



Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων και Επαναχρησιμοποίηση

Καθηγητής Θρασύβουλος Μανιός

Τμήμα Γεωπονίας

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Προχωρημένη - Τεταρτοβάθμια Επεξεργασία

Διάλεξη 6^η

Τριτοβάθμια (ή Προχωρημένη) Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

- Αποσκοπεί στην περαιτέρω απομάκρυνση στερεών, οργανικού φορτίου, αμμωνιακών, νιτρικών και φωσφορικών, καθώς και ορισμένων ρυπαντικών ουσιών (π.χ. βαρέα μέταλλα, τοξικές οργανικές ενώσεις) που δεν απομακρύνονται στα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας.
- Είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις που τα επεξεργασμένα απόβλητα πρόκειται να διατεθούν σε κάποιο ευαίσθητο τελικό αποδέκτη ή σε περιπτώσεις που θέλουμε να απομακρύνουμε ουσίες για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος ή ακόμα και στην προετοιμασία των αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση.

Τεταρτοβάθμια (ή Προχωρημένη) Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

- **Προσρόφηση** (κυρίως σε ενεργό άνθρακα).
- **Διήθηση** με πολλές παραλλαγές και με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος, ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Στις εφαρμογές μεμβρανών, οι οποίες πλέον αποτελούν τμήμα της δευτεροβάθμιας βιολογικής επεξεργασίας, ανήκει η μικροδιήθηση (MF), η υπερδιήθηση (UF) και η νανοδιήθηση (NF).
- **Διεργασίες προχωρημένης οξείδωσης** (Advanced Oxidation Process AOP).

Προσρόφηση

Προσρόφηση

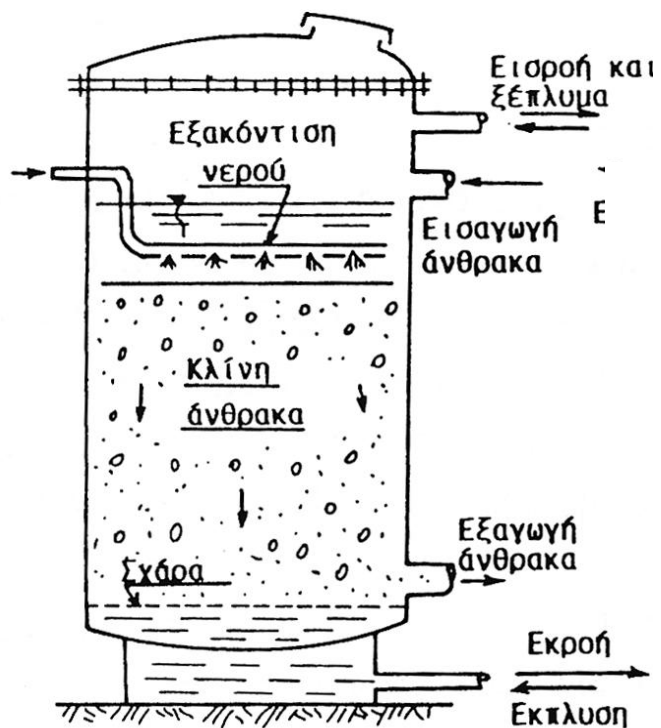
- Φυσικοχημική διεργασία συγκέντρωσης διαλυμένων οργανικών και ανοργάνων ουσιών στην διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ υγρού και στερεού σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο υγρό μεταφορά μάζας από την υγρή φάση στην επιφάνεια ενός στερεού
- Βασική διαφορά με την απορρόφηση (absorption) είναι ότι τα μόρια της ουσίας στην απορρόφηση διαχέονται και στο εσωτερικό του υλικού σε αντίθεση με την προσρόφηση που τα μόρια παραμένουν επιφανειακά.
- Ως προσροφητικά μέσα 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 (ομοιοπολικοί, γέφυρες υδρογόνου) και φυσική όταν οι δεσμοί είναι ασθενείς (δυνάμεις Van der Waals) και η προσρόφηση είναι αντιστρεπτή
- Η ποσότητα x μιας ουσίας που προσροφάται σε ένα στερεό σώμα βάρους m , είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης C της ουσίας και της θερμοκρασίας.

Προσρόφηση σε Κλίνες Ενεργού Άνθρακα

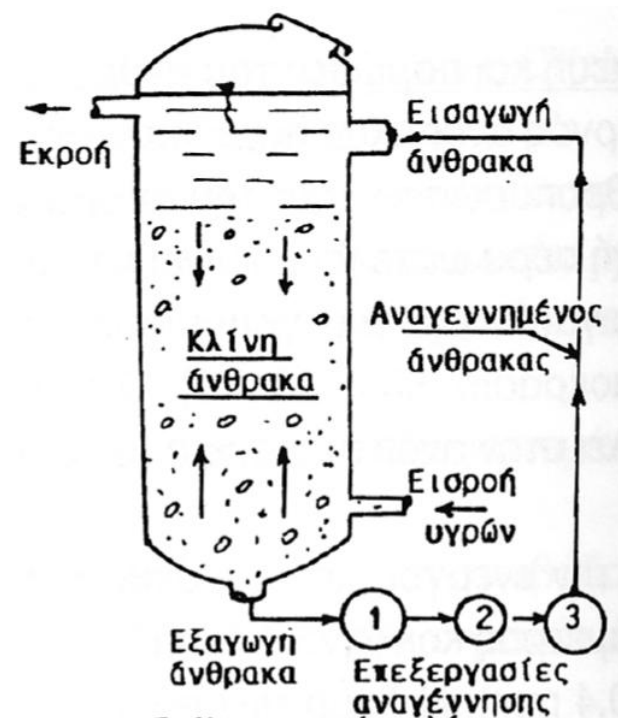
- Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από ξύλο άνθρακα με θέρμανση μέχρι ερυθροπυρώσεως (απομάκρυνση υδρογονανθράκων) με μικρή παροχή αέρα ώστε να μην γίνει καύση
- Ο άνθρακας στην συνέχεια ενεργοποιείται με ατμό σε υψηλή θερμοκρασία (900 - 1100°C) ώστε να δημιουργηθούν πόροι στην επιφάνεια του ενεργού άνθρακα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

Προσρόφηση σε Κλίνες Ενεργού Άνθρακα

Στήλες με σταθερή κλίνη



Στήλες με κινητή κλίνη



Αναγέννηση Ενεργού Άνθρακα

- Η αναγέννηση του ενεργού άνθρακα περιλαμβάνει αρχικά την εκρόφηση των ουσιών και την ενεργοποίησή του με αποκατάσταση κατά το δυνατόν της εσωτερικής δομής και πορώδους.
- Διεργασίας αναγέννησης:
 - Βιολογική μέθοδος
 - Χημική μέθοδος
 - Θερμική μέθοδος
- Ο κοκκώδης ενεργός άνθρακας μπορεί να αναγεννηθεί εύκολα σε ένα φούρνο με οξείδωση της οργανικής ύλης και κατά συνέπεια την απομάκρυνσή της από την επιφάνεια του άνθρακα
- Ένα μέρος του άνθρακα 5 με 10 καταστρέφεται κατά τη διαδικασία αναγέννησης και πρέπει να αντικατασταθεί με καινούριο υλικό
- Η ικανότητα του αναγεννημένου άνθρακα είναι ελαφρώς μικρότερη από του καινούριου

Διήθηση

Διήθηση

- Η διήθηση σε πολλαπλή κλίνη αποτελεί την πιο διαδεδομένη διάταξη προχωρημένης επεξεργασίας των υγρών απόβλητων και αποσκοπεί κυρίως στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, τα οποία διαφεύγουν από τις δεξαμενές καθίζησης.
- Οι συνήθεις διατάξεις βασίζονται στη διήθηση των επεξεργασμένων αποβλήτων, με βαρύτητα ή υπό πίεση, σε κλίνες αποτελούμενες από αλληπάλληλα στρώματα άμμου και ανθρακίτη.

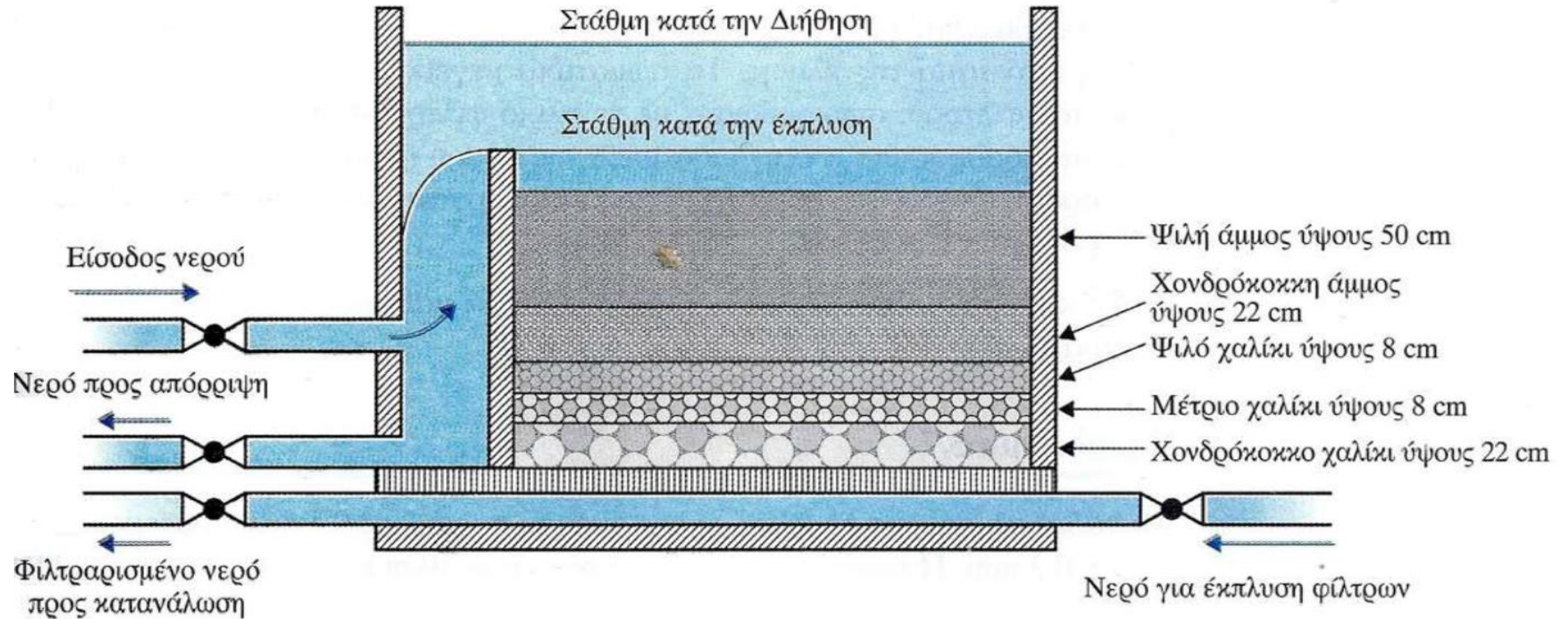
Χαρακτηριστικά μέσων διήθησης

Μέσο διήθησης	Ενεργό μέγεθος (mm)	Ειδικό βάρος (gr/cm ³)
Ανθρακίτης	0,7 – 1,7	1,4
Άμμος	0,3 – 0,7	2,6
Πυριτικά ορυκτά	0,4 – 0,6	3,8
Μαγνητίτης	0,3 – 0,5	4,9

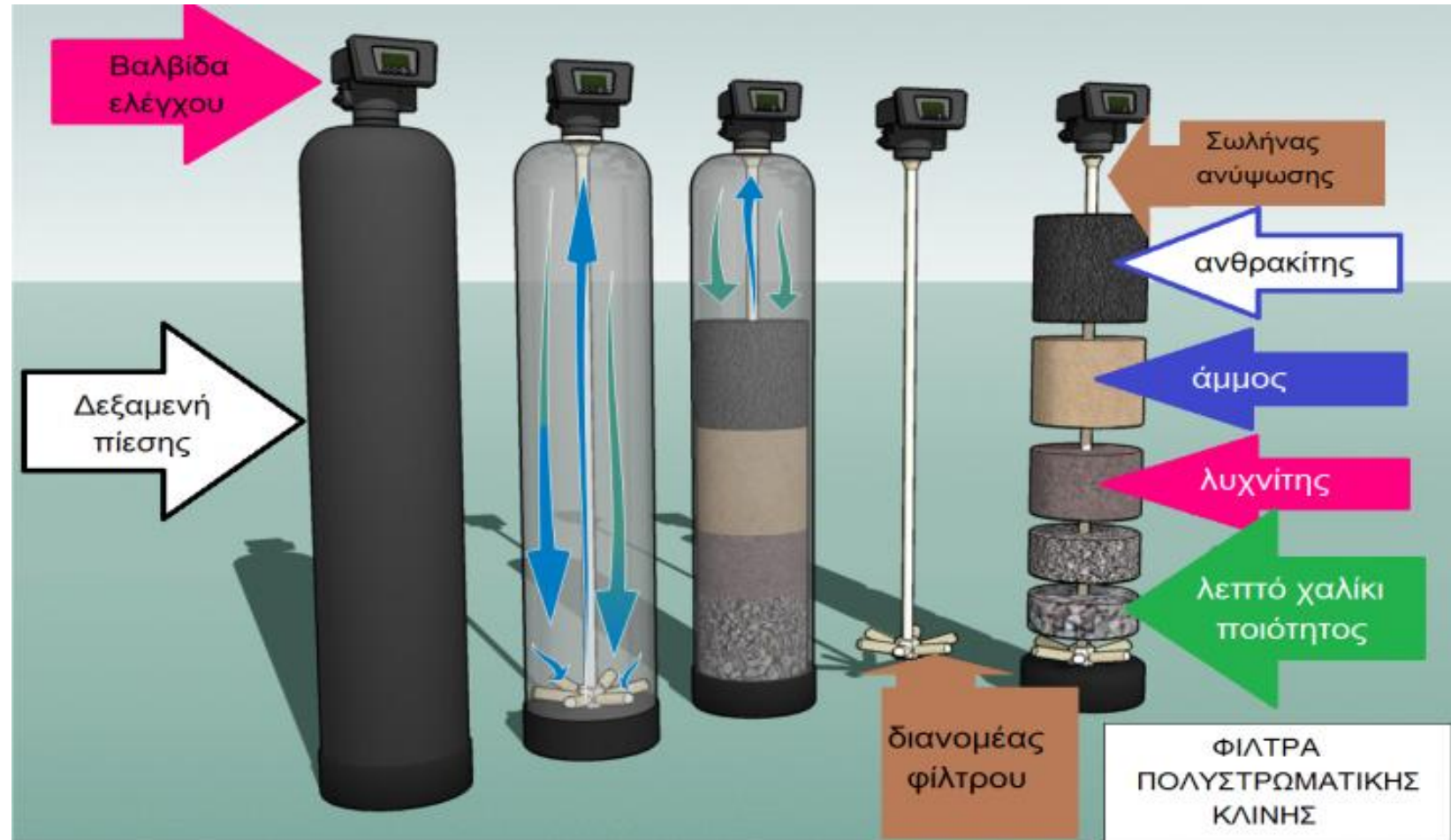
Διήθηση - Φίλτρα άμμου

- Η διήθηση γίνεται με την διέλευση του νερού μέσα από φίλτρα άμμου.
- Τα φίλτρα άμμου είναι διαδοχικά στρώματα λεπτού χαλικιού (4-8 mm) και χονδρής ή λεπτής άμμου (1-1,6 mm) όπου απομακρύνονται τα αιωρούμενα σωματίδια και γίνεται μερική βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών.
- Στις εγκαταστάσεις όπου γίνεται καθαρισμός μεγάλων ποσοτήτων νερού, χρησιμοποιούνται φίλτρα ταχείας διήθησης με πίεση.
- Χαρακτηρίζονται από τη κατανομή σωματιδίων και την ομοιομορφία. Συχνά χρησιμοποιούνται παραπάνω από μία κατανομή του μέσου διήθησης.
- Βαρύτητας, πίεσης, ανοδική ροής, κ.λ.π.
- Τα περισσότερα σωματίδια κατακρατούνται στην επιφάνεια, αν και γίνεται διείσδυση στα πρώτα 5 cm της κλίνης.

Διήθηση - Φίλτρα Άμμου



Διήθηση - Φίλτρα Άμμου / Πολυστρωματικά

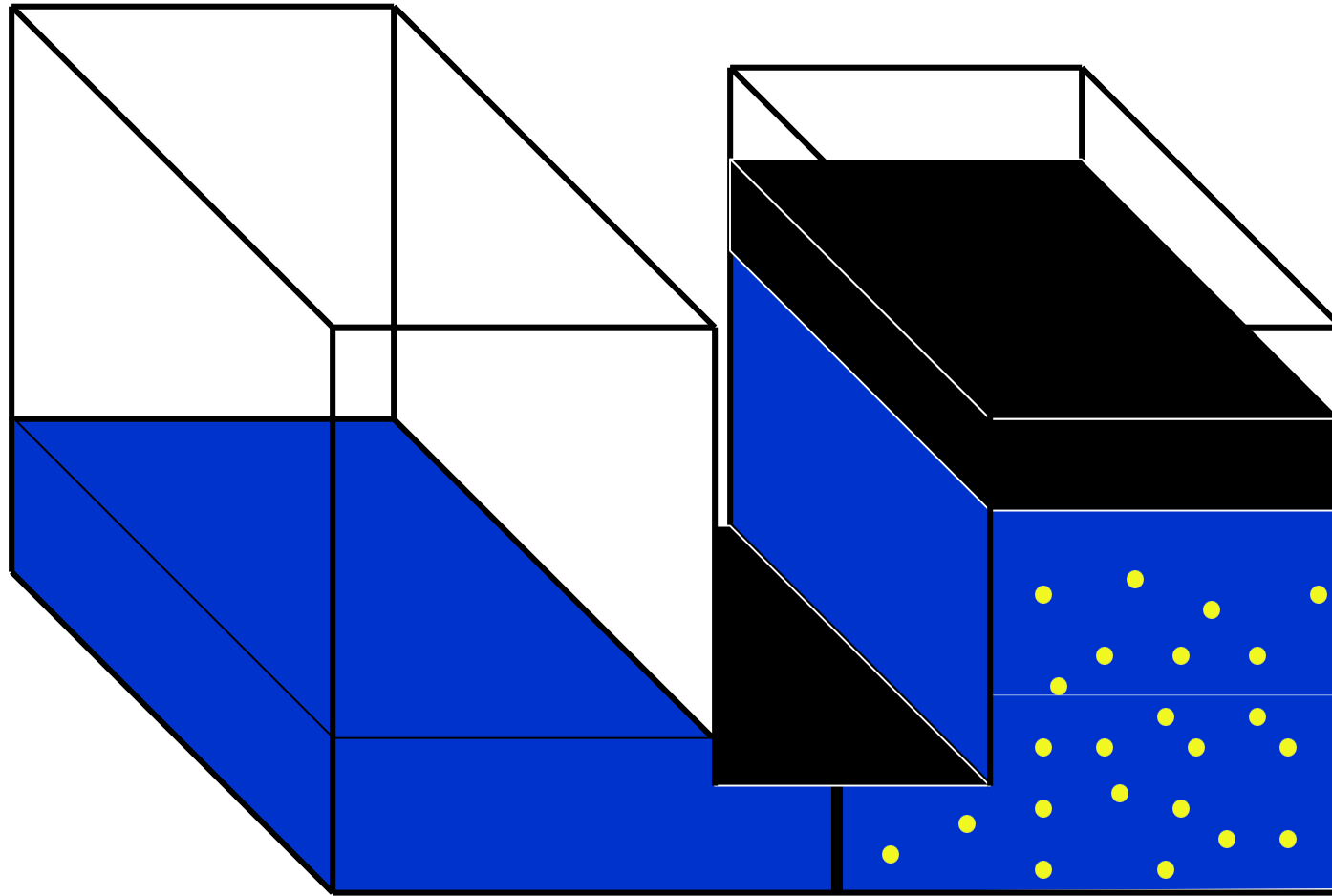


Διήθηση - Μεμβράνες

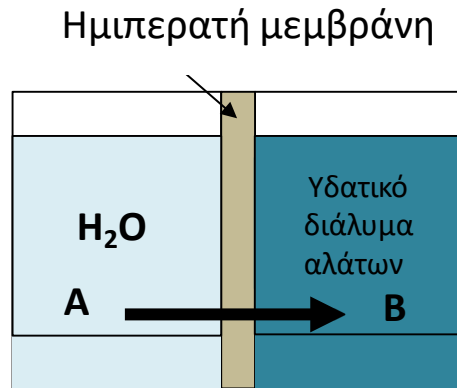
Διήθηση – Διεργασίες Μεμβρανών

- 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 ($0,4 - 1.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2$) και το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης είναι συνήθως 10.000 φορές μικρότερο των μέσων που χρησιμοποιούνται στην συμβατική διήθηση
- Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται εξειδικευμένη απομάκρυνση οργανικών μορίων και πολύ υψηλής ποιότητας υγρά λύματα
- Υπερδιήθηση αναφέρεται στην χρήση μεμβρανών για τον διαχωρισμό μακρομορίων ή κολλοειδών σωματιδίων της τάξης των $0,005 - 10 \text{ }\mu\text{m}$

Αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis)

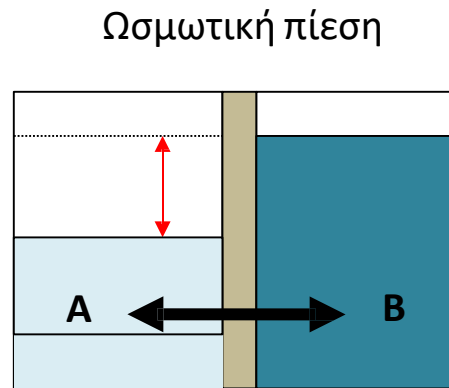


Ώσμωση και αντίστροφη ώσμωση



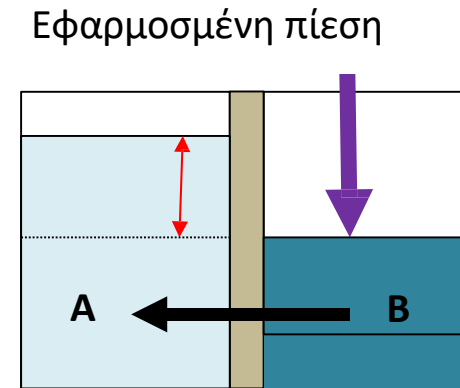
Ώσμωση

Όταν δύο διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη, τότε το καθαρό νερό διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης από το διάλυμα (A) με τη μικρότερη συγκέντρωση προς το διάλυμα (B) με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση



Ισορροπία

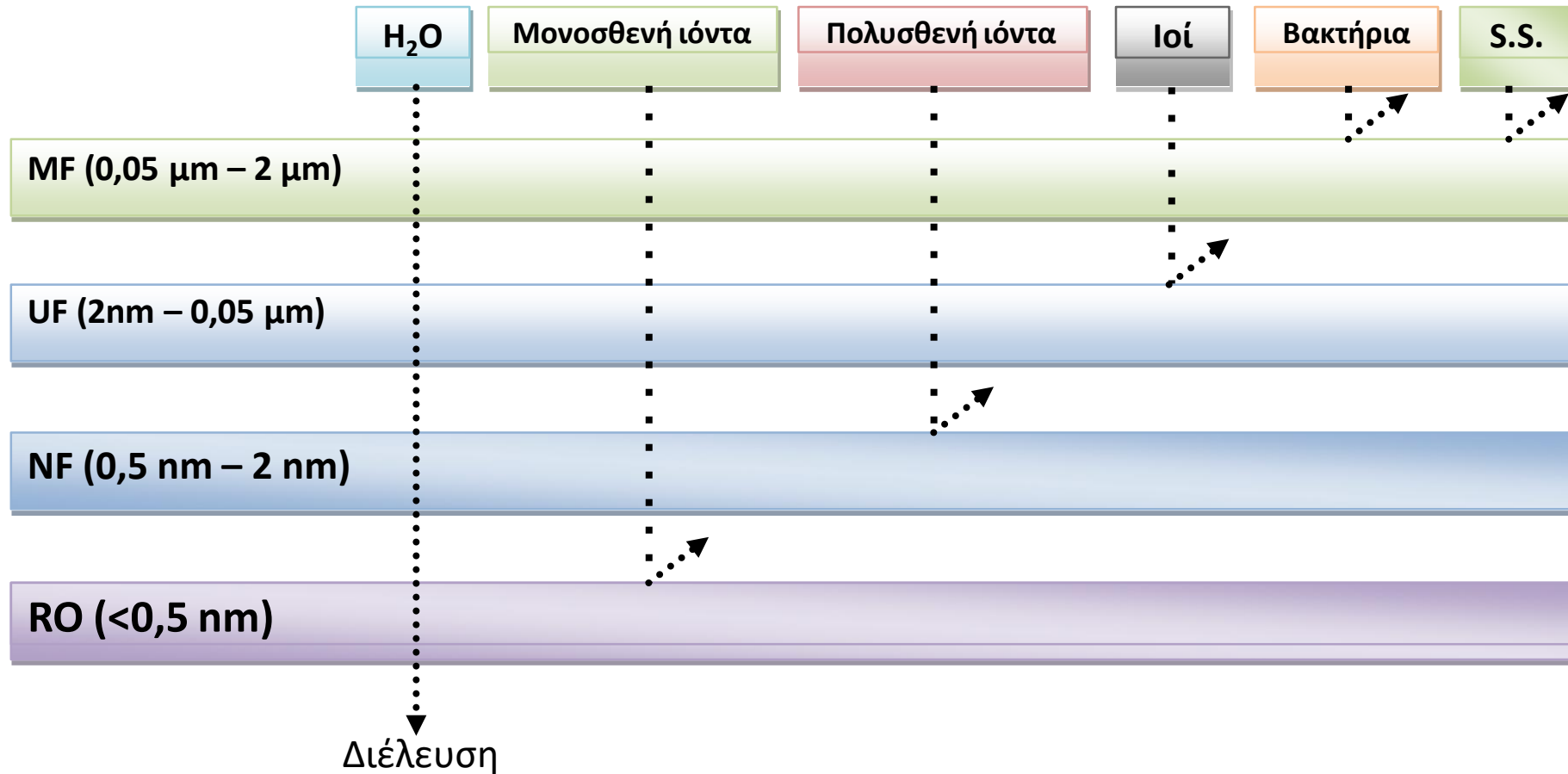
Η ωσμωτική ροή συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία, η οποία χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του διαλύματος με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Αυτή η κατάσταση ισορροπίας είναι γνωστή ως ωσμωτική και η διαφορά της στάθμης των διαλυμάτων αντιστοιχεί στην ωσμωτική πίεση του συστήματος των δύο διαλυμάτων



Αντίστροφη ώσμωση

Εάν στο διάλυμα B εφαρμοστεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική, τότε διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης καθαρό νερό προς το διάλυμα A. Η διεργασία αυτή ονομάζεται αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis RO)

Μεμβράνες (Επεξεργασία νερού)

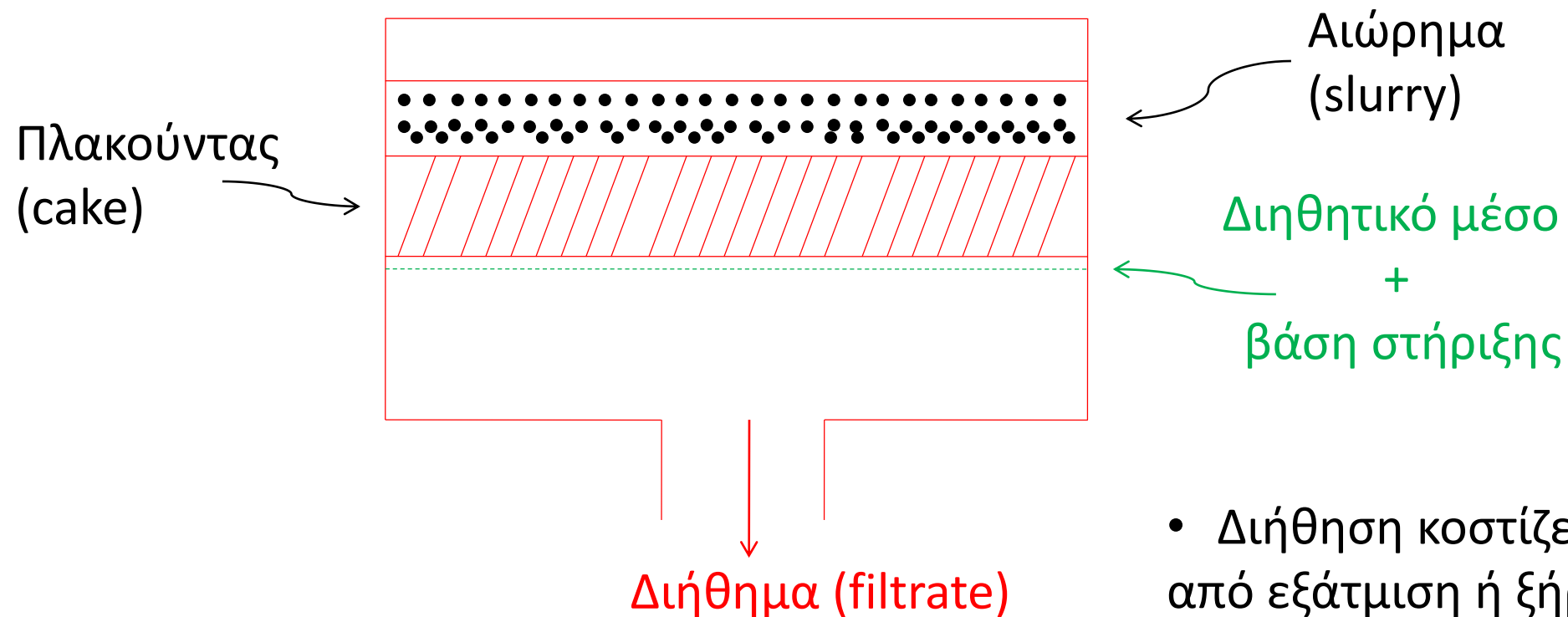


Μεμβράνες (Επεξεργασία νερού)



Μεμβράνες (Επεξεργασία νερού)

- Διαχωρισμός στερεών από αιώρημα με χρήση διηθητικού μέσου (Μηχανική Διεργασία)

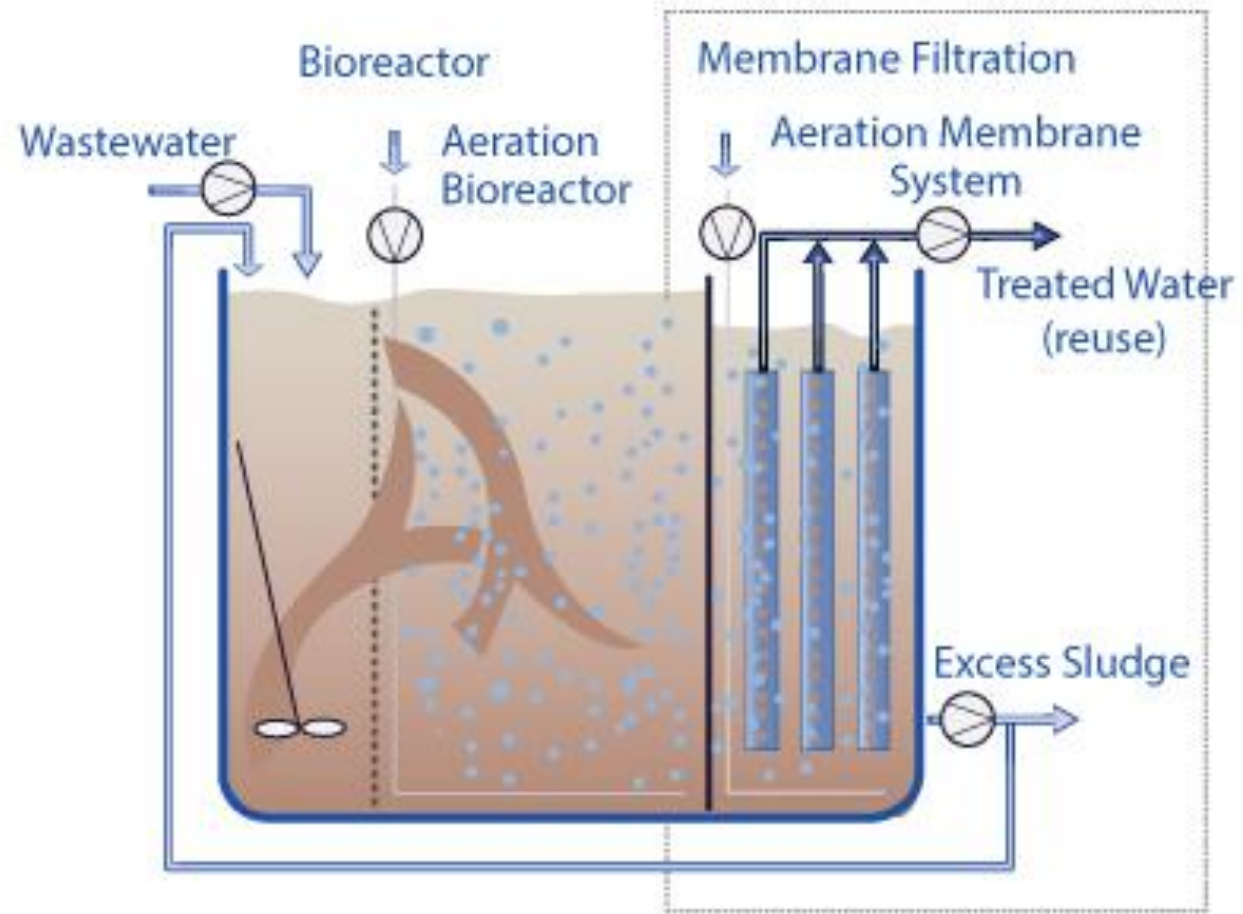


- Διήθηση κοστίζει λιγότερο από εξάτμιση ή ξήρανση

Μεμβράνες (Επεξεργασία νερού)

- Αρχικά, στερεά επικάθονται στο διηθητικό μέσο, δημιουργώντας στρώματα πλακούντα
- Ο πλακούντας 'μεγαλώνει' και ταυτόχρονα αυξάνει η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΡΟΗ
- Η διήθηση γίνεται μέσω του πλακούντα - ΜΕΓΑΛΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
- Το διηθητικό μέσο παίζει μικρό ρόλο - ΜΙΚΡΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
- Ο πλακούντας προσομοιάζεται με ροή σε σταθεροποιημένη κλίνη (packed bed)
- Η διαφορά είναι ότι το πάχος του πλακούντα αυξάνεται βαθμιαία
- Πίεση σταθερή, οπότε η ροή μειώνεται - Ροή σταθερή, οπότε η πίεση αυξάνει
- Λεπτόκοκκα (κολλοειδή) ή λασπώδη στερεά δημιουργούν πολύ ιξώδη αιωρήματα που φράζουν τους πόρους του διηθητικού μέσου
- Προσθήκη ουσιών προς διευκόλυνση δημιουργίας πλακούντα

Membrane Bioreactor



Οξειδωση

Χημική οξείδωση

Ουσίες μη βιοδιασπώμενες στο νερό

(Ανόργανες: Mn^{2+} , Fe^{2+} , S^{2-} , SO_3^{2-} , CN^-)

(Οργανικές: Φαινόλες, Αμίνες, Χουμικά οξέα, Άλλες ενώσεις που προκαλούν οσμές, γεύσεις, χρώμα, κ.λ.π.)

Διεργασία μετατροπής των ανεπιθύμητων ενώσεων σε ενώσεις που ενοχλούν λιγότερο ή και καθόλου με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας του νερού.

Οξειδωτικά μέσα

(Cl_2 , ClO_2 , O_3 , $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$, H_2O_2)

Ουσίες λιγότερο επικίνδυνες ή καλύτερα «βιοεπεξεργάσιμες» για το περιβάλλον

Προηγμένες Διεργασίες Οξειδωσης

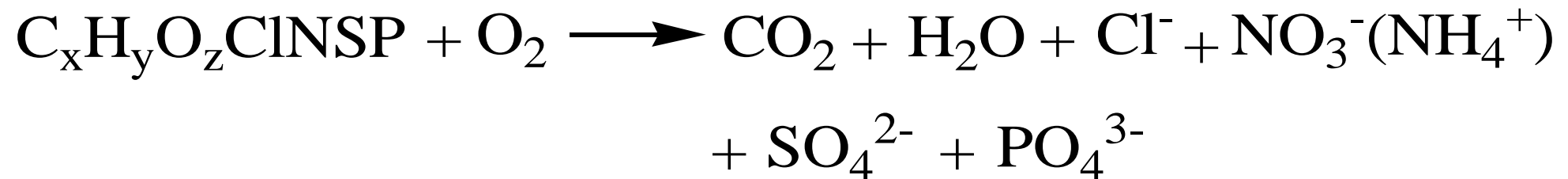
- Προηγμένες Διεργασίες Οξειδωσης (Advanced Oxidation Processes, AOPs): Χημικές οξειδωτικές τεχνικές για την επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων (αστικών και βιομηχανικών).
- Καταστροφή οργανικών ή ανόργανων ρύπων.
- Αδρανοποίηση παθογόνων μικρο-οργανισμών.

Προηγμένες Διεργασίες Οξειδωσης

- *Ανόργανες ενώσεις: αποβολή ηλεκτρονίων και μετάβαση σε υψηλότερη βαθμίδα οξειδωσης:*



- *Οργανικές ενώσεις: ένωση με O₂ και μετατροπή της σε ανόργανα προϊόντα. Ανοργανοποίηση (mineralization)*



Τα οξειδωτικά προκαλούν οξείδωση

Χημικό είδος	Δυναμικό οξείδωσης (volt)
Φθόριο, F_2	3,053
Ρίζες υδροξυλίου $HO\cdot$	2,80
Όζον, O_3	2,076
Υπεροξειδίο του υδρογόνου, H_2O_2	1,776
Ρίζες υπεροξειδίου $HO_2\cdot$	1,70
Υπερμαγγανικά ιόντα, MnO_4^-	1,507
Υποχλωριώδες οξύ, $HClO$	1,482
Χλώριο, Cl_2	1,36
Οξυγόνο, O_2	1,229

