



4. Επικαθίσεις Αλάτων.

4.1 Εισαγωγή.

(1)

- **Επικαθίσεις Αλάτων – Λεβητόλιθος:**
- Είναι η απόθεση μεταλλικών αλάτων στη στερεή επιφάνεια βιομηχανικών συσκευών – διατάξεων με αποτέλεσμα τη δημιουργία σκληρού επιστρώματος.
- Οι επικαθίσεις αλάτων μειώνουν την απόδοση των διεργασιών.
- Προκαλούν προβλήματα στα δίκτυα μεταφοράς νερού λόγω μείωσης της διατομής των αγωγών.
- Η πρώτη ύλη των διεργασιών αφαλάτωσης είναι το θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό που περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλάτων που μπορούν να αποτεθούν σε στερεές επιφάνειες, το πρόβλημα είναι πολύ σημαντικό και χρήζει αντιμετώπισης.



4.1 Εισαγωγή.

(2)

- Επικαθίσεις αλάτων μπορούν να σχηματίζονται στους βραστήρες (λέβητες), στους εναλλάκτες θερμότητας στους πύργους ψύξης, σε μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης.
- Προβλήματα που δημιουργούν οι επικαθίσεις αλάτων
- Σε Εναλλάκτες Θερμότητας μειώνουν το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας,
- Σε σωληνώσεις μειώνουν την παροχή,
- Σε μεμβράνες μειώνεται η διαπερατότητα αυξάνοντας την κατανάλωση ενέργειας.
- Σε κάθε σύστημα κατεργασίας νερού περιλαμβάνονται διεργασίες προ – κατεργασίας (pre – treatment) ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα επικαθίσεων αλάτων.
- Τι περιλαμβάνεται στον όρο Επικαθίσεις αλάτων.



4.1 Εισαγωγή.

(3)

- Η σύσταση των επικαθίσεων αλάτων σχετίζεται με τη σύσταση και την ποιότητα του νερού.
- Οι επικαθίσεις είναι μίγματα αλάτων όπως
 - οξείδιο μαγνησίου (MgO),
 - ανθρακικό ασβέστιο $CaCO_3$, ανθρακικό μαγνήσιο $MgCO_3$, ανθρακικός μόλυβδος $PbCO_3$
 - Ανθρακικό βάριο $BaCO_3$, θειικό βάριο $BaSO_4$,
 - χλωριούχο, φθοριούχο ασβέστιο και μαγνήσιο $CaCl_2$, CaF_2 , $MgCl_2$, MgF_2 ,
 - θειικό ασβέστιο ($CaSO_4$), θειικό μαγνήσιο ($MgSO_4$)
- Όταν οι επικαθίσεις συμβαίνουν ταυτόχρονα με διάβρωση μεταλλικών επιφανειών τότε ενυπάρχουν και οξείδια του σιδήρου και τότε οι επικαθίσεις αλάτων αναφέρονται ως **μεταλλικές επικαθίσεις αλάτων** (mineral scaling).



4.1 Εισαγωγή.

(4)

- Οι επικαθίσεις αλάτων προέρχονται από τη διάσπαση όξινων ανθρακικών ενώσεων μαγνησίου και ασβεστίου προς σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου και υδροξειδίου του μαγνησίου καθώς και από συγκρυστάλλωση θειικού ασβεστίου και πυριτικών αλάτων.
- Επικαθίσεις αλάτων μπορούν να σχηματίζονται όταν το γινόμενο των δρωσών μαζών των ιόντων των αλάτων υπερβεί το γινόμενο διαλυτότητας του άλατος.
- Κατά την αφαλάτωση το απορριπτόμενο διάλυμα έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση σε άλατα από το εισερχόμενο λόγω του ότι παράλληλα λαμβάνεται και καθαρό νερό. Έτσι στην εξέλιξη της διαδικασίας αφαλάτωσης αυξάνεται η πιθανότητα σχηματισμού υπέρκορου διαλύματος και δημιουργίας επικαθίσεων.
- Εκτός από τα μεταλλικά άλατα το ανεπεξεργαστο νερό (raw water) περιέχει και άλλες ουσίες που μπορούν να δημιουργούν επιφανειακά στρώματα όπως οργανική ύλη, κολλοειδή, μεγαλομόρια, ανάπτυξη μικροοργανισμών.



4.1.1 Γινόμενο Διαλυτότητας.

(1)

- Τι ονομάζεται γινόμενο διαλυτότητας .
- Οι ουσίες χωρίζονται σε εκείνες που διαλύονται εύκολα στο νερό (ευδιάλυτες) και σε εκείνες που διαλύονται δύσκολα ή και σχεδόν καθόλου στο νερό (δυσδιάλυτες).
- Όσο δυσδιάλυτη και αν είναι μια ουσία κάποιο μικρό ποσοστό θα διαλυθεί στο νερό.
- Θεωρώντας μια δυσδιάλυτη ουσία με το γενικό τύπο A_xB_y , που τοποθετείται στον πυθμένα ενός δοχείου, ένα μικρό μέρος της θα διαλυθεί στο νερό. Το θαλασσινό νερό περιέχει ουσίες – κυρίως ιοντικές ενώσεις που είναι ισχυροί ηλεκτρολύτες και διασπώνται σε ιόντα στο διάλυμα σύμφωνα με τη σχέση:





4.1.1 Γινόμενο Διαλυτότητας.

(2)

- Τι ονομάζεται γινόμενο διαλυτότητας .
- Το γινόμενο των συγκεντρώσεων των ιόντων της ουσίας υψωμένων στη δύναμη που δείχνει τον αριθμό των ιόντων (δρώσες μάζες) ονομάζεται γινόμενο διαλυτότητας (solubility product) και αποτελεί χαρακτηριστική σταθερά μιας ουσίας.



$$K_{sp} = [A^{+y}]^x \cdot [B^{-x}]^y$$

- Η σχέση που δίνει τη σταθερά K_{sp} δείχνει τη συνθήκη που ισχύει όταν το διάλυμα είναι κορεσμένο, δηλ. δίνει τη μέγιστη ποσότητα ιόντων μιας δυσδιάλυτης ουσίας που μπορεί να διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα νερού και είναι τέτοια ώστε το γινόμενο των δρωσών μαζών να ισούται με το γινόμενο διαλυτότητας.

- Συνθήκη σχηματισμού ιζήματος

$$K_{sp} < [A^{+y}]^x \cdot [B^{-x}]^y$$

- Ακόρεστο διάλυμα

$$K_{sp} > [A^{+y}]^x \cdot [B^{-x}]^y$$



4.1.1 Γινόμενο Διαλυτότητας.

(3)

- Ποιες ενώσεις χαρακτηρίζονται ως **ΙΟΝΤΙΚΕΣ**.
- Ιοντικός Δεσμός (ionic bond) είναι ο δεσμός που οφείλεται στην ηλεκτροστατική έλξη των αντίθετα φορτισμένων ιόντων από τα οποία αποτελείται το κρυσταλλικό πλέγμα μιας ένωσης. Π.χ NaCl
- Η ισχυρή έλξη ανάμεσα στα θετικά και αρνητικά φορτία συγκρατεί τα ιόντα μαζί σε μια κανονική διάταξη στο χώρο. Το αποτέλεσμα είναι ένας κρύσταλλος, δηλαδή ένα είδος στερεού που έχει μια κανονική τρισδιάστατη διάταξη των ιόντων στο χώρο. Το μέγεθος κάθε μεμονωμένου κρυστάλλου εξαρτάται από τον αριθμό των ιόντων που τον αποτελούν.





4.1.1 Γινόμενο Διαλυτότητας .

(4)

- Ποιες ενώσεις χαρακτηρίζονται ως **ηλεκτρολύτες**.
- **Ηλεκτρολύτης** είναι οποιαδήποτε ουσία που σε υδατικό διάλυμα παρέχει ελεύθερα κινούμενα ιόντα και έτσι καθίσταται ηλεκτρικά αγωγίμο. Τα υδατικά ηλεκτρολυτικά διαλύματα είναι γνωστά ως **ιοντικά διαλύματα**.
- **Ηλεκτρολυτικά διαλύματα** δημιουργούνται, όταν διαλύεται ένα άλας σε έναν διαλύτη, όπως νερό, και τα ξεχωριστά τμήματα διαχωρίζονται, σε μια διεργασία που ονομάζεται διάλυση.
- Για παράδειγμα όταν διαλυθεί μαγειρικό αλάτι σε νερό το μόριο του αλατιού δίσταται στα συστατικά του μέρη σύμφωνα με την εξίσωση διάστασης



Ηλεκτρολύτες ονομάζονται οι ουσίες, οι οποίες σε κατάσταση τήξεως ή διαλύσεως επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Στην περίπτωση των ηλεκτρολυτών η αγωγή ρεύματος επιτυγχάνεται μέσω των ιόντων του διαλύματος ή του τήγματος.



4.1.1 Γινόμενο Διαλυτότητας .

(5)

- Για να σχηματισθούν επικαθίσεις αλάτων θα πρέπει το γινόμενο των δρωσών μαζών των ιόντων των αλάτων να υπερβεί το γινόμενο διαλυτότητας του άλατος.

$$K_{sp} < [A^{+y}]^x \cdot [B^{-x}]^y$$

- Τα άλατα ή τα μίγματα αλάτων έχουν πολύ μικρή τιμή γινομένου διαλυτότητας και έτσι αναφέρονται ως ελάχιστα διαλυτές.
- Οι επικαθίσεις είναι μίγματα αλάτων όπως
 - οξείδιο μαγνησίου (MgO) ,
 - ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3 , ανθρακικό μαγνήσιο MgCO_3 , ανθρακικός μόλυβδος PbCO_3
 - Ανθρακικό βάριο BaCO_3 , θειικό βάριο BaSO_4 ,
 - χλωριούχο, φθοριούχο ασβέστιο και μαγνήσιο CaCl_2 , CaF_2 , MgCl_2 , MgF_2 ,
 - θειικό ασβέστιο (CaSO_4), θειικό μαγνήσιο (MgSO_4)



4.1.2 Επιστρώματα μόλυνσης.

(1)

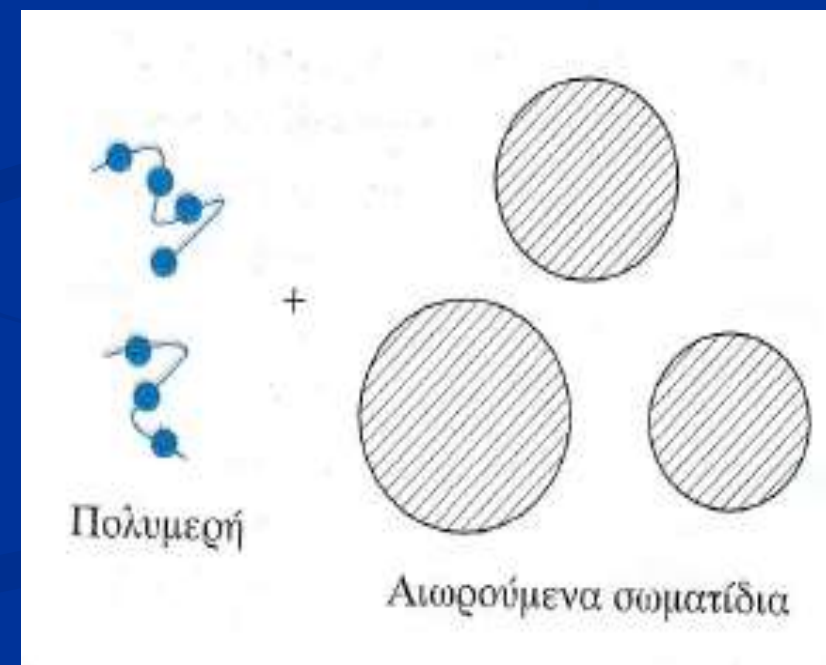
- Εκτός από τα μεταλλικά άλατα το ανεπεξέργαστο νερό (raw water) περιέχει και άλλες ουσίες που μπορούν να δημιουργούν επιφανειακά στρώματα όπως οργανική ύλη, κολλοειδή, μεγαλομόρια, μικροοργανισμούς. Είναι δυνατός ο σχηματισμός τότε επιστρώματος σε στερεές επιφάνειες που λέγεται **επίστρωμα μόλυνσης (fouling)**.
- Επίστρωμα Μόλυνσης (fouling) – Βιολογικό επίστρωμα μόλυνσης (bio – fouling).
- Η προ – κατεργασία νερού όπου χρησιμοποιούνται **κροκιδωτικές ουσίες** (άλατα αργιλίου – σιδήρου) μπορούν να προκαλέσουν τη δημιουργία επιστρώματος μόλυνσης. Για τη μέτρηση και τον έλεγχο της πιθανότητας δημιουργίας κολλοειδούς επιστρώματος μόλυνσης απαιτείται η μέτρηση του **SDI** του νερού (SDI – slit density index – δείκτης πυκνότητας λάσπης).
- Ποια η διεργασία της κροκίδωσης και ποια τα κροκιδωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται.



4.1.2 Επιστρώματα μόλυνσης.

(2)

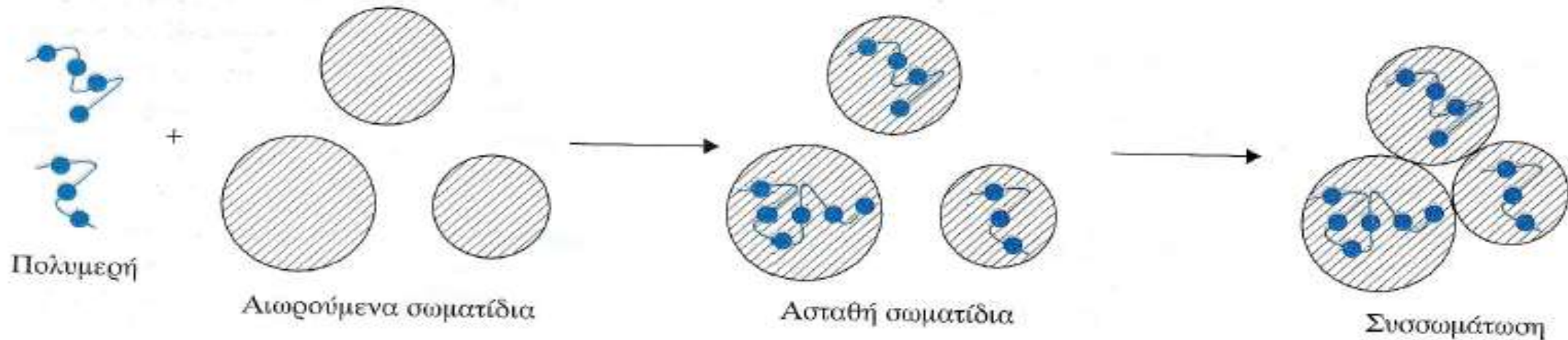
- Η συσσωμάτωση και κροκίδωση είναι μια κατεργασία του νερού για την απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων του νερού και των κολλοειδών που μπορούν να είναι διασπαρμένα σε όλη τη μάζα του νερού.
- Τα κολλοειδή απομακρύνονται με μεγαλύτερη δυσκολία από τον νερό λόγω του μικρού τους μεγέθους και της μεγάλης τους επιφάνειας σε σχέση με το βάρος τους.
- Ο διαχωρισμός τους από το νερό γίνεται σε 2 στάδια.
- 1^ο στάδιο αποσταθεροποίηση
- 2^ο στάδιο σχηματισμός συσσωματωμάτων μεγάλου βάρους στα οποία προσκολλώνται και τα αιωρούμενα σωματίδια και λόγω βαρύτητας καταβυθίζονται και διαχωρίζονται από το νερό.





4.1.2 Επιστρώματα μόλυνσης.

(3)

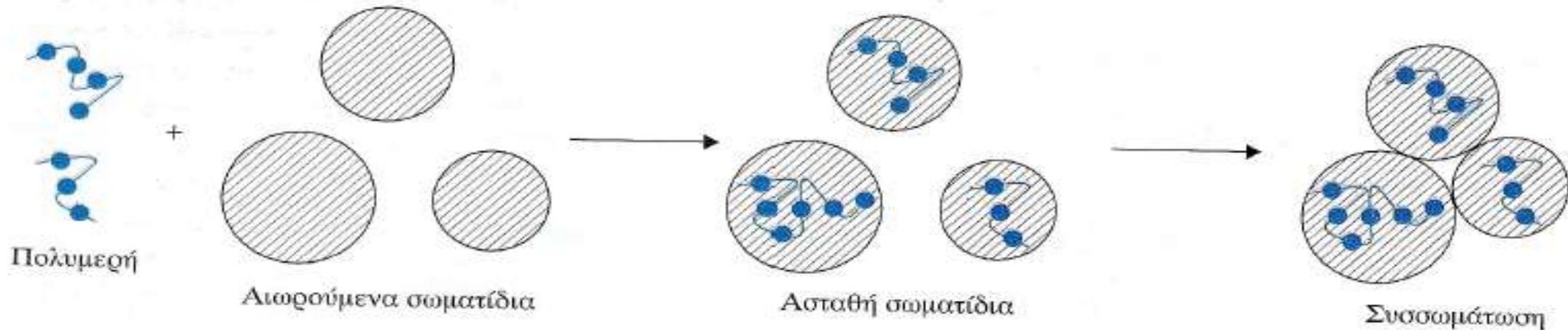


- Η διαδικασία της συσσωμάτωσης λέγεται κροκίδωση (flocculation) και γίνεται με την προσθήκη κροκιδωτικών ουσιών.
- Η ταχύτητα κροκίδωσης εξαρτάται από τη θολότητα το pH και το χρώμα του νερού.
- Στη διαδικασία λαμβάνουν μέρος και όξινα άλατα ασβεστίου μαγνησίου οπότε προκύπτει σημαντική μείωση και της σκληρότητας του νερού.



4.1.2 Επιστρώματα μόλυνσης.

(4)



➤ Τα πιο συνήθη κροκιδωτικά μέσα είναι

- Θειικό αργίλιο $Al_2(SO)_3$
- Θειικός σίδηρος $Fe_2(SO_4)_3$
- Τριχλωριούχος σίδηρος $FeCl_3$



4.1.2 Επιστρώματα μόλυνσης.

(5)

- **Επίστρωμα λάσπης (sludge):** Σχηματίζεται από την καταβύθιση αιωρούμενων στερεών και μικροκρυστάλλων. Δεν σχηματίζεται συγκολλούμενο σώμα με την επιφάνεια και μπορεί να αφαιρεθεί μηχανικά.
- **Διαφορά ανάμεσα σε Μεταλλικές επικαθίσεις αλάτων και το Επίστρωμα λάσπης.**
- 1^η περίπτωση οι κρύσταλλοι σχηματίζονται στην επιφάνεια του μετάλλου ενώ στη
- 2^η περίπτωση οι κρύσταλλοι σχηματίζονται στην κύρια μάζα του διαλύματος.
- **Προϋποθέσεις για το σχηματισμό επικαθίσεων:**
 1. Τοπικός σχηματισμός υπέρκορου διαλύματος
 2. Σημεία έναρξης κρυστάλλωσης στη στερεή επιφάνεια
 3. Επαρκής χρόνος επαφής υπέρκορου διαλύματος και σημείων έναρξης κρυστάλλωσης.



4.1.2 Επιστρώματα μόλυνσης.

(6)

➤ Προϋποθέσεις για το σχηματισμό επικαθίσεων:

1. Τοπικός σχηματισμός υπέρκορου διαλύματος
2. Σημεία έναρξης κρυστάλλωσης στη στερεή επιφάνεια
3. Επαρκής χρόνος επαφής υπέρκορου διαλύματος και σημείων έναρξης κρυστάλλωσης.

$$K_{sp} < [A^{+y}]^x \cdot [B^{-x}]^y$$

➤ Τοπικός σχηματισμός υπέρκορου διαλύματος

Στο διάλυμα υπάρχουν διαλυμένα ιόντα σε συγκεντρώσεις τέτοιες ώστε το γινόμενο των δρωσών μαζών να έχει υπερβεί το γινόμενο διαλυτότητας.

➤ Σημεία έναρξης κρυστάλλωσης στη στερεή επιφάνεια

Η κρυστάλλωση δεν αρχίζει ακόμα και αν το διάλυμα είναι υπέρκορο, μπορεί να αρχίσει από έναν μικρό υπάρχοντα κρύσταλλο από ένα άλλο στερεό σώμα που βρίσκεται σε επαφή με μια στερεή επιφάνεια (κόκος άμμου, σκόνης ή και ατέλειες της επιφάνειας του στερεού (εξογκώματα) πάνω στις οποίες θα επικαθίσουν τα άλατα.

➤ Και για να συμβεί υπέρκορο διάλυμα ή και κρυστάλλωση απαιτείται κάποιος ικανός χρόνος.



4.1.2 Επιστρώματα μόλυνσης.

(7)

- Βασική προϋπόθεση για το σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων είναι η ύπαρξη υπέρκορου διαλύματος για κάποιο δυσδιάλυτο άλας. Κάθε δυσδιάλυτο άλας έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και το δικό του δυναμικό σχηματισμού επικαθίσεων.
- Η διαλυτότητα ενός άλατος εξαρτάται από παράγοντες:
 - Συγκέντρωση ιόντων του
 - pH
 - Θερμοκρασία
 - Συγκέντρωση άλλων ιόντων (ιόντων διαφορετικών αλάτων).
- Κατά τον προσδιορισμό της πιθανότητας σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων θα πρέπει να εξετάζονται όλα τα άλατα χαμηλής διαλυτότητας (δυσδιάλυτα).



4.1.2 Επιστρώματα μόλυνσης.

(8)

- Κατά τον προσδιορισμό της πιθανότητας σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων θα πρέπει να εξετάζονται όλα τα άλατα χαμηλής διαλυτότητας (δυσδιάλυτα).
- Άλατα που συναντώνται στις συνήθεις πηγές νερού
 - Ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3
 - Θειικό ασβέστιο CaSO_4
 - Θειικό στρόντιο SrSO_4
 - Θειικό βάριο BaSO_4
 - Φθοριούχο ασβέστιο CaF_2
 - Υδροξείδιο του πυριτίου Si(OH)_4
 - Πυριτικό ασβέστιο CaSiO_4
 - Πυριτικό μαγνήσιο MgSiO_3
 - Πυριτικός σίδηρος FeSiO_3
 - Υδροξείδιο του μαγνησίου Mg(OH)_2



4.1.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη στην Αφαλάτωση νερού. (1)

- Ποια είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται στις κατεργασίες νερού και στις διεργασίες αφαλάτωσης.
- **Ανάκτηση (recovery)** δείχνει το ποσοστό του παραγόμενου νερού από το διάλυμα τροφοδοσίας και ορίζεται ως:

$$\text{Ανάκτηση } r (\%) = \frac{\dot{V}_p}{\dot{V}_f} \times 100$$

- \dot{V}_p – η ογκομετρική παροχή του παραγόμενου νερού (Q_p)
- \dot{V}_f – η ογκομετρική παροχή του διαλύματος τροφοδοσίας (Q_f)
- Η ποιότητα του παραγόμενου νερού χαρακτηρίζεται από την ικανότητα απόρριψης των αλάτων που περιέχονται στο διάλυμα τροφοδοσίας.



4.1.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη στην Αφαλάτωση νερού. (2)

- Η ποιότητα του παραγόμενου νερού χαρακτηρίζεται από την ικανότητα απόρριψης των αλάτων (rejection of salts) που περιέχονται στο διάλυμα τροφοδοσίας (όπου c οι συγκεντρώσεις).

$$\text{Ανάκτηση } r(\%) = \frac{\dot{V}_p}{\dot{V}_f} \times 100$$

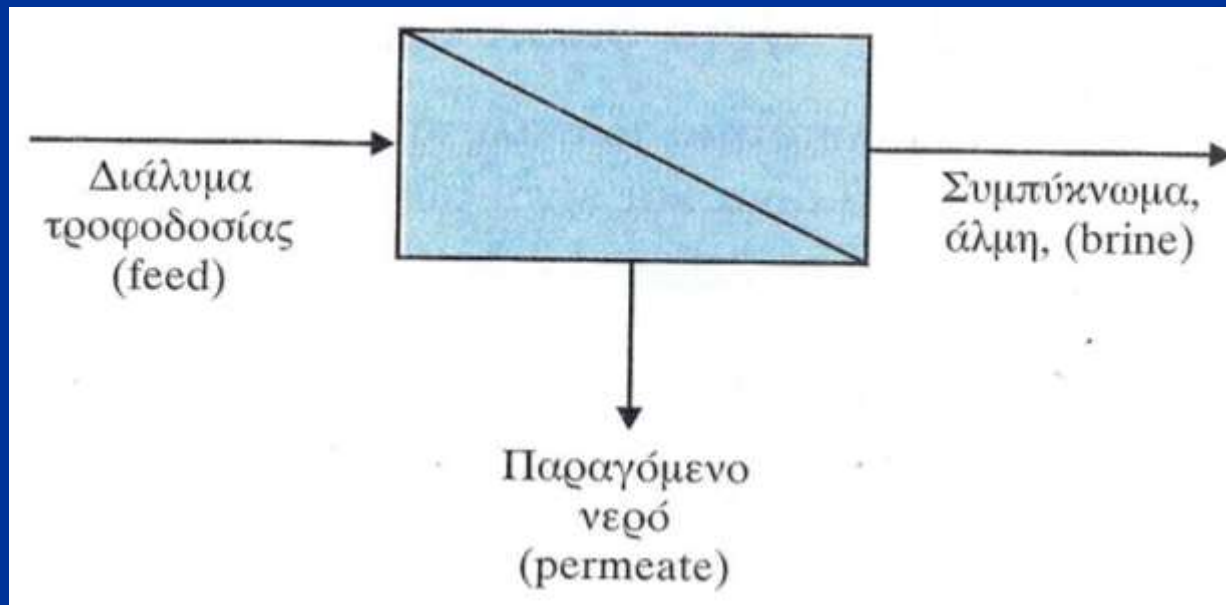
$$\text{Απόρριψη αλάτων } R(\%) = \frac{c_f - c_p}{c_f} \times 100 = \left(1 - \frac{c_p}{c_f} \right) \times 100$$



4.1.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη στην Αφαλάτωση νερού. (3)

- Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας απόρριψης των αλάτων που περιέχονται στο νερό τροφοδοσίας (feed water).

$$\text{Απόρριψη αλάτων } R(\%) = \frac{c_f - c_p}{c_f} \times 100 = \left(1 - \frac{c_p}{c_f}\right) \times 100$$

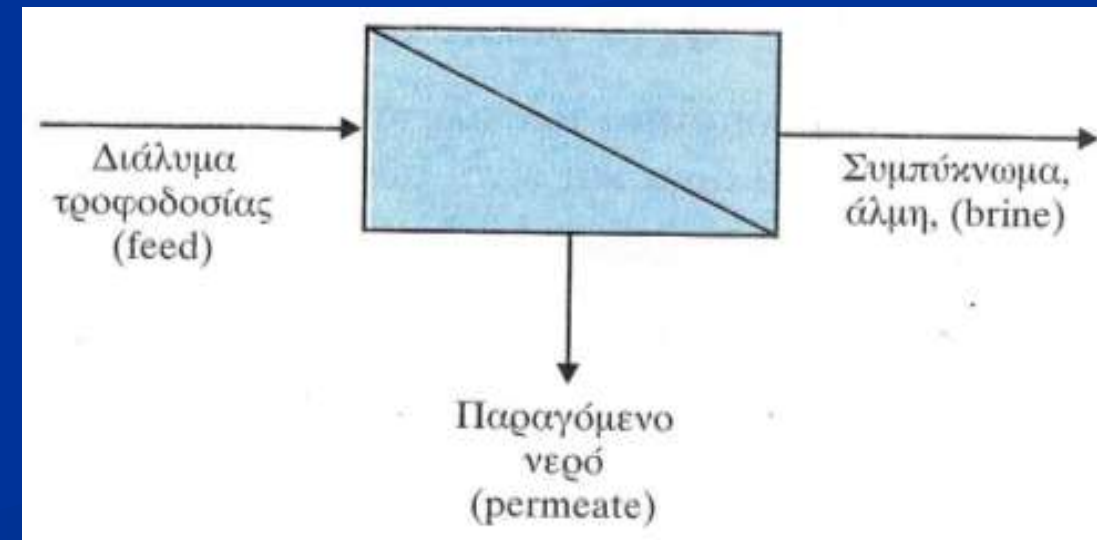




4.1.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη στην Αφαλάτωση νερού. (4)

- Στις διεργασίες αφαλάτωσης το πιθανότερο σημείο σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων είναι στην απορριπτόμενη άλμη.
- Η συγκέντρωση των αλάτων στην απορριπτόμενη άλμη μπορεί να προκύψει από τη συγκέντρωση του διαλύματος τροφοδοσίας όπου η ανάκτηση θα σημειώνεται ως κλάσμα και όχι %.

$$\text{Συγκέντρωση άλμης} = \frac{\text{Συγκέντρωση διαλύματος τροφοδοσίας}}{1 - \text{ανάκτηση}}$$





4.1.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη στην Αφαλάτωση νερού. (5)

Παράδειγμα 4.1

- Μονάδα αφαλάτωσης τροφοδοτείται με θαλασσινό νερό με παροχή $48\text{m}^3/\text{h}$ και παράγει $15\text{m}^3/\text{h}$ πόσιμου νερού. Αν η συγκέντρωση του θαλασσινού νερού ως TDS είναι 42000ppm να βρεθεί η συγκέντρωση της απορριπτόμενης άλμης.

$$\text{Συγκέντρωση άλμης} = \frac{\text{Συγκέντρωση διαλύματος τροφοδοσίας}}{1 - \text{ανάκτηση}}$$

$$\text{Συγκέντρωση άλμης} = \frac{42.000}{1 - \frac{15}{48}} = \frac{42.000}{0.6875} = 61.090\text{ppm}$$



4.2 Όρια Διαλυτότητας.

(1)

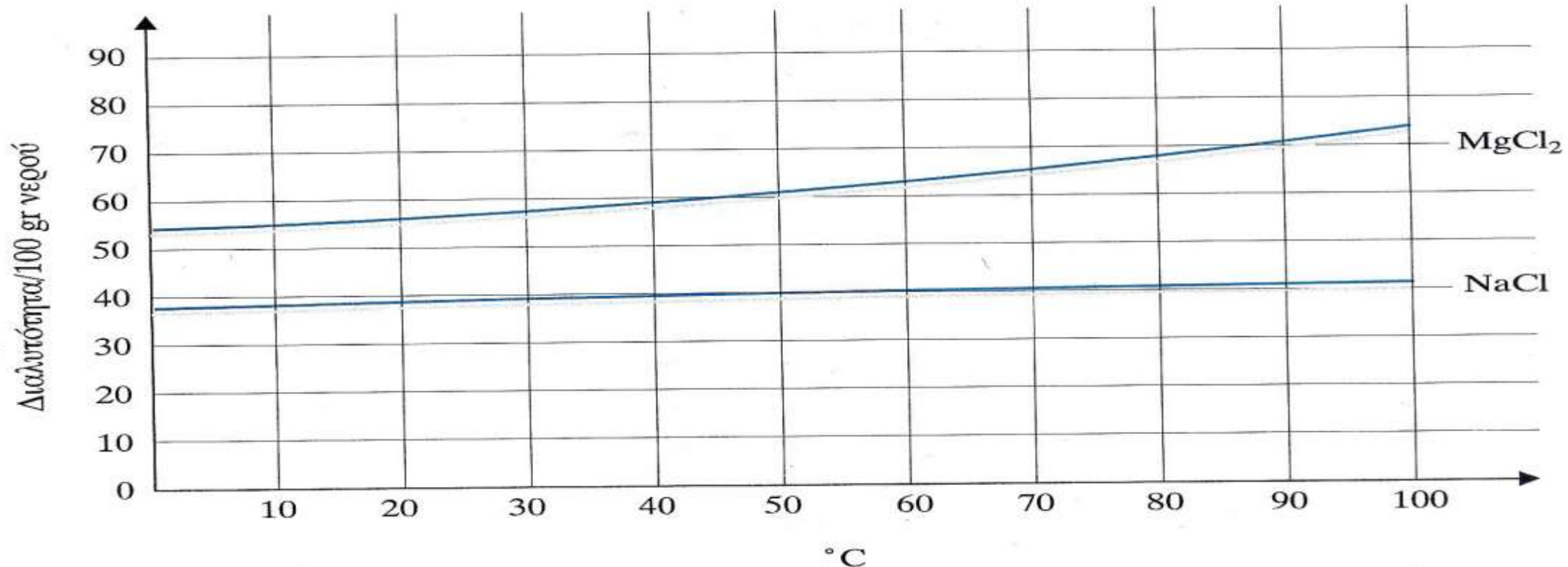
- Η διαλυτότητα των αλάτων στο θαλασσινό και το υφάλμυρο νερό μεταβάλλεται σε μεγάλα όρια και είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων. Συνήθως η διαλυτότητα δίνεται σε διάλυμα 100g νερού.
- **Διαλυτότητα** είναι η μέγιστη ποσότητα άλατος που μπορεί να διαλυθεί σε νερό ώστε το διάλυμα να είναι κορεσμένο. (Η διαλυτότητα δηλ. είναι συγκέντρωση).
- Το NaCl και το MgCl_2 είναι ευδιάλυτα άλατα. Η διαλυτότητά τους αυξάνεται με τη θερμοκρασία (λιγότερο ή περισσότερο). Η συμπεριφορά αυτή λέγεται κανονική και εμφανίζεται σε αρκετά άλατα.
- Αντίθετα στο CaSO_4 η διαλυτότητα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.
- Οι καμπύλες διαλυτότητας προκύπτουν πειραματικά με συνεχή ανάδευση του διαλύματος. Η ύπαρξη περισσότερων αλάτων στο διάλυμα μειώνει σημαντικά τη διαλυτότητα και των προηγούμενων.



4.2 Όρια Διαλυτότητας.

(2)

- Το χλωριούχο νάτριο και το χλωριούχο μαγνήσιο είναι ευδιάλυτα άλατα και η διαλυτότητά τους αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας (κανονική συμπεριφορά).

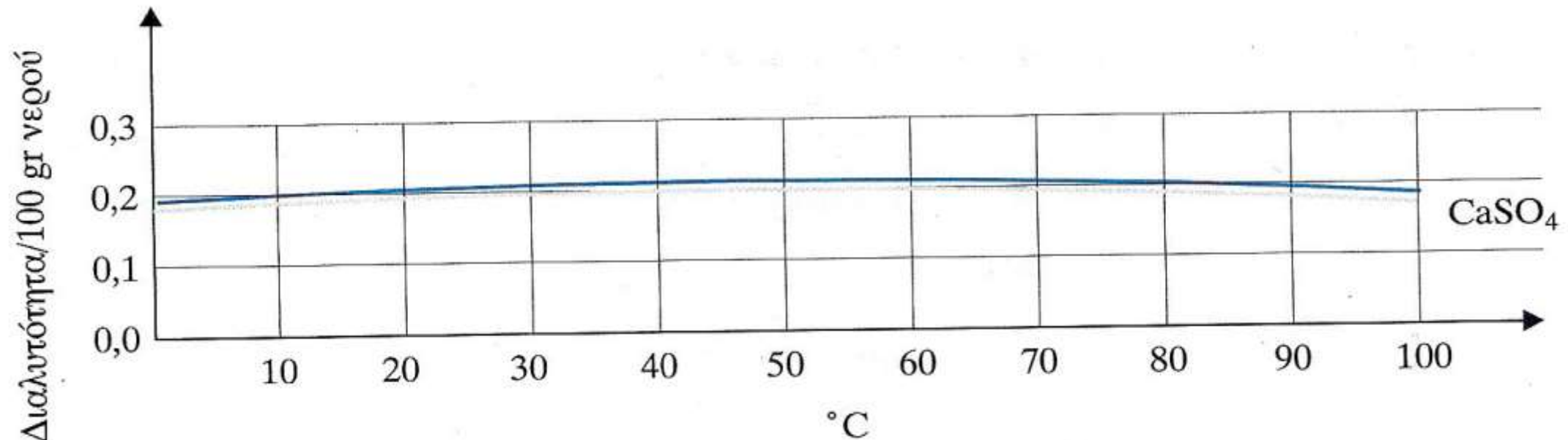




4.2 Όρια Διαλυτότητας.

(3)

- Στην περίπτωση του θειικού ασβεστίου αντίθετα η διαλυτότητα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 38°C.





4.2 Όρια Διαλυτότητας.

(4)

- Κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης ωφέλιμο προϊόν είναι το καθαρό νερό.
- Στο αλατούχο διάλυμα που παραμένει (άλμη - brine) από την επεξεργασία υπάρχει συνεχής αύξηση της συγκέντρωσης των περιεχόμενων αλάτων.
- Επομένως είναι αναμενόμενο ότι για ένα ή περισσότερα άλατα θα υπάρξει αύξηση της συγκέντρωσης ώστε κάποια στιγμή το διάλυμα να καταστεί υπέρκορο σε αυτά.
- Στην περίπτωση που οι συγκεντρώσεις αλάτων είναι τέτοιες που το διάλυμα δεν έχει καταστεί ακόμα υπέρκορο, αυτό μπορεί να συμβεί λόγω αύξησης της θερμοκρασίας όπως στην περίπτωση του CaSO_4 (αντίστροφη διαλυτότητα – *inverted solubility*).
- Η ύπαρξη υπέρκορου διαλύματος δεν αρκεί από μόνη της για το σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων σε στερεές επιφάνειες, (π.χ εναλλάκτες θερμότητας).



4.2.1 Όρια Διαλυτότητας και Εναλλάκτες Θερμότητας. (1)

- Η ύπαρξη υπέρκορου διαλύματος δεν αρκεί από μόνη της για το σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων σε στερεές επιφάνειες, (π.χ εναλλάκτες θερμότητας).
- Παλιότερα... Η εξήγηση για το σχηματισμό λεβιτόλιθου στους εναλλάκτες θερμότητας ήταν ότι στην επιφάνεια του εναλλάκτη η θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερη από το εσωτερικό του οπότε τα άλατα που ακολουθούσαν αντίστροφη διαλυτότητα ήταν πιο πιθανό να κρυσταλλωθούν στα τοιχώματα παρά στην κύρια μάζα του διαλύματος.
- Στην πραγματικότητα... πιθανές επιφανειακές κατασκευαστικές ατέλειες αποτελούν τον πυρήνα της κρυστάλλωσης.
- Έτσι η κατασκευή εναλλακτών με λείες επιφάνειες μείωσε σημαντικά το σχηματισμό λεβητόλιθου.



4.2.1 Όρια Διαλυτότητας και Εναλλάκτες Θερμότητας. (2)

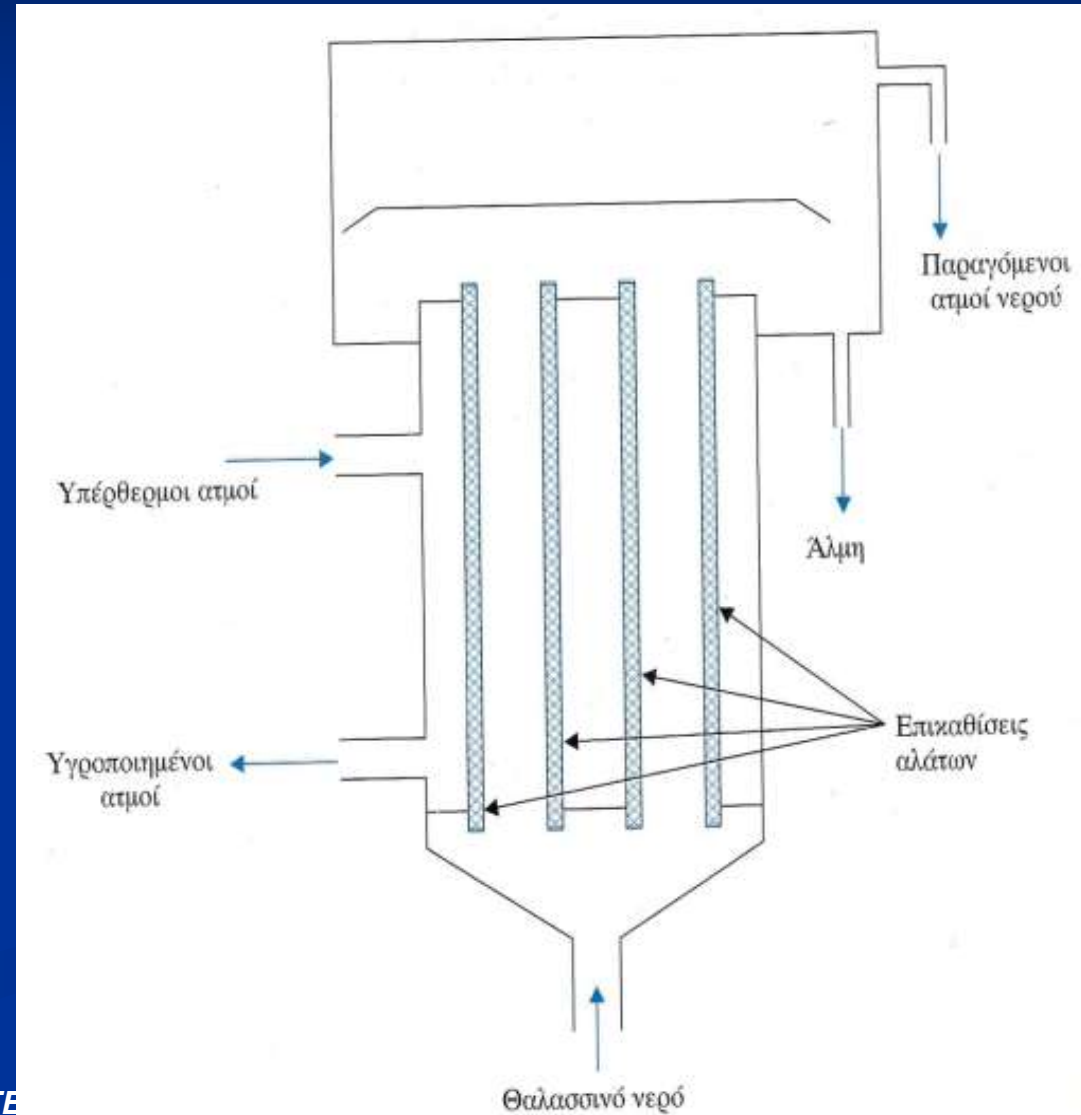
- Για την πρόληψη σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων σε συγκεκριμένες εφαρμογές θα πρέπει να είναι γνωστή
 - η ακριβής σύσταση του αλατούχου διαλύματος νερού
 - οι συνθήκες χρήσης του νερού
 - η μέθοδος αφαλάτωσης.
- Παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό της διεργασίας αφαλάτωσης:
- Θερμοκρασία λειτουργίας της μεθόδου
 - Ποσοστό συμπύκνωσης θαλασσινού ή υφάλυρου νερού
 - Χρησιμοποιούμενο μέσο θέρμανσης
 - Χρησιμοποιούμενα υλικά κατασκευής των εγκαταστάσεων.



4.2.2 Εναλλάκτες Θερμότητας - Απλή Απόσταξη. (1)

➤ Περιγραφή Σχήματος.

1. Το θαλασσινό νερό κυκλοφορεί στις σωληνώσεις οι οποίες θερμαίνονται με υπέρθερμους ατμούς. Η θέρμανση των σωλήνων του εναλλάκτη δεν γίνεται με φλόγα γιατί τότε
 - ✓ οι θερμοκρασίες θα έφθαναν σε υψηλές τιμές με κίνδυνο καταβύθισης των αλάτων με αντίστροφη διαλυτότητα
 - ✓ ο σχηματιζόμενος λεβιτόλιθος θα φηνόταν σε υψηλές θερμοκρασίες και η απομάκρυνσή του θα γίνεται δύσκολα.





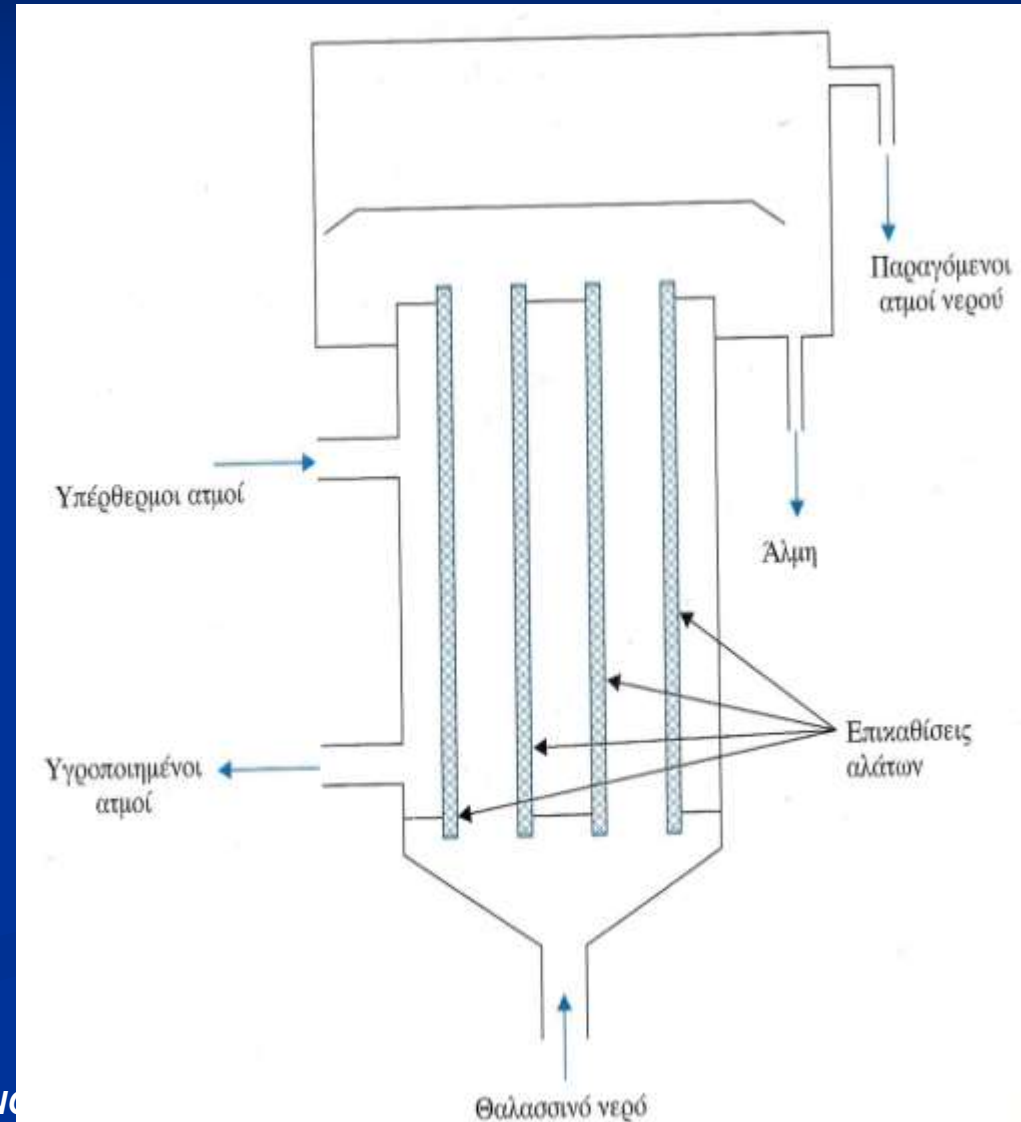
4.2.2 Εναλλάκτες Θερμότητας - Απλή Απόσταξη. (2)

➤ Περιγραφή Σχήματος.

2. Ο ατμός δεν προκαλεί επικαθίσεις αλάτων γιατί συνήθως προέρχεται από απεσταγμένο νερό. Οι υγροποιημένοι ατμοί επιστρέφουν στο βραστήρα (λέβητα) όπου χρησιμοποιούνται ξανά για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού.

✓ Ο σχηματισμός επικαθίσεων αλάτων συμβαίνει στις σωληνώσεις που κυκλοφορεί θαλασσινό νερό.

✓ Το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο βρασμού, το νερό εξατμίζεται και οι ατμοί απομακρύνονται από την άνω έξοδο και οδεύουν προς το συμπυκνωτή από τον οποίο συλλέγεται το παραγόμενο νερό. Η άλμη απομακρύνεται και απορρίπτεται.





4.3 Χαρακτηριστικές περιπτώσεις επικαθίσεων αλάτων.

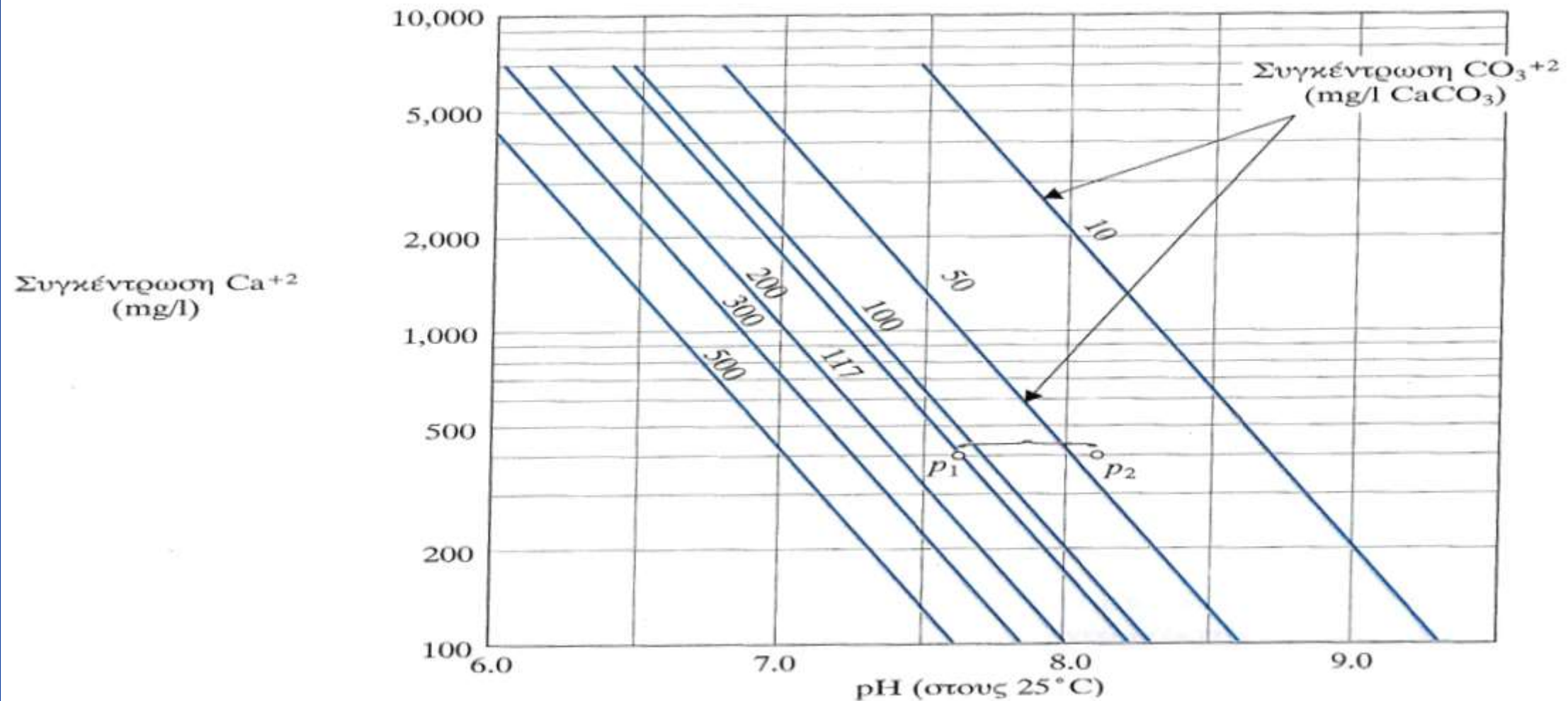
4.3.1 Άνθρακικό Ασβέστιο (CaCO_3). (1)

- Το CaCO_3 είναι ελάχιστα διαλυτό στο νερό.
- Η διαλυτότητά του στους 25°C είναι $0,01 \text{ g/l}$.
- Η διαλυτότητα επηρεάζεται από το pH του διαλύματος και αυξάνεται με τη μείωση του pH.
- Συνήθως το θαλασσινό νερό είναι ήδη κορεσμένο σε CaCO_3 οπότε μόνο με την αύξηση της θερμοκρασίας να μπορεί να προκαλέσει καταβύθιση στερεού CaCO_3 και σχηματισμό λεβιτόλιθου.
- Αν το pH του θαλασσινού νερού αυξηθεί ή η συγκέντρωση αυξηθεί λόγω της διεργασίας αποβολής καθαρού νερού, τότε η ταχύτητα επικαθίσεων αλάτων αυξάνει γρήγορα.
- Το pH του διαλύματος επηρεάζεται από τη συγκέντρωση των ανθρακικών ιόντων CO_3^{-2}



4.3.1 Άνθρακικό Ασβέστιο (CaCO_3).

(2)





4.3.1 Άνθρακικό Ασβέστιο (CaCO_3). (3)

- Κάθε ευθεία γραμμή χωρίζει το διάγραμμα σε 2 μέρη. Στα αριστερά κάθε γραμμής δεν υπάρχει σχηματισμός επικαθίσεων ανθρακικού ασβεστίου ενώ **δεξιά των γραμμών σχηματίζονται επικαθίσεις.**
- Θεωρείται σημείο P_2 ($\text{pH} = 8,1$) με συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου 400mg/l .
- Αν αυτές είναι οι παράμετροι του θαλασσινού νερού σε θερμοκρασία 60°C και η συγκέντρωση ανθρακικών ιόντων είναι 50mg/l CaCO_3 τότε βρισκόμαστε δεξιά της γραμμής των 50mg/l και το διάλυμα είναι υπέρκορο με πιθανότητα σχηματισμού επικαθίσεων ανθρακικού ασβεστίου.
- Το διάγραμμα αναφέρεται σε θερμοκρασία 25°C , οπότε και σε οποιαδήποτε υψηλότερη αναμένονται επικαθίσεις αφού η διαλυτότητα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας για τα δυσδιάλυτα άλατα όπως φάνηκε νωρίτερα.
- Αν θεωρηθεί σημείο P_1 ($\text{pH} = 7,6$) για τα ίδια δεδομένα το διάλυμα θα ήταν ακόρεστο.



4.3.1 Άνθρακικό Ασβέστιο (CaCO_3). (4)

- Οι επικαθίσεις ανθρακικού ασβεστίου συνιστούν τις μαλακές επικαθίσεις (soft scale) και είναι η πιο συνήθης μορφή επικαθίσεων αλάτων.
- Ο προσδιορισμός της πιθανότητας σχηματισμού επικαθίσεων CaCO_3 γίνεται με το δείκτη κορεσμού Langerlier LSI (Langerlier saturation index) που ορίζεται:

$$LSI = pH - pH_s = pH - [(9,3 + A + B) - (C + D)]$$

όπου, $A = (\log_{10} [TDS] - 1)/10$, TDS σε ppm

$$B = -13,12 \times \log_{10} (^\circ C + 273) + 34,55$$

$$C = \log_{10} [\text{Ca}^{+2} \text{ ως } \text{CaCO}_3] - 0,4, \text{ η συγκέντρωση σε ppm}$$

$$D = \log_{10p} (\text{Αλκαλικότητα ως } \text{CaCO}_3), \text{ η συγκέντρωση σε ppm}$$



4.3.1 Άνθρακικό Ασβέστιο (CaCO_3). (5)

- Τιμές του $\text{LSI} < 0$ δίνουν πιθανότητα σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων πολύ μικρή.
- Οι τιμές του LSI δείχνουν κατά πόσο θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την πρόληψη επικαθίσεων αλάτων.
- Ο δείκτης LSI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της Ικανότητας διάβρωσης του νερού (corrosivity) σε μεταλλικές επιφάνειες.
- Με $\text{LSI} < 0$ και καθώς ο δείκτης αυξάνει αρνητικά, αυξάνει και η διαβρωτική ικανότητα του νερού.



4.3.2 Υδροξείδιο του Μαγνησίου $Mg(OH)_2$. (1)

- Η πιθανότητα καταβύθισης και σχηματισμού επικαθίσεων του $Mg(OH)_2$ εξαρτάται από το pH του διαλύματος αλάτων. Σε συνηθισμένο θαλασσινό νερό οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι:

$$C_{Mg} = 0,054 \text{ M}$$
$$C_{OH} = 10^{-6} \text{ M, c}$$

- Το γινόμενο διαλυτότητας του $Mg(OH)_2$ είναι $K_{sp} = 10^{-11}$.

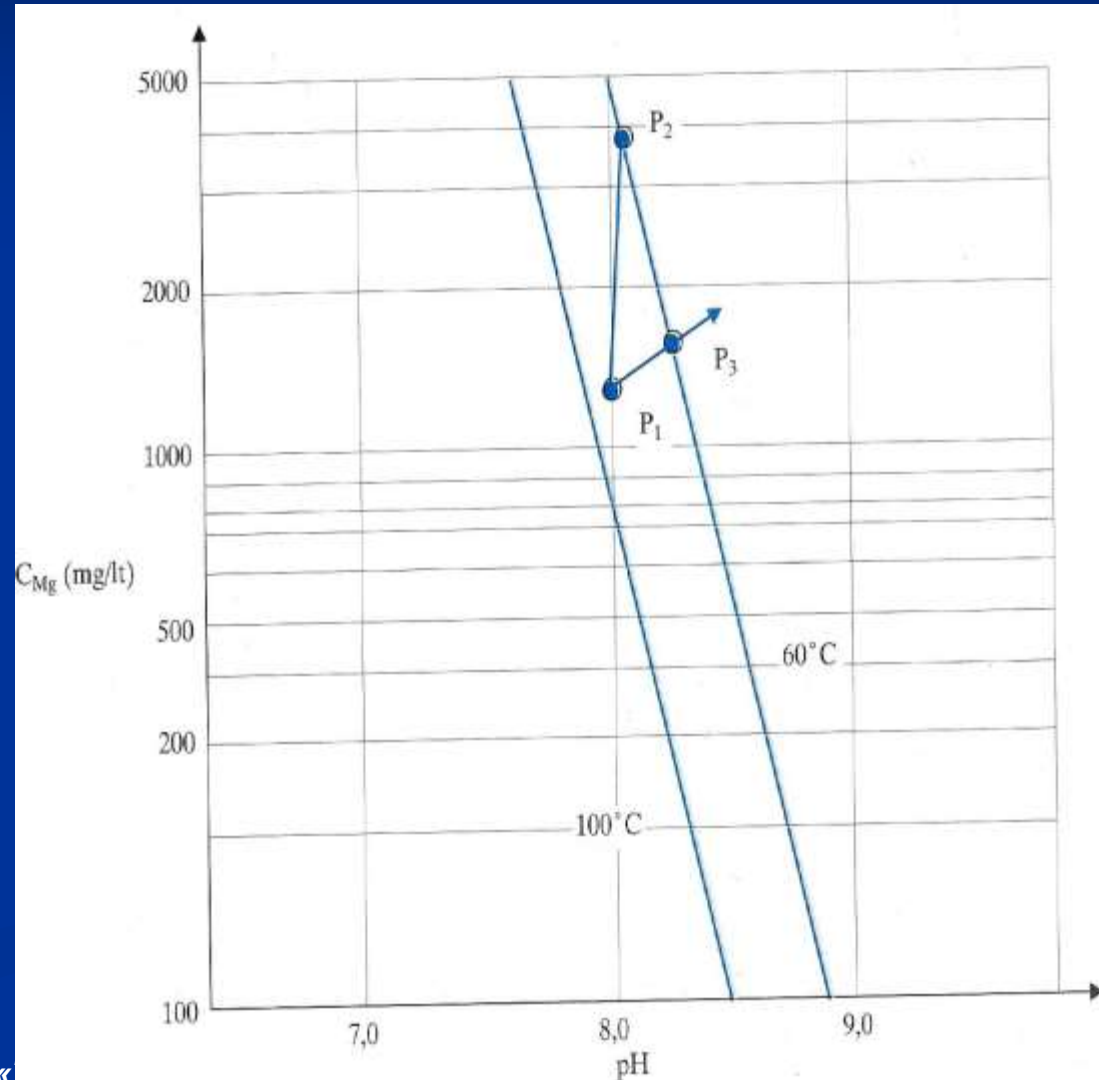
$$C_{Mg} \times (C_{OH})^2 = 5,4 \times 10^{-14} < K_{sp}$$

- Δηλ. στο συνηθισμένο θαλασσινό νερό δεν συμβαίνει καταβύθιση και σχηματισμός επικαθίσεων $Mg(OH)_2$.



4.3.2 Υδροξείδιο του Μαγνησίου ($Mg(OH)_2$) (2)

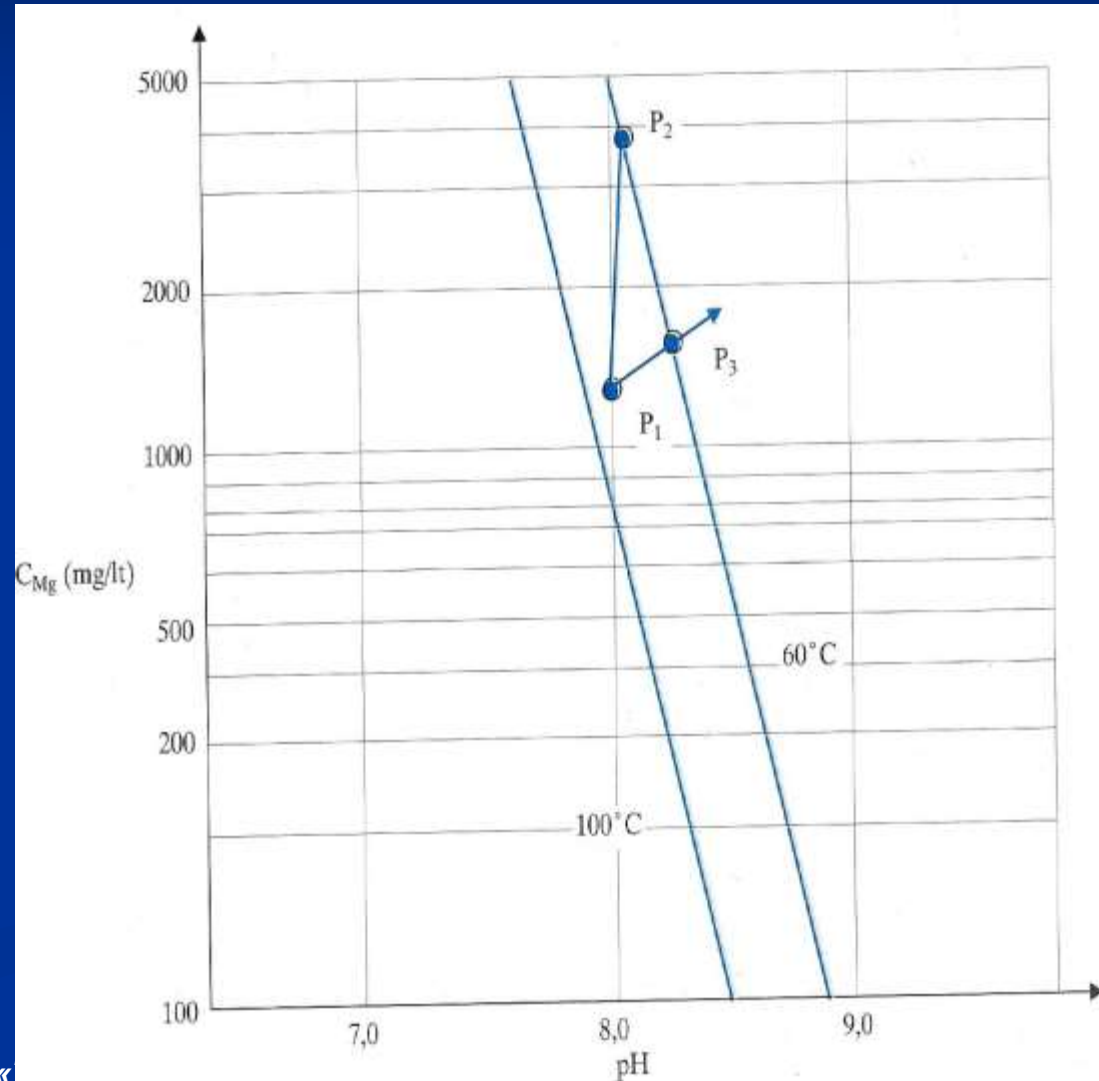
- Η συγκέντρωση υδροξυλίων εξαρτάται από τη θερμοκρασία και αυξάνεται με αυτήν. Δηλ. το διάλυμα μπορεί να γίνει υπέρκορο αυξανόμενης της θερμοκρασίας.
- Στο σχήμα δίνονται οι καμπύλες συγκεντρώσεων κορεσμού των ιόντων μαγνησίου ως προς το pH για διαφορετικές θερμοκρασίες.
- Οι ευθείες ορίζουν περιοχές. Αριστερά των ευθειών δεν υπάρχει πιθανότητα επικαθίσεων δεξιά των γραμμών το διάλυμα είναι υπέρκορο και μπορούν να σχηματίζονται επικαθίσεις.





4.3.2 Υδροξείδιο του Μαγνησίου ($Mg(OH)_2$) (3)

- Το σημείο P1 αντιστοιχεί σε ακόρεστο διάλυμα για θερμοκρασία 60°C.
- Το P1 αντιστοιχεί σε υπέρκορο διάλυμα αν η θερμοκρασία αυξηθεί σε 100°C.
- Αυτό μπορεί να συμβεί είτε με μεταβολή της συγκέντρωσης είτε με μεταβολή του pH με μετάβαση δηλ. στα σημεία P2, P3.
- Αθροιστικά το $CaCO_3$ και το $Mg(OH)_2$ αποτελούν τις αλκαλικές επικαθίσεις αλάτων ή αλκαλικό λεβιτόλιθο γιατί επηρεάζονται από το υψηλό pH, που έχουν δηλ. τα αλκαλικά διαλύματα.

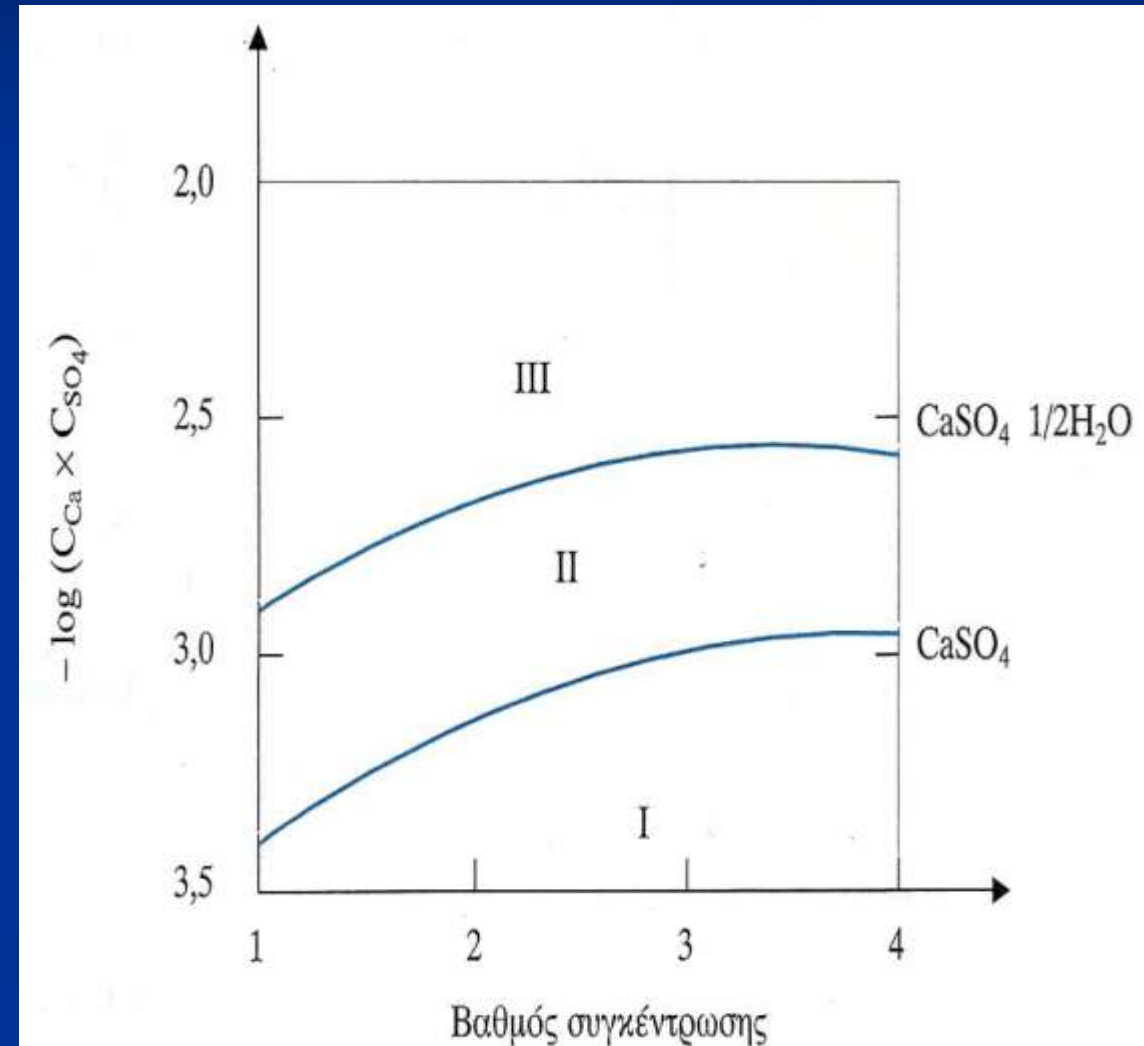




4.3.3 Θειικό Ασβέστιο CaSO_4

(1)

- Η διαλυτότητα του CaSO_4 καθορίζεται από το γινόμενο των συγκεντρώσεων των ιόντων Ca^+ και των SO_4^- .
- Καθώς το καθαρό νερό απομακρύνεται με τη διεργασία της αφαλάτωσης οι συγκεντρώσεις των παραπάνω ιόντων αυξάνονται και όταν το γινόμενό τους ξεπεράσει το γινόμενο διαλυτότητας, το διάλυμα γίνεται υπέρκορο και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα σχηματισμού αποθέσεων.
- Χρησιμοποιείται ο λογάριθμος του γινομένου των συγκεντρώσεων.

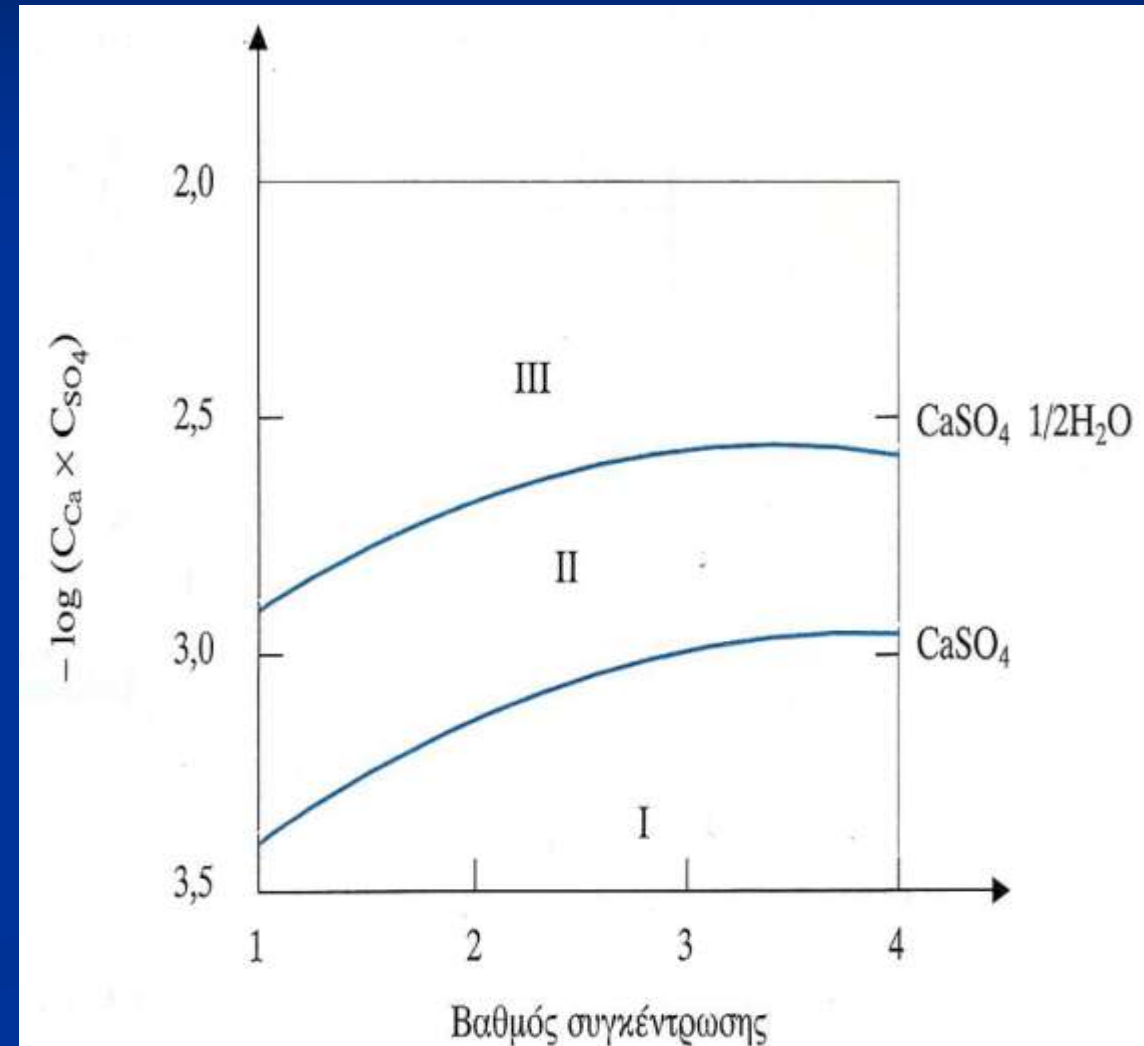




4.3.3 Θειικό Ασβέστιο CaSO_4

(2)

- Ο βαθμός συγκέντρωσης είναι 2 όταν από το σύνηθες θαλασσινό νερό έχει αφαιρεθεί τόσο καθαρό νερό ώστε ο όγκος του να γίνει ο μισός και συνεπώς να διπλασιασθεί η συγκέντρωση των προς διάλυση αλάτων.
- Το CaSO_4 μπορεί να κρυσταλλωθεί στην απλή μορφή του ή στην ένυδρη μορφή του (διάγραμμα).
- Διακρίνονται 3 περιοχές στο διάγραμμα:

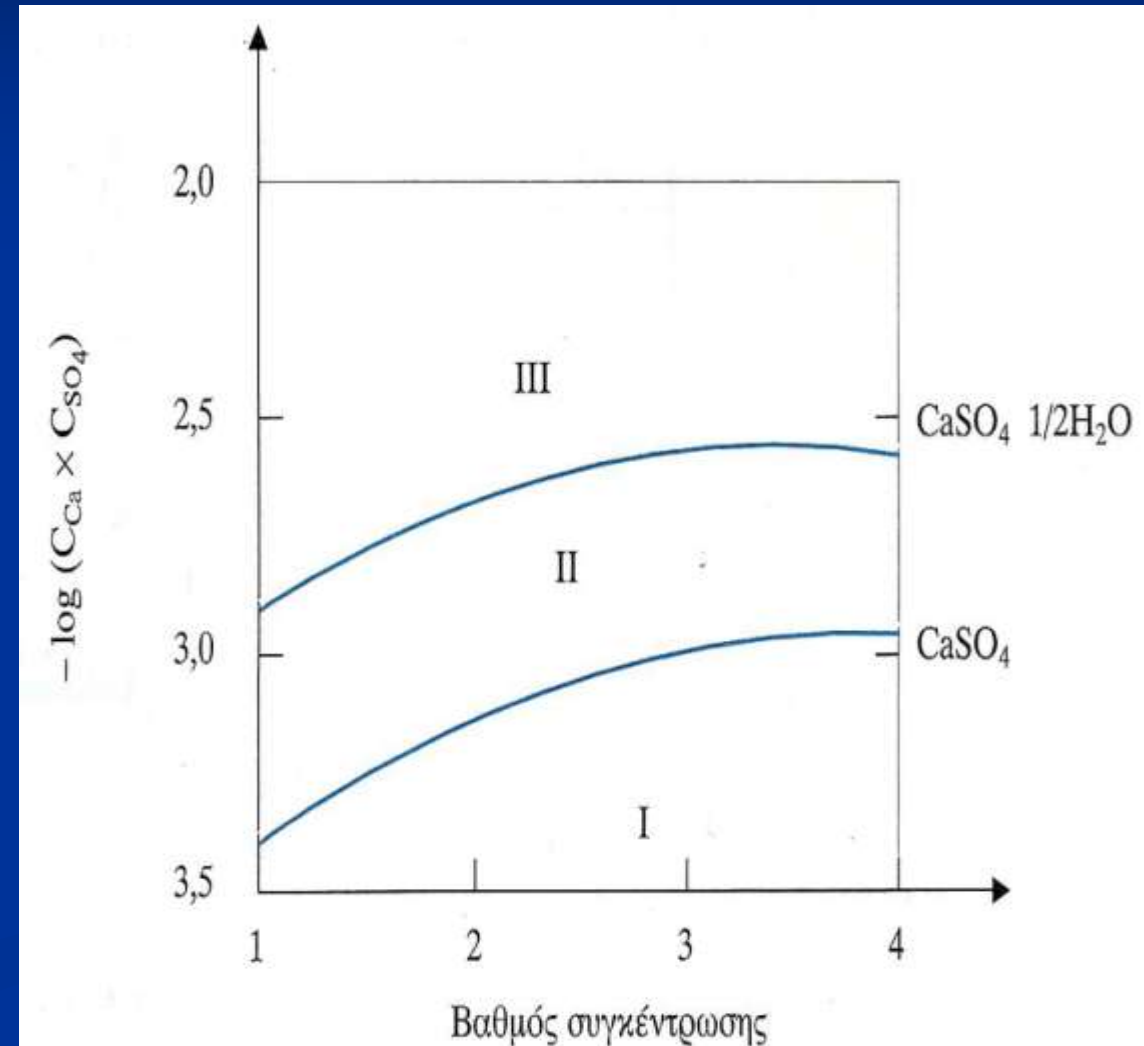




4.3.3 Θειικό Ασβέστιο CaSO_4

(3)

- **Περιοχή I** το θαλασσινό διάλυμα είναι ακόρεστο οπότε δεν υπάρχει πιθανότητα σχηματισμού επικαθίσεων CaSO_4 .
- **Περιοχή II** το διάλυμα είναι υπέρκορο. Το υπέρκορο διάλυμα μπορεί να παραμείνει ως έχει χωρίς το σχηματισμό επικαθίσεων CaSO_4 για πολλές ώρες.
- **Περιοχή III** υπάρχει σχηματισμός επικαθίσεων με την ένυδρη μορφή να καταβυθίζεται πιο γρήγορα.

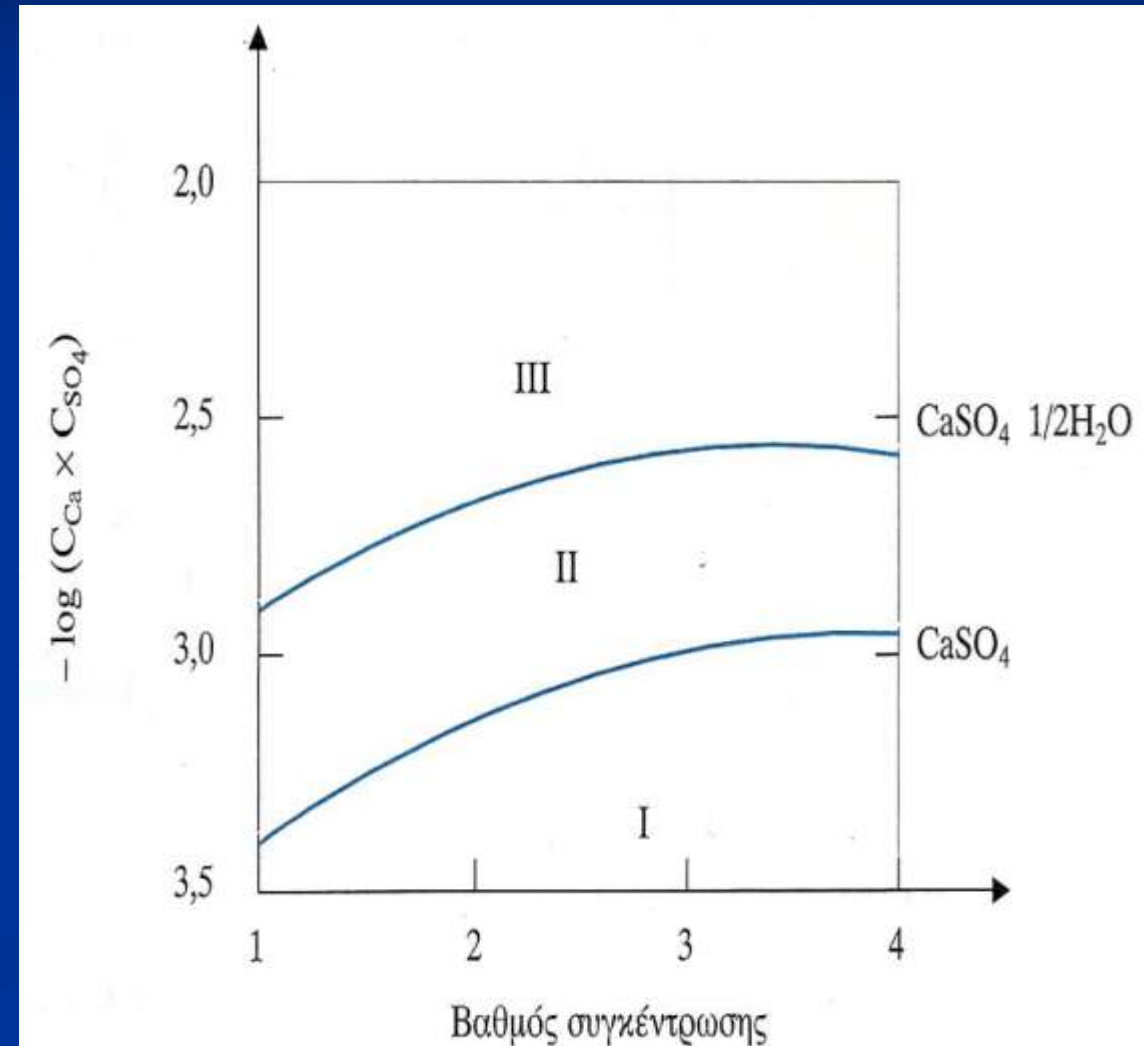




4.3.3 Θειικό Ασβέστιο CaSO_4

(4)

- Για την αποφυγή επικαθίσεων θα πρέπει να απορριφθεί η άλμη πριν το διάλυμα τροφοδοσίας φθάσει στην περιοχή III.
- Η διαλυτότητα του CaSO_4 δεν επηρεάζεται από το pH του θαλασσινού νερού οπότε το CaSO_4 δεν μπορεί να διαλυθεί σε μια αντίδραση εξουδετέρωσης με τη χρήση κάποιου οξέος.





4.3.4 Διοξείδιο του Πυριτίου (SiO_2).

- Το SiO_2 υπάρχει ως φυσικό συστατικό στα περισσότερα διαλύματα νερού τροφοδοσίας εγκαταστάσεων κατεργασίας νερού.
- Η συγκέντρωσή του κυμαίνεται (1-100)mg/l.
- Πρόβλημα παρουσιάζεται στην κατεργασία νερού με μεμβράνες όπου λόγω της υψηλής συγέντρωσης της άλμης μπορεί να σχηματισθεί υπέρκορο διάλυμα οπότε και καταβυθίζεται.



4.4 Επίστρωμα μόλυνσης και λάσπης.

(1)

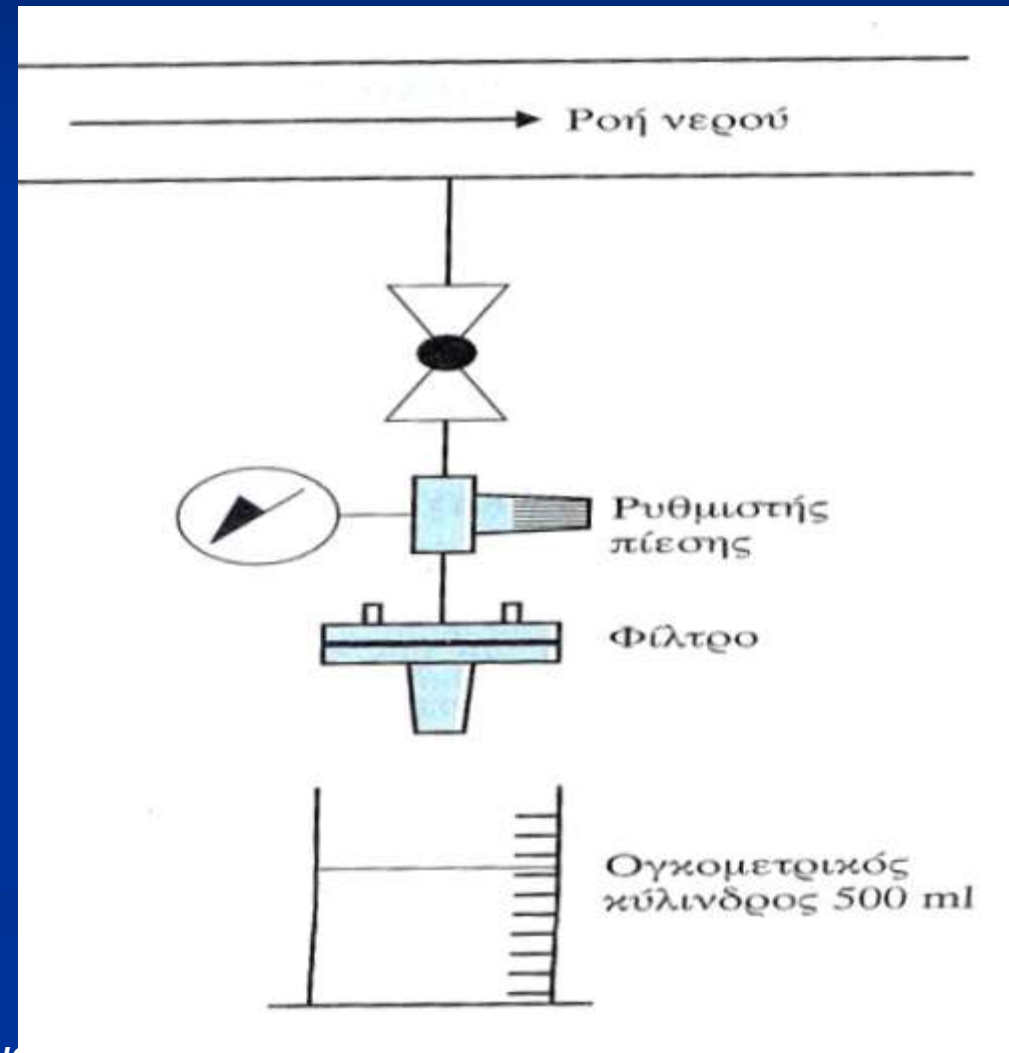
- Η πιθανότητα σχηματισμού επιστρώματος μόλυνσης ή επιστρώματος λάσπης μπορεί να προβλεφθεί από τη σύσταση του προς επεξεργασία νερού.
- Με ποιον τρόπο
- Με χημικές αναλύσεις
- Με τη μέτρηση της παραμέτρου του δείκτη πυκνότητας λάσπης (slit density index SDI).
- Πως μετράται ο SDI
- Ο δείκτης υπολογίζεται από τη μείωση της παροχής που συμβαίνει μέσα από ένα φίλτρο 0,45μm, όταν το προς εξέταση νερό παροχετεύεται υπό πίεση 2,1 bar.
- Μετράται ο χρόνος διόδου από το καθαρό φίλτρο ποσότητας 500ml ανεπεξεργαστου νερού (t_i) και μετά από 15min επαναλαμβάνεται η μέτρηση (t_f).
- Το φίλτρο συνδέεται στην εγκατάσταση παράπλευρα.



4.4 Επίστρωμα μόλυνσης και λάσπης. (2)

- Πως μετράται ο SDI
- Ο δείκτης υπολογίζεται από τη μείωση της παροχής που συμβαίνει μέσα από ένα φίλτρο 0,45μm, όταν το προς εξέταση νερό παροχετεύεται υπό πίεση 2,1 bar.
- Μετράται ο χρόνος διόδου από το καθαρό φίλτρο ποσότητας 500ml ανεπεξέργαστο νερό (t_i) και μετά από 15min επαναλαμβάνεται η μέτρηση (t_f).

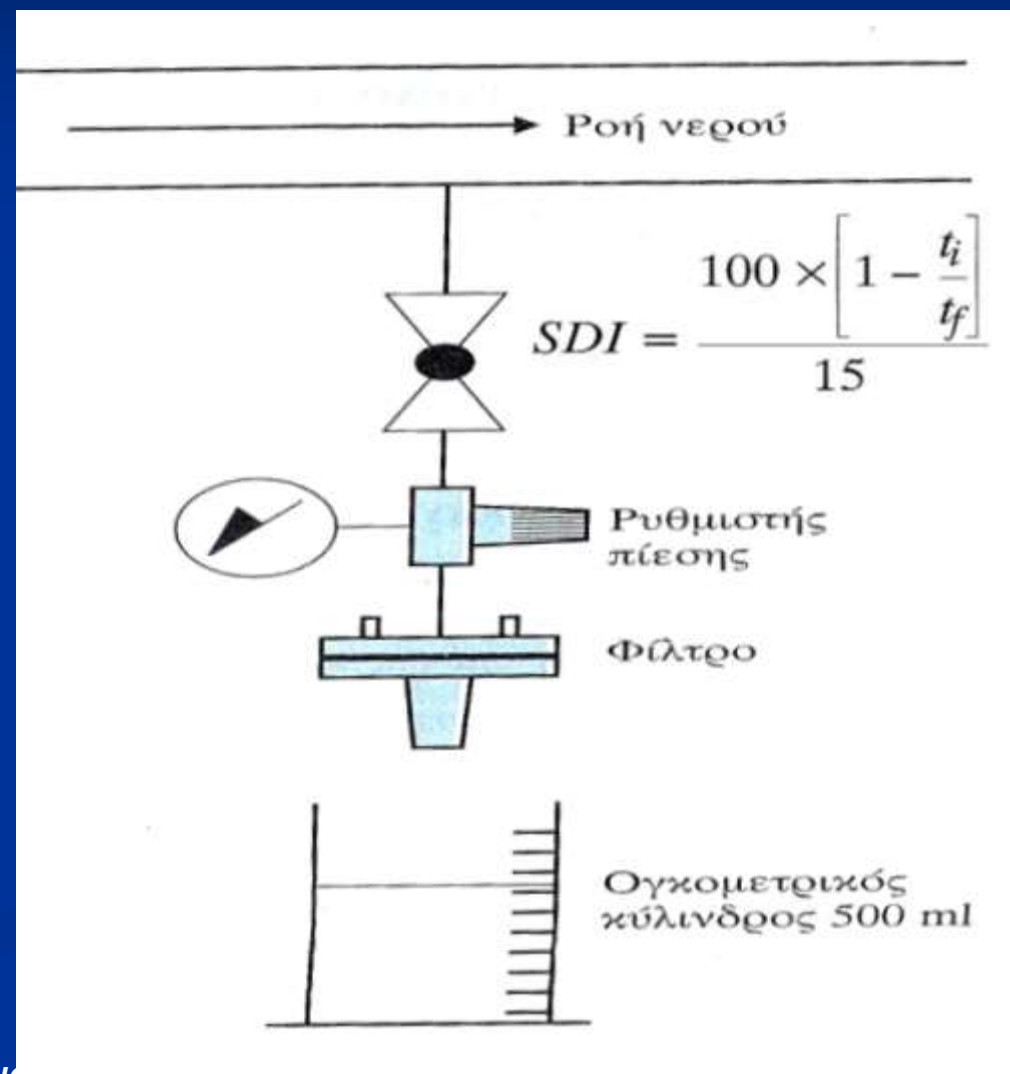
$$SDI = \frac{100 \times \left[1 - \frac{t_i}{t_f} \right]}{15}$$





4.4 Επίστρωση μόλυνσης και λάσπης. (3)

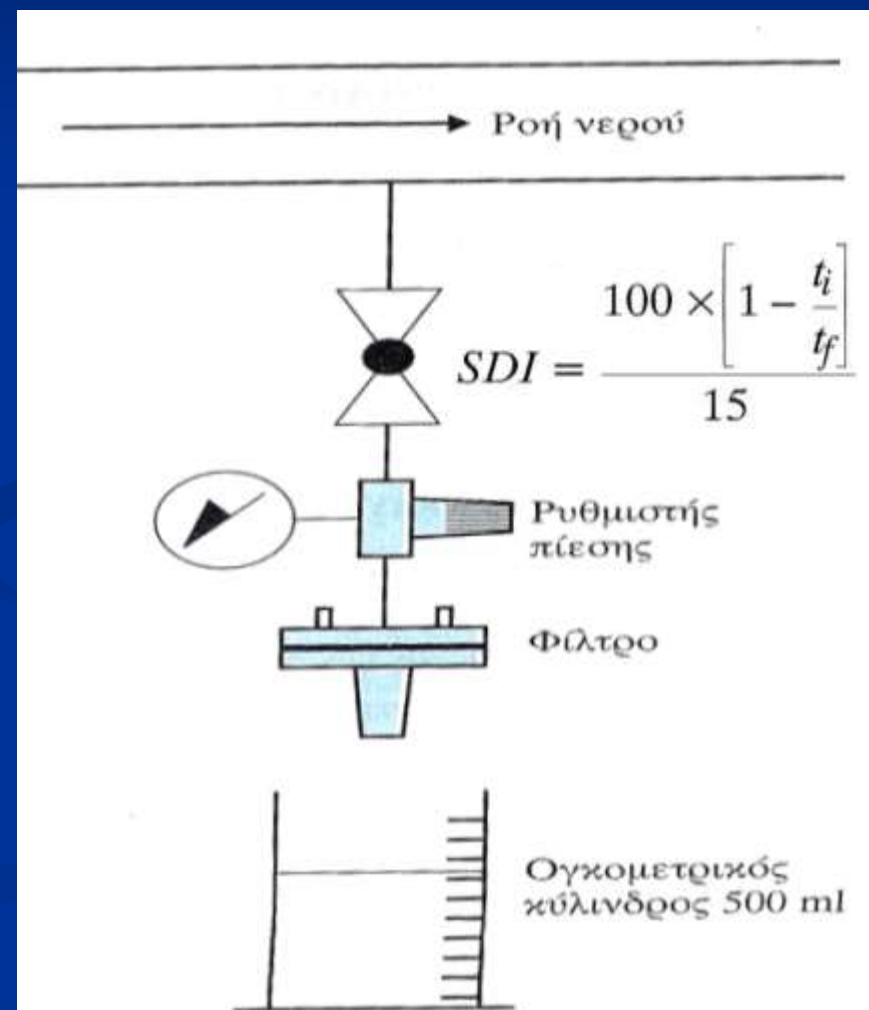
- Αποδεκτές τιμές του παράγοντα SDI είναι 1-5 για τις οποίες δεν παρουσιάζεται πρόβλημα δημιουργίας επιστρώματος στις στερεές επιφάνειες.
- Αν προκύψει τιμή μεγαλύτερη του 5 τότε το προς αφαλάτωση νερό θα πρέπει να υποστεί επεξεργασία.
- Μια άλλη παράμετρος για τη μέτρηση επιστρώματος λάσπης είναι η θολότητα (turbidity), δηλ. η μείωση της καθαρότητας του νερού, που γίνεται με οπτικές μεθόδους.





4.4 Επίστρωμα μόλυνσης και λάσπης. (4)

- Συνήθεις μέθοδοι επεξεργασίας για την αποφυγή επιστρώματος μόλυνσης και λάσπης είναι:
- Η προσθήκη χλωρίου ώστε να εξουδετερωθούν όλοι οι μικροοργανισμοί.
- Προσθήκη ουσιών που προκαλούν συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών και κολλοειδών όπως τριχλωριούχος σίδηρος (FeCl_3).
- Χρήση φίλτρων που θα συγκρατούν όλα τα αιωρούμενα στερεά.
- Τα παραπάνω μπορούν να γίνουν με χρήση απορρυπαντικών ουσιών.





4.5 Βιολογικό επίστρωμα μόλυνσης.

(1)

- Το βιολογικό επίστρωμα μόλυνσης δημιουργείται συνήθως κατά την κατεργασία του νερού με μεθόδους μεμβρανών.
- Έχει σημαντικές συνέπειες στην απόδοση των εγκαταστάσεων κατεργασίας του νερού με μεμβράνες και κυρίως στα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης (RO).
- Στη δημιουργία του biofouling συνεισφέρουν παράγοντες όπως:
 - Ύπαρξη μικροοργανισμών στο διάλυμα τροφοδοσίας
 - Ελεύθερες επιφάνειες μεμβρανών όπου μπορούν να αναπτύσσονται μικροοργανισμοί
 - Μη επαρκής προκατεργασία του διαλύματος - νερού τροφοδοσίας
 - Ελεύθερες επιφάνειες στο σύστημα προκατεργασίας.



4.5 Βιολογικό επίστρωμα μόλυνσης.

(2)

- Ποια τα άμεσα αποτελέσματα του biofouling.
- Μείωση της απόδοσης παραγόμενου νερού.
- Αύξηση της πτώσης πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών.
- Χαμηλότερη ποιότητα του παραγόμενου νερού λόγω αύξησης της συγκέντρωσης των αλάτων σε αυτό.

- Ποια τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα του biofouling
- Αύξηση του κόστους καθαρισμού των μεμβρανών αλλά και του κόστους του παραγόμενου νερού, λόγω μειωμένης απόδοσης.
- Μείωση της διάρκειας ζωής των μεμβρανών.
- Αυξημένη πιθανότητα καταστροφής των μεμβρανών λόγω τοπικής αύξησης της ασκούμενης πίεσης.



4.5 Βιολογικό επίστρωμα μόλυνσης.

(3)

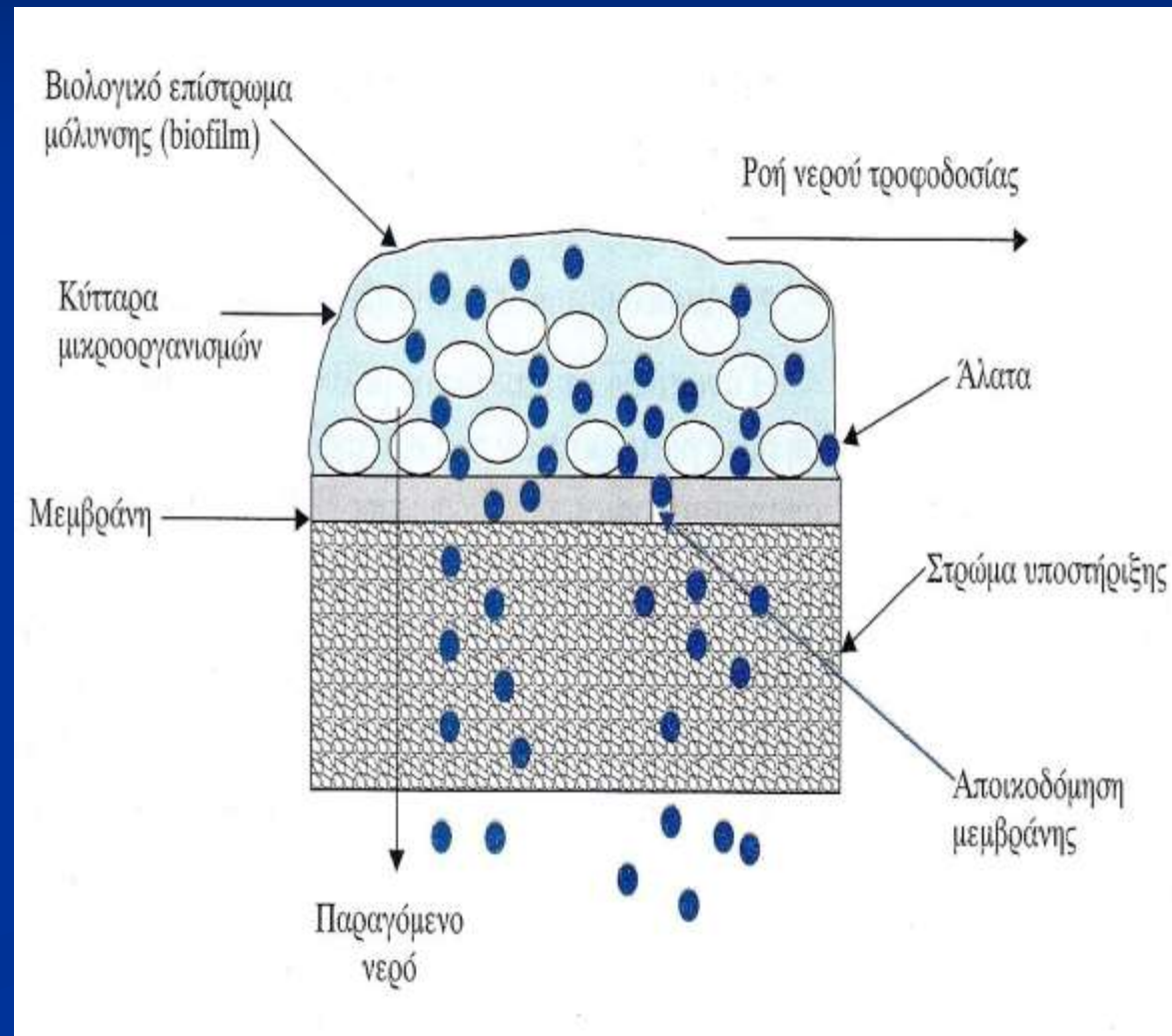
- Η ανάπτυξη μικροοργανισμών υποβοηθάται από αυξημένες θερμοκρασίες (περιοχή Κόλπου) παράλληλα με την ύπαρξη τροφής για τους μικροοργανισμούς.
- Οι διαλυμένες ουσίες αλλά και οι μικροοργανισμοί απορρίπτονται από τις μεμβράνες και συγκεντρώνονται στην επιφάνειά τους.
- Επομένως η επιφάνεια των μεμβρανών αποτελούν ιδανική περιοχή για την ανάπτυξη μικροοργανισμών.
- Συνέπεια είναι η μειωμένη απόδοση λόγω της βαθμιαίας αποικοδόμησης της μεμβράνης παράλληλα με το σχηματισμό επιστρώματος μόλυνσης λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης των αλάτων στην επιφάνεια των μεμβρανών.
- Συνολικότερο αποτέλεσμα είναι η αύξηση της διόδου των αλάτων από τη μεμβράνη (concentration polarization effect).



4.5 Βιολογικό επίστρωμα μόλυνσης.

(4)

- Η διαδικασία του biofouling μπορεί να διαγνωστεί έμμεσα από τα αποτελέσματα στο παραγόμενο νερό.
- Χρησιμοποιούνται επίσης τεχνικές οπτικού ελέγχου με μικροσκόπιο.
- Οι οπτικές τεχνικές προϋποθέτουν δείγμα μεμβράνης δηλ. καταστροφή στοιχείων της μεμβράνης.

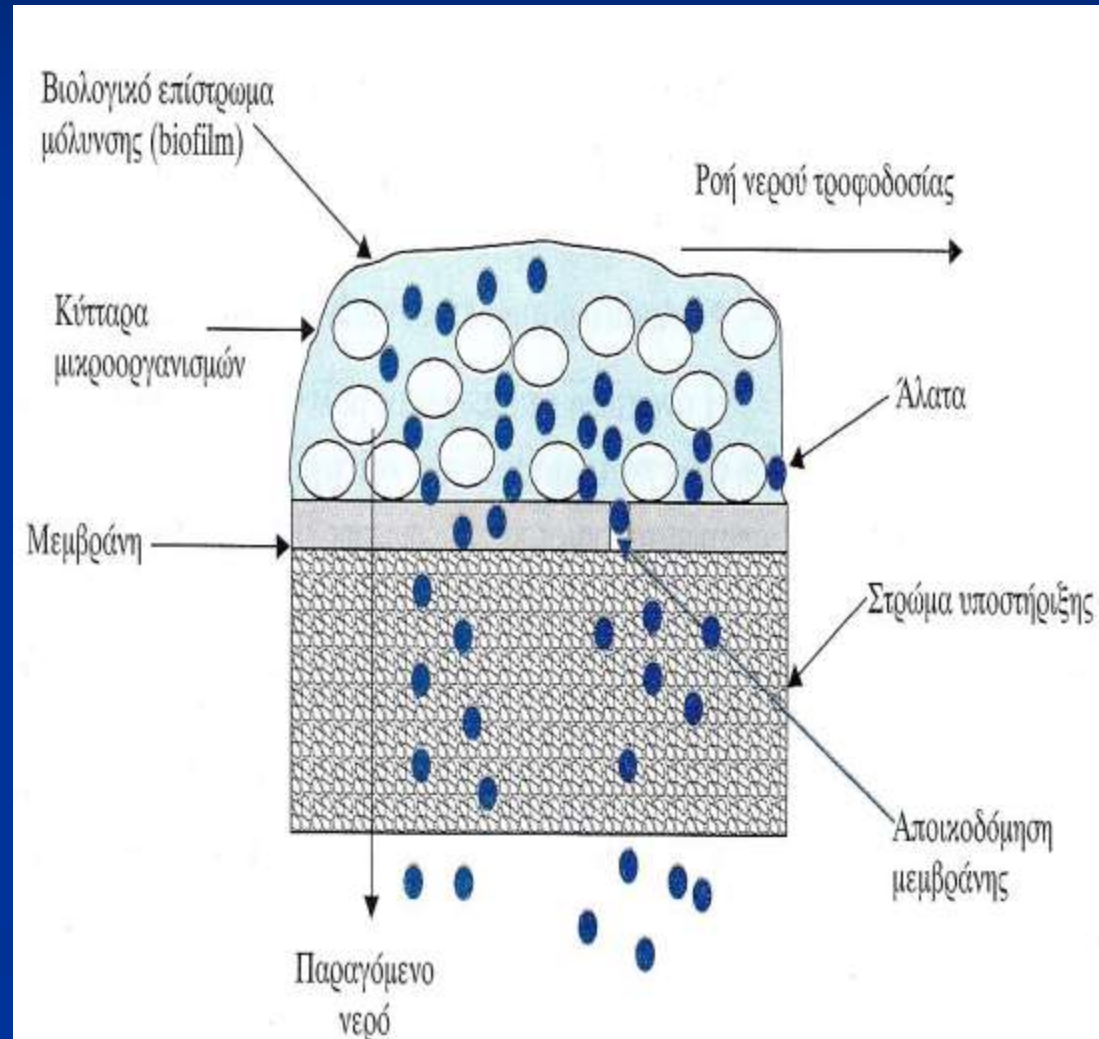




(1)

4.5.1 Μέτρα Πρόληψης σχηματισμού και καθαρισμός biofouling.

- Όλα τα υδατικά διαλύματα περιέχουν μικροοργανισμούς βακτήρια άλγη ιούς σε κάποιο βαθμό.
- Το μέγεθος αυτών ποικίλει ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν.
- Μπορούν να θεωρηθούν ως μια κολλοειδή ύλη που θα πρέπει να απομακρυνθεί πριν φτάσει στις μεμβράνες ή άλλες επιφάνειες.
- Πρώτη μέριμνα που πρέπει να ληφθεί είναι ο καθορισμός – εκτίμηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών.

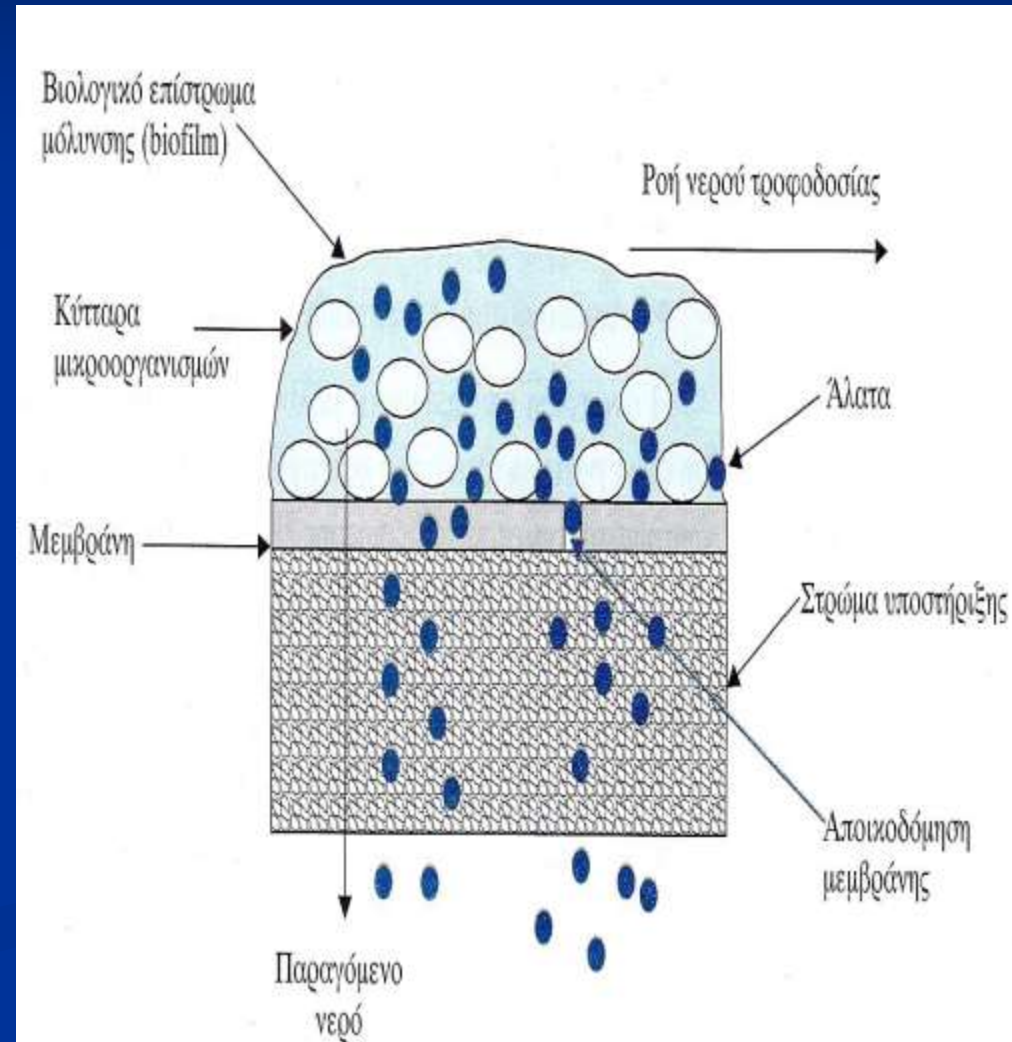




(2)

4.5.1 Μέτρα Πρόληψης σχηματισμού και καθαρισμός biofouling.

- Η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την πρόληψη σχηματισμού biofouling είναι η χρήση χημικών που εκμηδενίζουν τους μικροοργανισμούς.
- Η χρήση των χημικών δεν επιτρέπει την ανάπτυξη αποικιών στην επιφάνεια των μεμβρανών.
- Συνηθέστερο χημικό είναι το χλώριο.
- Η δράση του εξαρτάται από τη συγκέντρωσή του και το χρόνο δράσης του.
- Η χρήση του χλωρίου γίνεται στο στάδιο της προκατεργασίας του νερού.

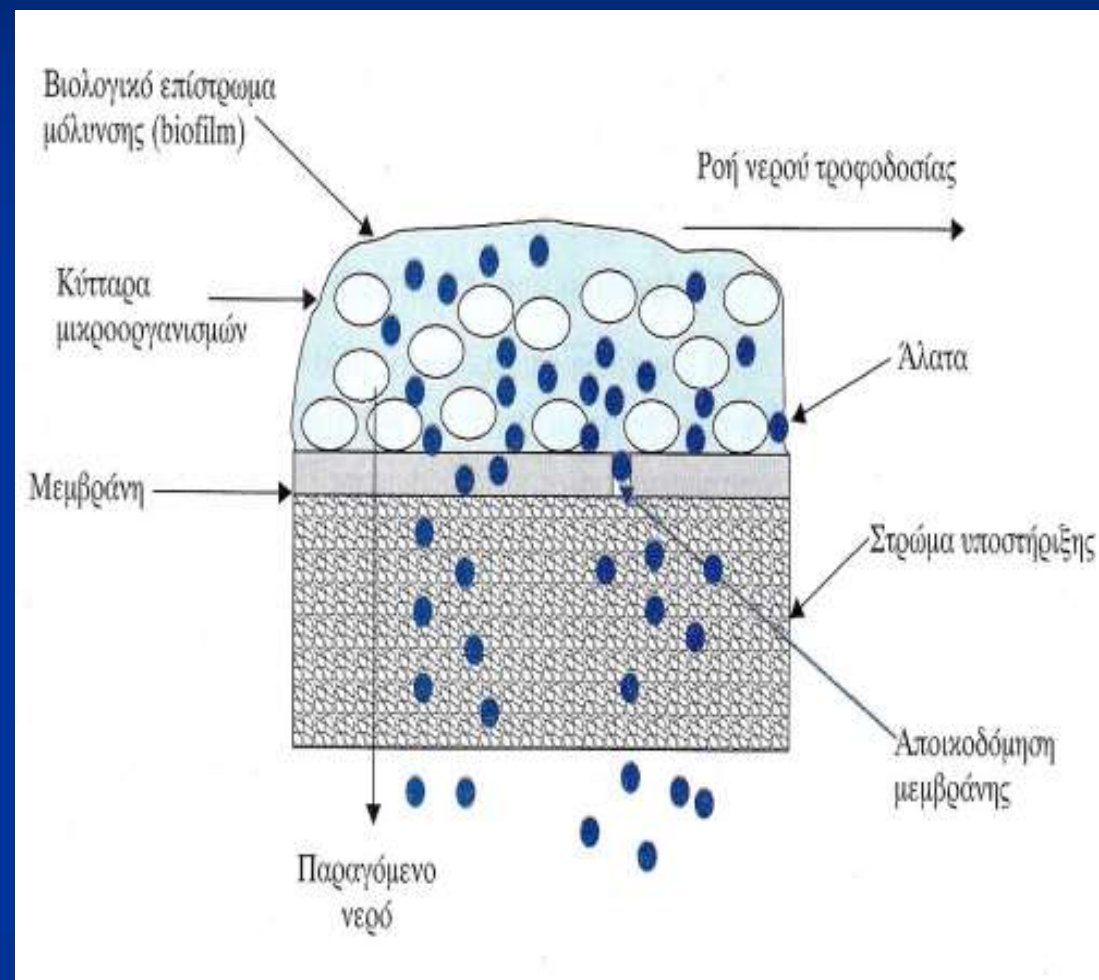




4.5.1 Μέτρα Πρόληψης σχηματισμού και καθαρισμός biofouling.

(3)

- Η χλωρίωση θα πρέπει να ακολουθείται και από διαδικασία αποχλωρίωσης αφού και οι ίδιες οι μεμβράνες καταστρέφονται από το χλώριο ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις.
- Μέσο αποχλωρίωσης συνήθως είναι το όξινο θειώδες νάτριο (NaHSO_3) ή το μετά θειώδες νάτριο (NaS_2O_5) σύμφωνα με την αντίδραση





4.5.1 Μέτρα Πρόληψης σχηματισμού και καθαρισμός biofouling.

(3)

➤ Παράδειγμα 4.3

- Για την καταστροφή μικροοργανισμών στο διάλυμα τροφοδοσίας μονάδας αφαλάτωσης νερού χρησιμοποιείται χλωρίωση που αφήνει υπολειπόμενο χλώριο συγκέντρωσης 2ppm.
- Αν η παροχή του θαλασσινού νερού είναι $30\text{m}^3/\text{h}$ να υπολογισθεί η απαιτούμενη ποσότητα $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (μεταθειώδες νάτριο) ημερησίως.

- Σε μια μέρα ο όγκος του νερού προς αφαλάτωση θα είναι

$$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 720 \text{ m}^3.$$

- Η περιεχόμενη ποσότητα χλωρίου ημερησίως θα είναι

- $m = c \times V = 2\text{ppm} \times 720\text{m}^3 = 2 \text{ g}/\text{m}^3 \times 720\text{m}^3 = 1440\text{g} = 1,44 \text{ kg}.$



4.6 Πρόληψη σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων.

(1)

- Για τον προσδιορισμό της πιθανότητας αλλά και πρόληψης του σχηματισμού επικαθίσεων πρέπει να είναι γνωστά:
 - 1. Η σύσταση του νερού προς επεξεργασία (θαλασσινού ή υφάλμυρου)
 - 2. Οι συνθήκες λειτουργίας της διεργασίας αφαλάτωσης.
- **Ποιες οι μέθοδοι πρόληψης.**
- Α. Σχεδιασμός της διεργασίας / συνθηκών λειτουργίας ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα σχηματισμού υπέρκορου διαλύματος του νερού.
- Β. Αφαίρεση όλων των ιόντων που προκαλούν σχηματισμό επικαθίσεων πριν τη διεργασία της αφαλάτωσης , αποσκλήρυνσης.
- Γ. Προσθήκη χημικών που εμποδίζουν το σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων είτε με διόρθωση του pH όπως οξέα είτε με παρεμπόδιση της καταβύθισης των ιόντων.



4.6 Πρόληψη σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων. (2)

- **A. Σχεδιασμός της διεργασίας / συνθηκών λειτουργίας** ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα σχηματισμού υπέρκορου διαλύματος του νερού.
 - Κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να υπολογισθούν οι συγκεντρώσεις των αλάτων στην άλμη και να προσδιορισθεί ο δείκτης LSI ώστε να καθορισθεί και το ποσοστό ανάκτησης.
-
- **B. Αφαίρεση όλων των ιόντων** που προκαλούν σχηματισμό επικαθίσεων πριν τη διεργασία της αφαλάτωσης, αποσκλήρυνσης.
 - Η αφαίρεση των ιόντων γίνεται με την αποσκλήρυνση (softening) του νερού. Ο σκοπός της αποσκλήρυνσης είναι η αντικατάσταση των ιόντων Ca^{++} , Ba^{++} , Sr^{++} με ιόντα Na^{+} .
 - Η διαδικασία μπορεί να γίνει με τη χρήση ρητινών (πολυμερικά υλικά) που φέρουν ιόντα Na και καθώς το διάλυμα περνά μέσα από αυτές γίνεται η αντικατάσταση των ιόντων.
 - Η μέθοδος συνίσταται σε περιπτώσεις μικρών ποσοτήτων νερού (βραστήρες ατμολεβήτων). Όταν οι ρητίνες εξαντλούνται απαιτείται η διαδικασία της αναγέννησης με προσθήκη πυκνού διαλύματος NaCl σε αυτές.



4.6 Πρόληψη σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων. (3)

- Γ. Προσθήκη χημικών που εμποδίζουν το σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων είτε με διόρθωση του pH όπως οξέα είτε με παρεμπόδιση της καταβύθισης των ιόντων.
- Η προσθήκη χημικών αναφέρεται στην προσθήκη οξέων για τη μείωση του pH σε σημείο που να μην καταβυθίζονται τα άλατα που θα προκαλέσουν και τις επικαθίσεις.
- Ποιο οξύ χρησιμοποιείται συνήθως ως πιο οικονομική λύση.
- Το H_2SO_4 είναι επικίνδυνο στη χρήση απαιτεί μέτρα προστασίας κατά τη μεταφορά και προσθήκη στο διάλυμα τροφοδοσίας.
- Το H_2SO_4 είναι εκρηκτικό κατά την ανάμιξή του με το νερό (ισχυρά εξώθερμη αντίδραση).
- Προσθήκη H_2SO_4 στο νερό θα πρέπει να γίνεται όταν η ποσότητα του νερού είναι πολλαπλάσια εκείνης του H_2SO_4 .
- Εναλλακτικά χρησιμοποιείται HCl ως πιο εύκολα διαχειρίσιμο από το H_2SO_4 .
- Υπερβολική χρήση οξέων μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση των επιφανειών. Η δοσολογία των οξέων καθορίζεται από την τιμή του pH του διαλύματος τροφοδοσίας.



4.6 Πρόληψη σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων. (4)

- Γ. Προσθήκη χημικών που εμποδίζουν το σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων είτε με διόρθωση του pH όπως οξέα είτε με παρεμπόδιση της καταβύθισης των ιόντων.
- Κατά τη διάρκεια του χημικού καθαρισμού θα πρέπει να μετράται συνεχώς το pH του διαλύματος ώστε να μην φτάσει σε πολύ χαμηλές τιμές και οδηγήσει σε διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών.
- Αντί οξέων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενώσεις **παρεμποδιστές επικαθίσεων αλάτων** (scale inhibitors) ή **αντικαθαλωτικές** (antiscalants).
- **Για ποιο σκοπό**
- Παρεμποδίζουν το σχηματισμό επικαθίσεων ανθρακικών αλάτων (π.χ CaCO_3) ,
- Παρεμποδίζουν την ανάπτυξη – μορφοποίηση κρυστάλλων ανθρακικών αλάτων.
- Εξαμεταφωσφορικό Νάτριο $(\text{NaPO}_3)_6$ ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος παρεμποδιστής.



4.6 Πρόληψη σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων.

(5)

- Εξαμεταφωσφορικό Νάτριο (NaPO_3)₆ ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος παρεμποδιστής.
- (SHMP – sodiumhexametaphosphate).
- Απαιτεί προσεκτική χρήση - δοσολογία λόγω του ότι πιθανά μπορεί να προκαλέσει καταβύθιση φωσφορικού ασβεστίου.
- Η δοσολογία πρέπει να είναι τέτοια στο διάλυμα τροφοδοσίας ώστε στην άλμη η συγκέντρωση να φθάνει τα 20ppm.
- Η θερμοκρασία λειτουργίας της διαδικασίας αφαλάτωσης είναι σημαντική παράμετρος για τη μείωση του σχηματισμού επικαθίσεων αλάτων. Χαμηλές θερμοκρασίες είναι επιθυμητές για την αποφυγή του φαινομένου αντίστροφης διαλυτότητας.
- Γενικά το θαλασσινό νερό περιέχει 6kg αλάτων που προκαλούν επικαθίσεις ανά m³ νερού που συνιστούν μεγάλη ποσότητα προς απόρριψη.



4.7 Καθαρισμός εγκαταστάσεων από επικαθίσεις αλάτων.

(1)

➤ Τρόποι απομάκρυνσης επικαθίσεων

➤ 1. Μηχανική απομάκρυνση

Πέρασμα του νερού από την εγκατάσταση σε μεγάλη πίεση (300bar)

➤ 2. Χημική διαλυτοποίηση.

Απότομη θέρμανση των μεταλλικών επιφανειών.

Η διαφορετική διαστολή του μετάλλου και του λεβιτόλιθου βοηθάει στο σπάσιμο του στρώματος των αλάτων και αποκόλλησή τους από την μεταλλική επιφάνεια.

Η χρήση χημικών περιλαμβάνει την κυκλοφορία διαλύματος οξέος στην εγκατάσταση που οδηγεί σε βαθμιαία διάλυση του αλκαλικού λεβητόλιθου. Κατά τη διάρκεια του χημικού καθαρισμού μετράται συνεχώς το pH του διαλύματος ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική μείωση του pH που μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ – Μ0706Ε

Αποποίηση Πνευματικών Δικαιωμάτων: Τα πνευματικά δικαιώματα του παρόντος εκπαιδευτικού υλικού δεν ανήκουν στον δημιουργό του. Η δημιουργία του πραγματοποιήθηκε αυστηρά και μόνο για εκπαιδευτικό σκοπό.