

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ ΝΕΡΟΥ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΣΑΡΛΗ ΔΑΝΙΗΛΙΔΑ (Α.Μ. 5883)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και έχει ως αντικείμενο τις διεργασίες καθαρισμού του νερού

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η θεωρητική μελέτη και ανάλυση των μεθόδων βελτίωσης των ιδιοτήτων του πόσιμου νερού.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ιωάννη Γιαννάκη για την ανάθεση του θέματος καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Σαρλή Δανηλίδα  
Ιούνιος 2015

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Η κάτωθι υπογεγραμμένη σπουδάστρια έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Η σπουδάστρια  
Σαρλή Δανηλίδα

.....

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει σαν θέμα την θεωρητική μελέτη και ανάλυση των φίλτρων που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του πόσιμου νερού

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι ρυπαντές του νερού και οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Επίσης παρουσιάζονται οι σημαντικότερες πηγές ρύπανσης καθώς και οι επιπτώσεις της ρύπανσης. Τέλος αναφέρονται οι επιθυμητές ιδιότητες του πόσιμου νερού.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται λεπτομερώς όλες οι διεργασίες επεξεργασίας του νερού. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις σύγχρονες τεχνολογίες όπως η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα και οι διεργασίες μεμβρανών.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα κριτήρια επιλογής οικιακών φίλτρων νερού και παρουσιάζονται ενδεικτικά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά δύο οικιακών φίλτρων νερού που κυκλοφορούν στην αγορά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία αυτή.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	1
<b>1. ΡΥΠΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ</b>	
1.1 Γενικά.....	4
1.2 Ρυπαντές.....	5
1.2.1 Βαρέα Μέταλλα και Ανόργανες Ενώσεις.....	5
1.2.2 Παθογόνοι Μικροοργανισμοί.....	6
1.2.3 Οργανικοί Ρυπαντές.....	7
1.3 Πηγές Ρύπανσης.....	10
1.4 Φυσικοχημικές Ιδιότητες των Ρύπων.....	17
1.5 Επιπτώσεις και Ανίχνευση της Ρύπανσης.....	18
1.6 Μόλυνση των Υδροφόρων από Μικροοργανισμούς.....	20
1.7 Ποιότητα Πόσιμου Νερού.....	21
1.8 Ιδιότητες του Νερού.....	22
<b>2. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ</b>	
2.1 Γενικά.....	25
2.2 η Ιστορία της Φίλτρασης του Νερού.....	29
2.3 Οργανισμοί Πιστοποίησης της Απόδοσης, Ασφάλειας και Υγιεινής των Συστημάτων Κατεργασίας Νερού.....	30
2.4 Αερισμός του Νερού.....	30
2.5 Αποσκλήρυνση του Νερού.....	31
2.6 Επανανθράκωση του Νερού-Διόρθωση του pH.....	31

2.7 Εσχάρωση.....	32
2.8 Πρωτοβάθμια Καθίζηση.....	32
2.9 Προαπολύμανση του Νερού.....	33
2.10 Διόρθωση του pH.....	34
2.11 Ταχεία Ανάμιξη του Νερού με το Κροκιδωτικό.....	35
2.12 Κροκίδωση-Συσσωμάτωση-Καθίζηση.....	35
2.13 Χημική Κατακρίμνηση-Ιζηματοποίηση.....	39
2.14 Δύλιση.....	40
2.15 Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα.....	41
2.15.1 Προσρόφηση.....	41
2.15.2 Παρασκευή Ενεργού Άνθρακα.....	43
2.15.3 Δομή Ενεργού Άνθρακα.....	44
2.15.4 Αναγέννηση και Επανενεργοποίηση του Άνθρακα.....	45
2.15.5 Κινητική της Προσρόφησης.....	46
2.15.6 Εφαρμογές της Επεξεργασίας με Ενεργό Άνθρακα.....	47
2.16 Διήθηση-Διεργασίες Μεμβρανών.....	48
2.16.1 Γενικά.....	48
2.16.2 Αντίστροφη Ωσμωση.....	50
2.17 Ιοντοεναλλαγή.....	55
2.18 Απολύμανση του Νερού.....	56
2.18.1 Γενικά.....	56
2.18.2 Χλωρίωση του Νερού.....	58
2.18.3 Χλωρίωση και pH.....	60
2.18.4 Απολύμανση του Νερού με Όζον.....	63
2.18.5 Απολύμανση του Νερού με Υπεριώδη Ακτινοβολία.....	65
2.18.6 Διόρθωση του pH μετά τη Χλωρίωση.....	68
2.19 Διαχείριση της Ιλύος σε Ε.Ε.Ν.....	68

### **3. ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΟΙΚΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ**

3.1 Κριτήρια Επιλογής Φίλτρου Νερού.....	70
3.2 Κατηγορίες Φίλτρων.....	71
3.3 Το Φίλτρο ESPRING.....	77
3.4 Το Φίλτρο Αντίστροφης Ωσμωσης M5-RO-DIRECT-400.....	79

### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ** 83

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ** 84

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι μοναδικός φυσικός πόρος, τόσο διότι είναι απαραίτητο για την επιβίωση του ανθρώπου και των άλλων οργανισμών, όσο και διότι, σε μακροχρόνια κλίμακα, θεωρητικά η συνολική διαθέσιμη ποσότητα νερού σε κάθε περιοχή, είναι περίπου σταθερή.

Το παραδοσιακό μοντέλο διαχείρισης των υδατικών πόρων, όπως και οποιουδήποτε άλλου φυσικού πόρου, στηρίζεται στην τεχνοκρατική αντίληψη, σύμφωνα με την οποία σημασία έχει η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική πρόοδος και συνεπώς κάθε φυσικός πόρος αποτελεί μία από τις συνιστώσες της ανάπτυξης αυτής. Το αποτέλεσμα της μακροχρόνιας εφαρμογής του μοντέλου αυτού εκδηλώνεται τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα στις αναπτυγμένες περιοχές, με την ανεπάρκεια νερού, η οποία οφείλεται στην αύξηση των απαιτήσεων σε νερό και την υποβάθμιση της ποιότητάς του.

Ο όρος «ποιότητα του νερού» δεν συνιστά από μόνος του μία συγκεκριμένη αξία διότι υπόκειται εννοιολογικά και πρακτικά σε συνεχείς μεταβολές και συνεπώς πρέπει να θεωρείται και να μελετάται σε σχέση με τα οικολογικά συστήματα και τις διαφορετικές χρήσεις του νερού. Μόνο μία λεπτομερής ανάλυση των ποσοτικών και ποιοτικών απαιτήσεων των διαφορετικών χρήσεων του νερού, μπορεί να οδηγήσει στην εκτίμηση της ποιότητας και της επάρκειας ή της ανεπάρκειας των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η φυσική ποιότητα των υδατικών πόρων μεταβλήθηκε σημαντικά εξαιτίας των διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων και χρήσεων του νερού. Οι περισσότερες περιπτώσεις ρύπανσης αναπτύχθηκαν βαθμιαία μέχρις ότου έγιναν φανερές και μετρήσιμες. Χρειάστηκε πολύς χρόνος μέχρι να φτάσει ο άνθρωπος στην αναγνώριση των προβλημάτων ρύπανσης και ακόμα περισσότερος για να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις και οι έλεγχοι. Στα μέσα του εικοστού αιώνα και ταυτόχρονα με τη μεγάλη βιομηχανική ανάπτυξη, εμφανίστηκε στα μεγάλα ποτάμια της Ευρώπης και Β. Αμερικής, το πρόβλημα της σοβαρής εποχιακής μείωσης του οξυγόνου, το οποίο οφειλόταν στην υπερφόρτωση των ποταμών με αποικοδομούμενα οργανικά λύματα αστικής και βιομηχανικής προέλευσης. Το γεγονός αυτό προκάλεσε γενική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών τους.

Το πρόβλημα αυτό ακολούθησαν και άλλα διαφορετικής μορφής, έκτασης και έντασης ποιοτικά προβλήματα (ευτροφισμός, συσσώρευση

βαρέων μετάλλων και οργανικών μικρορρύπων, οξίνιση και τέλος αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών).

Η υπερφόρτιση των υδατορευμάτων με βιοαποικοδομήσιμα οργανικά απόβλητα από τους παρόχθιους οικισμούς και βιομηχανίες αντιμετώπιστηκε με την εγκατάσταση βιολογικών σταθμών επεξεργασίας και το αποτέλεσμα ήταν η βαθμιαία αποκατάσταση της ποιότητας του νερού των ποταμών. Παράλληλα όμως εμφανίστηκε το πρόβλημα του ευτροφισμού, που οφείλεται στις εισροές κυρίως φωσφόρου και αζώτου. Ο έλεγχος του ευτροφισμού επιτεύχθηκε με την μείωση του φωσφόρου, ενός από τα βασικά θρεπτικά συστατικά, αν και η αποκατάσταση των λιμνών και ταμιευτήρων γίνεται βραδέως και για την πλήρη αποκατάσταση τους απαιτείται αρκετός χρόνος.

Στη δεκαετία του 1970 νέα προβλήματα εμφανίζονται από τη βαθμιαία αύξηση των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα και στο νερό των ποταμών και λιμνών. Η βιοσυσσώρευση στα ψάρια είχε σαν αποτέλεσμα την ανάγκη επέμβασης στις πηγές τους, ιδιαίτερα των πιο επιβλαβών μετάλλων, όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος. Την ίδια περίοδο η ρύπανση του περιβάλλοντος εισέρχεται σε μια νέα φάση από την παραγωγή και χρήση πολλών συνθετικών ουσιών. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχουν αυτές παντού σήμερα στα υπόγεια και επιφανειακά νερά.

Οι επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων και των οικοσυστημάτων άρχισαν να μελετούνται εντατικά και η έρευνα για τον έλεγχο, μείωση ή περιορισμό τους αποτελούν την κύρια προσπάθεια των επόμενων ετών.

Άλλα προβλήματα που εμφανίστηκαν αυτή την περίοδο είναι η ατμοσφαιρική μεταφορά των αερίων ρύπων από τις καύσεις των ορυκτών καυσίμων, η οξίνιση των λιμνών και των ποταμών και η μεταφορά των ρύπων αυτών στα υπόγεια νερά.

Από τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του ογδόντα παρατηρήθηκε ότι τα νιτρικά στα υπόγεια και επιφανειακά νερά σε πολλές περιπτώσεις υπερβαίνουν τα συνιστώμενα όρια. Η αιτία είναι η εκτεταμένη χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων και των στερεών αποβλήτων (ζώων και λάσπης βιολογικών σταθμών).

Σήμερα τα προβλήματα παθογένειας, ελλείμματος οξυγόνου, ευτροφισμού και βαρέων μετάλλων με την έρευνα που επιτελείται και την ανάπτυξη τεχνικών είναι υπό έλεγχο. Τα προβλήματα όμως των νιτρικών, των συνθετικών οργανικών ουσιών, της οξίνισης απαιτούν μία νέα και διαφορετική διαχείριση των περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια τα περιβαλλοντικά προβλήματα επεκτείνονται σε παγκόσμια κλίμακα. Στα προβλήματα αυτά περιλαμβάνονται η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου από την αύξηση των εκπομπών κυρίως του CO<sub>2</sub>, η αύξηση του επιπέδου της θάλασσας από το λιώσιμο των πάγων των πόλων, οι μεγάλες και καταστροφικές πλημμύρες λόγω της



αύξησης της ραγδιότητας των βροχών, και η ερημοποίηση νέων εκτάσεων λόγω των κλιματικών αλλαγών.

Σήμερα χρησιμοποιούνται μεγάλες συσκευές φιλτραρίσματος του νερού που προωθείται στο δίκτυο ύδρευσης των πόλεων. Το φιλτράρισμα όμως δεν είναι από μόνο του αρκετό για να θεωρηθεί το νερό καθαρό. Χρειάζεται να περάσει και από ένα ακόμη στάδιο, αυτό της απολύμανσης.

Σε γενικές γραμμές, αν θέλουμε να περιγράψουμε τη διαδικασία καθαρισμού του νερού πρέπει να αναφερθούμε στα παρακάτω βασικά σημεία:

- Το νερό μπορεί να περιέχει διάφορα συστατικά σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από αυτές που επιτρέπονται από τις προδιαγραφές ή που είναι αποδεκτές από τους καταναλωτές
- Κατά την επεξεργασία τα ανεπιθύμητα συστατικά του νερού απομακρύνονται με κατάλληλες φυσικές ή χημικές διεργασίες.
- Τα συστατικά που αφαιρούνται μεταφέρονται και η διαχείρισή τους γίνεται με τρόπο που δεν προκαλούνται δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- Η επεξεργασία νερού συνήθως γίνεται σε διαδοχικά στάδια (στα οποία γίνεται αφαίρεση διαφόρων συστατικών) και κάθε στάδιο αντιστοιχεί σε μια διεργασία, αν και σε μερικές περιπτώσεις ένα στάδιο μπορεί να περιέχει περισσότερες από μία διεργασίες.
- Η επιλογή του συστήματος επεξεργασίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του νερού του υδατικού αποθέματος και από τα επιδιωκόμενα χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου νερού.

Στη σημερινή εποχή το θέμα της ποιότητας του νερού σε πολλές περιοχές της Ελλάδας προκαλεί την ανησυχία όλο και περισσότερων καταναλωτών. Το δίκτυο διανομής σε πολλές περιπτώσεις είναι απαρχαιωμένο και ακατάλληλο. Παρόλο που τα συστήματα παροχής νερού της πόλης εφαρμόζουν διεργασίες καθαρισμού του νερού (όπως φιλτράρισμα και χλωρίωση) πολλοί ρύποι μπορούν τελικά να περάσουν με την παροχή ύδρευσης στα νοικοκυριά.

Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ευρέως τα οικιακά φίλτρα. Μία έξυπνη λύση είναι το φίλτρο κεντρικής παροχής που συνδέεται στην κεντρική γραμμή νερού έτσι ώστε το νερό που μπαίνει στο σπίτι να είναι καθαρό και απαλλαγμένο από ένα μεγάλο μέρος των ρύπων χωρίς την ανάγκη για εγκατάσταση επιπλέον ξεχωριστών φίλτρων.

# 1. ΡΥΠΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η καθαρότητα των φυσικών νερών έχει ιδιαίτερη σημασία για το περιβάλλον, μιας και το νερό αποτελεί βασικό παράγοντα για τη διατήρηση της ζωής. Η χρήση του νερού και διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες υποβαθμίζουν ποιοτικά το νερό.

**Ρύπανση** (pollution) θεωρείται οποιαδήποτε υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού. Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60 της Ε.Ε για την πολιτική των νερών, ρύπανση ορίζεται: η, συνεπεία ανθρώπινων δραστηριοτήτων, άμεση ή έμμεση εισαγωγή, στον αέρα, το νερό ή το έδαφος, ουσιών ή θερμότητας που μπορούν να είναι επιζήμια για την υγεία του ανθρώπου ή την ποιότητα των υδατικών οικοσυστημάτων ή των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από υδατικά οικοσυστήματα, συντελούν στη φθορά υλικής ιδιοκτησίας, ή επηρεάζουν δυσμενώς ή παρεμβαίνουν σε λειτουργίες αναψυχής ή σε λοιπές νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος.

Η **μόλυνση** (contamination) περιορίζεται στη ρύπανση εκείνη που αποτελεί κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου. Η μόλυνση έχει μικροβιακό χαρακτήρα και συνδέεται με την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

**Ρυπαντής ή ρύπος ή ρυπαντική ουσία** είναι κάθε διαλυτή (υδρόφιλη π.χ. ανόργανα άλατα) ή αδιάλυτη (υδρόφοβη, π.χ. υδρογονάνθρακες, PCBs, διαλύτες κ.τ.λ.) στο νερό, ουσία, η οποία όταν εισάγεται στο περιβάλλον από ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλεί δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι πιο συνηθισμένοι ρυπαντές, που με διάφορους τρόπους καταλήγουν στα νερά είναι:

- 1) Βαρέα μέταλλα (Hg, Pd, Cd κ.ά.)
- 2) Τοξικά στοιχεία και ενώσεις (As, Se, CN- κ.ά.)
- 3) Ανόργανες ενώσεις ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$  κ.ά.)
- 4) Οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κ.ά.).
- 5) Ραδιενεργές ουσίες
- 6) Παθογόνοι μικροοργανισμοί (βακτήρια και ιοί)

Ποιοτική υποβάθμιση των νερών συμβαίνει επίσης λόγω θερμικής αλλοίωσης από νερά ψύξης των βιομηχανιών και από υφαλμύριση του γλυκού νερού στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες.

## **1.2 ΡΥΠΑΝΤΕΣ**

### **1.2.1 Βαρέα Μέταλλα και Ανόργανες Ενώσεις**

#### **Μόλυβδος**

Ο μόλυβδος είναι ένα από τα μέταλλα που έχουν τα πιο καταστρεπτικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Μπορεί να εισαχθεί στο ανθρώπινο σώμα μέσω της λήψης των τροφίμων (65%), του νερού (20%) και του αέρα (15%). Μπορεί να εισχωρήσει στο (πόσιμο) νερό μέσω της διάβρωσης των σωλήνων. Αυτό είναι πιθανότερο να συμβεί όταν το νερό είναι ελαφρώς όξινο.

Ο μόλυβδος μπορεί να προκαλέσει διάφορα ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως:

- Διάσπαση της βιοσύνθεσης της αιμογλοβίνης και αναιμία
- Αύξηση στην πίεση του αίματος
- Βλάβη στα νεφρά
- Αποβολές
- Διατάραξη του νευρικού συστήματος
- Βλάβες στον εγκέφαλο
- Μειωμένη γονιμότητα στους άντρες λόγω βλάβης στο σπέρμα
- Μειωμένες δυνατότητες εκμάθησης στα παιδιά
- Διαταραχές συμπεριφοράς στα παιδιά, όπως επιθετικότητα, παρορμητική συμπεριφορά και υπερκινητικότητα.

Ο μόλυβδος μπορεί να περάσει σε ένα έμβρυο μέσω του πλακούντα της μητέρας. Λόγω αυτού μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στο νευρικό σύστημα και τον εγκέφαλο των αγέννητων παιδιών. Τα παιδιά απορροφούν 3 φορές περισσότερο μόλυβδο από τους ενήλικες. Έρευνες δείχνουν πως υψηλά επίπεδα μολύβδου μέσα στο αίμα προκαλούν μείωση της εξυπνάδας και νοημοσύνης των παιδιών.

#### **Νιτρικά άλατα**

Τα νιτρικά άλατα είναι καρκινογόνες ουσίες που μολύνουν το περιβάλλον και το νερό μέσω των εμπορικών λιπασμάτων. Τα νιτρικά άλατα στο πόσιμο νερό μπορεί να προκαλέσουν κυάνωση, δηλαδή μείωση της ικανότητας μεταφοράς οξυγόνου του αίματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο στα νήπια ηλικίας κάτω των έξι μηνών. Επίσης η

αυξημένη κατανάλωσή τους μέσω του νερού αυξάνει τα ποσοστά εμφάνισης καρκίνου της ουροδόχου κύστης στις γυναίκες.

### **Χλώριο**

Το χλώριο που προστίθεται στο νερό για να εξουδετερώσει τους παθογόνους μικροοργανισμούς, ενώνεται με οργανικές ενώσεις, όπως τα λιπάσματα και δημιουργεί νέες ενώσεις που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στους ανθρώπους και ιδιαίτερα σε έγκυες γυναίκες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να έχουν οι γυναίκες που ζουν σε αγροτικές περιοχές ως προς το νερό που καταναλώνουν. Τα χλωριωμένα παράγωγα που βρίσκονται στο πόσιμο νερό αυξάνουν τον κίνδυνο για την εμφάνιση καρκίνου ουροδόχου κύστης, ήπατος και νεφρών.

### **Εξασθενές Χρώμιο**

Η εισαγωγή στον οργανισμό μεγάλων ποσοτήτων εξασθενούς χρωμίου μέσω των μολυσμένων τροφών ή του πόσιμου νερού είναι δυνατόν, να προκαλέσουν στομαχικές διαταραχές και έλκη, σπασμούς, καταστροφή των νεφρών και του ήπατος ακόμα και θάνατο, ανάλογα με το επίπεδο μόλυνσης.

Μελέτες και στατιστικά αποτελέσματα απέδειξαν τον αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης καρκίνου μετά από έκθεση σε εξασθενές χρώμιο. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, και η Διεύθυνση Υγείας και Ανθρωπίνων Υπερεσιών των Η.Π.Α. κατέταξε τις ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου ως καρκινογόνες για τον άνθρωπο.

#### **1.2.2 Παθογόνοι Μικροοργανισμοί**

Στο πόσιμο νερό είναι δυνατή η εμφάνιση κολοβακτηριδίων. Τα κολοβακτηρίδια είναι μία ομάδα μικροοργανισμών που συνήθως συναντώνται στη χλωρίδα του εντέρου του ανθρώπου και σε άλλα θερμόαιμα ζώα, καθώς επίσης και σε επιφανειακά ύδατα. Όταν οι οργανισμοί αυτοί ανιχνευτούν στο νερό αυτό σημαίνει ότι πιθανότητα υπάρχει μόλυνση από κάποια πηγή. Το πόσιμο νερό δεν πρέπει να περιέχει κολοβακτηρίδια.

Οι ζύμες και οι ιοί μπορούν επίσης να καταστήσουν επικίνδυνο το πόσιμο νερό. Είναι μικροβιακοί μολυσματικοί παράγοντες που βρίσκονται συνήθως στα επιφανειακά ύδατα. Παραδείγματα είναι το κύστες giardia και το κρυπτοσπορίδιο. Το giardia είναι ένας μονοκύτταρος οργανισμός που προκαλεί γαστρεντερικά συμπτώματα. Το κρυπτοσπορίδιο είναι ένα παράσιτο που θεωρείται μια από τις σημαντικότερες αιτίες διαρροϊκής ασθένειας στους ανθρώπους. Η λεγεωνέλα είναι ένα βακτηρίδιο που αυξάνεται γρήγορα όταν το νερό διατηρείται σε θερμοκρασία μεταξύ 30 και 40 βαθμών κελσίου για μια μεγάλη χρονική περίοδο. Αυτό το βακτηρίδιο μπορεί να εισπνευστεί όταν

εξατμίζεται το νερό και να εισαχθεί στο ανθρώπινο σώμα από τα αερολύματα. Τα βακτηρίδια μπορούν να προκαλέσουν ένα είδος γρίπης, γνωστό ως "Pontiac fever", αλλά μπορεί επίσης να προκαλέσουν τη θανάσιμη νόσο των λεγεωνάριων.

### 1.2.3 Οργανικοί Ρυπαντές

Τα φυσικά οργανικά αποτελούν συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό των οργανικών ενώσεων, που απαντούν στο νερό. Τα οργανικά συστατικά στο πόσιμο νερό προέρχονται, είτε από φυσική αποικοδόμηση υλικών φυτικής ή ζωικής προέλευσης, είτε από βιομηχανική, αστική ή αγροτική ρύπανση. Η συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων στο νερό μπορεί να κυμαίνεται από το μηδέν, σε ορισμένα καθαρά υπόγεια νερά, έως μερικές δεκάδες mg/L, σε επιφανειακά νερά, που έχουν ρυπανθεί.

#### Ακρυλαμίδιο ( $C_3H_5NO$ )

Το ακρυλαμίδιο στο πόσιμο νερό προκύπτει από τη χρήση πολυακρυλαμιδίου στην επεξεργασία του νερού σαν βελτιωτικό κροκίδωσης. Το ακρυλαμίδιο που λαμβάνεται με το πόσιμο νερό απορροφάται εύκολα από τον οργανισμό και με τα υγρά του σώματος διασκορπίζεται σε όλους τους ιστούς. Για το λόγο αυτό, ορίζεται ως ανώτερο επιτρεπτό όριο πρόσληψης στο πόσιμο νερό το 0,1 mg/L.

#### Βενζόλιο ( $C_6H_6$ )

Το βενζόλιο και τα αλκυλοβενζόλια, όπως το τολουόλιο, παράγονται κυρίως από το πετρέλαιο και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη χημική βιομηχανία για την παραγωγή απορρυπαντικών, πλαστικών, καθώς επίσης και για τη βελτίωση των καυσίμων. Επειδή είναι πτητικά, οι συγκεντρώσεις τους στα επιφανειακά νερά είναι μικρές. Ως ανώτερο επιτρεπτό όριο πρόσληψης ορίζεται το 1 mg/L.

#### Βινυλοχλωρίδιο ( $C_2H_3Cl$ )

Τα χλωροαιθυλένια είναι ενώσεις που χρησιμοποιούνται κυρίως σαν διαλύτες. Εξαιτίας αυτής της εκτενούς χρήσης τους συναντώνται συχνά στα πόσιμα νερά. Στα υπόγεια νερά βρίσκονται σε συγκεντρώσεις της τάξης του 1mg/L, ενώ στα επιφανειακά νερά απαντούν σε μικρότερες συγκεντρώσεις, εξαιτίας της μεγάλης πτητικότητάς τους.

Η πιο γνωστή ένωση της κατηγορίας αυτής είναι το βινυλοχλωρίδιο (PVC). Το βινυλοχλωρίδιο στο νερό μπορεί να προκύψει είτε από βιομηχανική ρύπανση του επιφανειακού και του υπόγειου νερού, είτε από τη μεταφορά απολυμέριστου μονομερούς από σωλήνες PVC που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του νερού. Ως ανώτερο επιτρεπτό όριο ορίζεται το 0,5 mg/L.

### **Επιχλωρυδρίνη (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>ClO)**

Η επιχλωρυδρίνη χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή γλυκερόλης και μη τροποποιημένων εποξικών ρητινών, και σε μικρότερο βαθμό στην κατασκευή ρητινών επεξεργασίας νερού, ρητινών ιοντοανταλλαγής, φαρμακευτικών προϊόντων, γαλακτοποιητών λαδιού, λιπαντικών και συγκολλητικών. Μπορεί να βρεθεί στο νερό λόγω βιομηχανικής ρύπανσης, χρήσης κροκιδωτικών επεξεργασίας νερού που την περιέχουν, ή λόγω έκπλυσης από εποξικές ρητίνες που χρησιμοποιούνται για εσωτερική βαφή των αγωγών μεταφοράς. Ως ανώτερο επιτρεπτό όριο στο νερό ορίζεται το 0,1 µg/L.

### **Παρασιτοκτόνα και συναφή προϊόντα**

Τα παρασιτοκτόνα είναι χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την καταστροφή διάφορων ανεπιθύμητων φυτικών και ζωικών οργανισμών που εμφανίζονται στις καλλιέργειες. Σήμερα υπάρχουν περισσότερες από 10000 ενώσεις και μίγματά τους που χρησιμοποιήθηκαν ή χρησιμοποιούνται σαν παρασιτοκτόνα. Από την αλόγιστη χρήση τους δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα, επειδή δεν είναι βιοαποδομήσιμα και συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Έτσι, σημαντικές ποσότητες διαλύονται από το νερό, υποβαθμίζοντας την ποιότητά του. Όχι μόνο δεν είναι απαραίτητα στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά ακόμη και σε ελάχιστες συγκεντρώσεις προκαλούν σοβαρές διαταραχές στην υγεία. Ως ανώτερο επιτρεπτό όριο στο νερό ορίζεται το 0,5 µg/L.

### **Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH)**

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι οργανικές ενώσεις που έχουν στο μόριό τους δύο ή και περισσότερους αρωματικούς δακτυλίους. Αποτελούν μια από τις πιο επικίνδυνες κατηγορίες ρύπων του περιβάλλοντος, γιατί έχουν μεταλλαξιγόνες και καρκινογόνες ιδιότητες. Έχουν χαμηλή διαλυτότητα στο νερό λόγω του μεγάλου τους μοριακού βάρους, και προσροφώνται ισχυρά σε αιωρούμενα στερεά. Η ανώτερη παραδεκτή συγκέντρωσή τους είναι 0,2 µg/L για το πόσιμο νερό, 1 µg/L για τα επιφανειακά νερά και 100 µg/L για τα λύματα.

### **Τριαλομεθάνια (CHX<sub>3</sub>)**

Με τον όρο τριαλομεθάνια εννοούμε μια κατηγορία οργανικών ενώσεων που απαντούν στο πόσιμο νερό και προέρχονται από την αντίδραση του χλωρίου με οργανικά συστατικά φυτικής συνήθως προέλευσης. Τα τριαλομεθάνια στο πόσιμο νερό προκύπτουν ως παραπροϊόντα της απολύμανσης με χλώριο. Το υποχλωριώδες οξύ οξειδώνει το ιόν του βρωμίου σε υποβρωμιώδες οξύ που στη συνέχεια, αντιδρά με οργανικές ενώσεις, όπως το χουμικό οξύ και το φουλβικό οξύ,

για να σχηματίσει βρωμιωμένα τριαλομεθάνια. Το χλώριο ακόμη, αντιδρά με ορισμένες οργανικές ενώσεις και σχηματίζει χλωροφόρμιο. Σε έρευνες που διεξήχθησαν σε ΗΠΑ και Καναδά, έχουν εντοπιστεί σημαντικές συγκεντρώσεις τριαλομεθανίων από χρήσεις επιφανειακών και υπόγειων νερών. Η ανώτερη παραδεκτή συγκέντρωσή τους είναι τα 100 µg/L.

### **Φαινόλες-χλωροφαινόλες**

Οι φαινόλες είναι αρωματικές ενώσεις στις οποίες η υδροξυ-ομάδα είναι απευθείας ενωμένη με τον αρωματικό δακτύλιο. Μερικές φαινολικές ενώσεις είναι τοξικές για τον άνθρωπο και ειδικά οι χλωροφαινόλες προσδίδουν άσχημη οσμή και γεύση στο νερό. Όταν οι χλωροφαινόλες υπερβούν τα 0,1µg/L στο πόσιμο νερό, τότε είναι τοξικότερες ενώσεις από τις φαινόλες.

Ο καλύτερος τρόπος για τον έλεγχο της ρύπανσης του πόσιμου νερού από τις χλωροφαινόλες, είναι είτε η παρεμπόδιση της ρύπανσης των διαφόρων υδροφορέων από τις φαινόλες και τα χλωριωμένα φαινολικά παρασιτοκτόνα, είτε η απομάκρυνσή τους με οξειδωτικές διαδικασίες ή η προσρόφησή τους σε ενεργό άνθρακα.

Στη χώρα μας, το ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης φαινολών στο πόσιμο νερό είναι 1 µg/L.

Οι επιπτώσεις των οργανικών συστατικών του πόσιμου νερού στην υγεία αποτελούν ένα σημαντικό θέμα συζήτησης, χωρίς όμως να υπάρχει αμφιβολία ότι έκθεση σε μεγάλες δόσεις προκαλεί σοβαρές ασθένειες. Ωστόσο, συγκεντρώσεις αρκετά μεγάλες ώστε να προκαλέσουν αυτές τις επιδράσεις, σπάνια βρίσκονται στο πόσιμο νερό. Η πρόσληψη των οργανικών ρυπαντών με το νερό και τα τρόφιμα έχει ως αποτέλεσμα, τη συγκέντρωσή τους στον οργανισμό με μεγαλύτερη ταχύτητα από εκείνη με την οποία απελευθερώνονται ή αποικοδομούνται.

Η σημαντικότερη επίπτωση κατά τη λήψη για μεγάλο χρονικό διάστημα νερού με οργανικούς ρυπαντές είναι η πρόκληση καρκίνου. Εκτός από τον καρκίνο, οι μικρορυπαντές του πόσιμου νερού εγκυμονούν και άλλες απειλές για την ανθρώπινη υγεία.

Το νερό εγκυμονεί κινδύνους εξαιτίας της απορρόφησης των ρυπαντών από την επιδερμίδα κατά τη διάρκεια του μπάνιου, οι οποίοι είναι παρόμοιοι σε μέγεθος με εκείνους της άμεσης απορρόφησης. Εξάτμιση των ρυπαντών του νερού μέσα στο σπίτι, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αέριων ρυπαντών οι οποίοι απειλούν επίσης την υγεία.

Συμπερασματικά, οι ποσότητες των καρκινογόνων ενώσεων που προσλαμβάνει ο άνθρωπος από το πόσιμο νερό, είναι αμελητέες σε σχέση με τη συνολική πρόσληψη.

### 1.3 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι πηγές ρύπανσης ταξινομούνται ανάλογα με:

#### (α) Γεωμετρία

1. σημειακές (ΧΥΤΑ, χωματερές, βόθροι, υπόγειες δεξαμενές)
2. γραμμικές (δρόμοι, αύλακες)
3. διάχυτες (νιτρορρύπανση, όξινη βροχή)

**Σημειακές πηγές ρύπανσης** χαρακτηρίζονται όλες οι πηγές που εκβάλλουν ρύπους σε εντοπισμένα σημεία. Αυτά είναι τα άκρα αγωγών, τάφρων ή αποχετευτικών δικτύων που καταλήγουν σε υδάτινους αποδέκτες. Σε αυτή την κατηγορία ταξινομούνται οι βιομηχανικές μονάδες, οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων που απομακρύνουν μέρος των ρύπων, ενεργά η εγκαταλελειμμένα ορυχεία, πετρελαιοπηγές και τάνκερς. Επειδή βρίσκονται σε συγκεκριμένο μέρος, συνήθως σε αστικές περιοχές, είναι σχετικά εύκολος ο εντοπισμός τους και κατά συνέπεια η παρακολούθησή τους.

**Μη σημειακές πηγές ρύπανσης** είναι πηγές οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν σε κανένα ειδικό σημείο απορροής. Είναι συνήθως μεγάλες περιοχές που ρυπαίνουν το νερό με επιφανειακή απορροή, υπεδάφια ροή ή απόθεση στην ατμόσφαιρα. Τέτοιες είναι, για παράδειγμα, οι απορροές χημικών στα επιφανειακά νερά και η διαρροή τους στο έδαφος μέσα από χωράφια, υλοτομημένα δάση, ζωοτροφές, δρόμους, αποχετεύσεις κ.ά. Εκτιμάται ότι σε χώρες με αγροτική παραγωγή η γεωργική ρύπανση, υπό τη μορφή στερεών αποθέσεων, ανόργανων λιπασμάτων, κοπριάς, αλάτων διαλυμένων στο νερό άρδευσης και παρασιτοκτόνων, είναι υπεύθυνη για πάνω από το 60% των συνολικών ρύπων που φτάνουν σε ποτάμια και λίμνες. Ο έλεγχος της ρύπανσης αυτού του τύπου είναι πολύ δυσχερής, επειδή είναι δύσκολο να εντοπιστούν οι τόσο διαφορετικές και διεσπαρμένες πηγές ρύπανσης.

#### (β) Ρυθμός εκπομπής

1. συνεχούς εκπομπής
2. στιγμιαίας εκπομπής

Οι περισσότερες πηγές ρύπανσης του γεωπεριβάλλοντος δηλαδή του εδάφους και των υπόγειων νερών, προέρχονται από τις παρακάτω δραστηριότητες:

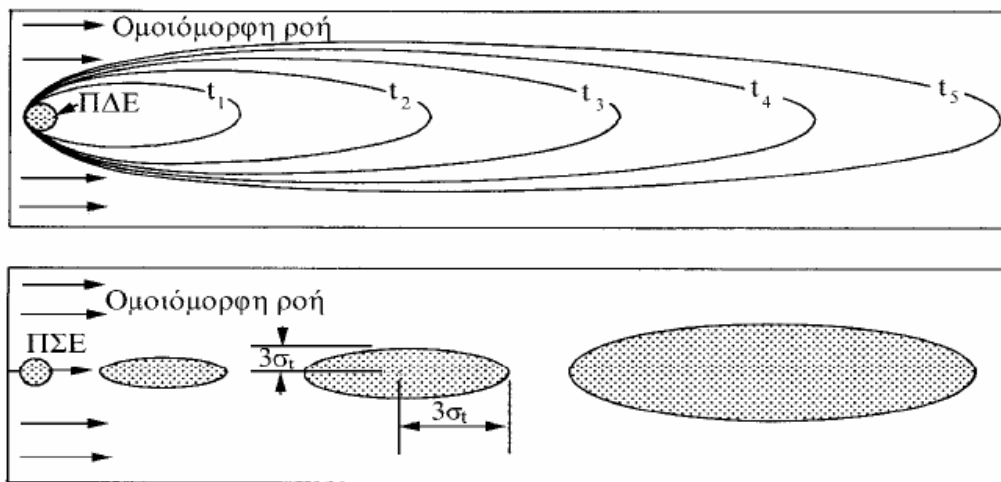
- Απόρριψη υγρών και στερεών αποβλήτων (λύματα, σκουπίδια κ.ά.)
- Χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων
- Διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων



- Προϊόντα μεταλλευτικής δραστηριότητας
- Διάθεση πυρηνικών αποβλήτων

Στις περιπτώσεις που η ρύπανση των υπόγειων νερών οφείλεται σε φυσικά αίτια, αυτό αποδίδεται: στην επίδραση ευδιάλυτων πετρωμάτων (γύψος, ορυκτό αλάτι κ.ά.), στην έντονη εξάτμιση, που προκαλεί ανύψωση του υπόγειου νερού και απόθεση αλάτων, στην οξείδωση των πετρωμάτων και στη διείσδυση της θάλασσας.

Το γεωμετρικό σχήμα της ρύπανσης ονομάζεται πλούμιο ή θύσανος (plume). Στο Σχήμα 1.1 φαίνεται το πλούμιο από μια σημειακή πηγή ρύπανσης.



Σχήμα 1.1 Πλούμιο ρύπανσης σε ισότροπο υδροφόρο από σημειακή πηγή συνεχούς (επάνω) και στιγμιαίας (κάτω) εκπομπής ρυπαντή [3].

Αναλυτικά οι κυριότερες πηγές ρύπανσης περιγράφονται παρακάτω.

**Οικιακά λύματα** (domestic sewage) ονομάζονται γενικά τα υγρά απόβλητα των κατοικιών, ιδρυμάτων ή άλλων εγκαταστάσεων μιας περιοχής, που είναι συνδεδεμένες με τις λειτουργίες της πόλης (ζαχαροπλαστεία, μαγειρεία, πλυντήρια). Αποτελούνται κατά μεγάλο ποσοστό από νερό, που περιέχει οργανικά και ανόργανα προϊόντα. Η δυσάρεστη οσμή τους οφείλεται στο οργανικό υλικό που υφίσταται αναερόβια βακτηριακή δράση. Το χρώμα των αποβλήτων είναι ενδεικτικό της ηλικίας και της προέλευσής τους. Τα οργανικά υλικά στα λύματα είναι συνήθως: χαρτιά, ούρα, κόπρανα, σαπούνια, απορρυπαντικά, υπολείμματα τροφών, έλαια, λίπη. Τα ανόργανα

συστατικά είναι: αμμωνία, άλατα του αμμωνίου, άργιλος κ.ά. Η ποσότητα των παραγόμενων λυμάτων ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και από χώρα σε χώρα. Η μέση ημερήσια παραγόμενη ποσότητα κυμαίνεται από 150-500 L/άτομο.

Η διάθεση λυμάτων στους αποδέκτες δημιουργεί έντονα προβλήματα ρύπανσης, όπως: ευτροφισμό, ρύπανση υπόγειων υδροφορέων, ελάττωση της ικανότητας αυτοκαθαρισμού των νερών, καταστροφή των βιοκοινωνιών τους κ.ά. Επειδή στη σύγχρονη κοινωνία η κατανάλωση νερού έχει αυξηθεί κατά πολύ οι μικροοργανισμοί που ζουν στη θάλασσα (αποδομητές) δεν προλαβαίνουν να διασπάσουν τις μεγάλες ποσότητες οικιακών λυμάτων που καταλήγουν εκεί. Μερικές φορές μάλιστα δεν μπορούν να διασπάσουν κάποιες ενώσεις, όπως π.χ. χρώματα, απορρυπαντικά, κ.λπ.

Σε μικρούς οικισμούς οι σηπτικές δεξαμενές και οι απορροφητικοί βόθροι είναι οι πιο κοινοί τρόποι διάθεσης των οικιακών λυμάτων. Η συλλογική συγκέντρωση των λυμάτων και η μεταφορά τους σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού έχει σαν σκοπό την κατάλληλη επεξεργασία-καθαρισμό των λυμάτων για να επαναχρησιμοποιηθούν ή να διατεθούν ακίνδυνα σ' ένα υδατικό αποδέκτη ή στο έδαφος απαλλαγμένα από τα βλαβερά συστατικά.

Ως "βλαβερά" συστατικά των λυμάτων θεωρούνται:

- α) τα αιωρούμενα στερεά
- β) τα οργανικά συστατικά
- γ) οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο και φωσφόρος)

Ο βαθμός καθαρισμού μιας εγκατάστασης καθορίζεται από το ποια από τα προαναφερθέντα "βλαβερά" συστατικά απομακρύνει. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα συστατικά απομακρύνονται σχεδόν πάντα, οπότε ο καθαρισμός χαρακτηρίζεται πρωτοβάθμιος. Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός (βιολογικός) αποσκοπεί στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των παθογόνων μικροοργανισμών.

Τα αστικά λύματα επιβαρύνουν τους υδατικούς πόρους με βιοαποικοδομήσιμα υλικά και με θρεπτικά συστατικά που προκαλούν ευτροφίες. Πολλές λίμνες και κλειστοί κόλποι παρουσιάζουν προβλήματα ευτροφισμού με σημαντικές μεταβολές στο οικοσύστημά τους.

Ο τριτοβάθμιος καθαρισμός αποσκοπεί στην απομάκρυνση με χημικούς τρόπους και των θρεπτικών στοιχείων (P, N), τα οποία είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του ευτροφισμού.

**Βιομηχανικά απόβλητα** ονομάζονται τα υγρά απόβλητα διαφόρων βιομηχανιών, που δεν περιέχουν απόβλητα από χώρους εξυπηρέτησης

του προσωπικού. Τα βιομηχανικά απόβλητα είναι αποτέλεσμα της χρήσης νερού στη βιομηχανία, που έχει εμπλουτισθεί με διάφορα συστατικά σε μικρές ή μεγάλες συγκεντρώσεις και διακρίνονται σε βιολογικά και μη βιολογικά.

- Τα βιολογικά περιλαμβάνουν τα απόβλητα των εργοστασίων παραγωγής τροφίμων, παραγωγής χαρτιού και επεξεργασίας υφαντικών ινών.
- Τα μη βιολογικά είναι απόβλητα χημικών βιομηχανιών και περιέχουν ρυπαντές όπως: οξέα, βάσεις, χλώριο, κυανιούχα, μέταλλα, άλατα, υδρογονάνθρακες, φωσφορικά.

Τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα σε σύγκριση με τα αστικά λύματα παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά: Περιέχουν τοξικά στοιχεία, εμφανίζουν δυσκολία επεξεργασίας και μεγάλες διαφορές μεταξύ των αποβλήτων διαφόρων βιομηχανιών.

Ένα μέρος των βιομηχανικών αποβλήτων χαρακτηρίζονται ως **επικίνδυνα** (hazardous) και απαιτούνται αυστηροί περιβαλλοντικοί περιορισμοί για τη διάθεσή τους στο γεωπεριβάλλον. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και άλλα απόβλητα, όπως τα νοσοκομειακά.

Ο όρος **τοξικά** (toxic) χρησιμοποιείται για απόβλητα που περιέχουν ουσίες που προκαλούν σοβαρές βλάβες ή και θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα.

Γενικά, τα επικίνδυνα απόβλητα κατατάσσονται στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

1. Ανόργανα απόβλητα σε διάλυση ή αιώρηση που περιέχουν βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, υδράργυρος), αρσενικό, κάδμιο και κυανίδια.
2. Οργανικά υδατοδιαλυτά απόβλητα (Aqueous Phase Liquids-APLs)  
Ανήκουν τα απόβλητα της φαρμακευτικής βιομηχανίας, της βιομηχανίας γεωργικών φαρμάκων, διαλύτες, χρώματα.
3. Οργανικά μη υδατοδιαλυτά απόβλητα (Non-Aqueous Phase Liquids-NAPLs) Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα λιπαντικά, ελαιοχρώματα, ελαιώδεις διαλύτες, προϊόντα πετρελαίου. Τα μη αναμείξιμα εξ' αυτών με πυκνότητα μικρότερη του νερού **LNAPLs** (βενζίνη, πετρέλαιο κ.ά) επιπλέουν στο νερό και συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα, διαχεόμενα μόνον οριζόντια. Οι υδρογονάνθρακες έχουν τη δυνατότητα να παραμένουν επί πολύ χρόνο στην επιφάνεια των υπόγειων νερών, προσδίνοντας δυσάρεστη οσμή.

Τα βαρύτερα **DNAPLs** (χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες) κινούνται κατακόρυφα στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη και εγκαθίστανται πάνω στο αδιαπέρατο υπόβαθρο, ρυπαίνοντας έτσι τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες σε βάθος.

4. Απόβλητα με μορφή παχύρρευστων υγρών, ιλύος και στερεών Στην κατηγορία αυτή υπάγονται απόβλητα διυλιστηρίων και απόβλητα καθαρισμού των δεξαμενών πλοίων μεταφοράς πετρελαιοειδών.

Τα βιομηχανικά απόβλητα υποβάλλονται σε επεξεργασία για να απαλλαγούν από τους ρυπαντές και να διατεθούν εν συνεχεία στο περιβάλλον ή να επαναχρησιμοποιηθούν.

**Τα αστικά απορρίμματα** (municipal waste) αποτελούνται από τρόφιμα, χαρτί, γυαλί, πλαστικά, φυτικές ύλες, υφάσματα, ξύλο, ελαστικά κ.ά. Πιθανόν πολλές φορές να περιέχουν και μικρές ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων, όπως: χρώματα, ορυκτέλαια, απορρυπαντικά κ.τ.λ. Σε πολλές χώρες, λόγω εφαρμογής προγραμμάτων ανακύκλωσης σε χαρτί, μέταλλα, γυαλί τα απορρίμματα περιέχουν μικρές ποσότητες των υλικών αυτών. Τα απορρίμματα περιέχουν και ποσότητα νερού, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 25-60%. Τα στραγγίσματα ή διασταλάζοντα (leachates) από χώρους διάθεσης ή ταφής στερεών αποβλήτων είναι πλούσια σε ενώσεις του αζώτου, χλωριόντα, μόλυβδο, σίδηρο κ.ά. και μπορεί να αποτελέσουν σημαντική αιτία ρύπανσης και μόλυνσης των υπόγειων νερών.

**Τα απόβλητα μεταλλευτικής δραστηριότητας** (mining waste) παράγονται κατά την εξόρυξη ορυκτών πόρων σε ανθρακωρυχεία, μεταλλεία και αποτελούνται από ένα ετερογενές μίγμα νερού και κονιοροποιημένου ορυκτού και πιθανά περιέχουν και βαρέα μέταλλα, ως παραπροϊόντα.

Με τις διαδικασίες αποκάλυψης των μεταλλευμάτων αφαιρείται ο προστατευτικός εδαφικός μανδύας και έτσι οι πιθανοί ρύποι οδηγούνται κατευθείαν στους υδροφόρους ορίζοντες. Συχνά οι μεταλλευτικές εργασίες επεκτείνονται κάτω από την επιφάνεια του υπόγειου νερού και απαιτείται στράγγιση. Το νερό αυτό είναι πλούσιο σε μέταλλα, γνωστό ως όξινο νερό μεταλλείου. Οι εκσκαφές μετά το πέρας της εκμετάλλευσης χρησιμοποιούνται συνήθως σαν χώροι απόθεσης απορριμμάτων με πιθανή ρύπανση των υπόγειων νερών. Οι αποθέσεις τους, λόγω της μικρής διατμητικής αντοχής είναι ασταθείς και παρουσιάζουν μεγάλες καθιζήσεις.

Στην Ελλάδα το πρόβλημα εντοπίζεται στην παραγόμενη τέφρα των λιγνιτορυχείων (Μεγαλόπολη, Πτολεμαΐδα). Σε περιπτώσεις που τα παραγόμενα απόβλητα των ορυχείων ή διάφορα παραπροϊόντα (εξόρυξη λατομικών ορυκτών) δεν είναι επικίνδυνα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά για επιχωματώσεις κ.τ.λ.

### **Απόβλητα γεωργο-κτηνοτροφικής δραστηριότητας**

Το νερό που επιστρέφει από τις αρδεύσεις διηθείται παρασέρνοντας διαλυμένες ουσίες στα υπόγεια νερά. Έτσι στοιχεία που περιέχονται στα λιπάσματα οδηγούνται στο υπόγειο νερό, ειδικά σε περιπτώσεις διαπερατών εδαφικών σχηματισμών. Οι πλέον επικίνδυνοι ρύποι είναι τα νιτρικά ιόντα, τα οποία έχουν μεγάλη ευκινησία και μετακινούνται εύκολα από την ακόρεστη ζώνη στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Στην ακόρεστη ζώνη οι διαλυμένες ουσίες κινούνται κατακόρυφα προς την υπόγεια στάθμη και στην κορεσμένη ζώνη η υδραυλική κλίση προκαλεί την οριζόντια κίνηση του υπόγειου νερού και των ρύπων που περιέχονται σε αυτό.

Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων με αποτέλεσμα την αύξηση των νιτρικών ιόντων έχει οδηγήσει σε πλήρη υποβάθμιση πολλούς υδροφόρους ορίζοντες, κυρίως φρεάτιους σε πολλές περιοχές της χώρας μας.

Πίνακας 1.1 Πηγές ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών [3].

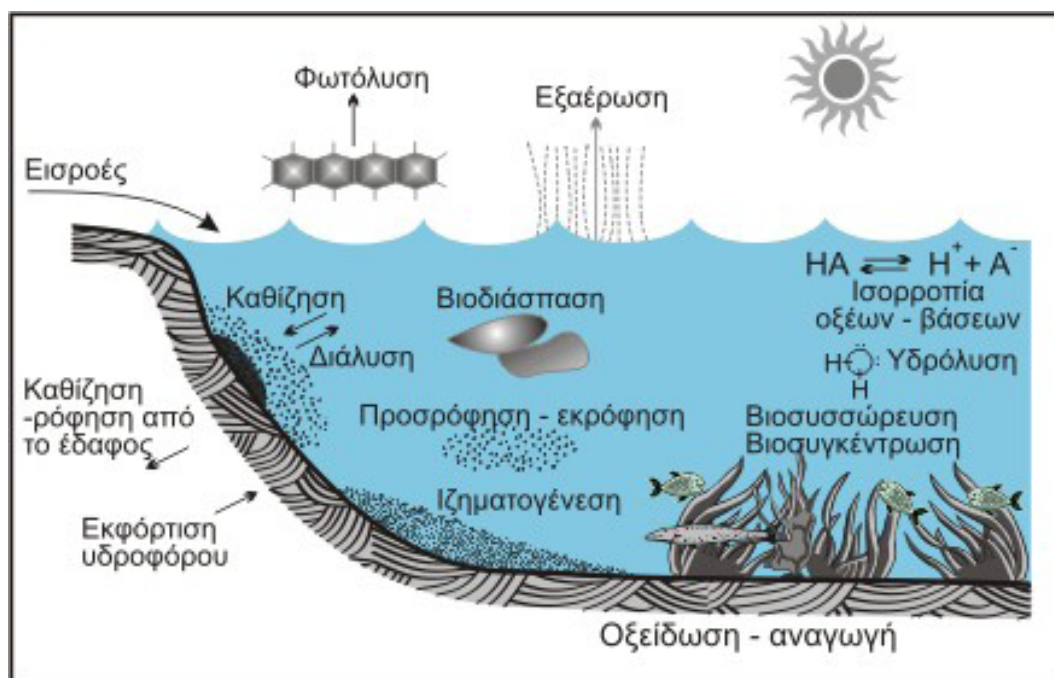
Πηγή	Είδος ρύπου	Επίδραση
Χημικές βιομηχανίες Μεταλλουργεία	Cu, Pb, Zn, Cd, Hg Co, Cr, Ag, As, CN	Συσσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Χημικές βιομηχανίες Βιομηχανίες τροφίμων Φαρμακευτικές βιομηχανίες Χαρτοποιεία	Φαινόλες, Αμμωνία Απορρυπαντικά, Ίνες χαρτιού	Ελαττώνουν το οξυγόνο Φαινόμενα ευτροφισμού Τοξικά προϊόντα (αμμωνία, φαινόλες) Ελάττωση της οικολογικής ποικιλότητας
Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)	Βαρέα μέταλλα, Αέρια Οργανικές ενώσεις, Ανόργανες ενώσεις	Ρύπανση υπόγειων υδροφόρων
Αγροτικές δραστηριότητες	Λιπάσματα, Εντομοκτόνα Παρασιτοκτόνα	Αύξηση νιτρικών ιόντων Καρκινογένεσις
Κτηνοτροφικές δραστηριότητες Σφαγεία	Αζωτο, Φωσφόρος Βακτήρια, Μύκητες	Ρύπανση και μόλυνση υπόγειων και επιφανειακών νερών
Οξίνη βροχή	Οξειδία S και N	Καταστροφή καλλιεργιών, δασών κ.λπ.
Πυρηνικοί σταθμοί	Ραδιενέργεια στο νερό	Γενετικές αλλοιώσεις Συσσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Διύλιστήρια Διαρροές υδρογονανθράκων	Υδρογονάνθρακες Πετρέλαιο, Ασφάλτος	Καταστροφή πανίδας και χλωρίδας Εμποδίζουν την οξυγόνωση του νερού
Μεταλλευτικές Δραστηριότητες	Αιωρούμενα στερεά, Ορυκτές ενώσεις Οξίνα απόβλητα	Ρύπανση αέρα και υπόγειων νερών Καθιζήσεις εδάφους
Ενεργειακοί σταθμοί Βιομηχανίες	Θερμό νερό	Θανάτωση των αυγών των ψαριών Ελάττωση του O <sub>2</sub> , αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού των οργανισμών
Διείσδυση της θάλασσας	Αλατα	Καταστροφή παράκτιων υδροφόρων οριζόντων

Σημαντικές ποσότητες νερού από αυτές που χρησιμοποιούνται για άρδευση (περίπου το 10%) επιστρέφουν και τροφοδοτούν τον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα (irrigation return flow). Το νερό αυτό είναι εμπλουτισμένο σε άλατα, τα οποία προστίθενται με τη διαδικασία της διάλυσης κατά την άρδευση ή στα άλατα των λιπασμάτων. Επικρατούντα ιόντα στην επιστρεφόμενη αρδευτική ροή είναι  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

Το νερό αυτό αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης των υπόγειων νερών, ειδικά στις περιοχές, όπου εφαρμόζεται εντατική άρδευση.

Τα φυτοφάρμακα (εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, παρασιτοκτόνα) που χρησιμοποιούνται εντατικά στη γεωργία τις τελευταίες δεκαετίες αποτελούν σημαντικούς ρύπους για τα υπόγεια νερά. Τα στερεά απόβλητα κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων (κοπριές) είναι πλούσια σε νιτρικά και διαλυμένα άλατα και αποτελούν πιθανές πηγές ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Άλλες πιθανές αιτίες ρύπανσης του υπόγειου νερού είναι: τα ρευστά από τα νεκροταφεία, ο εμπλουτισμός από ρυπασμένα επιφανειακά νερά, η ρίψη  $\text{NaCl}$  για την αποπαγοποίηση των δρόμων (2-10 tn ανά km), η διείσδυση της θάλασσας, τα διασταλάζοντα υγρά από τις χωματερές κ.ά.



Σχήμα 1.2 Μεταφορά ρυπαντών στο υδατικό περιβάλλον [3].

Στον Πίνακα 1.1 αναφέρονται οι κυριότεροι τρόποι ρύπανσης των νερών, το είδος των ρύπων και η επίδραση της ρύπανσης στο περιβάλλον και στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται ένα παραστατικό διάγραμμα, όπου αποτυπώνονται οι κυριότερες διαδικασίες μεταφοράς των ρύπων στο υδατικό περιβάλλον.

#### **1.4 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ**

Οι κυριότερες φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων είναι:

##### ***Η διαλυτότητα***

Είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη, σε ορισμένες συνθήκες. Τα ευδιάλυτα μεταφέρονται πιο εύκολα από τα επιφανειακά νερά.

##### ***Πτητικότητα***

Είναι η ικανότητα που έχουν τα μόριά τους να διαφεύγουν από την επιφάνεια του υγρού και να μεταβαίνουν στην αέρια φάση.

##### ***Προσροφητικότητα***

Εκφράζει την ικανότητα προσρόφησης μιας ουσίας από τα σωματίδια του εδάφους.

##### ***Βαθμός αποσύνθεσης***

Είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αποσυντεθεί μια ουσία (παρασιτοκτόνο) σε άλλες ενώσεις.

##### ***Ο συντελεστής κατανομής***

Περιγράφει τον τρόπο κατανομής ενός ρύπου μεταξύ δύο μέσων, π.χ. στερεού-υγρού, ατμών-υγρού.

##### ***Πίεση των ατμών***

Είναι η πίεση που ασκούν οι ατμοί ενός υγρού, όταν το υγρό βρίσκεται σε ισορροπία με τους ατμούς του και εκφράζεται με το νόμο του Raoult. Η σταθερά Henry ( $H$ ) συνδέει τη μερική πίεση ( $P_m$ ) μιας πτητικής ουσίας σε ισορροπία πάνω από διάλυμα, με τη συγκέντρωσή της ( $C$ ) στο διάλυμα:  $P_m = H \cdot C$  (νόμος Henry). Από αυτήν προκύπτει ότι η διαλυτότητα αερίου εντός υγρού (gr/L) υπό σταθερή θερμοκρασία είναι ανάλογη με την πίεση του αερίου σε ισορροπία με το υγρό.

##### ***Δείκτης βιοσυγκέντρωσης***

Εκφράζει την ποσότητα μιας ουσίας που μπορεί να συσσωρευθεί στους υδρόβιους μηχανισμούς.

##### ***Τοξικότητα***

Είναι η πρόκληση δυσμενών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, όταν εκτεθούν στους ρύπους. Η έκθεση γίνεται μέσω της αναπνοής, της διατροφής και της επιδερμίδας.

Η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρα δόση (LD50), που είναι η δόση (mg/kg σωματικού βάρους) στην οποία επιβιώνει μόνο

το 50% των οργανισμών που εκτίθενται σε αυτή για ορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν η έκθεση γίνεται με την αναπνοή, η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρο συγκέντρωση (LC50), που είναι η συγκέντρωση του ρύπου σε ορισμένο όγκο αέρα που εισπνέεται, στην οποία επιβιώνει μόνο το 50% των οργανισμών.

Τοξικοί ρύποι στα επιφανειακά νερά είναι: βαρέα μέταλλα (Hg, Cd, Pb, Cr κ.ά), οργανικές ενώσεις (παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα, απορρυπαντικά, πολυχλωριωμένα διφαινύλια PCBs, διοξίνες), τοξικά αέρια (Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>), τοξικά ανιόντα (CN<sup>-</sup>), οξέα και αλκάλια.

Οι ρύποι εισάγονται στον οργανισμό μέσω της πεπτικής οδού, με την αναπνοή και μέσω του δέρματος. Συσσωρεύονται κυρίως στο λίπος (PCBs), τα οστά (Pb, F), τα νεφρά (Cd) και το πλάσμα του αίματος.

## 1.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Γενικά η ρύπανση του επιφανειακού και υπόγειου νερού έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και ανιχνεύεται με έναν ή συνδυασμό περισσότερων τρόπων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

### 1. Από την περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα

Μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων δημιουργούν προβλήματα στους χρήστες (αλλοίωση της γεύσης, αύξηση της διαβρωτικότητας, δυσμενείς επιπτώσεις στην καλλιέργεια κ.ά.).

### 2. Από την περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς

Τα απόβλητα κυρίως αστικής και κτηνοτροφικής προέλευσης είναι φορείς παθογόνων μικροοργανισμών, που είναι υπεύθυνοι για τη διάδοση επικίνδυνων λοιμώξεων σε ανθρώπινους οργανισμούς.

### 3. Από τα αιωρούμενα στερεά

Τα αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά υλικά μειώνουν τη διέλευση του ηλιακού φωτός, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία επιβίωσης της υδρόβιας πανίδας και χλωρίδας. Τα αιωρούμενα στερεά υλικά προκαλούν επίσης σημαντικά προβλήματα στα δίκτυα μεταφοράς του νερού και στις δεξαμενές.

### 4. Από την περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο

Μικρές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες.



#### 5. Από το φαινόμενο του ευτροφισμού-άνθηση του νερού

**Ευτροφισμός** είναι η συνθήκη που επικρατεί σε εμπλουτισμένα με θρεπτικά συστατικά επιφανειακά υδροσυστήματα, στα οποία παρατηρείται υπερβολική βιολογική δραστηριότητα, ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου και αύξηση των φυκών και αλγών του νερού. Τα θρεπτικά συστατικά είναι κυρίως ενώσεις του P και N, που προέρχονται από τα απόβλητα αστικής, γεωργο-κτηνοτροφικής και βιομηχανικής προέλευσης.

Η ανάπτυξη των αλγών (φύκη, φυτοπλαγκτόν, κ.ά.) μπορεί να γίνει ραγδαία με αποτέλεσμα την πλήρη καταστροφή του υδάτινου οικοσυστήματος. Η εμφάνιση των νερών είναι θολή, φαιοπράσινη και δίνουν την εικόνα του βρώμικου. Η απότομη αύξηση φυτικών οργανισμών σε μια λίμνη, λόγω μεγάλης προσφοράς θρεπτικών συστατικών ονομάζεται και **άνθηση του νερού** (water bloom). Ο ευτροφισμός μπορεί να μετατρέψει μια λίμνη σε έλος και στη συνέχεια σε στεριά.

#### 6. Από την περιεκτικότητα σε τοξικά μέταλλα και ενώσεις

Η παρουσία τοξικών στοιχείων στα νερά σχετίζεται με ανθρώπινες δραστηριότητες (απόβλητα). Περιεκτικότητες των στοιχείων αυτών άνω των επιτρεπτών ορίων έχει ως αποτέλεσμα τον θάνατο της υδρόβιας ζωής ή τη συσσωρευτική συγκέντρωση στους υδρόβιους οργανισμούς και διαμέσου της τροφικής αλυσίδας την άμεση επίδραση στον άνθρωπο.

#### 7. Από τη θερμική αλλοίωση

Μεγάλες ποσότητες φυσικών νερών χρησιμοποιούνται σαν ψυκτικό μέσο στη βιομηχανία (θερμοηλεκτρικά και πυρηνικά εργοστάσια) και αποβάλλονται μετά τη χρήση τους στους ποταμούς ή τη θάλασσα θερμότερα. Αυτό προκαλεί αρνητικές επιδράσεις όπως:

- Μείωση διαλυμένου οξυγόνου,
- αύξηση της ταχύτητας των χημικών αντιδράσεων,
- υπέρμετρο πολλαπλασιασμό των βακτηριδίων,
- μείωση της ικανότητας αντίστασης των υδροχαρών οργανισμών κ.τ.λ.

#### 8. Από την περιεκτικότητα σε ραδιενεργές ουσίες

Οι πυρηνικές δοκιμές, οι εναέριες δοκιμές και χρήσεις ατομικών όπλων, οι πυρηνικές εφαρμογές στη βιομηχανία και την ιατρική αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές απελευθέρωσης ραδιενεργών ουσιών στο περιβάλλον.

## 9. Υφαλμύριση των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων

Οι παράκτιοι υδροφόροι ορίζοντες, κάτω από φυσικές συνθήκες, αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα. Οι έντονες αντλήσεις στις παράκτιες περιοχές ελαττώνουν ή αναστρέφουν τη φυσική υδραυλική βαθμίδα προς τη θάλασσα με συνέπεια τη διείσδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα. Ο συντελεστής Revelle, η ιοντική ισχύς και διάφοροι λόγοι είναι παράμετροι με τις οποίες ανιχνεύεται η θαλάσσια διείσδυση.

## 1.6 ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

Οι πιο σημαντικοί μικροοργανισμοί στα υπόγεια νερά είναι τα παθογόνα βακτήρια, οι μύκητες και τα παράσιτα. Κυριότερη πηγή μικροβιακής μόλυνσης είναι τα λύματα, λόγω των εντερικών περιττωμάτων. Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι οι ασθένειες τύφος, γαστρεντερίτιδα, διάρροια, χολέρα, ηπατίτιδα κ.ά. Κατά την επεξεργασία των λυμάτων απομακρύνεται σημαντικός αριθμός παθογόνων μικροοργανισμών (97-100% με δευτεροβάθμια επεξεργασία).

Οι μικροοργανισμοί ανάλογα με το περιβάλλον που διαβιούν, διακρίνονται σε:

- θεرمόφιλους (45-250 °C),
- ψυχρόφιλους (-36 έως -15 °C),
- οξιμόφιλους (pH<5),
- αλκαλιόφιλους (8,5<pH<11,5),
- αερόβιους (παρουσία O<sub>2</sub>),
- αναερόβιους (απουσία O<sub>2</sub>),
- αλόφιλους (NaCl 2,8-6,2 M).

Η επιβίωση των βακτηρίων στο υπόγειο νερό επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, τη θερμοκρασία, την υγρασία, το pH, την πίεση και τη συγκέντρωση θρεπτικών. Επιπλέον το πάχος και η φύση της ακόρεστης ζώνης ελέγχουν καθοριστικά την ανάπτυξη μικροβίων. Η ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού καθορίζει τον χρόνο παραμονής αυτών στον υδροφόρο. Στην ακόρεστη ζώνη επικρατούν αερόβιες συνθήκες, ενώ στην κορεσμένη αναερόβιες συνθήκες.

Στα επιφανειακά στρώματα αφθονεί η οργανική ύλη από την οποία εξασφαλίζουν τροφή τα μικρόβια, ενώ στα βαθύτερα στρώματα απουσιάζει η οργανική ύλη. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μη επιβίωση αυτότροφων μικροβίων στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα.

Οι σπουδαιότερες μικροβιολογικές παράμετροι για την ανθρώπινη υγεία είναι:

- α) Οργανισμοί-δείκτες (κολοβακτήρια, στρεπτόκοκκοι)

β) Παθογόνοι μικροοργανισμοί (σαλμονέλα, εντερομύκητες)

Η μεταφορά αυτών επηρεάζεται από την ταχύτητα κίνησης του υπόγειου νερού, τις ιδιότητες και το φορτίο του πορώδους μέσου. Η μεταφορά βακτηρίων στους υδροφορείς γίνεται με ελεύθερη μετακίνηση στα διάκενα, με διακοπτόμενη μετακίνηση κατά την οποία προσκολλώνται, αποκολλώνται και μετακινούνται εναλλάξ και τέλος με χημειοτακτισμό (chemotactic), κατά τον οποίο τα μικρόβια κινούνται εκλεκτικά από θέσεις με υψηλή συγκέντρωση σε κάποια χημική ουσία σε θέσεις με χαμηλή συγκέντρωση.

## 1.7 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Πόσιμο νερό χαρακτηρίζεται το νερό που είναι καθαρό από φυσική, χημική, βιολογική και μικροβιολογική άποψη και μπορεί να καταναλώνεται χωρίς να κινδυνεύει η υγεία του ανθρώπου. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι άχρωμο, άοσμο, δροσερό και με ευχάριστη γεύση.

Τα φυσικά νερά μπορεί να περιέχουν αιωρούμενα και διαλυμένα ανόργανα και οργανικά στερεά καθώς και μικροοργανισμούς. Τα συστατικά αυτά προέρχονται είτε από φυσικές πηγές είτε από τη διάθεση αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων.

Η χημική σύσταση των φυσικών νερών οφείλεται στις αντιδράσεις του νερού με τα πετρώματα της γης, με τα οποία έρχεται σε επαφή, στην αποσάθρωση των πετρωμάτων και στην έκπλυση εδαφών και ιζημάτων. Επίσης, η χημική του σύσταση τροποποιείται με τη βοήθεια βιολογικών μεταβολισμών και επηρεάζεται από τον υδρολογικό κύκλο.

Το νερό, το οποίο προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, δεν πρέπει να έχει μεγάλη σκληρότητα, καθώς αυτή προκαλεί δυσκολίες στην καθημερινή αλλά και τη βιομηχανική του χρήση. Επίσης, δεν πρέπει να περιέχει μεγάλη ποσότητα οργανικών ουσιών, βαρέων μετάλλων αλλά ούτε και παθογόνα παράσιτα ή μικρόβια.

Σύμφωνα με την ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία, που θέτει προδιαγραφές και όρια σχετικά με την περιεκτικότητα του νερού σε ορισμένα στοιχεία, αλλά και από απόψεως μικροβιακού φορτίου, το υγιεινό νερό πρέπει:

1. Να είναι άχρωμο, διαυγές, άοσμο και αναψυκτικής γεύσεως
2. Να έχει θερμοκρασία που να προκαλεί ευχάριστο αίσθημα. Η προτιμότερη θερμοκρασία είναι μεταξύ 7 και 12°C, με όριο τους 15°C.
3. Να μην περιέχει φερτές ύλες.
4. Να έχει αντίδραση ουδέτερη έως ασθενή αλκαλική (όριο 6,5-8,5 : pH 7,0-7,6).

5. Να είναι απαλλαγμένο από ενώσεις μετάλλων που μπορούν να προκαλέσουν διαταραχές στην υγεία και δηλητηριάσεις άμεσες ή μακροπρόθεσμες.
6. Να έχει μέση σκληρότητα περίπου 28-27 γαλλικούς βαθμούς ή 10-15 γερμανικούς.
7. Να μην περιέχει διάφορες χημικές ουσίες πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια.
8. Να είναι σε αρκετή ποσότητα και χωρίς διακοπή.
9. Να μην περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς.
10. Να ελέγχεται συνεχώς από επιστημονικό προσωπικό.

## **1.8 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ**

Η ποιότητα του νερού αξιολογείται με βάση τις φυσικές, χημικές, μικροβιολογικές και βιολογικές ιδιότητές του. Οι απαραίτητοι έλεγχοι για το νερό αναφέρονται στις φυσικές, τις χημικές, τις βιολογικές και τις μικροβιολογικές του ιδιότητες.

Οι φυσικές ιδιότητες αφορούν στη χροιά, τη διαύγεια, την οσμή, τη γεύση, τη θερμοκρασία και την αγωγιμότητα. Τα επιτρεπόμενα όρια, για όλα τα στοιχεία που περιέχονται στο νερό, καθορίζονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO). Παράλληλα, επί του θέματος έχει επιληφθεί και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, ενώ υπάρχει και σχετική Υγειονομική διάταξη της ελληνικής νομοθεσίας.

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των παραμέτρων αυτών:

### ***Χρώμα (Color)***

Το υγιεινό νερό είναι άχρωμο. Η ύπαρξη χρώματος είναι ανεπιθύμητη και υπάρχει περίπτωση να οφείλεται στην παρουσία από χρωστικές ουσίες διαλυμένες, είτε φυτικές από ρίζες φυτών, φύλλα δέντρων, είτε οργανικές και ανόργανες (άλατα, σίδηρος από διάβρωση των σωλήνων). Η θολότητά του, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας πρέπει να είναι κάτω από 5 βαθμούς της σχετικής κλίμακας (NTU). Η παραμετρική τιμή για το χρώμα είναι: «αποδεκτό από τους καταναλωτές» και «άνευ ασυνήθους μεταβολής», σύμφωνα με την ελληνική Υγειονομική Διάταξη.

### ***Θολότητα (Turbidity)***

Η θολότητα του νερού οφείλεται σε κολλοειδείς ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται, είτε είναι διαλυμένες στο νερό. Τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν και δημιουργούν προβλήματα στις σωληνώσεις και στις δεξαμενές. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές όταν φτάσει στον καταναλωτή. Η παραμετρική τιμή για τη θολότητα

είναι: «αποδεκτό από τους καταναλωτές» και «άνευ ασυνήθους μεταβολής», σύμφωνα με την ελληνική Υγειονομική Διάταξη.

### ***Οσμή (Odor)***

Το νερό πρέπει να είναι άοσμο. Κάθε δυσάρεστη οσμή προειδοποιεί πως το νερό είναι ακατάλληλο προς πόση και χρήση, καθώς οι οσμές προέρχονται συνήθως από ρύπανση, π.χ. σήψη οργανικών ουσιών. Η παραμετρική τιμή για την οσμή είναι: «αποδεκτό από τους καταναλωτές» και «άνευ ασυνήθους μεταβολής», σύμφωνα με την ελληνική Υγειονομική Διάταξη.

### ***Γεύση (Taste)***

Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι άγευστο. Η ιδιαίτερη σε κάθε περίπτωση γεύση του, οφείλεται στα διαλυμένα άλατα και διαλυμένα αέρια που περιέχει. Η παραμετρική τιμή για τη γεύση είναι: «αποδεκτό από τους καταναλωτές» και «άνευ ασυνήθους μεταβολής», σύμφωνα με την ελληνική Υγειονομική Διάταξη.

### ***Θερμοκρασία (Temperature)***

Η θερμοκρασία είναι παράγοντας που επηρεάζει τη γεύση του νερού. Καθώς το υγιεινό νερό πρέπει να έχει αναψυκτική γεύση, καθορίζεται ως ιδανική θερμοκρασία αυτή των 10-12° C. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, το νερό είναι λιγότερο εύγευστο, εφόσον εκδιώκονται τα διαλυμένα σ' αυτό αέρια. Όταν η θερμοκρασία του ξεπερνά τους 20°C, το νερό έχει δυσάρεστη γεύση και κρίνεται ακατάλληλο, καθώς κάτω από αυτές τις συνθήκες πολλαπλασιάζονται τα τυχόν υπάρχοντα σε αυτό μικρόβια.

### ***Αγωγιμότητα (Conductivity)***

Η αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, την ολική τους συγκέντρωση, το σθένος και τις επιμέρους συγκεντρώσεις τους, καθώς και από τη θερμοκρασία μέτρησης. Με αύξηση της θερμοκρασίας η ευκινησία των ιόντων αυξάνει κατά 2 ως 3% ανά °C, με αποτέλεσμα την αύξηση της αγωγιμότητας. Μετριέται σε Siemens (S) και αποτελεί το αντίστροφο της αντίστασης. Η παραμετρική τιμή είναι 2500 μS/cm στους 20°C.

Όσον αφορά τις χημικές ιδιότητες, το νερό πρέπει να περιέχει άλατα σε περιορισμένη ποσότητα. Νερό που δεν περιέχει άλατα, δεν έχει γεύση και δεν είναι υγιεινό, καθώς συντελεί στην αύξηση της εσωτερικής πίεσης των κυττάρων και συνεπώς στην διόγκωσή τους. Το αντίθετο, δηλαδή η συρρίκνωση των κυττάρων γίνεται όταν το νερό περιέχει υψηλή ποσότητα διαλυμένων αλάτων.

Το νερό, επίσης, μπορεί να περιέχει και δραστικές ουσίες από μέταλλα. Οι ουσίες αυτές προέρχονται από τα εδάφη ή οφείλονται στην ανάμειξη του νερού με εργοστασιακά ή οικιακά απόβλητα. Στο νερό, επιπλέον, πρέπει να ελέγχεται η ύπαρξη παραμέτρων που αφορούν σε τοξικές ουσίες. Ο έλεγχος της χημικής σύστασης του νερού είναι απολύτως αναγκαίος.

Όσον αφορά τις μικροβιολογικές ιδιότητες του νερού, οι υδατογενείς επιδημίες προκαλούνται από τα παθογόνα μικρόβια που έχουν προέλευση την κοπρανώδη μόλυνση του νερού. Το νερό μπορεί να μεταφέρει παθογόνους μικροοργανισμούς που προκαλούν στον άνθρωπο σοβαρές (ή και θανατηφόρες) ασθένειες.

Η μικροβιολογική εξέταση του νερού περιλαμβάνει:

- α) Την καταμέτρηση όλων εν γένει των μικροοργανισμών που υπάρχουν στο νερό, ανεξάρτητα από το είδος τους.
- β) Την αναζήτηση και αρίθμηση των μικροβίων εντερικής προέλευσης. Η ύπαρξη κολοβακτηριδίουμορφων (coliforms) καθώς και του τυπικού κολοβακτηριδίου (*Escherichia coli*), για παράδειγμα, δηλώνει αυτομάτως τη μόλυνση του νερού από μικρόβια κοπρανώδους προέλευσης και, επομένως, την ανά πάσα στιγμή δυνατότητα μόλυνσης με παθογόνους μικροοργανισμούς εντερικών λοιμώξεων (όπως χολέρας, τυφοειδούς πυρετού, εντερόκοκκους, κλωστηρίδια κ.τ.λ.).

Οι κυριότερες παράμετροι που προβλέπονται να εξετάζονται ως μικρόβια-δείκτες, σύμφωνα με τη Υπουργική απόφαση Α5/288/23-1-86, είναι:

1. Ολικά κολοβακτηριοειδή
2. Κολοβακτηριοειδή κοπράνων
3. Στρεπτόκοκκοι κοπράνων
4. Κλωστηρίδια αναγωγικών θειωδών αλάτων
5. Καταμέτρηση των συνολικών βακτηριδίων για το πόσιμο νερό

Όσον αφορά τις βιολογικές ιδιότητες του νερού, παράδειγμα βιολογικής έρευνας αποτελεί η αναζήτηση πρωτόζωων και αλγών, κυρίως σε νερά ποταμών που αποθηκεύονται σε δεξαμενές (σε συνδυασμό με τη χημική ανάλυση) για να εκτιμηθεί ο βαθμός π.χ. ανάπτυξης των αλγών και να προβλεφθεί η κατάλληλη χρονική στιγμή για έγκαιρη επέμβαση και πρόληψή της. Διαφορετικά, είναι δυνατόν να προκληθεί πρόβλημα στο δίκτυο με ελάττωση της παροχής νερού, διότι τα άλγη πολλαπλασιάζονται ταχύτατα ορισμένες εποχές του έτους, φράσσοντας τα φίλτρα των διυλιστηρίων.

## 2. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα έργα για την επεξεργασία του νερού και των υγρών αποβλήτων είναι σημαντικότερα έργα υποδομής επειδή από αυτά εξαρτάται η προμήθεια του ανθρώπου με νερό κατάλληλης ποιότητας. Είναι επίσης προφανές ότι η ποιότητα των φυσικών νερών (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες) που είναι αποδέκτες των υγρών αποβλήτων, εξαρτάται άμεσα από τις διεργασίες που εφαρμόζονται για την επεξεργασία του νερού και των υγρών αποβλήτων. Οι συνηθέστερα εφαρμοζόμενες τεχνολογίες βελτιώνονται συνεχώς με στόχο την ποιότητα του περιβάλλοντος και στους φυσικούς πόρους.

Κατά κανόνα το πόσιμο νερό προέρχεται είτε από υπόγεια (πηγές ή γεωτρήσεις) είτε από γλυκά επιφανειακά νερά (ποταμοί και λίμνες). Τα υπόγεια νερά συνήθως ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Οδηγίας 80/778 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το πόσιμο νερό. Αυτό επιτρέπει, καταρχήν, την άμεση χρησιμοποίησή του χωρίς την ανάγκη κάποιας επεξεργασίας. Πολλές φορές όμως και τα υπόγεια νερά απαιτούν επεξεργασία. Συνηθέστερη είναι η ανάγκη απομάκρυνσης του σιδήρου ( $Fe^{2+}$ ), του μαγγανίου ( $Mn^{2+}$ ) και της σκληρότητας ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) του νερού. Η απομάκρυνση των δύο πρώτων επιτυγχάνεται με οξείδωση, με αερισμό ή/και χλωρίωση του νερού. Ακολουθεί η καθίζηση. Η απομάκρυνση της σκληρότητας γίνεται είτε με χημική κατακρήμνιση (μέθοδος ασβέστη-σόδας) είτε με ιοντοεναλλαγή. Σε μερικές περιπτώσεις η απαιτούμενη επεξεργασία του υπόγειου νερού μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και δαπανηρή. Υπάρχουν περιπτώσεις υπόγειων νερών τα οποία είναι πολύ σκληρά ή περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις θεικών ( $SO_4^{2-}$ ) αλάτων. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται επεξεργασία του νερού με μεμβράνες (αντίστροφη όσμωση) επιπλέον των τυπικών διεργασιών που εφαρμόζονται στα επιφανειακά νερά. Ανάλογα συμβαίνουν και σε περιπτώσεις υφάλμυρων υπόγειων νερών.

Τα επιφανειακά νερά δεν πληρούν ποτέ τις προδιαγραφές ποιότητας που τίθενται από τη νομοθεσία για το «νερό ανθρώπινης κατανάλωσης». Θα πρέπει συνεπώς να απομακρυνθούν κάποια ανεπιθύμητα συστατικά του νερού ή να καταστούν αβλαβή με κατάλληλες φυσικές ή χημικές διεργασίες, οι οποίες πραγματοποιούνται στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Νερού (EEN).

Μια αρκετά προχωρημένη επεξεργασία είναι αναπόφευκτη προκειμένου να απομακρυνθούν, τουλάχιστον, ή έστω κατά διαστήματα η υπερβολική θολότητα και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί των οποίων η παρουσία στα επιφανειακά νερά δεν μπορεί ποτέ να αποκλειστεί.

Γενικά ο κύριος στόχος των διεργασιών σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού, είναι η εκμετάλλευση διαφόρων φυσικοχημικών φαινομένων για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων συστατικών του νερού και για το σκοπό αυτό εφαρμόζονται τεχνικές όπως ο αερισμός (οξείδωση), η κροκίδωση-συσσωμάτωση-καθίζηση, η επίπλευση, η δύλιση, η χημική οξείδωση (κατακρήμνιση-ιζηματοποίηση), η προσρόφηση, η αποσκλήρυνση (με υδράσβεστο, σόδα ή με ιοντοεναλλαγή), η διήθηση σε μεμβράνες (MF, UF, NF, RO) και η απολύμανση. Εάν για παράδειγμα το ειδικό βάρος των αιωρούμενων σωματιδίων που περιέχει το νερό είναι μεγαλύτερο από αυτό του νερού, μπορούν να διαχωριστούν με καθίζηση ενώ εάν είναι μικρότερο μπορούν να διαχωριστούν με επίπλευση. Φύκια και μεγαλύτερα σωματίδια μπορούν να απομακρυνθούν με διάφορα κόσκινα και σωματίδια πολύ μικρού μεγέθους όπως τα κολλοειδή, μπορούν να απομακρυνθούν με κροκίδωση, κατά την οποία με τη βοήθεια ορισμένων χημικών ουσιών όπως τα κροκιδωτικά υλικά, επιταχύνεται η συνένωση των αιωρούμενων κολλοειδών ώστε αυτά να απομακρυνθούν με καθίζηση.

Προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος επεξεργασίας σε οποιαδήποτε εγκατάσταση επεξεργασίας νερού, πέρα από το κόστος κατασκευής και λειτουργίας, απαιτείται λεπτομερέστατος ποιοτικός έλεγχος, δηλαδή πλήρης χημική και μικροβιολογική εξέταση, του προς επεξεργασία νερού. Πολλές φορές απαιτείται προκαταρκτικός σχεδιασμός και έλεγχος των φυσικοχημικών διεργασιών που θα εφαρμοστούν σε πειραματική μονάδα. Σημαντική είναι τέλος η προστασία του νερού από επεισόδια μόλυνσης κατά την υδροληψία, ή στις δεξαμενές και στο δίκτυο διανομής.

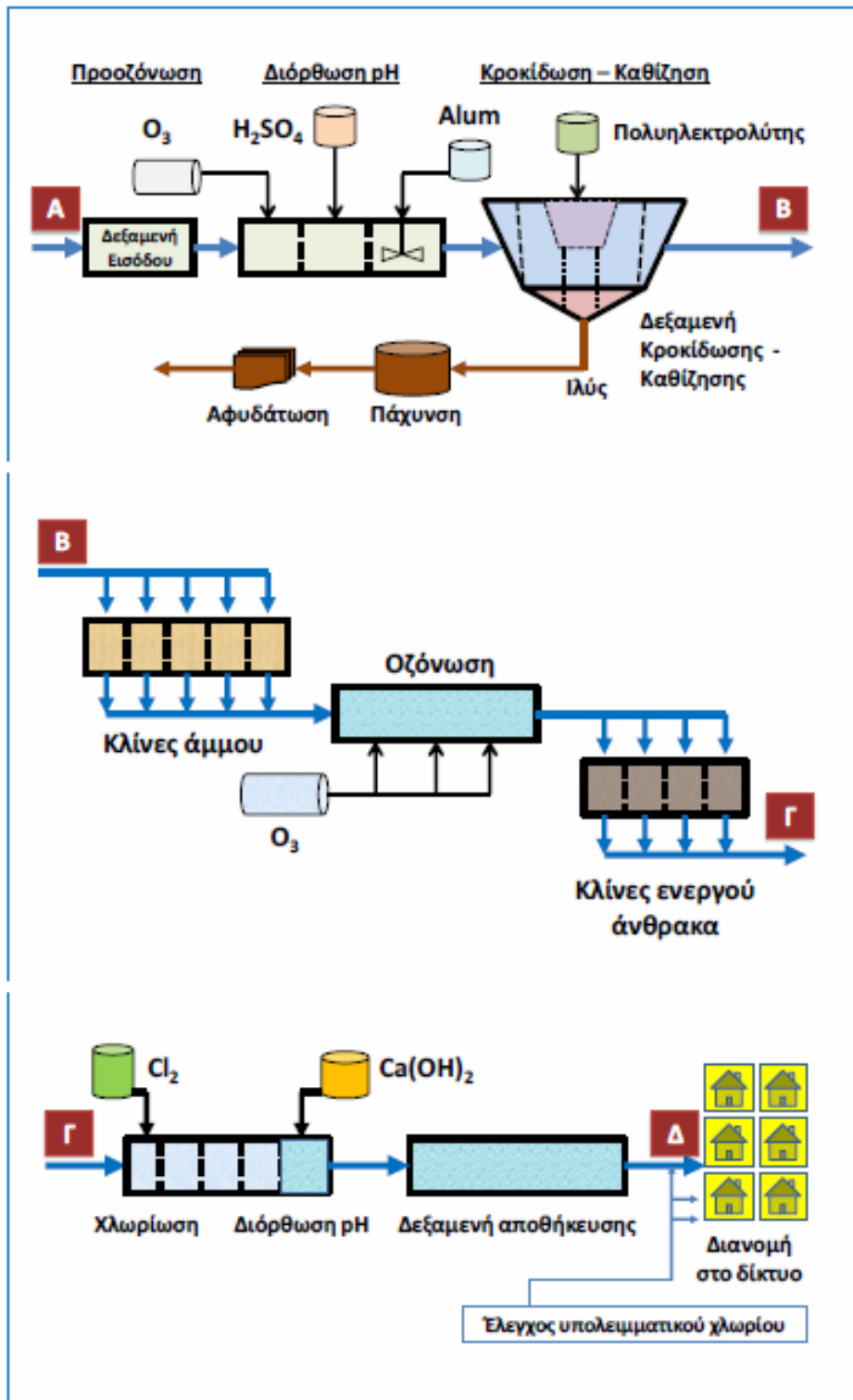
Ανάλογα λοιπόν με τη σύσταση, τα ποιοτικά δηλαδή χαρακτηριστικά του νερού, συγκεκριμένες διεργασίες λαμβάνουν χώρα για την επεξεργασία του είτε πρόκειται για υπόγειο είτε για επιφανειακό νερό. Οι διεργασίες αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα 2.1 και στο διάγραμμα 2.1 που ακολουθεί.



Πίνακας 2.1 Βασικά στάδια επεξεργασίας για παραγωγή πόσιμου νερού  
[1]

<b>Υπόγειο νερό</b>	<b>Επιφανειακό νερό</b>
Αερισμός	Εσχαρισμός
Αποσκλήρυνση (Εάν απαιτείται)	Καθίζηση (Πρωτοβάθμια)
Επανανθράκωση – Διόρθωση pH	Προαπολύμανση
Διύλιση (Εάν απαιτείται)	Διόρθωση του pH (Προετοιμασία για την κροκίδωση)
Απολύμανση (Χλωρίωση)	Ταχεία ανάμιξη του νερού με το κροκιδωτικό
Αποθήκευση	Κροκίδωση – Καθίζηση
Διανομή	Διύλιση
	Οξειδωση (Οζόνωση, εάν απαιτείται)
	Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα (Εάν απαιτείται)
	Απολύμανση (Χλωρίωση)
	Διόρθωση του pH
	Αποθήκευση
	Διανομή

Εάν πρόκειται για υπόγειο νερό μια τυπική μονάδα επεξεργασίας περιλαμβάνει τον αερισμό, την αποσκλήρυνσή του (εάν αυτό κριθεί απαραίτητο), την επανανθράκωσή του, την απολύμανση και τη διανομή του μέσω του δικτύου ύδρευσης. Εάν πρόκειται για επιφανειακό νερό μια τυπική μονάδα επεξεργασίας περιλαμβάνει τον εσχαρισμό για την απομάκρυνση των φερτών υλών που περιέχει, την προαπολύμανση, τη μονάδα κροκίδωσης-καθίζησης για την απομάκρυνση των αιωρούμενων και κolloειδών στερεών (θολότητα), τη μονάδα διύλισης με στόχο την περαιτέρω μείωση των αιωρούμενων στερεών, τη μονάδα οξείδωσης και τη μονάδα προσρόφησης για περαιτέρω οξείδωση και απομάκρυνση κυρίως μεγαλομοριακών οργανικών ενώσεων του νερού, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις δυσάρεστες οσμές και γεύσεις του νερού και τη μονάδα απολύμανσης (χλωρίωσης) για πλήρη καταστροφή των παθογόνων οργανισμών του νερού και μέσω του υπολειμματικού χλωρίου, παρεμπόδιση ανάπτυξης μικροβιολογικής ρύπανσης κατά την αποθήκευση και διανομή του νερού.



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα ροής διεργασιών σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού [1].

## 2.2 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΦΙΛΤΡΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας του νερού με τη χρήση φίλτρων είναι συνυφασμένη με την εξέλιξη του ανθρώπου. Οι πρώτες καταγεγραμμένες προσπάθειες φίλτρανσης του νερού χρονολογούνται από το 2.000 π.Χ. Το ισχυρότερο κίνητρο για τη φίλτρανση του νερού ήταν η βελτίωση της γεύσης του καθώς, όπως πίστευαν, το νερό έπρεπε να είναι άγευστο, άοσμο και άχρωμο.

Ο πατέρας της ιατρικής ο Ιπποκράτης διεξήγαγε αρκετά πειράματα πάνω στην καθαρισμό του νερού. Αναγνώριζε ότι το νερό των υδραγωγείων της εποχής απείχε κατά πολύ από τον επιθυμητό βαθμό καθαρότητας και έτσι σχεδίασε μία μεμβράνη από ύφασμα, μέσα από την οποία περνούσε νερό που είχε βράσει.

Αιώνες αργότερα, η εφεύρεση του μικροσκοπίου επηρέασε σημαντικά την εξέλιξη των φίλτρων. Το πρώτο πολλαπλό φίλτρο σχεδιάστηκε από τον Ιταλό Antonio Porzio το 1685 και περιλάμβανε ιζηματοποίηση και φίλτρανση από άμμο, ενώ το 1746 ο Παριζιάνος επιστήμονας Joseph Amy, κατασκεύασε τα πρώτα φίλτρα οικιακής χρήσης, με υλικά το σφουγγάρι, το κάρβουνο και το μαλλί.

Η πρώτη κίνηση για την φίλτρανση του νερού μιας ολόκληρης πόλης έγινε με φίλτρα άμμου στα μέσα του 18ου αιώνα στο Λονδίνο. Το 1804, στο Paisley της Σκωτίας ολοκληρώθηκε μία από τις πρώτες εγκαταστάσεις παροχής φιλτραρισμένου νερού από πόλη σε πόλη, μέσω σωληνώσεων. Η κινητήρια δύναμη της μονάδας ήταν τα άλογα, που κινούσαν τις αντλίες, ενώ τα υλικά των φίλτρων ήταν η άμμος και ο άνθρακας, που έπρεπε να τα αντικαταστούν κάθε έξι ώρες.

Σημαντικές ήταν και οι πρόοδοι που έγιναν στη φίλτρανση του νερού, στα τέλη του 19ου αιώνα, με την βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος. Εκείνα τα χρόνια πρωτοξεκίνησε η χρήση γρήγορων φίλτρων άμμου, βελτιωμένων αργών φίλτρων άμμου και άρχισε να χρησιμοποιείται το χλώριο και το όζον για την απολύμανση του νερού.

Στις αρχές του 20ου αιώνα η χλωρίωση έγινε η πιο δημοφιλής μέθοδος απολύμανσης στις Η.Π.Α. και χάρη σ' αυτήν, οι περιπτώσεις δυσεντερίας, τύφου και χολέρας μειώθηκαν κατακόρυφα. Το 1942 η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (E.P.A) υιοθέτησε τα πρώτα στάνταρντ (standard) για το πόσιμο νερό και το 1957 ενέκρινε τη χρήση φίλτρων μεμβράνης.

Το 1970, δύο μηχανικοί από της Η.Π.Α., ο Bill Prior και ο Jim Kewley, καινοτόμησαν στην ανάπτυξη των μη ηλεκτρικών, πλήρως αυτόματων συστημάτων κατεργασίας νερού και συνέβαλαν σημαντικά στην φίλτρανσή του. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως, στις μέρες μας, χάρη σε αυτήν την τεχνολογία, κατασκευάζονται αυτόματα εμπορικά και

βιομηχανικά συστήματα φίλτρανσης και αποσκλήρυνσης του νερού, τα οποία μπορούν και φιλτράρουν δεκάδες τόνους νερού την ώρα.

Όπως φαίνεται, τα φίλτρα νερού είναι αυτά που ο άνθρωπος έχει εμπιστευθεί για τη διαφύλαξη της ποιότητας του νερού που καταναλώνει. Η ιστορία τους είναι μακρά, αλλά προαιώνια είναι και η ανάγκη του ανθρώπου για καθαρό και μαλακό νερό.

### **2.3 ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ, ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ**

Η βιομηχανία κατεργασίας νερού παρακολουθείται και ελέγχεται συστηματικά. Ο κυριότερος και ο σημαντικότερος οργανισμός, που πιστοποιεί τα συστήματα κατεργασίας νερού είναι ο N.S.F. International, ο οποίος ιδρύθηκε πριν από 60 χρόνια στις Η.Π.Α. και είναι ένας ανεξάρτητος, μη κρατικός, μη κερδοσκοπικός οργανισμός, που έχει παγκόσμια δραστηριότητα και αποδοχή για την μοναδική ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχει. Ελέγχει και πιστοποιεί τα συστήματα κατεργασίας νερού με διάφορα standard ανάλογα με την απόδοσή τους. Ο N.S.F. έχει ανακηρυχθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (W.H.O.) ως το Κέντρο Συνεργασίας για την Ασφάλεια και την Επεξεργασία του Πόσιμου Νερού και ελέγχεται από το Υπουργείο Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α (E.P.A.). Ο δευτερεύον οργανισμός πιστοποίησης συστημάτων νερού είναι ο W.Q.A., ο οποίος είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον N.S.F. International. Σχεδόν όλες οι εταιρίες που δραστηριοποιούνται με την επεξεργασία νερού είναι μέλη του W.Q.A., για αυτό ακριβώς τον λόγο, η προβολή του λογότυπου “WQA member” σε κάποιο προϊόν δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι και πιστοποιημένο από αυτόν τον οργανισμό. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) όπως και το Υπουργείο Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (E.P.A.) δεν πιστοποιούν συστήματα νερού.

### **2.4 ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ**

Μετά την υποδοχή του στην εγκατάσταση επεξεργασίας, το υπόγειο νερό υφίσταται καλό αερισμό για την απομάκρυνση των αερίων ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{R-CCl}_4$  κ.ά.) τα οποία είναι υπεύθυνα για τις δυσάρεστες οσμές. Ταυτόχρονα, με τον αερισμό επιτυγχάνεται οξείδωση και απομάκρυνση (κατακρήμιση) του σιδήρου ( $\text{Fe}^{2+}$ ) και του μαγγανίου ( $\text{Mn}^{2+}$ ).

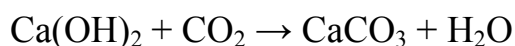
Η συνήθης τεχνική αερισμού συνίσταται σε εξαναγκασμένη ροή αέρα με τη βοήθεια φυσητήρων κατά αντirroή με σταγονίδια νερού από ακροφύσια (αποδοτική μέθοδος για αφαίρεση διαλυμένων αερίων) ή η χρήση διαχυτήρων για τη δημιουργία μικρών φυσαλίδων αέρα και καλύτερη επαφή νερού-αέρα. Ο αερισμός μειώνει το CO<sub>2</sub> του νερού αλλά ταυτόχρονα η μείωση του CO<sub>2</sub> αυξάνει το pH του νερού.

## 2.5 ΑΠΟΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Εάν το νερό είναι σκληρό πραγματοποιείται στη συνέχεια απομάκρυνση της σκληρότητάς του. Απομακρύνονται δηλαδή τα άλατα ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>) και μαγνησίου (Mg<sup>2+</sup>) με την προσθήκη υδροξειδίου του ασβεστίου (Ca(OH)<sub>2</sub>). Το υδροξείδιο του ασβεστίου αντιδρά με το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και τα επίσης διαλυμένα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου [Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] και του μαγνησίου [Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] που περιέχει το νερό. Το αποτέλεσμα των αντιδράσεων αυτών είναι η χημική κατακρήμνιση των αδιάλυτων αλάτων όπως το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>) και το ανθρακικό μαγνήσιο (MgCO<sub>3</sub>), δηλαδή των αλάτων που είναι υπεύθυνα για τη σκληρότητα του νερού. Η κατακρήμνιση της μη ανθρακικής σκληρότητας απαιτεί προσθήκη σόδας (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), δηλαδή ανθρακικού ασβεστίου και οδηγεί στη δημιουργία ιζήματος Mg(OH)<sub>2</sub>. Η αποσκλήρυνση του νερού έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη παραγωγή ιλύος, ίση περίπου σε ξηρό βάρος με το διπλάσιο της σκληρότητας ως CaCO<sub>3</sub> που απομακρύνεται.

## 2.6 ΕΠΑΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ-ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ PH

Ακολουθεί η επανανθράκωση του νερού με προσθήκη CO<sub>2</sub>, η οποία επαναφέρει το pH και την αλκαλικότητά του σε φυσιολογικά επίπεδα. Η διεργασία αυτή προκαλεί επί πλέον απομάκρυνση της σκληρότητας του νερού μέσω της αντίδρασης:



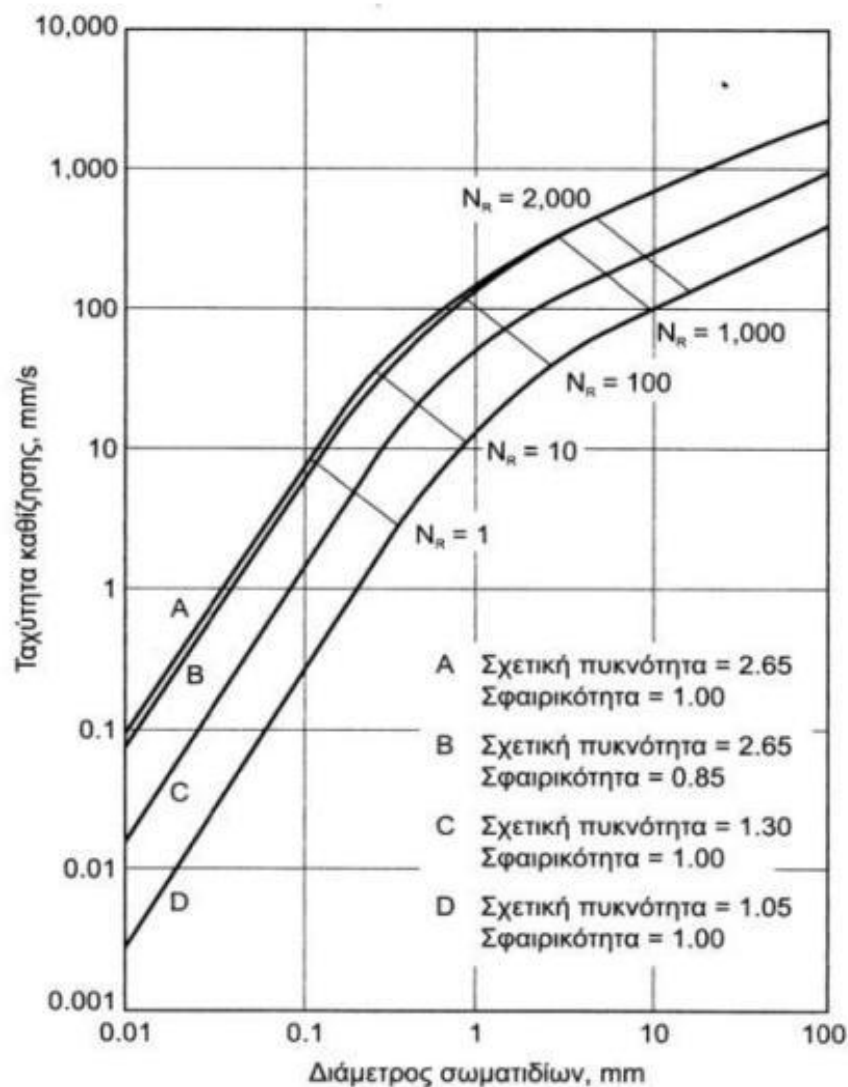
και επιτυγχάνει ισορροπία του συστήματος του ανθρακικού ασβεστίου.

## 2.7 ΕΣΧΑΡΩΣΗ

Το εισερχόμενο στη μονάδα επεξεργασίας επιφανειακό νερό υφίσταται εσχάρωση για την απομάκρυνση των φερτών υλών που υπάρχουν στα επιφανειακά νερά.

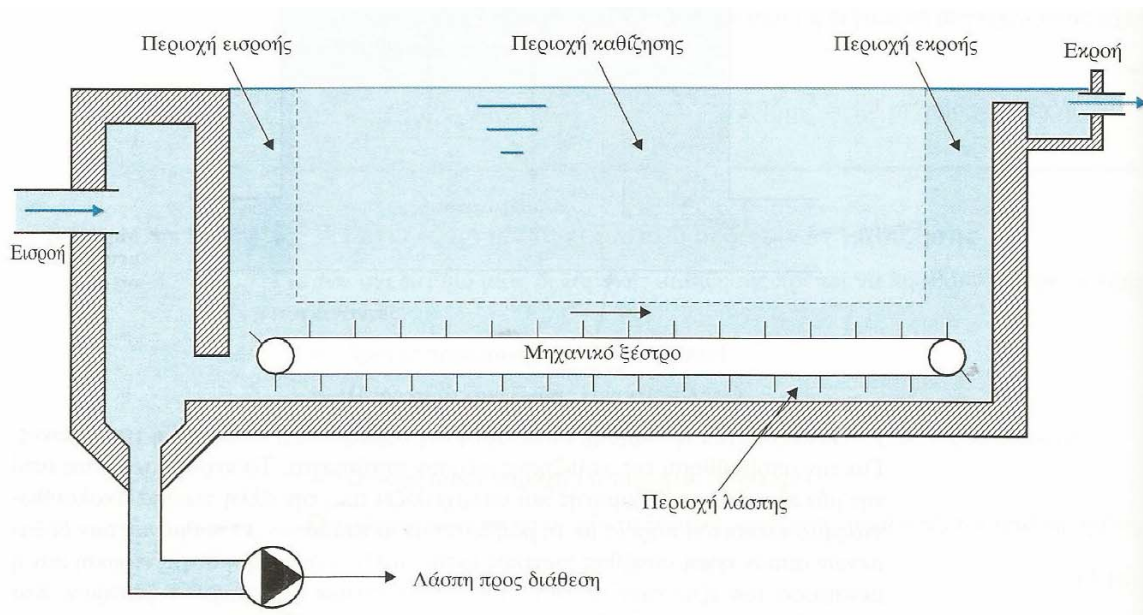
## 2.8 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Με τη διαδικασία της πρωτοβάθμιας καθίζησης (εάν το στάδιο αυτό κριθεί απαραίτητο) απομακρύνονται με βαρύτητα τα αιωρούμενα σωματίδια που υπάρχουν στο νερό εντός ολίγων ωρών.



Σχήμα 2.2 Ταχύτητα καθίζησης διαφόρων σωματιδίων [1].

Η καθίζηση είναι μια φυσική διεργασία διαχωρισμού των αιωρούμενων σωματιδίων, το ειδικό βάρος των οποίων είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του νερού. Αποτελεί το πρώτο στάδιο στην απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων από το νερό και ακολουθεί η διήθηση όπου επιτυγχάνεται η πλήρης απομάκρυνσή τους. Για σωματίδια με μέσο μέγεθος μεγαλύτερο από 100 μm και συγκέντρωση μεγαλύτερη από 50 mg/L, η καθίζηση είναι η κατ' εξοχήν εφαρμοζόμενη μέθοδος διαχωρισμού. Στηρίζεται στο φαινόμενο της βαρύτητας και εφαρμόζεται για την απομάκρυνση των στερεών, των μικροοργανισμών (φυκιών και βακτηρίων), των αργίλων, των χουμικών οξέων κ.ά. Στο σχήμα 2.2 φαίνεται η εξάρτηση της ταχύτητας καθίζησης των αιωρούμενων σωματιδίων από την πυκνότητα και το σχήμα τους.



Σχήμα 2.3 Ορθογώνια δεξαμενή καθίζησης [6].

## 2.9 ΠΡΟΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η προαπολύμανση εμποδίζει την εισβολή παθογόνων μικροοργανισμών στην εγκατάσταση επεξεργασίας. Το προαπολυμαντικό με την οξειδωτική του δράση, την οξείδωση δηλαδή των οργανικών ουσιών, έχει παράπλευρα ευεργετικά αποτελέσματα όπως είναι η πρόληψη ανάπτυξης αλγών, γλοιωδών αποθέσεων και αναερόβιων μικροοργανισμών στις κατάντη μονάδες επεξεργασίας.

Το χλώριο ( $\text{Cl}_2$ ) αποτελεί το συνηθέστερο προαπολυμαντικό και μεταπολυμαντικό μέσο. Υπάρχουν όμως και εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, όπως αυτή της Θεσσαλονίκης, οι οποίες χρησιμοποιούν το όζον ( $\text{O}_3$ ) σαν μέσο προαπολύμανσης και το χλώριο σαν μέσο τελικής απολύμανσης του νερού.

Η τεχνολογία της χλωρίωσης χαρακτηρίζεται από μακρά και πλούσια εμπειρία. Το κόστος εφαρμογής της είναι μικρό. Οι επικίνδυνες ενώσεις όμως που σχηματίζει το χλώριο με τα οργανικά του νερού (Tri-Halo-Methane, THM's) και οι αμφιβολίες για την ικανότητά του να αντιμετωπίζει μικροοργανισμούς όπως το κρυπτοσπορίδιο (*Cryptosporidium parvum*) ωθούν προς την κατεύθυνση χρήσης του διοξειδίου του χλωρίου ( $\text{ClO}_2$ ) αλλά και του όζοντος το οποίο είναι το ασύγκριτα ισχυρότερο μικροβιοκτόνο και επίσης πολύ πιο αποτελεσματικό στην απομάκρυνση του χρώματος, της γεύσης και των οσμών του νερού. Υποπροϊόντα της εφαρμογής όπως τα χλωριώδη ιόντα ( $\text{ClO}^{2-}$ ) έχουν ενοχοποιηθεί για το σχηματισμό της τοξικής μεθαιμοσφαιρίνης στο αίμα πράγμα που ίσως δεν επιτρέπει μεγάλες συγκεντρώσεις διοξειδίου του χλωρίου στο νερό. Για τα υποπροϊόντα της οζόνωσης έχουν επίσης εκφρασθεί ανησυχίες, όμως δεν έχουν επιβεβαιωθεί μέχρι σήμερα, όπως έχει συμβεί με τα THM's. Το όζον όπως και το διοξείδιο του χλωρίου παράγονται επί τόπου. Το ολικό κόστος εφαρμογής της οζόνωσης ως μεθόδου απολύμανσης είναι πολλαπλάσιο του κόστους της χλωρίωσης, θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη η αποτελεσματική δράση του όζοντος και η απουσία παραπροϊόντων απολύμανσης. Το πιο σημαντικό όμως μειονέκτημα της οζόνωσης είναι η έλλειψη υπολειμματικής δόσης απολυμαντικού για προστασία του νερού κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά του από το διυλιστήριο στον καταναλωτή.

Οι δεξαμενές προαπολύμανσης οι οποίες χρησιμοποιούνται για οξείδωση του νερού με όζον (προοζόνωση – οζόνωση) πρέπει να είναι αεροστεγείς και η περίσσεια του όζοντος πρέπει πάντα να οδηγείται σε καταστροφέα όζοντος.

## 2.10 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΡΗ

Μετά το στάδιο της προαπολύμανσης το νερό οδηγείται σε ειδικές δεξαμενές, όπου προστίθεται πυκνό θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) με σκοπό τη διόρθωση του pH. Ο μέσος χρόνος παραμονής του νερού σ' αυτές τις δεξαμενές είναι περίπου 3-5 λεπτά.



## 2.11 ΤΑΧΕΙΑ ΑΝΑΜΙΞΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΟ ΚΡΟΚΙΑΩΤΙΚΟ

Το νερό εισέρχεται στις δεξαμενές ταχείας ανάμιξης, όπου επιτυγχάνεται πλήρης ανάμιξη και διασπορά του διαλύματος του θειικού αργιλίου ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), το οποίο προστίθεται στο νερό με σκοπό την κροκίδωση των κολλοειδών ουσιών.

## 2.12 ΚΡΟΚΙΑΩΣΗ-ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗ-ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Η **κροκίδωση** (coagulation) και η **συσσωμάτωση** (flocculation) είναι διεργασίες κατά τις οποίες τα κολλοειδή και αδρομερή αιωρούμενα σωματίδια του νερού προετοιμάζονται με κατάλληλα αντιδραστήρια για την **αποσταθεροποίηση**, τη **συνένωση (συσσωμάτωση)** και την απομάκρυνσή τους π.χ. με **καθίζηση**. Τα κύρια στάδια της διεργασίας είναι τα εξής:

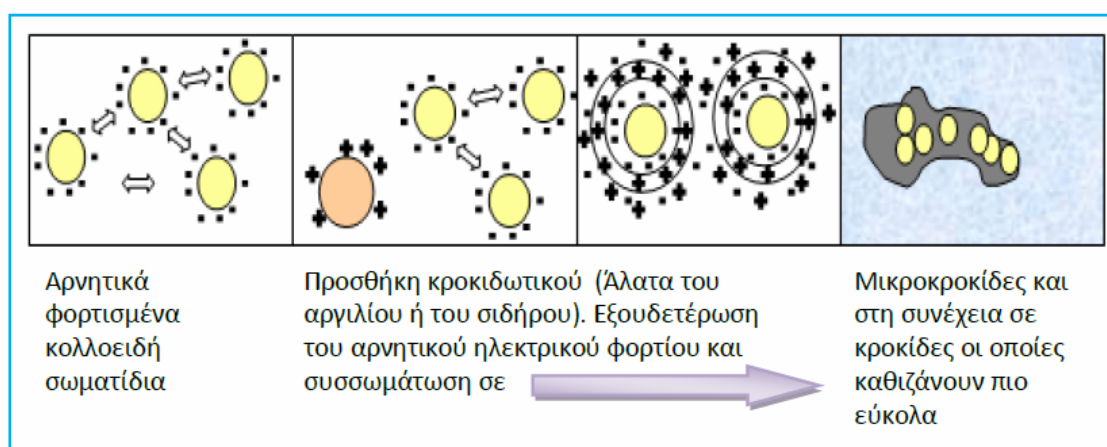
- Η προσθήκη χημικών μέσων, γνωστών ως κροκιδωτικών. Το στάδιο αυτό είναι το βασικό στάδιο της κροκίδωσης (coagulation).
- Η συνένωση των κολλοειδών σωματιδίων που προσεγγίζουν το ένα το άλλο με αποτέλεσμα τη δημιουργία ορατών συσσωματωμάτων. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται συσσωμάτωση ή θρόμβωση (flocculation).
- Απομάκρυνση των σχηματισμένων μεγάλων συσσωματωμάτων με καθίζηση (sedimentation) ή διήθηση.

Ως κολλοειδή χαρακτηρίζονται τα οπτικά (δια γυμνού οφθαλμού) ομογενή μίγματα ή αλλιώς τα συστήματα διασποράς σωματιδίων μεγέθους  $10^{-7}$ - $10^{-4}$  cm (1,0 nm-1,0 μm). Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται και μικκύλια. Τα μικκύλια μπορεί να είναι συσσωματώματα μορίων, μικροκρύσταλλοι, ή μεγαλομόρια (μόρια πολύ μεγάλου μοριακού βάρους και διαστάσεων, όπως πρωτεΐνες, πολυμερή, νουκλεϊκά οξέα, πολυσακχαρίτες κ.ά.). Η απομάκρυνσή τους με απλή καθίζηση είναι αδύνατη λόγω του μεγέθους και του ηλεκτρικού φορτίου τους. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των κολλοειδών είναι Van der Waals (σχετικά ασθενείς ελκτικές δυνάμεις) και ηλεκτροστατικής φύσης (ισχυρότερες απωστικές δυνάμεις). Συχνά, τα κολλοειδή σχηματίζουν σταθερά αιωρήματα λόγω του όμοιου (αρνητικού) φορτίου και της επακόλουθης ηλεκτροστατικής άπωσης μεταξύ τους.

Για την επίτευξη της συσσωμάτωσης των κολλοειδών προς μεγαλύτερα και τον εύκολο διαχωρισμό τους, θα πρέπει να συμβεί αποσταθεροποίησή τους, δηλαδή εξουδετέρωση του επιφανειακού αρνητικού φορτίου. Έτσι, κατά την προσθήκη των κροκιδωτικών τα

οποία φέρουν θετικά φορτισμένα ιόντα, εξουδετερώνεται ή ελαττώνεται το φορτίο, ώστε τα κολλοειδή να αποκτήσουν συνολικό φορτίο κοντά στο μηδέν, οπότε υπερिशύουν οι ελκτικές δυνάμεις Van der Waals έναντι των απωστικών ηλεκτρικών δυνάμεων. Στη συνέχεια, λαμβάνει χώρα η σύγκρουση και η ακόλουθη συνένωση των σωματιδίων προς σχηματισμό συσσωματωμάτων (κροκίδες, flocs) (σχήμα 2.4). Με την κροκίδωση τα κολλοειδή συστήματα παύουν να είναι ομογενή. Με την συσσωμάτωση τα τεμαχίδια των συστατικών (flocs) ξεπερνούν σε μέγεθος το όριο των  $10^{-4}$  cm και γίνονται πλέον ορατά με γυμνό μάτι.

Τα συνήθη κροκιδωτικά (coagulants) υλικά είναι το θεικό αργίλιο ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) και τα άλατα του σιδήρου (τριχλωριούχος σίδηρος  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  και θεικός σίδηρος  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Χρησιμοποιείται ακόμα η υδράσβεστος ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), διάφοροι πολυηλεκτρολύτες (πολυοξέα και πολυαμίδια με ηλεκτρικά ενεργές ομάδες όπως  $\text{COOH-}$ ,  $\text{CH}_2\text{COH-CO-}$ ,  $\text{NH}_2-$ , κ.τ.λ. που κυκλοφορούν με διάφορες εμπορικές ονομασίες) σαν βοηθητικά συσσωμάτωσης. Η ποσότητα των κροκιδωτικών υλικών καθώς επίσης και το περιβάλλον στο οποίο δρουν καλύτερα (θερμοκρασία, pH, ανάδευση κ.τ.λ.) ελέγχεται με εργαστηριακές δοκιμές (Jar test).



Σχήμα 2.4 Ο μηχανισμός της κροκίδωσης [1].

Η κροκίδωση-συσσωμάτωση είναι φυσικοχημική-ηλεκτροχημική διεργασία και στοχεύει στην απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών του νερού, ώστε αυτά στη συνέχεια να καθιζάνουν στο πυθμένα της δεξαμενής και να απομακρυνθούν από το νερό με τη μορφή ιλύος. Όταν το θεικό αργίλιο (γνωστό ως Alum) προστεθεί στο νερό προκύπτουν ιόντα αργιλίου ( $\text{Al}^{3+}$ ) τα οποία εξουδετερώνουν τα

αρνητικά φορτία των κολλοειδών διευκολύνοντας έτσι τη συσσωμάτωσή τους σχηματίζοντας χαλαρές μάζες αδιάλυτων υδροξειδίων του αργιλίου ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), οι οποίες εμπλέκουν και συμπαρασύρουν στην καθίζησή τους στο πυθμένα της δεξαμενής, τα αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά. Όπως προαναφέρθηκε εκτός από το θειικό αργίλιο συχνά χρησιμοποιούνται ως υποβοηθητικά της κροκίδωσης και διάφοροι συνθετικοί πολυηλεκτρολύτες σε μικρές συγκεντρώσεις. Σημειώνεται ακόμα ότι πολλά ιόντα του αργιλίου καταναλώνονται επειδή αντιδρούν με σκοπό να εξουδετερώσουν την αλκαλικότητα δηλαδή τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ) του νερού.

Συνεπώς η ρύθμιση του pH του νερού, συνήθως με προσθήκη υδροξειδίου του ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ή ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) πριν τη διεργασία της κροκίδωσης κρίνεται απαραίτητη.

Η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου σε ένα διάλυμα που περιέχει κολλοειδή προκαλεί κίνηση των σωματιδίων, συνεπώς τα κολλοειδή σωματίδια θεωρούνται ως μερικώς ιονισμένα επιφανειακά. Στην επιφάνεια ενός φορτισμένου κολλοειδούς σωματιδίου προσκολλώνται ιόντα με αντίθετο φορτίο σχηματίζοντας ένα συμπαγές στρώμα, το οποίο καλείται στρώμα Stern. Γύρω από το συμπαγές αυτό στρώμα σχηματίζεται ένα πιο χαλαρό, που αποτελείται από ένα διάχυτο νέφος ιόντων. Η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ του στρώματος Stern και της κυρίως μάζας του διαλύματος ορίζεται ως δυναμικό Z ή ηλεκτροκινητικό δυναμικό. Το δυναμικό αυτό δρα παρεμποδίζοντας την συνένωση των κολλοειδών. Άρα, για να γίνει συνένωση των κολλοειδών πρέπει το διάλυμα να αποσταθεροποιηθεί είτε με ελάττωση του δυναμικού Z είτε με παρεμπόδιση της δράσης του. Η αποσταθεροποίηση αυτή βασίζεται στην κροκίδωση και τη συσσωμάτωση.

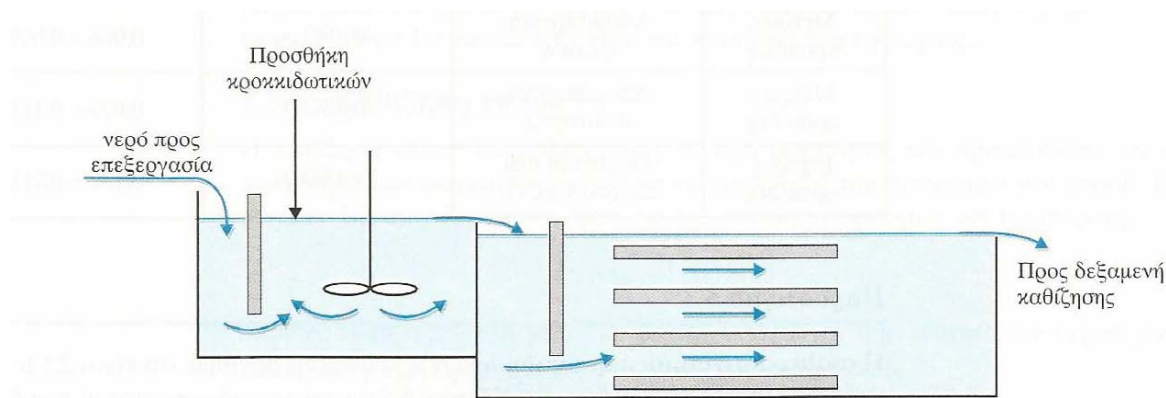
Οι μηχανισμοί με τους οποίους επιτυγχάνεται η κροκίδωση και η συσσωμάτωση των κολλοειδών είναι οι εξής:

- Αμοιβαία συσσωμάτωση. Με την προσθήκη, συνήθως, μεταλλικών οξειδίων (π.χ. θειικού αργιλίου) παρουσιάζονται πολυσθενή θετικά ιόντα τα οποία εξουδετερώνουν τα αρνητικά φορτισμένα κολλοειδή.
- Ηλεκτροστατική συσσωμάτωση. Με την προσθήκη ηλεκτρολυτών, προκαλείται αποσταθεροποίηση των κολλοειδών λόγω μείωσης της ηλεκτροστατικής άπωσης, δηλαδή μείωση του δυναμικού Z. Η ποσότητα του προστιθέμενου ηλεκτρολύτη είναι ανάλογη του δυναμικού Z και όχι της ποσότητας των κολλοειδών και εξαρτάται από το σθένος των ιόντων του κροκιδωτικού μέσου. Η ικανότητα κροκίδωσης αυξάνει γεωμετρικά με το σθένος του προστιθέμενου ιόντος. Η πιο αποτελεσματική κροκίδωση πραγματοποιείται όταν

το δυναμικό Z γίνεται μηδέν (ισοηλεκτρικό σημείο), ωστόσο είναι αρκετά ικανοποιητική και για τιμές του δυναμικού  $\pm 0.5$  mV.

- Συσσωμάτωση με προσρόφηση. Η αποσταθεροποίηση του κολλοειδούς διαλύματος γίνεται με την προσθήκη πολυηλεκτρολυτών οι οποίοι μεταβάλλουν το φορτίο των κολλοειδών, μέσω του μηχανισμού της προσρόφησης.
- Συσσωμάτωση με γεφύρωση. Η αποσταθεροποίηση του κολλοειδούς διαλύματος είναι αποτέλεσμα της προσθήκης μακρομορίων ή πολυηλεκτρολυτών, που προσροφώνται στην επιφάνεια των κολλοειδών, δημιουργώντας γεφυρώσεις.
- Συσσωμάτωση με σάρωση: Η σάρωση των κολλοειδών σωματιδίων γίνεται από τα αδιάλυτα υδροξείδια των μετάλλων τα οποία καθώς καθιζάνουν αργά, συμπαρασύρουν τα αιωρούμενα σωματίδια.

Η μηχανική διεργασία συνίσταται στη δημιουργία κλίσεων ταχύτητας στο νερό ώστε τα στερεά να έρχονται σε επαφή και να συσσωματώνονται. Προς τούτο πραγματοποιείται ανάδευση του νερού στο οποίο έχουν προστεθεί τα κροκιδωτικά, και το μίγμα αναδεύεται έντονα με τη βοήθεια περιστρεφόμενων ελίκων.



Σχήμα 2.5 Δεξαμενή κροκίδωσης [6].



Σχήμα 2.6 Άποψη ορθογώνιας και κυκλικής δεξαμενής καθίζησης [1].

## 2.13 ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ-ΙΖΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ

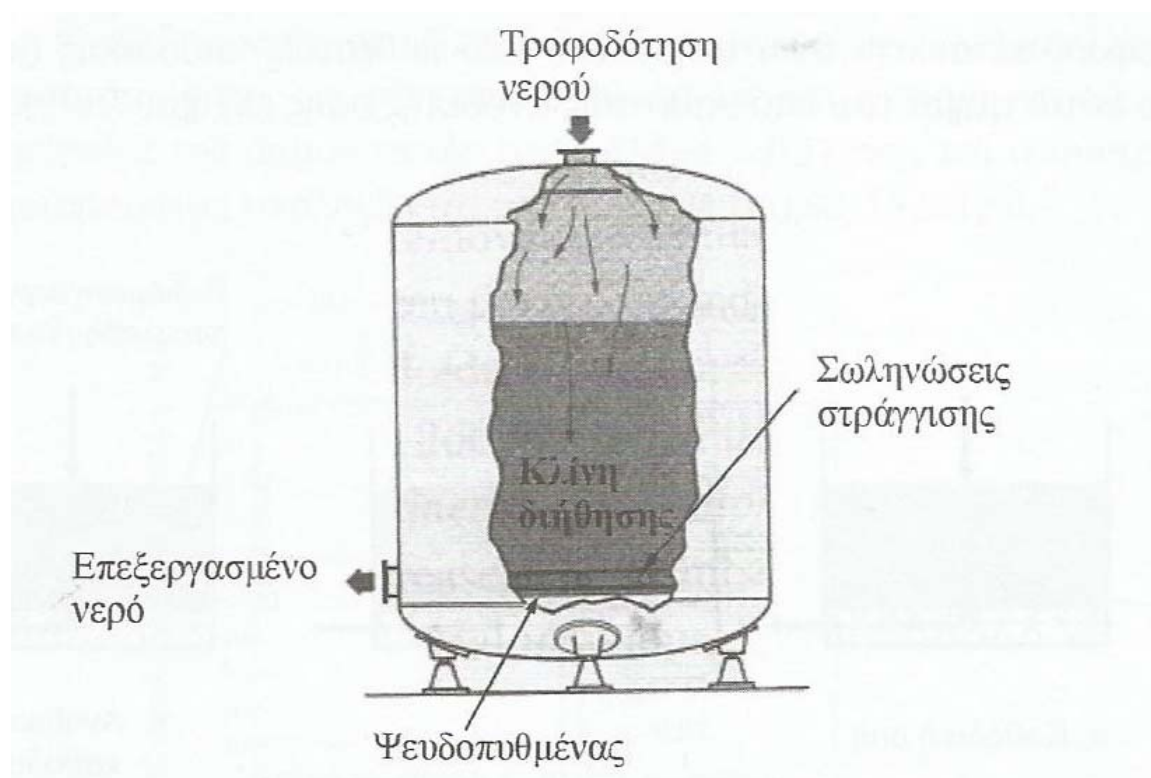
Η χημική κατακρήμνιση-ιζηματοποίηση (precipitation) είναι ταυτόχρονα φυσική και χημική διεργασία που εφαρμόζεται στην επεξεργασία του νερού. Πρόκειται για διεργασία αδιαλυτοποίησης ορισμένων ανεπιθύμητων συστατικών του νερού με σχηματισμό αδιάλυτων ενώσεων, λόγω αλλαγής της διαλυτότητάς τους. Επιτυγχάνεται συνήθως με μεταβολή του pH (αύξηση ή μείωση) και αλλαγή του αριθμού οξείδωσης των στοιχείων που μετατρέπονται σε ίζημα. Πρωτεύοντα ρόλο στη διεργασία αυτή παίζει η ιονική ισχύς του νερού και η οξειδωτική βαθμίδα των περιεχομένων στοιχείων. Οι μεταβολές του pH παίζουν σπουδαιότατο ρόλο στην ιζηματοποίηση, η οποία πολλές φορές, εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τις διεργασίες της κροκίδωσης - συσσωμάτωσης, στην ελάττωση της σκληρότητας του νερού (απομάκρυνση αλάτων Ca, Mg), στην απομάκρυνση των όξινων ανθρακικών ( $\text{HCO}_3^-$ ), των βαρέων μετάλλων, των φθοριούχων ( $\text{F}^-$ ), των φωσφορικών ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) και των θειούχων ιόντων ( $\text{S}^{2-}$ ) με τη μορφή ιζημάτων.

Με τη μέθοδο της χημικής κατακρήμνισης (ιζηματοποίησης) διαχωρίζονται ουσίες όπως για παράδειγμα οι ενώσεις διαφόρων μεταλλικών ιόντων ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  κ.τ.λ.). Τα πιο συνηθισμένα αντιδραστήρια κατακρήμνισης περιλαμβάνουν συνήθως τα υδροξείδια ( $\text{OH}^-$ ) και τα σουλφίδια ( $\text{S}^{2-}$ ) και πιο σπάνια τα ανθρακικά ιόντα ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Τα χημικά αντιδραστήρια τα οποία χρησιμοποιούνται είναι συνήθως ισχυρά οξειδωτικά μέσα, όπως το όζον ( $\text{O}_3$ ), το διοξείδιο του χλωρίου ( $\text{ClO}_2$ ), το χλώριο ( $\text{Cl}_2$ ), το υποχλωριώδες οξύ ( $\text{HOCl}$ ), το υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), το υπερμαγγανικό κάλιο ( $\text{KMnO}_4$ )

κ.ά. Τα προϊόντα των αντιδράσεων είναι αδιάλυτα άλατα που καθιζάνουν στον πυθμένα των δεξαμενών αντίδρασης ή των δεξαμενών τελικής καθίζησης.

## 2.14 ΔΙΥΛΙΣΗ

Η διύλιση επιτυγχάνεται με κοκκώδη υλικά σε κλίνες και εφαρμόζεται για την απομάκρυνση αργίλων, μικροοργανισμών και προϊόντων ιζηματοποίησης. Περιλαμβάνει πολλές παραλλαγές όπως η διήθηση χώρου, η διήθηση επιφάνειας κ.τ.λ. που βασίζονται στη διήθηση του νερού, με βαρύτητα ή υπό πίεση, με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος, ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Τα φίλτρα της άμμου είναι διαδοχικά στρώματα λεπτού χαλικιού (4-8 mm) και χονδρής ή λεπτής άμμου με κατά το δυνατόν ομοιόμορφο μέγεθος κόκκων (1-1,6 mm). Τα πιο πολλά διυλιστήρια νερού αποτελούνται συνήθως από πολλές δίδυμες κλίνες άμμου ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης και τον όγκο του προς επεξεργασία νερού.



Σχήμα 2.7 Τυπικό κατακόρυφο διυλιστήριο πίεσης [5].

Το νερό διέρχεται κατακόρυφα από το στρώμα του κοκκώδους υλικού το οποίο συγκρατεί τα κολλοειδή στερεά με τους μηχανισμούς προσρόφησης, καθίζησης και σουρώματος. Το μεγάλο μέγεθος κόκκων και συνεπώς και των κενών συνεπάγεται την ανάγκη μεγάλου πάχους διυλιστικού στρώματος (περίπου 2.0 m). Το διυλισμένο νερό συγκεντρώνεται στον υποδαπέδιο χώρο από όπου απομακρύνεται.

Με την πάροδο του χρόνου τα κενά του διυλιστηρίου γεμίζουν και η διαπερατότητά του μικραίνει. Όταν η θολότητα του διυλισμένου νερού υπερβεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο η διαδικασία της διύλισης διακόπτεται για να ακολουθήσει η διαδικασία έκπλυσης η οποία διαρκεί περίπου 10 min. Αέρας και νερό διοχετεύεται από κάτω προς τα επάνω στο στρώμα της άμμου διαμέσου του υποδαπέδιου χώρου. Το ακάθαρτο νερό συλλέγεται από οριζόντιες διώρυγες και οδηγείται σε ειδική δεξαμενή εξισορρόπησης απ' όπου και πάλι διοχετεύεται στη γραμμή επεξεργασίας με σχετικά μικρή παροχή.

Μετά την κροκίδωση-καθίζηση το νερό έχει συνήθως θολότητα μερικών NTU (Nephelometric Turbidity Units). Με τη διύλιση η θολότητα του νερού μειώνεται ακόμη και κάτω από 1,0 NTU. Η διύλιση συμβάλλει επίσης σημαντικά στην απομάκρυνση των μικροοργανισμών που διαφεύγουν την προαπολύμανση και την κροκίδωση-καθίζηση.

## **2.15 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ ΆΝΘΡΑΚΑ**

### **2.15.1 Προσρόφηση**

Η προσρόφηση αποτελεί ένα επιφανειακό φαινόμενο κατά το οποίο λαμβάνει χώρα η συσσώρευση ή η συγκέντρωση μιας ουσίας στην επιφάνεια ή διεπιφάνεια μεταξύ δύο φάσεων. Οι φάσεις αυτές μπορεί να ακολουθούν κάποιον από τους παρακάτω συνδυασμούς: υγρού-υγρού, υγρού-στερεού, αερίου-υγρού και αερίου-στερεού. Η φάση στην επιφάνεια της οποίας συμβαίνει η προσρόφηση ονομάζεται «προσροφητικό μέσο» ενώ η ουσία που προσροφάται χαρακτηρίζεται «προσροφημένη ουσία».

Η προσρόφηση στην επιφάνεια στερεών υλικών έχει μεγάλη περιβαλλοντική σημασία, κυρίως για την αποτελεσματική απομάκρυνση ρύπων από υδάτινα και αέρια ρεύματα. Οφείλεται δε στην παρουσία ατόμων στην επιφάνεια του στερεού υλικού, τα οποία είναι ακόρεστα δεδομένου ότι συνορεύουν μονόπλευρα με άλλα άτομα στο εσωτερικό του στερεού πλέγματος. Έτσι, αναπτύσσονται ελεύθερες μονάδες συγγένειας στην επιφάνεια των στερεών με τις οποίες μπορούν να συγκρατηθούν ξένα άτομα, μόρια ή ιόντα.



Η διεργασία της προσρόφησης δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αλλά οι απαιτήσεις για καλύτερη ποιότητα εκροών από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης και της μείωσης της τοξικότητας, έχουν οδηγήσει στην εντατική εξέταση και χρήση της διεργασίας της προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα.

Η επεξεργασία υγρών αποβλήτων με ενεργό άνθρακα, συνήθως θεωρείται ως στάδιο τριτοβάθμιας επεξεργασίας για νερό που έχει ήδη υποστεί βιολογική επεξεργασία. Ο άνθρακας στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση ενός τμήματος της διαλυτής οργανικής ύλης που έχει απομείνει.

Η προσρόφηση ουσιών από υδατικά διαλύματα στην επιφάνεια ενός στερεού εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες που έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά του προσροφητικού μέσου και της προσροφημένης ουσίας, καθώς επίσης και από τις ιδιότητες του διαλύματος (pH, θερμοκρασία, παρουσία άλλων ουσιών). Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν τόσο την έκταση όσο και την ταχύτητα προσρόφησης της ουσίας στη στερεή επιφάνεια.

Οι βασικοί τύποι των προσροφητικών μέσων περιλαμβάνουν τον ενεργό άνθρακα, τα συνθετικά πολυμερή και τα προσροφητικά μέσα που βασίζονται στο πυρίτιο, αν και τα συνθετικά πολυμερή και τα προσροφητικά μέσα που βασίζονται στο πυρίτιο χρησιμοποιούνται σπάνια για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, λόγω του υψηλού τους κόστους. Μεγάλο ενδιαφέρον συγκεντρώνεται σε προσροφητικά μέσα που παρουσιάζουν πορώδη δομή, λόγω της μεγάλης εσωτερικής τους επιφάνειας, όπως ο ενεργός άνθρακας.

Η ειδική επιφάνεια, το μέγεθος και το σχήμα των πόρων στο εσωτερικό των σωματιδίων, αλλά και το μέγεθος των σωματιδίων, είναι οι βασικές φυσικές ιδιότητες του προσροφητικού μέσου που επηρεάζουν άμεσα την προσροφητική ικανότητά του, καθορίζοντας τόσο τη διαθέσιμη για προσρόφηση επιφάνεια, όσο και το μέγεθος των μορίων που μπορούν να προσροφηθούν.

Ως «ειδική επιφάνεια» ορίζεται η επιφάνεια του στερεού προσροφητικού μέσου ανά μονάδα μάζας του. Εφόσον η προσρόφηση είναι επιφανειακό φαινόμενο, η έκτασή της είναι ανάλογη της ειδικής επιφάνειας και αυξάνεται με αύξηση της ειδικής επιφάνειας.

Η διεργασία της προσρόφησης, λαμβάνει χώρα σε τέσσερα περίπου διακριτά στάδια:

1. μεταφορά από τον κύριο όγκο του υγρού,
2. διάχυση μέσω επιφανειακής στοιβάδας,
3. μεταφορά μέσα στους πόρους και
4. προσρόφηση (ή ρόφηση).



Η μεταφορά από τον κύριο όγκο του υγρού αφορά τη μετακίνηση του οργανικού υλικού που θα προσροφηθεί από τον κύριο όγκο του υγρού, στο οριακό στρώμα της σταθερής επιφανειακής στοιβάδας, που περιβάλλει το προσροφητικό μέσο και λαμβάνει χώρα με εξαναγκασμένη ροή, και διασπορά μέσα στις μονάδες επαφής ενεργού άνθρακα.

Η διάχυση μέσω επιφανειακής στοιβάδας αφορά τη μεταφορά λόγω διάχυσης του οργανικού υλικού, διαμέσου του στατικού επιφανειακού υγρού φιλμ από τον κύριο όγκο του υγρού, στην είσοδο των πόρων του προσροφητικού μέσου.

Η μεταφορά μέσα στους πόρους αφορά τη μετακίνηση του υλικού που θα προσροφηθεί διαμέσου των πόρων, με συνδυασμό μοριακής διάχυσης μέσα στο υγρό των πόρων, και/ή με διάχυση κατά μήκος της επιφάνειας του προσροφητικού μέσου.

Η προσρόφηση αφορά την προσκόλληση/κατακράτηση της ουσίας που θα προσροφηθεί στο προσροφητικό μέσο σε μια διαθέσιμη θέση προσρόφησης. Η προσρόφηση μπορεί να λάβει χώρα πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του προσροφητικού μέσου, στους μακροπόρους, μεσοπόρους, μικροπόρους, αλλά η ειδική επιφάνεια των μακρο- και μεσοπόρων είναι μικρή, συγκρινόμενη με την ειδική επιφάνεια των μικροπόρων, και το ποσοστό του υλικού που προσροφάται σε αυτούς τους πόρους συνήθως θεωρείται αμελητέο.

Οι δυνάμεις της προσρόφησης περιλαμβάνουν:

- Έλξεις μεταξύ αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων
- Αλληλεπιδράσεις μεταξύ σημειακού φορτίου και δίπολου
- Αλληλεπιδράσεις δίπολου-δίπολου
- Δυνάμεις London ή van der Waals
- Ομοιοπολικούς δεσμούς με αντίδραση
- Δεσμούς υδρογόνου

### **2.15.2 Παρασκευή Ενεργού Άνθρακα**

Για την παραγωγή του ενεργού άνθρακα παράγεται αρχικά ένα εξανθράκωμα από οργανικά υλικά όπως κελύφη αμυγδάλων, καρύδας και φουντουκιών, ενώ άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το ξύλο, τα κόκαλα και ο γαιάνθρακας. Το εξανθράκωμα παράγεται με θέρμανση του αρχικού υλικού ως την ερυθροπύρωση (θερμοκρασία μικρότερη από 700°C), σε κλίβανο για την απομάκρυνση των υδρογονανθράκων, ενώ η καύση διατηρείται με ανεπαρκή παροχή οξυγόνου. Η ανθρακοποίηση ή η διεργασία παραγωγής εξανθρακώματος, είναι βασικά μια διεργασία πυρόλυσης.

Τα σωματίδια του εξανθρακώματος στη συνέχεια ενεργοποιούνται με έκθεση σε οξειδωτικά αέρια, όπως ο ατμός και το CO<sub>2</sub> σε υψηλές θερμοκρασίες στους 800-900°C. Τα αέρια αυτά αναπτύσσουν στο

εξανθράκωμα μια πορώδη δομή και έτσι δημιουργείται μια μεγάλη εσωτερική ειδική επιφάνεια.

Ο τύπος του αρχικού υλικού από τον οποίο παράγεται ο ενεργός άνθρακας μπορεί να επηρεάσει την κατανομή μεγέθους των πόρων και τα χαρακτηριστικά της αναγέννησης. Μετά την ενεργοποίηση, ο άνθρακας μπορεί να διαχωριστεί, ή να παραχθεί σε διαφορετικά μεγέθη με διαφορετική χωρητικότητα προσρόφησης.

Οι δύο κατηγορίες μεγέθους είναι:

- ο «κονιοποιημένος ενεργός άνθρακας» (Powdered Activated Carbon, PAC), με διάμετρο μικρότερη από 0.074 mm, και
- ο «κοκκώδης ενεργός άνθρακας» (Granular Activated Carbon, GAC), με διάμετρο μεγαλύτερη από 0.1 mm.

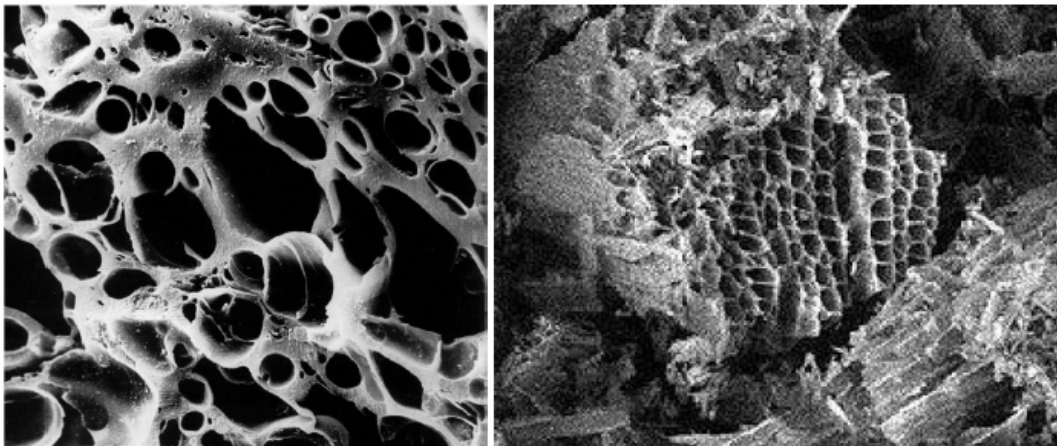
Οι εμπορικοί ενεργοί άνθρακες εκτός από την τιμή της ειδικής επιφάνειας, μπορούν να χαρακτηριστούν με μια σειρά δοκιμών, που αφορούν δοκιμές προσρόφησης, φυσικών, χημικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων. Στις δοκιμές προσρόφησης περιλαμβάνονται ο προσδιορισμός της ισόθερμης της φαινόλης, η προσρόφηση ιωδίου, μπλε του μεθυλενίου, κ.α. Στις φυσικές δοκιμές περιλαμβάνονται η πυκνότητα του ενεργού άνθρακα, το μέγεθος των σωματιδίων, η πτώση πίεσης και η μηχανική αντοχή. Τέλος, στις χημικές και φυσικοχημικές δοκιμές περιλαμβάνονται το ποσοστό υγρασίας, τέφρας, βαρέων μετάλλων, η θερμοκρασία ανάφλεξης του άνθρακα, κ.α.

Ο «αριθμός ιωδίου» αντιπροσωπεύει το ποσό των μικρών πόρων του ενεργού άνθρακα. Ορίζεται ως (mg) ιωδίου, που προσροφώνται ανά γραμμάριο άνθρακα, όταν η συγκέντρωση ισορροπίας είναι 0.02N. Ο αριθμός ιωδίου συνδέεται με την ειδική επιφάνεια πόρων με διάμετρο μικρότερη από 10 Angstroms.

Αντίθετα ο «αριθμός μελάσας» αντιπροσωπεύει το ποσό των μεγάλων πόρων του ενεργού άνθρακα. Ο αριθμός μελάσας συνδέεται με την ειδική επιφάνεια πόρων με διάμετρο μεγαλύτερη από 10 Angstroms. Τέλος, ο «αριθμός μπλε του μεθυλενίου» αντιπροσωπεύει το ποσό των μεσοπόρων του ενεργού άνθρακα.

### **2.15.3 Δομή Ενεργού Άνθρακα**

Η μοναδική φύση του ενεργού άνθρακα αυξάνει πάρα πολύ την απόδοση της προσρόφησης. Ο ενεργός άνθρακας μπορεί να περιγραφεί σαν μια άμορφη μάζα γραφίτη, με τυχαία μεγέθη γραφιτικών πλακών. Η δομή του είναι πολύ πορώδης, με μια ποικιλία από σπασίματα και ρωγμές που φθάνουν σε μοριακά μεγέθη. Τα μεγαλύτερα ανοίγματα (που αποτελούν περίπου το 10-20% του όγκου κάθε κόκκου), λειτουργούν σαν αγωγοί μεταφοράς, διαμέσου των οποίων οι ρυπαντές διαχέονται σε θέσεις ή σε πόρους προσρόφησης.



Σχήμα 2.8 Δομή πόρων ενεργού άνθρακα [8].

Η προσρόφηση γίνεται στα μικρότερα ανοίγματα που είναι συνήθως μόνο λίγα μόρια πλατιά. Οι πόροι από άποψη μορφής διακρίνονται σε κυλινδρικούς και κωνικούς. Για το ίδιο μέγεθος πόρων οι κωνικοί είναι πιο αποδοτικοί για την ταυτόχρονη προσρόφηση μικρών και μεγάλων μορίων, ενώ οι κυλινδρικοί μπορεί να αχρηστευθούν από μεγάλα μόρια ή κολλοειδή. Οι διάφοροι τύποι ενεργού άνθρακα έχουν συνήθως εσωτερική επιφάνεια από 500- 2500 m<sup>2</sup>/g βάρους.

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται είτε σε μορφή κόκκων, είτε σε μορφή σκόνης. Η μορφή σκόνης συνήθως προστίθεται στο προς επεξεργασία ρεύμα και ύστερα φιλτράρεται στην έξοδο. Κατά την επεξεργασία νερού σε σταθερές κλίνες προσρόφησης, χρησιμοποιείται συνήθως η μορφή κόκκων, επειδή παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία.

#### 2.15.4 Αναγέννηση και Επανενεργοποίηση του Άνθρακα

Η οικονομικότητα της εφαρμογής του ενεργού άνθρακα εξαρτάται από την αποδοτική αναγέννηση και επανενεργοποίησή του μετά την εξάντληση της αρχικής του χωρητικότητας προσρόφησης. «Αναγέννηση» είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλες τις διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση της χωρητικότητας προσρόφησης του ενεργού άνθρακα, και εκτός από την επανενεργοποίηση περιλαμβάνει:

- χημικά μέσα για την οξείδωση των προσροφημένων ουσιών,
- ατμό για την απομάκρυνση των προσροφημένων ουσιών,
- διαλύτες και
- διεργασίες βιολογικής μετατροπής.

Τυπικά, μέρος της χωρητικότητας προσρόφησης του άνθρακα (περίπου 4-10%) χάνεται κατά τη διεργασία της αναγέννησης, ανάλογα με τις ουσίες που έχουν προσροφηθεί και τη μέθοδο αναγέννησης που χρησιμοποιείται.

Η «επανενεργοποίηση» του κοκκώδους ενεργού άνθρακα αφορά κυρίως την ίδια διεργασία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του ενεργού άνθρακα από το αρχικό υλικό. Ο κορεσμένος άνθρακας επανενεργοποιείται σε έναν φούρνο όπου λαμβάνει χώρα οξείδωση των προσροφημένων οργανικών ουσιών, οι οποίες με τον τρόπο αυτό απομακρύνονται από την επιφάνεια του άνθρακα.

Κατά την επανενεργοποίηση του ενεργού άνθρακα λαμβάνουν χώρα τα ακόλουθα:

- ο άνθρακας θερμαίνεται για την απομάκρυνση των προσροφημένων οργανικών ουσιών,
- κατά τη διεργασία της απομάκρυνσης των προσροφημένων ουσιών σχηματίζονται ορισμένες νέες ενώσεις, οι οποίες παραμένουν στην επιφάνεια του άνθρακα και
- το τελικό στάδιο κατά τη διεργασία της επανενεργοποίησης είναι η καύση των νέων ενώσεων που σχηματίζονται.

### **2.15.5 Κινητική Προσρόφησης**

Αν και οι θερμοδυναμικοί νόμοι δείχνουν την κατάσταση ισορροπίας μεταξύ του προσροφούμενου και του προσροφητικού μέσου, η απομάκρυνση διαλυτών συστατικών κατά την επεξεργασία του νερού, προσδιορίζεται συνήθως από την ταχύτητα προσρόφησης κατά τη διάρκεια της επαφής με το προσροφητικό. Η διαδικασία της προσρόφησης περιλαμβάνει μια σειρά από διαδοχικά βήματα με επιμέρους ταχύτητες:

- Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει τη μεταφορά του διαλυτού συστατικού από την κύρια μάζα του διαλύματος στο όριο του επιφανειακού φιλμ που περιβάλλει τα σωματίδια του προσροφητικού. Οι συνθήκες ροής και η μετακίνηση του διαλυτού συστατικού στη μάζα του διαλύματος είναι οι παράμετροι που ελέγχουν το φαινόμενο.
- Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τη μεταφορά του διαλυτού συστατικού δια μέσου του επιφανειακού φιλμ στην εξωτερική επιφάνεια του προσροφητικού. Η παράμετρος που ελέγχει το φαινόμενο αυτό είναι η μοριακή διάχυση.
- Το τρίτο βήμα περιλαμβάνει τη διάχυση των συστατικών από την εξωτερική επιφάνεια των σωματιδίων του προσροφητικού μέσα στους πόρους. Η μοριακή διάχυση είναι η παράμετρος που ελέγχει την εσωτερική αυτή μετακίνηση με διάχυση.

- Το τελικό βήμα είναι η φυσική ή χημική σύνδεση του προσροφούμενου στην εσωτερική επιφάνεια προσροφητικού. Η ταχύτητα του βήματος αυτού ελέγχεται από τη χημική κινητική σε επίπεδο μορίων.

#### **2.15.6 Εφαρμογές της Επεξεργασίας με Ενεργό Άνθρακα**

Η προσρόφηση με άνθρακα χρησιμοποιείται κυρίως για την απομάκρυνση οργανικών ενώσεων οι οποίες βιοαποικοδομούνται δύσκολα, καθώς επίσης και για την απομάκρυνση υπολειπόμενων συγκεντρώσεων ανόργανων ενώσεων, όπως άζωτο, σουλφίδια και βαρέα μέταλλα. Μια άλλη σημαντική εφαρμογή αποτελεί η απομάκρυνση από τα υγρά απόβλητα των ενώσεων που προσδίδουν γεύση και οσμή, ειδικότερα στις εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης.

Κάτω από κανονικές συνθήκες, μετά την επεξεργασία με άνθρακα, η τιμή BOD εξόδου κυμαίνεται από 2-7mg/L και η τιμή COD εξόδου από 10-20mg/L. Σε βέλτιστες συνθήκες η τιμή COD εξόδου μπορεί να μειωθεί σε τιμές μικρότερες από 10mg/L.

Η επεξεργασία με GAC αφορά τη διέλευση του υγρού που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία, διαμέσου μιας κλίνης ενεργού άνθρακα, η οποία είναι τοποθετημένη σε έναν αντιδραστήρα (μερικές φορές ονομάζεται κλίνη επαφής). Οι τυπικές μονάδες μπορεί να είναι είτε συστήματα πίεσης, είτε τύπου βαρύτητας, και μπορούν να είναι μονάδες σταθερής κλίνης καθοδικής ή ανοδικής ροής, με 2 ή 3 στήλες σε σειρά, ή τύπου διαστελλόμενης κλίνης που λειτουργεί κατά αντιρροή με ανοδική ροή του υγρού.

Για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων με GAC συνήθως χρησιμοποιούνται στήλες σταθερής κλίνης. Οι στήλες σταθερής κλίνης μπορούν να λειτουργήσουν μόνες τους, σε σειρά ή παράλληλα. Συχνά χρησιμοποιούνται φίλτρα με κοκκώδη πληρωτικά υλικά πριν από τις κλίνες επαφής ενεργού άνθρακα, για την απομάκρυνση των οργανικών συστατικών που κατακρατούνται στα αιωρούμενα στερεά μιας δευτεροβάθμιας εκροής.

Το νερό που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία εισάγεται στην κορυφή της στήλης και απομακρύνεται από τον πυθμένα. Ο άνθρακας συγκρατείται σε μια ορισμένη θέση με ένα σύστημα αποστράγγισης στον πυθμένα της στήλης.

Συχνά σε εφαρμογές που αφορούν υγρά απόβλητα υπάρχει πρόβλεψη για αντίστροφη και επιφανειακή πλύση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η πτώση πίεσης που οφείλεται στην κατακράτηση αιωρούμενων στερών μέσα στη στήλη του άνθρακα.

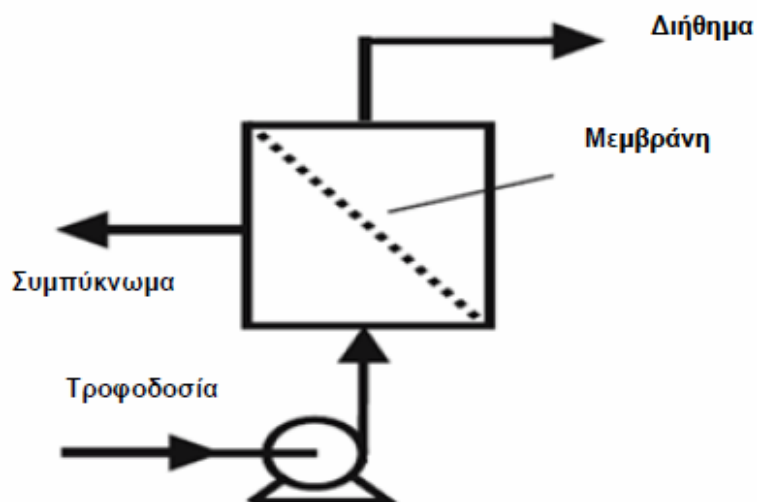
Ο σχεδιασμός των μονάδων επεξεργασίας με ενεργό άνθρακα γίνεται με βάση έξι σημαντικές παραμέτρους οι οποίες είναι:

- η ποσότητα ενεργού άνθρακα (απαίτηση αναγέννησης),
- ο χρόνος επαφής,
- το υδραυλικό φορτίο,
- ο ρυθμός καθαρισμού,
- η διάταξη ροής (ανοδική ή καθοδική) και
- η λειτουργία και το είδος της δεξαμενής επαφής (με βαρύτητα ή πίεση, χαλύβδινη ή από σκυρόδεμα).

## 2.16 ΔΙΗΘΗΣΗ-ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

### 2.16.1 Γενικά

Στις εφαρμογές διήθησης (μεμβράνες) ανήκει η **μικροδιήθηση** (MF), η **υπερδιήθηση** (UF), η **νανοδιήθηση** (NF) και η **αντίστροφη ώσμωση** (RO). Η εφαρμογή των μεμβρανών στην προχωρημένη επεξεργασία του νερού και των υγρών αποβλήτων είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία αλλά πολλά υποσχόμενη και κερδίζει συνεχώς έδαφος έναντι άλλων διεργασιών. Βασικό μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος και η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Τα αποτελέσματα όμως είναι εκπληκτικά (πίνακας 2.2 και σχήμα 2.10).



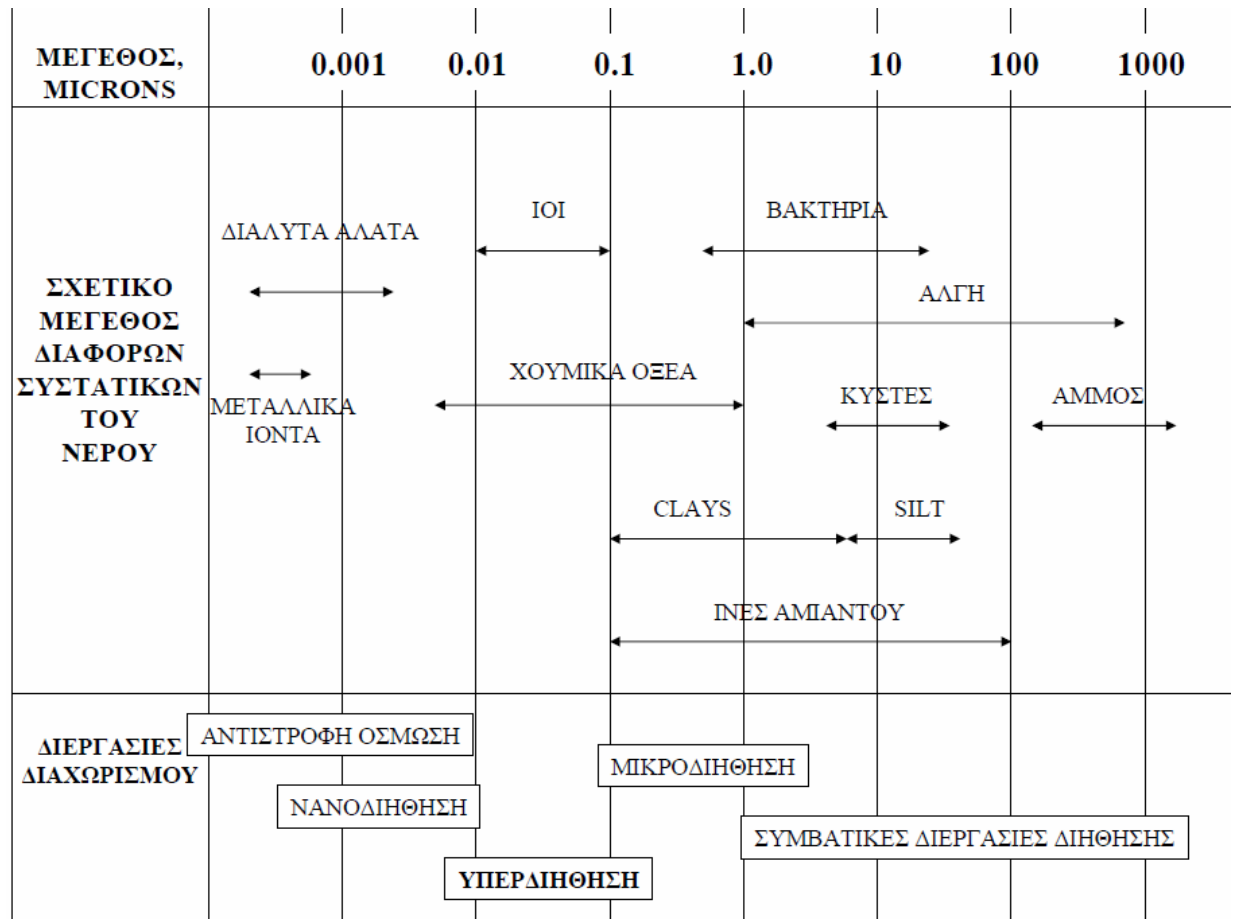
Σχήμα 2.9 Τυπικό διάγραμμα διεργασίας διαχωρισμού μέσα από μεμβράνες [7].

Οι μεμβράνες κατασκευάζονται συνήθως από οξική κυτταρίνη (rayon) ή από ιδιοσκευάσματα πολυμερών όπως τα πολυαμίδια. Κάθε μεμβράνη παρουσιάζει βέλτιστες τιμές απόδοσης σε ορισμένο εύρος θερμοκρασίας, pH και ποιοτικών χαρακτηριστικών ενός υγρού, γεγονός που απαιτεί πειραματικά στοιχεία για την επιλογή της. Ενδεικτικά στις μεθόδους διαχωρισμού στερεών με μεμβράνες αναφέρεται η μικροδιήθηση (MF) με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 0,05 – 2,0  $\mu\text{m}$ , η υπερδιήθηση (UF), με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 2,0 – 0,05  $\mu\text{m}$ , και η νανοδιήθηση (NF) με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 0,5 – 2,0 nm. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση (RO) θεωρητικά δεν έχουν πόρους.

Πίνακας 2.2 Απομάκρυνση διαφόρων συστατικών με τη χρήση μεμβρανών [1].

Συστατικό προς απομάκρυνση	MF	UF	NF	RO
Βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις	-	✓	✓	✓
TDS (Ολικά διαλυμένα στερεά)	-	-	✓	✓
TSS (Ολικά αιωρούμενα στερεά)	✓	✓	-	-
Βαριά μέταλλα	-	-	✓	✓
Σκληρότητα	-	-	✓	✓
Νιτρικά ιόντα	-	-	✓	✓
Συνθετικές οργανικές ενώσεις	-	-	✓	✓
Οργανικοί ρύποι προτεραιότητας	-	✓	✓	✓
Ιοί	-	-	✓	✓
Βακτήρια	✓	✓	✓	✓
Κύστες πρωτόζωων, ωκύστες και ωάρια ελμίνθων	✓	✓	✓	✓

Με τις μεμβράνες επιτυγχάνεται πλήρης απομάκρυνση διαλυτών οργανικών και ανόργανων ρύπων από το νερό. Το νερό διαβιβάζεται σε συνθήκες υπερπίεσης στην ημιπερατή μεμβράνη, οπότε τα μόρια του νερού και μικρό μέρος των διαλυτών ενώσεων διέρχονται από τη μεμβράνη ενώ το μεγαλύτερο μέρος των διαλυτών ενώσεων δεν διέρχεται και συμπυκνώνεται.



Σχήμα 2.10 Αποτελεσματικότητα των διεργασιών διήθησης με μεμβράνες [9].

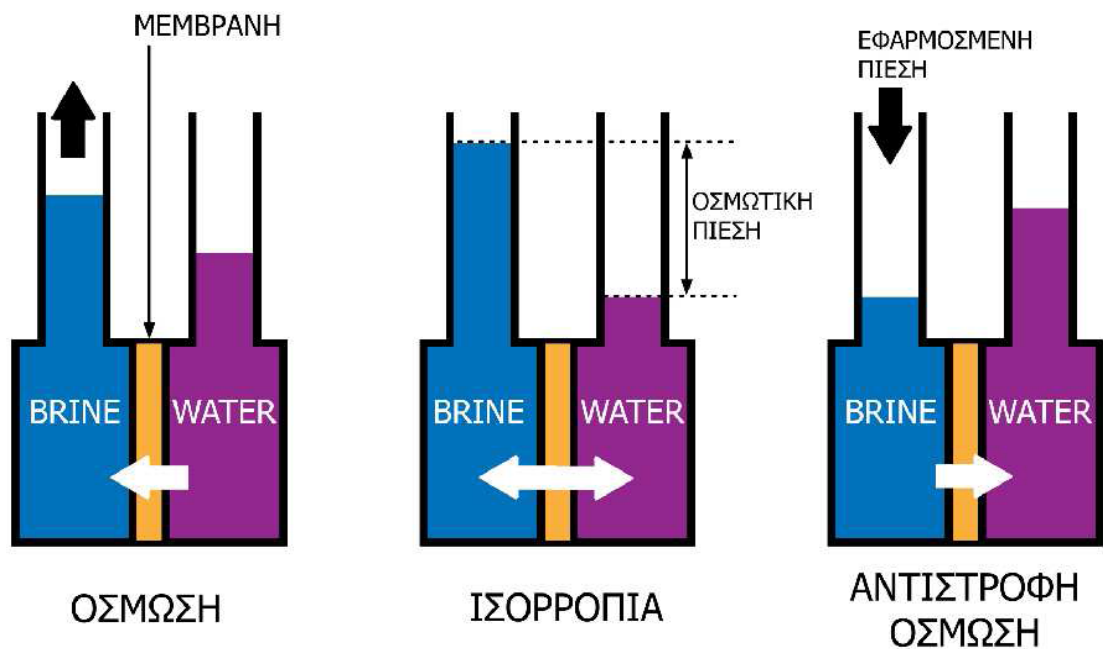
### 2.16.2 Αντίστροφη Ωσμωση

Οι ημιπερατές μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) θεωρητικά δεν έχουν πόρους. Μ' αυτές επιτυγχάνεται πλήρης απομάκρυνση διαλυτών αλάτων και οργανικών μικρορυπαντών από το νερό, το οποίο διαβιβάζεται σε συνθήκες υπερπίεσης στην ημιπερατή μεμβράνη, οπότε τα μόρια του νερού και μικρό μέρος των διαλυτών ενώσεων διέρχονται από τη μεμβράνη ενώ το μεγαλύτερο μέρος των διαλυτών ενώσεων δεν διέρχεται και



συμπυκνώνεται. Η καλή λειτουργία των διατάξεων αντίστροφης ώσμωσης επηρεάζεται από την ύπαρξη πολλών κολλοειδών και αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία φράζουν τους πόρους της μεμβράνης.

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μια μέθοδος αντιστροφής της φυσικοχημικής διεργασίας που καλείται ώσμωση. Είναι μια διεργασία κατά την οποία μια μεμβράνη δρα σαν μοριακό φίλτρο που συγκρατεί τα διαλυμένα συστατικά ενός υδατικού διαλύματος. Η διεργασία αυτή χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό διαλυτών συστατικών του νερού. Ωθούσα δύναμη είναι η πίεση που εφαρμόζεται σε ένα υδατικό διάλυμα η οποία υπερβαίνει την οσμωτική πίεση του διαλύματος έναντι μιας ημιπερατής μεμβράνης. Η δύναμη αυτή εξαναγκάζει τη διέλευση καθαρού νερού διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης και όχι των διαλυτών συστατικών του (σχήμα 2.11).



Α. Το νερό περνά από το διάλυμα με τη χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα στο διάλυμα με την υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα

Β. Οσμωτική πίεση είναι η πίεση που χρειάζεται για να σταματήσει η ροή του νερού μέσω της μεμβράνης και να δημιουργηθεί ισορροπία

Γ. Εφαρμόζοντας πίεση μεγαλύτερη της οσμωτικής, το νερό διαπερνά τη μεμβράνη στην αντίθετη κατεύθυνση, από το διάλυμα με υψηλή συγκέντρωση σε άλατα στο διάλυμα με χαμηλή συγκέντρωση σε άλατα

Σχήμα 2.11 Η διαδικασία της ώσμωσης και της αντίστροφης ώσμωσης [10].

Όταν δύο διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης, π.χ. αποσταγμένο νερό και υδατικό διάλυμα αλάτων, διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη, τότε το καθαρό νερό διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης από το διάλυμα (Α) δηλαδή το αποσταγμένο νερό, προς το διάλυμα (Β) με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. 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. Εάν στο διάλυμα Β εφαρμοστεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική, τότε αντιστρέφεται η ροή και καθαρό νερό διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης από το διάλυμα Β προς το διάλυμα Α. Η διεργασία αυτή ονομάζεται αντίστροφη ώσμωση. Το νερό που προκύπτει είναι εξαιρετικά καθαρό.



Σχήμα 2.12 Εγκαταστάσεις αντίστροφης ώσμωσης στη μονάδα αφαλάτωσης του νερού στη Δεκέλεια της Κύπρου [11].

Η καλή λειτουργία των διατάξεων αντίστροφης ώσμωσης επηρεάζεται από την ύπαρξη κολλοειδών και αιωρουμένων σωματιδίων, τα οποία φράζουν τους πόρους της μεμβράνης. Σε περίπτωση υψηλών απαιτήσεων απομάκρυνσης σωματιδίων και κολλοειδών οι διατάξεις αντίστροφης ώσμωσης ακολουθούν τις διατάξεις διαύγασης που είναι οι διεργασίες κροκίδωσης-συσσωμάτωσης-καθίζησης, αμμοδιύλισης και προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα.

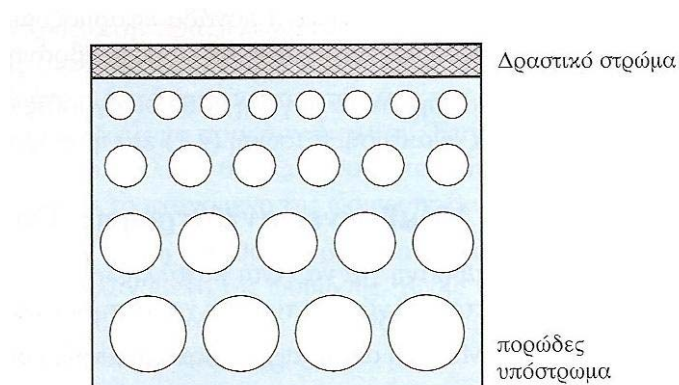
Η κύρια εφαρμογή της αντίστροφης όσμωσης είναι η αφαλάτωση του νερού. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται προκατεργασία του νερού για την αποφυγή σχηματισμού επικαθίσεων από κolloειδή σωματίδια, διαλυμένα άλατα ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SiO}_2$  κ.ά.) και μικροοργανισμούς. Επίσης, συχνά απαιτείται και μετεπεξεργασία (π.χ. διόρθωση pH του νερού). Η πίεση λειτουργίας για τα υφάλμυρα νερά είναι περίπου 10-30 bar και για τα θαλασσινά περίπου 60 bar. Το κόστος της διεργασίας είναι πολύ υψηλό.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης:

- Οι ασύμμετρες μεμβράνες
- Οι σύνθετες μεμβράνες

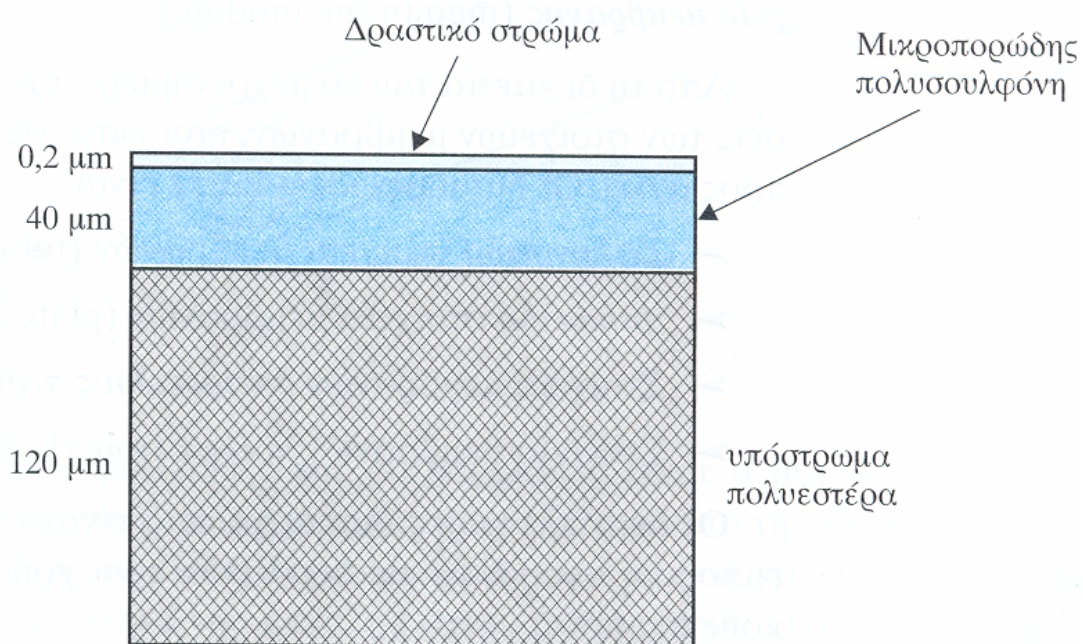
Το πρώτο είδος μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκε για αφαλάτωση από τους Loeb και Sourirajan ήταν ασύμμετρη μεμβράνη οξικής κυτταρίνης (cellulose acetate, CA) στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι σημερινές μεμβράνες CA κατασκευάζονται από μίγμα διοξειδίου και τριοξειδίου κυτταρίνης. Οι ασύμμετρες μεμβράνες αποτελούνται από δύο διαφορετικά στρώματα. Υπάρχει ένα πολύ λεπτό στρώμα (πάχους 0.1-2  $\mu\text{m}$ ), με ιδιότητες απόρριψης των αλάτων στην κορυφή και ακολουθεί ένα πορώδες υπόστρωμα πάχους 100-200  $\mu\text{m}$  χωρίς ιδιότητες απόρριψης. Η δημιουργία της ασύμμετρης δομής των μεμβρανών οφείλεται στον τρόπο παραγωγής τους.

Αυτή η ειδική κατασκευή συνδυάζει καλές ιδιότητες απόρριψης και υψηλή διαπερατότητα του νερού. Το εξωτερικό λεπτό στρώμα είναι υπεύθυνο για την απόρριψη των αλάτων, ενώ ταυτόχρονα λόγω του μικρού πάχους του επιτρέπει ικανοποιητική διαπερατότητα από το νερό. Το πορώδες υπόστρωμα παρέχει την απαιτούμενη μηχανική αντοχή ώστε η μεμβράνη να αντέχει τις εφαρμοζόμενες υψηλές πιέσεις.



Σχήμα 2.13 Ασύμμετρες μεμβράνες [6].

Σύμφωνα με τα προηγούμενα κάθε στρώμα στις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης έχει διαφορετικές ιδιότητες. Έτσι είναι λογικό να προσπαθήσει κανείς να κατασκευάσει τα δύο στρώματα σε διαφορετικά στάδια. Έτσι κατασκευάζεται πρώτα το υπόστρωμα στήριξης που αποτελείται από πολυεστέρα, στην επιφάνεια του οποίου τοποθετείται ένα στρώμα μικροπορώδους πολυσουλφόνης στην κορυφή του οποίου τοποθετείται η μεμβράνη που έχει και τις απορριπτικές ιδιότητες. Το λεπτό στρώμα με τις απορριπτικές ιδιότητες είναι κατασκευασμένο από αρωματικά πολυαμίδια (aromatic polyamides, AP).



Σχήμα 2.14 Σύνθετες μεμβράνες [6].

Η διαπερατότητα των μεμβρανών σε νερό είναι σχετικά μικρή. Έτσι, για να έχουμε ικανοποιητική παραγωγή νερού θα πρέπει η επιφάνεια των μεμβρανών να είναι σημαντική. Όταν αναφερόμαστε στις μεμβράνες δεν εννοούμε μόνο το ενεργό στρώμα που εκτελεί τη διαδικασία της αφαλάτωσης αλλά και το υπόστρωμα. Ο όρος που χρησιμοποιείται για το ενεργό στρώμα και το υπόστρωμα συνολικά είναι στοιχείο μεμβράνης (membrane module). Από τη δεκαετία του 1960 έως σήμερα έχουν δοκιμαστεί διάφορες διαμορφώσεις των στοιχείων μεμβρανών έτσι ώστε να επιτευχθεί μέγιστος λόγος επιφάνειας προς όγκο. Οι διαμορφώσεις αυτές είναι:



- Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών
- Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών
- Στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης
- Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών

## 2.17 ΙΟΝΤΟΕΝΑΛΛΑΓΗ

Η ιοντοεναλλαγή είναι μέθοδος αποσκλήρυνσης του νερού. Πρόκειται για μια φυσικοχημική διεργασία με την οποία επιτυγχάνεται μεταφορά ιόντων από ένα αδιάλυτο στερεό σε μια υγρή φάση και αντίστροφα. Πιο απλά, ιόντα ενός είδους που βρίσκονται σε ένα αδιάλυτο μέσο ανταλλαγής αντικαθίστανται από ιόντα διαφορετικού είδους που βρίσκονται στο διάλυμα. Το αδιάλυτο στερεό διαθέτει ευκίνητα ανιόντα ή κατιόντα ικανά για αντιστρεπτή και στοιχειομετρική εναλλαγή με ιόντα ίδιου φορτίου από το διάλυμα ενός ηλεκτρολύτη με το οποίο έρχεται σε επαφή. Η διεργασία αυτή βασίζεται στην ικανότητα κάποιων υλικών-ορυκτών (ζεόλιθοι) ή συνθετικών (ρητίνες) να δεσμεύουν εκλεκτικά διάφορα ιόντα. Μέσα από μια υψίκορμη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει τον ιοντοεναλλάκτη, διέρχεται το νερό και ο ιοντοεναλλάκτης δεσμεύει τα προς απομάκρυνση ιόντα. Ένα ιόν ανταλλάσσεται με κάποιο άλλο, κρατείται προσωρινά στο μέσο και κατόπιν απελευθερώνεται στο διάλυμα αναγέννησης. Μετά από πολλές χρήσεις ο ιοντοεναλλάκτης (η ρητίνη) αναγεννιέται για να επαναχρησιμοποιηθεί.

Η εκλεκτικότητα των ρητινών εξαρτάται από το σθένος, τον ατομικό αριθμό και την ακτίνα των ενυδατωμένων ιόντων, καθώς και από τη συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών (TDS). Η σειρά εκλεκτικότητας μιας ισχυρά κατιονικής ρητίνης για  $TDS < 1000 \text{ mg/L}$  είναι:  $\text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^{4+} > \text{Na}^+$ . Αυτό σημαίνει ότι όταν δεσμευθούν όλα τα ιόντα στην κλίνη, τα πρώτα ιόντα που θα εμφανιστούν στην έξοδο θα είναι  $\text{NH}_4^{4+}$  και  $\text{Na}^+$ . Η σειρά εκλεκτικότητας μιας ισχυρά ανιοντικής ρητίνης είναι:  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{HSiO}_3^-$ . Η σειρά εκλεκτικότητας δείχνει ότι το  $\text{SiO}_2$  θα είναι το πρώτο συστατικό που θα εμφανιστεί στην έξοδο.

Ο κύκλος λειτουργίας μιας κλίνης ρητινών περιλαμβάνει τη δέσμευση ιόντων, την αντίστροφη πλύση, την αναγέννηση, την εκτόπιση-αργή έκπλυση και την έκπλυση.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ιοντοεναλλαγής αποτελεί ο απιονισμός και η αποσκλήρυνση του νερού. Κατά τον απιονισμό απομακρύνονται όλα τα διαλυμένα ιόντα με συνδυασμένη χρήση κατιονικών και ανιοντικών ρητινών. Κατά την αποσκλήρυνση απομακρύνονται τα ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) από το

νερό με τη χρήση ισχυρά κατιονικών ρητινών σε κύκλο νατρίου. Η ρητίνη (RNa) δεσμεύει το ασβέστιο και το μαγνήσιο και το εναλλάσσει με νάτριο:

Ρητίνες χρησιμοποιούνται επίσης στην απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων, των αμμωνιακών ( $\text{NH}_4^+$ ), των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) ιόντων, ακόμα και στην επεξεργασία των ραδιενεργών αποβλήτων. Η αντιστροφή της διεργασίας, δηλαδή η αναγέννηση της ρητίνης, επιτυγχάνεται με τη διαβίβαση διαμέσου της ρητίνης κορεσμένου διαλύματος χλωριούχου νατρίου (NaCl).

Οι ρητίνες ιοντοεναλλαγής ταξινομούνται ανάλογα με τη λειτουργική ικανότητά τους που προσδιορίζεται από τις ιονιζόμενες μονάδες που είναι προσκολλημένες στις ρητινικές «σφαίρες» (0,3 mm-1,2 mm, ειδικό βάρος 1,1-1,5).

Υπάρχουν δηλαδή:

- Κατιοντικές ισχυρού οξέος (SAC), οι οποίες μπορούν να εξουδετερώνουν ισχυρές βάσεις και να μετατρέπουν ουδέτερα άλατα στα αντίστοιχα οξέα (σουλφονικές ομάδες  $\text{HSO}_3^-$ ). Οι ρητίνες αυτές απομακρύνουν όλα τα κατιόντα.
- Κατιοντικές ασθενούς οξέος (WAC), οι οποίες μπορούν να εξουδετερώνουν ισχυρές βάσεις (καρβοξυλικές ομάδες,  $-\text{COOH}$ ). Οι ρητίνες αυτές δεν απομακρύνουν όλα τα κατιόντα και χαρακτηρίζονται από υψηλή ικανότητα αναγέννησης.
- Ανιοντικές ισχυρής βάσης (SBA), οι οποίες μπορούν να εξουδετερώνουν ισχυρά οξέα και να μετατρέπουν ουδέτερα άλατα στις αντίστοιχες βάσεις (τεταρτοταγές αμμώνιο). Οι ρητίνες αυτές απομακρύνουν όλα τα κοινά ανιόντα, αναγέννηση με NaOH.
- Ανιοντικές ασθενούς βάσης (WBA), οι οποίες μπορούν να εξουδετερώνουν ισχυρά οξέα (τεταρτοταγείς αμίνες). Οι ρητίνες αυτές απομακρύνουν τα περισσότερα οξέα.

## 2.18 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

### 2.18.1 Γενικά

Η απολύμανση είναι το τελευταίο στάδιο στην επεξεργασία του νερού και έχει ως στόχο την καταστροφή ή την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών ώστε να προστατευτεί η δημόσια υγεία. Όλες οι μέθοδοι απολύμανσης στοχεύουν στην καταστροφή των βακτηρίων, των ιών και των λοιπών μικροοργανισμών που πιθανό να είναι φορείς ασθενειών, ή μπορούν να εξελιχθούν σε τέτοιους.

Το απολυμαντικό μέσο πρέπει να είναι δραστικό σε όλες τις κατηγορίες μικροοργανισμών που παρουσιάζονται ή αναμένεται να παρουσιασθούν στο σύστημα, να συμφέρει οικονομικά η εφαρμογή του,

να μην δημιουργεί παρενέργειες στο σύστημα και να μη διευκολύνει την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη ανεπιθύμητων ειδών, να μην δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για το προσωπικό και το περιβάλλον.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης είναι το ίδιο το απολυμαντικό, ο χρόνος επαφής και ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού όπως η θολότητα, η οργανική ύλη που περιέχει, το pH, η θερμοκρασία, οι αιωρούμενες ουσίες κ.τ.λ. Επισημαίνεται ότι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν διαφορετική ανθεκτικότητα στα διάφορα απολυμαντικά μέσα. Οι σπόροι των βακτηρίων και των πρωτόζωων παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα και ακολουθούν οι ιοί και τα βακτήρια.

Η μικροβιοκτόνος δράση του απολυμαντικού επιτυγχάνεται με καταστροφή ή εξασθένηση της οργάνωσης της κυτταρικής δομής των μικροοργανισμών, με παρέμβαση στον μεταβολισμό που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή ενέργειας και με παρέμβαση στη βιοσύνθεση και την ανάπτυξη του μικροοργανισμού.

Πίνακας 2.3 Κατηγοριοποίηση των απολυμαντικών μέσων [1]

Μη χημικά	Χημικά απολυμαντικά	
	Οξειδωτικά	Μη οξειδωτικά
Υπεριώδης ακτινοβολία (UV) Ραδιενεργός ακτινοβολία Αποστειρωτική διήθηση Θερμότητα	Cl <sub>2</sub> ClO <sub>2</sub> NaOCl O <sub>3</sub> Br <sub>2</sub> I <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Μεθυλενοδιθειοκυάνιο (MBT) Διβρωμονιτριλοπρροπιοαμίδιο (BNPA) Χλωριωμένες φαινόλες Ισοθειαζόλες Δι-τριβουτυλοξείδιο του κασσιτέρου (TBTO)

Οξειδωτικά απολυμαντικά χρησιμοποιούνται στον έλεγχο της ανάπτυξης μικροοργανισμών στις δεξαμενές της εγκατάστασης επεξεργασίας νερού, στον αποχρωματισμό, στη βελτίωση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (οσμή, γεύση), στη καταστροφή ορισμένων οργανικών ρυπαντών και στην ιζηματοποίηση. Τα μη οξειδωτικά απολυμαντικά μέσα είναι συνήθως οργανικές ενώσεις οι οποίες δρουν ανεξάρτητα από την τιμή του pH, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και χρησιμοποιούνται στον έλεγχο μικροοργανισμών όπως είναι οι μύκητες, τα βακτήρια και τα φύκια.

### 2.18.2 Χλωρίωση του νερού

Η απολύμανση του νερού επιτυγχάνεται με χλώριο (ελεύθερο χλώριο ή ενώσεις του χλωρίου). Σημειώνεται ότι το διωλισμένο νερό είναι πλέον απαλλαγμένο κατά μεγάλο ποσοστό από πρόδρομες των THM (Tri-Halo-Methane) οργανικές ενώσεις, πράγμα που σε συνδυασμό με τις χαμηλές απαιτούμενες δόσεις χλωρίου, συνεπάγεται καταρχήν χαμηλές συγκεντρώσεις THM. Εξάλλου, σε αντίθεση με το όζον η χλωρίωση συνεπάγεται αξιόλογη υπολειμματική συγκέντρωση χλωρίου η οποία παρέχει την απαραίτητη απολυμαντική δράση κατά την αποθήκευση και διανομή του νερού.

Το χλώριο ( $\text{Cl}_2$ ) είναι ουσία τοξική για τον άνθρωπο και τα ζώα, σε χαμηλές όμως συγκεντρώσεις οι οποίες απαιτούνται για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών είναι αβλαβές. Η συνήθης περιεκτικότητα του χλωρίου στο νερό δεν υπερβαίνει το 1 mg/L ενώ και 50 mg/L έχουν αποδειχθεί ακίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Η από το χλώριο προσδιδόμενη γεύση και οσμή, ακόμη και για περιεκτικότητες πολύ κατώτερες από το επικίνδυνο όριο, είναι τόσο δυσάρεστες που αποκλείουν την πόση του. Η χλωρίωση του νερού με χλώριο οδηγεί στη δημιουργία παραπροϊόντων χλωρίωσης, όπως τα οργανοχλωριωμένα [THM's (Tri-Halo-Methane)]. Το χλώριο αντιδρά με οργανικές ενώσεις σχηματίζοντας αλογονοφόρμια ή τριαλομεθάνια όπως για παράδειγμα χλωροφόρμιο  $\text{CHCl}_3$ . Η ανησυχία για τις πιθανές επιπτώσεις των τριαλομεθανίων στην ανθρώπινη υγεία, άρχισε με την υπόθεση ότι το χλωροφόρμιο είναι καρκινογόνο.

Σήμερα μελετώνται και άλλες παρενέργειες όπως στειρότητα, επίδραση στα νεφρά ή το ήπαρ, επίδραση στο νεφρικό ή αιμοποιητικό σύστημα κ.τ.λ. Σοβαρές ανησυχίες έχουν επίσης προκύψει και για την απόρριψη οργανοχλωριωμένων παραπροϊόντων καθώς και για την τοξική δράση του στους υδρόβιους οργανισμούς. Παρόλα αυτά η απολύμανση με χλώριο είναι πολύ διαδεδομένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη τόσο στο πόσιμο νερό, όσο και στα υγρά απόβλητα, λόγω της αποτελεσματικότητάς του, της προσιτής διαθεσιμότητάς του, της σχετικής ασφάλειας κατά τη χρήση του, κυρίως όμως λόγω της ιδιότητάς του να διατηρεί υπολειμματική δράση.

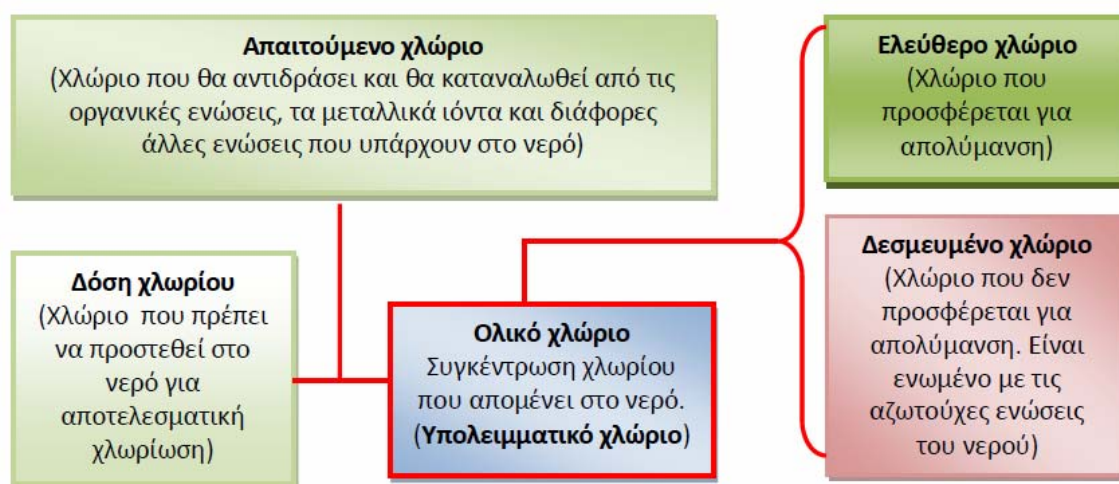
Όταν το χλώριο προστίθεται στο νερό λειτουργεί αρχικά ως οξειδωτικό μέσο και αντιδρά με διάφορες ενώσεις όπως  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{CN}^-$ , οργανικές ενώσεις, κ.ά. και δεν καταναλώνεται για απολύμανση, για την καταστροφή δηλαδή των παθογόνων μικροοργανισμών.

Το ποσό του χλωρίου που αντιδρά με τις ουσίες αυτές πριν αρχίσει η καθαρά απολυμαντική του δράση λέγεται απαιτούμενο χλώριο (σχήμα 2.15). Η περαιτέρω υπολειμματική συγκέντρωση χλωρίου καλείται ολική. Η ολική συγκέντρωση διαχωρίζεται στη συγκέντρωση του ελεύθερου χλωρίου, που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την

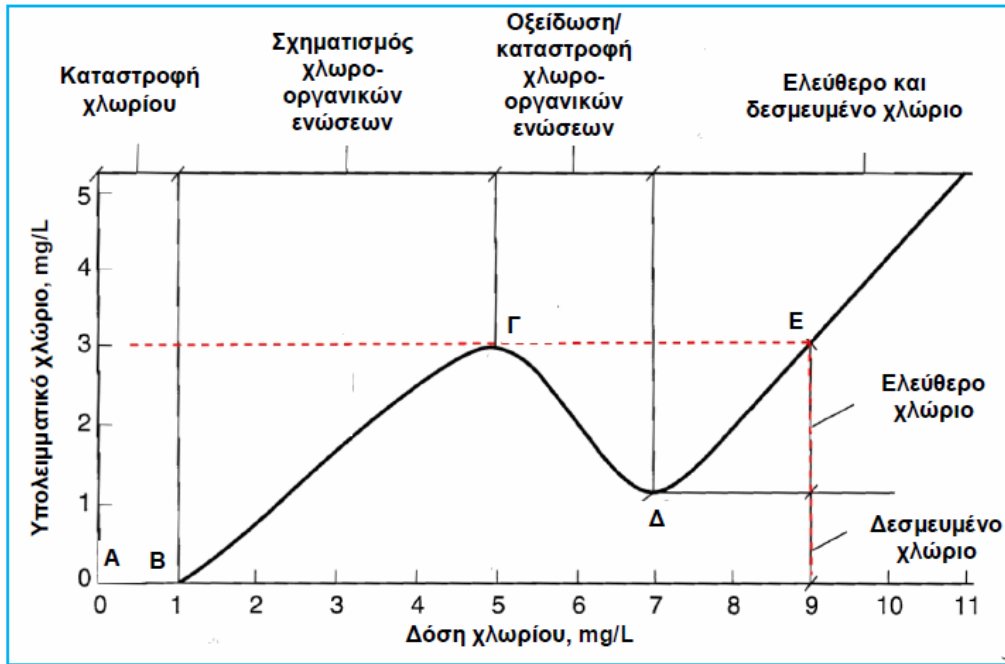


απολύμανση και την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και του δεσμευμένου χλωρίου, που δεν είναι διαθέσιμο για απολύμανση. Άρα, για τον υπολογισμό της δόσης του χλωρίου για αποτελεσματική απολύμανση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το απαιτούμενο χλώριο και το ολικό υπολειμματικό χλώριο (σχήμα 2.16).

Για παράδειγμα, κατά την απολύμανση επιφανειακού νερού το οποίο περιέχει οργανικό φορτίο, το χλώριο αρχικά θα καταναλωθεί πλήρως για την οξείδωση διαφόρων συστατικών του νερού (τμήμα ΑΒ, σχήματος 2.14). Στη συνέχεια, το χλώριο που εξακολουθεί να προστίθεται (τμήμα ΒΓ), θα αντιδράσει με τα αμμωνιακά άλατα προς σχηματισμό χλωραμινών, οι οποίες διαθέτουν μικρότερη απολυμαντική δράση σε σχέση με το χλώριο, δίνοντας ωστόσο υπολειμματικό χλώριο διαθέσιμο για απολύμανση. Έπειτα, το χλώριο που προστίθεται οξειδώνει τις χλωραμίνες προς άζωτο και οξείδια του αζώτου και ανάγει το χλώριο σε χλωριούχα ιόντα (τμήμα ΓΔ). Τέλος, περαιτέρω αύξηση της δόσης του χλωρίου, οδηγεί αποκλειστικά στο σχηματισμό του ελεύθερου χλωρίου (τμήμα ΔΕ), το οποίο είναι διαθέσιμο για απολύμανση.



Σχήμα 2.15 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης χλωρίου κατά την απολύμανση νερού [1].



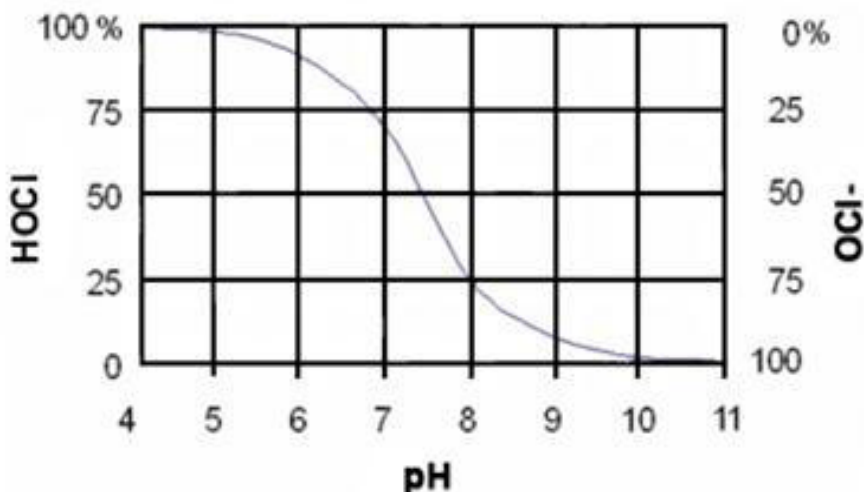
Σχήμα 2.16 Καμπύλη υπολειμματικού χλωρίου κατά την απολύμανση του νερού [1].

Κατά την απολύμανση του πόσιμου νερού, πλήρης απολύμανση θεωρείται ότι επιτυγχάνεται όταν ανιχνεύεται συγκέντρωση του υπολειμματικού ελεύθερου χλωρίου περίπου 0.2 mg/L στα όρια του δικτύου ύδρευσης. Αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου είναι υψηλότερη κοντά στο σημείο παραγωγής του πόσιμου νερού. Σε κάθε περίπτωση, η συγκέντρωση του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 0.5 mg/L, καθώς περισσότερη χλωρίωση προσδίδει στο νερό οσμή και γεύση. Σημαντική παράμετρος για την αποτελεσματική χλωρίωση, εκτός από την δόση του χλωρίου, είναι η εξασφάλιση του απαραίτητου χρόνου επαφής χλωρίου – νερού. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι ο χρόνος επαφής κυμαίνεται συνήθως από 15 έως 30 λεπτά.

### 2.18.3 Χλωρίωση και pH

Όταν το αέριο χλώριο αναμιγνύεται με το νερό σχηματίζεται υποχλωριώδες οξύ (HOCl) κατά την εξίσωση: . Το υδροχλωρικό οξύ (HCl) που παράγεται κατά την αντίδραση εξουδετερώνεται από τα όξινα ανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ) του νερού. Το υποχλωριώδες οξύ είναι ένα ασθενές οξύ που διασπάται στη συνέχεια σε ιόντα υδρογόνου ( $\text{H}^+$ ) και

υποχλωριώδη ιόντα ( $\text{OCl}^-$ ): . Η βακτηριοκτόνος δράση του υποχλωριώδους οξέως ( $\text{HOCl}$ ) είναι ισχυρότερη από αυτήν του υποχλωριώδους ιόντος. Έχει διαπιστωθεί ότι το υποχλωριώδες οξύ είναι 80-100% πιο αποτελεσματικό απ' ό,τι τα υποχλωριώδη ιόντα. Η παρουσία όμως του υποχλωριώδους οξέως στο νερό εξαρτάται κυρίως από το pH. Έτσι, σε χαμηλές τιμές pH υπερισχύει το οξύ ( $\text{HOCl}$ ), ενώ σε υψηλές τιμές υπερισχύουν τα υποχλωριώδη ιόντα ( $\text{OCl}^-$ ) (σχήμα 2.17).



Σχήμα 2.17 Καμπύλη ιονισμού του  $\text{HOCl}$  σε σχέση με το pH σε θερμοκρασία 25 °C [1].

Ο πίνακας 2.4 δίνει την ποσοστιαία αναλογία των υποχλωριωδών ιόντων ( $\text{OCl}^-$ ) και του υποχλωριώδους οξέος ( $\text{HOCl}$ ) για διάφορες τιμές του pH. Όταν το pH του νερού είναι 7,5, οι συγκεντρώσεις του  $\text{HOCl}$  και του  $\text{OCl}^-$  είναι ισοδύναμες. Σε χαμηλές τιμές ( $\text{pH} < 6$ ) η απολύμανση είναι καλή αλλά η διάβρωση που προκαλείται από τους οξειδωτικούς παράγοντες είναι ισχυρότατη. Τα παραπροϊόντα της απολύμανσης είναι διχλωραμίνες και τριχλωραμίνες.

Σε υψηλές τιμές ( $\text{pH} > 6$ ) η απολύμανση είναι κακή, η διάβρωση είναι ανύπαρκτη και το παραπροϊόν της απολύμανσης είναι μονοχλωραμίνες. Για τιμές pH μεταξύ 7,0 και 8,0 η απολύμανση είναι η μέγιστη, η διάβρωση ελάχιστη και τα παραπροϊόντα της απολύμανσης είναι μονοχλωραμίνες και διχλωραμίνες σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Με βάση τα παραπάνω μέγιστη απολύμανση επιτυγχάνεται για τιμές pH μεταξύ 5,5 και 7,5. Σημειώνεται τέλος ότι όσο υψηλότερη είναι η τιμή

του pH και όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο περισσότερη ποσότητα χλωρίου απαιτείται για την επιτυχή απολύμανση.

Πίνακας 2.4. Ποσοστιαία αναλογία  $\text{OCl}^-$  και  $\text{HOCl}$  για διάφορες τιμές του pH [1]

pH	Υποχλωριώδη ιόντα ( $\text{OCl}^-$ )	Υποχλωριώδες οξύ ( $\text{HOCl}$ )
6,0	3,50%	96,5%
6,5	10,0%	90,0%
7,0	27,5%	72,5%
7,5	50,0%	50,0%
8,0	78,5%	21,5%
8,5	90,0%	10,0%
9,0	95,0%	5,0%

Εάν για την απολύμανση χρησιμοποιηθεί χλωριώδες νάτριο ( $\text{NaOCl}_2$ ) και αέριο χλώριο, δημιουργείται διοξείδιο του χλωρίου το οποίο είναι το βακτηριοκτόνο μέσο. Το διοξείδιο του χλωρίου είναι σταθερό αέριο που παραμένει σαν υπόλειμμα στο νερό για μικρό χρονικό διάστημα και είναι ιδιαίτερα δραστικό σε υψηλές τιμές του pH.

Εάν χρησιμοποιηθεί υποχλωριώδες νάτριο ( $\text{NaOCl}$ ) προκύπτει υποχλωριώδες οξύ και για υψηλές τιμές του pH μετατρέπεται σε υποχλωριώδες ιόν του οποίου η βακτηριοκτόνος δράση δεν είναι αποτελεσματική:

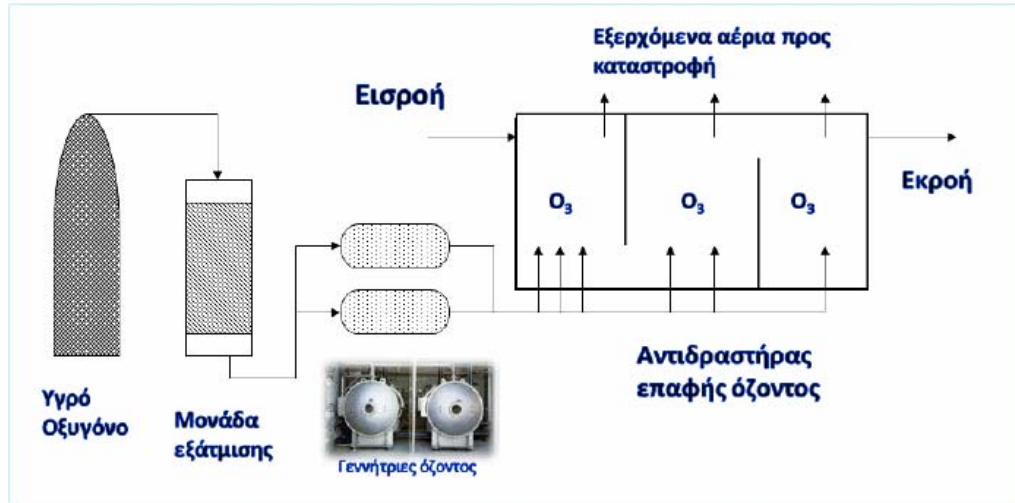
Στην περίπτωση αυτή απαιτείται διόρθωση του pH ώστε η τιμή του να είναι μικρότερη από 7,5. Το φως, η θερμοκρασία και ίχνη βαρέων μετάλλων δημιουργούν απώλειες ενεργού χλωρίου λόγω μετατροπής του σε χλωρικό και χλωριώδες νάτριο. Για μικρές εγκαταστάσεις είναι οικονομικότερη η χρήση του υποχλωριούχου ασβεστίου ( $\text{Ca}_2\text{OCl}_2$ ) αντί του χλωρίου σαν απολυμαντικό. Η ουσία αυτή αντιδρά με το νερό και απελευθερώνεται χλώριο. Η χλωρίωση του νερού πρέπει να γίνεται σωστά και να παρακολουθείται συστηματικά, ώστε να φθάνουν στους καταναλωτές μικρά μόνο ποσά χλωρίου και ποτέ παραπροϊόντα απολύμανσης (DBP's).

#### 2.18.4 Απολύμανση του Νερού με Όζον

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και άλλες τεχνολογίες απολύμανσης του νερού και των υγρών αποβλήτων και ιδιαίτερα η απολύμανση με όζον ( $O_3$ ) η οποία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Επιπρόσθετα η διεθνής εμπειρία έχει καταδείξει ότι η χρήση του όζοντος αποτελεί ιδανική λύση για προχωρημένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων με στόχο την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίησή τους. Το όζον έχει πολύ ισχυρή και γρήγορη απολυμαντική δράση επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα καταστροφή των ιών. Το υπολειμματικό όζον μιας διεργασίας απολύμανσης είναι εξίσου τοξικό με το υπολειμματικό χλώριο αλλά αποσυντίθεται πολύ γρήγορα, οπότε δεν δημιουργεί προβλήματα.

Το όζον παράγεται από ατμοσφαιρικό αέρα που έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία, ή από καθαρό οξυγόνο. Το αέριο όζον παράγεται με ηλεκτρική εκκένωση ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια τάσης 10 έως 20 KV. Η αντίδραση παραγωγής όζοντος λαμβάνει χώρα σε κατάλληλο αντιδραστήρα που καλείται οζονιστήρας και αποτελείται από ένα οριζόντιο ή κατακόρυφο κυλινδρικό δοχείο εντός του οποίου υπάρχει ένας ορισμένος αριθμός ανοξείδωτων σωλήνων προσαρμοσμένων σε μία συμπαγή κατασκευή και κολλημένων στα δύο σταθερά άκρα του δοχείου. Από την εξωτερική πλευρά των ανοξείδωτων σωλήνων και εντός του δοχείου ρέει το υγρό ψύξης (νερό) με σκοπό την απομάκρυνση της αναπτυσσόμενης θερμότητας κατά την παραγωγή του όζοντος.

Αυτή η μέθοδος κατασκευής αποκλείει οποιανδήποτε επαφή του υγρού ψύξης με τα ηλεκτρόδια υψηλής τάσης. Οι μεταλλικοί σωλήνες παίζουν τον ρόλο θηκών εντός των οποίων εισέρχονται οι ειδικά βαθμονομημένοι γυάλινοι σωλήνες, των οποίων η εσωτερική μεταλλική επιφάνεια αποτελεί τα ηλεκτρόδια υψηλής τάσης. Στο διάκενο μεγάλης ακριβείας, το οποίο σχηματίζεται μεταξύ της εσωτερικής μεταλλικής επιφάνειας των σωλήνων και της εξωτερικής γυάλινης επιφάνειας, παράγεται η ακριβής ποσότητα του όζοντος. Σε κάθε μεταλλική θήκη εισέρχεται ένας γυάλινος σωλήνας. Το υψηλό δυναμικό που εφαρμόζεται ανάμεσα στο μέταλλο και στην μεταλλική επιφάνεια των γυάλινων σωλήνων (ηλεκτρόδια υψηλής τάσης), παράγει μια αθόρυβη ηλεκτρική εκκένωση κατά μήκος των σωληνώσεων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες παράγεται το αέριο όζον το οποίο εξέρχεται από το δοχείο στην ζητούμενη συγκέντρωση. Το όζον παράγεται δηλαδή επιτόπου, με απαιτήσεις ηλεκτρική ενέργεια η οποία είναι αρκετά μεγάλη και νερό ψύξης.



Σχήμα 2.18 Σχηματική διάταξη παραγωγής και χρήσης όζοντος [1].

Το όζον χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία και για την απόσμιση του νερού. Οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν θείο και άζωτο είναι οι κύριες αιτίες των οσμών. Μικρές ποσότητες όζοντος της τάξης των 1-2 mg/L, προστιθέμενες στο νερό είναι ικανές να οξειδώσουν αυτές τις ενώσεις. Παράλληλο όφελος της ικανότητας απόσμισης του όζοντος είναι ότι εμποδίζει την επανεμφάνιση των οσμών. Σημειώνεται ότι η ροή αερίου αποτελείται κατά 95% από ατμοσφαιρικό αέρα με αποτέλεσμα οι αερόβιες συνθήκες που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία με όζον να αποκλείουν το σχηματισμό οσμών. Η δράση του όζοντος στην αφαίρεση οσμών στηρίζεται αφενός στην αντιμικροβιακή δράση μέσω οξείδωσης των πρωτεϊνικών δομών (βακτηρίων ή ιών) και αφετέρου στην οξείδωση των οσμηρών ενώσεων, ή το σχηματισμό ασταθών ενώσεων με τους φορείς των οσμών όπως ουρία, φαινόλες κ.τ.λ.

Τα πλεονεκτήματα της απολύμανσης με όζον είναι πολλά. Δεν τίθενται θέματα ασφάλειας σε σχέση με τη μεταφορά και την αποθήκευση. Το όζον έχει εξαιρετικές απολυμαντικές ιδιότητες. Καταστρέφει ταχύτατα μικροοργανισμούς ανθεκτικούς στο χλώριο ή άλλα απολυμαντικά όπως αμοιβάδες, κόκκοι, μύκητες, μυξομύκητες, φύκια, σπόροι και κύστες. Η απολύμανση με όζον λαμβάνει χώρα σχεδόν ακαριαία. Οι χρόνοι εφαρμογής είναι μικροί, ο οζονισμός απαιτεί περίπου 10 min ενώ η χλωρίωση 30-35 min. Ο οζονισμός έχει μικρότερη ευαισθησία στο pH και τη θερμοκρασία. Η απολυμαντική ικανότητα παρουσιάζεται αναλλοίωτη για pH 6-10 και θερμοκρασία 2-30 °C. Υπάρχουν βέβαια και μειονεκτήματα τα οποία συνίστανται στο υψηλό πάγιο και λειτουργικό κόστος, στο ότι οι περιεχόμενοι στο νερό ρυπαντές

καταναλώνουν οξειδωτικό όζον ανταγωνιστικά, γεγονός που μπορεί να καταστήσει τον οζονισμό ασύμφορο, στο ότι απαιτείται πιλοτική εγκατάσταση για να βρεθεί η βέλτιστη δόση όζοντος και στο ότι σχηματίζονται ενώσεις επικίνδυνες για την υγεία όπως εποξειδία, βρωμικά και βρωμιωμένες οργανικές ενώσεις.

### **2.18.5 Απολύμανση του Νερού με Υπεριώδη Ακτινοβολία**

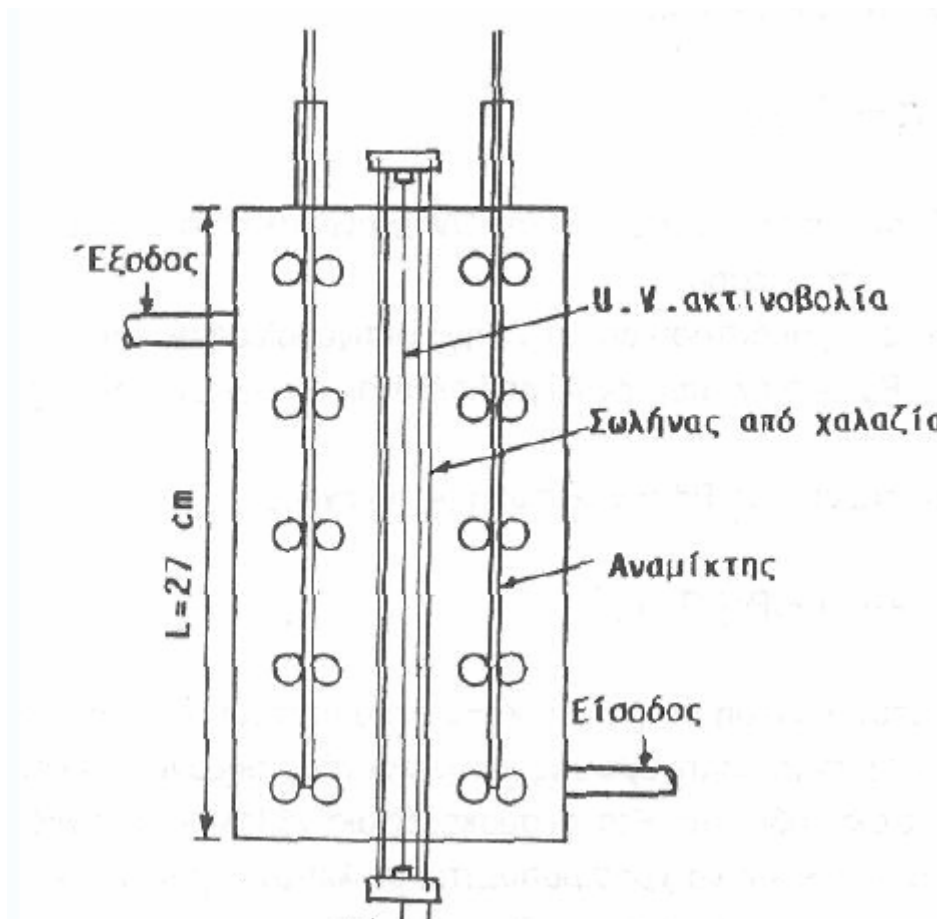
Η μέθοδος απολύμανσης του νερού με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην καταστροφή μονοκύτταρων μικροοργανισμών, όπως είναι οι παθογόνοι ιοί. Η καταστροφή των μικροοργανισμών οφείλεται στην απορρόφηση της ακτινοβολίας από το γενετικό υλικό (DNA) των κυττάρων. Η μέγιστη καταστροφική ικανότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας επιτυγχάνεται σε μήκος κύματος 250-265 nm, όπου αναφέρεται η μέγιστη απορρόφησή της από τα νουκλεϊκά οξέα.

Αν και όλοι οι μικροοργανισμοί προσβάλλονται από την υπεριώδη ακτινοβολία, η ευαισθησία τους ποικίλλει εξαρτώμενη από την αντίσταση στη διείσδυση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η χημική σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος και το πάχος του καθορίζουν την αντίσταση των μικροοργανισμών στην υπεριώδη ακτινοβολία. Έκθεση των μορίων με προσβεβλημένο μετά την έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία DNA σε ακτινοβολία στην περιοχή του ορατού γαλάζιου φωτός (310-500 nm) μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την επανόρθωση της βλάβης και πρέπει να αποφεύγεται. Αυτό το φαινόμενο αφορά σε ορισμένους μόνο μικροοργανισμούς και γενικά δεν αφορά στους ιούς. Για παράδειγμα ο *Streptococcus* δεν φωτοεπισκευάζεται ενώ αντίθετα η *Shigella* φωτοεπισκευάζεται.

Μέτρο της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία αποτελεί η ποσότητα - δόση της ενέργειας που απορροφάται από το μικροοργανισμό. Η ποσότητα αυτή είναι το γινόμενο του ρυθμού με τον οποίο η ενέργεια (ένταση) παρέχεται επί τον χρόνο κατά τον οποίο ο μικροοργανισμός εκτίθεται σε αυτή. Παρόλα αυτά, αύξηση της δόσης οδηγεί συχνά σε μειωμένη απολυμαντική δράση, γεγονός που οφείλεται στην προσρόφηση των βακτηρίων στα αιωρούμενα σωματίδια. Μια άλλη παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι ότι ορισμένες ανόργανες και οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στο νερό απορροφούν στο μήκος κύματος της εκπεμπόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας. Η δόση της ακτινοβολίας εξαρτάται από την ισχύ της ακτινοβολίας (mW) και το χρόνο (διάρκεια ακτινοβολίας, s) και είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την επιφάνεια που ακτινοβολείται (cm<sup>2</sup>).



Τα πλεονεκτήματα της απολύμανσης με UV είναι πολλά. Η μέθοδος είναι αποτελεσματική για πολλά και διάφορα είδη μικροοργανισμών. Δεν επιφέρει χημικές μεταβολές στο νερό. Δεν υπάρχει συνεπώς τοξική υπολειμματική συγκέντρωση. Ο εξοπλισμός καταλαμβάνει μικρό χώρο και είναι σχετικά οικονομικός. Τα μειονεκτήματα συνίστανται στην απουσία μετρήσιμης υπολειμματικής ποσότητας. Υπάρχει δηλαδή δυσκολία όσον αφορά τον άμεσο έλεγχο της διαδικασίας. Η απουσία μεθόδων μέτρησης της δόσης παρεμποδίζει τον έλεγχο και στην πιθανότητα φωτοεπισκευής των κυττάρων που έχουν πληχθεί από την ακτινοβολία UV. Τα σημαντικότερα όμως μειονεκτήματα-προβλήματα είναι η πτώση της απόδοσης των συσκευών ακτινοβολίας και της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων και ότι οι λαμπτήρες και οι επιφάνειες ανάκλασης λερώνουν με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 2.19 Αντιδραστήρας UV ακτινοβολίας [9].



Τα μειονεκτήματα συνίστανται στην απουσία μετρήσιμης υπολειμματικής ποσότητας σε αντίθεση με τη χλωρίωση και το υπολειμματικό χλώριο, στην απουσία μεθόδων μέτρησης της δόσης, γεγονός που παρεμποδίζει επίσης τον έλεγχο και στην πιθανότητα φωτοεπισκευής των κυττάρων που έχουν πληχθεί από την ακτινοβολία UV. Τα σημαντικότερα όμως μειονεκτήματα-προβλήματα είναι η πτώση της απόδοσης των συσκευών ακτινοβολίας και της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων και ότι οι λαμπτήρες και οι επιφάνειες ανάκλασης λερώνουν με την πάροδο του χρόνου. Στον πίνακα 2.5 είναι συγκεντρωμένες όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν την απολύμανση του νερού με UV ακτινοβολία.

Ο πίνακας 2.6 παρέχει πληροφορίες για τις πιο σημαντικές μεθόδους απολύμανσης και συγκρίνει τη χλωρίωση, την απολύμανση με UV και την οζόνωση με βάση την απολυμαντική ικανότητα, την επικινδυνότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών και την οικονομικότητα.

Πίνακας 2.5 Παράμετροι που επηρεάζουν την απολύμανση του νερού με UV ακτινοβολία [1].

Παράμετρος	Επίδραση στην αποτελεσματικότητα της απολύμανσης του νερού	Ανώτατο επιτρεπτό όριο για αποτελεσματική απολύμανση του νερού
pH	Επηρεάζει τη διαλυτότητα των μετάλλων, σχετίζεται με τη συγκέντρωση των ανθρακικών του νερού	6.5 – 9.5
Χρώμα	Το χρώμα δεν επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης με UV ακτινοβολία	-
TSS	Απορροφούν την ακτινοβολία, δημιουργούν θύλακες προστασίας των μικροοργανισμών	10 mg/L
Θολότητα	Απορροφά την ακτινοβολία	5 NTU
Χουμικά	Απορροφούν την ακτινοβολία	
Σκληρότητα	Επηρεάζει τη διαλυτότητα των μετάλλων, δημιουργεί αποθέσεις αλάτων στους σωλήνες quartz που περιέχουν τους λαμπτήρες	< 6 °D
Fe	Απορροφά έντονα την ακτινοβολία	0.3 mg/L
Mn	Απορροφά έντονα την ακτινοβολία	0.05 mg/L
NH <sub>3</sub>	Δεν επηρεάζει την απολύμανση	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Δεν επηρεάζουν την απολύμανση	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Δεν επηρεάζουν την απολύμανση	-

Πίνακας 2.6 Σύγκριση των τριών μεθόδων απολύμανσης του νερού [1]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ		
	Οζόνωση	UV	Χλωρίωση
Απομάκρυνση κολοβακτηριδίων	Πολύ καλή	Πολύ καλή	Πολύ καλή
Απομάκρυνση ιών	Πολύ καλή	Καλή	Μέτρια
Επανανάπτυξη μικροοργανισμών	Καμία	Σημαντική	Ελάχιστη
Επίδραση στον αποδέκτη	Καμία	Καμία	Πολλά στερεά
Παραπροϊόντα απολύμανσης	Κανένα	Κανένα	Αλογονοφόρμια
Επικινδυνότητα παραπροϊόντων	Μηδενική	Μηδενική	Μεγάλη
Επικινδυνότητα χημικών	Καμία	Καμία	Μεγάλη
Κόστος εγκατάστασης	Σημαντικό	Σημαντικό	Μέσο
Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	Μέσο	Σημαντικό	Μέσο
Απαιτούμενη έκταση εγκατάστασης	Μέση	Μικρή	Μεγάλη

#### 2.18.6 Διόρθωση του pH μετά τη Χλωρίωση

Μετά τη χλωρίωση διορθώνεται εκ νέου το pH του νερού, συνήθως με διάλυμα κορεσμένου υδρασβέστου ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Το νερό πρέπει να πληροί τις προδιαγραφές που τίθενται από τη νομοθεσία και να αποφεύγονται ανεπιθύμητες επικαθήσεις αλάτων στο δίκτυο διανομής.

Μετά την απολύμανση και αφού εξασφαλιστεί η ύπαρξη υπολειμματικού χλωρίου, το νερό αποθηκεύεται σε μεγάλες, συνήθως υπόγειες δεξαμενές, ώστε να υπάρχει επάρκεια. Στη συνέχεια μέσω του δικτύου διανομής οδηγείται στην κατανάλωση.

#### 2.19 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ ΣΕ Ε.Ε.Ν.

Η ιλύς συγκεντρώνεται στον πυθμένα των δεξαμενών κροκίδωσης-καθίζησης και από εκεί αντλείται σε εγκατάσταση επεξεργασίας η οποία συνήθως περιλαμβάνει πάχυνση και αφυδάτωση. Ο παχυντής είναι στην πράξη μια δεξαμενή καθίζησης με κατάλληλο σύστημα ανάδευσης στην οποία επιτυγχάνεται ένας περαιτέρω διαχωρισμός στερεών - νερού. Η ιλύς που συγκεντρώνεται στον πυθμένα είναι «παχυμένη» με ποσοστό στερεών περίπου 3,0% ενώ το νερό υπερχειλίζει και οδηγείται στην είσοδο της εγκατάστασης καθαρισμού. Η παχυμένη ιλύς οδηγείται προς αφυδάτωση, συνήθως σε φιλτρόπρεσες όπου αφαιρούνται μεγάλες

ποσότητες νερού με αποτέλεσμα η ιλύς να έχει πλέον ημιστερεά υφή με ποσοστό στερεών 15-20%. Το νερό της αφυδάτωσης οδηγείται και πάλι στην είσοδο της εγκατάστασης για επανεπεξεργασία. Η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος κυμαίνεται ανάλογα με την περιεκτικότητα του επεξεργαζόμενου νερού σε στερεά και τις δόσεις των κροκιδωτικών που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση. Σε αντίθεση με την ιλύ που προκύπτει από την επεξεργασία των λυμάτων, η ιλύς από τον καθαρισμό του νερού είναι πολύ φτωχή σε οργανικές ουσίες πράγμα που συνήθως επιτρέπει την χωρίς σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα υγειονομική ταφή της.

## **3. ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΟΙΚΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ**

### **3.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ ΝΕΡΟΥ**

Τα κριτήρια επιλογής οποιουδήποτε φίλτρου νερού, πρέπει να ορίζονται πάντα με βάση τις ανάγκες μας, δηλαδή με βάση τους μολυσματικούς παράγοντες που επιβάλλεται να μειώσουμε. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγουμε τα περαιτέρω έξοδα από τα ανταλλακτικά φίλτρα και επιτυγχάνεται το ζητούμενο αποτέλεσμα. Μερικά σύγχρονα φίλτρα, διαθέτουν σύστημα προστασίας από την υπέρχρηση. Αυτή η λειτουργία προστατεύει τον καταναλωτή από την άσκοπη αλλαγή του ανταλλακτικού φίλτρου και φροντίζει για την σταθερή ποιότητα του πόσιμου νερού.

Στα θετικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται η ύπαρξη ένδειξης με τη διάρκεια ζωής του φίλτρου και η μη εξάρτηση από το ηλεκτρικό ρεύμα. Όλα τα συστήματα επεξεργασίας νερού οικιακής, επαγγελματικής ή βιομηχανικής χρήσης πρέπει να συνοδεύονται από τα αντίγραφα των πιστοποιητικών “standard” της NSF. Τα πιστοποιητικά αυτά καταγράφουν αναλυτικά τους μολυσματικούς παράγοντες που το κάθε φίλτρο μπορεί να μειώσει. Επίσης η ύπαρξη ISO από την E.E. είναι ένα πρόσθετο θετικό στοιχείο.

Σήμερα υπάρχουν πάνω από 500 διαφορετικές μάρκες φίλτρων στην αγορά και υπάρχει σύγχυση στους καταναλωτές. Το NSF (National Sanitation Foundation) International είναι ένας ανεξάρτητος, μη κερδοσκοπικός οργανισμός με προδιαγραφές για την ανάπτυξη και πιστοποίηση προϊόντων. Αυτός ο οργανισμός είναι υπεύθυνος για τον τομέα του καταναλωτή, σε ότι αφορά τον ρυθμιστικό και κατασκευαστικό τομέα. Το NSF International διατηρεί ένα εθελοντικό πρόγραμμα πιστοποίησης για εξοπλισμό σε εφαρμόσιμες ANSI/NSF (ANSI, American National Standards Institute) προδιαγραφές. Αυτό το πρόγραμμα περιλαμβάνει ότι εξοπλισμό χρησιμοποιείται για παρασκευή φαγητού και αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων πόσιμου νερού.

Το NSF International έχει 6 πρότυπα για τα φίλτρα πόσιμου νερού. Το NSF δεν βαθμολογεί ή συγκρίνει ένα φίλτρο με ένα άλλο. Απλώς πιστοποιεί ότι το προϊόν που έχει την σφραγίδα NSF πληροί τις ελάχιστες προϋποθέσεις των εφαρμοζόμενων ANSI/NSF προτύπων. Το NSF επίσης

πιστοποιεί ότι ο κατασκευαστής συμφωνεί να συμμορφώνεται με τις γραπτές πολιτικές του NSF.

Επιπλέον, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αγορά ενός συστήματος καθαρισμού νερού οι οποίοι μπορεί να είναι εξίσου σημαντικοί όσο η απόδοση του ίδιου του προϊόντος:

- Κόστος αλλαγής φίλτρων: Πόσο θα κοστίσει η συντήρηση του φίλτρου στον χρόνο ζωής του; Καμιά φορά είναι καλύτερο να αγοράζουμε την συσκευή και τα ανταλλακτικά μαζί γιατί αυτό μας εξασφαλίζει την χαμηλότερη τιμή.
- Εγγύηση συστήματος: Πόσο είναι το διάστημα της εγγύησης; Κάποια φθηνότερα συστήματα έχουν 1 χρόνο εγγύηση, η 3 χρόνια εγγύηση και μετά να πετώνται. Γενικώς λίγα συστήματα δίνουν εγγύηση πάνω από 5 χρόνια. Όσο πιο μεγάλη η διάρκεια της εγγύησης, τόσο καλύτερα γιατί αυτή είναι μία άμεση ένδειξη της ανθεκτικότητας του προϊόντος
- Μακροζωία εταιρείας: Πόσο καιρό η εταιρία είναι στην αγορά και ποια η προοπτική της να μείνει στην αγορά; Με λίγα λόγια, θα είναι η εταιρία 5, 10, 25 χρόνια ή περισσότερα; Η σημασία της μακροζωίας έχει να κάνει με τη διαθεσιμότητα των ανταλλακτικών φίλτρων.

### **3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΙΛΤΡΩΝ**

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κλασσικές κατηγορίες φίλτρων νερού που κυκλοφορούν στην αγορά κατά αυξανόμενο κόστος.

#### **Κανάτες με φίλτρο νερού**

Οι κανάτες με φίλτρο νερού, είναι στην ουσία κανάτες που έχουν ενσωματωμένο φίλτρο ενεργού άνθρακα. Γεμίζουμε με νερό το επάνω μέρος της κανάτας, και έτσι το νερό αναγκάζεται λόγω του βάρους του, να περάσει μέσα από το φιλτράκι της κανάτας. Κάποιες κανάτες, όπως η Κανάτα με φίλτρο νερού Primato έχουν φίλτρο ενεργού άνθρακα καθώς και φίλτρο μείωσης αλάτων. Στην Ελλάδα κυκλοφορούν πολύ οι κανάτες Primato και οι κανάτες Britta.



Σχήμα 3.1 Κανάτα με ενσωματωμένο φίλτρο νερού [13].

#### *Μειονεκτήματα*

- Το φιλτράκι πρέπει να αλλάζει κάθε 2 μήνες
- Το νερό χρειάζεται από 2 έως και 5 λεπτά για να φιλτραριστεί

#### *Πλεονεκτήματα*

- Είναι η πιο οικονομική αγορά
- Μπορεί να μπει στο ψυγείο ώστε να έχουμε δροσερό φιλτραρισμένο νερό.

### **Φίλτρα νερού βρύσης**

Τα φίλτρα νερού βρύσης συνδέονται σχετικά εύκολα στη βρύση της κουζίνας. Διαθέτουν φίλτρο ενεργού άνθρακα που μειώνει αρκετές από τις βλαβερές ουσίες που υπάρχουν στο νερό. Οι περισσότερες συσκευές που υπάρχουν στο εμπόριο διαθέτουν διακόπτη φιλτραρισμένου/αφιλτράριστου νερού. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε π.χ. να πλένουμε τα πιάτα με αφιλτράριστο νερό και να γυρίζουμε το διακόπτη στο φιλτραρισμένο νερό μόνο όταν θέλουμε να πούμε φιλτραρισμένο νερό. Το ανταλλακτικό φίλτρο αλλάζει συνήθως κάθε 3 μήνες.

#### *Μειονεκτήματα*

- Πιάνει αρκετό χώρο στην βρύση και δεν συνιστάται για βρύσες που είναι αρκετά χαμηλές.
- Έπειτα από λίγα χρόνια η συσκευή θα πρέπει να αντικατασταθεί, καθώς τα άλατα επιβαρύνουν πολύ τις φλάντζες της συσκευής.

### *Πλεονεκτήματα*

- Πίνουμε αμέσως καθαρό, φιλτραρισμένο νερό.
- Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σε ανταλλακτικά φίλτρα νερού που μπορούμε να βάλουμε σε αυτές τις συσκευές.



Σχήμα 3.2 Φίλτρο νερού βρύσης [13].

### **Φίλτρα νερού άνω πάγκου**

Τα φίλτρα νερού άνω πάγκου, όπως μαρτυράει και το όνομά τους, συνδέονται αρκετά εύκολα στη βρύση της κουζίνας και τοποθετούνται στον πάγκο της κουζίνας. Ο διανομέας νερού (diverter) συνδέεται στη βρύση και διαθέτει έναν διακόπτη φιλτραρισμένου/αφιλτράριστου νερού. Κυκλοφορούν διάφορα μοντέλα και μάρκες στο εμπόριο εδώ και αρκετά χρόνια. Είναι από τα πιο κλασικά φίλτρα και υπάρχει στο εμπόριο μεγάλη ποικιλία σε ανταλλακτικά φίλτρα. Το ανταλλακτικό τους φίλτρο είναι συνήθως πεπιεσμένος ενεργός άνθρακας που μειώνει τις περισσότερες βλαβερές ουσίες που υπάρχουν στο νερό. Ανάλογα με το πρόβλημα της περιοχής, μπορεί να τοποθετηθεί μονό, διπλό ή ακόμα και τριπλό φίλτρο νερού άνω πάγκου. Η εγκατάσταση του φίλτρου και η αλλαγή του ανταλλακτικού φίλτρου είναι απλές διαδικασίες και μπορεί να τις κάνει ο καθένας. Το ανταλλακτικό φίλτρο αλλάζει συνήθως κάθε χρόνο.



Σχήμα 3.3 Φίλτρο νερού άνω πάγκου [13].

#### *Μειονεκτήματα*

- Πιάνει αρκετό χώρο στον πάγκο της κουζίνας, ειδικά τα διπλά και τριπλά συστήματα.
- Κυκλοφορούν στην αγορά διάφορα προϊόντα αμφίβολης ποιότητας και είναι αναγκαία μία εμπειριστατωμένη έρευνα αγοράς από τον καταναλωτή.

#### *Πλεονεκτήματα*

- Η φίλτραυση του νερού είναι άμεση.
- Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σε ανταλλακτικά φίλτρα νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτές τις συσκευές.

#### **Φίλτρα νερού κάτω πάγκου**

Τα φίλτρα νερού κάτω πάγκου χωρίζονται σε 2 είδη:

Α) Φίλτρα νερού που συνδέονται απευθείας στην κρύα παροχή της κουζίνας. Αυτό σημαίνει πρακτικά, ότι κάθε φορά που ανοίγουμε τη βρύση, το νερό που θα τρέχει θα είναι φιλτραρισμένο. Ένα φίλτρο κάτω πάγκου μπορεί να είναι μονό, διπλό ή τριπλό, ανάλογα με το συγκεκριμένο πρόβλημα της περιοχής. Το ανταλλακτικό φίλτρο αλλάζει κάθε 9-11 μήνες ανάλογα με τη χρήση.

#### *Μειονεκτήματα*

- Το ανταλλακτικό φίλτρο μπορεί να μην αντέξει έναν χρόνο, καθώς ξοδεύεται νερό για πλύσιμο πιάτων κ.τ.λ.
- Επειδή η είσοδος και η έξοδος του νερού είναι 1/2 ίντσας, (δηλαδή το νερό τρέχει γρήγορα), δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύ στενά φίλτρα.



### *Πλεονεκτήματα*

- Δεν πιάνει χώρο στον πάγκο της κουζίνας.
- Είναι αρκετά εύκολα στη σύνδεση.

Β) Συσκευές που συνδέονται στη δική τους βρύση. Συνδέονται στη δική τους βρύση. Τα φίλτρα νερού μπορεί να είναι μονά, διπλά ή τριπλά. Το ανταλλακτικό φίλτρο αλλάζει κάθε χρόνο. Απλά γυρίζουμε το διακόπτη της βρύσης και έχουμε άμεσα φρέσκο φιλτραρισμένο νερό.

### *Μειονεκτήματα*

- Το βασικό μειονέκτημα σε αυτή την περίπτωση είναι ότι θα πρέπει να γίνει τρύπα (διαμέτρου 1cm) στον πάγκο της κουζίνας.
- Οι περισσότεροι προτιμούν υδραυλικό για την σύνδεση αυτού του φίλτρου.

### *Πλεονεκτήματα*

- Πίνουμε αμέσως καθαρό, φιλτραρισμένο νερό από την βρύση του φίλτρου.
- Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σε ανταλλακτικά φίλτρα νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτές τις συσκευές.



Σχήμα 3.4 Φίλτρο νερού κάτω πάγκου [13].

### **Αντίστροφη Όσμωση**

Η αντίστροφη όσμωση, αν και τοποθετείται κάτω από τον πάγκο της κουζίνας, δεν ανήκει στην κατηγορία αυτή καθώς είναι μία ξεχωριστή και ιδιαίτερη τεχνολογία. Αποτελεί μέχρι και σήμερα, το

καλύτερο σύστημα φιλτραρίσματος νερού παγκοσμίως. Μπορεί να φιλτράρει όλες τις βλαβερές για τον ανθρώπινο οργανισμό ουσίες, ακόμα και τους ιούς και τα βακτήρια. Φιλτράρει όσα σωματίδια είναι μεγαλύτερα από 0,0001 μικρά. Συνδέεται στη δική του βρύση μόνο για το φιλτραρισμένο νερό. Επειδή το νερό τρέχει πολύ αργά από ένα τέτοιο στενό φίλτρο, η αντίστροφη όσμωση περιλαμβάνει μία δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Έτσι, όταν ανοίγουμε τη βρύση του φίλτρου, το νερό έρχεται από τη δεξαμενή.

Ανάλογα με το πρόβλημα της περιοχής, η αντίστροφη όσμωση μπορεί να διαθέτει λάμπα υπεριώδους ακτινοβολίας, φίλτρο εμπλουτισμού μεταλλικών καθώς και διάφορα άλλα φίλτρα. Μειώνει τελείως την αγωγιμότητα, αφαιρεί τελείως τα άλατα και είναι η ιδανική λύση για τα νησιά. Θέλει ιδιαίτερη προσοχή στην αγορά μίας αντίστροφης όσμωσης. Είναι απαραίτητο να προτιμηθεί μια ποιοτική συσκευή με εγγύηση. Οι πιέσεις που δέχεται το μηχάνημα είναι μεγάλες και υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να σκάσει με αποτέλεσμα να τρέχουν νερά στο σπίτι. Τα φίλτρα αλλάζουν κάθε χρόνο, εκτός από τη μεμβράνη που αλλάζει κάθε 2 χρόνια.



Σχήμα 3.5 Φίλτρο νερού αντίστροφης όσμωσης [13].

#### *Μειονεκτήματα*

- Το βασικό μειονέκτημα είναι το κόστος. Μία καλή αντίστροφη όσμωση ξεκινάει από 350€ και φτάνει μέχρι τα 3000€ για τα πιο επαγγελματικά συστήματα.
- Οι περισσότεροι προτιμούν υδραυλικό για την σύνδεση αυτού του φίλτρου.

### *Πλεονεκτήματα*

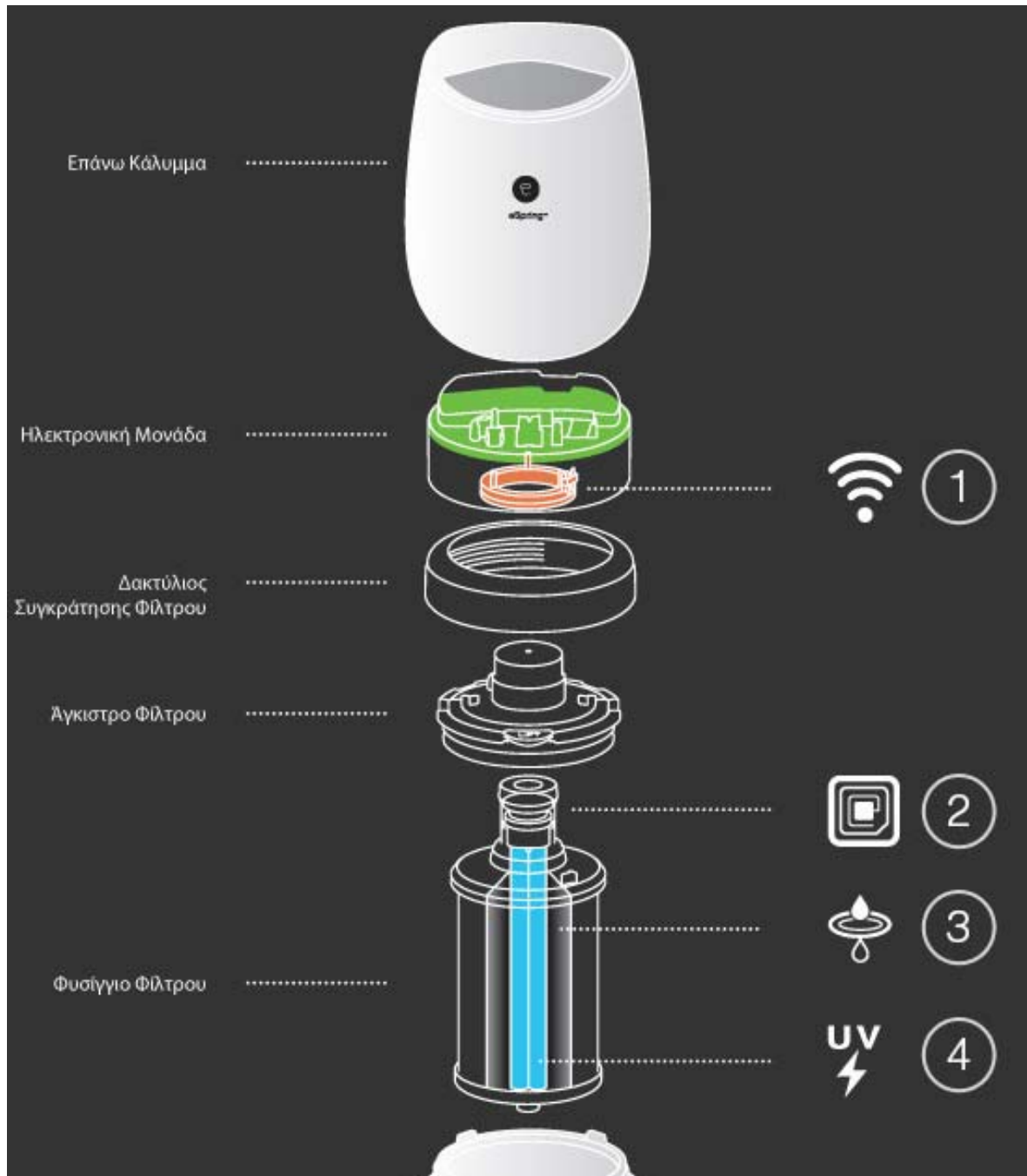
- Το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι είναι το καλύτερο φίλτρο που κυκλοφορεί.
- Είναι ιδανικό για νησιά καθώς και σπίτια που παίρνουν νερό από γεώτρηση. Μπορεί να φιλτράρει και το πιο δύσκολο νερό.

### **3.3 ΤΟ ΦΙΛΤΡΟ ESPRING**

Η εταιρεία Amway μετά από 20 χρόνια ερευνών παρουσίασε το φίλτρο eSpring. Είναι το πρώτο σύστημα φιλτραρίσματος του νερού τους κουζίνας που συνδυάζει φίλτρο άνθρακα, υπεριώδη ακτινοβολία και ηλεκτρονική τεχνολογία ελέγχου σε μία ενιαία μονάδα. Εξουδετερώνει το 99.99% των παθογόνων βακτηρίων και ιών και 160 μολυντές με πιθανότητα οι 145 από τους να έχουν επιπτώσεις στην υγεία. Ένα φίλτρο eSpring μπορεί να παρέχει 5000 λίτρα καθαρού νερού.

Ο λαμπτήρας UV εξουδετερώνει τα παθογόνα βακτήρια και τους ιούς. Το κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τους Η.Π.Α. φίλτρο άνθρακα πολλαπλών σταδίων απομακρύνει την οσμή και τη γεύση του χλωρίου, τα επιβλαβή σωματίδια και πάνω από 160 μολυντές. Η οθόνη LED χρησιμοποιεί απλά εικονίδια για να εμφανίσει την υπολειπόμενη διάρκεια ζωής του φίλτρου και την κατάσταση του συστήματος. Η ασύρματη τεχνολογία που χρησιμοποιείται μεταξύ του λαμπτήρα UV και τους μονάδας απομονώνει πλήρως το λαμπτήρα UV από την πηγή τροφοδοσίας.

Το μήκος του σωλήνα μπορεί να κοπεί για να ταιριάζει με τις ανάγκες εγκατάστασης της βρύσης ενώ η συμπαγής βαλβίδα εκτροπής προσαρμόζεται εύκολα τους περισσότερες βρύσες.



1. eCoupled ασύρματη ηλεκτρική τροφοδοσία
2. Τεχνολογία ‘Smart chip’.
3. Προηγμένο φίλτρο άνθρακα.
4. Τεχνολογία υπεριώδους ακτινοβολίας.

Σχήμα 3.6 Το φίλτρο eSpring [14].

Το Σύστημα Επεξεργασίας Νερού eSpring είναι το πρώτο σύστημα που πιστοποιήθηκε με τα Πρότυπα NSF/ANSI 42, 53, 55 και 401.

- Πρότυπο 42: Για τη βελτίωση της γεύσης, της οσμής, της εμφάνισης.
- Πρότυπο 53: Για μολυντές, τους μόλυβδος, πτητικές οργανικές ενώσεις.
- Πρότυπο 55: Πρότυπο για συμπληρωματική βακτηριοκτόνο επεξεργασία απολύμανσης του δημόσιου πόσιμου νερού (κλάση B) (Class B).
- Πρότυπο 401: Μολυντές που εμφανίζονται τελευταίως, τους κάποια φάρμακα συνταγογραφούμενα και μη, νέα είδη ζιζανιοκτόνων, κλπ. Που έχουν βρεθεί ίχνη τους στο πόσιμο νερό.

Το σύστημα φιλτραρίσματος του νερού eSpring βρέθηκε σύμφωνο με πρότυπα υψηλής ακρίβειας σε πέντε κατηγορίες κριτηρίων:

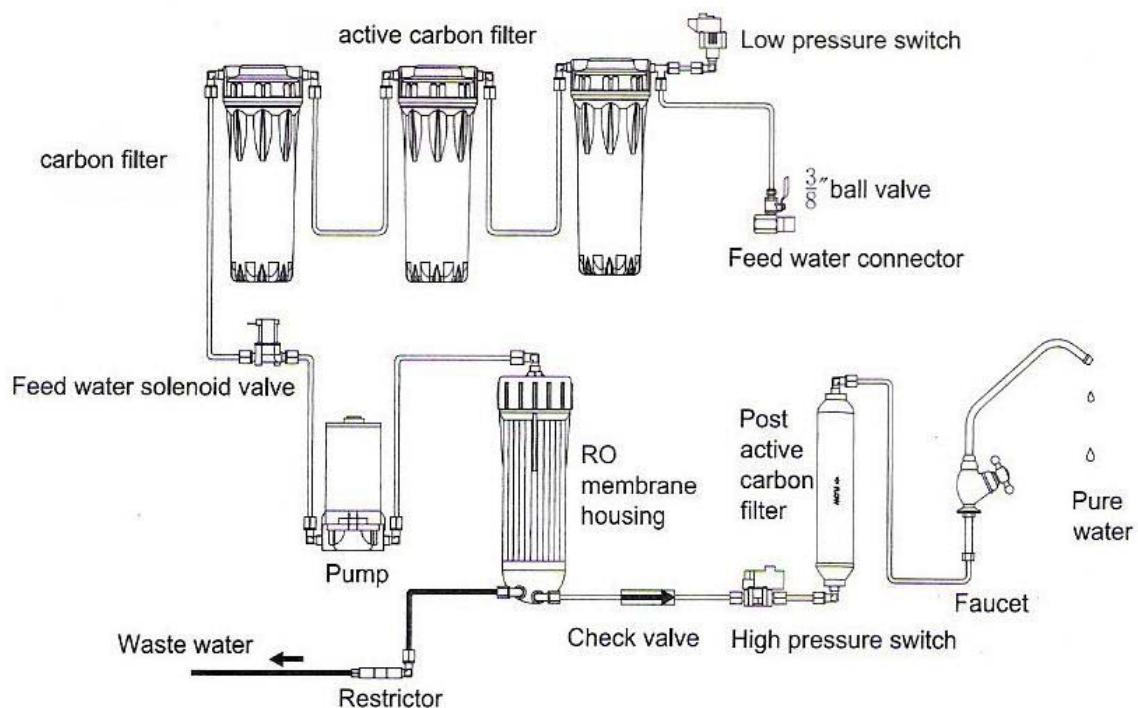
- Οι δηλώσεις πιστοποίησης σχετικά με την απομάκρυνση των μολυντών πρέπει να αποδεικνύονται μέσω δοκιμών που εκτελούνται από τα εργαστήρια του οργανισμού NSF International.
- Το σύστημα δεν πρέπει να αφήνει τίποτα επιβλαβές στο νερό και περνά από αυστηρές δοκιμές για όλα τα υλικά που έρχονται σε επαφή με το νερό.
- Το σύστημα πρέπει να έχει σταθερή δομή και ο σχεδιασμός του να ανταποκρίνεται τους υδραυλικές σωληνώσεις και τυχόν δυσλειτουργίες, τους οι διακυμάνσεις της πίεσης.
- Τα διαφημιστικά, τα έντυπα και οι ετικέτες δεν πρέπει να περιέχουν ψευδείς ή παραπλανητικές δηλώσεις.
- Τα υλικά και η διαδικασία κατασκευής πρέπει να είναι συνεπή και να υπόκεινται σε ετήσια επιθεώρηση.

### **3.4 ΤΟ ΦΙΛΤΡΟ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ M5-RO-DIRECT-400**

Το φίλτρο M5-RO-DIRECT-400 αποτελεί μία πλήρη μονάδα αντίστροφης ώσμωσης για τοποθέτηση κάτω από τον πάγκο της κουζίνας. Είναι φίλτρο απευθείας ροής (direct flow) και δεν απαιτεί την τοποθέτηση δοχείου συλλογής. Περιλαμβάνει αντλία πίεσης (booster pump), τους απαραίτητους αυτοματισμούς για τη λειτουργία του συστήματος, βρύση εξαγωγής καθαρού νερού και πλήρες κιτ εγκατάστασης.

Τα πλεονεκτήματα του φίλτρου M5-RO-DIRECT-400 είναι:

- Μικρότερος απαιτούμενος χώρος εγκατάστασης κάτω από τον πάγκο της κουζίνας.
- Ευκολότερη εγκατάσταση και μεγαλύτερος βαθμός φορητότητας του συστήματος.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος επιμόλυνσης του δοχείου συλλογής από τη μακροχρόνια χρήση.
- Πρόκειται για ένα σύστημα υψηλής τεχνολογίας.



Σχήμα 3.7 Στάδια επεξεργασίας νερού στο φίλτρο M5-RO-DIRECT-400 [15].

Τα στάδια επεξεργασίας του νερού στη μονάδα M5-RO-DIRECT-400 είναι (σχήμα 3.7):

- Φίλτρο στερεών 5 mic
- Φίλτρο άνθρακα τύπου GAC
- Φίλτρο συμπαγούς ενεργού άνθρακα

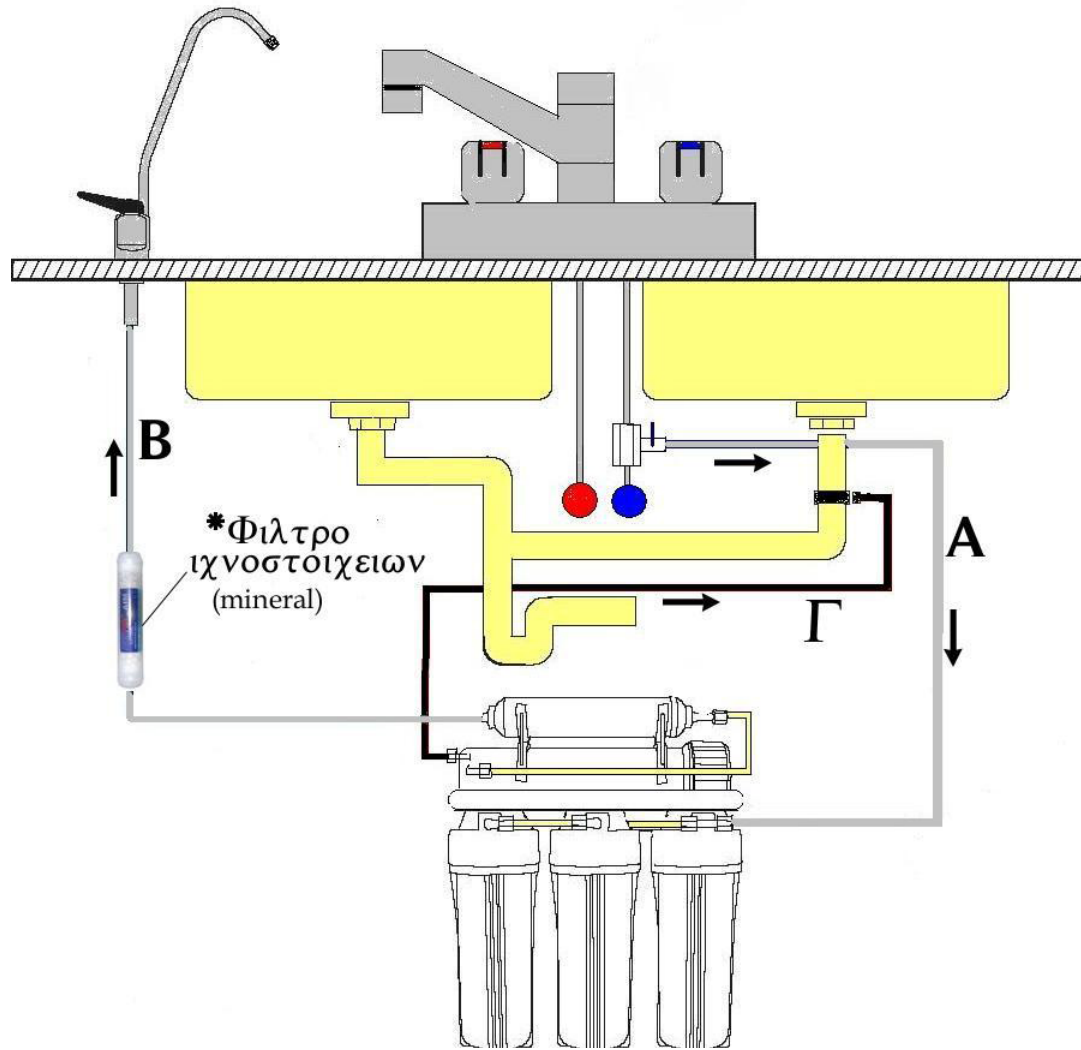
- Αντλία πίεσης νερού
- Μembrάνη αντίστροφης ώσμωσης FS-TFC-400 GPD - 1.514 λίτρων ανά ημέρα
- Φίλτρο μετεπεξεργασίας ενεργού άνθρακα

Προαιρετικά, το φίλτρο μπορεί να εξοπλιστεί και με φίλτρο ιχνοστοιχείων.



Σχήμα 3.8 Το φίλτρο αντίστροφης ώσμωσης M5-RO-DIRECT-400 [15].

Η παραγωγή του συστήματος είναι 1514 λίτρα ανά ημέρα, μετρημένη σε θερμοκρασία 25°C και πίεση νερού παροχής 0.5MPa.



Σχήμα 3.9 διάγραμμα σύνδεσης σωληνώσεων κάτω από τον πάγκο της κουζίνας [15].



## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα φίλτρα νερού είναι συστήματα που χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση ενός μεγάλου εύρους ρύπων του νερού , όπως ιζήματα, χλώριο, παράγωγα χλωρίου, αμίαντο, νιτρικά, μόλυβδο, χαλκό, αρσενικό, σίδηρο, κάδμιο, υδράργυρο, οργανικές ενώσεις, φυτοφάρμακα, ζιζανιοκτόνα αλλά και παθογόνους μικροοργανισμούς.

Χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο νερού διασφαλίζουμε ότι θα καταναλώνουμε νερό καθαρότερο από το απλό νερό της βρύσης και σε αρκετές περιπτώσεις ακόμη και από το εμφιαλωμένο νερό (το οποίο ίσως είναι ασύμφορο για μακροπρόθεσμη χρήση σε σχέση με τα έξοδα που θα χρειαστεί η αγορά, η εγκατάσταση και η συντήρηση ενός φίλτρου νερού).

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες φίλτρων, τα ξεχωρίζουμε ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης τους αλλά και ανάλογα με τον τρόπο φιλτραρίσματος του νερού.

Ένα σύστημα παραγωγής πόσιμου νερού πρέπει να συνδυάζει εκείνες τις τεχνικές καθαρισμού που αντιστοιχούν στους υπάρχοντες και αναμενόμενους ρύπους του νερού, αλλά και στις ανάγκες κάθε καταναλωτή, ποιοτικές και ποσοτικές. Για παράδειγμα, η παρουσία, στην οικογένεια του καταναλωτή, καρδιοπαθούς ή υπερτασικού ατόμου επιβάλλει νερό με πολύ χαμηλό νάτριο ή η παρουσία βρεφών επιβάλλει προστασία από τα νιτρικά ιόντα, κ.ο.κ.

Οι καταναλωτές πρέπει να είναι πολύ προσεκτικοί και να κάνουν μια έρευνα αγοράς πριν αποφασίσουν την αγορά κάποιου φίλτρου, γιατί το κάθε ένα έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές και δεν είναι όλα κατάλληλα για όλες τις περιπτώσεις και για όλες τις ποιότητες νερού. Βασικό είναι επίσης να ξέρουν ότι θα επενδύσουν σε κάτι που θα το έχουν για πάρα πολλά χρόνια στο σπίτι τους, επομένως χρειάζεται και υποστήριξη ανταλλακτικών για την συντήρησή τους. Επομένως καλό θα ήταν να ρωτήσουν εξειδικευμένους τεχνικούς από αξιόπιστες εταιρίες, λαμβάνοντας υπόψη την περιοχή που ζουν αλλά και το είδος και την παλαιότητα της κατοικίας τους και να μην προβούν σε βεβιασμένες κινήσεις, με γνώμονα μόνο το κόστος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ε. Νταρακάς, *Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Διεργασίες Επεξεργασίας Νερού*, ΑΠΘ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2014.
2. Α. Νικολάου, *Διυλιστήρια Πόσιμου Νερού. Μέθοδοι, Τεχνολογίες και Ενεργειακές Απαιτήσεις*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, ΑΤΕΙ Πειραιά 2012.
3. Κ. Βουδούρης, *Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος*, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ 2006.
4. Κ. Κλάδου και Α. Χαρίσης, *Απομάκρυνση οργανικών ενώσεων από το νερό με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα και εφαρμογή νέων υλικών με βάση τη χιτίνη για την επεξεργασία υδατικών διαλυμάτων*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης 2012.
5. Σ. Τσώνης, *Καθαρισμός Νερού*, εκδόσεις Παπασωτηρίου 2003.
6. Σ. Αυλωνίτης, *Εισαγωγή στην Τεχνολογία Νερού και Αφαλάτωσης*, εκδόσεις Ίων 2006.
7. Κ. Πλάκας, *Μελέτη απομάκρυνσης παρασιτοκτόνων από πόσιμο νερό με διεργασίες μεμβρανών*, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ 2010.
8. <http://www.alarco.gr/filtra-nerou/images/stories/png-documents/o-energog-anthrakas.pdf>
9. Τ. Αλμπάνης, *Φυσικές και Χημικές Διεργασίες Εξυγίανσης και Παραγωγής Πόσιμου Νερού*, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
10. Κ. Συσκάκη, *Τεχνολογίες αφαλάτωσης νερού*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολογίας ΤΕΙ Κρήτης 2013.
11. Ν. Αντωνίου, *Διαχείριση Πόσιμου Νερού στην Πόλη της Λεμεσού*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο 2006.
12. Β. Αντωνόπουλος, *Ποιότητα Νερού και Ρύπανση Υδατικών Πόρων*, Τμήμα Γεωπονίας, ΑΠΘ.
13. <http://www.primato.gr/>
14. <https://www.amway.gr/our-brands/espring>
15. <http://waterwaves.gr/>
16. <http://www.econews.gr/2012/01/20/filtra-nerou/>