

# Διάλεξη 9

## *Τριτοβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων*



# Διεργασίες στην Τριτοβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

- Χημική Κατακρήμνιση
- Ιοντική Ανταλλαγή
- Προσρόφηση
- Διεργασίες μεμβρανών
- Ηλεκτροδιάλυση
- Απολύμανση



# Χημική Κατακρήμνιση (Chemical Precipitation)

- Χρησιμοποιείται κυρίως για την καταβύθιση διαλυτών ανοργάνων ενώσεων N, P καθώς και την απομάκρυνση μετάλλων από βιομηχανικά απόβλητα
- Η απομάκρυνση των διαλυτών ανόργανων επιτυγχάνεται με την προσθήκη κατάλληλων αντιδραστηρίων με τα οποία οι διαλυτοί ρυπαντές μετατρέπονται σε αδιάλυτες μορφές που μπορούν να συσσωματωθούν και να απομακρυνθούν με καθίζηση

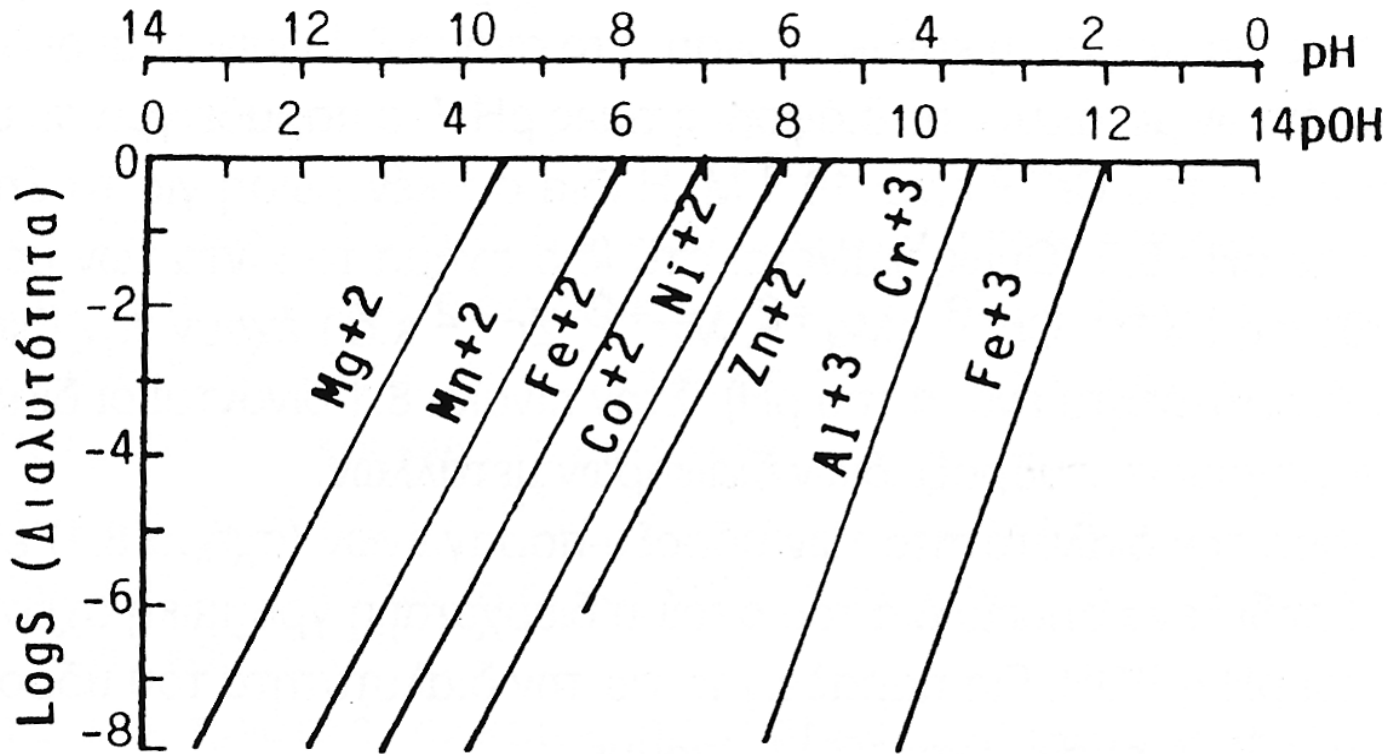


# Χημική Κατακρήμνιση

- Η ένταση της απομάκρυνσης των ρυπαντών εξαρτάται από την διαλυτότητα των προϊόντων η οποία καθορίζεται από παράγοντες όπως **pH** και **θερμοκρασία**
- Συνήθως τα μέταλλα με την προσθήκη κατάλληλων ουσιών κατακρημνίζονται ως αδιάλυτα υδροξείδια μετάλλων με το pH του μέσου να αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα
- Η διαλυτότητα των υδροξειδίων που σχηματίζονται καθορίζει και το pH του μέσου στο οποίο θα αρχίσει η κατακρήμνιση



# Χημική Κατακρήμνιση



**Διαλυτότητες των μεταλλικών ιόντων σε διάφορα pH**



# Χημική Κατακρήμνιση

- Για την ικανοποιητική απόδοση της κατακρήμνισης απαιτείται η σωστή δοσολογία αντιδραστηρίων.
- Το  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  θεωρείται το πιο ιδανικό αντιδραστήριο για τον σχηματισμό υδροξειδίων των μετάλλων και είναι το πιο φθηνό



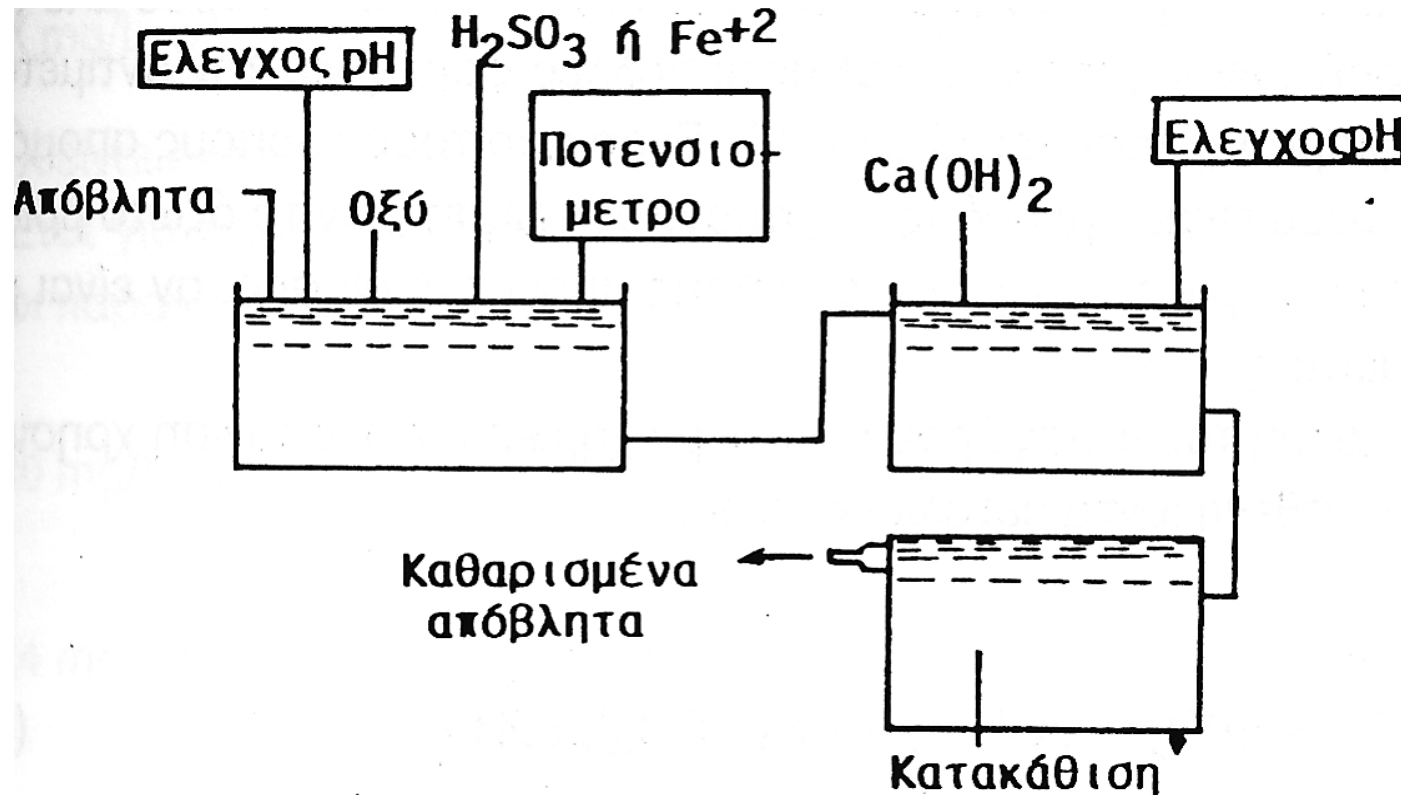
# Στάδια Χημικής Κατακρήμνισης

Τα βασικά στάδια της χημικής κατακρήμνισης στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων είναι:

- Προσδιορίζεται η συγκέντρωση των μετάλλων
- Προσδιορίζεται η ποσότητα του οξέος που πρέπει να προστεθεί για να προσαρμοστεί το pH σε όξινες τιμές
- Ανάδευση του συστήματος για 30 min
- Υπολογίζεται η δοσολογία που απαιτείται για κατακρήμνιση των μεταλλικών ιόντων
- Συσσωμάτωση για 10-30 min
- Κατακάθιση για 3-8 ώρες
- Διαχωρισμός των καθαρών λυμάτων και της παραχθείσας λάσπης



# Χημική Κατακρήμνιση



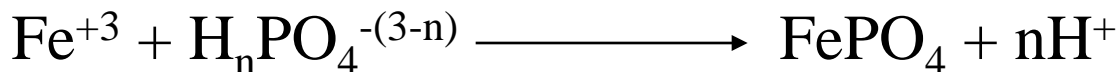
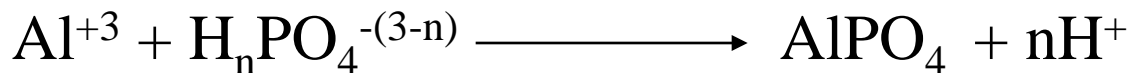
Σύστημα τριών δεξαμενών, ανάμιξης, συσσωμάτωσης, κατακρήμνισης





# Χημική Κατακρήμνιση – N και P

- Σε περίπτωση που οι συγκεντρώσεις των N και P στα υγρά απόβλητα είναι υψηλές και μετά την δευτεροβάθμια επεξεργασία εφαρμόζεται και χημική κατακρήμνιση
- Οι **αζωτούχες ενώσεις** απομακρύνονται με διαφορετικές διεργασίες ανάλογα με την μορφή τους, δηλαδή  $\text{NH}_4$  μετατρέπονται με νιτροποίηση σε  $\text{NO}_3$  ενώ τα  $\text{NO}_3$  με απονιτροποίηση σε  $\text{N}_2$  κυρίως όμως με βιολογικές διεργασίες
- Οι **φωσφορικές ενώσεις** απομακρύνονται με χημική κατακρήμνιση με προσθήκη πολυσθενών μεταλλικών ιόντων



# Χημική Κατακρήμνιση στην Αποσκλήρυνση νερού

- Η αποσκλήρυνση νερού αποτελεί μια από τις βασικές εφαρμογές της χημικής κατακρήμνισης. Τα σκληρά νερά περιέχουν σημαντικές ποσότητες ασβεστίου και μαγνησίου που πρέπει να απομακρυνθούν ώστε το νερό να αποσκληρυνθεί
- Τα πόσιμα νερά έχουν σκληρότητα 75 mg/L (μονάδα  $\text{CaCO}_3$ ) και θεωρούνται μαλακά ενώ ορισμένα υπόγεια νερά έχουν υψηλή σκληρότητα (μερικές εκατοντάδες mg/L  $\text{CaCO}_3$ ).

# Διεργασίες στην Τριτοβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

- Χημική Κατακρήμνιση
- **Ιοντική Ανταλλαγή**
- Προσρόφηση
- Διεργασίες μεμβρανών
- Ηλεκτροδιάλυση
- Απολύμανση



# Ιοντική Ανταλλαγή (ion exchange)

- Ανεπιθύμητα ιόντα αντικαθίστανται από ιόντα αδιάλυτου υλικού ανταλλαγής (πχ ρητίνη).
- Φυσικά υλικά όπως φυσικοί ζεόλιθοι και συνθετικά χημικά όπως συνθετικές ρητίνες χρησιμοποιούνται στην ιοντική ανταλλαγή
- Ανάλογα με το είδος του ιόντος που προσφέρεται προς ανταλλαγή από τα υλικά τα διαχωρίζουμε σε ανιοανταλλακτικά ή κατιονανταλλακτικά
- Τα κατιόντα που προσφέρονται προς εναλλαγή από τα υλικά είναι  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  ενώ τα ανιόντα είναι  $\text{OH}^-$  και  $\text{Cl}^-$



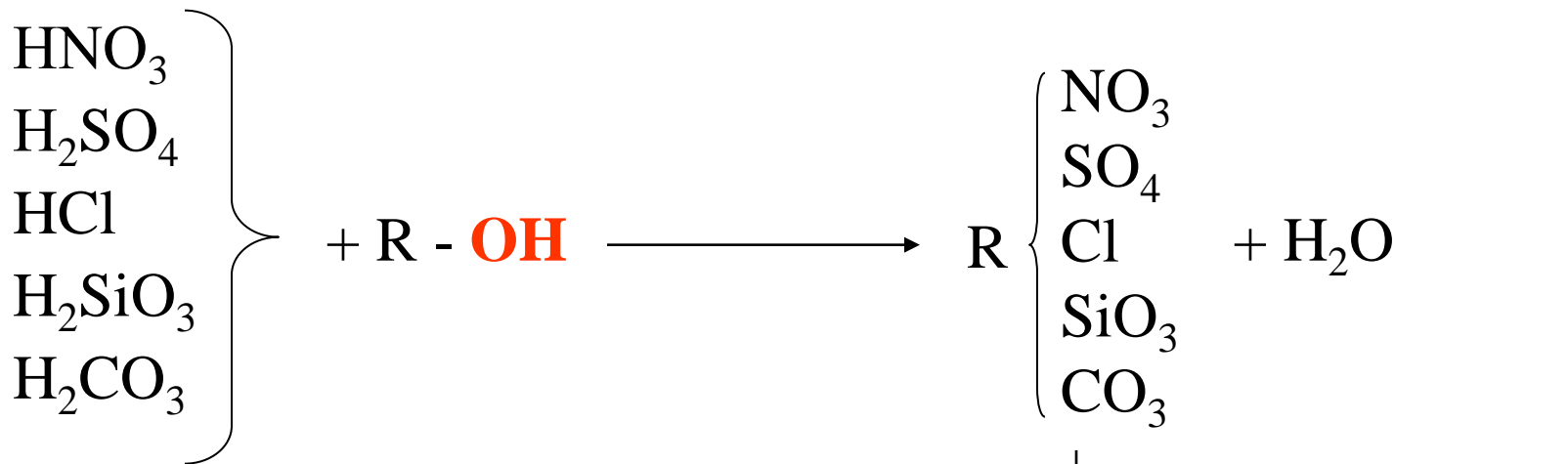
# Ιοντική Ανταλλαγή (ion exchange)

- Οι φυσικοί ζεόλιθοι που χρησιμοποιούνται για την αποσκλήρυνση νερού από ιόντα Cu, Mg έχουν ως ιόν για ανταλλαγή το  $\text{Na}^+$ . Το νερό που προκύπτει χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$ . Όταν όλα τα ιόντα Na ανταλλαχθούν τότε οι ζεόλιθοι χρειάζονται αναγέννηση που γίνεται με αντίστροφη πλήυση με διάλυμα NaCl
- Οι φυσικοί ζεόλιθοι με ιόν ανταλλαγής  $\text{Na}^+$  έχουν περίπου την μισή ικανότητα ιοντικής ανταλλαγής από τις συνθετικές ρητίνες με ιόν ανταλλαγής  $\text{Na}^+$



# Ιοντική Ανταλλαγή (ion exchange)

**Ανιοντικές ρητίνες:** συνήθως παράγωγα αμμωνιακά που φέρουν υδροξυλομάδες ως ανιόντα ανταλλαγής. Αναγέννηση των ανιοντικών ρητινών πραγματοποιείται με αντίδραση με ισχυρές βάσεις

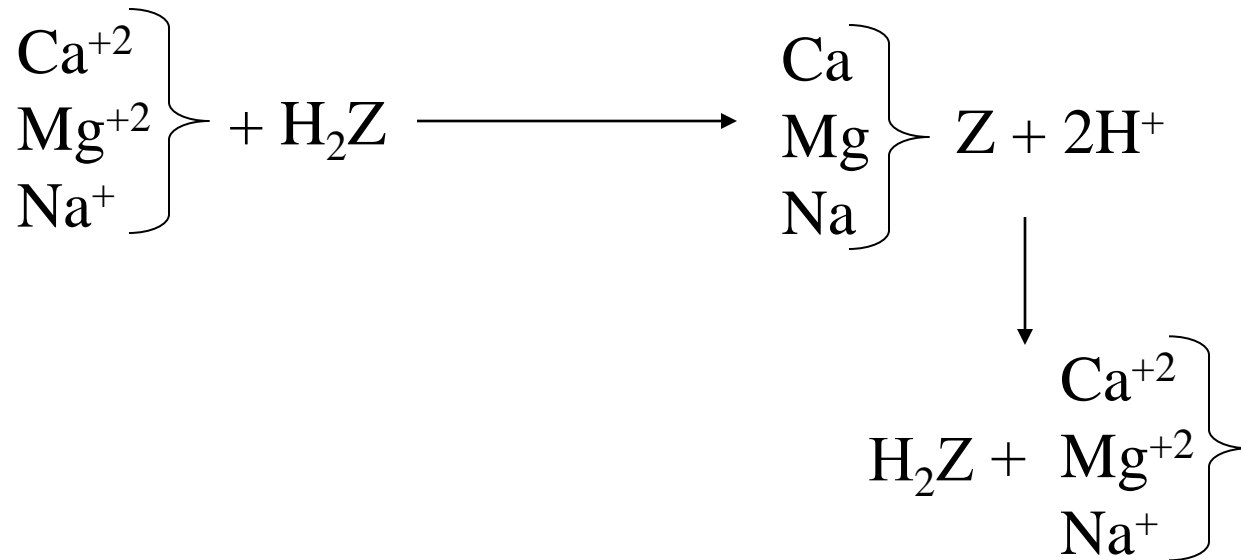


Αναγέννηση με NaOH



# Ιοντική Ανταλλαγή (ion exchange)

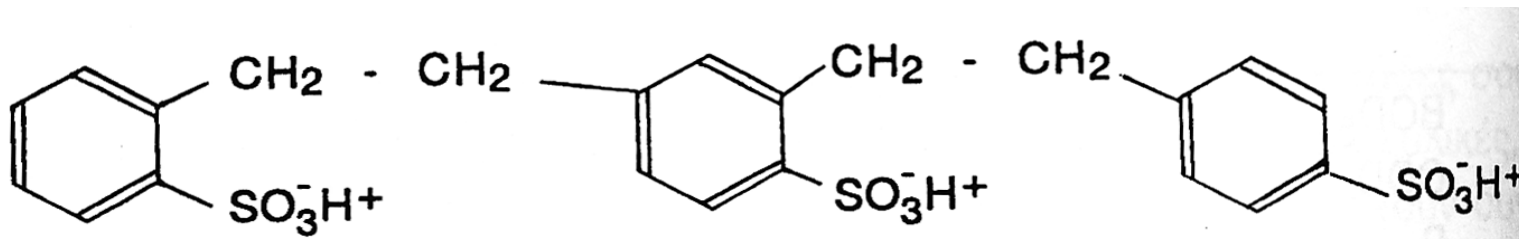
**Κατιοντικές ρητίνες:** περιέχουν σαν δραστικές ομάδες σουφλονικές (R-SO<sub>3</sub>-H) και καρβοξυλικές φαινολικές. Οι κατιοντικές ρητίνες με H<sup>+</sup> ανταλλάσσουν όλα τα ρέοντα κατιόντα με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός όξινου ρευστού



***Η αναγέννηση των ρητινών γίνεται με όξινη επεξεργασία***

# Εφαρμογές Ιοντικής Ανταλλαγής

Κατιο-ανταλλικτικές συνθετικές ρητίνες από πολυστυρένιο με δραστικές σουλφονικές ομάδες χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση μεταλλικών ιόντων όπως  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$  από υγρά απόβλητα



Άλλη κατηγορία ιοντοανταλλακτικών υλικών για την δέσμευση βαρέων μετάλλων είναι η ξανθογονική κυτταρίνη η οποία παρουσιάζει χαμηλή χωρητικότητα αλλά μεγάλη εκλεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα





# Διεργασίες στην Τριτοβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

- Χημική Κατακρήμνιση
- Ιοντική Ανταλλαγή
- **Προσρόφηση**
- Διεργασίες μεμβρανών
- Ηλεκτροδιάλυση
- Απολύμανση



# Προσρόφηση (Adsorption)

- Φυσικοχημική διεργασία συγκέντρωσης διαλυμένων οργανικών και ανοργάνων ουσιών στην διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ υγρού και στερεού σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο υγρό
- Βασική διαφορά με την απορρόφηση (absorption) είναι ότι τα μόρια της ουσία στην απορρόφηση διαχέονται και στο εσωτερικό του υλικού σε αντίθεση με την προσρόφηση που τα μόρια παραμένουν επιφανειακά



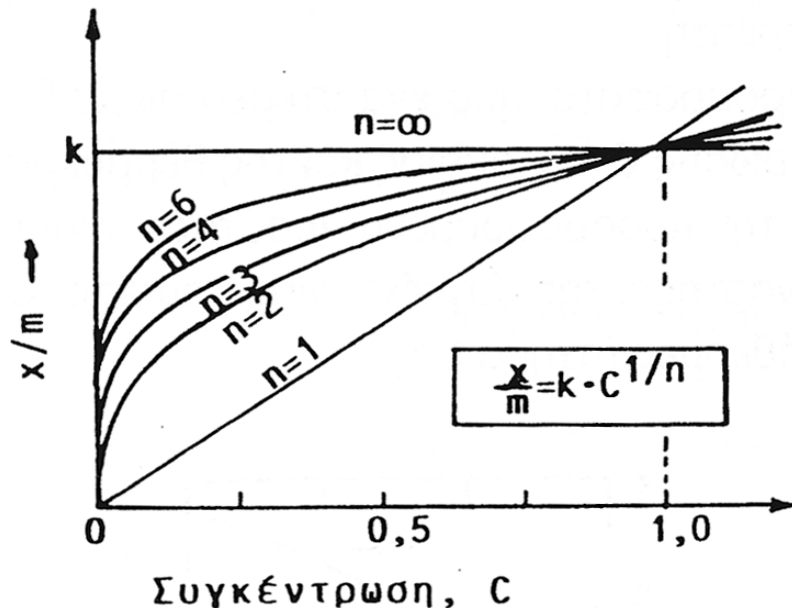
# Προσρόφηση (Adsorption)

- Χρησιμοποιούνται συνήθως άργιλος, πυριτικά υλικά και πολύ συχνά ενεργοποιημένος άνθρακας λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας ανά μονάδα όγκου που παρέχει ( $10 \text{ m}^2/\text{m}^3$ )
- Ανάλογα με την ελκτική δύναμη με την οποία τα προσροφημένα μόρια συγκρατούνται στην επιφάνεια του προσροφητικού υλικού η προσρόφηση χαρακτηρίζεται χημική όταν οι δεσμοί είναι ισχυροί (ιοντικοί, ομοιοπολικοί, γέφυρες υδρογόνου) και φυσική όταν οι δεσμοί είναι ασθενείς (δυνάμεις Van der Waals) και η προσρόφηση είναι αντιστρεπτή



# Θεωρία της διεργασίας Προσρόφησης

Η ποσότητα  $x$  μιας ουσίας που προσροφάται σε ένα στερεό σώμα βάρους  $m$ , είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης  $C$  της ουσίας και της θερμοκρασίας. **Οι συναρτήσεις που εκφράζουν την προσροφημένη ποσότητα ουσίας ανά μονάδα προσροφητικού υλικού ( $x/m$ ) συναρτήσει της συγκέντρωσης ουσίας ( $C$ ) σε σταθερή θερμοκρασία λέγονται **ισόθερμες****



# Θεωρία της διεργασίας Προσρόφησης

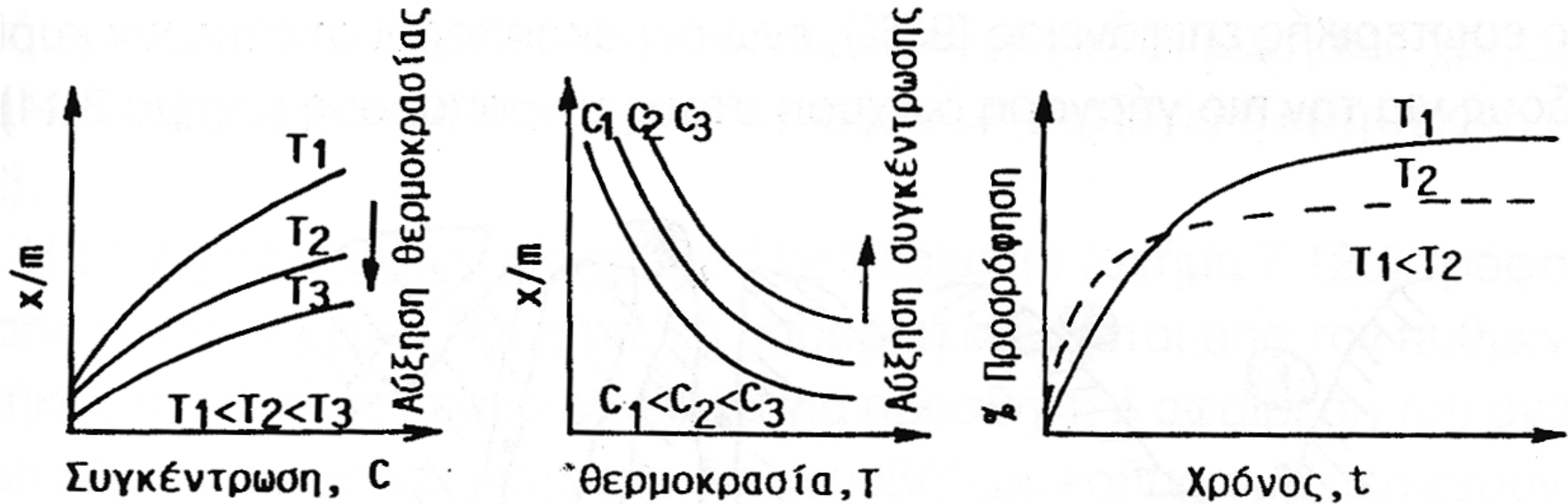
Οι εξισώσεις των Freundlich και Langmuir χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν μαθηματικά το φαινόμενο της προσρόφησης

$$x/m = k * C^{1/n} \quad \text{εξίσωση Freundlich}$$

$$C/(x/m) = (1/\alpha * \beta) + (1/\alpha) * C \quad \text{εξίσωση Langmuir}$$



# Προσρόφηση – Θεωρία



- Αύξηση θερμοκρασίας συνεπάγεται μείωση προσρόφησης
- Αύξηση της συγκέντρωσης συνήθως οδηγεί σε αύξηση της προσρόφησης
- Σε υψηλότερες θερμοκρασίες έχουμε ταχύτερη προσρόφηση μικρότερων ποσοτήτων της ουσίας



# Προσρόφηση σε Κλίνες Ενεργού Άνθρακα

- Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από ξύλο & άνθρακα με θέρμανση μέχρι ερυθροπυρώσεως με μικρή παροχή αέρα ώστε να μην γίνει καύση
- Ο άνθρακας στην συνέχεια ενεργοποιείται με ατμό σε υψηλή θερμοκρασία (900-1100°C) ώστε να δημιουργηθούν πόροι στην επιφάνεια του ενεργού άνθρακα
- Το πορώδες του ενεργού άνθρακα αποτελείται από μακροπόρους (ακτίνα 1000 nm), μεταβατικούς πόρους (100 nm), μικροπόρους (1 nm). Οι μικροπόροι και οι μεταβατικοί πόροι αποτελούν το 95% της εσωτερικής επιφάνειας



# Προσρόφηση σε Κλίνες Ενεργού Άνθρακα

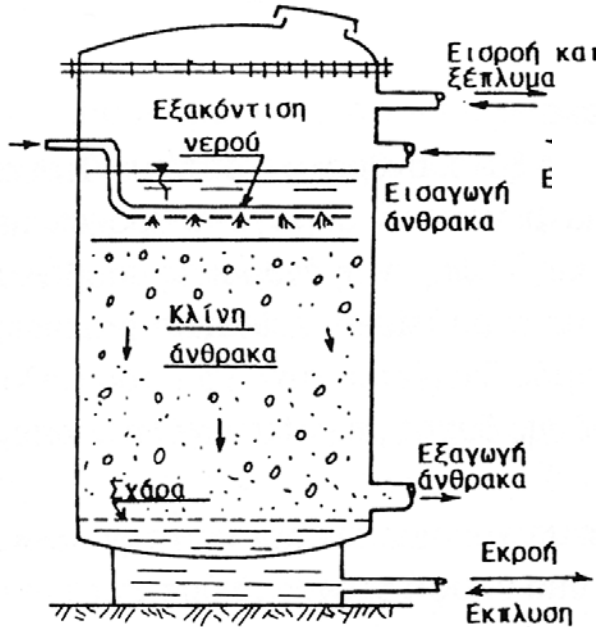
Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται ως προσροφητικό υλικό στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων που έχουν ήδη υποστεί βιολογική επεξεργασία

- Στήλες με σταθερή κλίνη (fixed bed column)
- Στήλες με κινητή κλίνη (moving bed technique)





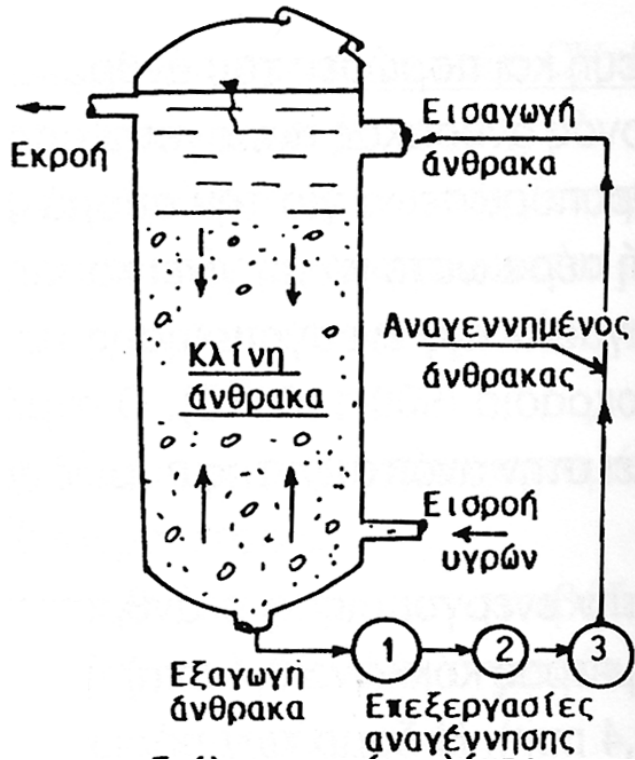
# Στήλες με σταθερή κλίνη



- Η στήλη είναι πληρωμένη με κόκκους ενεργού άνθρακα.
- Τα απόβλητα διοχετεύονται στην στήλη από την κορυφή και καθώς διέρχονται της ζώνης του ενεργού άνθρακα αιωρούμενα οργανικά τεμαχίδια προσροφόνται στην επιφάνεια του οργανικού άνθρακα.



# Στήλες με κινητή κλίνη



Η εισαγωγή των αποβλήτων γίνεται από τον πυθμένα της κλίνης ενώ ο ενεργός άνθρακας μπορεί να ανανεώνεται σε παράλληλη μονάδα αναγέννησης και επαναπροστίθεται από την κορυφή της στήλης



# Αναγέννηση Ενεργού άνθρακα

Η αναγέννηση του ενεργού άνθρακα περιλαμβάνει αρχικά την εκρόφηση των ουσιών και την ενεργοποίηση του με αποκατάσταση κατά το δυνατόν της εσωτερικής δομής και πορώδους

- **Βιολογική μέθοδος**
- **Χημική Μέθοδος**
- **Θερμική Μέθοδος**



# Διεργασίες στην Τριτοβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

- Χημική Κατακρήμνιση
- Ιοντική Ανταλλαγή
- Προσρόφηση
- **Διεργασίες μεμβρανών**
- **Ηλεκτροδιάλυση**
- Απολύμανση



# Διεργασίες Μεμβρανών

- Είναι μια μορφή διήθησης όπου εδώ αντί για στήλες με υλικά διήθησης χρησιμοποιούνται ημιπερατές μεμβράνες
- Η ροή νερού ανά μονάδα επιφάνειας της μεμβράνης είναι πολύ χαμηλότερη από τα συνηθισμένα φίλτρα (0.4-1.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) και το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης είναι συνήθως 10,000 μικρότερο των μέσων που χρησιμοποιούνται στην συμβατική διήθηση
- *Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται εξειδικευμένη απομάκρυνση οργανικών μορίων και πολύ υψηλής ποιότητας υγρά λύματα*



# Διεργασίες Μεμβρανών

- **Υπερδιήθηση:** αναφέρεται στην χρήση μεμβρανών για τον διαχωρισμό μακρομορίων ή κολλοειδών σωματιδίων της τάξης των 0.005-10  $\mu\text{m}$
- **Αντίστροφη ώσμωση:** είναι η διεργασία κατά την οποία η εφαρμοζόμενη πίεση στην πλευρά του διαλύματος έχει ξεπεράσει την ωσμωτική πίεση καθιστώντας αντίστροφη την ροή (ο διαλύτης θα διέλθει από το διάλυμα προς καθαρό διαλύτη)



# Διεργασίες Μεμβρανών

Οι βασικές ιδιότητες των μεμβρανών είναι:

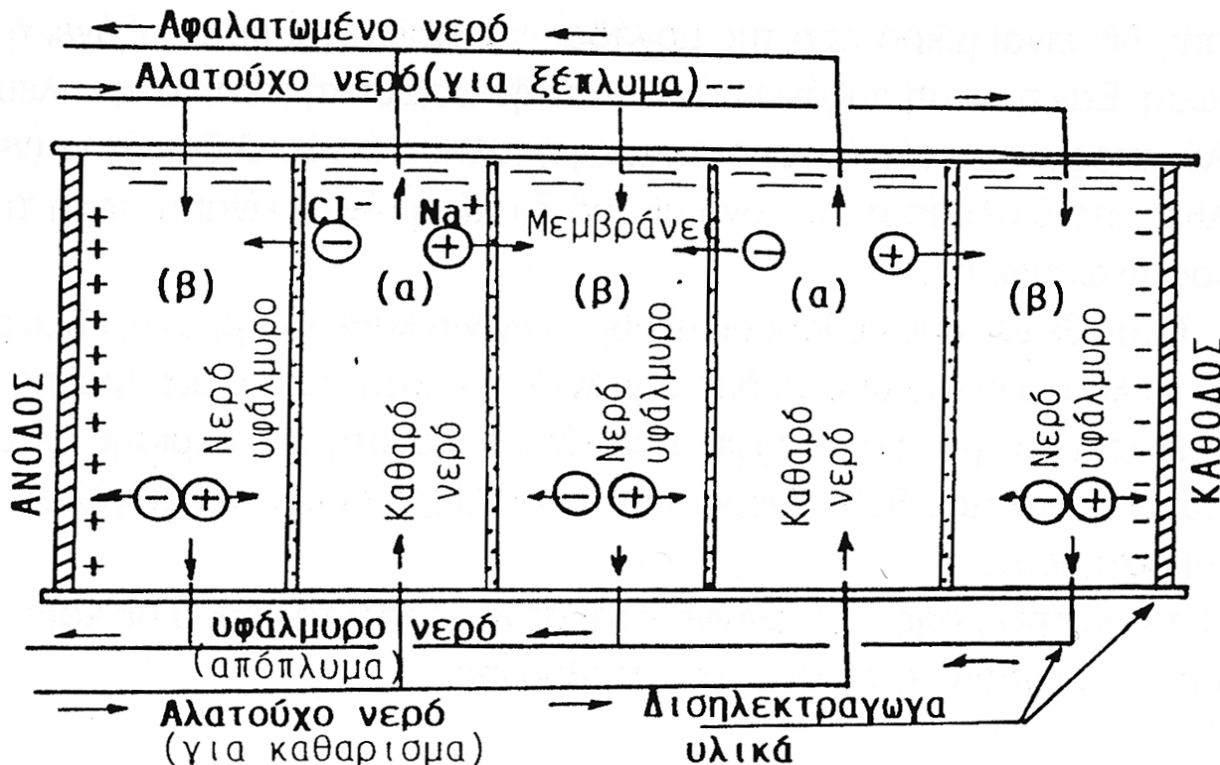
- **Εκλεκτικότητα:** ικανότητα διάκρισης μεταξύ των μορίων που θα διαπεράσουν την μεμβράνη και αυτών που θα κατακρατηθούν
- **Πυκνότητα ροής:** η ποσότητα νερού σε καθορισμένη πίεση ανά μονάδα επιφάνειας της μεμβράνης

Μικρότερη πίεση απαιτείται όταν γίνεται διαχωρισμός σχετικά μεγάλων μορίων όπως πολυπεπτίδια ενώ υψηλότερη πίεση απαιτείται για τον διαχωρισμό μικρότερων μορίων όπως άλατα



# Διεργασίες μεμβρανών - Ηλεκτροδιάλυση

Χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση του νερού και βασίζεται στις αρχές της ιοντικής ανταλλαγής με την διαφορά ότι εδώ τα ιόντα του διαλύματος κινούνται κάτω από ηλεκτρικό δυναμικό και διαπερνούν εκλεκτικές μεμβράνες σε ανιόντα ή κατιόντα.





# Διεργασίες στην Τριτοβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

- Χημική Κατακρήμνιση
- Ιοντική Ανταλλαγή
- Προσρόφηση
- Διεργασίες μεμβρανών
- Ηλεκτροδιάλυση
- **Απολύμανση**



# Απολύμανση

Η εκλεκτική μείωση των πληθυσμών των παθογόνων μικροοργανισμών σε αντίθεση με την αποστείρωση που σημαίνει την καταστροφή κάθε ζωής

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση επεξεργασμένων λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων είναι

- **Μηχανικά**
- **Φυσικά**
- **Χημικά**
- **Ραδιολογικά**



# Απολύμανση – Μηχανικά Μέσα

Μικροοργανισμοί και παθογόνα απομακρύνονται σε κάποιο βαθμό κατά τις διεργασίες πρωτοβάθμιας επεξεργασίας με μηχανικά μέσα όπως εσχάρωση, αμμοσυλλογή κ.τ.λ.

Μηχανική Επεξεργασία	% Απομάκρυνση
Χοντρή εσχάρα	0-5
Λεπτή εσχάρα	10-20
Αμμοσυλλέκτης	10-25
Απλή καθίζηση	25-75
Χημική καθίζηση	40-80



# Απολύμανση – Φυσικά Μέσα

- Απολύμανση με θέρμανση και φως: Η θέρμανση μέχρι βρασμού καταστρέφει τα περισσότερα μη σποριογόνα παθογόνα και χρησιμοποιείται κυρίως στην βιομηχανία τροφίμων.
- Η ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας με μέγιστο τα 265 nm παρουσιάζει μικροβιοκτόνες ιδιότητες. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό μικρών ποσοτήτων νερού. Αντίθετα σε μεγάλες ποσότητες ακαθάρτων λυμάτων η ακτινοβολία απορροφάται από τα αιωρούμενα στερεά τεμαχίδια



**Χημικά Μέσα:** Διάφορα χημικά μέσα έχουν χρησιμοποιηθεί όπως οινόπνευμα, ιώδιο, βρώμιο, φαινόλες, όζον, υπεροξείδιο του υδρογόνου, απορρυπαντικά και διάφορα οξέα ή βάσεις.

**Ραδιολογικά Μέσα:** Η ραδιενέργεια που εκπέμπεται υπό μορφή σωματιδίων (β-ακτινοβολία ηλεκτρονίων) ή σαν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχουν μικροβιοκτόνο δράση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην απολύμανση νερού



# Μηχανισμοί Απολύμανσης

- Φθορά ή καταστροφή του κυτταρικού τοιχώματος
- Μεταβολή της εκλεκτικής διαπερατότητας της κυττοπλασματικής μεμβράνης με αποτέλεσμα την διαφυγή ζωτικών θρεπτικών στοιχείων όπως N και P
- Αλλαγή της κολλοειδούς φύσης του πρωτοπλάσματος
- Παρεμπόδιση της ενζυμικής δράσης και ικανότητας των κυττάρων να συνθέσουν νέα υλικά πχ. χλώριο, όζον μεταβάλλουν την χημική σύσταση των ενζύμων και τα αδρανοποιούν με αποτέλεσμα να εμποδίζεται ο ρυθμός μεταβολισμού



# Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης

- **Χρόνος επαφής απολυμαντικού - υγρού:** η επιμήκυνση του χρόνου επαφής έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη αποτελεσματικότητα
- **Συγκέντρωση του μέσου απολύμανσης**
- **Είδος οργανισμών και συγκέντρωση αυτών**
- **Θερμοκρασία**
- **Φύση του υγρού:** η παρουσία οργανικών ενώσεων δεσμεύει και εξουδετερώνει τα οξειδωτικά μέσα απολύμανσης (χλώριο), η θολερότητα εμποδίζει την διείσδυση της ακτινοβολίας ή την εξουδετερώνει με την απορρόφηση του παράγοντα απολύμανσης

# Χλωρίωση επεξεργασμένων αποβλήτων

Οι κυριότερες μορφές χλωρίου που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι το **αέριο χλώριο** (που είναι τοξικό διαβρωτικό αέριο) και **χλωριούχες ενώσεις** (περισσότερο ασφαλείς ουσίες)

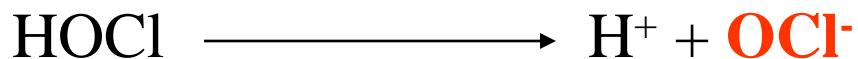
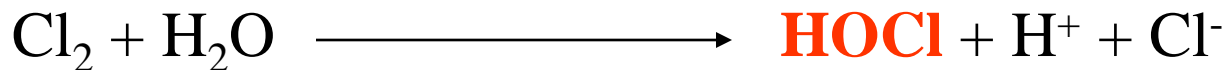
Όνομασία	Χημικός τύπος	Διαθέσιμο χλώριο % κ.β.	Παρατηρήσεις
1. Χλωράσβεστος	$\text{CaO} \cdot 2\text{CaOCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	25-37	Υγροσκοπική ασταθής
2. Υποχλωριώδες ασβέστιο	$\text{Ca}(\text{OCl}_2) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	70	Σταθερό
3. Υποχλωριώδες νάτριο	$\text{NaOCl}$	4-15	Υγρό
4. Χλωριώδες νάτριο(*)	$0,82 \text{ NaClO}_2$	30	Υγρό
5. Διοξείδιο χλωρίου(**)	$\text{ClO}_2$	26,3	Αέριο
6. Halazone	$\text{HOOC-C}_6\text{H}_4\text{-SO}_2\text{NCl}_2$	-	Δισκία για την απολύμανση του πόσιμου νερού





# Προσθήκη αέριου χλωρίου

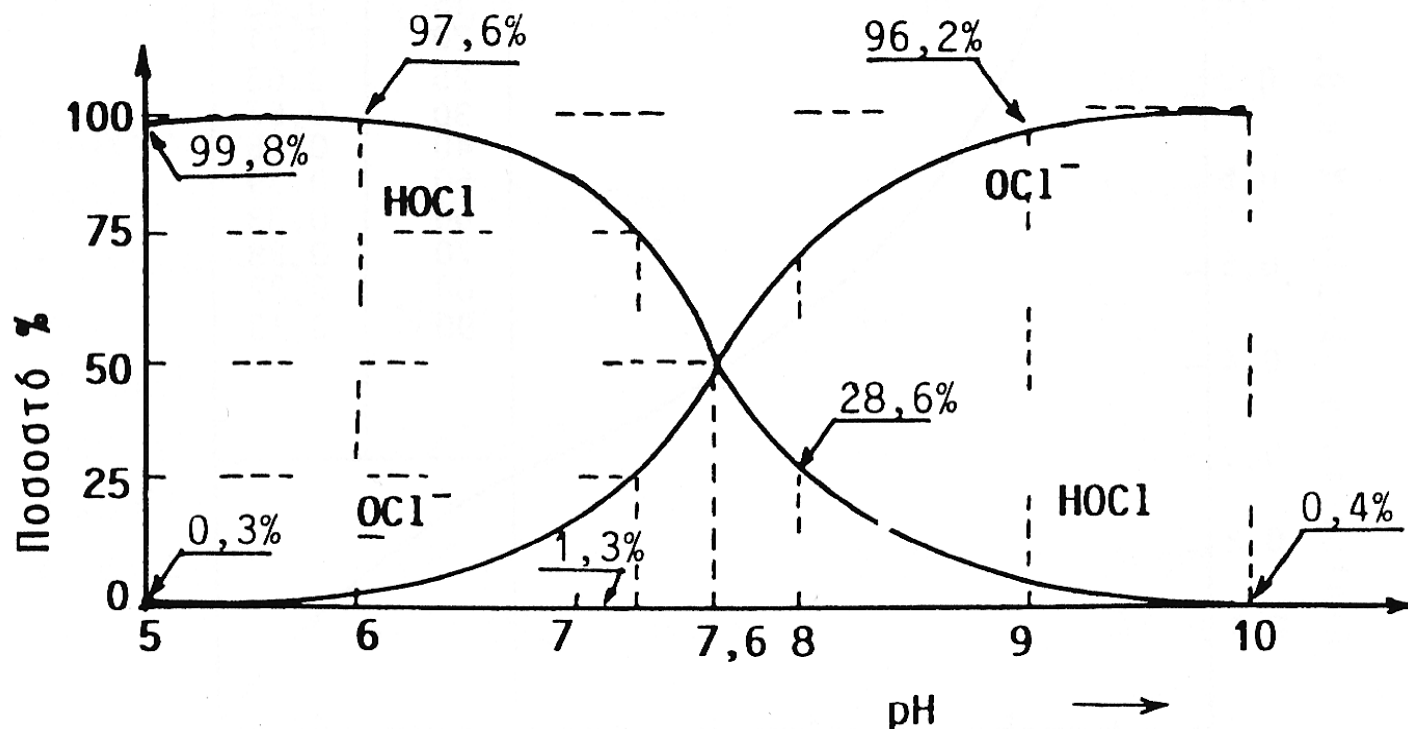
- Το αέριο χλώριο είναι τοξικό και διαβρωτικό αέριο, σχετικά υδατοδιαλυτό και σταθερό στο φως
- Προσθήκη αέριου χλωρίου στα υγρά απόβλητα οδηγεί αρχικά σε υδρόλυση προς σχηματισμό υποχλωριούδους οξέος HOCl το οποίο στην συνέχεια ανάλογα με το pH του διαλύματος ιονίζεται προς το υποχλωριώδες ανιόν OCl<sup>-</sup>



*Οι μορφές χλωρίου HOCl και OCl<sup>-</sup> αποτελούν το ελεύθερο χλώριο*



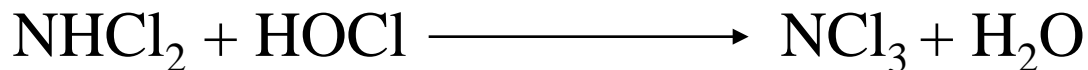
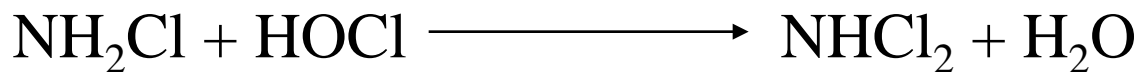
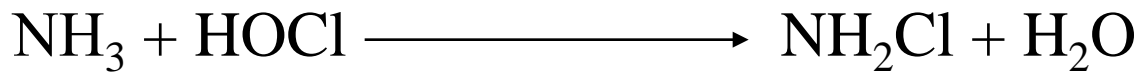
Η μορφή με την οποία θα βρίσκεται στα υγρά απόβλητα το αέριο χλώριο καθορίζεται κυρίως από το pH του μέσου. Σε χαμηλά pH επικρατεί η μορφή HOCl που αποτελεί την δραστική μορφή ενώ σε αλκαλικά pH επικρατεί το ανιόν OCl<sup>-</sup>



Η υψηλότερη δράση του HOCl οφείλεται στην ευκολία προσέγγισης των κυτταρικών μεμβρανών που είναι αρνητικά φορτισμένες συνήθως και εισόδου στο εσωτερικό των κυττάρων

# Συνδυασμένες μορφές χλωρίου

- Όταν τα απόβλητα περιέχουν αμμωνία ή αζωτούχες ενώσεις το χλώριο αντιδρά και σχηματίζει σειρά από χλωραμίνες που έχουν ισχυρή απολυμαντική δράση
- Οι μονοχλωραμίνη ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), διχλωραμίνη ( $\text{NHCl}_2$ ) και το τριχλωριούχο άζωτο ( $\text{NCl}_3$ ) αποτελούν στο σύνολο τους το **συνδυασμένο χλώριο** για την απολύμανση



# Εφαρμογές χλωρίου

Το χλώριο εκτός από την απολύμανση βρίσκει και άλλες εφαρμογές στις εγκαταστάσεις **συλλογής**, **επεξεργασίας** και διάθεσης υγρών αποβλήτων όπως

- Έλεγχος υπερβολικής ανάπτυξης βιομάζας
- Έλεγχος διαβρώσεως (καταστροφή  $H_2S$ )
- Έλεγχος οσμών
- Οξείδωση αμμωνίας
- Απομάκρυνση λίπους
- Ελάττωση BOD διαμέσου οξείδωσης οργανικών ρύπων
- Έλεγχος αφρισμού δεξαμενής χώνευσης και **IMHOFF**



# Προβλήματα χλωρίωσης υγρών αποβλήτων

- Το χλώριο που προστίθεται πιθανόν να αντιδράσει με οργανικούς ρύπους ή άλλα οργανικά μόρια που περιέχονται στα απόβλητα και να οδηγήσουν στην παραγωγή χλωριωμένων οργανικών ενώσεων που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στην διάσπαση και ενίοτε τοξικά στην βιομάζα των συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων
- Η δοσολογία εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής και επίσης από το μέγεθος της μείωσης του μικροβιακού φορτίου που θέλουμε να επιτύχουμε. Εάν απαιτείται σημαντική μείωση τότε η δοσολογία θα πρέπει να επιλεγθεί μετά από εργαστηριακή μελέτη



# Συσκευές χλωρίωσης

Οι συσκευές χλωρίωσης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες

- **Χλωριωτές** που λειτουργούν με αέριο χλώριο
- **Υποχλωριωτές** που λειτουργούν με ενώσεις χλωρίου

Οι **χλωριωτές** διακρίνονται σε δύο τύπους:

- ✓ Χλωριωτές προδιάλυσης που διαλύουν το χλώριο σε νερό και τροφοδοτούν το σημείο εφαρμογής με πυκνό διάλυμα
- ✓ Χλωριωτές απευθείας τροφοδότησης που παρέχουν αέριο χλώριο στο σημείο εφαρμογής



# Συσκευές χλωρίωσης

- Οι υποχλωριωτές χρησιμοποιούν ενώσεις χλωρίου σε διαλύματα.
- Αποτελούνται συνήθως από μικρή δοσομετρική αντλία που είναι κατασκευασμένη από υλικά ανθεκτικά στο χλώριο, με κατάλληλο συνδυασμό δοχείου διαλύματος (συνήθως με υποχλωριώδες νάτριο) και δεξαμενή επαφής



# Έλεγχος χλωρίωσης και αποχλωρίωσης

Ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας της χλωρίωσης γίνεται μετρώντας το υπολειμματικό χλώριο με την χρωματομετρική μέθοδο της ορθοτολιδίνης

Απομάκρυνση περίσσειας χλωρίου στα επεξεργασμένα απόβλητα μπορεί να γίνει μερικώς με αερισμό ή με χρήση χημικών όπως  $\text{SO}_2$

