακό νερό	Συγκέντρωση οξυγόνου	< 3	Εισαγωγή οξυγόνου	10
	Οξειδοαναγωγικό δυναμικό	< +200	Χλωρίωση	0,5
			Διοξείδιο του χλωρίου	0,2
			Οζόνωση	3,0
Οργανικά ιχνοστοιχεία	> 10 <sup>-2</sup>	Διοξείδιο του χλωρίου Οζόνωση	0,2 1,0	
Οξειδωσιμότητα	> 5	Οζόνωση και διήθηση		

# Ιοντοεναλλαγή

- Απομάκρυνση ανεπιθύμητων κατιόντων και ανιόντων από το νερό
- Συνθετικά υλικά (ρητίνες) χρησιμοποιούνται ως μέσο ιοντοεναλλαγής ή προσρόφησης
- Η ρητίνη έχει προκορεσθεί με ιόντα τα οποία επιλεκτικά εναλλάσσει με ιόντα του νερού
- Η λειτουργία των ρητινών είναι διακοπτόμενη
- Η ρητίνη μετά τον κορεσμό της με το ανεπιθύμητο ιόν ή ιόντα αναγεννάτε
- Βρίσκει εφαρμογή κυρίως στην αποσκλήρυνση του νερού για βιομηχανική χρήση (τροφοδοσία νερού λέβητα για την παραγωγή ατμού)
- Τα ιόντα βαρίου και ραδίου είναι επίσης εύκολα ανταλλάξιμα και απομακρύνονται πάντα κατά την αποσκλήρυνση του νερού
- Ρητίνες ανιόντων εφαρμόζονται για την απομάκρυνση νιτρικών, αρσενικών και χρωμικών ανιόντων

# Ιοντοεναλλαγή-ισορροπία

Οι ρητίνες δεν προσροφούν όλα τα ιόντα ισοδύναμα

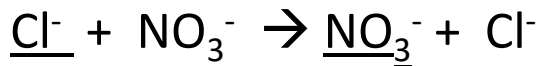
Η διαφοροποίηση εκφράζεται από

- 1) Συντελεστή διαχωρισμού,  $a_{ij}$
- 2) Συντελεστή εκλεκτικότητας,  $K_{ij}$  (για δυαδικά συστήματα)

Η χρονική διάρκεια του κύκλου εναλλαγής καθορίζεται από την εκλεκτικότητα της προσρόφησης ενός ιόντος

# Ιοντοεναλλαγή-ισορροπία

Σε μια απλή ανταλλαγή ιόντων μεταξύ χλωριόντων και νιτρικών



συντελεστής εκλεκτικότητας  $K_{\text{N/Cl}}$  περιγραφεί την ισορροπία

$$K_{\text{N/Cl}} = \frac{[\underline{\text{NO}_3^-}][\text{Cl}^-]}{[\underline{\text{Cl}^-}][\text{NO}_3^-]} = q_{\text{N}} * C_{\text{Cl}} / q_{\text{Cl}} * C_{\text{N}}$$

$q_{\text{N}}$  = η συγκέντρωση των νιτρικών στη φάση της ρητίνης, eq/L

$C_{\text{N}}$  = η συγκέντρωση των νιτρικών στη υγρή φάση, eq/L

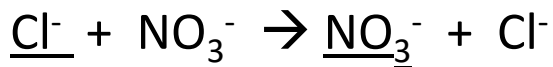
$q_{\text{Cl}}$  = η συγκέντρωση των χλωριόντων στη φάση της ρητίνης, eq/L

$C_{\text{Cl}}$  = η συγκέντρωση των χλωριόντων στη υγρή φάση, eq/L



# Ιοντοεναλλαγή-ισορροπία

Σε μια απλή ανταλλαγή ιόντων μεταξύ χλωριόντων και νιτρικών



Ο συντελεστής δυαδικού **διαχωρισμού**  $a_{\text{N/Cl}}$  μας περιγράφει την ισορροπία ανταλλαγής στις ιοντοεναλλακτικές ρητίνες:

$a$  = κατανομή του ιόντος  $i$  μεταξύ των φάσεων /  
κατανομή του ιόντος  $j$  μεταξύ των φάσεων

Με

$y$  = στερεά φάση της ρητίνης

$x$  = υγρή φάση του διαλύματος

# Ιοντοεναλλαγή-ισορροπία

Για την περίπτωση των νιτρικών / χλωριόντων έχουμε:

$$a_{N/Cl} = y_N/x_N / y_{Cl}/x_{Cl} = y_N x_{Cl} / x_N y_{Cl} = (q_N/q)(C_{Cl}/C) / (q_{Cl}/q)(C_N / C) = q_N * C_{Cl} / q_{Cl} * C_N$$

$y_N$  = ισοδύναμο κλάσμα των νιτρικών στη ρητίνη,  $q_N/q$

$y_{Cl}$  = ισοδύναμο κλάσμα των χλωριόντων στη ρητίνη,  $q_{Cl}/q$

$x_N$  = ισοδύναμο κλάσμα των νιτρικών στο νερό,  $C_N/C$

$x_{Cl}$  = ισοδύναμο κλάσμα των χλωριόντων στο νερό,  $C_{Cl}/C$

$q$  = ολικό δυναμικό εναλλαγής ιόντων της ρητίνης, eq/L

$C$  = ολική ιονική συγκέντρωση του νερού, eq/L

# Ιοντοεναλλαγή-ισορροπία

Για ένα σύστημα ομοιοσθενικής ανταλλαγής, ο **συντελεστής διαχωρισμού** και ο **συντελεστής εκλεκτικότητας** είναι ισοδύναμοι:

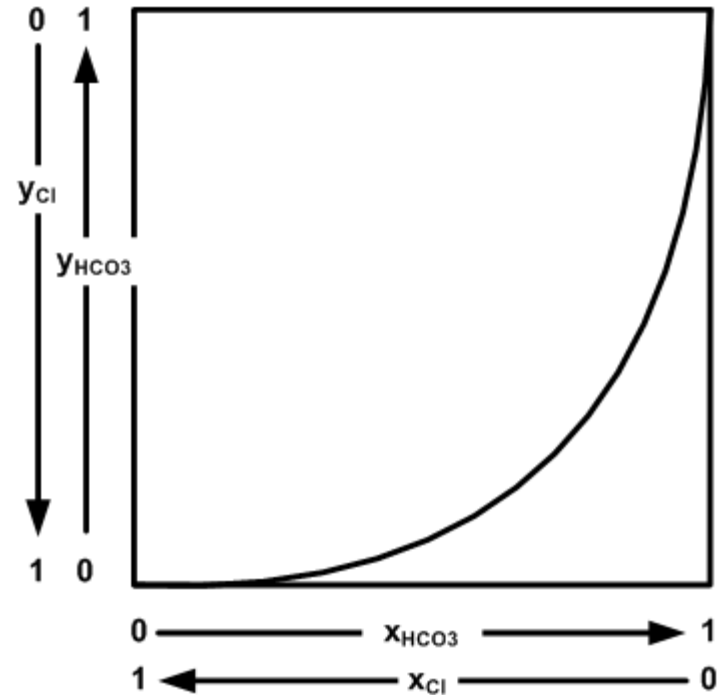
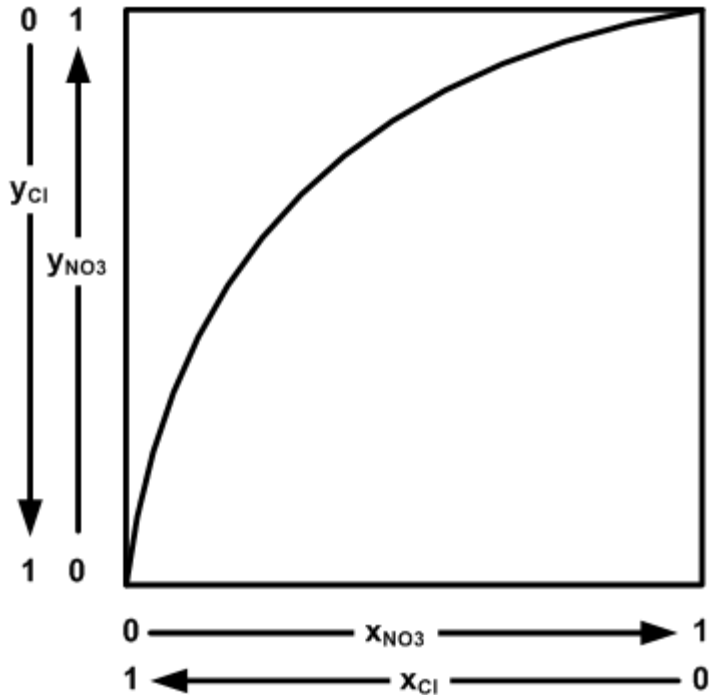
$$a_{N/Cl} = K_{N/Cl} = q_N * C_{Cl} / q_{Cl} * C_N$$

Όταν ο συντελεστής διαχωρισμού  $a_{N/Cl} > 1$  τότε το ιον (τα νιτρικά) θα συγκεντρώνεται στην στερεά φάση της ρητίνης αντικαθιστώντας τα χλωριόντα για να ικανοποιηθεί η ισορροπία.

Στην περίπτωση όξινων ανθρακικών / χλωριόντων ο συντελεστής διαχωρισμού  $a_{HCO_3/Cl} < 1$  και η ανταλλαγή δεν ευνοείται

# Ιοντοεναλλαγή-ισορροπία

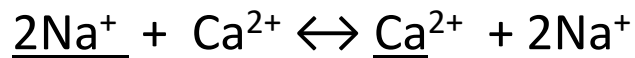
Ισόθερμες για την ανταλλαγή νιτρικών / χλωριόντων και  
ανταλλαγή όξινων ανθρακικών / χλωριόντων



# Ιοντοεναλλαγή-ισορροπία

Όταν πρόκειται να ανταλλαχθούν ιόντα με διαφορετικά σθένη ο **συντελεστής διαχωρισμού** δεν είναι ίσος με τον **συντελεστή εκλεκτικότητας**

Για παράδειγμα:



$$K_{\text{Ca/Na}} = q_{\text{Ca}} * C_{\text{Na}}^2 / q_{\text{Na}}^2 * C_{\text{Ca}} \quad \text{και}$$

$$a_{\text{Ca/Na}} = (q_{\text{Ca}}/q)(C_{\text{Na}}/C) / (q_{\text{Na}}/q)(C_{\text{Ca}}/C) = q_{\text{Ca}} * C_{\text{Na}} / q_{\text{Na}} * C_{\text{Ca}}$$

επομένως

$$a_{\text{Ca/Na}} = K_{\text{Ca/Na}} [(q/C)(x_{\text{Na}}/y_{\text{Na}})]$$

Δηλαδή: ο **συντελεστής διαχωρισμού** ( $a_{\text{Ca/Na}}$ ) στις ανταλλαγές δισθενούς / μονοθενούς εξαρτάται από την συγκέντρωση του διαλύματος C και από την αναλογία κατανομής  $x_{\text{Na}}/y_{\text{Na}}$ .

Όσο **μεγαλώνει η συγκ. του διαλύματος**, μικραίνει ο **συντελεστής διαχωρισμού** και εκλεκτικότητα περιγράφει τη σειρά προτίμησης των ιόντων ως προς μία ρητίνη

# Ιοντοεναλλαγή-ισορροπία

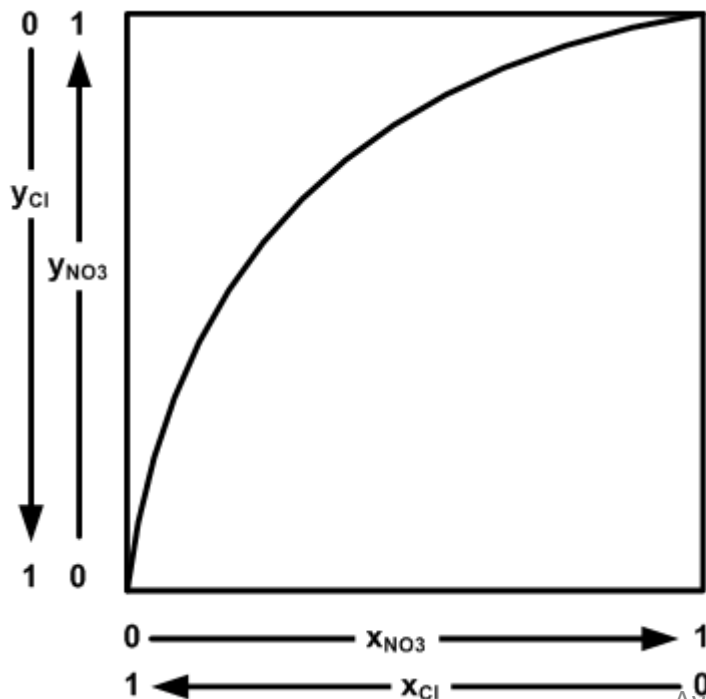
προτίμηση προσρόφησης

Κατιόν	$a_i/\text{Na}^+$	Ανιόν	$a_i/\text{Cl}^-$
$\text{Ra}^{2+}$	13	$\text{CrO}_4^{2-}$	100
$\text{Ba}^{2+}$	5,8	$\text{SeO}_4^{2-}$	17
$\text{Pb}^{2+}$	5	$\text{SO}_4^{2-}$	9,1
$\text{Sr}^{2+}$	4,8	$\text{HSO}_4^-$	4,1
$\text{Cu}^{2+}$	2,6	$\text{NO}_3^-$	3,2
$\text{Ca}^{2+}$	1,9	$\text{Br}^-$	2,3
$\text{Zn}^{2+}$	1,8	$\text{HAsO}_4^{2-}$	1,5
$\text{Fe}^{2+}$	1,7	$\text{SeO}_3^{2-}$	1,3
$\text{Mg}^{2+}$	1,67	$\text{HSO}_3^{3-}$	1,2
$\text{K}^+$	1,76	$\text{NO}_2^-$	1,1
$\text{Mn}^{2+}$	1,6	$\text{Cl}^-$	1
$\text{NH}_4^+$	1,3	$\text{HCO}_3^-$	0,27
$\text{Na}^+$	1	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	0,14
$\text{H}^+$	0,67	$\text{F}^-$	0,07

# Ιοντοεναλλαγή-ισοθερμες

Οι τιμές των **συντελεστών διαχωρισμού** και **εκλεκτικότητας** υπολογίζονται από σχεδιασμούς των ισορροπιών των συγκεντρώσεων των ιόντων στη ρητίνη και στο διάλυμα για σταθερή θερμοκρασία (ισόθερμες)

Για ένα σύστημα ομοιοσθενικής ανταλλαγής, **ο συντελεστής διαχωρισμού** και **ο συντελεστής εκλεκτικότητας** είναι ισοδύναμοι:  $a_{N/Cl} = K_{N/Cl} = a_N * C_{Cl} / a_{Cl} * C_N$



Παράδειγμα 1

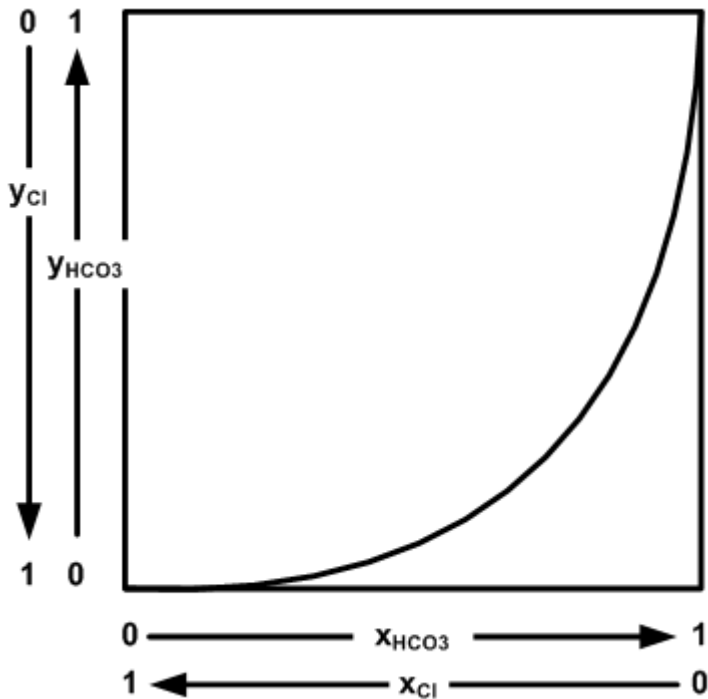
Τα νιτρικά έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις στην ρητίνη από το διάλυμα

Η ρητίνη παρουσιάζει μεγαλύτερη εκλεκτικότητα για τα νιτρικά από τα χλωριόντα

→ Τα νιτρικά θα αντικαταστήσουν τα χλωριόντα

# Ιοντοεναλλαγή-ισοθερμες

Για ένα σύστημα ομοιοσθενικής ανταλλαγής, ο **συντελεστής διαχωρισμού** και ο **συντελεστής εκλεκτικότητας** είναι ισοδύναμοι:  $a_{N/Cl} = K_{HCO_3/Cl} = q_{HCO_3} * C_{Cl} / q_{Cl} * C_{HCO_3}$



Παράδειγμα 2

Η ισόθερμη είναι περισσότερο ευνοϊκή για τα χλωριόντα έναντι των όξινων ανθρακικών

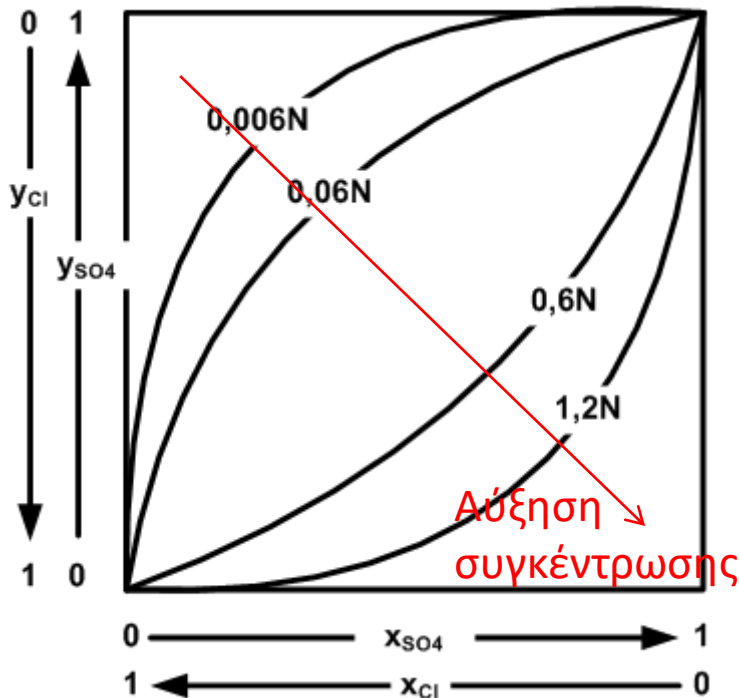
→ Τα όξινα ανθρακικά δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τα χλωριόντα



# Ιοντοεναλλαγή-ισοθερμες

Όταν έχουμε το σύστημα δισθενές/μονοσθενές η μεταβολή εξαρτάται από τη συγκέντρωση

$$\sigma. \text{ διαχωρισμού} = a_{\text{Ca/Na}} = \sigma. \text{ εκλεκτικότητας} = K_{\text{Ca/Na}} \left[ \frac{q}{C} \left( \frac{x_{\text{Na}}}{y_{\text{Na}}} \right) \right]$$



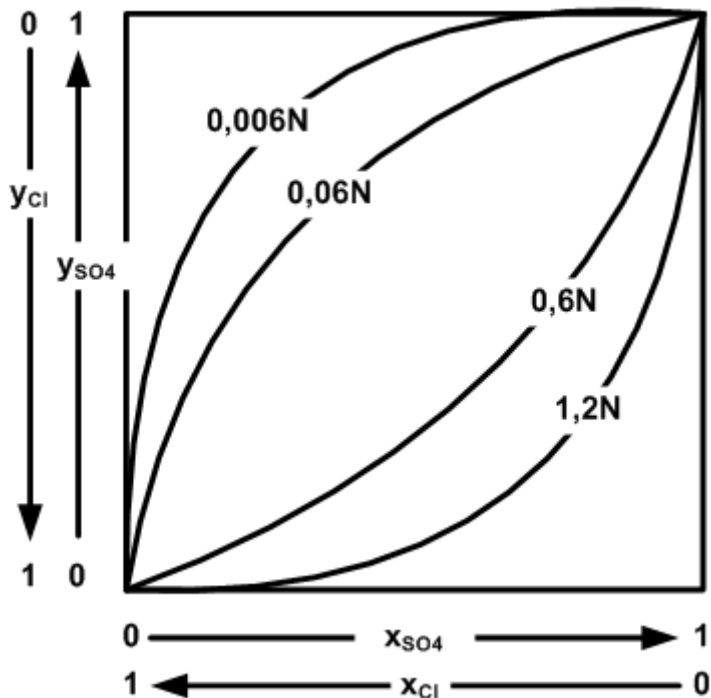
Η ισόθερμη στην περίπτωση αυτή εξαρτάται από την ολική συγκέντρωση των ιόντων στην υγρή φάση C.

Όταν μειώνεται η C, η ρητίνη παρουσιάζει μεγαλύτερη προτίμηση στο δισθενές ιόν.

Όταν **αυξάνει η C, μειώνεται ο συντελεστής διαχωρισμού** και υπάρχει ένα σημείο πέρα από το οποίο αντιστρέφεται η εκλεκτικότητα και η ρητίνη προσροφά μονοσθενές αντί δισθενές

# Ιοντοεναλλαγή-ισοθερμες

Αυτό ακριβώς το φαινόμενο εκμεταλλευόμαστε κατά την αναγέννηση της ρητίνης με πυκνά διαλύματα (αντιστρέφουμε τον συντελεστή διαχωρισμού)



Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η ισόθερμη θεικών / χλωριόντων είναι ευνοϊκή για την αντικατάσταση των χλωριόντων από τα θειικά, όταν το διάλυμα είναι 0,06N και μη ευνοϊκή όταν είναι 0,6N.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **Ηλεκτροεκλεκτικότητα**

Καθώς αυξάνει η συγκέντρωση των διαλυμάτων η υγρή φάση γίνεται περισσότερο συντεταγμένη με αποτέλεσμα η ενεργότητα των πολυσθενικών να είναι σημαντικά μικρότερη της μονάδας

# Ιοντοεναλλαγή-υλικά

Τα συστήματα ιοντοεναλλαγής πρέπει να εκπληρώνουν τις προδιαγραφές:

1. Η ρητίνη να περιέχει μια ή περισσότερες όξινες ή βασικές ρίζες
2. H-R, OH-R
3.  $\text{HCO}_2\text{-R} - \text{SO}_3\text{H}$  (Καρβοξυλική, θειώδης )
4. Θα πρέπει να είναι αδιάλυτη στο νερό υπό κανονικές συνθήκες
5. Απαιτείτε μέγιστη δυνατή ομοιογένεια των κόκκων (ομοιομορφία, διάμετρος) για περιορισμό της απώλειας πίεσης

## Περιορισμοί

1. Περιορισμός στις συγκεντρώσεις ιόντων προς απομάκρυνση
2. Λειτουργία σε υγρή φάση
3. Δεν είναι φίλτρα
4. Παρουσία αερίων δημιουργεί προβλήματα
5. Οξειδωτικά καταστρέφουν την ρητίνη

# Ιοντοεναλλαγή-κατηγορίες

## Ρητίνες εναλλαγής κατιόντων

Στο μόριο περιέχονται όξινες ρίζες, που συνδέονται με ανόργανα ή οργανικά κατιόντα

Παράδειγμα: Καρβοξυλική (R-CO<sub>2</sub>H) ή θειώδης R-SO<sub>3</sub>H

Ανταλλαγή ενός κατιόντος της ρητίνης π.χ. Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, με άλλο του διαλύματος (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>):  $Ca^{2+} + \underline{Na_2X} \text{ (ή } \underline{H_2X} \text{)} \leftrightarrow \underline{CaX} + 2Na^+ \text{ (ή } 2H^+ \text{)}$

Η εξισώσεις είναι αντιστρέψιμες αυξάνοντας στο διάλυμα την συγκέντρωση του Na<sup>+</sup> ή H<sup>+</sup> (αναγέννηση)

Παράγονται από τον συμπολυμερισμό του στυρενίου (VB) και διβινύλο-βενζολίου (DVB)

Πρόκειται για χαλαρές δομές (διείσδυση μορίων για εναλλαγή) αλλά αδιάλυτες στο νερό.

# Ιοντοεναλλαγή-κατηγορίες

## Ρητίνες εναλλαγής κατιόντων

Επεξεργασία της ρητίνης με  $\text{H}_2\text{SO}_4$  σχηματίζει τις σουλφονικές ομάδες

Πρόκειται για **Ισχυρώς Όξινους Εναλλάκτες Κατιόντων**

Αφαιρούνε από το νερό όλα τα κατιόντα σκληρότητας ( $\text{Ca}^{2+}$  ,  $\text{Mg}^{2+}$  ,  $\text{Ba}^{2+}$  ,  $\text{Sr}^{2+}$  , ή  $\text{Mn}^{2+}$  ) που βρίσκονται στο νερό είτε ως ανθρακικά είτε ως χλωριόντα ή θειικά (μόνιμης σκληρότητας)

Αναγέννηση με πυκνό διάλυμα  $\text{HCl}$  ( $\text{R}-\text{SO}_3\text{H}$ ) ή με  $\text{NaCl}$  ( $\text{R}-\text{SO}_3\text{Na}$ )

Οι **ασθενώς όξινοι εναλλάκτες κατιόντων** περιέχουν ως ενεργές ρίζες καρβοξυλικές ομάδες ( $-\text{CO}_2\text{H}$ )

Παρουσιάζουν παρόμοια οξύτητα με τα οργανικά οξέα, δεσμεύουν  $\text{Ca}^{2+}$  ,  $\text{Mg}^{2+}$  κλπ που αντιστοιχούν σε όξινα ανθρακικά μόνο και απελευθερώνουν ανθρακικό οξύ

Δεν μπορούν να δεσμεύσουν μόνιμη σκληρότητα διότι τα καρβοξύλια δεν ιονίζονται στο χαμηλό pH ( $\text{pK}_a=4,8$ )

# Ιοντοεναλλαγή-κατηγορίες

## Ρητίνες εναλλαγής ανιόντων

### Ισχυρώς βασικοί εναλλάκτες ανιόντων

Περιέχουν ως λειτουργικές ομάδες τεταρτοταγείς αμίνες ( $R-N^+(R',R'',R''')$ )

Παρακρατούν στο σύνολο τους τα ανιόντα όπως  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $SiO_3^{2-}$ .

Και μπορεί να μετατρέψει ουδέτερα άλατα σε βασικά



### Ασθενώς βασικοί εναλλάκτες ανιόντων

Περιέχουν ως λειτουργικές ομάδες δευτεροταγείς και τριτοταγείς αμίνες ( $R-N(R',R'')$  ( $H-N(R',R'')$ )

Απομακρύνουν μόνο ισχυρά οργανικά οξέα όπως  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,

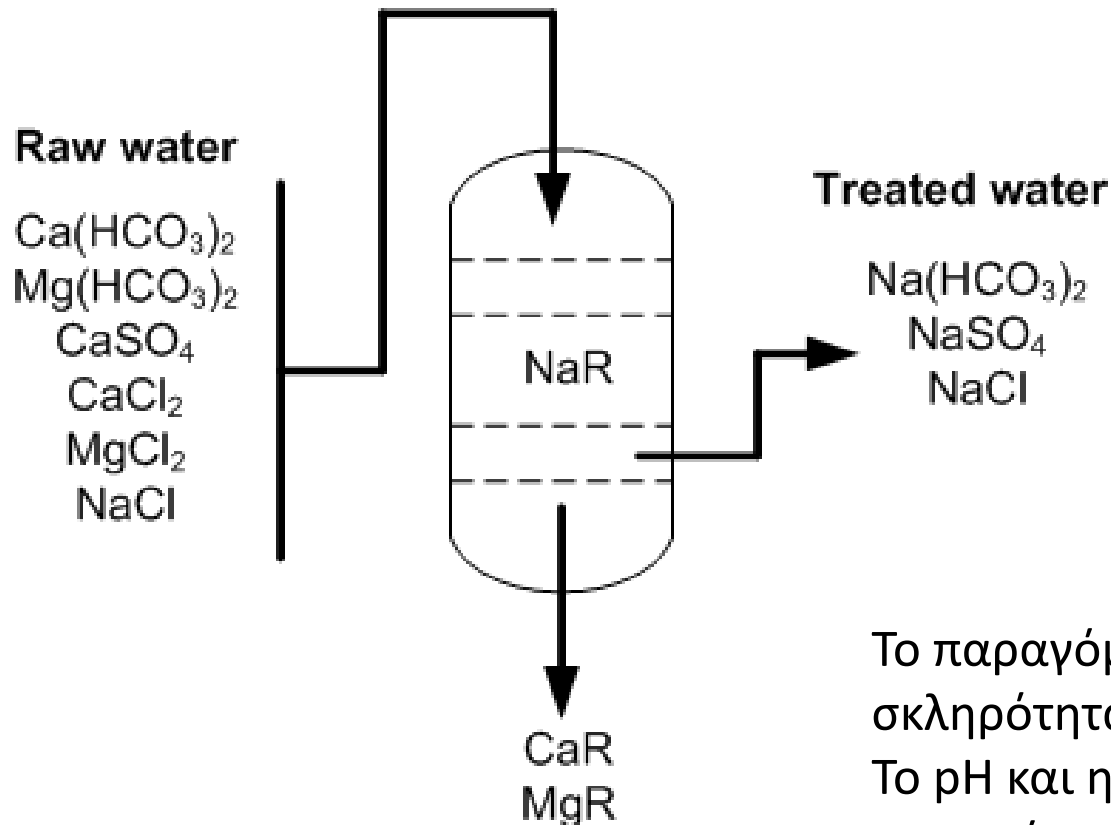
Δεν μπορούν να αποαμκρύνουν ασθενή  $CO_2$ ,  $SiO_2$  και οργανικά οξέα

# Ιοντοεναλλαγή-χρήσεις

Το επιθυμητό αποτέλεσμα καθορίζει το είδος της ρητίνης  
Με τους σωστούς συνδυασμούς μπορούμε να παράξουμε πλήρως  
απιόνισμένο νερό ή  
να μειώσουμε την σκληρότητα απομακρύνοντας μόνο το ασβέστιο και  
μαγνήσιο

# Ιοντοεναλλαγή-χρήσεις

**Αποσκλήρυνση**  
Κατιονική ρητίνη με αναγέννηση NaCl

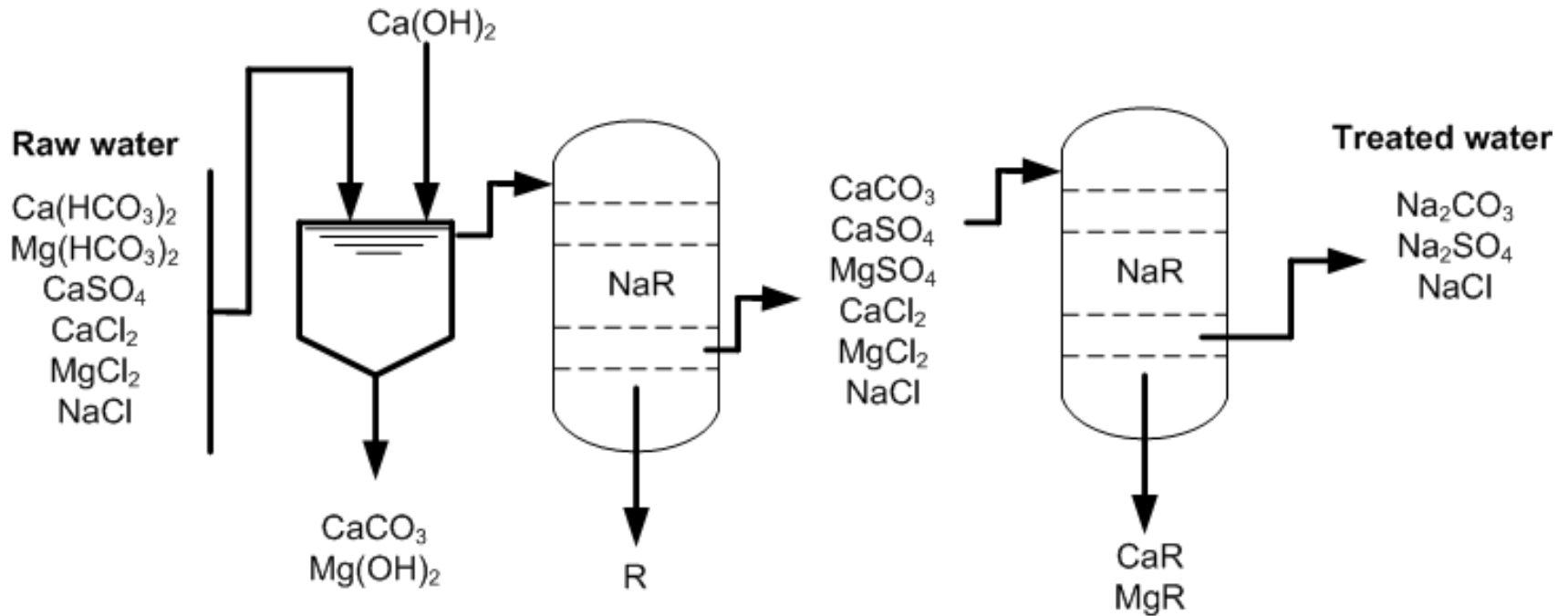


Το παραγόμενο νερό έχει  
σκληρότητα μηδέν  
Το pH και η αλκαλικότητα  
παραμένουν χωρίς  
αλλαγή



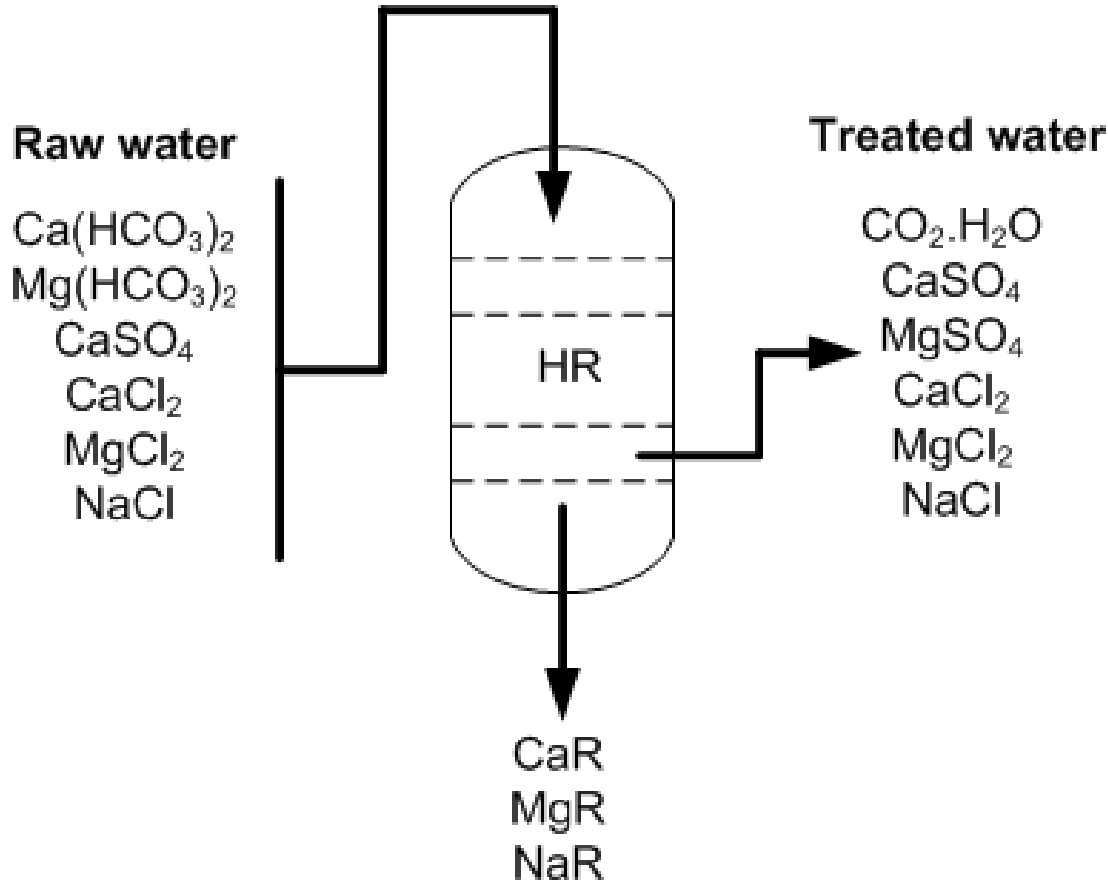
# Ιοντοεναλλαγή-χρήσεις

Αποσκλήρυνση  
Κατιονική ρητίνη με αναγέννηση NaCl



Προηγείται επεξεργασία με υδράσβεστο και η αλκαλικότητα γίνεται μηδέν  
Κατόπιν γίνεται πλήρης αποσκλήρυνση

# Ιοντοεναλλαγή-χρήσεις



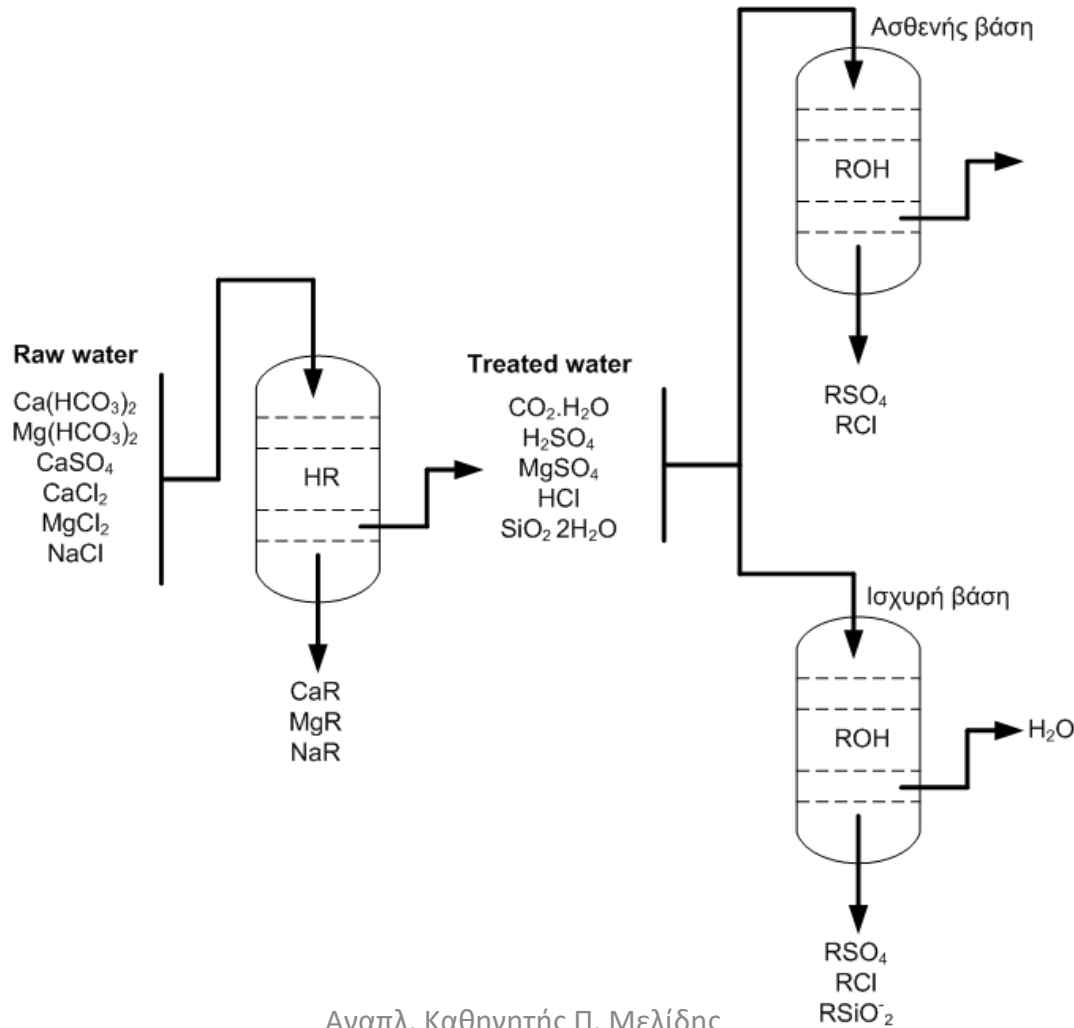
Απομάκρυνση ανθρακικών με καρβοξυλικές ρητίνες HR  
Η αλκαλικότητα είναι μηδέν, αλλά η σκληρότητα είναι TH-TAC.

Η σκληρότητα είναι μηδέν όταν TH=TAC ή TH<TAC

Επίσης είναι δυνατόν να τοποθετήσουμε δύο ειδών ρητίνες στο ίδιο δοχείο, δηλαδή ένα στρώμα καρβοξυλικής ρητίνης και ένα στρώμα σουλφονικής ρητίνης που αναγεννώνται με ισχυρό οξύ και NaCl στη σειρά

# Ιοντοεναλλαγή-χρήσεις

Πλήρης απιονισμός: Το ρεύμα νερού επεξεργάζεται πρώτα από κατιονική στήλη (αναγέννηση με οξύ) και μετά από ανιονική (αναγέννηση με βάση)



# Ιοντοεναλλαγή-λειτουργία

Πρόκειται για μια διεργασία κατά την οποία η απομάκρυνση των ιόντων δεν είναι σταθερή με το χρόνο:

- Η ρητίνη έχει μεταβαλλόμενη απόδοση, ιδιαίτερα κατά το τέλος της
- Παρουσιάζεται μια απότομη ή άλλες φορές και σταδιακή διαρροή των ιόντων προς συγκράτηση

# Ιοντοεναλλαγή-λειτουργία



Σύστημα : Δυαδικό

Δηλαδή  $\text{CaCl}_2$  και  $\text{RHSO}_3^- \text{Na}^+$

Σταδιακά η ρητίνη μετατρέπεται στην ασβεστούχο μορφή της

$\text{RHSO}_3^- \text{Ca}^{2+}$ ,

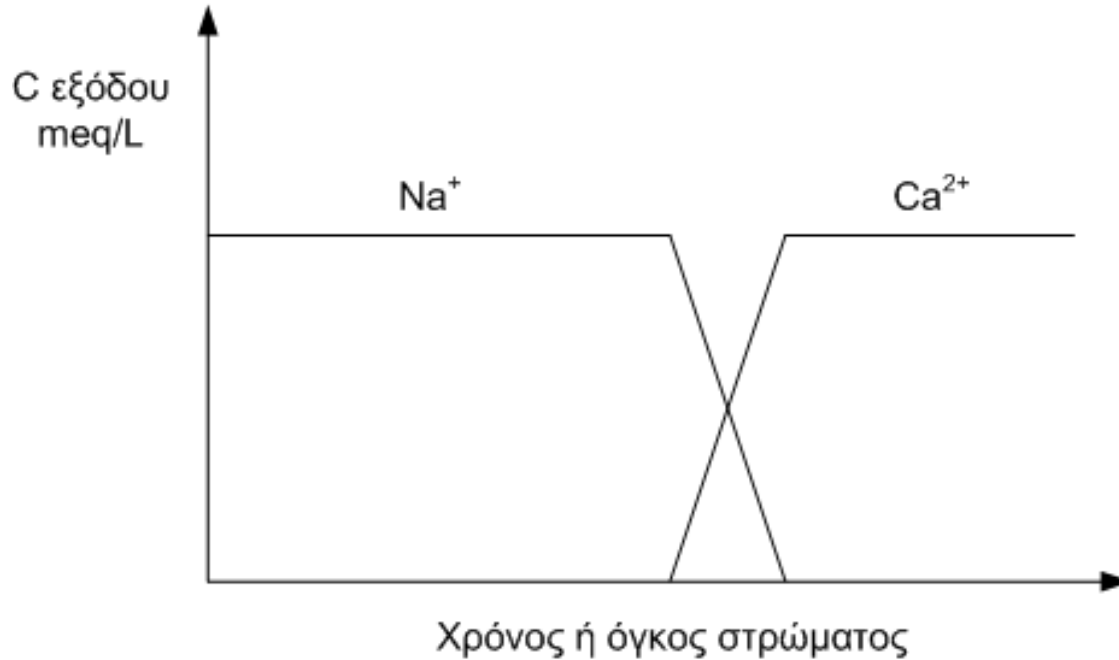
Η μετατροπή αυτή λαμβάνει χώρα στη ζώνη ανταλλαγής

Επάνω παραμένει η εξαντλημένη ρητίνη

Η ζώνη κινείται με το χρόνο προς τα κάτω μέχρι να εξαντληθεί πλήρως η ρητίνη

Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται πλέον διαρροή ασβεστίου στο επεξεργασμένο νερό

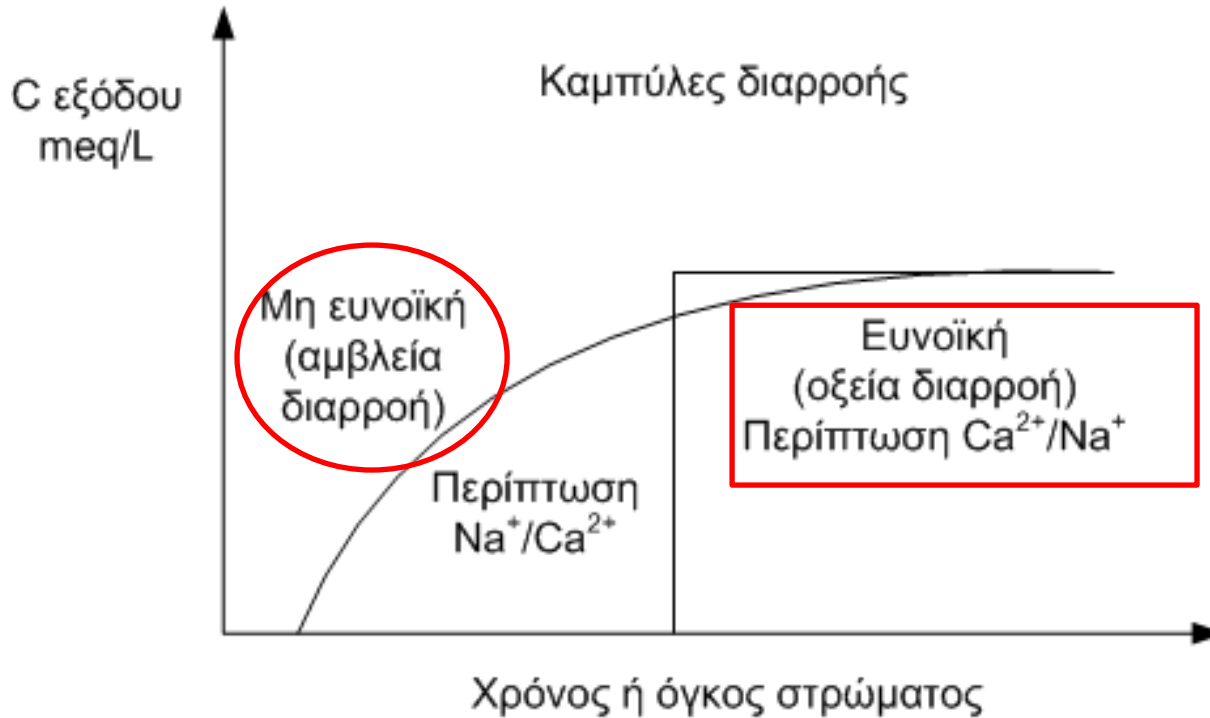
# Ιοντοεναλλαγή-λειτουργία



Η εμφάνιση των ιόντων ασβεστίου συνοδεύεται από την εξαφάνιση των ιόντων νατρίου

Όταν ανταλλάσσεται μόνο ένα ιόν η συγκέντρωση εξόδου είναι πάντα ίση με την συγκέντρωση εισόδου

# Ιοντοεναλλαγή-λειτουργία



Η μορφή της καμπύλης διαρροής εξαρτάται από την ταχύτητα ανταλλαγής της μάζας και την εκλεκτικότητα της προσρόφησης

- Η εμφάνιση λαμβάνει χώρα σε πολύ μικρό διάστημα (οξεία)
- Ατέλειες της μάζας της ρητίνης δημιουργούν μια διάσπαρτη ζώνη και μη ευνοϊκή διαρροή (αμβλεία)

# Ιοντοεναλλαγή-πολλών ιόντων

Στην πράξη η μορφή της καμπύλης διαρροής είναι πολύπλοκη  
Εξαρτάται από:

- Την σύνθεση του νερού
- Την δυναμικότητα της ρητίνης
- Την προτίμηση προσρόφησης

(Ποσοτικοποιείται από τους συντελεστές διαχωρισμού  $\alpha_{ij}$  και εκλεκτικότητας  $K_{ij}$  )

Λαμβάνει χώρα ταυτόχρονη αφαίρεση πολλών ιόντων

Η σειρά της διαρροής των ιόντων εξαρτάται μόνο από τη σειρά εκλεκτικότητας

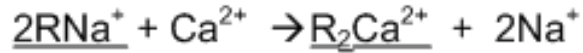


# Ιοντοεναλλαγή-πολλών ιόντων κανόνες

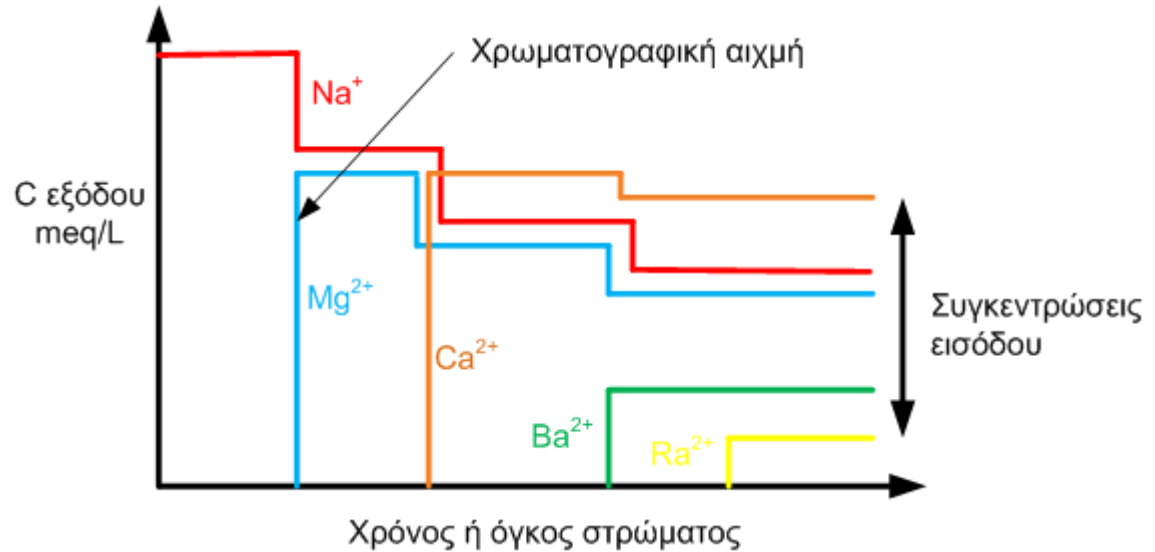
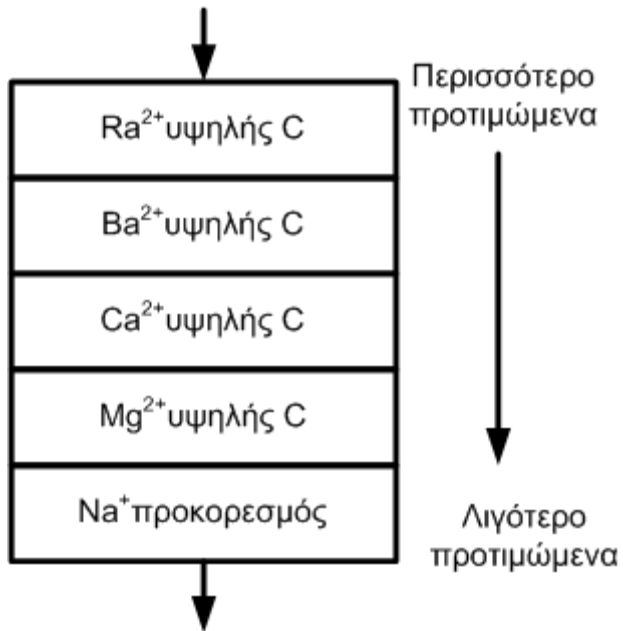
1. Μεγαλύτερους κύκλους και οξείες διαρροές παρουσιάζουν τα ιόντα με υψηλή εκλεκτικότητα
2. Τα ιόντα με την μεγαλύτερη προτίμηση διαρρέουν τελευταία
3. Η σειρά διαρροής είναι αντίστροφή με την σειρά προτίμησης
4. Τα λιγότερο προτιμώμενα συγκεντρώνονται στην ρητίνη και κάποια στιγμή εμφανίζονται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από αυτές του ακατέργαστου νερού (χρωματογραφική αιχμή)
5. Στα τοξικά ιόντα το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα ανεπιθύμητο
6. Η συγκέντρωση του προκορεσμένου ιόντος ( $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ ) μειώνεται σε βήματα που υπαγορεύονται από την εμφάνιση ενός νέου ιόντος στην έξοδο (ισορροπία ανταλλαγής ιόντων)

# Ιοντοεναλλαγή-πολλών ιόντων

Ιονταλλάκτης κατιόντων



Το νερό τροφοδοσίας περιέχει τα κατιόντα  
 $Ra^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$



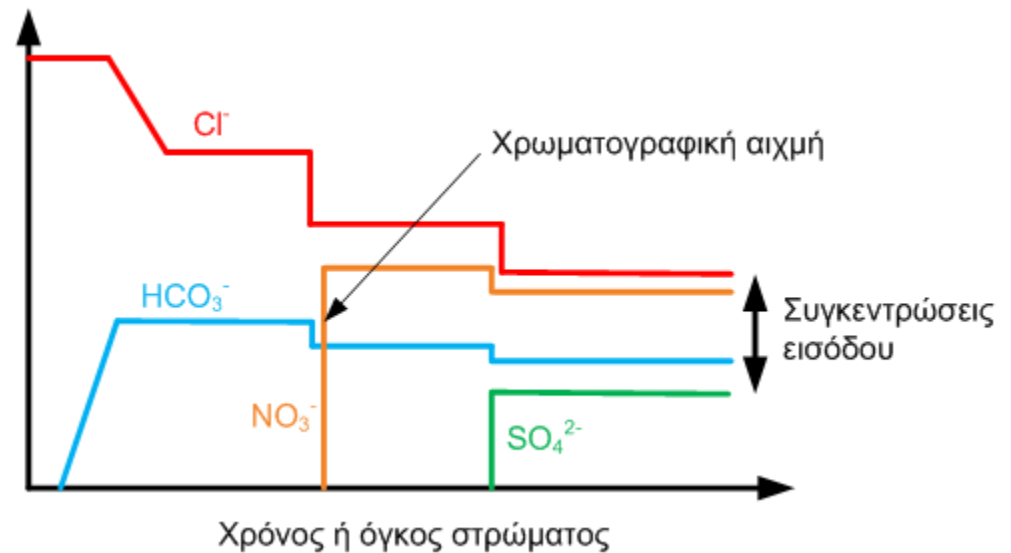
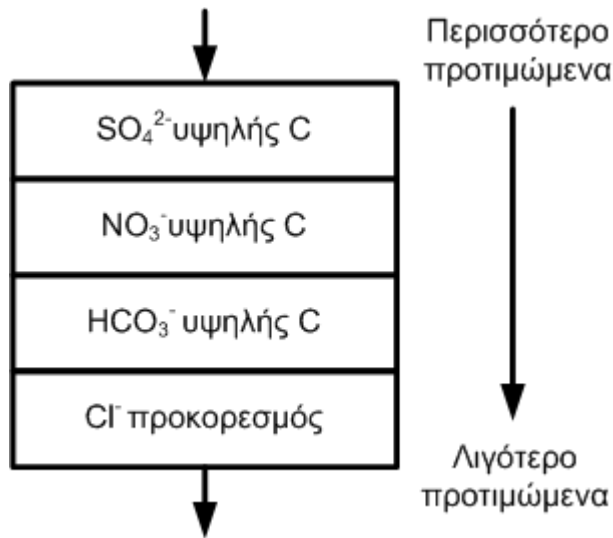
Ιδανικό προφίλ συγκεντρώσεων και καμπυλών διαρροής για αποσκλήρυνση

# Ιοντοεναλλαγή-πολλών ιόντων

Ιονταλλάκτης ανιόντων



Το νερό τροφοδοσίας περιέχει τα ανιόντα  
 $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$



Ιδανικό προφίλ συγκεντρώσεων και καμπυλών διαρροής για αφαίρεση ανιόντων

# Ιοντοεναλλαγή-Υπολογισμός του όγκου ρητίνης

1. Απαιτείται ο όγκος του νερού προς επεξεργασία μεταξύ δύο αναγεννήσεων,  $Q$  [m<sup>3</sup>]
2. Η δυνατότητα της ανταλλαγής ιόντων της ρητίνης,  $C$  [eq/L]
3. Οι ισοδύναμες συγκεντρώσεις των προς απομάκρυνση στοιχείων:  
[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>], [Cl<sup>-</sup>], [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>], [SiO<sub>2</sub>], [CO<sub>2</sub>], TAC

Στην περίπτωση ασθενούς βάσης έχουμε:

$$V_{AB} = V * [(SO_4^{2-}) + [Cl^-] + [NO_3^-]] / C$$

Στην περίπτωση ισχυρής βάσης έχουμε:

$$V_{IB} = V_{AB} + (V * \{[SiO_2] + [CO_2]\} / C)$$

Για την στήλη κατιόντων του ισχυρού οξέος έχουμε:

$$V_{IOAK} = V * TAC / C$$

# Απολύμανση

Απαίτηση της νομοθεσίας το πόσιμο νερό να είναι απαλλαγμένο από παθογόνα μικρόβια.

Η εμπιστοσύνη στην υγιεινολογική κατάσταση του νερού θα πρέπει να είναι απεριόριστη, ακόμα και κάτω από τις πιο δύσκολες συνθήκες.

Ακόμα και νερά φτωχά από την φύση τους σε μ/ο δεν είναι κάθε ώρα και στιγμή ασφαλή.

Οι εκδηλώσεις διαφόρων υδατογενών ασθενειών μπορούν να ελεγχθούν μόνο κάτω από την συστηματική και συνεχή παρακολούθηση.

Μια απολύμανση ασφάλειας θα πρέπει να διεξάγεται ακόμα και σε νερά που παρουσιάζουν σπάνια μικροβιακή ρύπανση.

Για τον λόγο αυτό η απολύμανση είναι από τις σπουδαιότερες και τις πιο διαδεδομένες επεξεργασίες του πόσιμου νερού, η οποία δεν επιτρέπεται να σταματήσει ακόμα και στις πιο δυσμενείς συνθήκες (και ιδιαίτερα κάτω από αυτές).

# Απολύμανση - μέθοδοι

Οι σημερινές μέθοδοι απολύμανσης περιλαμβάνουν:

1. την χημική απολύμανση με χλώριο και ενώσεις του χλωρίου,
2. την οξειδωτική απολύμανση με ενεργό οξυγόνο,
3. την φυσική απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία,
4. την απολύμανση επαφής σε άργυρο και
5. την βιολογική απολύμανση με βραδεία διύλιση.
6. Η καλύτερη βέβαια μέθοδος απολύμανσης είναι ο βρασμός του νερού. Αυτή η μέθοδος όμως απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας (>100 kwh/m<sup>3</sup>).

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδους εξαρτάται από το είδος, την προέλευση, την ποσότητα και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού, την κατασκευή και κατάσταση του δικτύου διανομής.

# Απολύμανση - χλωρίωση

Τα σπουδαιότερα πρόσθετα χλωρίου είναι

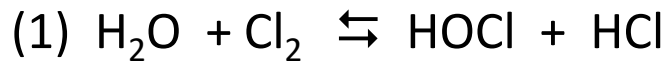
- το αέριο χλώριο,
- οι χλωραμίνες,
- το υποχλωριώδες νάτριο
- και το διοξείδιο του χλωρίου.

# Απολύμανση – χλωρίωση με αέριο

Το **αέριο χλώριο** παρέχεται σε ανοξείδωτες μεταλλικές φιάλες υπό πίεση 40 bar.

Με κατάλληλες βάνες και μανόμετρα μειώνεται η πίεση σε επίπεδα ατμοσφαιρικής, έτσι ώστε το αέριο χλώριο να αναρροφηθεί από μια μικρή ποσότητα νερού και να διαλυθεί.

Αντιδρά αμέσως με το νερό και σχηματίζει υποχλωριόδες και υδροχλωρικό οξύ:



Η ισορροπία του συστήματος είναι μετατοπισμένη πλήρως στην δεξιά πλευρά.



# Απολύμανση – χλωρίωση με αέριο

Σε εξάρτηση από το pH του νερού, διασπάται σε υποχλωριόδες ανιόν:



Το υποχλωριόδες οξύ και το υποχλωριόδες ιόν αντιπροσωπεύουν το ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο. Πειράματα έχουν δείξει ότι το αδιάστατο HOCl είναι το ισχυρότερο απολυμαντικό.

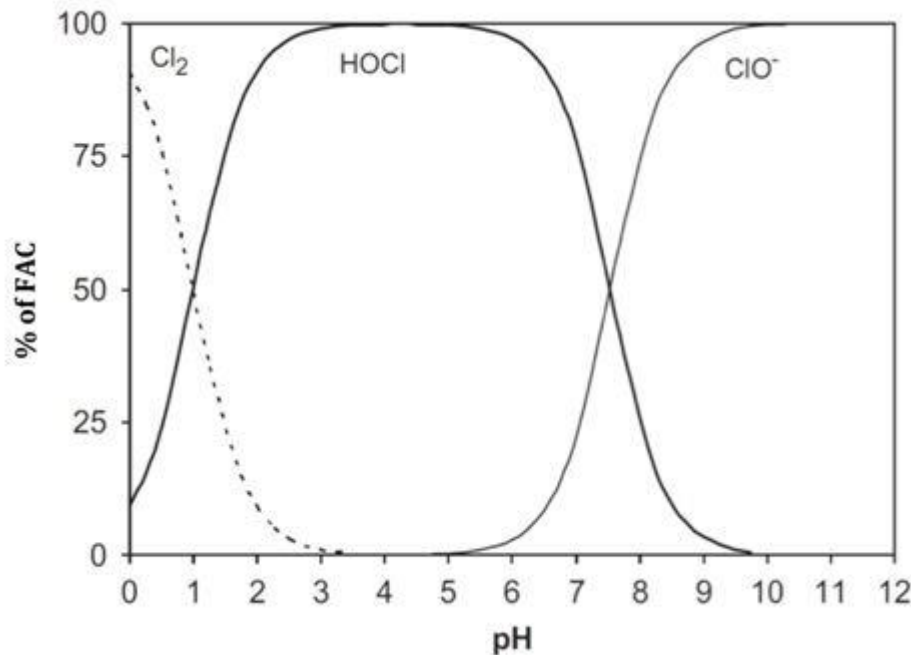
# Απολύμανση – χλωρίωση με αέριο

Η δραστηριότητα του υποχλωριώδους οξέος (HOCl) είναι 80 φορές μεγαλύτερη από αυτή του υποχλωριώδους ιόντος (OCl<sup>-</sup>).

Σε pH < 5 η ισορροπία της αντίδρασης είναι μετατοπισμένη προς τα αριστερά, για παράδειγμα όσο πιο μικρό είναι το pH τόσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση του Cl<sub>2</sub>.

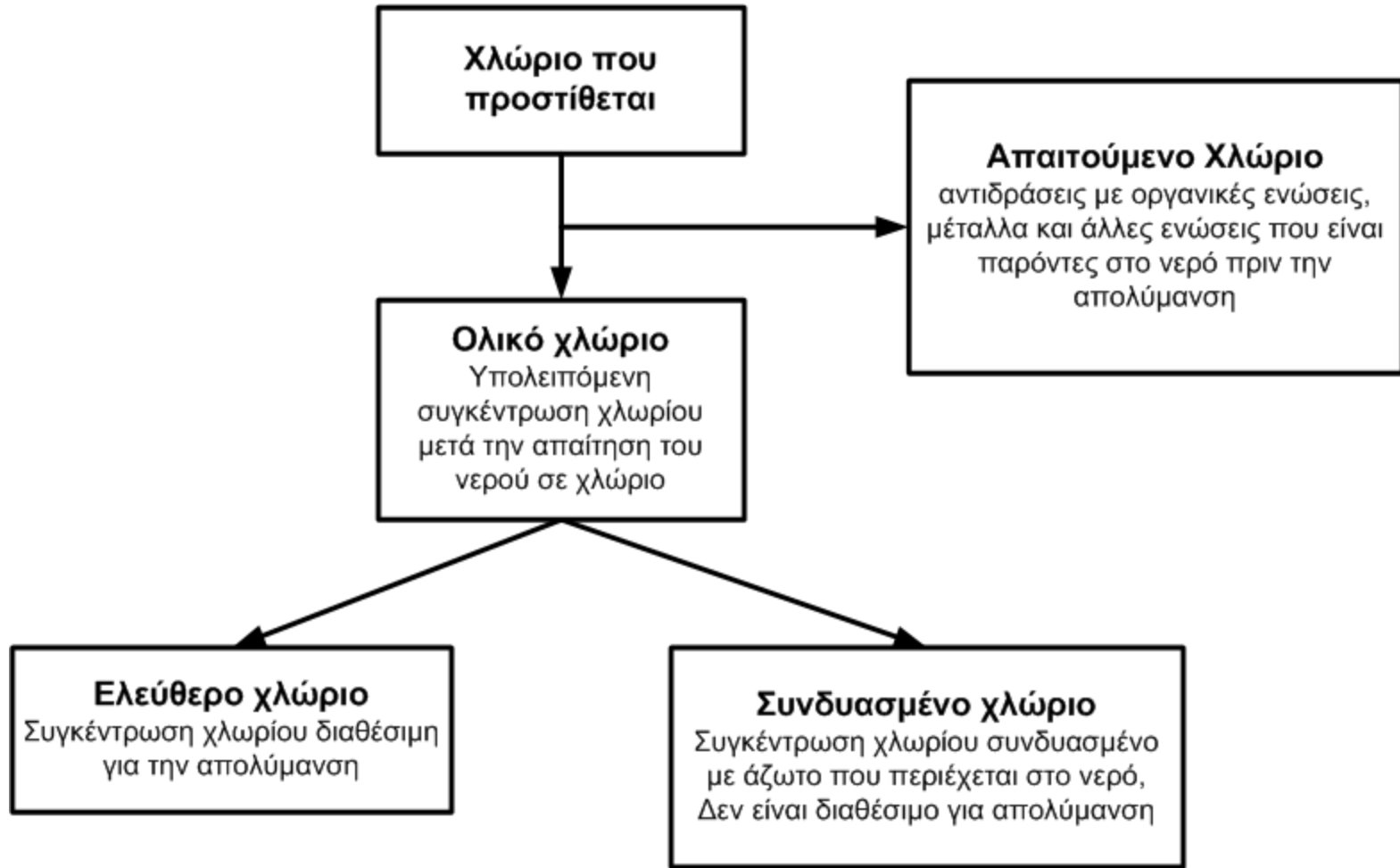
Σε pH > 5, η συγκέντρωση του OCl<sup>-</sup>, αυξάνει μέχρι να γίνει 100% σε pH 10.

Το καλύτερο πεδίο εφαρμογής της χλωρίωσης είναι από 6-8 pH.



Free Available Chlorine (FAC)=  
ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο

# Απολύμανση – χλωρίωση με αέριο



# Απολύμανση – χλωρίωση με αέριο

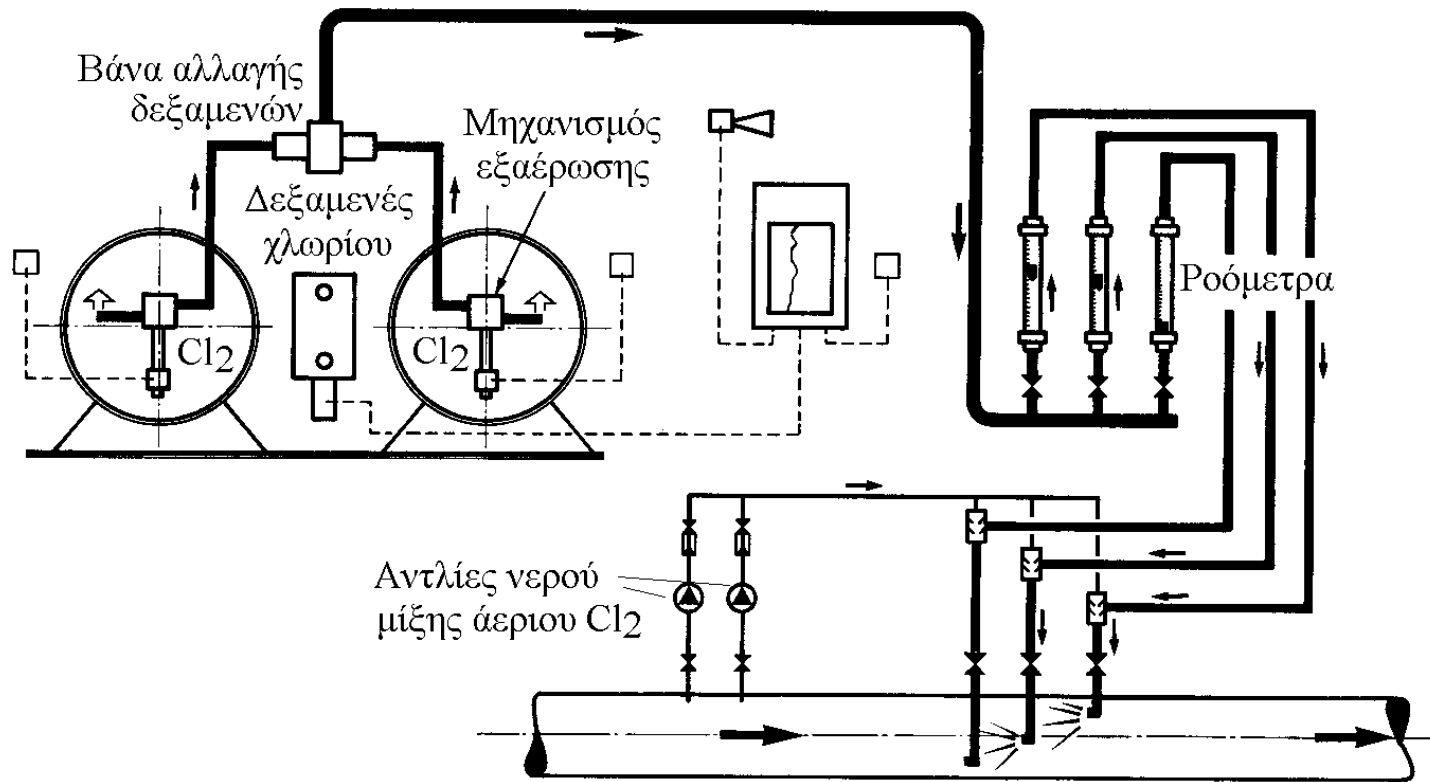
Το ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο (ΕΔΧ) είναι κάθε υπολειπόμενο χλώριο που είναι διαθέσιμο, μετά την συμπλήρωση της απαίτησης σε χλώριο του νερού, διαθέσιμο να αντιδράσει με νέες πηγές βακτηρίων ή άλλων ρυπαντών.

Είναι το σύνολο όλων των χημικών ειδών τα οποία περιλαμβάνουν ένα άτομο χλωρίου με σθένος 0 ή +1 και δεν είναι συνδεδεμένα με αμμωνία ή άλλο οργανικό άζωτο.

Π.χ.       μοριακό χλώριο ( $\text{Cl}_2$ )  
              Υποχλωριώδες οξύ ( $\text{HOCl}$ )  
              Υποχλωριώδες ανιόν ( $\text{OCl}^-$ )  
              Τριχλωρίδιο ανιόν ( $\text{Cl}_3^-$ )

Στις περισσότερες εφαρμογές κυριαρχούν τα δύο είδη του ελεύθερου χλωρίου το υποχλωριώδες οξύ και το υποχλωριώδες ανιόν. Το μεγαλύτερο ποσοστό του χλωρίου ( $\text{Cl}_2$ ) υδρολύεται προς  $\text{HOCl}$  το οποίο σε εξάρτηση από το pH, θα παραμείνει σε αυτή την μορφή ή θα διαχωρισθεί σε  $\text{OCl}^-$ .  $\text{Cl}_3^-$  είναι πολύ ασταθές και μόνο ίχνη ανιχνεύονται. Επομένως ελεύθερο χλώριο αποτελείται από το άθρισμά αυτών των δύο ειδών.

# Απολύμανση – χλωρίωση με αέριο



# Απολύμανση – χλωρίωση με αέριο

Τα κύρια πλεονεκτήματα της χλωρίωσης με αέριο χλώριο είναι:

1. η ευκολία και η απλότητα του συστήματος προσθήκης.
2. η προσθήκη του χλωρίου μπορεί να γίνει ακριβώς στο σημείο του κύριου αγωγού και το μανόμετρο ακριβώς πάνω στην φιάλη.
3. Η χλωρίωση με αέριο χλώριο είναι από τις φθηνότερες μεθόδους απολύμανσης.
4. Απαιτείται μικρό χρονικό διάστημα (5 λεπτά) για την καταστροφή του μεγαλύτερου μέρους των μικροβίων.
5. Απαίτηση για διέλευση μέσω μιας μικρής δεξαμενής ή μια διαδρομής ενός χιλιομέτρου

Τα σοβαρότερα μειονεκτήματα:

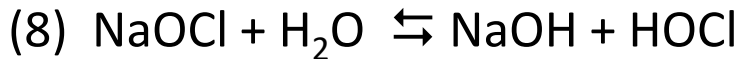
1. Η τοξικότητα
2. Ο σχηματισμός τριαλογομεθανίων

# Απολύμανση – χλωρίωση με NaOCl

Για μικρότερες μονάδες είναι καταλληλότερη η μέθοδος απολύμανσης με **υποχλωριώδες νάτριο**.

Στην περίπτωση αυτή αποφεύγουμε τελείως το επικίνδυνο αέριο χλώριο και χρησιμοποιούμε το λιγότερο επικίνδυνο αλκαλικό διάλυμα του NaOCl με δοσομετρικές αντλίες.

Η μέθοδος αυτή είναι πολύ απλή, άλλα παρουσιάζει και μειονεκτήματα όπως το φράξιμο της βαλβίδας εισαγωγής από άλατα ανθρακικού ασβεστίου, όταν η προσθήκη γίνεται απευθείας σε αγωγό.



Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η ελάχιστη τοξική δράση αυτών των πρόσθετων υλικών.

Ακόμα και αν πέσει πάνω στο δέρμα, μπορεί με πολύ νερό να ξεπλυθεί. Οι ατμοί παρόλο που είναι αποπνικτικοί δεν είναι επικίνδυνοι για το αναπνευστικό σύστημα.

Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι οι μεγάλες ποσότητες που απαιτούνται

# Απολύμανση – χλωρίωση με NaOCl

Μειονέκτημα είναι επίσης και η γρήγορη διάσπαση του, υπό την επίδραση του φωτός και της θερμοκρασίας, σε Chlorit ( $\text{ClO}_2^-$ ) και Chlorat ( $\text{ClO}_4^-$ ) και την αντικατάσταση του ασθενούς υποχλωριώδους οξέος από το ισχυρότερο διοξείδιο του άνθρακα.

Η συγκέντρωση του ενεργού χλωρίου μειώνεται μέσα σε μερικές εβδομάδες κατά 50%.





# Απολύμανση – Όζον

Για την απολύμανση χρησιμοποιείται το όζον αντί του χλωρίου όταν θέλουμε να αποφύγουμε διάφορα προβλήματα και κυρίως την οσμή του χλωρίου.

Το όζον χαρακτηρίζεται ως καθαρό οξειδωτικό, και αναμένονταν με το μεγάλο οξειδοαναγωγικό δυναμικό του, +2070 mV, να μην εμφανισθούν κανένα από τα μεγάλα προβλήματα του χλωρίου.

Αν και αυτό δεν πραγματοποιήθηκε, το όζον παραμένει ένα πολύ σημαντικό μέσο απολύμανσης όταν εφαρμόζεται σύμφωνα με τους κανόνες

# Απολύμανση – Όζον

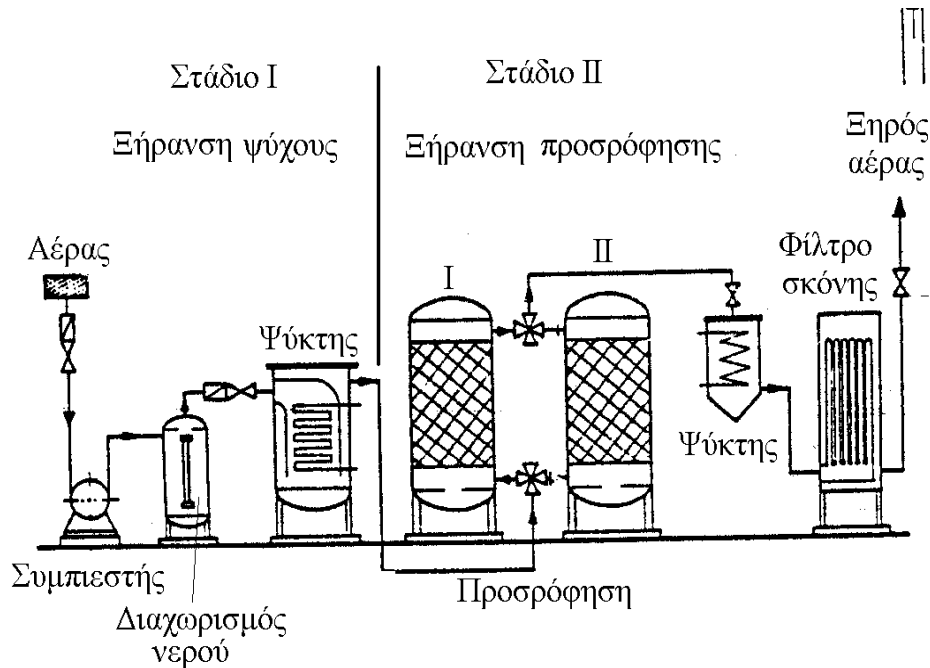
Το όζον πρέπει να παραχθεί, όπως και το διοξείδιο του χλωρίου, στον τόπο εφαρμογής του.

Μία μονάδα οζόνωσης αποτελείται από τρία τμήματα:

1. Την επεξεργασία του αέρα
2. Την παραγωγή του όζοντος, με τους απαιτούμενους μετασχηματιστές υψηλής τάσης και τα ηλεκτρόδια
3. Τις εγκαταστάσεις διάλυσης του όζοντος στο νερό

# Απολύμανση – Όζον

## 1. Επεξεργασία του αέρα



Ο αέρας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του όζοντος πρέπει να είναι απόλυτα ξηρός.

Η εγκατάσταση αποξηρανσης απομακρύνει όλα τα σωματίδια και ξηραίνει τον αέρα μέχρι  $-50^{\circ}\text{C}$ .

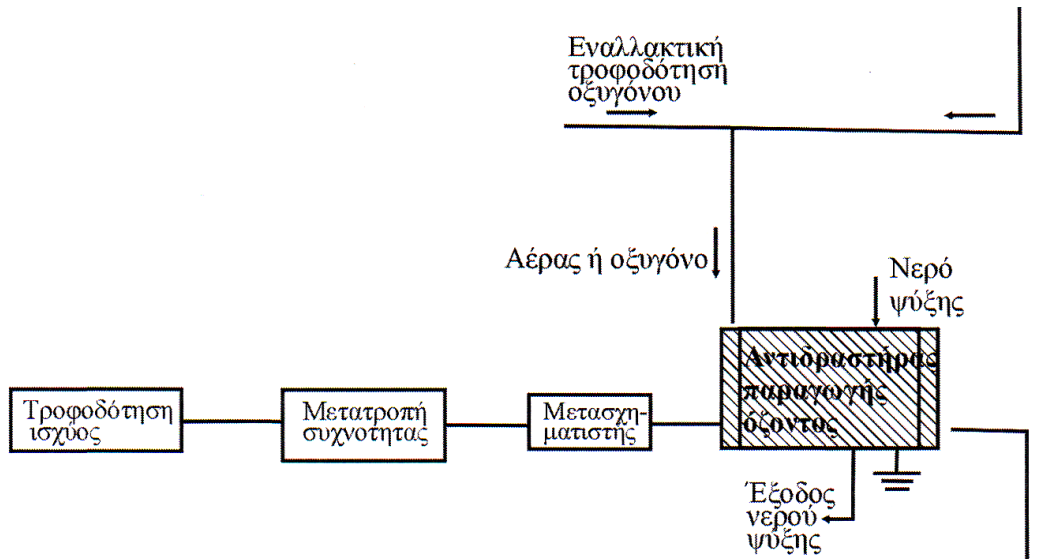
Η αντίστοιχη υπολειμματική ποσότητα υγρασίας είναι μικρότερη από  $10^{-4} \text{ g/m}^3$ .

Στους  $20^{\circ}\text{C}$  θα ήταν περίπου  $15 \text{ g/m}^3$ .

Η ξήρανση για λόγους οικονομίας γίνεται σε δύο στάδια, πρώτα μειώνεται η υγρασία κατά 90% με συμπύκνωση στους  $+3 - +5^{\circ}\text{C}$ , και κατόπιν προσροφάτε η υπόλοιπη υγρασία πάνω σε ξηραντικά υλικά.

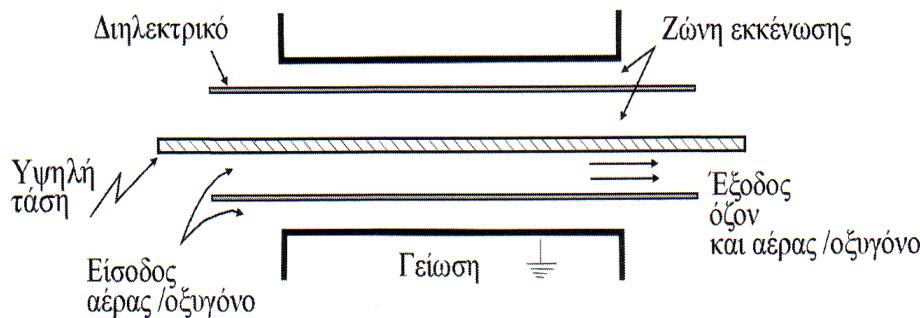
# Απολύμανση – Όζον

2. Την παραγωγή του όζοντος, με τους απαιτούμενους μετασχηματιστές υψηλής τάσης και τα ηλεκτρόδια



Ο καθαρός αέρας οδηγείται κατόπιν ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ενός εναλλασσόμενου πεδίου υψηλής τάσης από 7 – 12 kV.

Εδώ μετατρέπεται ένα μέρος του οξυγόνου του αέρα σε όζον:

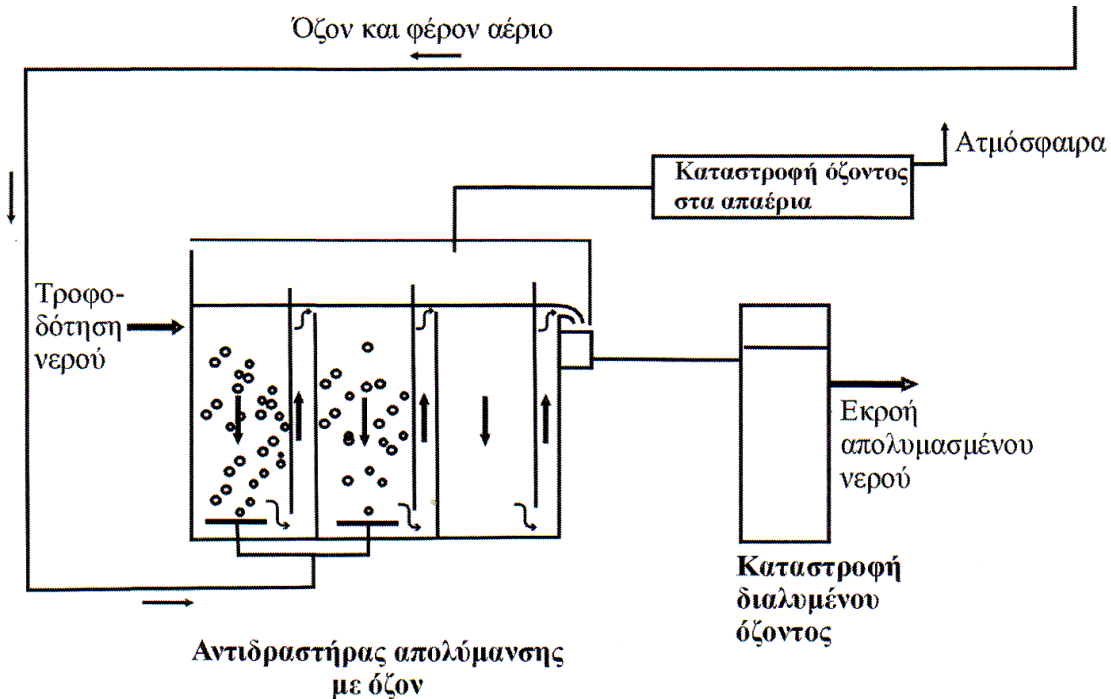


**Εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής τάσης (6-22 kV)**

**Διηλεκτρικό με μικρό πάχος  
Το πάχος του διάκενου καθορίζει την τιμή της εφαρμοζόμενης διαφοράς δυναμικού**

# Απολύμανση – Όζον

## 3. Τις εγκαταστάσεις διάλυσης του όζοντος στο νερό



Για την εισαγωγή του όζοντος χρησιμοποιούνται οι συνηθισμένες μέθοδοι ανταλλαγής αερίων,

δηλαδή **λεπτή διασκόρπιση** ή **μεγάλος χρόνος επαφής**, πιθανόν και υπό πίεση.

Στο νερό το όζον αντιδρά με ουσίες που περιέχονται σε αυτό και βακτήρια.

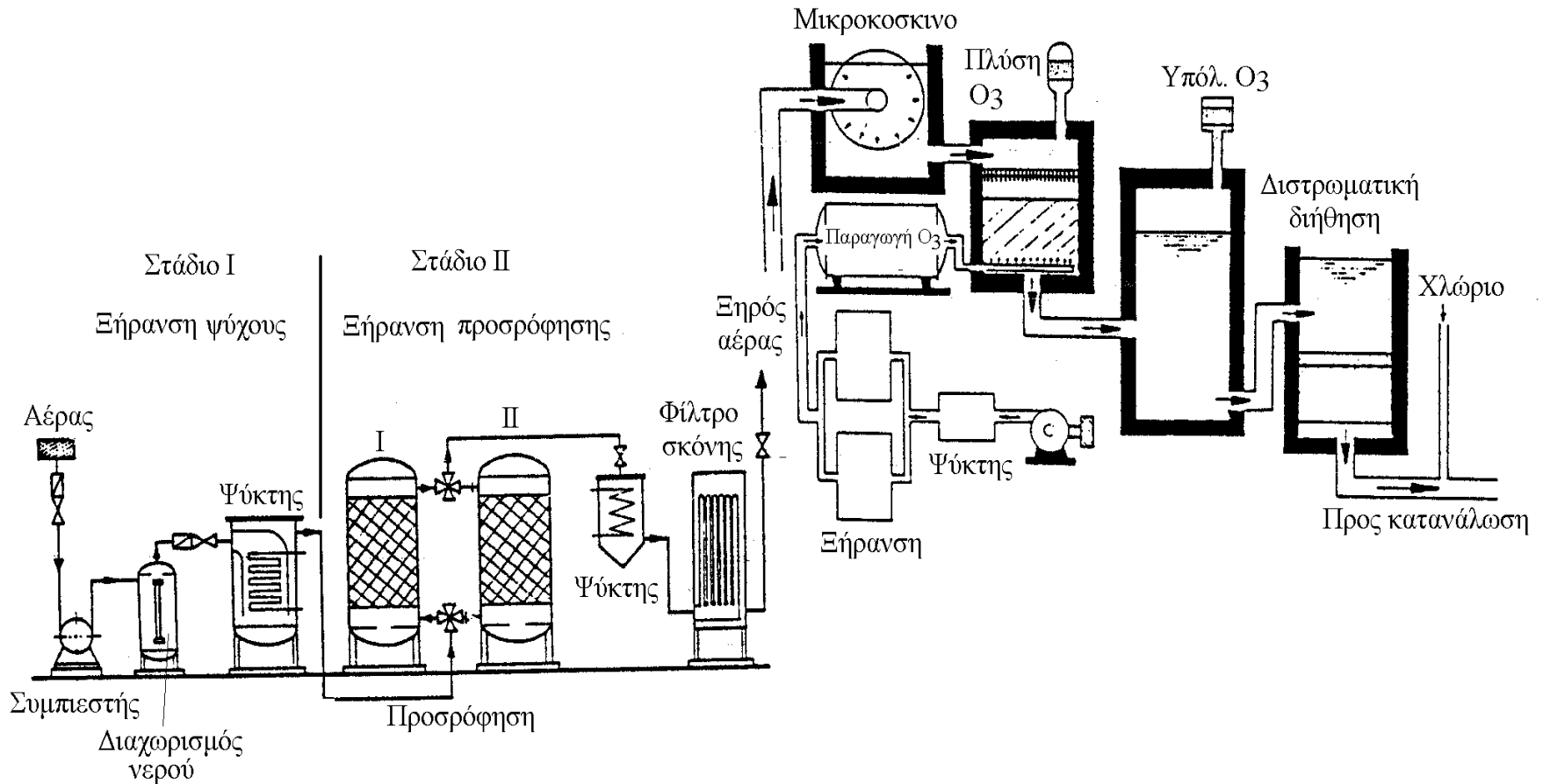
# Απολύμανση – Όζον

Εάν συγκρίνουμε το όζον με το οξυγόνο, τότε το όζον είναι **δέκα φορές πιο εύκολα** διαλυτό στο **νερό**, αλλά **περίπου εκατό φορές πιο δύσκολο** να διαλυθεί από το **χλώριο**.

Όπως και το διοξείδιο του χλωρίου, το **όζον είναι πραγματικά διαλυμένο στο νερό**.

Αυτό απαιτεί μια ιδιαίτερη προσπάθεια κατά την διάλυση του στο νερό, διότι μπορεί να παραχθεί μόνο μια μικρή ειδική πίεση όζοντος, η οποία είναι 4,10 - 4 bar κάτω από ατμοσφαιρική πίεση.

# Απολύμανση – Όζον



# Απολύμανση – Όζον

1. Το όζον παρουσιάζει πολλά **πλεονεκτήματα** που οφείλονται στο υψηλό δυναμικό οξείδωσης του.
2. Μέσα σε **λίγα λεπτά** σκοτώνονται όλα τα βακτήρια και οι ιοί γρήγορα απενεργοποιούνται.
3. Οσμές και γεύσεις δεν εμφανίζονται κάτω από κανονικές συνθήκες.
4. Το οξυγόνο που σχηματίζεται από την διάσπαση του όζοντος στο νερό είναι επιθυμητό.
5. Εκτός αυτού δεν απαιτούνται για την παραγωγή του όζοντος να αγορασθούν, διακινηθούν και αποθηκευτούν κανενός είδους χημικά.



# Απολύμανση – Όζον

1. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της οζόνωσης εντοπίζεται στο μεγάλο κατασκευαστικό κόστος.
2. Η κατασκευή και λειτουργία παρόμοιων μονάδων απαιτεί ειδικευμένο προσωπικό.
3. Και τέλος δεν θα πρέπει να παραβλεφθεί η δυνατότητα της πυρκαγιάς από την μεγάλη οξειδωτική δύναμη του όζοντος.
4. Όλα τα υλικά κατασκευής θα πρέπει να είναι από ανοξείδωτο χάλυβα, καθαρό αλουμίνιο και PTFE (teflon).

# Απολύμανση – Όζον - χρήσεις

Το όζον **μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί** κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες:

Σε υπόγεια νερά με **ελάχιστη οργανική ρύπανση** και ένα **καθαρό δίκτυο διανομής**

Πολύ καλά επεξεργασμένο επιφανειακό νερό με επίσης πολύ καλό δίκτυο διανομής, χωρίς εναποθέσεις

Επιφανειακό νερό με ακόλουθη διήθηση μέσω ενεργού άνθρακα και χλωρίωση ασφάλειας.

Αυτή απαιτεί λιγότερο από 0,1 g χλώριο/m<sup>3</sup> και καθόλου χρόνο επαφής.

# Απολύμανση – Η υπεριώδης ακτινοβολία

Η απολύμανση του νερού με μικρού κύματος ακτινοβολίες στο υπεριώδες πεδίο έχει τα πλεονεκτήματα να μην δημιουργεί και αφήνει καθόλου παραπροϊόντα, αλλά ούτε και χρειάζεται ακόλουθη επεξεργασία. Για τους λόγους αυτούς η μέθοδος αυτή είναι η καλύτερη.

Η δράση της ακτινοβολίας προέρχεται από τους νόμους της κβαντομηχανικής όπου:

$$E = h\nu$$

με  $E$  = η ενέργεια μιας ποσότητας φωτός σε Joule,

$\nu$  = η συχνότητα της ακτινοβολίας σε 1/s,

$h$  = η σταθερά του Plank σε J.s

# Απολύμανση – Η υπεριώδης ακτινοβολία

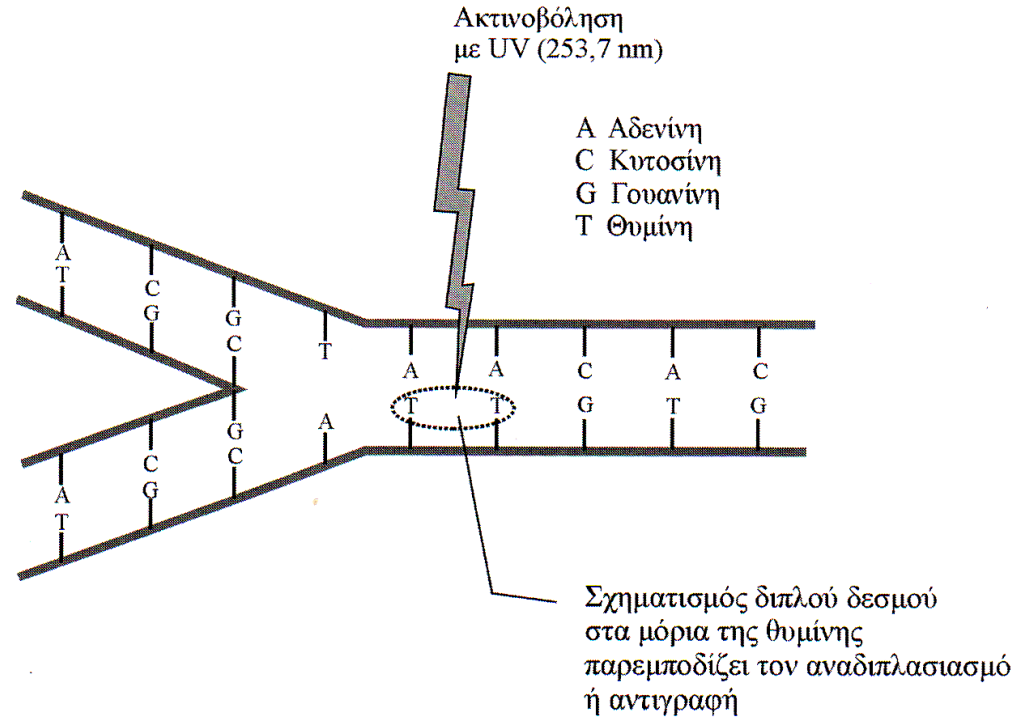
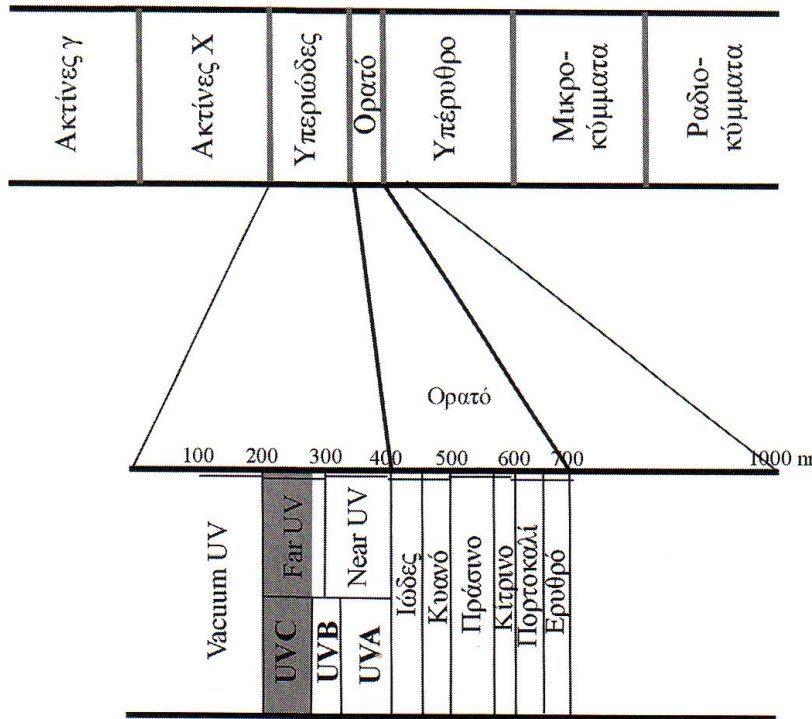
Η απορροφώμενη ενέργεια καταστρέφει τη δομή των πρωτεϊνών, από τις οποίες απορροφάται, και επομένως και τους μ/ο.

Η περιοχή του φάσματος που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα είναι τα 253 °Α.

Τέτοιο μήκος κύματος δίνει η λυχνία χαμηλής πίεσης.

Η ροή του νερού, μέσα στο πεδίο της ακτινοβολίας πρέπει να έχει μια ορισμένη ταχύτητα, για να επιτυγχάνεται η πλήρης βακτηριοκτόνος δράση.

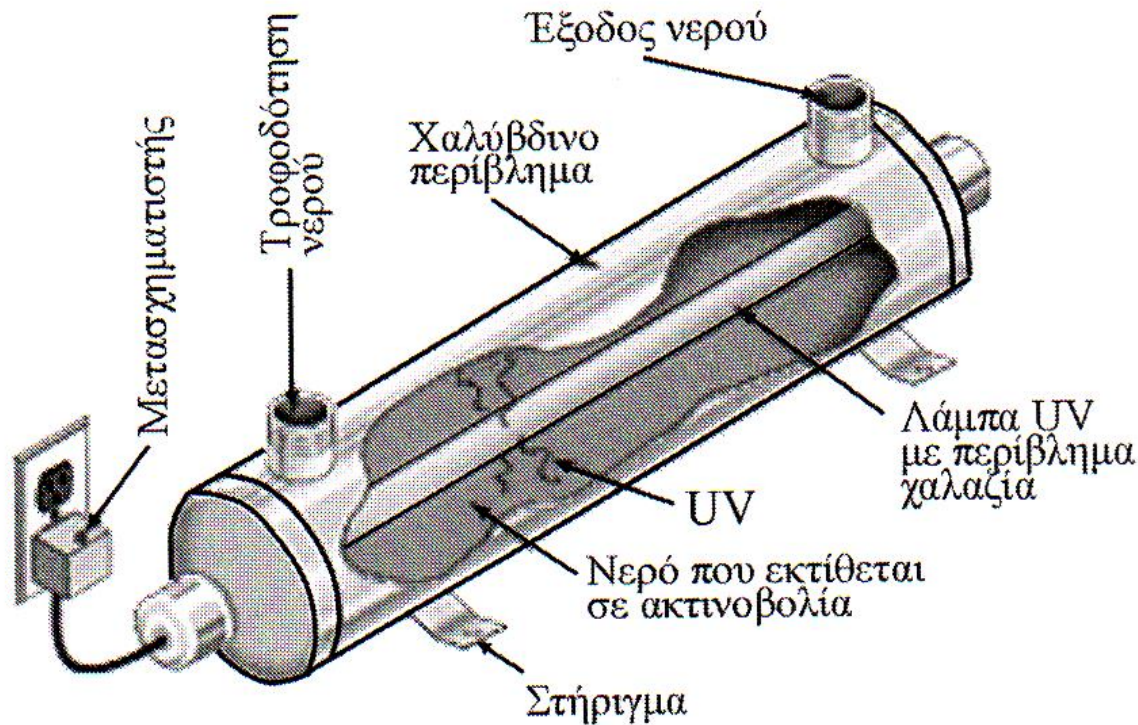
# Απολύμανση – Η υπεριώδης ακτινοβολία



Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και θέση περιοχής UVC για την απολύμανση

Μηχανισμός επίδρασης της ακτινοβολίας μήκους κύματος 253,7 nm στο DNA του κυτταρικού υλικού μ/ο

# Απολύμανση – Η υπεριώδης ακτινοβολία



Διάγραμμα λειτουργίας μικρής μονάδας UV