



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
Τομέας Ιατρικών Εργαστηρίων



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Απολύμανση νερού ανθρώπινης κατανάλωσης



Όνοματεπώνυμο Φοιτητή (ΑΜ)
Αναστασία Ελένη Μάρκου (18678161)

Όνοματεπώνυμο Συνεπιβλέποντων
Μπελούκας Α.-Μπέντος Δ.

Αθήνα, 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES
Division of Medical Laboratories



DISSERTATION

Water disinfection for human consumption



Student Name (CN)

Anastasia Eleni Markou (18678161)

Name of Supervisors

Beloukas A.-Bentos D.

Athens, 2024

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Όνοματεπώνυμο εξεταστών

Υπογραφή εξεταστών

Απόστολος Μπελούκας

Χρυσάνθη Βιογιατζάκη

Σπυριδούλα Μπρατάκου

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΕΛΕΝΗ ΜΑΡΚΟΥ του ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ, με αριθμό μητρώου 18678161 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματός.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Αναστασία Ελένη Μάρκου

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό στο docs.gov.gr/validate



Επιβεβαιώνεται το γνήσιο. Υπουργείο
Ψηφιακής Διακυβέρνησης / Verified by the Ministry
of Digital Governance, Hellenic Republic
20241003122335+03'00'

Υπογραφή:
ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΕΛΕΝΗ ΜΑΡΚΟΥ
Πατρώνυμο: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΑΦΜ: 173605851
Ημ. Υπογραφής: 03/10/2024 12:23:32

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα βιβλιογραφική διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Ερευνητικό Εργαστήριο Μοριακής Μικροβιολογίας και Ανοσολογίας (EMMA) του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας, του τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δύο συνεπιβλέποντες καθηγητές μου Απόστολο Μπελούκα και Δημήτριο Μπέντο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της έρευνας και συγγραφής της εν λόγω εργασίας. Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους προαναφερόμενους καθηγητές για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, καθώς επίσης για την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφεραν, ώστε να μπορέσω να την ολοκληρώσω με επιτυχία. Νιώθω ιδιαίτερη χαρά που μου δόθηκε η ευκαιρία να συνεργαστώ με αυτούς τους δύο καταξιωμένους καθηγητές του Πανεπιστημίου, διότι αποκόμισα στο μέγιστο βαθμό γνώσεις και εμπειρία, οι οποίες θα με βοηθήσουν στη μελλοντική μου πορεία.

Επιπρόσθετα, ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου τα αξιότιμα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, τον κ. Απόστολο Μπελούκα, την κα. Χρυσάνθη Βογιατζάκη και την κα. Σπυριδούλα Μπρατάκου. Ήταν τιμή μου να παρουσιάσω τη διπλωματική μου εργασία στην ανωτέρω Επιτροπή. Εκτός από τον επιβλέποντα καθηγητή μου, για τον οποίο έχω ήδη εκφράσει τις ευχαριστίες μου παραπάνω, θα ήθελα να αναφερθώ ιδιαίτερα στα άλλα δύο μέλη της Επιτροπής. Η κα. Βογιατζάκη Χρυσάνθη υπήρξε καθηγήτρια μου και συντέλεσε καθοριστικό παράγοντα για την εξέλιξή μου και η κα. Μπρατάκου Σπυριδούλα ήταν πάντα στο πλευρό μου, προσφέροντάς μου ηρεμία και διαύγεια.

Αφησα τελευταίες τις βαθύτερες ευχαριστίες μου στα μέλη της οικογένειά μου, που με στήριξαν και συνεχίζουν να με στηρίζουν σε κάθε στάδιο της ζωής μου, καθώς επίσης και στις φίλες μου, που επικροτούν κάθε μου βήμα.

Αναστασία Ελένη Μάρκου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό αποτελεί ένα από τα πιο βασικά στοιχεία για την ύπαρξη όλων των οργανισμών, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου. Βρίσκεται σε διάφορες φυσικές πηγές, όπως ποταμούς, λίμνες, υπόγεια ύδατα και θάλασσες και παρέχει ποικίλες χρήσεις τόσο στην καθημερινότητα του ανθρώπου, όσο και σε τομείς, όπως η γεωργία και η βιομηχανία. Οι φυσικές και χημικές του ιδιότητες το καθιστούν ένα μοναδικό μόριο, το οποίο μάλιστα έχει διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην ανάπτυξη ακόμη και των πρώτων κιόλας πολιτισμών. Ωστόσο, το νερό πρέπει να πληροί συγκεκριμένες φυσικές και χημικές προδιαγραφές, ώστε να θεωρηθεί ασφαλές για κατανάλωση. Τα τελευταία χρόνια έχουν εφαρμοστεί αυστηρότεροι κανονισμοί τόσο σε εθνική, όσο και σε ευρωπαϊκή κλίμακα, οι οποίοι καθορίζουν τα όρια που οφείλονται να πληρούνται, ώστε να είναι απαλλαγμένο από ρύπους και ανεπιθύμητα στοιχεία. Βέβαια, παράλληλα με την εντατικοποίηση αυτών των μέτρων έχουν αυξηθεί και οι παράγοντες που προκαλούν τη ρύπανση των υδάτων, λόγω της αστικής ανάπτυξης και των λυμάτων που αποφέρει. Γι' αυτόν τον λόγο η επεξεργασία του νερού είναι πλέον απαραίτητη για την εξάλειψη των ρύπων και την προστασία της δημόσιας υγείας. Ειδικότερα, η απολύμανση θεωρείται ίσως το πιο κρίσιμο στάδιο της επεξεργασίας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, η οποία στοχεύει στην εξάλειψη παθογόνων μικροοργανισμών που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες. Οι κύριες μέθοδοι απολύμανσης περιλαμβάνουν τη χλωρίωση, την εφαρμογή όζοντος και τη χρήση υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας. Κάθε μέθοδος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, γεγονός που πολλές φορές συνιστά στον συνδυασμό διαφορετικών μεθόδων. Βέβαια, έχουν γίνει και προσπάθειες εύρεσης νέων τεχνικών απολύμανσης, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ειδικές περιπτώσεις, όπου οι παραδοσιακές τεχνικές δεν είναι διαθέσιμες ή αποδοτικές. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου απολύμανσης εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και τις απαιτήσεις της νομοθεσίας.

ABSTRACT

Water is one of the most essential elements for sustaining life in all organisms, including humans. It can be found in various natural sources, such as rivers, lakes, groundwater and seas. Also, it provides numerous uses both in everyday human life and in sectors like agriculture and industry. Its physical and chemical properties make it a unique molecule that has even played a critical role in the development of the earliest civilizations. However, water must meet specific physical and chemical standards to be considered as safe for consumption. Nowadays, stricter legislation has been enforced at both national and European levels, defining the limits that must be adhered to in order for water to remain free from pollutants and harmful substances. At the same time, factors contributing to water pollution have increased due to urbanization and the waste it produces. This is why water treatment has become even more essential the last few years in order to remove contaminants and to protect public health. Specifically, disinfection is considered perhaps the most critical stage in the treatment of drinking water, as it aims to eliminate pathogenic microorganisms that can cause serious diseases. The main disinfection methods include chlorination, ozone application and the use of ultraviolet radiation (UV). Each method has its advantages and disadvantages, often leading to the usage of a combination of different techniques. Moreover, efforts have been made for new disinfection methods to be discovered, that can be used in special circumstances where traditional techniques are unavailable or ineffective. The choice of the appropriate disinfection method depends on local conditions and regulatory requirements.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΠΗΓΕΣ ΝΕΡΟΥ	1
1.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ.....	2
1.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ	3
1.3.1 Οικιακή χρήση.....	4
1.3.2 Βιομηχανική χρήση.....	4
1.3.3 Αγροτική χρήση.....	5
1.4 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	5
1.5 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	9
2 ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ.....	14
2.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	16
2.2 ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	16
2.3 ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	16
2.4 ΣΤΕΡΕΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	17
2.5 ΘΟΛΕΡΟΤΗΤΑ	18
2.6 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	19
2.7 ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ-ΟΞΥΤΗΤΑ.....	20
2.8 ΙΟΝΤΑ	20
2.9 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	22
2.10 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	23
3 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	27
4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ	533
4.1 ΑΙΤΙΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	533
4.2 ΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	55
4.3 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΟΤΑΜΩΝ	57
4.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΛΙΜΝΩΝ	58
4.5 ΡΥΠΑΝΣΗ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	59
4.6 ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	60
5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ	61
5.1 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ	61
5.2 ΕΣΧΑΡΙΣΜΟΣ.....	62
5.3 ΑΕΡΙΣΜΟΣ.....	63
5.4 ΑΠΟΣΚΛΗΡΥΝΣΗ	64
5.5 ΚΡΟΚΙΔΩΣΗ-ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗ	65

5.6 ΚΑΘΙΖΗΣΗ	68
5.7 ΔΙΗΘΗΣΗ.....	69
5.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ	72
5.8.1 Μικροδιήθηση.....	75
5.8.2 Υπερδιήθηση	75
5.8.3 Νανοδιήθηση	75
5.8.4 Αντίστροφη ώσμωση.....	76
6 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	78
6.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ	78
6.2 χαρακτηριστικά ΑΠΟΛΥΜΑΝτικών ουσιών.....	80
6.3 ΚΥΡΙΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ.....	81
6.3.1 Χλωρίωση.....	81
6.3.2 Οζόνωση.....	88
6.3.3 Απολύμανση με UV ακτινοβολία.....	91
6.3.4 Σύγκριση μεθόδων	95
6.4 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ	99
6.4.1 Υπερμαγγανικό κάλιο.....	99
6.4.2 Διοξείδιο του τιτανίου	100
6.4.3 Ιόντα αργύρου και χαλκού.....	101
6.4.4 Υπέρηχοι.....	102
6.4.5 Ορθοφθαλαδεύδη (OPA).....	103
7 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	104
8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1 Σύσταση θαλασσινού νερού στο Αιγαίο πέλαγος (Αυλωνίτης, 2006).....	8
Πίνακας 1-2 Σύσταση επιφανειακού νερού βροχόπτωσης (Αυλωνίτης, 2006).....	9
Πίνακας 2-1 Διάκριση ποιοτικών χαρακτηριστικών νερού (Νταρακάς, 2010)	15
Πίνακας 2-2 Χαρακτηριστικά των υδρόβιων μικροοργανισμών (Crittenden et al., 2023).....	26
Πίνακας 3-1 Μικροβιολογικές παράμετροι για το νερό που πωλείται σε φιάλες ή δοχεία (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Α).....	29
Πίνακας 3-2 Χημικές παράμετροι (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Β)	30
Πίνακας 3-3 Ενδεικτικοί παράμετροι (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Γ).....	33
Πίνακας 3-4 Παράμετροι εκτίμησης κινδύνου στα συστήματα οικιακής διανομής (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Δ).....	34
Πίνακας 3-5 Μικροβιολογικές παράμετροι για εγκαταστάσεις υγείας (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Ε).....	34
Πίνακας 3-6 Μικροβιολογικές παράμετροι για σχολεία, τουριστικές εγκαταστάσεις, ξενοδοχεία, σφραγιστικά ιδρύματα και στρατόπεδα (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Ε).....	35

Πίνακας 3-7 Κατάλογος παρακολούθησης ανησυχητικών ουσιών και ενώσεων για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Στ)	35
Πίνακας 3-8 Παρακολούθηση παραμέτρου θολότητα στο επιχειρησιακό πρόγραμμα (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Α).....	42
Πίνακας 3-9 Παρακολούθηση παραμέτρων στο ακατέργαστο νερό στο επιχειρησιακό πρόγραμμα (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Α)	42
Πίνακας 3-10 Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας και αναλύσεων (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Β).....	43
Πίνακας 3-11 Ελάχιστα χαρακτηριστικά επιδόσεων Αβεβαιότητα μέτρησης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙΙ-Μέρος Β).....	46
Πίνακας 3-12 Υγειονομικοί έλεγχοι (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 13).....	48
Πίνακας 3-13 Συχνότητα παρακολούθησης ουσιών-ενώσεων καταλόγου επιτήρησης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 13)	49
Πίνακας 5-1 Βασικά στάδια επεξεργασίας πόσιμου νερού (Νταρακάς, 2010).....	62
Πίνακας 5-2 Βασικά στάδια επεξεργασίας πόσιμου νερού (Νταρακάς, 2010).....	67
Πίνακας 6-1 Βασικά στάδια επεξεργασίας πόσιμου νερού (Νταρακάς, 2010).....	85
Πίνακας 6-2 Παραπροϊόντα όζοντος (Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023)	90
Πίνακας 6-3 Είδη λαμπτήρων (Προσαρμοσμένο από Ultraviolet Disinfection Guidance Manual, U.S. EPA, 2003) ...	94
Πίνακας 6-4 Αποτελεσματικότητα μεθόδων στους παθογόνους μικροοργανισμούς (Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023).....	96
Πίνακας 6-5 Αποτελεσματικότητα μεθόδων στους παθογόνους μικροοργανισμούς (Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023).....	98

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-10 υδρολογικός κύκλος (USGS, 2017).....	3
Εικόνα 1-2 Χρήσεις νερού (Αυλωνίτης, 2013).....	4
Εικόνα 1-3 Δεσμός υδρογόνου σε μόριο νερού (Crittenden et al., 2023).....	6
Εικόνα 2-1 Θολότητες νερού.....	18
Εικόνα 4-1 Διαδρομή μολυσματικών παραγόντων (Crittenden et al., 2023).....	54
Εικόνα 5-1 Αερισμός με διαχύτες (Αυλωνίτης, 2013)	63
Εικόνα 5-2 Αερισμός με φυσαλίδες (Αυλωνίτης, 2013)	64
Εικόνα 5-3 Σχηματική αναπαράσταση της αποσταθεροποίησης σωματιδίων από πολυμερή (Προσαρμοσμένο από O'Melia, 1972)	66
Εικόνα 5-4 Δεξαμενή κροκίδωσης (Αυλωνίτης, 2013).....	67
Εικόνα 5-5 Δεξαμενή καθίζησης (Αυλωνίτης, 2013).....	69
Εικόνα 5-6 Ορθογώνια δεξαμενή καθίζησης (Αυλωνίτης, 2013).....	69
Εικόνα 5-7 Πολυστρωματικό Φίλτρο (Αυλωνίτης, 2013).....	70
Εικόνα 5-8 Ανοιχτό φίλτρο βαρύτητας (Αυλωνίτης, 2013)	71
Εικόνα 5-9 Βασικές διεργασίες επεξεργασίας νερού (Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023)	72
Εικόνα 5-10 Σχηματική απεικόνιση του διαχωρισμού σε ημιδιαπερατή μεμβράνη (Crittenden et al., 2023)	73
Εικόνα 5-11 Κάθετη και παράλληλη ροή στις μεμβράνες (Crittenden et al., 2023)	74
Εικόνα 5-12 Διάγραμμα μονάδας επεξεργασίας νερού με αντίστροφη ώσμωση (Αυλωνίτης, 2013).....	77

Εικόνα 6-1 Μορφές χλωρίου σε συνάρτηση με το pH (Αυλωνίτης, 2013)	84
Εικόνα 6-2 Αντίδραση χλωρίου-Παραγωγή χλωραμίνων (Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023).....	86
Εικόνα 6-3 Συσκευή παρασκευής όζοντος (Crittenden et al., 2023).....	91
Εικόνα 6-4 UV ακτινοβολία στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (Crittenden et al., 2023).....	92
Εικόνα 6-5 Διμερισμόςθυμίνης λόγω UV ακτινοβολίας (Crittenden et al., 2023).....	93
Εικόνα 6-6 Παρεμπόδιση UV ακτινοβολίας από αιωρούμενα σωματίδια (Crittenden et al., 2023)	93
Εικόνα 6-7 Συσκευή UV ακτινοβολίας (Αυλωνίτης, 2013)	95
Εικόνα 6-8 Συσκευές UV ακτινοβολίας κλειστού και ανοικτού τύπου (Προσαρμοσμένο από Ultraviolet Disinfection Guidance Manual, U.S. EPA, 2003)	95
Εικόνα 6-9 Επίδραση ιόντων αργύρου και χαλκού στην κυτταρική μεμβράνη (Sarjomaet al., 2011)	101

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι ένα θεμελιώδες στοιχείο για την ύπαρξη της ζωής και πρωταρχικό στοιχείο για την ανάπτυξη και τη διατήρηση της γεωργίας, της βιομηχανίας και ενός ανθρώπινου πολιτισμού γενικότερα. Όμως, εξαιτίας αυτής της ανάπτυξης προκαλείται μεγάλη ζήτηση βιομηχανικού και πόσιμου νερού, με αποτέλεσμα να αυξάνονται παράλληλα και οι ανάγκες παραγωγής νερού συγκεκριμένων προδιαγραφών (Αυλωνίτης, 2006).

Η Κοινή Υπουργική Απόφαση Γ1(δ)/ ΓΠ οικ.67322, άρθρο 2, αφορά την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, εκδόθηκε σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998 και τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260,7.10.2015). Σύμφωνα με αυτή την οδηγία ως νερό ανθρώπινης κατανάλωσης ορίζεται εκείνο που, είτε στη φυσική του κατάσταση, είτε μετά από επεξεργασία, προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, προπαρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις σε δημόσιες και ιδιωτικές εγκαταστάσεις, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής ή βυτίο και τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία. Επιπρόσθετα, χαρακτηρίζεται και εκείνο που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή διάθεση προϊόντων και ουσιών, που προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Τέλος, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης δεν κατατάσσεται στην κατηγορία των τροφίμων και παρέχεται υποχρεωτικά από την Πολιτεία σε κάθε πολίτη της χώρας ανεξαιρέτως ως δημόσιο αγαθό (ΦΕΚ 3525/Β/2023).

1.1 ΠΗΓΕΣ ΝΕΡΟΥ

Το νερό αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς φυσικούς πόρους του πλανήτη. Το μεγαλύτερο μέρος του αποτελείται από το θαλασσίνο και το υπόλοιπο από το γλυκό νερό, το οποίο βρίσκεται σε ποτάμια, λίμνες, στον πάγο, καθώς και σε υπόγειες φυσικές δεξαμενές (Παναγιωτίδης, Δημητρακόπουλος, 1999). Αξιοσημείωτο είναι ότι ενώ το γλυκό νερό (freshwater) εντοπίζεται μόνο στο 3% των υδάτινων πόρων, το 2% υπάρχει υπό μορφή πάγου, το 0,3% εμπεριέχεται στην ατμόσφαιρα και μόλις το 0,1% είναι άμεσα διαθέσιμο σε λίμνες και ποτάμια. Το υπόλοιπο 0,6% αντιπροσωπεύει τα υπόγεια νερά, εκ των οποίων το 50% βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από 800 m.

Ειδικότερα, γλυκό νερό ονομάζεται το νερό με συγκέντρωση σε διαλυμένα στερεά μικρότερη από 1.000 mg/L, το οποίο είναι αβλαβές για την υγεία, διαυγές και άοσμο (Hazenetal., 1914).

Οι θάλασσες, τα ποτάμια και οι λίμνες ομαδοποιούνται στα επιφανειακά νερά, τα οποία καλύπτουν το 70% της επιφάνειας της Γης. Οι ποσότητες νερού που αποθηκεύονται στο έδαφος

και το υπέδαφος χαρακτηρίζονται ως υπόγεια νερά (Αυλωνίτης, 2006). Το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης, το οποίο προέρχεται από ποτάμια και λίμνες, είναι πιο άμεσα διαθέσιμο και γι' αυτό η χρήση του είναι συχνότερη (Helena et al., 2000). Απαραίτητη προϋπόθεση σε αυτό είναι να μην έρχεται σε επαφή με απόβλητα, λύματα και μηχανοκίνητα σκάφη, αφού όλα αυτά απαιτούν επιπλέον βήματα επεξεργασίας (Ayoko et al., 2007). Όμως, παρόλο που το μεγαλύτερο ποσοστό του πλανήτη καλύπτεται από υδάτινη επιφάνεια, οι πόροι δεν είναι απεριόριστοι. Αυτό συμβαίνει, διότι, ενώ οι πηγές παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες με το πέρασμα των χρόνων, ο πληθυσμός αυξάνεται με εκθετικό βαθμό (Αυλωνίτης, 2006). Έτσι, τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί ραγδαία μείωση των αποθεμάτων του γλυκού νερού, με αποτέλεσμα η προσοχή να έχει στραφεί προς την ανεξάντλητη πηγή, δηλαδή το θαλασσινό νερό. Ταυτόχρονα πραγματοποιούνται μελέτες για την ανακύκλωση των υγρών αποβλήτων (Gleick et al., 1993).

1.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο υδρολογικός κύκλος είναι ένα συνεχές και αδιάκοπο φαινόμενο, που περιγράφει την κυκλοφορία του νερού στη Γη. Το νερό σε αυτή την πορεία περνάει από όλες τις φυσικές καταστάσεις, δηλαδή την υγρή, την αέρια και τη στερεή μορφή (Miller & Tyler, 2009).

Αναλυτικότερα, το νερό των ωκεανών, όπως και εκείνο που βρίσκεται στις λίμνες και τα ποτάμια θερμαίνεται από τον ήλιο, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται ένα μέρος του και να ανυψώνεται ως υδρατμοί στην ατμόσφαιρα. Συγχρόνως, τα φυτά με τη διαδικασία της διαπνοής αποβάλλουν επίσης μία ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Έπειτα, ένα τμήμα των υδρατμών συμπυκνώνεται και δημιουργούνται τα σύννεφα, από τα οποία πραγματοποιείται η κατακρήμνιση με τη μορφή της βροχής ή του χιονιού. Καθώς τα κατακρημνίσματα πέφτουν προς τη Γη, το νερό απορροφά ή διαλύει συστατικά της ατμόσφαιρας, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, διάφοροι μικροοργανισμοί ή στερεά σωματίδια (Αυλωνίτης, 2006). Το νερό που φτάνει στη γη μπορεί να ρέει σε επιφανειακά νερά, να διηθείται και να αποθηκεύεται σε υπόγεια αποθέματα για μεγάλα χρονικά διαστήματα ή και να εξατμίζεται ξανά και να ξεκινάει ο κύκλος από την αρχή (Γεωργόπουλος, 2004).



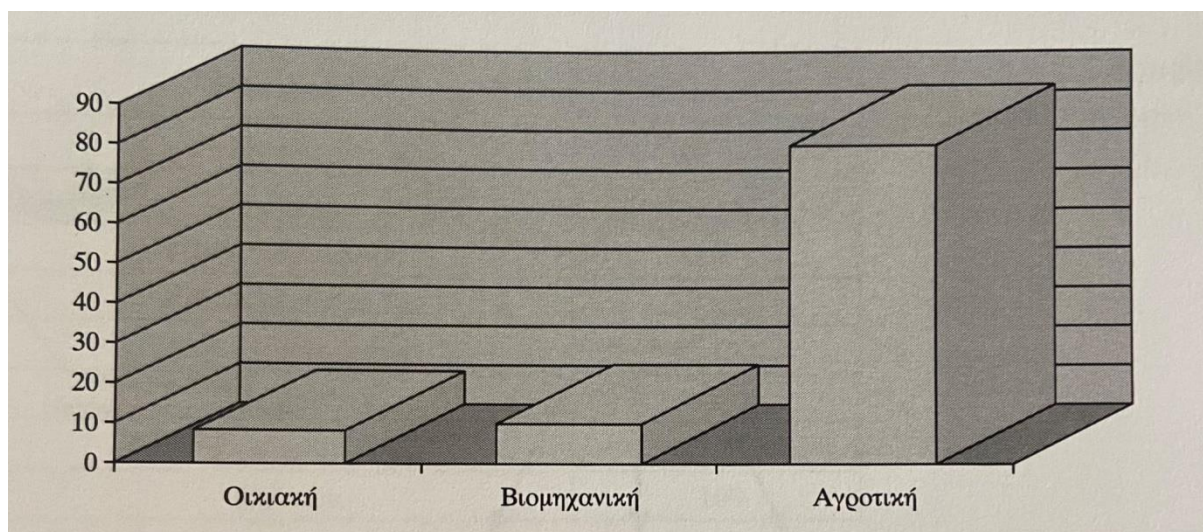
Εικόνα 1-10 υδρολογικός κύκλος (USGS, 2017)

Συνεπώς, το νερό σε οποιοδήποτε στάδιο ή φυσική κατάσταση διαλύει ποικίλα στοιχεία. Έτσι, μικροοργανισμοί, ανόργανες ενώσεις και οργανική ύλη περιέχονται στα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα, γεγονός που τα ακατάλληλα για άμεση χρήση από τον άνθρωπο και απαιτούν ειδική επεξεργασία σε μικρή ή μεγαλύτερη έκταση (Αυλωνίτης, 2006).

1.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ

Αν και τα $\frac{3}{4}$ της επιφάνειας της Γης είναι καλυμμένα από νερό, είναι αξιοσημείωτο ότι μόνο το 1% είναι διαθέσιμο για άμεση χρήση χωρίς κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία (Pandit & Kumar, 2013). Η κατανάλωση του νερού διαφέρει με βάση την περιοχή, την εποχή και το βιοτικό επίπεδο. Αν η συνολική κατανάλωση σε μία συγκεκριμένη περιοχή και χρονική περίοδο διαιρεθεί με τον αριθμό των κατοίκων και των ημερών, βρίσκουμε τον δείκτη κατανάλωσης νερού (water index consumption), που είναι ένα σημαντικό μέγεθος (Αυλωνίτης, 2013). Σήμερα, σε μία αναπτυγμένη χώρα η κατανάλωση ανά κάτοικο για οικιακή χρήση κατά μέσο όρο ανέρχεται στα 150-350 L/ημέρα. Εκτός από την οικιακή, που αποτελεί και το μικρότερο ποσοστό, το γλυκό νερό καταναλώνεται για βιομηχανική και αγροτική χρήση, η οποία είναι και

η πιο δαπανηρή (Εικόνα 1-2). Ουσιαστικά το φαγητό, η ενέργεια και πολλά άλλα αγαθά και παροχές βασίζονται πάνω σε αυτόν τον πολύτιμο πόρο (Young et al., 1994).



Εικόνα 1-2 Χρήσεις νερού (Αυλωνίτης, 2013)

1.3.1. Οικιακή χρήση

Η οικιακή χρήση σχετίζεται με το μέγεθος και τον πληθυσμό μιας περιοχής και καλύπτει άμεσα τις αστικές ανάγκες των κατοίκων. Σε γενικό πλαίσιο η οικιακή κατανάλωση μοιράζεται στα εξής:

- 41% στις χρήσεις της τουαλέτας
- 37% για σωματικό πλύσιμο
- 4% για πλύσιμο ρούχων
- 4% για καθαριότητα
- 3% για πότισμα κήπων
- 6% στην κουζίνα
- 5% για κατάποση (Αυλωνίτης, 2013).

Βέβαια η κατανάλωση εξαρτάται και από τις κλιματολογικές συνθήκες, αφού τους καλοκαιρινούς μήνες για παράδειγμα αυξάνεται η χρήση νερού, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (Berk, 1980).

1.3.2. Βιομηχανική χρήση

Το νερό στη βιομηχανία χρησιμοποιείται κυρίως για τον καθαρισμό των βιομηχανικών εξοπλισμών και σε μικρότερα ποσοστά για την παραγωγή προϊόντων. Επίσης, μία ακόμα

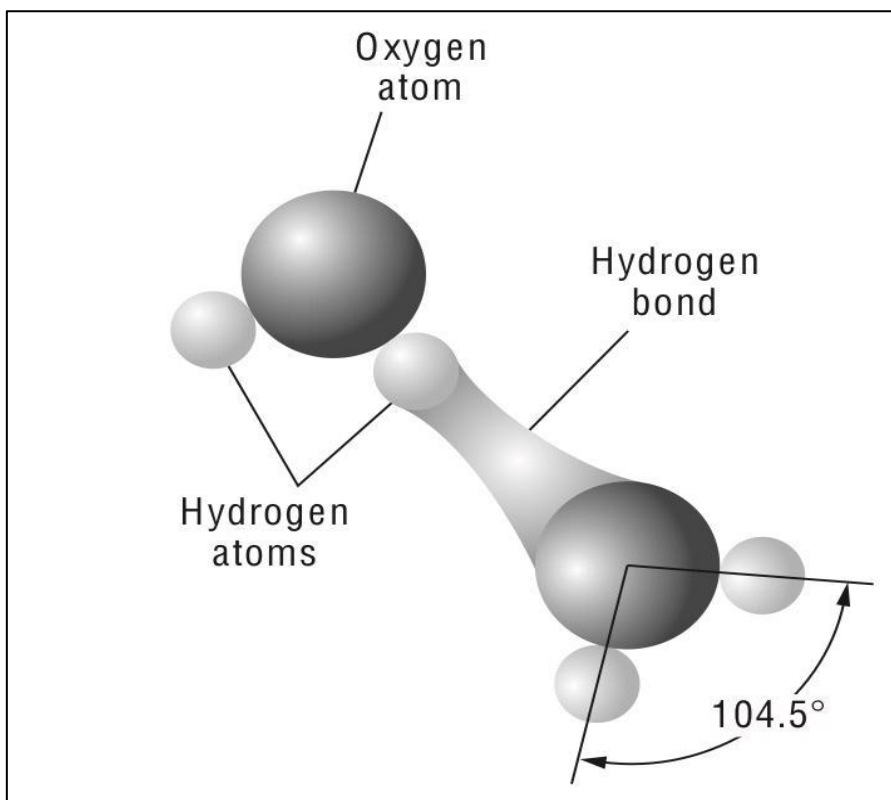
σημαντική χρήση του είναι η παραγωγή θερμότητας (De Rooy, 1974). Ωστόσο, όπως και στην οικιακή χρήση η ποσότητα του ύδατος φαίνεται να εξαρτάται και από τις κλιματολογικές συνθήκες, αφού στατιστικά οι Βόρειες χώρες καταναλώνουν αρκετά λιγότερα ποσοστά σε σχέση με τις πιο νότιες, όπου επικρατούν πιο αυξημένες θερμοκρασίες. Η χρήση νερού στη βιομηχανία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αιτίες ρύπανσης των υδάτων στον κόσμο, διότι αυτές οι ποσότητες νερού απορρίπτονται ως υγρά λύματα στους φυσικούς πόρους. Πιο συγκεκριμένα, η κλωστοϋφαντουργία βαμβακιού και η βιομηχανία χαρτιού καταναλώνουν υπέρογκες ποσότητες νερού, χωρίς μάλιστα να τηρούν κατάλληλα μέτρα ή ανακύκλωση (Pandit&Kumar, 2013).

1.3.3. Αγροτική χρήση

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-2 η αγροτική χρήση κατέχει πάνω από το 80% της συνολικής ανθρώπινης κατανάλωσης νερού (Falkenmark et al.,2004). Η άρδευση των εδαφών γίνεται με στόχο την αύξηση της παραγωγής τροφίμων και τη βελτίωση της αποδοτικότητας της καλλιέργειας. Καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται, συμβαίνει το ίδιο και με τις εκτάσεις των καλλιεργειών, πράγμα που οδηγεί σε μεγαλύτερες καταναλώσεις νερού (Αυλωνίτης, 2006).

1.4 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η παραγωγή πόσιμου νερού ή νερού για βιομηχανική και αγροτική χρήση απαιτεί πρώτα την πλήρη γνώση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων του (Crittenden et al., 2023). Ο χημικός τύπος του είναι H_2O , με το άτομο του οξυγόνου να σχηματίζει ομοιοπολικούς δεσμούς με τα δύο άτομα υδρογόνου, δημιουργώντας ένα ισοσκελές τρίγωνο στον χώρο με κορυφή το οξυγόνο και γωνία 104,523 μοίρες (Αυλωνίτης, 2013). Είναι ένα ασύμμετρο και ισχυρά ηλεκτροαρνητικό μόριο, με άνιση κατανομή ηλεκτρονίων. Οι ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των πολικών μορίων τείνουν να προσανατολίζουν το νερό με τέτοιο τρόπο, ώστε το υδρογόνο του ενός μορίου να κατευθύνεται προς το οξυγόνο ενός δεύτερου. Ο δεσμός που δημιουργείται μεταξύ δύο μορίων νερού ονομάζεται δεσμός υδρογόνου, είναι πολύ ισχυρός και υπεύθυνος για πολλές από τις μοναδικές ιδιότητες του νερού, όπως την πυκνότητα, την υψηλή θερμοχωρητικότητα, τα σημεία τήξης και βρασμού, το ιξώδες και την ικανότητά του να διαλύει μεγάλη ποικιλία στοιχείων (Crittenden et al., 2023).



Εικόνα 1-3 Δεσμός υδρογόνου σε μόριο νερού (Crittenden et al., 2023)

Το νερό, που διατίθεται φυσικά σε οποιαδήποτε μορφή είτε στην επιφάνεια της γης είτε σε υπόγεια ύδατα, περιέχει πάντα διαλυμένες στερεές ουσίες. Μία μέθοδος κατηγοριοποίησης του είδους του νερού αποτελεί η ποσότητα των διαλυμένων στερεών ουσιών, που ονομάζονται **συνολικά διαλυτά στερεά** (total dissolved solids, TDS) και μετράται ως μέρη στο εκατομμύριο (part per million, ppm). Τα διαλυτά στερεά αφορούν στη συντριπτική τους πλειοψηφία άλατα, χωρίς όμως να αποκλείεται και η ύπαρξη και άλλων στερεών, όπως διοξείδιο του πυριτίου (Αυλωνίτης, 2006). Ο όρος αναφέρεται στα συστατικά που διέρχονται από τα φίλτρα και ζυγίζονται, αφού εξατμιστεί το νερό. Οφείλεται να διαχωρίζεται από τα **ολικά αιωρούμενα στερεά** (total suspended solids, TSS), τα οποία αναφέρονται στα συστατικά του νερού που συγκρατούνται από τα φίλτρα και ζυγίζονται επίσης αφού εξατμιστεί το νερό. Ισχύει ότι τα συνολικά στερεά (total solids, TS) αναφέρονται στην πρόσθεση των αιωρούμενων και των διαλυτών, δηλαδή

$$TS = TSS + TDS \text{ (Αυλωνίτης, 2013).}$$

Με βάση, λοιπόν, την περιεκτικότητα σε TDS το νερό κατατάσσεται ως εξής (Aneez et al., 2011):

- **Πόσιμο** (tap water) με TDS <500 ppm
- **Ελαφρά υφάλμυρο** με TDS < 1.500 ppm, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί πόσιμο σύμφωνα με συγκεκριμένες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (80/778/ΕΟΚ και 98/83/ΕΕ) και τη σχετική

ελληνική νομοθεσία (ΚΥΑ Α5/288/23-1-1986 και ΚΥΑ Υ2/2600/2001), με αγωγιμότητα $<2.500 \mu\text{S}/\text{cm}$ στους $^{\circ}\text{C}$ (Αυλωνίτης, 2006)

- **Υφάλμυρο** (brackish water) με $2.000 \text{ ppm} < \text{TDS} < 10.000 \text{ ppm}$, το οποίο είναι μη πόσιμο και συνήθως ακατάλληλο για καλλιέργειες
- **Θαλασσινό** (sea water) με $30.000 < \text{TDS} < 42.000 \text{ ppm}$ (Boyacioglu et al., 2010).

Βέβαια η συγκέντρωση σε διαλυμένα στερεά μπορεί να μην είναι σταθερή για νερά, που ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού μπορεί να επηρεάζεται από την εκβολή των ποταμών. Το ίδιο συμβαίνει ακόμα και για μία συγκεκριμένη πηγή υφάλμυρου ή πόσιμου, καθώς παράγοντες όπως η ταχύτητα άντλησης, η υπόγεια διάθεση αποβλήτων και οι βροχοπτώσεις μπορούν να διαφοροποιήσουν τις τιμές των TDS, αλλά και του μικροβιακού φορτίου (Αυλωνίτης, 2006).

Στο θαλασσινό νερό περιέχονται συνήθως όλα τα γνωστά στοιχεία υπό μορφή ιόντων. Ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά εντοπίζονται σε ελάχιστες ποσότητες και μπορούν να παραλειφθούν. Μεγάλη σημασία έχουν το νάτριο και το χλώριο, τα οποία βρίσκονται σε μεγαλύτερα ποσοστά και το μαγνήσιο και το ασβέστιο, τα οποία προκαλούν τα συνηθέστερα προβλήματα λόγω της μικρής διαλυτότητάς τους. Υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα παρουσιάζουν και τα υπόγεια νερά. Γενικά ισχύει ότι όσο αυξάνεται το βάθος, τόσο αυξάνεται και η περιεκτικότητα σε άλατα (Αυλωνίτης, 2013). Μία χαρακτηριστική σύσταση του θαλασσινού νερού στο Αιγαίο πέλαγος δίνεται στον Πίνακα 1-1

Πίνακας 1-1 Σύσταση θαλασσινού νερού στο Αιγαίο πέλαγος (Αυλωνίτης, 2006)

Παράμετρος	Αποτέλεσμα	Μονάδα
Φυσικοχημικές παράμετροι		
pH	7,3	-
Αγωγιμότητα	56.300	μS/cm
Ολικά διαλυτά στερεά	40.080	mg/L
Χημικές παράμετροι		
Ανθρακικά (CO_3^{-2})	56	mg/L
Όξινα ανθρακικά (HCO_3^{-2})	159	mg/L
Χλωριούχα (Cl^-)	22.010	mg/L
Νιτρικά (NO_3^-)	<5	mg/L
Νιτρώδη (NO_2^-)	<0,05	mg/L
Αμμωνιακά (NH_4^+)	<0,2	mg/L
Θειικά (SO_4^{-2})	2.800	mg/L
Πυριτικά (SiO_2^-)	<1,0	mg/L
Ασβέστιο (Ca^{+2})	380	mg/L
Μαγνήσιο Mg^{+2})	1.500	mg/L
Κάλιο (K^+)	55	mg/L
Νάτριο (Na^+)	11.600	mg/L
Σίδηρος (Fe^{+2})	<0,04	mg/L
Χαλκός (Cu^{+2})	0,10	mg/L
Μαγγάνιο (Mn^{+2})	<0,04	mg/L
Ψευδάργυρος (Zn^{+2})	0,04	mg/L
Χρώμιο (Cr^{+3})	0,11	mg/L

Αντίθετα, τα επιφανειακά νερά περιέχουν μικρές ποσότητες αλάτων, κυρίως του ασβεστίου και του μαγνησίου. Τα δύο αυτά άλατα συνθέτουν τη σκληρότητα (hardness) του νερού, η οποία σε ορισμένο βαθμό είναι αναγκαία, σε υψηλά ποσοστά όμως παραμένει εμπόδιο στην αφαλάτωση. Συνεπώς, τα επιφανειακά νερά με βασικά βήματα και απλή κατεργασία μπορούν να θεωρηθούν πόσιμα (Αυλωνίτης, 2006). Στον Πίνακα 1-2 παρέχονται ενδεικτικές τιμές επιφανειακών νερών, που προέρχονται από βροχόπτωση.

Πίνακας 1-2 Σύσταση επιφανειακού νερού βροχόπτωσης (Αυλωνίτης, 2006)

Παράμετρος	Αποτέλεσμα	Μονάδα
Φυσικοχημικές παράμετροι		
pH	7,6	-
Αγωγιμότητα	448	μS/cm
Ολικά διαλυτά στερεά	314	mg/L
Χημικές παράμετροι		
Όξινα ανθρακικά (HCO_3^{-2})	131	mg/L
Χλωριούχα (Cl^-)	7	mg/L
Νιτρικά (NO_3^-)	2,2	mg/L
Νιτρώδη (NO_2^-)	26	mg/L
Αμμωνιακά (NH_4^+)	35,8	mg/L
Θειικά (SO_4^{-2})	9,9	mg/L
Ασβέστιο (Ca^{+2})	3,6	mg/L
Μαγνήσιο (Mg^{+2})	4,6	mg/L
Κάλιο (K^+)	0,1	mg/L
Νάτριο (Na^+)	0,1	mg/L
Σίδηρος (Fe^{+2})	0	mg/L
Χαλκός (Cu^{+2})	0	mg/L
Μαγγάνιο (Mn^{+2})	0,7	mg/L
Ψευδάργυρος (Zn^{+2})	131	mg/L
Χρώμιο (Cr^{+3})	7	mg/L
Φθοριούχα (F^-)	2,2	mg/L

1.5 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ύπαρξη νερού είναι καθοριστικό στοιχείο για την ανάπτυξη ενός πολιτισμού. Δεν είναι σύμπτωση που όλοι οι αρχαίοι πολιτισμοί άκμασαν σε περιοχές με άφθονο νερό, όπως η Μεσοποταμία και η Αίγυπτος (Αυλωνίτης, 2013). Μάλιστα φαίνεται πως από πολύ παλιά είχαν ήδη καταλάβει ότι το νερό μπορεί να μολυνθεί από παθογόνους μικροοργανισμούς, καθώς η επεξεργασία του παρατηρείται κιόλας από την αρχαία Ελλάδα και χρονολογείται 6000 έτη πίσω, όταν οι Αρχαίοι Έλληνες για να βελτιώσουν την ποιότητά του, χρησιμοποιούσαν βρασμό, έκθεση στο φως του ήλιου μέχρι και κατασκευές, οι οποίες παραπέμπουν σε φίλτρα (WHO, 2003). Ο Ηρόδοτος τον 5^ο αιώνα π.Χ. υποστηρίζει ότι ο Σείριος ο Μέγας στα ταξίδια του μετέφερε το νερό βρασμένο σε ασημένιες φιάλες. Η πράξη αυτή βασίζεται στο ότι η υψηλή θερμοκρασία του νερού θανάτωνε τους παθογόνους οργανισμούς και τα ιόντα αργύρου μπορούσαν να αναστείλουν την ανάπτυξη νέων. Παράλληλα, στα ανάκτορα της Κνωσού στην

Κρήτη είχαν αναπτύξει τέτοιο μηχανισμό, ώστε να τρέχει συνεχώς νερό στις τουαλέτες και να παρασύρει τα ανθρώπινα περιττώματα εκτός του ανακτόρου (Αυλωνίτης, 2013). Έχει αναφερθεί ότι η τεχνολογία που χρησιμοποιούσαν ήταν τόσο προχωρημένη, που μπορεί να συγκριθεί με σύγχρονα αστικά συστήματα της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής του 19^{ου} αιώνα (Crittenden et al., 2023). Οι Μινωίτες αξιοποιούσαν όλες τις κατηγορίες υδάτων (υπόγεια, επιφανειακά και νερά βροχής), γι' αυτό και έχουν βρεθεί υδραγωγεία, στέρνες και πηγάδια της εποχής.. Η Κνωσός διαθέτει ένα αξιοσημείωτο σύστημα ύδρευσης με υδραγωγείο αγωγών 500-700 μέτρων. Επιπλέον, είχαν κατασκευάσει δεξαμενές, όπου συγκεντρωνόταν το νερό της βροχής, καθώς και αμμοδιωλίστριά, με σκοπό το φιλτράρισμα και την αποθήκευσή του (Αγγελάκης, 2017). Στην Αρχαία Ελλάδα η ύδρευση πραγματοποιούνταν από πηγές, πηγάδια και υδραγωγεία. Από τα πιο γνωστά αρχαία υδραγωγεία ήταν το Πεισιστράτειο, το οποίο κατασκευάστηκε από τον Πεισίστρατο το 530 π.Χ. και είχε μήκος 2.800 m. Επιπλέον, μέσα στην πόλη εντοπίζονταν διασκορπισμένες κρήνες, των οποίων ο ρόλος ήταν η συγκέντρωση του βρόχινου νερού.

Εκτός από τους Αρχαίους Έλληνες και οι Ρωμαίοι είχαν δημιουργήσει ένα περίπλοκο δίκτυο ύδρευσης, το οποίο αποτελούταν από εννέα διαφορετικά υδραγωγεία σε απόσταση μέχρι και 80 χιλιόμετρα από την πόλη. Στόχος ήταν να υδροδοτούνται από μη μολυσμένες πηγές, που παρείχαν νερό καλύτερης ποιότητας από αυτό του ποταμού Τίβερη και τα λύματα να μην έρχονται σε επαφή το δίκτυο, προμηθεύοντας έτσι τις πόλεις τους με καθαρό νερό (Αυλωνίτης, 2013). Ωστόσο, μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας η εξέλιξη των ρωμαϊκών συστημάτων ύδρευσης αμβλύθηκε, με εξαίρεση κάποιες εκκλησίες και μοναστήρια, που έχουν διατηρήσει μέχρι και σήμερα παρόμοια οργάνωση (Harrison, 2001). Παράλληλα, αναπτύχθηκε και το υδρευτικό σύστημα της Αθήνας. Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκαν το Αδριάνειο Υδραγωγείο και η Αδριάνειος δεξαμενή από τον Αυτοκράτορα Αδριανό. Το πρώτο μετέφερε νερό με σύριγγα μήκους 25 χιλιομέτρων από τους πρόποδες της Πάρνηθας μέχρι και τον Λυκαβηττό. Η εγκατάσταση αυτή τροφοδοτούσε τον αθηναϊκό χώρο για πολλούς αιώνες. Σήμερα διασώζονται κομμάτια του υδραγωγείου στη Φιλοθέη, ενώ της δεξαμενής στο Κολωνάκι (ΕΥΔΑΠ).

Το πρώτο σύστημα συλλογής βρόχινου νερού που κατασκευάστηκε στην Αμερική ήταν στη Βοστώνη το 1700. Εκείνη την εποχή στις περισσότερες πόλεις η διάθεση λυμάτων γινόταν σε βόθρους. Όταν αυτοί γέμιζαν, τα λύματα μεταφέρονταν με αντλίες εκτός πόλεων σε φυσικούς αποδέκτες (λίμνες, ποτάμια, θάλασσα), πράγμα που οδηγούσε σε ρύπανση των υδάτων και σε σοβαρές συνέπειες στην υγεία των κατοίκων, κάτι το οποίο σε αρκετές πόλεις συνεχίζεται να υφίσταται έως και σήμερα. Στην Αμερική το πρώτο σύστημα μεταφοράς νερού από ξύλινους σωλήνες κατασκευάστηκε το 1652 και το πρώτο δίκτυο παροχής νερού το 1776. Η υδροδότηση

του νησιού Μανχάταν στη Νέα Υόρκη ολοκληρώθηκε το 1841. Αν και γενικά η παροχή νερού είχε διασφαλιστεί, η ποιότητά του συνιστούσε πρόβλημα. Για παράδειγμα, στη Νέα Ορλεάνη η φίλτρανση της υδροδότησής της από τον ποταμό Μισισσιπή δεν ήταν επιτυχημένη. Το νερό περιείχε αρκετά αιωρούμενα στερεά, με αποτέλεσμα τα φίλτρα να εξαντλούνται ταχύτητα. Η χρήση θειικού αργιλίου ως μέσου κροκίδωσης πριν από τη φίλτρανση έδωσε τη λύση (Αυλωνίτης, 2013). Την ίδια εποχή, και συγκεκριμένα το 1703, ο Γάλλος επιστήμονας La Hire υποστήριξε ότι όλα τα νοικοκυριά θα πρέπει να διαθέτουν φίλτρο άμμου και στέρνα βρόχινου νερού. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1746 ο επιστήμονας Joseph Amy σχεδίασε το πρώτο φίλτρο και μέχρι το 1750 υπήρχαν διαθέσιμα φίλτρα από σφουγγάρι, κάρβουνο και μαλλί για οικιακή χρήση (Crittenden et al., 2023). Το 1804 εγκαταστάθηκε η πρώτη δημοτική μονάδα επεξεργασίας νερού στη Σκωτία και το 1807 στη Γλασκώβη για πρώτη φορά επιτεύχθηκε η διοχέτευση του νερού στους καταναλωτές με σωληνώσεις (Baker, 1948).

Κατά τη διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης ο πληθυσμός αυξήθηκε εντυπωσιακά και μαζί του η ζήτηση του νερού. Τα προβλήματα της ομαλής και υγιεινής υδροδότησης των πόλεων εκείνη την εποχή ήταν μεγάλα, αφού η σχέση μεταξύ ανθρώπινων λυμάτων, ποιότητας πόσιμου νερού και ασθενειών δεν είχε αναγνωριστεί μέχρι και τα μέσα του 19^{ου} αιώνα (Αυλωνίτης, 2013). Ενώ, οι αναφορές στο φιλτράρισμα ως τρόπος διαύγασης του νερού χρονολογούνται χιλιάδες χρόνια πίσω, η σχέση μεταξύ της ποιότητας του νερού και της ανθρώπινης υγείας άργησε να εκτιμηθεί (Crittenden et al., 2023). Στην πραγματικότητα, η επεξεργασία νερού άρχισε να εφαρμόζεται εξαιτίας της επιδημίας της χολέρας, που εμφανίστηκε στο Λονδίνο το 1854 και στο Αμβούργο το 1892, από την οποία ασθένησαν 16.956 άνθρωποι και πέθαναν 8.605 (Cheremisinoff, 1995 και Schoenen, 2002). Τότε, ο ιατρός John Snow συσχέτισε τα κρούσματα με τη χρήση νερού από συγκεκριμένο πηγάδι της οδού Broad (Αυλωνίτης, 2013). Τότε, επιδιώχθηκε και η απολύμανση των μολυσμένων υδάτων με τη μέθοδο του υποχλωριώδους ασβεστίου (Cheremisinoff, 1995 και Harrison, 2001). Παράλληλα, την ίδια περίοδο οι ερευνητές Pasteur και Koch ανέπτυξαν τη θεωρία των μικροβιακών ασθενειών (germ theory of disease) (Crittenden et al., 2023). Ενώ, το 1881 ο Koch απέδειξε ότι το χλώριο διέθετε την ικανότητα να θανατώνει βακτήρια, η συστηματική απολύμανση του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση με τη μέθοδο της χλωρίωσης εφαρμόστηκε μετά το ξέσπασμα του τυφοειδή πυρετού στο Λονδίνο το 1905 (Cheremisinoff, 1995). Εκείνη την εποχή έγινε πλήρως κατανοητό ότι σημαντικές επιδημικές ασθένειες ήταν υδατογενείς, όπως η χολέρα, ο τυφοειδής πυρετός και η αμοιβαδική δυσεντερία (Olsztynski, 1988). Στο τελείωμα αυτού του αιώνα αναπτύχθηκαν μέθοδοι, όπως η δοκιμή του κολοβακτηριδίου για την αξιολόγηση της μόλυνσης από παρουσία λυμάτων σε μία παροχή νερού (Smith, 1893) και η συμβατική διαδικασία επεξεργασίας νερού (πήξη, κροκίδωση, καθίζηση, διήθηση) (Fuller, 1898). Η πρώτη οργανωμένη μέθοδος απολύμανσης του πόσιμου

νερού στην Ευρώπη υλοποιήθηκε το 1902 στο Middelkerke του Βελγίου, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες οι διαδικασίες ξεκίνησαν το 1908 στο New Jersey και στο Chicago, οδηγώντας στην άμεση μείωση των ασθενειών που διαδίδονταν μέσω του νερού (Cheremisinoff, 1995 και Harrison, 2001). Εξάλλου, όπως υποστήριξε και ένας αξιόλογος μικροβιολόγος, ο Paul Ewald, "καμία άλλη μεμονωμένη παρέμβαση στην ιστορία της ιατρικής δεν έχει σώσει τόσες ζωές όσο η παροχή μη μολυσμένου νερού" (Ewald P. et al., 1998).

Μετά από αυτό η χλωρίωση του πόσιμου νερού διαδόθηκε με ταχύτετους ρυθμούς στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη. Μέχρι το 1940 τα αποθέματα νερού της συντριπτικής πλειονότητας των ανεπτυγμένων χωρών ήταν πλήρως επεξεργασμένα και θεωρούνταν μικροβιολογικά ασφαλή (Crittenden et al., 2023). Τη δεκαετία του 1970 αναπτύχθηκαν αναλυτικές μέθοδοι ελέγχου της ποιότητας του νερού, όπως η αέρια χρωματογραφία, που έφεραν στην επιφάνεια ένα σοβαρό πρόβλημα της χλωρίωσης, δηλαδή τον σχηματισμό οργανικών παραπροϊόντων που είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. Αυτό είχε ως συνέπεια την ανάγκη εύρεσης καινούργιων μεθόδων απολύμανσης για την απαλλαγή από τους παθογόνους μικροοργανισμούς που μεταδίδονται μέσω των υδάτων, με παράλληλο στόχο την πρόληψη ή την ελαχιστοποίηση του σχηματισμού οργανικών παραπροϊόντων από τη χλωρίωση (Droste, 1997 και Harrison, 2001).

Αναφορικά με την Ελλάδα, μέχρι το 1924 η Αθήνα υδροδοτούταν από τον Δήμο μέσω των πηγών της Πάρνηθας, του Υμηττού και από διάφορα πηγάδια που βρισκόντουσαν στα προάστια. Το 1925 υπογράφηκε μία συμφωνία μεταξύ του ελληνικού δημοσίου και της αμερικανικής εταιρείας Ούλεν για την κατασκευή έργων ύδρευσης στις πηγές του Παρνασσού και τότε ιδρύθηκε η Ανώνυμος Ελληνική Εταιρεία Υδάτων (Μπρούσαλης, 2012). Το 1926 ξεκίνησε η κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα, το οποίο εγκαινιάστηκε το 1929. Το φράγμα αυτό είναι μία τεχνητή λίμνη, χωρητικότητας 41 εκατομμυρίων κυβικών μέτρου νερού. Το 1958 ολοκληρώθηκαν στην Αττική τα έργα μεταφοράς των νερών από τη φυσική λίμνη Υλίκη στη Βοιωτία, με χωρητικότητα 600.000.000 κυβικά μέτρα (ΕΥΔΑΠ). Το 1981 ξεκίνησαν τα έργα στον ποταμό Μόρνο, το φράγμα του οποίου κατατάσσεται στα μεγαλύτερα της Ευρώπης με χωρητικότητα 780.000.000 κυβικά μέτρα, από τα οποία προμηθεύει την Αθήνα με 300.000.000 τον χρόνο. Το 1992 ξεκίνησαν τα έργα για το φράγμα του ποταμού Εύηνου και ολοκληρώθηκαν το 2002, προσθέτοντας ακόμα ένα ποτάμι ως πηγή τροφοδότησης νερού στην Αττική. Τα έργα αυτά μπορούν να προμηθεύουν την Αττική με 220.000.000 κυβικά μέτρα νερού τον χρόνο. Ωστόσο, παρόλο που τα έργα του Μαραθώνα, της Υλίκης, του Μόρνου και του Εύηνου τροφοδοτούν την Αττική με 600.000.000 κυβικά μέτρα νερού τον χρόνο, υπολογίζεται ότι οι πηγές αυτές θα παραμείνουν επαρκείς για λιγότερο από μία δεκαετία ακόμα, ώστε να

καλύπτονται οι ανάγκες της Αττικής με βάση τις σημερινές ανάγκες κατανάλωσης νερού και την επέκταση του συστήματος (Θαλασσινού, 2017).

Σε συνέχεια, η πόλη της Θεσσαλονίκης διέθετε από παλιά υπόγεια νερά, γι' αυτό και υπήρχαν περίπου 3060 πηγάδια. Από τη ρωμαϊκή κιόλας εποχή είχε κατασκευαστεί το υδραγωγείο του Χορτιάτη (Ταμιωλάκης, 1985). Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας και συγκεκριμένα το 1430, ο Μουράτ ο Β' ανακαίνισε την υδατογέφυρα του Χορτιάτη και κατασκεύασε 20 νέες κρήνες. Οι πηγές του Ρετζικίου έπαιξαν εξίσου καθοριστικό ρόλο στην τροφοδότηση πολλών πόλεων της Θεσσαλονίκης (Μανωλεδάκης & Μάρκη, 2008). Σε αυτές τις εκτάσεις κατά τη διάρκεια του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου οι συμμαχικές δυνάμεις είχαν στήσει στρατόπεδα, με αποτέλεσμα η ζήτηση νερού να αυξηθεί. Το 1917 κατασκευάστηκε από Γάλλους μηχανικούς το υδραγωγείο Χαριλάου, το οποίο μέχρι και το 1975 άνηκε στην "Πρώτη Οικοδομική Εταιρεία Χαριλάου", όπου αγοράστηκε από τον Οργανισμό Ύδρευσης Θεσσαλονίκης (Ο.Υ.Θ.) εκτός των εγκαταστάσεων της υδρομάστευσης (Ταμιωλάκης, 1985).

2 ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ

Πόσιμο θεωρείται το νερό που είναι καθαρό από φυσικής, χημικής και μικροβιολογικής άποψης και δεν θέτει τη ζωή του ανθρώπου σε κίνδυνο.

Πρέπει να είναι άχρωμο, καθώς οποιοδήποτε χρώμα ή απόχρωση το θέτει ως μη αποδεκτό προς πόση, αλλά και προς βιομηχανική χρήση. Το χρώμα μπορεί να οφείλεται σε ιόντα μετάλλων, όπως σιδήρου και μαγγανίου, σε φυτικά προϊόντα, όπως τανίνες και χουμικό οξύ, λόγω της επαφής του νερού με φυτικές ύλες και σε απόβλητα, που περιέχουν χρωστικές. Προκαλείται, δηλαδή, από αιωρούμενα στερεά, τα οποία αν αφαιρεθούν παραμένει το λεγόμενο αληθινό χρώμα (true colour). Η μέτρησή του πραγματοποιείται χρωματομετρικά με σύγκριση του προς εξέταση νερού με πρότυπα χρώματα (Αυλωνίτης, 2013). Προκειμένου να αντιμετωπιστεί γίνεται οξείδωση, προσρόφηση ή διήθηση (Νικολαΐδης, Δημητρακόπουλος, 1999). Επιπρόσθετα, συνιστάται να είναι άοσμο, άγευστο και διαυγές κυρίως για λόγους αισθητικής από τους καταναλωτές, ακόμα και όταν χαρακτηρίζεται πλήρως ασφαλές από υγειονομική πλευρά (Tchobanoglous & Schroeder, 1985). Συστατικά που μπορούν να δημιουργήσουν οσμή και γεύση στο νερό είναι τα μεταλλικά άλατα, προϊόντα βιολογικής αποικοδόμησης και ουσίες ανθρώπινης δραστηριότητας, που αποβάλλονται στο νερό ως απόβλητα (Αυλωνίτης, 2013). Επίσης, δεν πρέπει να έχει μεγάλη σκληρότητα, ούτε υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικές ενώσεις, βαρέα μέταλλα και καθόλου παθογόνους μικροοργανισμούς (Παναγιωτίδης, Δημητρακόπουλος, 1999). Οι οργανικές ουσίες είναι υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη, αλκοόλες, εστέρες, ακόμα και ολόκληροι ιστοί. Οι ενώσεις αυτές αποτελούν τροφή για βακτήρια, πρωτόζωα και γενικότερα παθογόνους μικροοργανισμούς, με αποτέλεσμα να πρέπει να περιοριστούν. Ο έλεγχος της ποσότητας της οργανικής ύλης γίνεται συνήθως με δύο εμπειρικές μετρήσεις, με τη μέτρηση του **βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου** (biochemical oxygen demand, BOD) και του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου** (chemical oxygen demand, COD). Η πρώτη ανάλυση αφορά αερόβια βακτήρια και διαρκεί συνήθως 5 ημέρες, γι' αυτό και αναφέρεται ως BOD₅. Το πόσιμο νερό πρέπει να παρουσιάζει τιμή BOD ίση με το μηδέν (Αυλωνίτης, 2013).

Το πόσιμο νερό μπορεί να προέρχεται από βροχόπτωση, επιφανειακές ή υπόγειες πηγές (Νικολαΐδης, Κωνσταντινίδης, 2009). Αρχικά, το νερό της πρώτης περίπτωσης είναι όξινο, μαλακό και περιέχει σκόνη, ιόντα, οργανικές ουσίες και μικροοργανισμούς. Οπότε, είναι λογικό συχνά να παρουσιάζει δυσάρεστες οσμές. Τα επιφανειακά ύδατα ρυπαίνονται γρήγορα, ιδίως όταν διασχίζουν περιοχές με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα, λόγω των οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων, των λιπασμάτων και των γεωργικών φαρμάκων. Τέλος, τα υπόγεια εκτιμώνται ως ακίνδυνα, όταν βρίσκονται σε βάθος τουλάχιστον 3 μέτρων από την επιφάνεια

του εδάφους. Η έξοδος τους πρέπει να προστατεύεται από πιθανή επιμόλυνση και τέτοιες πηγές, όπως υπόνομοι, βόθροι και λύματα, πρέπει να βρίσκονται μακριά από πηγάδια. Με τις κατάλληλες διαδικασίες όλα τα παραπάνω νερά έχουν τη δυνατότητα να γίνουν πόσιμα.

Κρίνεται απαραίτητο να γίνεται έλεγχος των ποιοτικών παραμέτρων του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, ώστε να προσδιορίζονται οι τεχνικές και η έκταση επεξεργασίας του. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να διακριθούν σε φυσικοχημικά, βιοχημικά και μικροβιολογικά (Μήτρακας, 2001), όπως παρουσιάζονται και στον Πίνακα 2-1

Πίνακας 2-1 Διάκριση ποιοτικών χαρακτηριστικών νερού (Νταρακάς, 2010)

Χαρακτηριστικά		
Φυσικοχημικά	Βιοχημικά	Μικροβιολογικά
Θερμοκρασία	Διαλυμένο οξυγόνο	Μικροοργανισμοί
Οξύτητα-Αλκαλικότητα	Οργανική ύλη, ουσίες δηλαδή που προσδιορίζονται με το BOD, COD και TOC	Βακτήρια
Αγωγιμότητα		Ιοί
Αλατότητα		Μύκητες
Θολότητα		Φύκια (άλγη)
Οσμή		Πρωτόζωα
Γεύση		Μαλακόστρακα
Χρώμα		
Στερεές ουσίες		
Διάφορα άλατα		
Σκληρότητα		
Κατιόντα (ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, νατρίου) - Ανιόντα (ανθρακικά, όξινα ανθρακικά, χλωριούχα, θειικά)		
Θρεπτικά συστατικά		
Ιχνοστοιχεία		
Βαρέα μέταλλα: όπως μόλυβδος (Pb), χρώμιο (Cr), κάδμιο (Kd), υδράργυρος (Hg)		

2.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η θερμοκρασία παίζει καθοριστικό ρόλο στη γεύση του νερού. Με την αύξησή της η γεύση του νερού μπορεί να υποβαθμιστεί και να γίνει λιγότερη αρεστή. Για να διατηρηθεί σε πιο ευχάριστα επίπεδα πρέπει να κυμαίνεται σε θερμοκρασίες 5-15 °C. Επίσης, όσο υψηλότερη θερμοκρασία έχει, τόσο ευκολότερη είναι η ανάπτυξη μικροβίων σε αυτό (Νταρακάς, 2010). Για παράδειγμα, τους καλοκαιρινούς μήνες, που η θερμοκρασία είναι υψηλότερη, η βιολογική δραστηριότητα είναι μεγαλύτερη και στη συνέχεια μειώνεται ξανά τους χειμερινούς μήνες (Servais & Joret, 1999). Οι θερμοκρασίες των υπόγειων υδάτων παραμένουν σχετικά αμετάβλητες, σε σχέση με εκείνες των επιφανειακών (Crittenden et al., 2023).

2.2 ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα, L (conductivity) ενός διαλύματος ορίζεται ως η ικανότητα του να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα και είναι το αντίθετο της ηλεκτρικής αντίστασης R. Αυτή η ικανότητα οφείλεται στην ύπαρξη ιόντων και επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, γι' αυτό και τα όργανα μέτρησης διαθέτουν αισθητήρες θερμοκρασίας για την αντιστάθμισή της (Αυλωνίτης, 2013). Η αξιολόγηση της αγωγιμότητας προσφέρει δεδομένα σχετικά με τις διαλυμένες ενώσεις και τα άλατα, που περιέχονται στο πόσιμο νερό. Απότομη αύξηση των τιμών της σε νερό μιας πηγής είναι ένδειξη μόλυνσης, καθώς παρατηρείται όταν απορρίμματα και ρύποι εισέρχονται στους υδάτινους πόρους. Η διαχείριση της αυξημένης αγωγιμότητας πραγματοποιείται μέσω διαδικασιών, όπως η ιζηματοποίηση, η ιοντοεναλλαγή και η αντίστροφη ώσμωση (Μήτρακας, 2001).

2.3 ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

Η αλατότητα (salinity) εκφράζεται και ως η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού. Η έννοια αυτή αναφέρεται στην περιεκτικότητα σε ολικά στερεά, όταν όλα τα ανθρακικά άλατα έχουν μετατραπεί σε οξείδια, όλα τα βρωμιούχα και ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα και όλες οι οργανικές ουσίες έχουν πλήρως οξειδωθεί. Η αλατότητα διαφέρει αναλόγως με το βάθος και την περιοχή. Για παράδειγμα, στη Βαλτική Θάλασσα η επιφανειακή αλατότητα μπορεί να φτάσει και τα 7.000 ppm, ενώ στην Ερυθρά Θάλασσα και σε ορισμένα σημεία του Αιγαίου Πελάγους, κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, έχει μετρηθεί στα 42.000 ppm (Αυλωνίτης, 2013).

2.4 ΣΤΕΡΕΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Οι στερεές ουσίες περιέχονται στα ύδατα και διαχωρίζονται σε διαλυμένες και αδιάλυτες. Οι πρώτες δεν είναι ορατές με γυμνό οφθαλμό, ενώ οι δεύτερες είναι συνήθως ευδιάκριτες.

Οι αδιάλυτες ουσίες ανάλογα με το ειδικό τους βάρος μπορεί να επιπλέουν, να αιωρούνται ή να κατακάθονται. Τα ολικά στερεά (TS), όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αποτελούνται από τα TSS (αιωρούμενα) και τα TDS (διαλυμένα). Τα TSS έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 1 μm και τα TDS μικρότερο από 1 μm. Τα TSS, που εντοπίζονται συχνότερα στα επιφανειακά ύδατα, είναι η κύρια αιτία που προκαλεί τη θολότητα του νερού και σε συγκέντρωση πάνω από 500 mg/L αλλοιώνουν χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, όπως η γεύση (Ζανάκη, 2001). Σε αυτά περιλαμβάνονται ο άργιλος, η λάσπη, οι φυτικές ίνες, τα άλγη, τα βακτήρια και διάφορα συστατικά ανθρώπινης δραστηριότητας. Ο προσδιορισμός τους γίνεται με διήθηση και περιέχει τον προσδιορισμό όλων των σωματιδίων που συγκρατούνται σε φίλτρο Goosh ή φίλτρο με γυάλινες ίνες διαμέτρου 1 μm. Αρχικά, το φίλτρο ξεπλένεται με αποσταγμένο νερό και διηθείται με τη βοήθεια αντλίας κενού για 2 λεπτά μέχρι να στεγνώσει. Στη συνέχεια, τοποθετείται σε φούρνο μέχρι να στεγνώσει στους 105 °C, κρυώνει σε ξηραντήρα και ζυγίζεται (B mg). Έπειτα, χρησιμοποιώντας το ίδιο φίλτρο, που ζυγίστηκε προηγουμένως, διηθούνται 100 mL διαλύματος. Το φίλτρο μεταφέρεται ξανά σε ξηραντήρα, θερμαίνεται στους 105 °C για τουλάχιστον 1 ώρα, κρυώνει και ζυγίζεται (A mg). Τα αιωρούμενα στερεά (TSS) υπολογίζονται ως εξής (Αυλωνίτης, 2013):

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1.000}{\text{mL δείγματος}}$$

Τα TS είναι όλα τα σωματίδια στο νερό. Για τον προσδιορισμό τους χρησιμοποιείται κάψα από πορσελάνη (τουλάχιστον 100 mL) και με αντίστοιχη διαδικασία θερμαίνεται στους 105 °C, τοποθετείται σε ξηραντήρα και, αφού κρυώσει, ζυγίζεται (B mg). Στην κάψα τοποθετούνται 100 mL δείγματος νερού και έπειτα εισέρχεται σε αποξηραντικό κλίβανο στους 105 °C μέχρι να εξατμιστεί το νερό. Για να αποφευχθεί ο βρασμός η εξάτμιση αρχικά γίνεται σε θερμοκρασία μικρότερη των 100 °C. Όταν αυτό ολοκληρωθεί και δεν υπάρχει πια νερό, ρυθμίζεται η θερμοκρασία στους 105 °C για 60 λεπτά. Η κάψα μεταφέρεται σε ξηραντήρα και ζυγίζεται (A mg). Τα ολικά στερεά, TS, στο δείγμα υπολογίζονται ως (Αυλωνίτης, 2013):

$$\text{TS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(A - B) \times 1.000}{\text{mL δείγματος}}$$

2.5 ΘΟΛΕΡΟΤΗΤΑ

Η θολερότητα του νερού αναφέρεται στην έλλειψη διαύγειάς του, η οποία προκαλείται από ανόργανες ή οργανικές ουσίες, που είτε αιωρούνται, είτε είναι διαλυμένες μέσα σε αυτό και αποτελεί μέτρο της απορρόφησης ή σκέδασης του φωτός από αυτές. Συνιστά χαρακτηριστική παράμετρο για τα υπόγεια και τα επιφανειακά νερά και έναν έμμεσο τρόπο προσδιορισμού των αιωρούμενων στερεών. Η τιμή της θολερότητας εξαρτάται από την ποσότητα των αιωρούμενων σωματιδίων, από την υφή και τη μορφή της επιφάνειάς τους. Όσο περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια αλληλεπιδρούν με μία ποσότητα νερού, τόσο αυξάνεται και η θολότητα του. Η μέτρησή της γίνεται φωτομετρικά με θολόμετρο (ή νεφελόμετρο) ως το ποσοστό ακτίνας φωτός συγκεκριμένης έντασης, που απορροφάται ή σκεδάζεται από δείγμα νερού ορισμένου πάχους. Δίνεται συνήθως σε μονάδες NTU (nephelometry turbidity units) (Αυλωνίτης, 2013). Η σκέδαση του φωτός που προκαλείται από τα αιωρούμενα σωματίδια, ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος, το σχήμα, τον δείκτη διάθλασης και τη σύνθεση των σωματιδίων (Hach, 2008). Συχνά, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας εξαρτάται από τον βαθμό θολότητας του νερού. Όταν το νερό δεν είναι διαυγές, η απολύμανση είναι αναποτελεσματική, διότι τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να παγιδεύουν παθογόνους μικροοργανισμούς. Επομένως, γι' αυτόν τον λόγο το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές πριν την κατανάλωση. Για να μειωθεί η θολερότητα εφαρμόζονται τεχνικές, όπως η καθίζηση και η διήθηση (Νταρακάς, 2010). Σε λίμνες και δεξαμενές η θολότητα είναι σχετικά σταθερή και κυμαίνεται από 1-20 NTU. Αντίθετα, στα ποτάμια είναι πιο επιρρεπής στις μεταβολές, λόγω των καταγίδων και της ταχύτητας ροής και κυμαίνεται περίπου από 10-4.000 NTU. Σε τέτοιες περιπτώσεις η ενδεδειγμένη παρακολούθηση είναι κρίσιμη για τον σωστό έλεγχο της ποιότητας. Το ρυθμιστικό πρότυπο για το τελικό νερό επέρχεται στα 0,3 NTU, ενώ πολλές μονάδες επεξεργασίας στοχεύουν ακόμη και για <0,1 NTU (Crittenden et al.,2023).



Εικόνα 2-1Θολότητες νερού

2.6 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Η σκληρότητα εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}), τα οποία βρίσκονται διαλυμένα ή αιωρούμενα στο νερό. Αυτά τα δισθενή κατιόντα έχουν την ικανότητα να ενωθούν με διάφορα ανιόντα, ανθρακικά, όξινα ανθρακικά και χλωριόντα και να δημιουργήσουν δυσδιάλυτα άλατα. Σε ελεγχόμενη συγκέντρωση τα άλατα ασβεστίου και μαγνησίου είναι απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό, όταν ξεφεύγει όμως η ποσότητά τους καθιστούν το νερό σκληρό. Αυτό έχει ως συνέπεια να μειωθεί η καθαριστική ικανότητα των απορρυπαντικών και σαπουνιών, άρα η αποδοτικότητά τους και να δημιουργηθούν επικαθίσεις αλάτων (scale formation) σε εγκαταστάσεις, όπως σωληνώσεις των δικτύων, εναλλάκτες θερμότητας και λέβητες, αλλά και σε οικιακές συσκευές (Αυλωνίτης, 2013). Επιπρόσθετα, το σκληρό νερό έχει δυσάρεστη γεύση και παρεμποδίζει στο βράσιμο των τροφίμων. Μάλιστα, σε μερικές βιομηχανίες, όπως η παραγωγή φαρμακευτικών προϊόντων, παρεμβαίνει στην κατεργασία και επηρεάζει την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Ζανάκη, 2001). Η σκληρότητα διακρίνεται σε παροδική και μόνιμη. Η πρώτη οφείλεται σε όξινα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, τα οποία με θέρμανση καταπίπτουν σε αδιάλυτα ανθρακικά άλατα, τα οποία αποχωρίζονται από το διάλυμα:



Από την άλλη πλευρά, η μόνιμη σκληρότητα είναι χλωριούχα, νιτρικά και θειικά άλατα μαγνησίου και ασβεστίου, τα οποία δεν καταβυθίζονται με τον βρασμό. Όταν η συγκέντρωσή τους υπερβεί κάποιο όριο, που καθορίζεται από το γινόμενο διαλυτότητας του κάθε άλατος, καταβυθίζονται ως στερεά. Νερό που περιέχει λιγότερα από 50 ppm CaCO_3 θεωρείται μαλακό (soft), από 50-150 ppm CaCO_3 ελαφρώς σκληρό (soft-hard), 150-300 ppm CaCO_3 σκληρό (hard) και περισσότερα από 300 ppm CaCO_3 πολύ σκληρό (very hard) (Αυλωνίτης, 2013).

Η μέτρηση της σκληρότητας διαδραματίζεται φασματομετρικά ή ογκομετρικά, με τη δεύτερη να είναι η συνηθέστερη και η απλούστερη. Γίνεται ως εξής: ορισμένος όγκος νερού ογκομετρείται με πρότυπο διάλυμα άλατος αιθυλενοδιαμίνης (Na_4EDTA), χρησιμοποιώντας δείκτη (EriochromeBlack T) σε $\text{pH}=10$. Η ογκομέτρηση συνεχίζεται μέχρι το χρώμα από κόκκινο να γίνει μπλε. Η αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η παρακάτω:



2.7 ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ-ΟΞΥΤΗΤΑ

Η αλκαλικότητα και η οξύτητα σχετίζονται με το pH του νερού και επηρεάζονται από παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η αλατότητα, η παρουσία ιόντων και η αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Χρησιμεύει ως δείκτης ρύπανσης και η μέτρησή τους είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων.

Το pH μπορεί να μετρηθεί ηλεκτρομετρικά με τη χρήση πεχάμετρου ή χρωματομετρικά με τη βοήθεια δεικτών ή ταινιών (Νταρακάς, 2010). Γενικά, οι δύο αυτές έννοιες περιγράφουν την ικανότητα του νερού να διατηρεί σταθερές τιμές pH, ενώ παράλληλα μπορεί να αντιστέκεται σε αλλαγές (Crittenden et al., 2023).

Αλκαλικότητα (alkalinity), συγκεκριμένα, ονομάζεται η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει ποσότητα οξέος και οφείλεται στην ύπαρξη ανθρακικών ιόντων (CO_3^{2-}), όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO_3^-), υδροξυλίωντων (OH^-), όξινων φωσφορικών ιόντων (HPO_4^{2-}) και αμμωνίας (NH_3), με τα τρία πρώτα να αποτελούν τα κύρια συστατικά (Αυλωνίτης, 2013).

Η τιμή του pH στο νερό της βρύσης κυμαίνεται συνήθως από 7,5-8,5, είναι δηλαδή ελαφρώς αλκαλική (Νταρακάς, 2010). Υψηλότερες τιμές προσδίδουν στο νερό πικρή γεύση. Η αλκαλικότητα προσδίδεται ογκομετρικά με τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα οξέος (H_2SO_4) (Αυλωνίτης, 2013). Επίσης, αλκαλικές τιμές στο pH παρατηρούνται, όταν υπάρχει έντονη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, ρύπανση από βασικές ενώσεις (όπως απορρυπαντικά από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα) και σε αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου, μαγνησίου και νατρίου (Νταρακάς, 2010).

Αντίστοιχα, οξύτητα (acidity) σημαίνει η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει ποσότητα βάσης. Οφείλεται στο διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) (Αυλωνίτης, 2013) ή στην εισαγωγή οξέων κυρίως στα επιφανειακά νερά, λόγω όξινης βροχής ή αστικά και βιομηχανικά απόβλητα (Νταρακάς, 2010).

2.8 ΙΟΝΤΑ

Το ασβέστιο (Ca^{+2}) ανήκει στα πιο κοινά ιόντα των υπόγειων υδάτων. Εντοπίζεται γενικά ως ελεύθερο ιόν στα φυσικά νερά και απορροφάται από στοιχεία του εδάφους. Προέρχεται από τη διάβρωση πετρωμάτων, όπως ο ασβεστίτης, γνωστός κι ως αραγωνίτης, ο γύψος, ο ανυδρίτης και ο φθορίτης (Crittenden et al., 2023). Μαζί με το μαγνήσιο, είναι υπεύθυνο για τη σκληρότητα του νερού, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Τα άλατα του μαγνησίου έχουν μεγαλύτερη διαλυτότητα σε σύγκριση με αυτά του ασβεστίου και εντοπίζονται σπανιότερα στα πετρώματα. Στα επιφανειακά νερά κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 10-20 mg/L, ενώ στα υπόγεια σε 30-40 mg/L (Crittenden et al., 2023).

Το κάλιο (K^+) βρίσκεται φυσιολογικά στον φλοιό της γης σε άφθονη ποσότητα, οπότε είναι αναμενόμενο να παρατηρείται και στα φυσικά νερά. Διαθέτει πολλές παρόμοιες ιδιότητες με το νάτριο, στα νερά όμως μετριέται σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις (Crittenden et al., 2023).

Το νάτριο (Na^+) εντοπίζεται στον φλοιό της Γης, όπως και το κάλιο, στα πετρώματα και το έδαφος. Μεταφέρεται στα φυσικά νερά κυρίως λόγω των καιρικών συνθηκών και εντοπίζεται σε αυτά ως ελεύθερο ιόν. Κάποια από τα σύμπλοκά του που μπορούν να εμφανιστούν είναι το ανθρακικό νάτριο, το θειικό νάτριο και το χλωριούχο νάτριο (Crittenden et al., 2023).

Ο σίδηρος (Fe^{2+} , Fe^{3+}) βρίσκεται επίσης σε πετρώματα και στα εδάφη σε διάφορες μορφές και στάδια οξείδωσης. Οι πιο κοινές ορυκτές πηγές είναι ο αιματίτης, που προσδίδει κόκκινο χρώμα στα πετρώματα και το υδροξείδιο του σιδήρου, που προσδίδει κίτρινο. Στα οξυγονωμένα επιφανειακά ύδατα (pH 5-8) οι τυπικές συγκεντρώσεις ολικού σιδήρου είναι περίπου 0,05-0,2 mg/L, ενώ στα υπόγεια συνήθως ανευρίσκεται σε 1,0-10,0 mg/L (Crittenden et al., 2023). Τα κατιόντα σε γενικές γραμμές εντοπίζονται με διάφορες μεθόδους, όπως οξείδωση, ιοντοανταλλαγή, καθίζηση, διήθηση ή αντίστροφη ώσμωση (Μήτρακας, 2001).

Το χλώριο (Cl^-) υπάρχει στα αποθέματα του νερού σχεδόν αποκλειστικά με τη μορφή ιόντος, αν και προϊόντα της υδρόλυσής του ανευρίσκονται προσωρινά, όταν έχει προστεθεί χλώριο ως απολυμαντικό. Στα τυπικά επιφανειακά νερά η συγκέντρωσή του είναι μικρότερη από 10 mg/L, όμως οι περιοχές που έρχονται σε επαφή με θαλασσινά νερά παρουσιάζουν αυξημένες τιμές (Crittenden et al., 2023). Επιπλέον, μπορούν να προκύψουν και από λύματα, λιπάσματα και βιομηχανικά απόβλητα.

Το φθόριο (F^-) παρατηρείται έντονα σε υπόγεια νερά, που έρχονται σε επαφή με ηφαιστειογενή πετρώματα και λιγότερα στα επιφανειακά (Crittenden et al., 2023). Υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να θεωρηθούν και ως ύπαρξη επιμόλυνσης από βιομηχανικές περιοχές.

Τα θειικά ιόντα εντοπίζονται συχνότερα στα βρόχινα νερά και σε πετρώματα, που περιέχουν θειικό ασβέστιο ή θειικό πυρίτιο. Επίσης, πολλές θειούχες ενώσεις περιλαμβάνονται σε αγροτικά λιπάσματα, εντομοκτόνα και μυκητοκτόνα. Παράλληλα, βρίσκουν εφαρμογή και στη βιομηχανία για την παρασκευή υαλικών, χαρτιού και συνθετικών υφασμάτων. Οπότε, με τα απόβλητά τους οι συγκεντρώσεις στα ύδατα αυξάνονται. Τα επιτρεπτά όρια για το πόσιμο νερό είναι 250 mg/L. Σε περίπτωση υπέρβασης το νερό αποκτά ιδιαίτερη γεύση και οσμή

(Νικολαΐδης & Κωνσταντινίδης, 2009). Συγκεκριμένα, το υδρόθειο προσδίδει στο νερό μία χαρακτηριστική οσμή σάπιου αυγού (Crittenden et al., 2023).

2.9 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Το αέριο άζωτο (N_2) περιέχεται στην ατμόσφαιρα σε ποσοστό 79%. Τα φυσικά νερά εμπλουτίζονται με ενώσεις αζώτου μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Τα άλατα του αζώτου απελευθερώνονται με τη μορφή αμμωνίας σε ανοξικές συνθήκες και με τη μορφή νιτρικών, όταν το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται σε αφθονία. Η αυξημένη περιεκτικότητα του νερού σε τέτοιες ενώσεις προκαλεί συνθήκες ευτροφισμού, δηλαδή η υπερβολική αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών συστατικών οδηγεί σε περιορισμό των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου, καθώς και ανάπτυξη σε άλγη, προσδίδοντας πράσινο χρώμα στα ύδατα.

Ως **ευτροφισμός** ορίζεται η μεγάλη ανάπτυξη της υδρόβιας βλάστησης, έτσι ώστε να ασκείται επιρροή στις φυσικοχημικές ιδιότητες των υδάτων. Οδηγεί πρωτίστως σε δυσοσμία και σε μείωση της διαφάνειας του νερού και οφείλεται στην παρουσία φωσφορικών και νιτρικών αλάτων (Sawidis et al., 1995). Συνιστά δείκτη για την υγειονομική ποιότητα του νερού, αφού μπορεί να αποτελεί μία πρώτη ένδειξη για πιθανή μόλυνση. Πιο συγκεκριμένα, η αμμωνία σε μεγάλες ποσότητες είναι τοξική για τα ψάρια και υποδηλώνει πρόσφατη μόλυνση υδάτων. Όσο περνάει ο καιρός κι αν υπάρχουν αερόβιες συνθήκες γίνεται οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρικά και νιτρώδη. Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν, επίσης, τροφή για τα φυτά, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις επιδρούν αρνητικά σε νεαρά ζώα, και στον άνθρωπο (Αυλωνίτης, 2013).

Ο φώσφορος (P) εμφανίζεται στο νερό με τη μορφή των φωσφορικών ιόντων. Όπως και το άζωτο αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο για την ανάπτυξη των φυκιών και η υψηλή περιεκτικότητά του μπορεί να προκαλέσει ευτροφισμό στα υδάτινα συστήματα, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα στα οικοσυστήματα (Νταρακάς, 2010). Χρησιμοποιείται εκτεταμένα ως συστατικό λιπασμάτων και απορρυπαντικών, αλλά περιέχεται και στα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Διαλύεται λόγω των βροχοπτώσεων από τις γεωργικές καλλιέργειες και μεταφέρεται σε υπόγεια και κυρίως επιφανειακά νερά, καθώς και στα λύματα (Αυλωνίτης, 2013). Συμπερασματικά, οι υδάτινες πηγές που δεν είναι μολυσμένες περιέχουν λιγότερα θρεπτικά συστατικά σε σχέση με τις μολυσμένες και επομένως λιγότερα βακτήρια (Pandit & Kumar, 2013).

2.10 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το νερό σε οποιαδήποτε μορφή περιέχει τεράστιο πλήθος ζώντων οργανισμών από μονοκύτταρους μέχρι σύνθετους, όπως είναι τα ψάρια. Η ποικιλία τους αποτελεί και ένδειξη της ποιότητας του ύδατος (Αυλωνίτης, 2013). Τέτοιοι οργανισμοί είναι και οι μικροοργανισμοί, δηλαδή εκείνοι που δεν φαίνονται με γυμνό οφθαλμό. Μερικές φορές είναι αβλαβείς, συχνά όμως ευθύνονται για τη μετάδοση πολλών υδατογενών ασθενειών, επηρεάζουν την οσμή και τη γεύση του πόσιμου νερού, συμβάλλουν στη διάβρωση των μετάλλων και προάγουν τον ευτροφισμό στα υδάτινα οικοσυστήματα (Μήτρακας, 2001). Υπολογίζεται ότι το 80% όλων των ασθενειών στις αναπτυσσόμενες χώρες προκαλείται από μη ασφαλές νερό και ανεπαρκείς εγκαταστάσεις υγιεινής (Pandit & Kumar, 2013). Συνήθως προέρχονται από τις αποθέσεις των ανθρώπινων, ζωικών, βιομηχανικών και νοσοκομειακών αποβλήτων, καθώς και από διαρροές αποχετεύσεων (Cheremisinoff, 1995). Αναμφισβήτητα, το μέγεθος, το σχήμα, η κινητικότητα και το επιφανειακό φορτίο τους παίζει σημαντικό ρόλο στην απομάκρυνσή τους από τις διαδικασίες επεξεργασίας νερού (Πίνακας 2-2). Όσο μικρότερα σε μέγεθος και περισσότερο κινητικά, τόσο δυσκολότερη γίνεται και η αφαίρεσή τους (Crittenden et al., 2023). Οι μικροοργανισμοί χωρίζονται σε πολλές κατηγορίες.

Αρχικά, τα βακτήρια (bacteria) είναι προκαρυωτικοί, μονοκύτταροι οργανισμοί, που μπορούν να συνθέτουν τις απαιτούμενες ουσίες από συστατικά του περιβάλλοντος και να αναπαράγονται χωρίς την ανάγκη φωτός. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 0,1-100 μm και η δομή τους είναι σχετικά απλή (Madigan et al., 1997). Αποτελούν τους βασικούς παράγοντες αποικοδόμησης της οργανικής ύλης. Δεν χρειάζονται ξενιστή για την αναπαραγωγή τους και συνήθως ο πολλαπλασιασμός τους γίνεται με απλή διαίρεση του κυττάρου κάθε 15-30 λεπτά σε ιδανικές συνθήκες περιβάλλοντος. Επιβιώνουν καλύτερα σε ουδέτερο pH, είναι όμως αρκετά ευαίσθητα στην επίδραση του χλωρίου. Χωρίζονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες, τα αερόβια, τα αναερόβια και τα επαμφοτερίζοντα. Τα πρώτα απαιτούν διαλυμένο οξυγόνο στο νερό για την επιβίωσή τους, τα δεύτερα επιβιώνουν χωρίς την ύπαρξη διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και τα τελευταία προσαρμόζονται και στις δύο συνθήκες (Αυλωνίτης, 2013). Τα βακτηριακά κύτταρα καλύπτονται από μία μεμβράνη, η οποία είναι πρωταρχικής σημασίας για την απολύμανση του ύδατος, καθώς αποτελεί στόχο πολλών απολυμαντικών παραγόντων (Pandit & Kumar, 2013). Οι συνηθέστερες επιδράσεις των παθογόνων βακτηρίων στον άνθρωπο είναι γαστρεντερικές. Υπάρχουν όμως και πιο σοβαρές επιπτώσεις, όπως αυτές της χολέρας και της φυματίωσης (Cheremisinoff, 1995). Τα τελευταία κρούσματα ασθενειών που σχετίζονται με το νερό έχουν συνδεθεί με το βακτήριο *Legionella*. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής υπήρχε έξαρση μέχρι και το 1994, ενώ στην Ευρώπη έχουν καταγραφεί περιστατικά σε 24 χώρες με το πιο

πρόσφατο στην Ισπανία το 1996. Έρευνες έχουν αποδείξει ότι το συγκεκριμένο βακτήριο επιζεί σε αποστειρωμένο νερό βρύσης, αλλά δεν παρατηρείται πολλαπλασιασμός του, σε αντίθεση με το μη αποστειρωμένο, στο οποίο και επιζεί και πολλαπλασιάζεται. Τα πολυάριθμα ξεσπάσματα έχουν συνδεθεί με συστήματα κλιματισμού σε ξενοδοχεία, νοσοκομεία και δημόσια κτίρια γενικότερα, καθώς και με ιαματικές πηγές και σάουνες (US EPA, 2001). Επιπρόσθετα, παρατηρούνται και βακτήρια, όπως το *Escherichia coli*, που υπάρχουν φυσιολογικά στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Ο ευκαιριακός τύπος του *Escherichia coli* είναι γενικά ακίνδυνος στο κανονικό του περιβάλλον, εκτός αν αποκτήσει πρόσβαση σε άλλους ιστούς ή όργανα. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να προκαλέσει λοιμώξεις του ουροποιητικού συστήματος, μηνιγγίτιδα και πνευμονικές λοιμώξεις. Το εντεροπαθογόνο αυτό βακτήριο είναι παθογόνο εντός του εντερικού σωλήνα, προκαλώντας οξεία γαστρεντερίτιδα (Pandit & Kumar, 2013). Κανονικά εξυπηρετεί μία χρήσιμη λειτουργία στον οργανισμό, καταστέλλοντας την ανάπτυξη επιβλαβών βακτηριακών ειδών και συνθέτοντας αξιόλογες ποσότητες βιταμινών. Υπάρχουν, όμως και στελέχη που προκαλούν ασθένειες στον άνθρωπο, τα οποία μεταδίδονται με το νερό και διαθέτουν μηχανισμούς προσκόλλησης στη βλέννα ή και το τοίχωμα των εντέρων των θερμόαιμων ζώων (Crittenden et al., 2023).

Ακολούθως, δεύτερη κατηγορία αποτελούν οι μύκητες (fungi), οι οποίοι είναι πολυκύτταροι οργανισμοί και περιλαμβάνουν τις ζύμες (yeasts) και τις μούχλες (molds). Οι ζύμες σε αναερόβιες συνθήκες μεταβολίζουν τα σάκχαρα προς αλκοόλη, ενώ σε αερόβιες πολλαπλασιάζονται. Αναπτύσσονται κυρίως σε όξινο περιβάλλον πλούσιο σε σάκχαρα, γι' αυτό και είναι πιο ανθεκτικοί σε όξινες και ξηρές συνθήκες σε σχέση με τα βακτήρια (Αυλωνίτης, 2013). Ωστόσο, οι μύκητες δεν έχουν απασχολήσει τόσο ως αιτίες υδατογενών ασθενειών.

Τρίτη κατηγορία αποτελούν οι ιοί. Αρχικά, οι τεχνολογίες για την επεξεργασία νερού είχαν επικεντρωθεί μόνο στα βακτήρια. Ωστόσο, μέχρι 1960 είχε αποδειχθεί ότι και οι ιοί είναι υπεύθυνοι για κάποιες σοβαρές ασθένειες. Είναι οι μικρότεροι ζώντες οργανισμοί που έχουν την ικανότητα αναπαραγωγής, γι' αυτό και παρατηρούνται συνήθως με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Crittenden et al., 2023). Αποτελούνται από DNA, RNA και πρωτεΐνες και μπορούν να αναπαραχθούν μόνο μέσα σε κάποιο άλλο κύτταρο, το οποίο λειτουργεί ως ξενιστής. Παρόλο που χρειάζονται ξενιστή για τον πολλαπλασιασμό τους, μπορούν να επιβιώσουν στο νερό και το περιβάλλον για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Neefe & Strokes, 1945). Ειδικότερα, ιοί που περιέχονται στα ύδατα μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες, όπως μηνιγγίτιδα και ηπατίτιδα. Ανευρίσκονται και στα λύματα, με αποτέλεσμα να μην είναι ασφαλής η διάθεσή τους στο περιβάλλον. Γενικά, λόγω του μικρού τους μεγέθους είναι δύσκολο να απομακρυνθούν από το νερό και δείχνουν ανθεκτικότητα στις συνήθεις μεθόδους απολύμανσης. Ωστόσο, η

χλωρίωση εξουδετερώνει τους ιούς, χωρίς βέβαια αυτό να διασφαλίζεται πάντα (Αυλωνίτης, 2013). Οι περισσότεροι ιοί, που ευθύνονται για ασθένειες στους ανθρώπους, εισέρχονται στο νερό από αποθέσεις αποβλήτων, όπως επιβεβαιώθηκε από πολλούς ερευνητές τη δεκαετία του 1940 (Kling et al, 1942, Melnick, 1947 και Trask and Paul, 1942). Κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ο ιός της Ηπατίτιδας Α, ο Αδενοϊός, ο Ροταϊός και κάποιοι εντερικοί, όπως οι 3 τύποι του ιού της πολιομυελίτιδας (Grabow, 1968 και Ashbolt, 2004).

Έπειτα, τα παράσιτα είναι οργανισμοί που αντλούν τα απαραίτητα για αυτά θρεπτικά συστατικά από άλλους οργανισμούς και δεν μπορούν να επιβιώσουν ανεξάρτητα (Crittenden et al., 2023). Αποτελούν μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από τα βακτήρια και περιλαμβάνουν τα πρωτόζωα και τα μετάζωα. Πολλά μετάζωα μπορούν να παρατηρηθούν και με γυμνό οφθαλμό. Τρέφονται με διαλυμένες οργανικές ουσίες ή με άλλους μικροοργανισμούς και παρουσιάζουν ποικιλομορφία στο μέγεθος. Πολλά πρωτόζωα είναι παράσιτα του ανθρώπου και η οδός μετάδοσής τους είναι μέσω του μολυσμένου νερού (Αυλωνίτης, 2013). Ένα από τα πιο διαδεδομένα πρωτόζωα είναι το *Cryptosporidium parvum*, που προκαλεί γαστρεντερικές διαταραχές, που μπορούν να διαρκέσουν μέχρι και 14 ημέρες (Harrison, 2001). Η ανθεκτικότητα αυτού του μικροοργανισμού στο χλώριο καθιστά δύσκολη την απομάκρυνσή του από το νερό. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα θέτει κίνδυνο για τη δημόσια υγεία είναι η χρήση UV ακτινοβολίας, η οποία καταστρέφει το DNA του (Rochelle et al., 2005). Πρόσφατα, στο Milwaukee σοβαρές καταγίδες προκάλεσαν μόλυνση της παροχής του νερού από αυτό το πρωτόζωο, με αποτέλεσμα πάνω από 400.000 περιστατικά με γαστρεντερικά προβλήματα και πάνω από 50 θανάτους (Fox & Lytle, 1996, MacKenzie et al., 1994). Από την άλλη, οι μολύνσεις από μετάζωα στις αναπτυγμένες χώρες δεν είναι πλέον συχνό φαινόμενο, κάτι που δεν ισχύει για τις χώρες με όχι τόσο προηγμένα συστήματα επεξεργασίας υδάτων (Crittenden et al., 2023).

Τέλος, τελευταία κατηγορία αποτελούν τα άλγη ή φύκια (algae), τα οποία είναι μικροσκοπικοί φωτοσυνθετικοί οργανισμοί χωρίς ρίζες, φύλλα και με περιορισμένη ικανότητα κίνησης. Το μέγεθός τους ποικίλει από απλούς μονοκύτταρους οργανισμούς, που προσδίδουν πράσινο χρώμα στο νερό έως ορατούς, που σχηματίζουν πράσινη γλίτσα. Είναι αυτότροφοι οργανισμοί και τρέφονται με διοξείδιο του άνθρακα, φώσφορο, αμμωνία, νιτρικά και άλλα ανόργανα συστατικά του νερού (Αυλωνίτης, 2013). Στα γλυκά νερά είναι δυσεύρετοι, ενώ στα θαλάσσια ύδατα παρατηρούνται ακόμα και σε μεγάλα μεγέθη. Η παρουσία τους επιδρά έντονα στην οσμή, τη γεύση και το χρώμα του νερού (Νταρακάς, 2010). Το Volvox αποτελεί ένα είδος φυκιών, που σχηματίζεται από εκατοντάδες κύτταρα και θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα μέλη του μικροβιολογικού κόσμου (Crittenden et al., 2023).

Πίνακας 2-2 Χαρακτηριστικά των υδρόβιων μικροοργανισμών (Crittenden et al., 2023)

Οργανισμός	Μέγεθος (μm)	Σχήμα	Κινητικότητα	Επιφανειακό φορτίο
Βακτήρια	0,1-10	Κοκκοειδές, σπειροειδές	Ευκίνητα, μη κινητικά	Αρνητικό
Μύκητες	1-100	Νηματώδες, κοκκοειδές	Μη κινητικά	Αρνητικό
Ιοί	0,01-0,1	Μεταβλητό, Ράβδος	Καμία	Αρνητικό
Πρωτόζωα	1-100	Μεταβλητό	Ευκίνητα, μη κινητικά	Αρνητικό
Έλμινθες (μετάζωα)	1-100.000	Μεταβλητό	Ευκίνητα	Αρνητικό
Άλγη	1-100	Κοκκοειδές νηματώδες	Περιορισμένως ευκίνητα, μη κινητικά	Αρνητικό

3 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Οι κανονισμοί που αφορούν την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης έχουν γίνει πιο αυστηροί, οι αναλυτικές μέθοδοι για την ανίχνευση ρύπων πιο ευαίσθητες και το ευρύ κοινό είναι καλύτερα ενημερωμένο (Crittenden et al., 2023). Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης θα πρέπει να τηρούν συγκεκριμένα αποδεκτά όρια, τα οποία έχουν καθοριστεί από το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την Οδηγία 2020/2184 και αποτελούν πρότυπα ποιότητας νερού. Οι διατάξεις, που αναφέρονται στο Φύλλο Εφημερίδας της Κυβέρνησης Τεύχος Β 3525/25.05.2023, εφαρμόζουν την παραπάνω Οδηγία και ορίζουν τα εξής:

A. Ορισμοί (ΦΕΚ Β/3525/25.05.2023/Άρθρο 2):

Νερό ανθρώπινης κατανάλωσης: Όπως αναλύθηκε παραπάνω.

Οικιακές χρήσεις: Οι χρήσεις, στις οποίες το νερό χρησιμοποιείται με άμεση ή έμμεση έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού.

Εσωτερικά (οικιακά) συστήματα διανομής: Οι σωληνώσεις, τα εξαρτήματα και οι συσκευές, που έχουν εγκατασταθεί μεταξύ των βρυσών και προμηθεύουν νερό ανθρώπινης κατανάλωσης σε δημόσιους και ιδιωτικούς χώρους, καθώς και στο δίκτυο διανομής, αλλά μόνο με την προϋπόθεση ότι δεν υπόκεινται στη ευθύνη του φορέα ύδρευσης.

Υπεύθυνος φορέας ύδρευσης: Ο οργανισμός που είναι υπεύθυνος για την παροχή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

Εγκαταστάσεις προτεραιότητας: Μεγάλες, εμπορικές ή δημόσιες εγκαταστάσεις, όπου πολλοί χρήστες ενδέχεται να εκτεθούν σε κινδύνους που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού. Οι εγκαταστάσεις αυτές αφορούν κυρίως τη δημόσια χρήση και περιλαμβάνουν τα νοσοκομεία, τις ιδιωτικές κλινικές, τις μονάδες φροντίδας ηλικιωμένων, τα σωφρονιστικά ιδρύματα οποιουδήποτε μεγέθους, τα τουριστικά συγκροτήματα δυναμικότητας άνω των 250 κλινών, καθώς και τις κατασκηνώσεις και τα κέντρα φιλοξενίας ομάδων πληθυσμού με χωρητικότητα επίσης άνω των 250 ατόμων.

Πηγή κινδύνου: Βιολογικός, χημικός, φυσικός ή ραδιολογικός παράγοντας που εντοπίζεται στο νερό ή σε οποιαδήποτε άλλη μορφή του και μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην ανθρώπινη υγεία.

Επικίνδυνο συμβάν: Συμβάν που αποτελεί αιτία εισαγωγής των πηγών κινδύνου στο σύστημα υδροδότησης ή αποτυγχάνει να αφαιρέσει από αυτό τους επικίνδυνους παράγοντες.

Κίνδυνος: Ο συνδυασμός της πιθανότητας εμφάνισης ενός επικίνδυνου συμβάντος και της σοβαρότητας των επιπτώσεών του σε περίπτωση παρουσίασης τους στο σύστημα παροχής πόσιμου νερού.

Αρχική ουσία: Μία ουσία που προστίθεται εσκεμμένα κατά την κατασκευή οργανικών υλικών ή ως πρόσμειξη σε τσιμεντοειδή προϊόντα.

Σύνθεση: Η χημική σύσταση ενός μετάλλου, επισμαλτωμένου, κεραμικού ή άλλου ανόργανου υλικού.

Λεκάνη απορροής του σημείου υδροληψίας: Η υδρολογική λεκάνη που σχετίζεται με ένα ειδικό σημείο άντλησης νερού.

B. Εξαιρέσεις (ΦΕΚ Β/3525/25.05.2023/Άρθρο 3):

Αυτή η Υπουργική Απόφαση δεν ισχύει για το φυσικό μεταλλικό νερό, όπως αυτό πιστοποιείται με την Οδηγία 2009/54/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 18^{ης} Ιουνίου 2009. Σύμφωνα με αυτή το φυσικό μεταλλικό νερό διαφοροποιείται από το πόσιμο και ορίζεται ως το μικροβιολογικά ασφαλές νερό, που προέρχεται από υπόγειες πηγές. Συγχρόνως, δεν αφορά νερό, που θεωρείται φάρμακο κατά την έννοια της κοινής υπουργικής απόφασης ΔΥΓ3α/ΓΠ3221 (ΦΕΚ Β/1049). Επίσης, αποκλείει εκείνο που λαμβάνεται για ιδιωτική χρήση από καθορισμένη, ατομική πηγή με μέση ημερήσια παροχή μικρότερη των 10 m³ ή που προμηθεύει λιγότερους από 50 χρήστες. Βέβαια, δεν πρέπει να παρέχεται για εμπορική ή δημόσια δραστηριότητα, ενώ παράλληλα οφείλει να πληροί τις ποιοτικές προδιαγραφές, που παρουσιάζονται στους πίνακες 3-1 με 3-7.

Γ. Γενικές υποχρεώσεις (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 4):

Οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης και οι αρμόδιες αρχές οφείλουν να λαμβάνουν και να τηρούν τα απαραίτητα μέτρα, ώστε το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση να είναι ασφαλές και καθαρό. Επεξηγηματικά, δεν πρέπει να περιέχει μικροοργανισμούς, παράσιτα, ούτε οποιαδήποτε ανεπιθύμητη ουσία, που ενδεχομένως μπορεί να απειλήσει την ανθρώπινη υγεία, καθώς επίσης πρέπει να εξυπηρετεί τις προδιαγραφές που αναφέρονται στους πίνακες 3-1 με 3-9. Η λήψη αυτών των μέτρων βασίζεται στην αρχή της προφύλαξης και δεν οδηγεί άμεσα ή έμμεσα σε υποβάθμιση της ποιότητας ή σε επιδείνωση της ρύπανσης του νερού. Οι υπεύθυνοι οργανισμοί ύδρευσης είναι αρμόδιοι για την εκτίμηση των επιπέδων διαρροής του νερού και για τις δυνατότητες βελτίωσης της μείωσης των διαρροών, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου εκτίμησης του δείκτη διαρροών υποδομών (ILI) ή κάποιας άλλης αρμόδιας τεχνικής, που ορίζεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Αυτή η διάταξη αφορά τους φορείς που προσφέρουν τουλάχιστον 10.000 m³ ημερησίως ή εξυπηρετούν το λιγότερο 50.000

ανθρώπους. Οι δύο αυτές αρμοδιότητες κοινοποιούνται από τους υπεύθυνους φορείς ύδρευσης στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και τη Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων Ενέργειας και Υδάτων (ΡΑΑΕΥ). Εάν το ποσοστό διαρροών υπερβαίνει τις καθορισμένες τιμές, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας σε διάστημα, που δεν ξεπερνά τα 2 έτη, προτείνει στην Επιτροπή σχέδιο δράσης για την άμβλυνση των διαρροών.

Δ. Ποιοτικές προδιαγραφές (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 5):

Οι παράμετροι, όπως περιγράφονται και στο παράρτημα Ι της παραπάνω Υπουργικής Απόφασης, αναφέρονται στους 3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 3-5, 3-6 και 3-7.

Πίνακας 3-1 Μικροβιολογικές παράμετροι για το νερό που πωλείται σε φιάλες ή δοχεία (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Α)

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Εντερόκοκκοι	0	Αριθμός/250 mL
Escherichia coli (E.coli)	0	Αριθμός/250 mL
Pseudomonas aeruginosa	0	Αριθμός/250 mL
Αριθμός αποικιών σε 22°C	100	Αριθμός/mL
Αριθμός αποικιών σε 36 °C	20	Αριθμός/mL

Για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης, που δεν πωλείται σε φιάλες ή δοχεία, αρκούν μόνο οι δύο πρώτες παράμετροι, ενώ η μονάδα τροποποιείται σε: Αριθμός/100 mL.

Οι τιμές της ανώτατης συγκέντρωσης για τους αριθμούς αποικιών πρέπει να μετρώνται εντός 12 ωρών μετά από τη διαδικασία συσκευασίας. Επιπλέον, το νερό θα πρέπει να παραμένει στη θερμοκρασία των 5 °C ή να μην υπερβαίνει τους 3 βαθμούς είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω καθ' όλη τη διάρκεια αυτών των 12 ωρών (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι/Μέρος Α/Σημείωση 1).

Πίνακας 3-2Χημικές παράμετροι (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Β)

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Ακρυλαμίδιο	0,10	μg/L
Αντιμόνιο	10	μg/L
Αρσενικό	10	μg/L
Βενζόλιο	1,0	μg/L
Βένζο[α]πυρένιο	0,010	μg/L
Βόριο	1,5	μg/L
Βρωμικά	10	μg/L
Κάδμιο	5,0	μg/L
Χλωρικά	0,25	μg/L
Χλωριώδη	0,25	μg/L
Χρόμιο	25	μg/L
Χαλκός	2,0	μg/L
Κυανιούχα	50	μg/L
1,2 Διχλωροαιθάνιο	3,0	μg/L
Επιχλωροδρίνη	0,10	μg/L
Φθοριούχα	1,5	μg/L
Αλογονοοξικά οξέα (HAA5)	60	μg/L
Μόλυβδος	5	μg/L
Υδράργυρος	1,0	μg/L
Μικροκυστίνη-LR	1,0	μg/L
Νικέλιο	20	μg/L
Νιτρικά	50	μg/L
Νιτρώδη	0,50	μg/L
Παρασιτοκτόνα	0,10	μg/L
Σύνολο παρασιτοκτόνων	0,50	μg/L
Σύνολο PFAS	0,50	μg/L
Άθροισμα των PFAS	0,10	μg/L
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	0,10	μg/L
Σελήνιο	20	μg/L
Τετραχλωροαιθέριο και τριχλωροαιθέριο	10	μg/L
Ολικά τριαλογονομεθάνια	100	μg/L
Ουράνιο	30	μg/L
Βινυλοχλωρίδιο	0,50	μg/L

Όταν η κύρια τροφοδότηση ενός συστήματος παροχής νερού προέρχεται από αφαλάτωση εφαρμόζεται παραμετρική τιμή 2,4 mg/L με απόφαση του Υπουργού Υγείας. Το ίδιο ισχύει και για περιοχές, όπου οι γεωλογικές συνθήκες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αυξημένα επίπεδα βορίου στα υπόγεια ύδατα.

Αναφορικά με τα χλωρικά και χλωριώδη, όταν για την απολύμανση χρησιμοποιείται μέθοδος που μπορεί να σχηματίζει κάποιο από τα δύο είδη αλάτων, κυρίως το διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2), τηρείται η παραμετρική τιμή 0,70 mg/L. Βέβαια, η χαμηλότερη τιμή επιδιώκεται χωρίς να επηρεάζεται η αποδοτικότητα της απολύμανσης. Οι παράμετροι αυτές μετρώνται μόνο, όταν το απαιτούν οι μέθοδοι απολύμανσης.

Αναφορικά με την παραμετρική τιμή 25 $\mu\text{g/L}$ του χρωμίου δίνεται περιθώριο επίτευξης της μέχρι τις 12 Ιανουαρίου 2036, ωστόσο μέχρι τότε πρέπει να λαμβάνονται όλα τα αναγκαία μέτρα, ώστε να πραγματοποιηθεί το συντομότερο δυνατό.

Η παράμετρος των αλογονοοξικών οξέων (HAA5) μετράται μόνο όταν χρησιμοποιούνται τεχνικές απολύμανσης, που μπορούν τα παράγουν αυτά τα οξέα. Τα HAA5 αποτελούν άθροισμα των 5 παρακάτω ουσιών, δηλαδή του μονοχλωρο-, διχλωρο- και τριχλωροοξικού οξέος και του μονο- και διβρωμοοξικού οξέος.

Συγκεκριμένα για την τιμή 5 $\mu\text{g/L}$ του μόλυβδου οφείλει να επιτευχθεί το αργότερο έως τις 12 Ιανουαρίου 2036. Μέχρι τότε η παραμετρική τιμή διαφοροποιείται σε 10 $\mu\text{g/L}$, ενώ μετά την αναφερόμενη ημερομηνία πρέπει να διατηρείται σταθερή τουλάχιστον στο σημείο εισόδου του εσωτερικού (οικιακού) συστήματος διανομής.

Παράλληλα, για την παράμετρο της μικροκυστίνης-LR αναφέρεται ότι παρακολουθείται στα στάσιμα ή τα επιφανειακά ύδατα με χαμηλή ροή, μόνο όταν υπάρχει πιθανότητα ανάπτυξης φυτοπλαγκτού στο νερό μιας πηγής υδροληψίας. Αυτό αναιρείται αν οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης διαθέτουν στοιχεία που μέχρι τώρα τεκμηριώνουν την απουσία πιθανότητας ανάπτυξης φυτοπλαγκτού.

Επιπλέον, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι $[\text{νιτρικά ιόντα}]/50 + [\text{νιτρώδη ιόντα}]/3 < 1$. Οι δύο αυτοί όροι, [νιτρικά ιόντα] και [νιτρώδη ιόντα], αναφέρονται στις συγκεντρώσεις των νιτρικών (NO_3^-) και των νιτρώδη αλάτων (NO_2^-) αντίστοιχα με μονάδα μέτρησης τα mg/l. Για νερό, που προέρχεται από μονάδες επεξεργασίας, η τιμή που πρέπει να εφαρμόζεται για τα νιτρικά είναι 0,10 mg/l.

Ακόλουθα, ως παρασιτοκτόνα θεωρούνται τα οργανικά εντομοκτόνα, δηλαδή τα οργανικά ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα, νηματοδοκτόνα και ακαρεοκτόνα, καθώς και τα οργανικά φυκοκτόνα, όπως τα οργανικά τρωκτικοκτόνα, γλινκοκτόνα, τα συναφή προϊόντα και σχετικοί

μεταβολίτες αυτών. Ένας μεταβολίτης παρασιτοκτόνου κατατάσσεται ως αξιοσημείωτος για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης, εάν υπάρχουν βάσιμες υποψίες ότι διαθέτει φυσικές ιδιότητες, που συγκρίνονται με αυτές της μητρικής ουσίας αναφορικά με τη στοχευόμενη παρασιτοκτόνο δράση του ή εάν αποτελεί απειλή για την υγεία των καταναλωτών. Εξαιρέση αποτελούν τα παρασιτοκτόνα aldrine (αδρίνη), dieldrine (διελδρίνη), heptachlor (επταχλώριο) και heptachlorperoxide (εποξειδίο του επταχλωρίου), για τα οποία εφαρμόζεται η τιμή 0,030 μg/l. Τα παρασιτοκτόνα που ελέγχονται είναι μόνο αυτά που παρουσιάζουν πιθανότητα να υπάρχουν σε μία συγκεκριμένη υδροδότηση. Ως σύνολο παρασιτοκτόνων εννοείται το άθροισμα όλων των επιμέρους παρασιτοκτόνων, που αναφέρθηκαν παραπάνω, τα οποία ανιχνεύονται και προσδιορίζονται ποσοτικά.

Επιπρόσθετα, στους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες η παραμετρική τιμή σχετίζεται με το άθροισμα των συγκεντρώσεων των ενώσεων: βενζο[b]φθορανθένιο, βενζο[k]φθορανθένιο, βενζο[ghi]περυλένιο και ινδενο[1,2,3-cd]πυρένιο.

Για τις περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες ενδέχεται να προκαλέσουν υψηλά επίπεδα σελήνιου στα υπόγεια ύδατα, εφαρμόζεται η παραμετρική τιμή 30 μg/l με απόφαση του Υπουργού Υγείας.

Τέλος, η παραμετρική τιμή των ολικών τριαλογονομεθανίων αναφέρεται στο άθροισμα των συγκεντρώσεων των ενώσεων: χλωροφόρμιο, βρωμοφόρμιο, διβρωμοχλωρομεθάνιο και βρωμοδιχλωρομεθάνιο, για τα οποία πρέπει να επιδιώκεται η χαμηλότερη τιμή χωρίς να επηρεάζεται η απολύμανση (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Β).

Πίνακας 3-3 Ενδεικτικοί παράμετροι (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Γ)

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Αργίλιο	200	μg/L
Αμμώνιο	0,50	mg/L
Χλωριούχα	250	mg/L
Clostridium perfringens (συμπεριλαμβανομένων και των σπόρων)	0	Αριθμός/100 mL
Χρώμα	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	-
Αγωγιμότητα	2500	μS/cm 20 °C
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	$6,5 \leq pH \leq 9,5$	Μονάδα pH
Σίδηρος	200	μg/L
Μαγγάνιο	50	mg/L
Οσμή	Αποδεκτή για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	-
Οξειδωσιμότητα	5,0	mg/LO ₂
Θειικά	250	μg/L
Νάτριο	200	mg/L
Γεύση	Αποδεκτή για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	-
Αριθμός αποικιών σε 22°C και 36°C	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	-
Κολοβακτηριοειδή	0	Αριθμός/100 mL
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	-
Υπολειμματικό χλώριο	-	mg/L
Θολότητα	Αποδεκτή για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	-

Το νερό γενικά πρέπει να αποφεύγεται να χαρακτηρίζεται ως διαβρωτικό. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για περιπτώσεις, που υφίσταται επεξεργασία (επεξεργασία με μεμβράνες, αντίστροφη όσμωση, αποσκλήρυνση. Σε αυτές τις συνθήκες επεξεργασίας, που το νερό έχει ως αποτέλεσμα να

απιονιστεί ή να αποσκληραθεί σημαντικά, μπορούν να προστεθούν άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, ώστε να ρυθμιστεί η επιθετικότητά του και η βελτίωση της γεύσης.

Η παράμετρος για το *Clostridium perfringens* χρειάζεται να μετριέται μόνο όταν επισημαίνεται στην εκτίμηση κινδύνου.

Όσον αφορά στη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου για το μη ανθρακούχο νερό, που αποθηκεύεται σε φιάλες ή δοχεία, η κατώτερη τιμή μπορεί να μειώνεται σε 4,5 μονάδες pH. Για το νερό που τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία και έχει φυσική περιεκτικότητα ή είναι τεχνητά εμπλουτισμένο με διοξείδιο του άνθρακα, η ελάχιστη τιμή μπορεί να είναι κατώτερη.

Η παράμετρος της οξειδωσιμότητας δεν χρειάζεται να αναλύεται, εφόσον μετριέται ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC), ενώ ο TOC δεν είναι απαραίτητο να μετριέται για παροχές μικρότερες των 10.000 m³ ανά ημέρα.

Τέλος, η μονάδα μέτρησης της παραμέτρου των κολοβακτηριοειδών για το νερό που τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία εκφράζεται ως Αριθμός/250 ml (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Γ).

Πίνακας 3-4 Παράμετροι εκτίμησης κινδύνου στα συστήματα οικιακής διανομής (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Δ)

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Legionella	<1000	CFU/L
Μόλυβδος	10	μg/L

Όταν διαπιστώνονται κρούσματα από το βακτήριο *Legionella* θα πρέπει να εντοπίζεται και να επιβεβαιώνεται η πηγή μόλυνσης, καθώς επίσης να ταυτοποιείται και το είδος του βακτηρίου (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Δ).

Για το νερό που διανέμεται σε νοσοκομεία, κλινικές, κέντρα υγείας και οίκους ευγηρίας ορίζονται πρόσθετες παράμετροι (Πίνακας 3-5), όπως και για το νερό που κυκλοφορεί στο εσωτερικό δίκτυο ύδρευσης σχολείων, τουριστικών εγκαταστάσεων, ξενοδοχειακών μονάδων, σωφρονιστικών ιδρυμάτων και στρατοπέδων (Πίνακας 3-6).

Πίνακας 3-5 Μικροβιολογικές παράμετροι για εγκαταστάσεις υγείας (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Ε)

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	cfu/100 mL
Legionella	1000	cfu/L

Πίνακας 3-6 Μικροβιολογικές παράμετροι για σχολεία, τουριστικές εγκαταστάσεις, ξενοδοχεία, σωφρονιστικά ιδρύματα και στρατόπεδα(ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Ε)

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Legionella	1000	cfu/ l

Πίνακας 3-7 Κατάλογος παρακολούθησης ανησυχητικών ουσιών και ενώσεων για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα Ι-Μέρος Στ)

Όνομασία	Καθοδηγητική τιμή (ng/L)	Όριο ποσοτικού προσδιορισμού (ng/L)	Πιθανή μέθοδος ανάλυσης
17β-οιστραδιόλη	1	≤ 1	–
Εννεύλοφαινόλη	300	≤ 300	EN ISO 18857-2

Ε. Σημεία τήρησης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 6):

Οι παραπάνω παράμετροι που παρουσιάζονται στους πίνακες πρέπει να τηρούνται για νερά ανθρώπινης κατανάλωσης, τα οποία παρέχονται από δίκτυο διανομής στο σημείο εντός του κτιρίου, όπου το νερό ρέει από τη βρύση, ή από βυτίο στο σημείο εξόδου του νερού. Αφορά, επιπλέον, τα νερά που πωλούνται σε φιάλες ή δοχεία στο σημείο που το νερό τοποθετείται στις φιάλες ή τα δοχεία και σε αυτά που χρησιμοποιούνται σε επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων. Επιπρόσθετα, αναγράφεται ότι είναι καθήκον των συναρμόδιων αρχών να εξασφαλίζουν ότι λαμβάνονται οι απαραίτητες ενέργειες, προκειμένου να μειωθεί ή και να εξαλειφθεί πλήρως ο κίνδυνος μη συμμόρφωσης με αυτές τις καθορισμένες τιμές. Επεξηγηματικά, μπορούν να παρέχουν οδηγίες στους ιδιοκτήτες και τους καταναλωτές σχετικά με κάθε ενδεχόμενη επανορθωτική ενέργεια ή κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας για να είναι βέβαιο ότι το νερό συμμορφώνεται με τις καθορισμένες τιμές πριν τη διάθεσή του.

ΣΤ. Προσέγγιση βάσει κινδύνου για την ασφάλεια του νερού (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 7):

Η προσέγγιση βάσει κινδύνου για την ασφάλεια του νερού περιλαμβάνει την εκτίμηση και τη διαχείριση του κινδύνου των λεκανών απορροής των σημείων υδροληψίας νερού ανθρώπινης κατανάλωσης και του κάθε συστήματος υδροδότησης. Οι πράξεις αυτές διενεργούνται για πρώτη φορά έως τις 12 Ιουλίου 2027 και τις 12 Ιανουαρίου 2029 αντίστοιχα και επανεξετάζονται ανά τακτά διαστήματα, που δεν υπερβαίνουν την εξαετία. Επιπλέον, πραγματοποιείται εκτίμηση κινδύνου για τα εσωτερικά (οικιακά) συστήματα διανομής έως τις

12 Ιανουαρίου 2029, η οποία επανεξετάζεται με συχνότητα έξι ετών. Βέβαια, ανεξάρτητα με τις παραπάνω προθεσμίες αν εκτιμηθούν κίνδυνοι, λαμβάνονται αμέσως μέτρα μετά την εντόπισή τους. Προσαρμογές είναι δυνατές σε περιπτώσεις περιορισμών λόγω γεωγραφικών συνθηκών, με απόφαση του Συντονιστή της οικείας Αποκεντρωμένης Διοίκησης ή του Περιφερειάρχη. Βασική προϋπόθεση για να επιτευχθούν αυτές οι προσαρμογές είναι ότι δεν εκθέτουν σε κίνδυνο την ποιότητα του νερού και κατ' επέκταση την υγεία των καταναλωτών.

Z. Εκτίμηση και διαχείριση κινδύνου λεκανών απορροής των σημείων υδροληψίας νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 8):

Οι αρμόδιοι φορείς ύδρευσης διενεργούν την εκτίμηση του κινδύνου, ενώ οι Διευθύνσεις Υδάτων των Αποκεντρωμένων Διοικήσεων μαζί με τους φορείς ύδρευσης είναι υπεύθυνοι για τη διαχείρισή του. Αρχικά, η εκτίμηση του κινδύνου περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

1. Ταυτοποίηση και χαρτογράφηση των λεκανών απορροής των σημείων υδροληψίας, απεικόνιση των ζωνών ασφάλειας εφόσον έχουν καθοριστεί, αναγνώριση των γεωγραφικών περιοχών όλων των σημείων λήψης νερού και περιγραφή των χρήσεων της γης, του τρόπου απορροής και των διαδικασιών που διασφαλίζουν την αναπλήρωση των υδάτινων πόρων.
2. Ταυτοποίηση των πηγών κινδύνου και των επικίνδυνων συμβάντων και εκτίμηση της υποβάθμισης της ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.
3. Κατάλληλη παρακολούθηση στο ακατέργαστο νερό και τα επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα στις γεωγραφικές περιοχές, όπου γίνεται η λήψη υδάτων, ώστε να ελέγχονται οι παράμετροι που αναφέρονται στους πίνακες 3-1 με 3-7, καθώς και ουσίες που βρίσκονται στη φύση και αποτελούν ενδεχόμενη απειλή για την ανθρώπινη δημόσια υγεία μέσω της πόσης νερού ή ενώσεις, που περιλαμβάνονται στον κατάλογο επιτήρησης, όπως καθορίζεται με Εκτελεστική Πράξη της Επιτροπής σύμφωνα με τις διατάξεις της Οδηγίας (ΕΕ) 2020/2184.

Στην περίπτωση που μία γεωγραφική περιοχή χρησιμοποιείται για λήψη υδάτων από πολλούς αρμόδιους φορείς, η εκτίμηση του κινδύνου διενεργείται μία φορά και υποβάλλεται συλλογικά από όλα τα εμπλεκόμενα μέλη. Αν οι φορείς διαφωνούν, ο Γενικός Γραμματέας της οικείας Αποκεντρωμένης Διοίκησης είναι υπεύθυνος για την λήψη της τελικής απόφασης. Επίσης, οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης υποχρεούνται να ενημερώνουν τις κατάλληλες υπηρεσίες για τις τυχούσες αλλαγές και τα ασυνήθιστα ποσοστά συγκεντρώσεων των παραμέτρων που επιτηρούν.

Με βάση τα αποτελέσματα της εκτίμησης του κινδύνου οι αρμόδιες Διευθύνσεις σε συνεργασία με τους υπεύθυνους φορείς ύδρευσης λαμβάνουν τα παρακάτω μέτρα με στόχο την πρόληψη και τη διαχείριση της απειλής:

1. Προσδιορισμός και εφαρμογή επιπλέον προληπτικών μέτρων από αυτά που έχουν ληφθεί ή προβλέπονται στα εκάστοτε Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών.

2. Προσδιορισμός και εφαρμογή επιπλέον μέτρων άμβλυνσης από αυτά που έχουν ληφθεί ή προβλέπονται να ληφθούν.
3. Διασφάλιση της σωστής παρακολούθησης των παραμέτρων και των ρύπων σε όλα τα απαιτούμενα σημεία, ώστε να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού που μπορεί να βλάψει τους καταναλωτές. Ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση η διαδικασία αυτή περιλαμβάνεται στα προγράμματα παρακολούθησης.
4. Αξιολόγηση της ανάγκης καθορισμού ή προσαρμογών των ζωνών ασφάλειας στις επιφανειακές και τις υπόγειες πηγές υδάτων.

Οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης μπορούν να απαιτήσουν επιπρόσθετη παρακολούθηση ή επεξεργασία κάποιων παραμέτρων, που θεωρούν κρίσιμες. Από την άλλη πλευρά, είναι πιθανό να τους επιτραπεί η αφαίρεση ή η ελάττωση της συχνότητας παρακολούθησης μία παραμέτρου, εφόσον δεν αποτελεί βασική παράμετρο και δεν μπορεί να συμμετάσχει στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Φυσικά, κατά τη διάρκεια της επανεξέτασης της εκτίμησης και της διαχείρισης του κινδύνου πρέπει να ελεγχθεί αν τηρείται κατάλληλη παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων.

H. Εκτίμηση και διαχείριση κινδύνου για το σύστημα υδροδότησης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 9):

Οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης έχουν τις ίδιες αρμοδιότητες, που ισχύουν και για τις λεκάνες απορροής των σημείων υδροληψίας. Όμως, η εκτίμηση κινδύνου εδώ περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

1. Εξετάζει και προσμετράει τα αποτελέσματα της εκτίμησης και της διαχείρισης κινδύνου στις λεκάνες απορροής των σημείων υδροληψίας.
2. Συμπεριλαμβάνει μία περιγραφή του συνολικού συστήματος υδροδότησης από την αφετηρία στο σημείο λήψης νερού μέχρι και το σημείο παροχής του στους καταναλωτές.
3. Εκτιμά τους πιθανούς κινδύνους και τις πηγές τους στο σύστημα υδροδότησης και καταγράφει όσους απορρέουν από την κλιματική αλλαγή ή τις διαρροές.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της εκτίμησης οι Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής εξασφαλίζουν ότι οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης ακολουθούν τα παρακάτω μέτρα διαχείρισης της εμμένουσας απειλής:

1. Εκτέλεση ελέγχων που στοχεύουν την πρόληψη και τον περιορισμό των κινδύνων που έχουν εντοπιστεί σε ένα σύστημα υδροδότησης και που μπορούν αλλοιώσουν την ποιότητα του νερού.
2. Προσδιορισμός και εφαρμογή επιπλέον μέτρων ελέγχου για τον μετριασμό των κινδύνων που προέρχονται από τις λεκάνες απορροής των σημείων υδροληψίας.

3. Υλοποίηση ενός προγράμματος, που εντάσσεται στην επιχειρησιακή παρακολούθηση και είναι προσαρμοσμένο και εξατομικευμένο για το εκάστοτε σύστημα υδροδότησης.
4. Εξασφάλιση ότι αν η απολύμανση αποτελεί μέρος της διαδικασίας της επεξεργασίας ή της διανομής του νερού, επιβεβαιώνεται η δραστηριότητά της και ότι οποιαδήποτε επιμόλυνση από παραπροϊόντα της διατηρείται στα πιο χαμηλά δυνατά επίπεδα χωρίς να επηρεάζεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Επίσης, διασφαλίζεται ότι η παραμικρή ρύπανση από χημικές ουσίες επεξεργασίας παραμένει αντίστοιχα στα πιο χαμηλά όρια.
5. Επαλήθευση ότι τα υλικά, οι χημικές ουσίες για την επεξεργασία και τα μέσα διήθησης που έρχονται σε επαφή με το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης στο σύστημα υδροδότησης συμμορφώνονται με τους απαραίτητους κανονισμούς.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα μπορεί να επιτραπεί η αφαίρεση ή η μείωση της συχνότητας παρακολούθησης μιας παραμέτρου, εκτός αν ανήκει στις βασικές παραμέτρους και εφόσον η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Υγιεινής της οικείας Π.Ε. πιστοποιήσει ότι δεν διακυβεύεται η ποιότητα του νερού. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί για παράδειγμα, όταν μία παράμετρος προκύπτει μόνο όταν χρησιμοποιείται μία συγκεκριμένη τεχνική επεξεργασίας ή μέθοδος απολύμανσης, η οποία δεν επιλέγεται από τον υπεύθυνο φορέα. Απεναντίας, μπορεί επίσης να επεκταθεί ο αριθμός παραμέτρων παρακολούθησης, αν η εκτίμηση κινδύνου των λεκανών απορροής των σημείων υδροληψίας εμφανίσει μία ασυνήθιστη παράμετρο στο ακατέργαστο νερό ή αν το απαιτούν οι προδιαγραφές.

Αν ο υπεύθυνος φορέας ύδρευσης παρέχει ημερησίως κατά μέσο όρο από 10 έως και 100 m³ ή εξυπηρετεί από 50 μέχρι 500 άτομα, μπορεί να εξαιρεθεί από τους παραπάνω κανονισμούς περί εκτίμησης και διαχείρισης του κινδύνου του συστήματος υδροδότησης, εφόσον η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Υγιεινής και ο Περιφερειάρχης θεωρήσουν ότι κάτι τέτοιο δεν μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ποιότητα του νερού.

Θ. Εκτίμηση και διαχείριση κινδύνου των εσωτερικών (οικιακών) συστημάτων διανομής (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 10):

Οι υπεύθυνοι λειτουργίας των εγκαταστάσεων προτεραιότητας εκτιμούν τον κίνδυνο της εγκατάστασής τους έως τις 12 Ιανουαρίου 2029 για πρώτη φορά. Η επανεξέταση συμβαίνει κάθε έξι χρόνια και η επικαιροποίηση όποτε κρίνεται απαραίτητο. Η εκτίμηση του κινδύνου περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

1. Γενική αξιολόγηση των πιθανών κινδύνων που σχετίζονται με τα εσωτερικά (οικιακά) συστήματα διανομής νερού και τα συναφή προϊόντα και υλικά, καθώς και της επίδρασής τους στην ποιότητα του νερού όταν αυτό εξέρχεται από τις βρύσες που προορίζονται κυρίως για ανθρώπινη κατανάλωση. Για τη διεξαγωγή αυτής της αξιολόγησης, μπορεί να

καταγραφεί η πορεία του νερού μέσα στο κτίριο, ο εντοπισμός πιθανών σημείων στασιμότητας, το δίκτυο ζεστού νερού και οι θερμοκρασίες του, το είδος των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των σωληνώσεων, τα εξαρτήματα και τις συσκευές που βρίσκονται μεταξύ των βρυσών, καθώς και η κατάσταση αυτών των υλικών. Ανάλογα με τα υλικά που έχουν επιλεγεί, πραγματοποιούνται χημικές αναλύσεις του νερού στην έξοδο (βρύση του καταναλωτή) και εξετάζονται οι ουσίες που μπορεί να σχετίζονται με αυτά τα υλικά και να μεταφέρονται στο νερό που ρέει μέσω των σωληνώσεων.

2. Παρακολούθηση των παραμέτρων που αναφέρονται στους πίνακες 3-1 με 3-7 στις εγκαταστάσεις, που θεωρήθηκαν κρίσιμες για την ανθρώπινη υγεία. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην περίπτωση της *Legionella*.

Αν εντοπιστεί κίνδυνος που αφορά την ανθρώπινη υγεία στα εσωτερικά συστήματα διανομής εξαιτίας των προϊόντων και υλικών ή αν οι παραμετρικές τιμές δεν πληρούν τις προδιαγραφές, οι υπεύθυνοι λειτουργίας των εγκαταστάσεων προτεραιότητας αναλαμβάνουν άμεσα δράσεις για να εξαλείψουν ή έστω να μειώσουν την απειλή. Για τη μείωση του κινδύνου αυτού ισχύουν τα παρακάτω:

1. Οι Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής των Περιφερειακών Ενοτήτων σε συνεργασία με τους υπεύθυνους φορείς ύδρευσης της με κάθε διαθέσιμο μέσο (φυλλάδια, ιστοσελίδα, λογαριασμοί ύδρευσης κ.λπ):
 - Παροτρύνουν τους ιδιοκτήτες δημοσίων και ιδιωτικών εγκαταστάσεων να προβούν στις κατάλληλες ενέργειες, ώστε να βρεθεί αν υπάρχει κάποιος κίνδυνος στο εσωτερικό του συστήματος διανομής.
 - Ενημερώνουν τους καταναλωτές και τους ιδιοκτήτες δημοσίων και ιδιωτικών εγκαταστάσεων σχετικά με τα απαραίτητα μέτρα που μπορούν να λάβουν για την εξάλειψη ή τη μείωση των αυξημένων ποιοτικών προδιαγραφών του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, που σχετίζονται με το εσωτερικό σύστημα διανομής.
 - Συμβουλεύουν τους καταναλωτές σχετικά με τις συνθήκες κατανάλωσης και χρήσης του νερού και σχετικά με ενέργειες αποφυγής επανεμφάνισης των εν λόγω κινδύνων.
2. Οι υπεύθυνοι λειτουργίας των εγκαταστάσεων προτεραιότητας:
 - Σχετικά με τη *Legionella* διασφαλίζουν την τήρηση αποτελεσματικών μέτρων ελέγχου και διαχείρισης του κινδύνου με σκοπό την πρόληψη και την αντιμετώπιση τυχόντων εκδηλώσεων της νόσου.
 - Σχετικά με τον μόλυβδο εφαρμόζουν πλάνο για την αντικατάσταση εξαρτημάτων που έχουν κατασκευαστεί από αυτό το υλικό στα εσωτερικά συστήματα διανομής, εφόσον είναι βιώσιμο από οικονομική και τεχνική άποψη.

Η αξιολόγηση του κινδύνου των εσωτερικών συστημάτων διανομής νερού στις εγκαταστάσεις προτεραιότητας είναι υποχρεωτική για την έκδοση ή την τροποποίηση της άδειας λειτουργίας. Πρέπει να υποβληθεί στον αρμόδιο φορέα αδειοδότησης και να κοινοποιηθεί συγχρόνως στην Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Υγιεινής της αντίστοιχης Περιφερειακής Ενότητας.

I. Ελάχιστες υγειονομικές προδιαγραφές για τα υλικά, που έρχονται σε επαφή με το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 11):

Οι εκάστοτε φορείς ύδρευσης είναι υπεύθυνοι για τη διασφάλιση των υλικών. Τα υλικά αυτά, όταν προορίζονται για νέες εγκαταστάσεις ή για έργα επισκευής ή ανακατασκευής σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις για την άντληση, την επεξεργασία, την αποθήκευση ή τη διανομή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης και που έρχονται σε επαφή με το εν λόγω νερό, οφείλουν να:

1. Μη θέτουν σε κίνδυνο άμεσα ή έμμεσα την ανθρώπινη υγεία.
2. Μην επηρεάζουν αρνητικά το χρώμα, την οσμή ή τη γεύση του νερού.
3. Μην ενισχύουν την ανάπτυξη μικροβίων.
4. Μην επιμολύνουν το νερό σε επίπεδα υψηλότερα από τα αναγκαία.

Τα υλικά αυτά πρέπει να προέρχονται από πρωτογενείς ουσίες, συνθέσεις ή συστατικά για κάθε κατηγορία, όπως οργανικά, τσιμεντοειδή, μεταλλικά, επισμαλτωμένα και κεραμικά ή άλλα ανόργανα υλικά, που θεωρούνται επιτρεπτά για τη δημιουργία προϊόντων ή αντικειμένων για να αλληλεπιδρούν με το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης. Οι ουσίες αυτές απαριθμούνται σε καταλόγους σύμφωνα με την ευρωπαϊκή Οδηγία (ΕΕ) 2020/2184. Οι υπεύθυνοι φορείς πρέπει να λαμβάνουν όλα τα απαραίτητα μέτρα για να διασφαλίσουν ότι οι ουσίες και τα υλικά στις νέες εγκαταστάσεις δεν παραμένουν σε υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό και δεν υποβαθμίζουν με κανέναν τρόπο την ανθρώπινη υγεία.

ΙΑ. Ελάχιστες προδιαγραφές για τις χημικές ουσίες επεξεργασίας και τα μέσα διήθησης που έρχονται σε επαφή με νερό ανθρώπινης κατανάλωσης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 12):

Οι φορείς που έχουν οριστεί υπεύθυνοι για την ύδρευση φροντίζουν οι χημικές ουσίες επεξεργασίας και τα μέσα διήθησης να έχουν ίδια χαρακτηριστικά, που αναφέρθηκαν στις απαιτήσεις των υλικών παραπάνω. Επίσης, εφαρμόζουν όλα τα αναγκαία μέτρα, ώστε να εξασφαλίσουν ότι κάθε ουσία που χρησιμοποιείται δεν παραμένει στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης σε μεγάλες συγκεντρώσεις και δεν υποβαθμίζει άμεσα ή έμμεσα την ανθρώπινη υγεία. Τα προϊόντα αυτά θα πρέπει να διαθέτουν κάποια πιστοποίηση ή άλλο σχετικό έγγραφο, όπως λίστα εγκεκριμένων προϊόντων, που να αποδεικνύει, ότι οι χημικές ουσίες επεξεργασίας και τα μέσα διήθησης είναι κατάλληλα για χρήση στην επεξεργασία πόσιμου νερού και ακολουθούν τα σχετικά ευρωπαϊκά πρότυπα. Για να μπορούν να κυκλοφορήσουν στους καταναλωτές, απαιτείται να φέρουν ευανάγνωστη και ανεξίτηλη σήμανση, που να ενημερώνει

τους χρήστες, τους υπεύθυνους φορείς ύδρευσης και τους εγκαταστάτες ότι το προϊόν είναι ασφαλές για χρήση και μπορεί να έρθει σε επαφή με νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.

ΙΒ. Παρακολούθηση (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 13):

Οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης σε συνεργασία με τις αρμόδιες αρχές οφείλουν να παρακολουθούν ανά τακτικά χρονικά διαστήματα την ποιότητα του νερού. Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται αντιπροσωπευτικά δείγματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ομοίως, απαιτείται να εξασφαλίζουν την αποτελεσματική απολύμανση σύμφωνα με τις διατάξεις της Υ.Μ. 5673/ 4.12.57 (Β'5), όταν αποτελεί τμήμα της διαδικασίας επεξεργασίας ή διανομής του νερού, όπως επίσης και τη χαμηλή συγκέντρωση των παραπροϊόντων απολύμανσης, χωρίς να διακυβεύεται η ίδια η διαδικασία. Για την τήρηση των παραπάνω υποχρεώσεων οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης συνεργάζονται με τις Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής των Περιφερειακών Ενοτήτων και φτιάχνουν κατάλληλα προγράμματα παρακολούθησης του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, τα οποία είναι εξειδικευμένα για κάθε συγκεκριμένο σύστημα υδροδότησης, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των προηγούμενων ενοτήτων και τα οποία αποτελούνται από τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Παρακολούθηση των παραμέτρων στους πίνακες 3-1 με 3-9.
2. Παρακολούθηση των ουσιών και των ενώσεων του καταλόγου επιτήρησης, όπως ορίζεται σε εκτελεστική πράξη της Επιτροπής σύμφωνα με τις διατάξεις της Οδηγίας (ΕΕ) 2020/2184.
3. Παρακολούθηση με σκοπό τον εντοπισμό των πηγών κινδύνων και των επικίνδυνων συμβάντων.
4. Επιχειρησιακή παρακολούθηση, που παρέχει άμεσες πληροφορίες αναφορικά με τα εμπόδια και τις δυσλειτουργίες στις επιδόσεις των προγραμμάτων, επιτρέποντας παράλληλα γρήγορες επανορθωτικές δράσεις. Τα επιχειρησιακά αυτά προγράμματα είναι εξατομικευμένα για τα διαφορετικά συστήματα υδροδότησης, αφού έχουν δημιουργηθεί μετά τα αποτελέσματα του εντοπισμού πηγών κινδύνου και επικίνδυνων συμβάντων (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Α).

Τα προγράμματα αυτά αξιολογούν την αποτελεσματικότητα των μέτρων, που εφαρμόζονται σε ολόκληρη την αλυσίδα υδροδότησης, διασφαλίζοντας ότι το πόσιμο νερό στο σημείο ελέγχου είναι ασφαλές, υγιεινό και καθαρό. Επιπλέον, παρέχουν δεδομένα σχετικά με την ποιότητα του νερού, οι οποίες επαληθεύουν ότι τηρούνται οι απαιτήσεις και οι καθορισμένες παραμετρικές τιμές. Συγχρόνως, καθορίζουν τα πιο κατάλληλα μέσα για τη μείωση των απειλών για την υγεία των ατόμων. Περιλαμβάνουν τη συλλογή και την ανάλυση δειγμάτων νερού ή/και μετρήσεις που καταγράφονται μέσω μιας μεθόδου συνεχούς παρακολούθησης. Επιπρόσθετα, παρέχουν τη

δυνατότητα επιθεώρησης της λειτουργικότητας των αρχείων και του επίπεδου συντήρησης του εξοπλισμού ή των θέσεων υδροληψίας, καθώς και των υποδομών επεξεργασίας, αποθήκευσης και διανομής νερού. Συγκεκριμένα, το επιχειρησιακό πρόγραμμα παρακολούθησης περιλαμβάνει τη μέτρηση της θολότητας κατά τη διάρκεια των διεργασιών της επεξεργασίας του νερού, προκειμένου να αξιολογείται η δραστηριότητα της φυσικής αποβολής σωματιδίων μέσω διεργασιών διήθησης σύμφωνα με τις καθορισμένες τιμές αναφοράς που δίνονται στον **Πίνακα 3-8**. Επίσης, περιλαμβάνει την παρακολούθηση των παραμέτρων του **Πίνακα 3-9** (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Α).

Πίνακας 3-8 Παρακολούθηση θολότητας στο επιχειρησιακό πρόγραμμα (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Α)

Παράμετρος	Τιμή αναφοράς
Θολότητα στη μονάδα υδροδότησης	0,3 NTU σε 95% των δειγμάτων, ενώ κανένα δεν πρέπει να ξεπερνάει την τιμή 1 NTU
Ημερήσιος όγκος (m³) νερού εντός της ζώνης υδροδότησης	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυσης
≤ 1000	Ανά 1 εβδομάδα
1000 < V < 10000	Ημερησίως
> 10000	Με σύστημα συνεχούς καταγραφής

Πίνακας 3-9 Παρακολούθηση παραμέτρων στο ακατέργαστο νερό στο επιχειρησιακό πρόγραμμα (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Α)

Παράμετρος	Τιμή αναφοράς	Μονάδα
Σωματικοί κολιφάγοι	50	PFU/ 100 mL (PFU= Μονάδες σχηματισμού πλακών)

Η παράμετρος του πίνακα 3-9 συμπεριλαμβάνεται στις μετρήσεις, μόνο αν αυτό τονίζεται στην εκτίμηση κινδύνου. Εάν αυτή εντοπιστεί σε ακατέργαστο νερό σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 50 PFU/ 100 mL, θα πρέπει να αναλύονται λεπτομερώς τα ενδιάμεσα στάδια επεξεργασίας, ώστε να αποσαφηνιστεί ο βαθμός (log) αφαίρεσης των παθογόνων ιών από τους μολυσμένους μηχανισμούς και να διαπιστωθεί εάν ο κίνδυνος διαφυγής τους είναι επαρκώς ελεγχόμενος (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Α).

Οι παράμετροι χωρίζονται σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα παρακολουθείται με βάση τις συχνότητες, που ορίζονται στον πίνακα 3-10 και συντελείται από τις παραμέτρους *Escherichia coli*, εντερόκοκκοι, κολοβακτηριοειδή, αριθμός αποικιών σε 22°C, χρώμα, θολότητα, γεύση,

οσμή, pH και αγωγιμότητα. Υπό ειδικές περιστάσεις προστίθενται στην ομάδα Α το αμμώνιο και τα νιτρώδη, στην περίπτωση που γίνεται χρήση χλωραμίνωσης και το αργίλιο και ο σίδηρος, αν τα δύο αυτά στοιχεία παίρνουν τον ρόλο χημικών ουσιών στην επεξεργασία του νερού. Η E.coli και οι εντερόκοκκοι κατατάσσονται στις κρίσιμες παραμέτρους και γι' αυτόν τον λόγο παρακολουθούνται συστηματικά χωρίς να υφίστανται μείωση της συχνότητάς τους αναλόγως με την εκτίμηση κινδύνου. Πάντοτε, όμως, παρακολουθούνται με βάση τις συχνότητες του πίνακα 3-10. Η δεύτερη ομάδα συνιστάται από όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους, οι οποίες παρακολουθούνται με βάση τις συχνότητες του πίνακα 3-10 (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Β)

Πίνακας 3-10 Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας και αναλύσεων (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Β)

Ημερήσιος όγκος νερού που διανέμεται ή παράγεται εντός της ζώνης υδροδότησης (m ³)		Αριθμός δειγμάτων ομάδας Α ανά έτος	Αριθμός δειγμάτων ομάδας Β ανά έτος
	<10	1	1
≥10	≤100	2	1
>100	≤1000	4	1
>1000	≤10.000	4 για τα πρώτα 1000m ³ /ημέρα +3 για κάθε επιπλέον κλάσμα του συνολικού όγκου ίσο με 1000 m ³ /ημέρα ή μικρότερο	1 για τα πρώτα 1000 m ³ /ημέρα +1 για κάθε επιπλέον κλάσμα του συνολικού όγκου ίσο με 4500 m ³ /ημέρα ή μικρότερο
>10.000	≤100.000		3 για τα πρώτα 10.000 m ³ /ημέρα +1 για κάθε επιπλέον κλάσμα του συνολικού όγκου ίσο με 10000 m ³ /ημέρα ή μικρότερο
>100.000			12 για τα πρώτα 100.000 m ³ /ημέρα +1 για κάθε επιπλέον κλάσμα του συνολικού όγκου ίσο με 25.000 m ³ /ημέρα ή μικρότερο

Ως ζώνη υδροδότησης ορίζεται μία γεωγραφικά καθορισμένη περιοχή, στην οποία εισέρχεται νερό ανθρώπινης κατανάλωσης από μία ή περισσότερες πηγές και στην οποία η ποιότητα του νερού εκτιμάται ως σχεδόν ομοιόμορφη (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Β).

Με βάση το αποτέλεσμα της εκτίμησης κινδύνου του συστήματος υδροδότησης ο κατάλογος των παραμέτρων που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση επεκτείνεται και οι περίοδοι δειγματοληψίας μπορούν να αυξηθούν ή να μειωθούν (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Γ).

Τα σημεία δειγματοληψίας καθορίζονται από τους υπεύθυνους φορείς ύδρευσης σε συνεργασία με τις Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής των Π.Ε. Επίσης, η δειγματοληψία στο σημείο τήρησης πρέπει να πραγματοποιείται για τη διαπίστωση της συμμόρφωσης ως προς ορισμένες χημικές παραμέτρους και ειδικότερα τον χαλκό, τον μόλυβδο και το νικέλιο. Ένα τυχαίο ημερήσιο δείγμα ενός λίτρου λαμβάνεται από τη βρύση των καταναλωτών χωρίς προηγούμενη έκπλυση. Δεν αποκλείεται, όμως, η χρήση εναλλακτικής μεθόδου εφόσον έχει εγκριθεί με Απόφαση του Υπουργού Υγείας.

Οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιούνται την παρακολούθηση των περισσότερων παραμέτρων εκτός της θολότητας επικυρώνονται σύμφωνα με το πρότυπο ENISO/IEC 17025 ή άλλα ισοδύναμα διεθνώς αποδεκτά πρότυπα. Γι' αυτό τον λόγο τα εργαστήρια του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα πρέπει να έχουν λάβει διαπίστωση αυτού του προτύπου ή άλλου ισοδύναμου από το ΕΣΥΔ ή άλλο φορέα που συμμετέχει στη Συμφωνία Αμοιβαίας Αναγνώρισης της Ευρωπαϊκής Διαπίστευσης για τις δοκιμές (EA-MLA testing). Αρχικά, οι μέθοδοι ανάλυσης που καθορίζονται για τις μικροβιολογικές παραμέτρους είναι οι εξής (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙΙ-Μέρος Α):

1. *Escherichia coli* και κολοβακτηριοειδή (ENISO 9308-1 ή ENISO 9308-2).
2. Εντερόκοκκοι (ENISO 7899-2).
3. Αριθμός αποικιών ή αριθμός ετεροτροφικών πλακών στους 22°C και στους 36°C (ENISO 6222).
4. *Clostridium perfringens* περιλαμβανομένων των σπόρων (EN ISO 14189).
5. *Legionella* (EN ISO 11731) για συμμόρφωση με την τιμή στους Πίνακες 3-4, 3-5 και 3-6. Για λόγους επαλήθευσης μπορούν να χρησιμοποιούνται και άλλες μέθοδοι προσθήκης όπως η ISO/TS 12869, μέθοδοι ταχείας καλλιέργειας, μέθοδοι μη βασιζόμενες σε καλλιέργεια, και μοριακές μέθοδοι, με ιδιαίτερη έμφαση στην qPCR.
6. *Pseudomonas aeruginosa* (ENISO 16266).
7. Σωματικοί κολιφάγοι, χρησιμοποιούνται οι EN ISO 10705-2 και EN ISO 10705-3 με στόχο την επιχειρησιακή παρακολούθηση .

Αντί αυτών των μεθόδων ανάλυσης μπορούν να επιλέγονται διαφορετικές μέθοδοι, εφόσον μπορεί να αποδειχθεί ότι τα λαμβανόμενα αποτελέσματα δίνουν εξίσου αξιόπιστα

αποτελέσματα. Σε αυτή την περίπτωση το Υπουργείο Υγείας πρέπει να προβεί στη διαβίβαση όλων των σχετικών στοιχείων που αφορούν αυτή τη μέθοδο και την ισοδυναμία της.

Αναφορικά με τις χημικές και ενδεικτικές παραμέτρους η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιείται θα πρέπει να μπορεί να μετρήσει τιμές τουλάχιστον ίσες με τις συγκεντρώσεις που παρέχονται, με όριο ποσοτικού προσδιορισμού έως 30% ή λιγότερο της αντίστοιχης παραμετρικής τιμής και με αποδεκτή αβεβαιότητα μέτρησης, όπως προσδιορίζεται στον Πίνακα 3-11. Το αποτέλεσμα θα εκφράζεται με χρήση τουλάχιστον τόσων σημαντικών ψηφίων όσα έχει η παραμετρική τιμή στους Πίνακες 3-2 και 3-3. Η αβεβαιότητα μέτρησης δεν θεωρείται πρόσθετη ανοχή στις καθορισμένες παραμετρικές τιμές, δεν παίρνει αρνητικές τιμές και περιγράφει τη διασπορά των ποσοτικών τιμών, που αποδίδονται στο μετρούμενο μέγεθος με βάση τα χρησιμοποιούμενα στοιχεία (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙΙ-Μέρος Β). Για αυτές τις παραμέτρους είναι πιθανό να επιλεγθεί οποιαδήποτε μέθοδος ανάλυσης, με τον όρο ότι τηρούνται οι προκαθορισμένες απαιτήσεις.

Πίνακας 3-11 Ελάχιστα χαρακτηριστικά επιδόσεων Αβεβαιότητα μέτρησης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙΙ-Μέρος Β)

Παράμετρος	Αβεβαιότητα μέτρησης % της παραμετρικής τιμής (εκτός από pH)	
Αργίλιο	25	
Αμμώνιο	40	
Ακρυλαμίδιο	30	
Αντιμόνιο	40	
Αρσενικό	30	
Βενζόλιο	40	
Βένζο[α]πυρένιο	50	Αν η τιμή αυτή δεν μπορεί να επιτευχθεί, επιλέγεται η καλύτερη διαθέσιμη τεχνική (έως 60%)
Δισφαινόλη Α	50	
Βόριο	25	
Βρωμικά	40	
Κάδμιο	25	
Χλωριούχα	15	
Χλωρικά	40	
Χλωριώδη	40	
Χρώμιο	30	
Χαλκός	25	
Κυανιούχα	30	Η μέθοδος αναγνωρίζει όλα τα κυανιούχα
1,2 Διχλωροαιθάνιο	40	
Επιχλωροδρίνη	30	
Φθοριούχα	20	
Αλογονοοξικά οξέα (HAA5)	50	
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου pH	0,2	Η αβεβαιότητα της μέτρησης μετριέται σε μονάδες pH
Σίδηρος	30	
Μόλυβδος	30	
Μαγγάνιο	30	
Υδράργυρος	30	
Μικροκυστίνη-LR	30	
Νικέλιο	25	

Παράμετρος	Αβεβαιότητα μέτρησης % της παραμετρικής τιμής (εκτός από pH)	
Νιτρικά	15	
Νιτρώδη	20	
Οξειδωσιμότητα	50	Μέθοδος αναφοράς: EN ISO 8467
Παρασιτοκτόνα	30	Αβεβαιότητες μέτρησης έως 30% μπορούν να επιτευχθούν για τα περισσότερα παρασιτοκτόνα, ενώ για ορισμένα επιτρέπονται τιμές μέχρι και 80%.
PFAS	50	
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	40	
Σελήνιο	40	
Νάτριο	15	
Θεικά	15	
Τετραχλωροαιθέριο και τριχλωροαιθέριο	40	
Ολικά τριαλογονομεθάνια	40	
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	30	
Θολότητα	30	Η αβεβαιότητα μέτρησης θα πρέπει να προσεγγίζει την τιμή 1,0 NTU (νεφελομετρική μονάδα θολότητας), σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 7027 ή άλλη ισοδύναμη πρότυπη μέθοδο
Ουράνιο	30	
Βινυλογλωρίδιο	50	

Οι Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής των Περιφερειακών Ενοτήτων συνεργάζονται με τους υπεύθυνους φορείς ύδρευσης για να διασφαλίσουν την κατάλληλη συμπληρωματική παρακολούθηση για τις ουσίες και τους μικροοργανισμούς για τους οποίους δεν έχουν καθοριστεί συγκεκριμένες παραμετρικές τιμές. Ιδιαίτερα αυτό συμβαίνει, όταν υπάρχουν έκτακτοι λόγοι που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης η εξέταση ποιότητας του πόσιμου νερού διερευνά ενδεικτικά και όχι

αποκλειστικά, εκτός από τις παραμέτρους στους Πίνακες 3-1 με 3-9, τους παθογόνους μικροοργανισμούς Σαλμονέλλες, Σιγκέλλες, Βακτηριοφάγους των κοπράνων, Ιούς που μεταδίδονται μέσω εντεροστοματικής οδού και το Καμυλοβακτηρίδιο, καθώς και παρασιτικούς οργανισμούς, φύκη και άλλα μορφοποιημένα στοιχεία (ζωάρια). Τέλος, μπορεί να εξεταστεί η παράμετρος του εξασθενούς χρωμίου με σκοπό την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση της συγκέντρωσής της (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Παράρτημα ΙΙ-Μέρος Ε).

Οι Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής και Υγειονομικού Ελέγχου των Π.Ε. παρακολουθούν συστηματικά την κατάσταση των συστημάτων ύδρευσης στην περιοχή αρμοδιότητάς τους και διενεργούν υγειονομικούς ελέγχους σύμφωνα με τον **Πίνακα 3-12**

Πίνακας 3-12 Υγειονομικοί έλεγχοι(ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 13)

Ημερήσιος όγκος νερού (V) που διανέμεται ή παράγεται εντός της ζώνης υδροδότησης (m ³)	Αριθμός Υγειονομικών ελέγχων
≤ 100	Αφήνεται στην κρίση της υπηρεσίας, αλλά γίνεται τουλάχιστον 1 φορά ανά 3 έτη
100 < V ≤ 1000	1 / έτος
1000 < V ≤ 10.000	2 / έτος
10.000 < V ≤ 100.000	3 / έτος
> 100.000	4 / έτος

Ο υγειονομικός έλεγχος περιλαμβάνει την ταυτοποίηση όλων των τμημάτων των συστημάτων ύδρευσης και του τρόπου λειτουργίας τους, τη δειγματοληψία νερού για τη διεξαγωγή εξετάσεων όλων των παραμέτρων που έχουν αναφερθεί, καθώς και τον έλεγχο του χλωρίου που παραμένει μετά τη διαδικασία της απολύμανσης. Οι δειγματοληψίες προς μικροβιολογική ανάλυση πραγματοποιούνται με διπλάσια συχνότητα από εκείνη των υγειονομικών ελέγχων. Τα αποτελέσματα χρειάζεται να μεταβιβάζονται γρήγορα στο Υπουργείο Υγείας.

Πίνακας 3-13 Συχνότητα παρακολούθησης ουσιών-ενώσεων καταλόγου επιτήρησης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 13)

Ημερήσιος όγκος νερού (V) που διανέμεται ή παράγεται εντός της ζώνης υδροδότησης (m ³)	Συχνότητα παρακολούθησης
$1 < V \leq 1000$	1 φορά / 3 έτη
$1000 < V \leq 20.000$	1 φορά / 2 έτη
$20.000 < V \leq 120.000$	1 φορά / έτος
> 120.000	2 φορές / έτος

Αν κατά τη διάρκεια των ελέγχων μία ουσία ή ένωση που εντάσσεται στον κατάλογο επιτήρησης δεν ανιχνευθεί, δεν ακολουθείται η συχνότητα παρακολούθησης του Πίνακα 3-13, αλλά διαφοροποιείται ως 1 φορά ανά 6 έτη, 1 φορά ανά 4 έτη, 1 φορά ανά 2 έτη και 1 φορά ανά έτος αντίστοιχα.

ΙΓ. Επανορθωτικές ενέργειες και περιορισμοί χρήσεως (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 14):

Οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης σε συνεργασία με την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Υγιεινής της οικείας Π.Ε. μεριμνούν ώστε να διερευνάται αμέσως κάθε παράλειψη της τήρησης των καθορισμένων παραμετρικών τιμών και να εντοπίζονται τα αίτια. Εάν, παρά τα μέτρα που λαμβάνονται για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης εξακολουθεί να μην πληροί τις καθορισμένες παραμετρικές τιμές, εξασφαλίζουν το ταχύτερο δυνατόν τις απαιτούμενες επανορθωτικές ενέργειες για την αποκατάσταση της ποιότητάς του.

Ανεξάρτητα από την απουσία συμμόρφωσης με τις παραμετρικές τιμές, η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Υγιεινής της αντίστοιχης Περιφερειακής Ενότητας σε συνεργασία με τους αρμόδιους φορείς ύδρευσης διασφαλίζουν ότι απαγορεύεται η παροχή νερού που ενδέχεται να αποτελέσει κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή, περιορίζεται η χρήση του ή πραγματοποιούνται επανορθωτικές δράσεις ώστε να διασφαλιστεί η ανθρώπινη υγεία.

Σε περίπτωση που δεν τηρούνται οι τιμές και που, μάλιστα, θεωρείται ότι το γεγονός αυτό απειλεί την ανθρώπινη υγεία, λαμβάνονται το συντομότερο δυνατόν τα ακόλουθα μέτρα:

1. Ειδοποιούνται όλοι οι θιγόμενοι καταναλωτές για τον ενδεχόμενο κίνδυνο, καθώς και για τους λόγους υπέρβασης της παραμετρικής τιμής και τις επανορθωτικές ενέργειες που λαμβάνονται.
2. Παρέχονται οι απαραίτητες συμβουλές προς τους καταναλωτές σχετικά με τις προϋποθέσεις κατανάλωσης και χρήσης του νερού, με ιδιαίτερη μέριμνα για τις πληθυσμιακές ομάδες που εμφανίζουν αυξημένο κίνδυνο.

3. Οι καταναλωτές ενημερώνονται όταν έχει εξαφανιστεί ο δυνητικός κίνδυνος και έχει αποκατασταθεί η υδροδότηση στους κανονικούς ρυθμούς.

ΙΑ. Παρεκκλίσεις (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 15):

Είναι δυνατόν να επιτραπούν παρεκκλίσεις από τις καθορισμένες παραμετρικές τιμές μέχρι ένα ανώτατο όριο, εφόσον η απόκλιση δεν συνεπάγεται κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και εφόσον δεν υπάρχει άλλος τρόπος να εξασφαλιστεί η παροχή του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης στη συγκεκριμένη περιοχή. Φυσικά, πρέπει να διαρκούν όσο τον δυνατόν λιγότερο και να μην υπερβαίνουν τα 3 χρόνια. Στη συνέχεια, όταν εξαντληθεί το όριο της πρώτης παρέκκλισης, το ζήτημα περνάει από επανεξέταση για την παραχώρηση ή όχι δεύτερης παρέκκλισης, η οποία ομοίως δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 3 χρόνια. Οποσδήποτε πρέπει να διευκρινίζεται ο λόγος της παρέκκλισης, η συγκεκριμένη παράμετρος, τα σχετικά αποτελέσματα, η ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή της παρέκκλισης αυτής, η γεωγραφική περιοχή, η ημερησίως παρεχόμενη ποσότητα νερού, ο θιγόμενος πληθυσμός, αν επηρεάζεται κάποια επιχείρηση παραγωγής τροφίμων, ένα κατάλληλο σύστημα παρακολούθησης, οι απαιτούμενες επανορθωτικές ενέργειες και η διάρκεια παρέκκλισης. Σε κάθε περίπτωση οι αρμόδιες αρχές οφείλουν να ενημερώνουν άμεσα τους καταναλωτές για κάθε διαφοροποίηση. Οι παρεκκλίσεις αυτές γενικά δεν ισχύουν για νερό ανθρώπινης κατανάλωσης, το οποίο πωλείται σε φιάλες ή δοχεία.

ΙΒ. Πρόσβαση σε νερό ανθρώπινης κατανάλωσης (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 16):

Οι Δήμοι σε συνεργασία με τους υπεύθυνους φορείς ύδρευσης αναλαμβάνουν να παρέχουν και, όπου χρειάζεται, να βελτιώνουν την πρόσβαση στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης για όλους και ιδιαίτερα για τις παρακάτω πληθυσμιακές ομάδες: τους άπορους, τους άστεγους, τους νομάδες και τους ρομά. Για το σκοπό αυτό αυτές οι αρχές μέσω των Υπηρεσιών Κοινωνικής Μέριμνας:

1. Εντοπίζουν άτομα χωρίς ή με περιορισμένη πρόσβαση σε νερό ανθρώπινης κατανάλωσης και τους λόγους για αυτή την έλλειψη πρόσβασης.
2. Αξιολογούν τις δυνατότητες βελτίωσης της πρόσβασης των ατόμων αυτών.
3. Ενημερώνουν αυτούς τους ανθρώπους για τις δυνατότητες σύνδεσης με το δίκτυο διανομής ή για εναλλακτικά μέσα πρόσβασης σε νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.
4. Λαμβάνουν μέτρα, τα οποία θεωρούν αναγκαία και κατάλληλα για τη διασφάλιση της πρόσβασης των ευάλωτων και περιθωριοποιημένων ομάδων σε νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.

Επιπρόσθετα, οι ίδιες αρχές εξασφαλίζουν την εγκατάσταση βρυσών σε εξωτερικούς και εσωτερικούς δημόσιους χώρους, όπου είναι τεχνικά εφικτό, ώστε να γίνεται ευκολότερη η

πρόσβαση στο νερό. Επίσης, λαμβάνουν τα ακόλουθα μέτρα για την προώθηση της χρήσης της βρύσης, ειδικά σε δημόσιους χώρους:

1. Ενημέρωση για τον πλησιέστερο εξοπλισμό σε εξωτερικούς ή σε εσωτερικούς χώρους,
2. Ενημέρωση των πολιτών σχετικά με την ποιότητα του νερού σε αυτές τις παροχές,
3. Προώθηση της παροχής τέτοιου νερού, δωρεάν ή με καταβολή χαμηλού αντιτίμου εξυπηρέτησης, για τους πελάτες σε εστιατόρια, καντίνες και υπηρεσίες τροφοδοσίας.

Το Υπουργείο Εσωτερικών και το Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Υποθέσεων (Γενική Γραμματεία Καταπολέμησης της Φτώχειας) φροντίζουν για τη σωστή κατανομή της χρηματοδότησης στους Δήμους και τους υπεύθυνους φορείς, ώστε να εφαρμοστούν τα παραπάνω μέτρα.

ΙΣΤ. Πληροφόρηση του κοινού (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 17):

Οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης υποχρεούνται να ενημερώνουν τους καταναλωτές και να τους παρέχουν επαρκείς πληροφορίες για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης. Επιπλέον, διασφαλίζουν ότι όλοι οι καταναλωτές λαμβάνουν τις παρακάτω πληροφορίες τουλάχιστον μία φορά τον χρόνο μέσω των λογαριασμών τους ή με τη αρωγή ψηφιακών μέσων:

1. Πληροφορίες για την ποιότητα του νερού, συμπεριλαμβανομένων των ενδεικτικών παραμέτρων,
2. Την τιμή του παρεχόμενου νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, ανά λίτρο και ανά κυβικό μέτρο
3. Τον όγκο που καταναλώνεται από το νοικοκυριό, τουλάχιστον ανά έτος ή ανά περίοδο τιμολόγησης, μαζί με τις ετήσιες τάσεις για την κατανάλωση των νοικοκυριών, εφόσον είναι τεχνικά εφικτό και μόνο εάν οι πληροφορίες αυτές είναι διαθέσιμες στον φορέα ύδρευσης,
4. Σύγκριση της ετήσιας κατανάλωσης νερού του νοικοκυριού με τη μέση κατανάλωση των νοικοκυριών γενικά.

ΙΖ. Καθορισμός υπεύθυνων φορέων ύδρευσης και αρμόδιων αρχών (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 19):

Οι υπεύθυνοι φορείς ύδρευσης:

1. Για το νερό που παρέχεται από δίκτυο διανομής για τις υδρεύσεις Δήμων είναι ο φορέας λειτουργίας του δικτύου, όπως για παράδειγμα οι Δήμοι, οι Σύνδεσμοι Δήμων, οι Εταιρείες Ύδρευσης, η ΕΥΔΑΠ Α.Ε. για την πόλη των Αθηνών και η ΕΥΑΘ Α.Ε. για την πόλη της Θεσσαλονίκης).
2. Για τις βιομηχανίες, τις επιχειρήσεις, τα ιδρύματα και τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις που διαθέτουν δική τους ύδρευση είναι οι νόμιμοι εκπρόσωποί τους.

3. Για τις βιομηχανίες που εντοπίζονται σε βιομηχανικές περιοχές και διαθέτουν κεντρικό δίκτυο ύδρευσης είναι η ΕΤΒΑ ή ο φορέας λειτουργίας τους.
4. Για τις ιδιωτικές υδρεύσεις είναι οι ιδιοκτήτες.
5. Για το νερό που παρέχεται από βυτία είναι οι ιδιοκτήτες ή οι υπεύθυνοι των βυτίων ή οι νόμιμοι εκπρόσωποι των επιχειρήσεων.
6. Για το νερό που τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία προς διάθεση είναι οι νόμιμοι εκπρόσωποι των εγκαταστάσεων εμφιάλωσης.
7. Για το νερό που χρησιμοποιείται σε επιχείρηση παραγωγής τροφίμων είναι οι νόμιμοι εκπρόσωποι αυτών των επιχειρήσεων.

Οι Αρμόδιες Αρχές συντελούνται από τις Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής και Υγειονομικού Ελέγχου των Περιφερειακών Ενοτήτων, τις Διευθύνσεις Υδάτων των Αποκεντρωμένων Διοικήσεων, τους Δήμοι και σε επιτελικό βαθμό το Υπουργείο Υγείας, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το Υπουργείο Εσωτερικών και το Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Υποθέσεων.

ΙΘ. Κυρώσεις (ΦΕΚ 3525/Β/2023, Άρθρο 20):

Αναφορικά με τις διοικητικές κυρώσεις, αρχικά, με απόφαση της Ρ.Α.Α.Ε.Υ γίνεται σύσταση συμμόρφωσης σε περίπτωση αποτυχίας ή ελλιπούς εκπλήρωσης των υποχρεώσεων. Αν εντός 6 μηνών συνεχίζεται η μη συμμόρφωση, επιβάλλεται πρόστιμο ύψους 3.000 € στους υπεύθυνους φορείς ύδρευσης που παρέχουν από 10.000 έως 100.000 m³ ανά ημέρα και 10.000 € σε εκείνους που παρέχουν άνω των 100.000 m³ ανά ημέρα. Οι διοικητικές κυρώσεις επιβάλλονται με βάση το άρθρο 30 του Ν. 1650/86 (ΦΕΚ 160/Α/1986).

Οι ποινικές κυρώσεις επιβάλλονται με βάση τις διατάξεις του άρθρου 3 του Α.Ν. 2520/1940 "Περί υγειονομικών Διατάξεων" (ΦΕΚ 273/Α/1940), του άρθρου 43 του Ν. 4025/2011 "Ανασυγκρότηση Φορέων Κοινωνικής Αλληλεγγύης, Κέντρα Αποκατάστασης, Αναδιάρθρωση Ε.Σ.Υ. και άλλες διατάξεις." (ΦΕΚ 228/Α/2011), τις διατάξεις των άρθρων 28 και 29 του Ν. 1650/1986 "Για την προστασία του περιβάλλοντος" (ΦΕΚ 160/Α/1986), τα άρθρα 4 και 5 του Ν. 4042/2012 "Ποινική προστασία του περιβάλλοντος [...]" (ΦΕΚ 24/Α/2012). Η παράβαση αυτών των διατάξεων θεωρείται παρανομία και αντιμετωπίζεται αναλόγως σύμφωνα με το Παράρτημα Α του Ν.4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/2012).

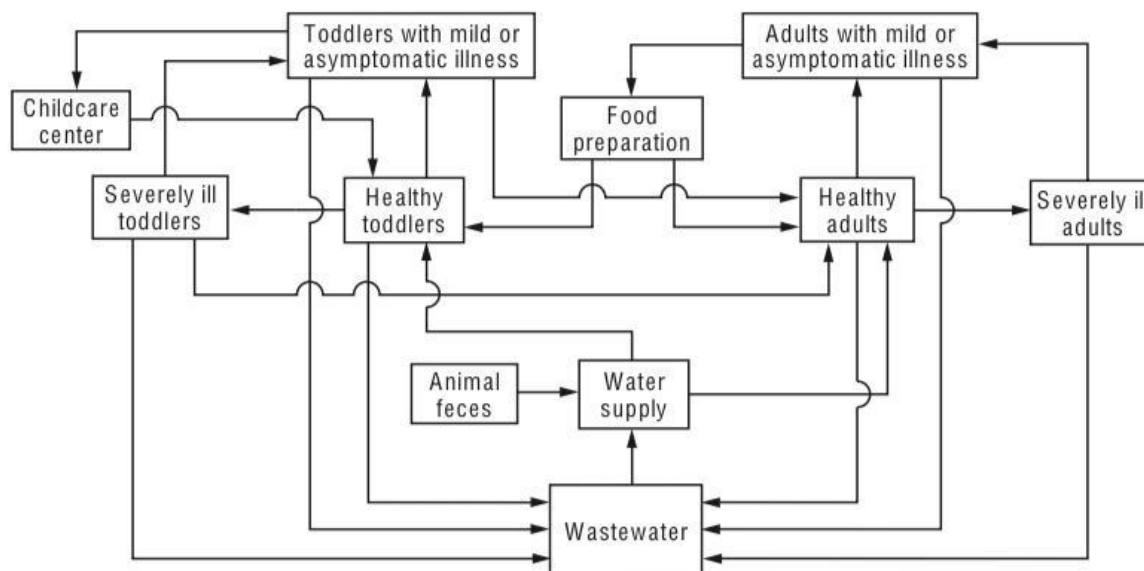
4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ

Στις μέρες μας, τα περιστατικά ρύπανσης των υδάτων έχουν περιοριστεί σε σημαντικό βαθμό, ώστε να μην αποτελούν πλέον κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Αυτό όμως, δεν ισχύει για τις υποανάπτυκτες χώρες, στις οποίες η διάθεση ασφαλούς υγειονομικού νερού αποτελεί ακόμα ζητούμενο (Αυλωνίτης, 2013). Βέβαια, η ανάπτυξη των κοινωνιών και στις αναπτυγμένες χώρες μπορεί να οδηγήσει μερικές φορές στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Ίσως η πιο μοναδική πτυχή του νερού είναι ότι έχει τη δυνατότητα να εκθέσει γρήγορα σε μία μόλυνση έναν μεγάλο αριθμό ανθρώπων (Crittenden et al., 2023). Ο αριθμός των πιθανών ρύπων του νερού είναι τεράστιος και υπολογίζεται σε περισσότερες από 55 εκατομμύρια οργανικές και ανόργανες ουσίες (CAS, 2010a). Οι πηγές μόλυνσης μπορούν να έρθουν σε επαφή με το νερό εξαιτίας των ανθρώπινων ή ζωικών δραστηριοτήτων, ή επειδή απλά υπάρχουν φυσικά στο περιβάλλον (U.S. EPA, 2003). Μεταφέρονται μέσω αγωγών, καναλιών ή βυτιοφόρων που εκβάλλουν ρυπαντικά φορτία άμεσα ή έμμεσα, μέσω των απορροών των καλλιεργούμενων γεωργικών εκτάσεων, εξαιτίας φερτών υλών από καταιγίδες ή λόγω της αλλοίωσης του ανάγλυφου μιας περιοχής (Αυλωνίτης, 2013). Ωστόσο, η ρύπανση που προκύπτει από φυσικά αίτια είναι αρκετά περιορισμένη σε έκταση σε σύγκριση με αυτήν που προκαλείται από ανθρωπογενείς και βιομηχανικές δραστηριότητες (Liu et al., 2000). Σε γενικές γραμμές τα υπόγεια νερά έχουν λιγότερους μικροοργανισμούς, θολότητα και οργανικό άνθρακα. Βέβαια, περιέχουν ουσίες, όπως σίδηρος και μαγνήσιο, που καθιστούν απαραίτητη την επεξεργασία. Από την άλλη όψη, το επιφανειακό νερό είναι πιο επιρρεπές στους ρύπους και απαιτούνται περισσότερα στάδια επεξεργασίας, ώστε να θεωρείται κατάλληλο για χρήση. Τα συνηθέστερα προβλήματα σε αυτή την κατηγορία είναι η γεύση, η οσμή, η μικροβιολογική μόλυνση και η παρουσία χημικών ουσιών (Simenon et al., 2003). Οι επιπτώσεις στην υγεία λόγω έκθεσης σε μολυσματικές ουσίες περιλαμβάνουν διαταραχές του αναπαραγωγικού συστήματος, του θυρεοειδούς αδένου, ενδοκρινικές διαταραχές, καθώς επίσης έχουν γίνει και συσχετίσεις με τον καρκίνο (Crittenden et al., 2023).

4.1 ΑΙΤΙΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι κυριότερες ανθρώπινες εργασίες που προκαλούν ρύπανση υδάτινων πόρων είναι η μεταφορά και αποθήκευση εμπορικών προϊόντων, οι μεταλλευτικές και γεωργικές δραστηριότητες, οι απλές καθημερινές ανάγκες και οι απορρίψεις αποβλήτων, με τις τελευταίες να αποτελούν τη σπουδαιότερη πηγή (Liu et al., 2000). Τα οικιακά απόβλητα αποθηκεύονται σε βόθρους ή σηπτικές δεξαμενές και περιέχουν βακτήρια, ιούς και νιτρικά άλατα. Οι παθογόνοι

μικροοργανισμοί, λοιπόν, που προέρχονται κυρίως από αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, όταν έρχονται σε επαφή με το νερό, εισέρχονται σε αυτό και το επιμολύνουν (Abel et al., 2002). Ακόμη, η διάθεση των στερεών αποβλήτων σε ύδατα επιδρά σημαντικά στην ποιότητά τους, καθώς παρατηρούνται πολύ υψηλά επίπεδα νιτρικών, αλκαλικότητας και τοξικών ουσιών. Στην Εικόνα 4-1 φαίνεται η διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει ένας μολυσματικός παράγοντας λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.



Εικόνα 4-1 Διαδρομή μολυσματικών παραγόντων (Crittenden et al., 2023)

Μία επιπρόσθετη αιτία που καθιστά το νερό ακατάλληλο για ανθρώπινη χρήση είναι ο ευτροφισμός. Όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι μία διαδικασία κατά την οποία οι λίμνες και τα στάσιμα νερά εμπλουτίζονται σε θρεπτικά συστατικά, μεταβάλλοντας έτσι την ισορροπία των ζώντων σε αυτά οργανισμών. Αυτή η αύξηση των θρεπτικών συστατικών οδηγεί σε αλματώδη άνοδο του πληθυσμού σε άλγη και βακτήρια και πρασινίζει το νερό. Το ζωοπλαγκτόν αδυνατεί να καταναλώσει την αυξημένη αυτή ποσότητα των αλγών, πράγμα που προσδίδει θολότητα στα ύδατα. Τα άλγη χρειάζονται οξυγόνο για να επιβιώσουν, με συνέπεια την κατανάλωσή του και την πρόκληση αναερόβιων συνθηκών. Αυτό αφενός προκαλεί δυσοσμία και αφετέρου εμποδίζει την ανάπτυξη των υπόλοιπων υδρόβιων οργανισμών. Ο ευτροφισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο, που εκφράζει τη γήρανση μιας λίμνης. Ωστόσο, η επιρροή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον επιταχύνει με γοργούς ρυθμούς αυτή τη διαδικασία. Τα θρεπτικά συστατικά που εισέρχονται σε μία λίμνη λόγω της ανθρώπινης επίδρασης είναι λιπάσματα (N, P), αστικά λύματα (νιτρικά, φωσφορικά, θειικά) και απορρυπαντικά (φωσφορικά). Για τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης τέτοιων συνθηκών χρειάζεται να λαμβάνονται ειδικά μέτρα, που περιορίζουν την εισροή λυμάτων στους υδάτινους αποδέκτες.

Από την άλλη πλευρά, οι υδραυλικές παρεμβάσεις είναι επιθυμητές, αφού μπορούν να διευκολύνουν στην επαναοξυγόνωση του νερού.

Ο ευτροφισμός εμφανίζεται σε τρεις μορφές ή στάδια (Αυλωνίτης, 2013):

- **Ολιγοτροφικό στάδιο (oligotrophic):** Χαρακτηρίζεται από χαμηλά επίπεδα βιολογικής παραγωγικότητας και υψηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (ο βαθμός κορεσμού είναι μεγαλύτερος του 70%). Τυπικό παράδειγμα αποτελούν οι λίμνες στα βουνά με ψυχρό νερό, που χαρακτηρίζονται από διαυγή νερά, περιορισμένη ανάπτυξη φυκιών και μικρή παραγωγή ψαριών.
- **Μεσοτροφικό στάδιο (mesotrophic):** Χαρακτηρίζεται από μεσαία επίπεδα βιολογικής δραστηριότητας και μειωμένα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (ο βαθμός κορεσμού είναι 30-70%). Σε αυτό το στάδιο παρατηρείται ανάπτυξη φυκιών και η λίμνη αρχίζει να πρασινίζει.
- **Ευτροφικό στάδιο (eutrophic):** Είναι το τελικό στάδιο, κατά το οποίο οι λίμνες είναι πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά και έχουν περιορισμένα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (ο βαθμός κορεσμού είναι μικρότερος του 30%). Στη λίμνη παρατηρούνται άλγη, εκτεταμένες φυκώδεις ανθίσεις και ριζώδη φυτά. Το στάδιο αυτό εμφανίζεται κυρίως σε λίμνες, ποταμούς με αργή ροή και κλειστούς κόλπους.

4.2 ΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Οι ρυπαντικές ουσίες ανάλογα με την προέλευση ή τα αποτελέσματα που προκαλούν, μπορούν να ταξινομηθούν σε κατηγορίες (Αυλωνίτης, 2013):

- **Ρυπαντικές ουσίες που απαιτούν οξυγόνο.** Περιλαμβάνουν αυτές που αποβάλλονται από βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων, ζυθοποιίας, κατεργασίας ξύλου, παραγωγής χαρτιού και εγκαταστάσεις επεξεργασίας και διάθεσης λυμάτων. Στα συγκεκριμένα απόβλητα περιέχονται σημαντικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών, πράγμα που δημιουργεί ευνοϊκό περιβάλλον για συνθήκες ευτροφισμού και άρα μεγάλη κατανάλωση διαλυμένου οξυγόνου στο νερό από αερόβιους οργανισμούς.
- **Θρεπτικές ουσίες,** όπως ο φώσφορος και το άζωτο, που έχουν ήδη αναφερθεί, προκαλούν συνθήκες ευτροφισμού. Προκύπτουν από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, που δεν διαθέτουν τριτοβάθμια επεξεργασία και από απορροές γεωργικών εκτάσεων.
- **Θερμότητα.** Μπορεί να ταξινομηθεί ως ρύπος νερού, όταν προέρχεται από βιομηχανικό νερό υψηλής θερμοκρασίας. Το θερμό αυτό νερό μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά ένα οικοσύστημα και να έχει αρνητικές συνέπειες σε αυτό. Εξάλλου, όσο αυξάνει η θερμοκρασία, μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου.

- **Εκροές μονάδων επεξεργασίας λυμάτων.** Ενδέχεται να περιέχουν θρεπτικά συστατικά, φυτοφάρμακα, παθογόνους μικροοργανισμούς, αιωρούμενα στερεά, βαρέα μέταλλα και νιτρικά.
- **Γεωργικά απόβλητα.** Αποτελούν προϊόντα έκπλυσης των γεωργικών εκτάσεων και περιέχουν πληθώρα θρεπτικών συστατικών, λιπάσματα και φυτοφάρμακα. Η ποσότητα των γεωργικών φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται ετησίως είναι τεράστια. Μόνο στην Καλιφόρνια υπολογίζονται πάνω από 400 τn χημικών κάθε χρόνο. Βέβαια, η σύγχρονη πρακτική κατευθύνει προς τη χρήση μη πυρίμαχων φυτοφαρμάκων, όπως τα οργανοφωσφορικά, τα οποία αποικοδομούνται γρήγορα στο περιβάλλον μετά τη χρήση τους (Crittenden et al., 2023).
- **Πετρέλαιο και παράγωγά του.** Τα προβλήματα που προκαλούν ατυχήματα πλοίων που μεταφέρουν αργό πετρέλαιο, το οποίο διαχέεται στις θάλασσες, είναι διαχρονικά. Εκτός όμως από αυτή την άμεση ρύπανση, παρατηρείται και έμμεση μέσω των προϊόντων καύσης του πετρελαίου και των παραγώγων του από αυτοκίνητα και βιομηχανίες.
- **Φαρμακευτικές ουσίες.** Σε πρόσφατες έρευνες έχουν βρεθεί χαμηλές συγκεντρώσεις φαρμακευτικών προϊόντων και προϊόντων προσωπικής φροντίδας. Τα πρώτα προέρχονται από την επαφή του νερού με τα ανθρώπινα απόβλητα κυρίως εξαιτίας φαρμακευτικών αγωγών. Τα φαρμακευτικά προϊόντα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων αναλγητικά, αντιβιοτικά, αντιφλεγμονώδη, σιρόπια για τον βήχα, προϊόντα στοματικής υγιεινής και τα προσωπικής φροντίδας περιλαμβάνουν καλλυντικά, αρώματα, λοσιόν, αντηλιακά, τα οποία παρασύρονται από το δέρμα ή τα μαλλιά των ατόμων κατά την επαφή τους με νερό. Ορισμένες από αυτές τις ουσίες απομακρύνονται αποτελεσματικά με τις σύγχρονες διαδικασίες επεξεργασίας, άλλες όμως είναι πιο ανθεκτικές (Crittenden et al., 2023). Μία από τις κυριότερες ανησυχίες με αυτά τα προϊόντα είναι ότι απελευθερώνουν χημικές ουσίες, που μπορούν να προκαλέσουν διάφορες ενδοκρινικές διαταραχές στον άνθρωπο (Trussell, 2001).
- **Μεταλλεία και ορυχεία.** Μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ρυπάνσεις σε λίμνες, ποτάμια και υπόγεια ύδατα. Το μολυσμένο αυτό νερό περιέχει ποσότητες θείου ή θειούχων ενώσεων και μπορεί να οξειδωθεί προς θειικό οξύ, προκαλώντας όξινο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να πραγματοποιηθούν οι βιολογικές δραστηριότητες και το νερό να σημαίνεται ακατάλληλο προς χρήση.
- **Βαρέα μέταλλα.** Όταν οι συγκεντρώσεις τους υπερβαίνουν κάποια όρια μέσα στο νερό, μπορούν να γίνουν εξαιρετικά επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. Βαρέα μέταλλα θεωρούνται τα στοιχεία που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο ή ίσο με 5 gr/cm^3 . Κάποια

παραδείγματα αποτελούν ο υδράργυρος, ο μόλυβδος, ο χαλκός και ο σίδηρος. Είναι επικίνδυνα, γιατί τα περισσότερα από αυτά, ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις είναι πολύ τοξικά (Sawidis et al., 1995). Ο σίδηρος θεωρείται ότι είναι ο πιο σημαντικός σε σχέση με την απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας, επειδή στη διαλυμένη μορφή του μπορεί να απορροφήσει απευθείας το υπεριώδες φως (Tchobanoglous et al., 2003).

- **Τοξικά και επικίνδυνα απόβλητα.** Στις περισσότερες χώρες του κόσμου απαγορεύεται η διάθεση τοξικών και επικίνδυνων αποβλήτων σε υδάτινους αποδέκτες με τη σχετική νομοθεσία. Ωστόσο, πολλές φορές ρυπογόνες βιομηχανίες αποβάλλουν παράνομα τέτοιου είδους απόβλητα με καταστροφικά αποτελέσματα για το οικοσύστημα, που μπορούν να οδηγήσουν μέχρι και στην πλήρη νέκρωσή του.

4.3 ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΟΤΑΜΩΝ

Η επίδραση της ρύπανσης στους ποταμούς εξαρτάται από το είδος του ρύπου. Όπως αναφέρθηκε υπάρχουν ενώσεις και στοιχεία, τα οποία είναι έντονα τοξικά για την υδρόβια ζωή, όπως τα βαριά μέταλλα και τα οργανικά τοξικά απόβλητα. Αυτά θα νεκρώσουν κάθε είδος ζωής των υδάτων, ενώ ταυτόχρονα θα δημιουργήσουν και σοβαρά προβλήματα υγείας στους ανθρώπους. Άλλοι τύποι ρύπων, όπως οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, δεν επιβαρύνουν το υδάτινο περιβάλλον, αλλά ενδέχεται να προκαλέσουν ασθένειες στους ανθρώπους μετά από την κατανάλωση του ύδατος. Η ποσότητα των κολοβακτηριδίων είναι δείκτης της μόλυνσης νερού από ζωικά απόβλητα και επομένως συνιστά σημαντικό λόγο ανησυχίας για την ανθρώπινη υγεία (Αυλωνίτης, 2013).

Η δυνατότητα αυτοκαθαρισμού των ποταμών εξαρτάται από τη ροή τους και από το πόσο εκτεταμένη είναι η μόλυνση. Ποτάμια με μεγάλο βάθος και χαμηλής ταχύτητας ροή έχουν μικρή ικανότητα αυτοκαθαρισμού, σε αντίθεση με τα ρηγά που κινούνται με υψηλές ταχύτητες και έχουν μεγάλες κλίσεις. Εκτός από αυτά, σημαντικό ρόλο παίζουν και οι κλιματικές συνθήκες. Τις περιόδους φθινοπώρου και χειμώνα μειώνεται ο αυτοκαθαρισμός, επειδή σχηματίζεται πάγος στην επιφάνεια του νερού, οπότε μειώνεται και η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό, τόσο μεγαλύτερη ικανότητα αυτοκαθαρισμού έχει ένας ποταμός. Τέλος, η ποσότητα των διατιθέμενων λυμάτων σε έναν ποταμό, ο ρυθμός ανάμειξής τους, η ποσότητα του νερού του ποταμού και η περιεκτικότητα σε οργανικό φορτίο αποτελούν επίσης παράγοντες που καθορίζουν τον βαθμό αυτοκαθαρισμού (Αυλωνίτης, 2013).

Οι ποταμοί που ρυπαίνονται από σημαντικές ποσότητες λυμάτων με οργανικό φορτίο εμφανίζουν 4 διακριτές ζώνες (Αυλωνίτης, 2013):

- **Ζώνη αποικοδόμησης, Z1 (degradation zone):** Είναι η πιο κοντινή περιοχή στο σημείο διάθεσης των λυμάτων, όπου βαθμιαία μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο, λόγω των διεργασιών αποικοδόμησης.
- **Ζώνη δραστηκής διάσπασης, Z2 (active decomposition zone):** Είναι η περιοχή με τη μεγαλύτερη μόλυνση. Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο είναι η ελάχιστη δυνατή, ώστε οι συνθήκες να μπορούν να θεωρηθούν αναερόβιες. Το περιβάλλον θεωρείται μη φιλικό και η επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών, όπως τα ψάρια, είναι δύσκολη.
- **Ζώνη ανάκτησης, Z3 (recovery zone):** Πρόκειται για την περιοχή, στην οποία παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στο νερό. Αρχίζουν να εμφανίζονται ψάρια και αναπτύσσονται άλγη.
- **Ζώνη καθαρού νερού, Z4 (clear water one):** Αφορά την περιοχή, στην οποία το νερό επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση, πριν την επαφή του με τις ρυπαντικές ουσίες. Το μόνο αποτέλεσμα που διαφοροποιεί την ποιότητα των υδάτων είναι η αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών συστατικών ως συνέπεια της προηγούμενης βιοδιάσπασης.

4.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΛΙΜΝΩΝ

Η ρύπανση των λιμνών διαφέρει από αυτή των ποταμών, κυρίως επειδή η ροή ύδατος είναι πολύ πιο αργή και η επαναοξυγόνωση γίνεται με βραδύτερους ρυθμούς. Λόγω της αργής αυτής μετακίνησης οι ρύποι τείνουν να καθιζάνουν στον πυθμένα, αντί να παρασύρονται από το νερό. Επιπρόσθετα, το φως και η θερμοκρασία έχουν μεγάλη επίδραση σε μία λίμνη. Το φως είναι η πηγή ενέργειας στη φωτοσυνθετική διεργασία, γι' αυτό και η διείσδυσή του στο νερό της λίμνης καθορίζει το ποσό της φωτοσύνθεσης που μπορεί να εμφανιστεί στα διάφορα βάθη της. Η υπεριάδης ακτινοβολία του φωτός φτάνει σε μεγαλύτερα βάθη από την υπέρυθρη. Όσον αφορά στη θερμοκρασία, ποικίλλει συνήθως με βάση την εποχή. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα με την προϋπόθεση ότι η λίμνη δεν παγώνει, η θερμοκρασία παραμένει σχετικά σταθερή στα ανώτερα και τα κατώτερα στρώματα. Την άνοιξη, όμως, τα ανώτερα στρώματα αρχίζουν να θερμαίνονται (Αυλωνίτης, 2013).

Τα θρεπτικά συστατικά των ποταμών ή οι εκροές λυμάτων εισέρχονται στη λίμνη και αποτελούν τροφή και αιτία ανάπτυξης αλγών στο επιλίμνιο, δηλαδή το επιφανειακό στρώμα της λίμνης. Στη συνέχεια, όταν τα άλγη πεθάνουν μετακινούνται στον πυθμένα, το υπολίμνιο και συνιστούν τροφή για τα βακτήρια. Όσο υπάρχει οξυγόνο στο υπολίμνιο δρουν αερόβια βακτήρια, ενώ όταν εξαντληθεί επικρατούν αναερόβιες συνθήκες και ξεκινάει η διαδικασία του ευτροφισμού. Η

αύξηση των αλγών περιορίζεται από την παρουσία του φωσφόρου και του αζώτου. Συνεπώς, η ισορροπία του οικοσυστήματος μίας λίμνης σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα των θρεπτικών συστατικών που εισρέουν σε αυτή (Αυλωνίτης, 2013). Μία ολιγοτροφική λίμνη χαρακτηρίζεται έτσι, λόγω του χαμηλού επιπέδου θρεπτικών συστατικών και οργανικής ύλης. Το νερό εδώ είναι διαυγές και απαλλαγμένο από φυτά. Ο όρος μεσοτροφική λίμνη αποδίδεται σε μέτρια ποσότητα θρεπτικών στοιχείων, με αντίστοιχες τιμές ζωικής και φυτικής ζωής. Τέλος, ευτροφική λίμνη είναι εκείνη που φιλοξενεί μεγάλες συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών και συνεπώς φυτικής ζωής. Η εξέλιξη από το ένα στάδιο στο άλλο είναι φυσικό φαινόμενο (Crittenden et al., 2023).

4.5 ΡΥΠΑΝΣΗ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Παρόλο που επικρατεί η κοινή αντίληψη ότι το βρόχινο νερό είναι καθαρό, στην πραγματικότητα μπορεί να περιέχει αρκετούς μολυσματικούς παράγοντες. Επειδή το νερό είναι ισχυρός διαλύτης, μπορεί να διαλύει την πλειονότητα των ουσιών που έρχονται σε επαφή με αυτό. Στην πορεία του από τα σύννεφα προς τη δεξαμενή συλλογής μπορεί να μολυνθεί χημικά, φυσικά ή μικροβιολογικά. Είναι επόμενο, ότι όσο παρατείνεται η διάρκεια των βροχοπτώσεων, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ποσότητα των ρυπογόνων στοιχείων, που θα ανευρίσκονται στο νερό (King, 1993). Το νερό, λοιπόν, κατά τη διάρκεια της βροχής εμπλουτίζεται μέσω της ατμόσφαιρας με διάφορες ουσίες, όπως θειικά, νιτρικά, νιτρώδη και διοξείδιο του άνθρακα. Σε περίπτωση που διέρχεται από βιομηχανική περιοχή ή αν έχει προηγηθεί ψεκασμός, μπορεί να επιμολυνθεί και με άλλες, πιο επικίνδυνες ουσίες. Επίσης, αν η βροχή είναι όξινη, το νερό θα έχει χαμηλό pH, με αποτέλεσμα να γίνεται πιο εύκολη η έκλυση μετάλλων από τις επιφάνειες συλλογής (Abbasi, 2011). Έπειτα, στη στέγη μπορεί να μολυνθεί από χημικές ουσίες, όπως ο μόλυβδος και το χρώμιο, από κάποιες καρκινικές ουσίες που μεταφέρονται από τα χρώματα των στεγών, όπως επίσης και από απορρίμματα, όπως φύλλα, σκόνη ή άλλα σωματίδια. Όλα αυτά μπορούν να αποτελέσουν αίτιο ανάπτυξης μικροοργανισμών μέσα στις δεξαμενές αποθήκευσης. Τέλος, μπορεί να παρατηρηθεί μικροβιολογική μόλυνση από περιτώματα ζώων.

Γενικά, θεωρείται πως το νερό της βροχής είναι αποδεκτής ποιότητας και δεν συνδέεται τόσο με κρούσματα γαστρεντερικών διαταραχών (Heyworth et al., 2006). Ωστόσο, μελέτες έχουν δείξει ότι στο βρόχινο νερό, που συλλέγεται κυρίως από στέγες και σκεπές, εντοπίζεται πλήθος παθογόνων μικροοργανισμών, όπως *Salmonella*, *Clostridium*, *Legionella*, *Cryptosporidium* και *Guardia spp.*

4.6 ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Τα υπόγεια νερά είναι υπεύθυνα για την ύδρευση ενός μεγάλου ποσοστού του ελλαδικού χώρου μέσω των γεωτρήσεων. Συνεπώς, είναι εύλογη η επιθυμία προστασίας τους από ρύπους. Αναλυτικότερα, μπορούν να μολυνθούν άμεσα από μη κατάλληλη υπόγεια διάθεση λυμάτων και από εγκαταλελειμμένες γεωτρήσεις και πηγάδια. Έτσι, οι ρύποι διεισδύουν απευθείας στα ύδατα, χωρίς να περνάνε από το φυσικό φιλτράρισμα του εδάφους. Πολλές φορές, λοιπόν, τα υπόγεια νερά έχουν αρκετούς παθογόνους μικροοργανισμούς, ενώ φαίνονται διαυγή και καθαρά. Βέβαια, οι μικροοργανισμοί αυτοί δεν ταξιδεύουν σε μεγάλη απόσταση από το σημείο ρύπανσης, οπότε καθοριστικό παράγοντα στην ποιότητα παίζει η κατάσταση της γεώτρησης. Γενικά, οι γεωτρήσεις πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον 30 m από σηπτικούς βόθρους, κτίρια, πισίνες και γενικότερα οτιδήποτε μπορεί να παράγει μολυσματικά απόβλητα. Κατά κανόνα σε λεπτόκοκκα και συμπαγή εδάφη η μικροβιακή μόλυνση περιορίζεται από τη φυσική διύλιση σε μικρή απόσταση (10-30 m), ενώ η χημική ρύπανση μπορεί να φτάσει σε μακρύτερες αποστάσεις. Επιπρόσθετα, όπως έχει ήδη αναφερθεί μπορεί να υφίσταται και φυσική μόλυνση και τα υπόγεια νερά να περιέχουν ουσίες, όπως μαγγάνιο, σίδηρος, φθόριο, αρσενικό, μόλυβδος, υδράργυρος και ραδιενεργά στοιχεία. Τέλος, σοβαρή ρύπανση προκαλείται από ιδιωτικούς βόθρους, οι οποίοι παρά το γεγονός ότι θα έπρεπε να είναι στεγανοί και τα λύματα να μεταφέρονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απορροφητικοί (Αυλωνίτης, 2013).

5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ

Οι κυριότεροι στόχοι καθαρισμού και επεξεργασίας του νερού παραμένουν σχεδόν ίδιοι τα τελευταία εκατό χρόνια, οι οποίοι αναφέρονται στην παραγωγή ασφαλούς για την ανθρώπινη υγεία νερού, ευχάριστου προς κατανάλωση και που δεν προκαλεί προβλήματα διάβρωσης κατά τη χρήση του. Όλα αυτά θα πρέπει να επιτυγχάνονται με το λιγότερο δυνατό κόστος (Forsythe et al., 2020). Παρόλο που η εμφάνισή των υδατογενών ασθενειών έχει αμβλυυνθεί σημαντικά, συνεχίζουν να αποτελούν προκλήσεις για τη δημόσια υγεία και τους προμηθευτές νερού. Η πρόληψη και ο έλεγχός τους μέσω της προστασίας των πηγών του νερού και των κατάλληλων τεχνικών είναι ύψιστης σημασίας (Pandit & Kumar, 2013). Μία τυπική μονάδα επεξεργασίας νερού ύδρευσης (MENY) έχει στόχο την απομάκρυνση των οσμών, της γεύσης, του χρώματος, της θολότητας, των βακτηρίων και γενικότερα όλων των πιθανών ρύπων και ανεπιθύμητων στοιχείων που έχουν αναφερθεί. Τα διάφορα σωματίδια που εμπεριέχονται στα ακατέργαστα ύδατα διατηρούν ένα ηλεκτροστατικό φορτίο, το οποίο τα ωθεί σε συνεχή κίνηση με αποτέλεσμα να χρειάζεται ειδική επεξεργασία για την αφαίρεσή τους (Peirce et al., 1998). Η επίτευξη αυτών των στόχων περιλαμβάνει μία σειρά από ξεχωριστές δραστηριότητες, όπως την προστασία και διαχείριση των υδάτινων πηγών, την αποτελεσματική επεξεργασία του νερού και τέλος, την επιτυχημένη διανομή νερού με τη διασφάλιση της ποιότητας στο σημείο χρήσης (Crittenden et al., 2023).

5.1 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

Τα στάδια επεξεργασίας του νερού ποικίλλουν αναλόγως την ποιότητα και την προέλευσή του (Τσώνης, 2003). Γενικά τα επιφανειακά νερά χρειάζονται περισσότερα στάδια επεξεργασίας, εξαιτίας της πιο πιθανής επαφής τους με ρυπαντικές ουσίες (Πίνακας 5-1). Η κατεργασία περιλαμβάνει μία σειρά από τεχνικές, που συνήθως γίνονται διαδοχικά (Λέκκας, 1996). Η προεπεξεργασία είναι απαραίτητη, όταν η πηγή προέρχεται από επιφανειακά ύδατα, ενώ μπορεί να παραληφθεί όταν προέρχεται από υπόγεια. Περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τα στάδια του εσχαρισμού, του αερισμού και της προαπολύμανσης (Kiely, 1997).

Πίνακας 5-1 Βασικά στάδια επεξεργασίας πόσιμου νερού (Νταρακάς, 2010)

Υπόγεια νερά	Επιφανειακά νερά
Αερισμός Αποσκλήρυνση (αν απαιτείται) Ενανθράκωση-Διόρθωση pH Διήθηση (αν απαιτείται) Απολύμανση Αποθήκευση Διανομή	Εσχαρισμός Καθίζηση (πρωτοβάθμια) Προαπολύμανση Διόρθωση pH Ταχεία ανάμιξη νερού με κροκιδωτικό Κροκίδωση - Καθίζηση Διήθηση Οξείδωση (αν απαιτείται) Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα (αν απαιτείται) Απολύμανση Διόρθωση pH Αποθήκευση Διανομή

Παρόλα αυτά τα παραπάνω στάδια δεν είναι υποχρεωτικό να ακολουθούνται πάντα με την ίδια σειρά, ούτε να πραγματοποιούνται όλα σε αριθμό (Greenwood, 2007).

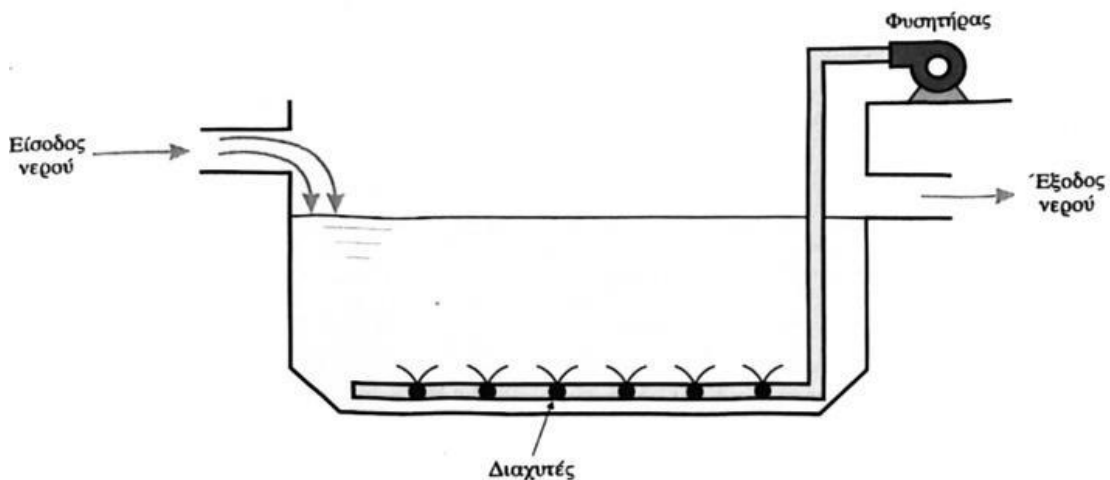
5.2 ΕΣΧΑΡΙΣΜΟΣ

Ο εσχαρισμός ανήκει στην προεπεξεργασία των επιφανειακών υδάτων και χρησιμεύει για την απομάκρυνση μεγάλου μεγέθους αιωρούμενων ή επιπλεόντων στερεών στοιχείων, ώστε να μην εισέρχονται στη μονάδα επεξεργασίας. Οι εσχάρες που χρησιμοποιούνται είναι διατάξεις με παράλληλες μπάρες και ο σκοπός τους αφορά την προστασία των μονάδων επεξεργασίας από ογκώδη αντικείμενα, που μπορούν να φράξουν τις εγκαταστάσεις ή να αποτελέσουν εμπόδιο στην ομαλή εκτέλεση της κατεργασίας. Χωρίζονται σε χονδροειδείς, μεσαίες ή λεπτές. Οι πιο κοινές είναι οι πρώτες με διάμετρο ράβδου 25-100 mm, χωρίς όμως να σημαίνει ότι δεν συναντιούνται και διαμέτρου 10-25 mm και 3-10 mm αντίστοιχα. Η εγκατάστασή τους γίνεται στη θέση της υδροληψίας ή στο σημείο που το νερό εισέρχεται στη μονάδα επεξεργασίας (Kiely, 1997).

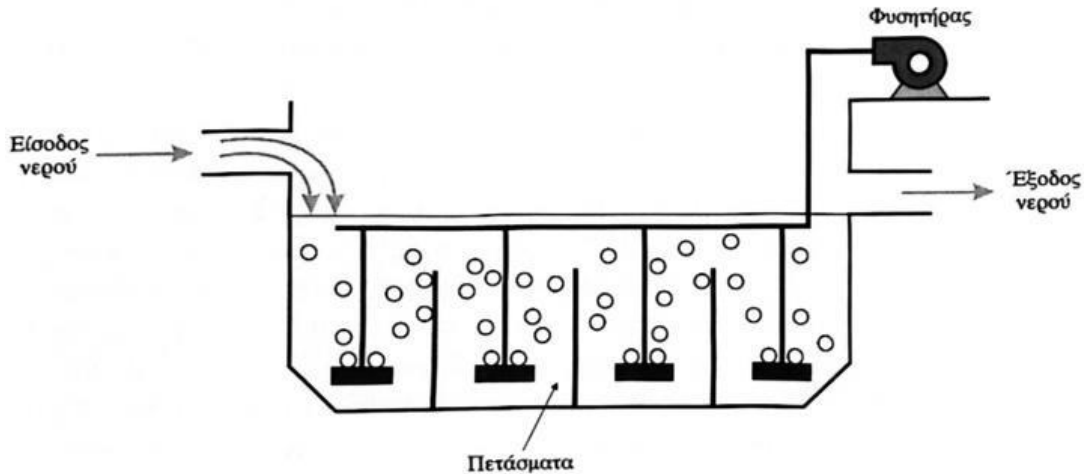
5.3 ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Αερισμός ονομάζεται η παροχή οξυγόνου, ώστε να αδρανοποιηθούν οι αναερόβιοι οργανισμοί, να απομακρυνθούν οι δυσάρεστες οσμές και να οξειδωθούν οι οργανικές ουσίες (Νταρακάς, 2010).

Συγκεκριμένα, διενεργείται κυρίως για την αποδέσμευση του υδρόθειου (H_2S), το οποίο ενδεχομένως δημιουργεί δυσάρεστη οσμή και γεύση, του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), που προκαλεί διάβρωση σε επιφάνειες από οπλισμένο σκυρόδεμα και την αύξηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου για την απομάκρυνση φωτοσυνθετικών αλγών, σιδήρου και μαγνησίου (Kiely, 1997). Τα δύο πρώτα αέρια είναι συνήθως προϊόντα αποικοδόμησης της οργανικής ύλης από βακτήρια. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την κατεργασία των υπόγειων υδάτων. Όταν οξειδωθούν τα δισθενή ιόντα σιδήρου και μαγνησίου προς τρισθενή ιόντα σιδήρου και μαγνησίου αντίστοιχα προκαλούν τον χρωματισμό των υδάτων. Γενικά, ο σίδηρος και το μαγνήσιο δεν επιφέρουν προβλήματα στην υγεία, δημιουργούν όμως αλλοιώσεις στη γεύση, την οσμή και το χρώμα. Ένας τυπικός αερισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω φυσητήρα με διαχύτες ή με φυσαλίδες (Εικόνα 5-1 και 5-2). Η δεύτερη περίπτωση στοχεύει την καλύτερη ανάμειξη του αέρα με το νερό, πράγμα που καθορίζεται και από το μέγεθος της δεξαμενής και την παροχή του νερού (Αυλωνίτης, 2013). Οι σωλήνες διοχέτευσης αέρα είναι τοποθετημένοι με τέτοιο τρόπο σε διάφορα σημεία της δεξαμενής, ώστε να γίνεται ομογενής ανάμειξη του αέρα με το νερό (Curtis et al., 1998). Η ικανότητα ενός φυσητήρα να μεταφέρει οξυγόνο σε διαυγές και καθαρό νερό σε 1 ώρα ορίζεται ως ο τυπικός ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου (standard oxygen transferrate, SOTR). Η τιμή αυτή επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, το είδος του φυσητήρα και την ισχύ του (Αυλωνίτης, 2013).



Εικόνα 5-1 Αερισμός με διαχύτες (Αυλωνίτης, 2013)



Εικόνα 5-2 Αερισμός με φυσαλίδες (Αυλωνίτης, 2013)

5.4 ΑΠΟΣΚΛΗΡΥΝΣΗ

Όπως έχει αναφερθεί η σκληρότητα του νερού οφείλεται στα άλατα ασβεστίου και μαγνησίου. Αποσκλήρυνση ονομάζεται η διαδικασία απομάκρυνσης αυτών των αλάτων και μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Πρώτον, μπορεί να πραγματοποιηθεί με χημική καθίζηση με την προσθήκη CaO ή Ca(OH)_2 και Na_2CO_3 ή με προσθήκη καυστικής σόδας (NaOH). Βέβαια, η διαδικασία της χημικής αποσκλήρυνσης δεν απομακρύνει πλήρως τη σκληρότητα (Αυλωνίτης, 2013).

Δεύτερο τρόπο αποτελεί η ιοντοανταλλαγή, κατά την οποία γίνεται αντικατάσταση των ιόντων που ευθύνονται για τη σκληρότητα, με άλλα ιόντα που σχηματίζουν ευδιάλυτα άλατα, όπως το νάτριο (Na). Η διεργασία περιλαμβάνει τη διοχέτευση του νερού προς αποσκλήρυνση σε στήλες που περιέχουν ειδικές συνθετικές ρητίνες, όπου γίνεται η αντικατάσταση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου με ιόντα νατρίου. Η αντίδραση ιονταλλαγής είναι ταχύτερη και συνεχίζεται όσο υπάρχουν στη ρητίνη διαθέσιμες θέσεις ανταλλαγής ιόντων. Όταν όλες οι ενεργές θέσεις κορεστούν από ιόντα ασβεστίου ή μαγνησίου, η ρητίνη δεν δρα πλέον και πρέπει να γίνει αναγέννησής της με τη δράση πυκνού διαλύματος χλωριούχου νατρίου (NaCl). Με την επίδραση αυτή τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου αντικαθίστανται από ιόντα νατρίου και έτσι η ρητίνη μπορεί να δράσει ξανά ως αποσκλήρυντής (Αυλωνίτης, 2013).

Η ικανότητα αποσκλήρυνσης της στήλης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το υλικό πλήρωσης της στήλης, το υλικό κάλυψης για ιοντοανταλλαγή, την ποσότητα υλικού αναγέννησης και τον χρόνο επαφής αναγέννησης. Γενικά, η ικανότητα αποσκλήρυνσης των στηλών ιοντοανταλλαγής κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 100 kg/m^3 (Αυλωνίτης, 2013). Για να εκτιμηθεί η αποδοτικότητα της διαδικασίας υπολογίζεται στο νερό η ολική αλκαλικότητα και η

αλκαλικότητα φαινολοφθαλεΐνης και γίνεται σύγκριση των τιμών τους. Στην περίπτωση που η τιμή της ολικής αλκαλικότητας είναι ίση με τη διπλάσια της δεύτερης, τότε όλα τα όξινα ανθρακικά άλατα μετατράπηκαν σε δυσδιάλυτα ανθρακικά άλατα (Pandya et al., 2012). Αν η διπλάσια τιμή της αλκαλικότητας της φαινολοφθαλεΐνης είναι μεγαλύτερη της ολικής, τότε πάλι όλα τα όξινα ανθρακικά μετατράπηκαν σε δυσδιάλυτα ανθρακικά άλατα, αλλά υπάρχει περίσσεια βάσης και απαιτείται μείωση του pH. Τέλος, αν η ολική αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη, τότε χρειάζεται αύξηση του pH, διότι κάποια όξινα ανθρακικά άλατα δεν καταβυθίστηκαν (McMahon et al., 1992).

5.5 ΚΡΟΚΙΔΩΣΗ-ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗ

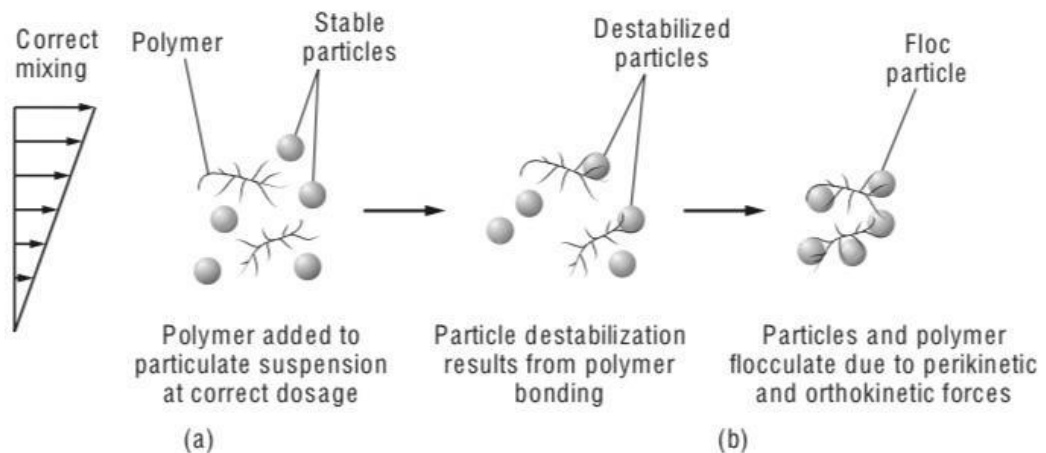
Με τις διαδικασίες αυτές απομακρύνονται αιωρούμενα στερεά μικρού μεγέθους, <10 μm και κολλοειδή μεγέθους 0,001-1,0 μm. Για να καταστεί δυνατή η καταβύθισή τους πρέπει πρώτα να εξουδετερωθεί το φορτίο τους, δηλαδή να υποστούν κροκίδωση (coagulation) και κατόπιν συσσωμάτωση (flocculation) (Αυλωνίτης, 2013). Είναι δύο ξεχωριστές διαδικασίες, που συμβαίνουν συνήθως ταυτόχρονα και επικαλύπτονται.

Πιο συγκεκριμένα, κροκίδωση είναι η μείωση των ηλεκτροστατιστικών δυνάμεων απόθησης μεταξύ των ομοιόμορφα φορτισμένων αιωρούμενων στερεών που περιέχονται στο νερό (Λέκκας, 1996). Το μόριο-στόχος συνήθως είναι φορτισμένο αρνητικά και άρα προσελκύει θετικά ιόντα, σχηματίζοντας μία θετική στοιβάδα, η οποία κινείται μαζί με το μόριο. Συνεπώς, οι απωθητικές δυνάμεις που δημιουργούνται, εμποδίζουν την ένωση των μορίων. Στόχος, λοιπόν, είναι η απώλεια του φορτίου που δεν επιτρέπει στα μόρια να πλησιάζουν το ένα το άλλο μέσω της κροκίδωσης. Είναι μία πολύπλοκη διαδικασία, που περιλαμβάνει τη διάλυση, την υδρόλυση και τον πολυμερισμό.

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τον σχηματισμό συσσωματωμάτων μεγάλου βάρους, στα οποία προσκολλώνται τα αιωρούμενα σωματίδια και καταβυθίζονται λόγω βαρύτητας, διαχωρισμένα από το νερό (Αυλωνίτης, 2013). Σύσσωμάτωση ουσιαστικά ονομάζεται ο μηχανισμός, με τον οποίο προκαλείται η σύγκρουση και η συγκόλληση των αιωρούμενων στερεών στο νερό. Τα μικρά αυτά σωματίδια συνενώνονται προς σχηματισμό μεγαλύτερων, που ονομάζονται κροκίδες, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας καθίζησης και την ευκολότερη απομάκρυνσή τους (Κώττη, 2010). Η ταχύτητα που θα συμβεί αυτό εξαρτάται από τη θολότητα, το pH, το χρώμα και τη σκληρότητα του νερού (Αυλωνίτης, 2013).

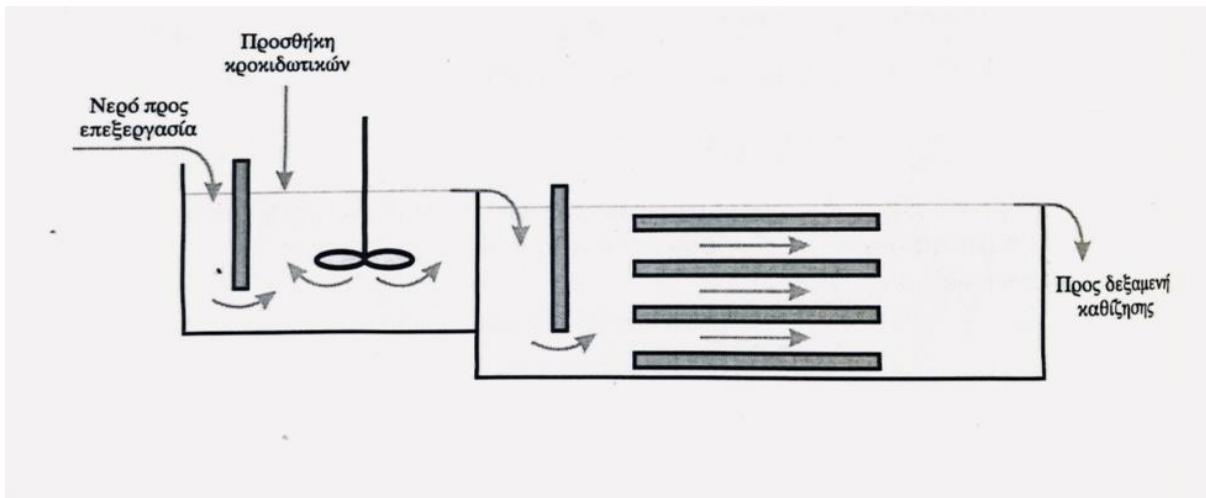
Αρχικά, πραγματοποιείται η προσθήκη κροκιδωτικών, τα οποία οδηγούν στη μείωση των δυνάμεων που παρεμποδίζουν την προσέγγιση και συνένωση των σωματιδίων, με αποτέλεσμα

να σχηματίζονται ορατοί θρόμβοι (Aguilar et al., 2002). Οι πιο συνηθισμένες χημικές κροκιδωτικές ουσίες είναι το θεικό αργίλιο, ο θεικός σίδηρος και ο τριχλωριούχος σίδηρος (Kiely, 1997). Επίσης, τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και κάποια συνθετικά πολυμερή μαζί με τα προηγούμενα (Verma et al., 2012). Τα πολυμερή είναι μόρια μακριάς αλυσίδας, που αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες χημικές μονάδες με δομή σχεδιασμένη να παρέχει συγκεκριμένες φυσικοχημικές ιδιότητες (Crittenden et al., 2023). Το θεικό αργίλιο ($Al_2(SO_4)_3$), το πιο συχνό από τα παραπάνω, είναι αποδοτικό σε pH 5,0-7,8, ο τριχλωριούχος σίδηρος $FeCl_3$ σε pH 4,5 και ο θεικός σίδηρος $Fe_2(SO_4)_3$ σε pH >9,8. Η ανάμειξη αυτών των μέσων με το προς επεξεργασία νερό μπορεί να γίνει είτε με εισροή του κροκιδωτικού στην αναρρόφηση της αντλίας διακίνησης του νερού, είτε με απευθείας προσθήκη και ανάδευση (Αυλωνίτης, 2013). Όταν συμβεί αυτό, οι χημικές ουσίες υδρολύονται και σχηματίζουν αδιάλυτα ιζήματα, εξουδετερώνοντας το φορτίο των σωματιδίων (Εικόνα 5-3) (Crittenden et al., 2023). Τα κροκιδωτικά αγοράζονται συνήθως σε συμπυκνωμένη, υγρή μορφή και η δοσολογία τους εξαρτάται από την ποιότητα του νερού και το pH, κυμαίνεται από 1 έως 50 ppm και προσδιορίζεται μέσω διαδικασίας δοκιμής διάφορων δοσολογιών και αξιολόγησης του αποτελέσματος (Αυλωνίτης, 2006 και Crittenden et al., 2023). Πρέπει να τονιστεί η σημασία της ταχύτητας και της ομοιομορφίας ανάμειξης του κροκιδωτικού με το νερό. Ειδικά για το πόσιμο νερό, όταν χρησιμοποιούνται άλατα ως κροκιδωτικά, η ανάμειξη πρέπει να είναι στιγμιαία (Αυλωνίτης, 2006). Αυτό συμβαίνει, γιατί τα κροκιδωτικά υδρολύονται και αρχίζουν να πολυμερίζονται σε κλάσματα δευτερολέπτου, αφού προστεθούν στο νερό (Hudson & Wolfner, 1967). Επιπρόσθετα, οι δύο αυτές διαδικασίες διαφέρουν και ως προς τον χρόνο, που χρειάζονται για να πραγματοποιηθούν. Η συσσωμάτωση συμβαίνει σε περίοδο μεταξύ 20-45 λεπτών, ενώ η κροκιδωση σε λιγότερο από 10 λεπτά (Crittenden et al., 2023).



Εικόνα 5-3 Σχηματική αναπαράσταση της αποσταθεροποίησης σωματιδίων από πολυμερή (Προσαρμοσμένο από O'Melia, 1972)

Η δεξαμενή κροκίδωσης φέρει οριζόντια ή κατακόρυφα πετάσματα, ώστε το νερό να κινείται ομαλά με μειωμένη ταχύτητα και να επιτυγχάνεται καλύτερη συσσωμάτωση. Η ταχύτητα ροής του νερού πρέπει να είναι μεταξύ 9 και 45 m/h. (Αυλωνίτης, 2013). Μια απλή τομή δεξαμενής κροκίδωσης φαίνεται στην Εικόνα 5-4. Στη συνέχεια, το νερό αφήνεται σε δεξαμενή συνθηκών ηρεμίας, έτσι ώστε να επέλθει η καταβύθιση των συσσωμάτων. Είναι κυκλικές και συνήθως έχουν διάμετρο περίπου 30 m με χωρητικότητα περίπου 300m³ (Aguilar et al., 2002). Οι πυθμένες αυτών των δεξαμενών έχουν μία ελαφριά κλίση προς το κέντρο, ώστε να συγκεντρώνονται εκεί τα συσσωματώματα και να απομακρύνονται πιο εύκολα από το νερό (Matilainen et al., 2010).



Εικόνα 5-4 Δεξαμενή κροκίδωσης (Αυλωνίτης, 2013)

Επιπρόσθετα, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και η ταχύτητα καθίζησης των διάφορων συσσωματωμάτων στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών κροκίδωσης (Πίνακας 5-2), έτσι ώστε η καθίζηση να μην προηγείται νωρίτερα στις δεξαμενές κροκίδωσης, αλλά να πραγματοποιείται στις δεξαμενές καθίζησης.

Πίνακας 5-2 Βασικά στάδια επεξεργασίας πόσιμου νερού (Νταρακάς, 2010)

Είδος συσσωμάτων	Προέλευση	Κροκιδωτικό	Ταχύτητα καθίζησης (m/min)
Εύθραυστες κροκίδες	Αποχρωματισμός	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,04-0,046
Μέτριες κροκίδες	Απομάκρυνση φυκιών	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,066-0,099
Μέτριες κροκίδες	Απομάκρυνση θολότητας	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,079-0,115
Ισχυρές κροκίδες	Οργανική ύλη-στερεά CaCO ₃	Fe ₂ (SO ₄) ₃	0,132-0,218

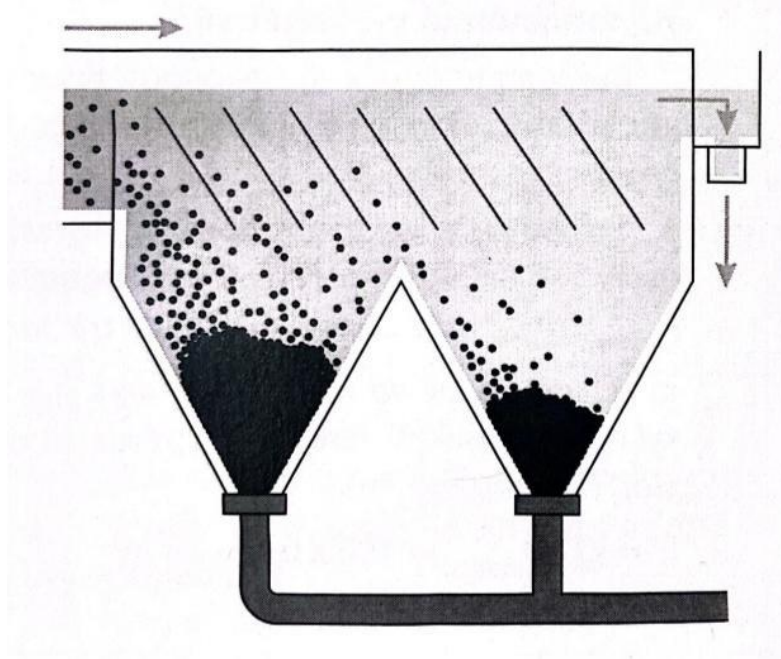
5.6 ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Η διαδικασία της καθίζησης περιλαμβάνει την απομάκρυνση από το νερό όλων των μη απαραίτητων αιωρούμενων στερεών στοιχείων με τη βοήθεια της βαρύτητας (Αυλωνίτης, 2013). Εφαρμόζεται όταν τα στοιχεία αυτά έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό (Μήτρακας, 2001). Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και την προέλευση τους επιλέγεται και η καταλληλότερη μέθοδος καθίζησης. Αναλυτικότερα, εντοπίζονται δύο είδη σωματιδίων, τα διακεκριμένα (discrete particles) και τα θρομβωμένα (flocculating particles). Τα πρώτα διατηρούν τις διαστάσεις τους αμετάβλητες στην πάροδο του χρόνου, ενώ τα δεύτερα προέρχονται από συσσωμάτωση και άρα παρατηρείται αλλαγή του μεγέθους τους (Αυλωνίτης, 2013). Τα διακεκριμένα καθιζάνουν ανάλογα με το μέγεθος και την πυκνότητά τους και δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η καθίζηση πραγματοποιείται μόνο αν η κατακόρυφη κίνηση υπερνικήσει την τυχαία κίνηση των σωματιδίων (Crittenden et al., 2023).

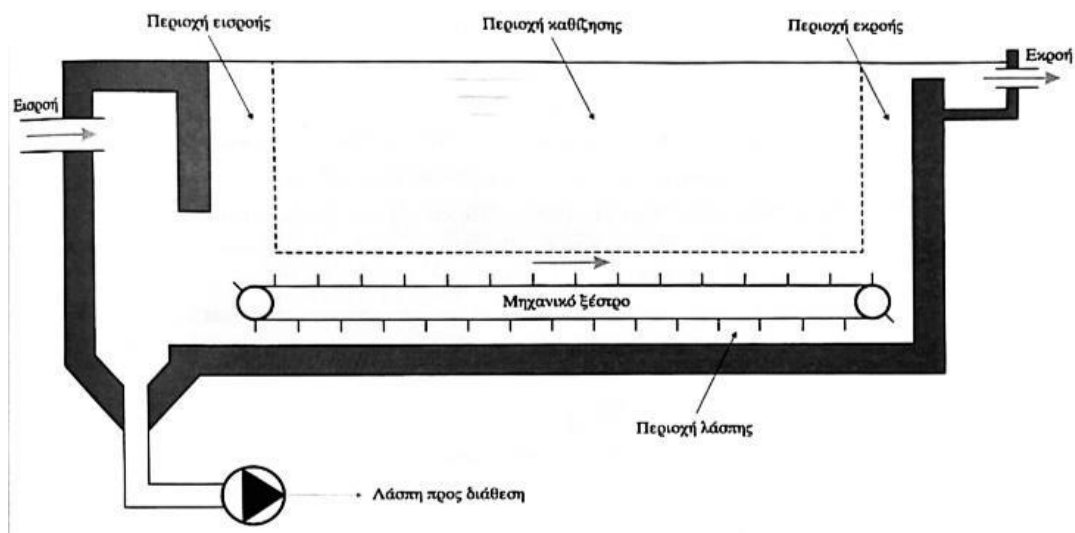
Υπάρχουν τέσσερις μορφές καθίζησης. Αρχικά, η καθίζηση τύπου I προϋποθέτει ότι τα σωματίδια έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτή του νερού. Αφορά μικρές συγκεντρώσεις για σωματίδια που δεν δημιουργούν συσσωματώματα (Κώττη, 20120). Δεύτερον, η τύπου II αφορά σωματίδια που προέρχονται από κροκίδωση και βρίσκονται σε χαμηλή συγκέντρωση. Σε αυτή την κατηγορία παρατηρείται συνεχώς εναλλαγή μεγέθους και σχήματος των στοιχείων, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας της καθίζησης (Αυλωνίτης, 2013). Ο τρίτος τύπος (III) αποκαλείται αλλιώς και καθίζηση κατά ζώνες, γιατί αιωρήματα υψηλών συγκεντρώσεων καθιζάνουν με τέτοιο τρόπο που σχηματίζουν ζώνες. Τέλος, ο τύπος IV ή αλλιώς συμπύκνωση επιλέγεται για υψηλές συγκεντρώσεις συσσωματωμάτων (McDonald et al., 1998).

Το σχήμα των δεξαμενών καθίζησης μπορεί να είναι ορθογώνιο, κυκλικό ή τετράγωνο και κατασκευάζονται συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα (Αυλωνίτης, 2013). Ο πυθμένας είναι κατά κύριο λόγο κωνικός, έτσι ώστε να συλλέγεται σε αυτό το σημείο το ίζημα και να μεταφέρεται ευκολότερα με τη βοήθεια αντλίας (Tarpagkou et al., 2014). Οι κυκλικές δεξαμενές δημιουργούν μεγαλύτερη τύρβη σε σχέση με τις ορθογώνιες και χρησιμοποιούνται συχνότερα, όταν χρειάζεται κροκίδωση (Εικόνα 5-5). Οι ορθογώνιες φέρουν ειδικά πετάσματα, ώστε να υποβοηθηθεί η καθίζηση. Έχουν μήκος τριπλάσιο του πλάτους και 10 έως 20 φορές του βάθους τους. Κάθε ορθογώνια δεξαμενή περιλαμβάνει τέσσερις περιοχές, την περιοχή εισροής, καθίζησης, λάσπης και εκροής (Εικόνα 5-6). Το νερό εισέρχεται από τη μία πλευρά της δεξαμενής και εξέρχεται από την άλλη, ακολουθώντας μια ελικοειδή πορεία (Αυλωνίτης, 2013). Συνήθως οι δεξαμενές καθίζησης θα είναι δύο ή μία μεμονωμένη, αλλά χωρισμένη, ώστε να μπορεί να επιτυγχάνεται η τακτική συντήρηση χωρίς να χρειάζεται να βγει εκτός λειτουργίας ολόκληρη η εγκατάσταση. Η κλίση του πυθμένα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1:300 για να

διασφαλίζεται η κίνηση της λάσπης λόγω βαρύτητας. Αν χρησιμοποιείται μηχανικός εξοπλισμός για την απομάκρυνση της λάσπης, τότε η κλίση πρέπει να ανέρχεται τουλάχιστον στο 1:600 (Crittenden et al., 2023). Οι κυκλικές δεξαμενές διαθέτουν περισσότερες σωληνώσεις, με αποτέλεσμα να διατρέχεται μεγαλύτερος κίνδυνος βραχυκυκλώματος (Crittenden et al., 2023).



Εικόνα 5-5 Δεξαμενή καθίζησης (Αυλωνίτης, 2013)



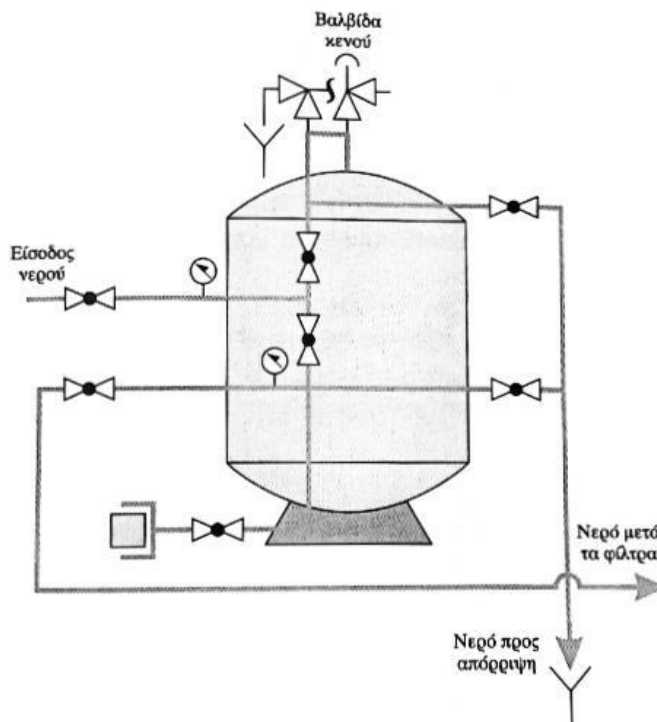
Εικόνα 5-6 Ορθογώνια δεξαμενή καθίζησης (Αυλωνίτης, 2013)

5.7 ΔΙΗΘΗΣΗ

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται η αφαίρεση όλων των υπόλοιπων αιωρημάτων, που δεν αφαιρέθηκαν στις προηγούμενες διεργασίες. Η διήθηση γίνεται με τη χρήση πορωδών υλικών, από τα οποία ρέουν τα υπό επεξεργασία ύδατα και συγκρατούν τα αιωρήματα που

εμπεριέχονται. Στα υλικά αυτά περιλαμβάνονται η πυριτική άμμος, ο ανθρακίτης, η άμμος από γρανάτη και ο ενεργός άνθρακας (O'Melia et al., 1967). Τα σωματίδια αφαιρούνται, αφού προσκολληθούν στους κόκκους των φίλτρων (Crittenden et al., 2023). Αποτελεί το τελικό στάδιο επεξεργασίας καθαρισμού πριν την απολύμανση (Μήτρακας, 2001).

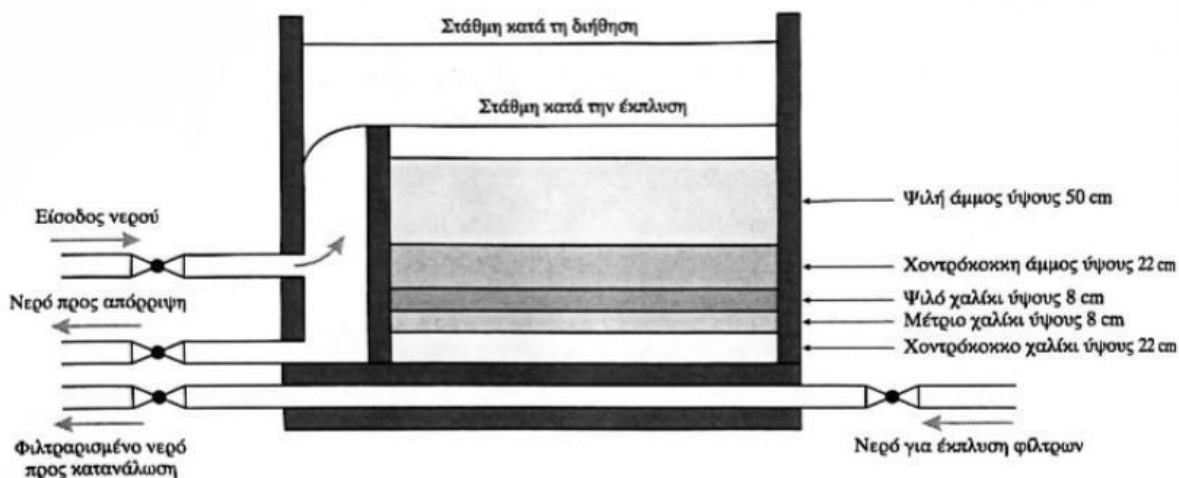
Χωρίζεται σε κατηγορίες με βάση την ταχύτητα ροής του νερού και την αιτία ροής. Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη κατηγορία κατατάσσονται η διήθηση βραδείας ταχύτητας με ταχύτητα < 2 m/h, τα ταχυδιωλιστήρια με ταχύτητα 5-10 m/h και τα υπερταχυδιωλιστήρια με 10-30 m/h. Ο κύκλος ταχείας διήθησης αποτελείται από δύο στάδια, το στάδιο φιλτραρίσματος και το στάδιο αντίστροφης πλύσης, κατά το οποίο το συσσωρευμένο υλικό ξεπλένεται από το σύστημα. Η διαδικασία λειτουργεί ως εξής, αφού γίνει το φιλτράρισμα ανοίγουν οι βαλβίδες παροχής της αντίστροφης πλύσης και νερό, το οποίο είναι πόσιμο και παράγεται από το εργοστάσιο, κατευθύνεται προς τα πάνω μέσω της κλίνης του φίλτρου. Η ανοδική αυτή ροή ξεπλένει όλα τα σωματίδια κι αφού ολοκληρωθεί η πλύση, οι βαλβίδες κλείνουν και το φίλτρο τίθεται και πάλι σε λειτουργία (Crittenden et al., 2023). Στα ταχυδιωλιστήρια, λοιπόν, χρησιμοποιούνται πολυστρωματικά φίλτρα υπό πίεση, τα οποία διαθέτουν σωληνώσεις και βάνες που επιτρέπουν την έκπλυσή τους (Εικόνα 5-7).



Εικόνα 5-7 Πολυστρωματικό Φίλτρο (Αυλωνίτης, 2013)

Συμπληρωματικά, στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα ανοιχτά φίλτρα, που κινούνται με βαρύτητα και τα κλειστά φίλτρα, στα οποία εφαρμόζεται πίεση (Αυλωνίτης, 2013). Η ροή έχει κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω μέσω της βαρύτητας ή της πίεσης (Camp et al., 1964).

Συγκεκριμένα, σε ένα ανοιχτό φίλτρο βαρύτητας το νερό περνάει από διαδοχικά στρώματα διαφορετικής κοκκομετρικής σύστασης, τα οποία αποτελούνται από ψιλή χαλαζιακή άμμο, χοντρόκοκκη χαλαζιακή άμμο, ψιλό χαλίκι, μέτριο χαλίκι και χοντρόκοκκο χαλίκι (Εικόνα 5-8).

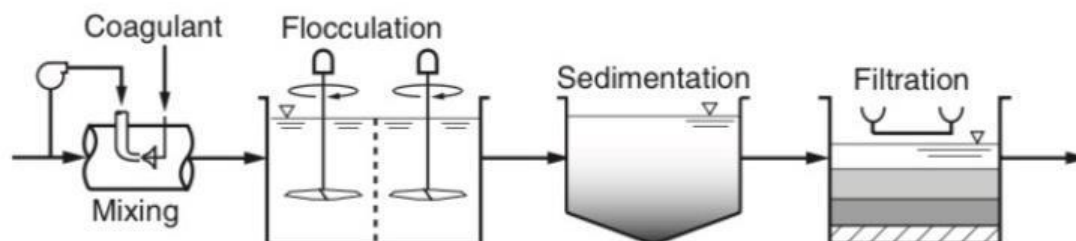


Εικόνα 5-8 Ανοιχτό φίλτρο βαρύτητας (Αυλωνίτης, 2013)

Τα υλικά αυτά μπορούν να βρεθούν στη φύση σε ήδη κοκκώδη σύσταση ή μπορούν να θρυμματιστούν στο επιθυμητό μέγεθος (Crittenden et al., 2023). Το πάχος του κάθε στρώματος ποικίλλει με βάση τον κατασκευαστή (Αυλωνίτης, 2013). Η χρήση της άμμου απομακρύνει τους παθογόνους οργανισμούς, που περιέχονται στο νερό (Kiely, 1997). Η διήθηση τέτοιου τύπου επηρεάζεται από τις ιδιότητες του μέσου του φίλτρου, όπως το μέγεθος των κόκκων, την πυκνότητα, το σχήμα και τη σκληρότητά του. Το κύριο πλεονέκτημα ενός συστήματος φιλτραρίσματος υπό πίεση είναι ότι το νερό παραμένει συνεχώς υπό πίεση, οπότε τα λύματα που παράγονται δεν χρειάζονται πρόσθετες εγκαταστάσεις άντλησης για να απομακρυνθούν. Αντίθετα, ένα μειονέκτημα που παρουσιάζουν είναι ότι η παρακολούθηση της διαδικασίας είναι δύσκολη, οπότε μία πιθανή αναποτελεσματικότητα του φίλτρου είναι πιο σπάνιο να παρατηρηθεί εγκαίρως (Crittenden et al., 2023). Επίσης, τα φίλτρα πρέπει να καθαρίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η ικανότητα καθαρισμού τους καθορίζεται από τις στρώσεις των υλικών και από την ταχύτητα ροής του νερού. Η ταχύτητα ροής για έναν ικανοποιητικό καθαρισμό είναι μικρότερη των 10 m/h (Αυλωνίτης, 2013). Μελέτες υποστηρίζουν ότι το 90% των σωματιδίων, που διέρχονται από ένα φίλτρο που λειτουργεί καλά, το κάνουν στην αρχή της διήθησης (Amirtharajah, 1998). Ο έλεγχος ροής είναι σημαντικό κομμάτι οποιουδήποτε συστήματος φίλτρων (Cleasby & Logsdon, 1999).

Συμπερασματικά, στις περισσότερες περιπτώσεις των επιφανειακών υδάτων οι βασικές διεργασίες που πραγματοποιούνται τις περισσότερες φορές, αν όχι πάντα, είναι η κροκίδωση, η συσσωμάτωση, η καθίζηση και η διήθηση (Εικόνα 5-9).

Conventional filtration.



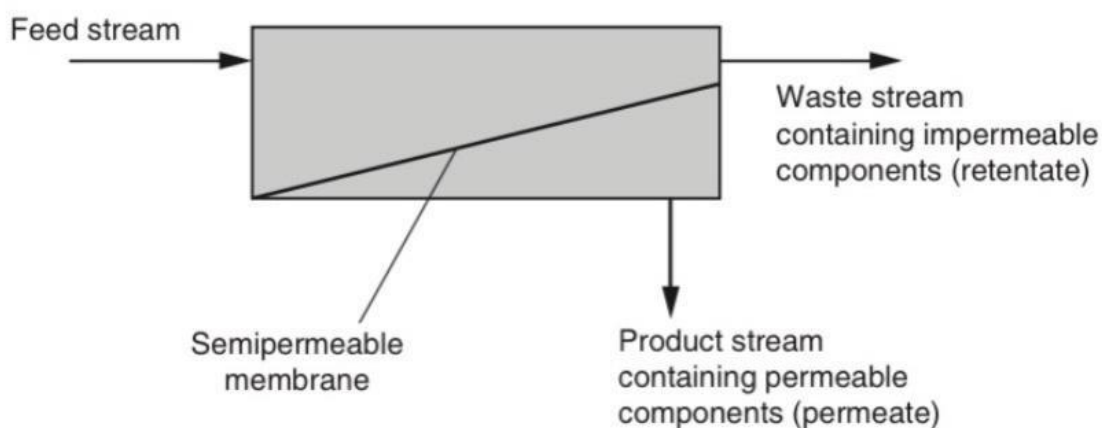
Εικόνα 5-9 Βασικές διεργασίες επεξεργασίας νερού (Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023)

Φίλτρα ενεργού άνθρακα. Τα φίλτρα ενεργού άνθρακα (activated carbon filters) χρησιμοποιούνται κυρίως για την απομάκρυνση διαλυτών οργανικών ενώσεων, εντομοκτόνων, φυτοφαρμάκων, χρωστικών και ουσιών, που προσδίδουν οσμή στο νερό. Ο ενεργός άνθρακας παράγεται με φυσικές ή χημικές διεργασίες από υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, όπως ανθρακίτης, λιγνίτης, τύρφη και ξύλο. Στη φυσική ενεργοποίηση οι ουσίες που περιέχουν τον άνθρακα πυρολύονται σε υψηλή θερμοκρασία (800-1.000 °C) σε αναερόβιες συνθήκες. Επίσης, μπορεί να προκληθεί και με ατμοσφαιρική οξείδωση σε θερμοκρασίες 600-1.200 °C. Από την άλλη πλευρά, στη χημική ενεργοποίηση το υλικό έρχεται σε επαφή με οξέα, βάσεις ή άλατα, όπως φωσφορικό οξύ, υδροξείδιο του καλίου και χλωριούχο ψευδάργυρο αντίστοιχα και θερμαίνεται σε θερμοκρασίες 450-900 °C. Ο ενεργός άνθρακας μπορεί να έχει τη μορφή σκόνης (powdered activated carbon, PAC) ή κόκκων (granular activated carbon, GAC). Επιπρόσθετα, εκτός από τα αιωρούμενα στοιχεία ο ενεργός άνθρακας έχει την ικανότητα να προσροφάει και το χλώριο (Αυλωνίτης, 2013). Οπότε χρησιμοποιείται και ως μέθοδος αφαίρεσης των παραπροϊόντων της χλωρίωσης (Crittenden et al., 2023). Όταν το φίλτρο κορεστεί, πρέπει να γίνει αντικατάσταση ή αναγέννηση του άνθρακα (Αυλωνίτης, 2013).

5.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Τις τελευταίες δεκαετίες οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την κατεργασία του νερού. Η διήθηση με μεμβράνες παρουσιάζει βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη χρήση απλών φίλτρων (Rautenbach et al., 1997). Τα κυριότερα είναι ότι δεν απαιτούνται εγκαταστάσεις μεγάλου χώρου, γίνεται μικρότερη χρήση χημικών πρόσθετων, η απομάκρυνση

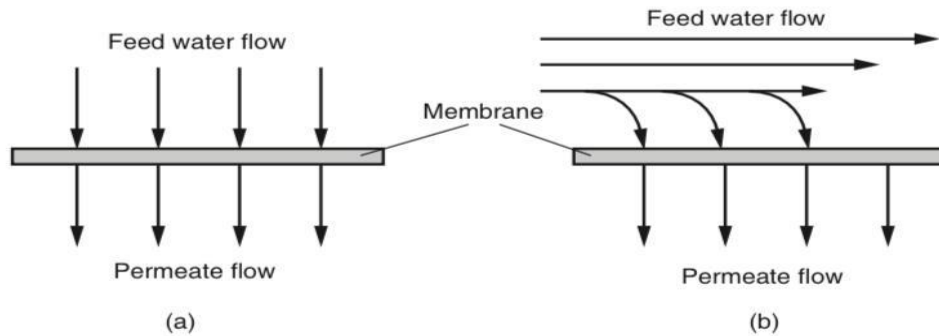
των μικροοργανισμών και των πολύ μικρών σε μέγεθος συστατικών είναι πιο ενδεδειγμένη, υπάρχει δυνατότητα αυτοματοποίησης και εύκολης λειτουργίας και γενικότερα προκύπτει νερό καλύτερης ποιότητας (Fane et al., 2011). Ωστόσο, διαθέτει σημαντικά μειονεκτήματα, όπως το υψηλό κόστος και τη μεγάλη κατανάλωση ενέργειας (Νταρακάς, 2010). Η χρήση τους στηρίζεται στις ημιδιαπερατές ιδιότητές τους και την αντιστροφή του φαινομένου της ώσμωσης. Επεξηγηματικά, το νερό μπορεί να τις διαπεράσει, όχι όμως τα συστατικά που παρασύρει μαζί του (Αυλωνίτης, 2013). Στην εικόνα 5-10 φαίνεται ο διαχωρισμός των διαπερατών συστατικών και των αποβλήτων, δηλαδή των αδιαπεράτων στοιχείων σε μία ημιδιαπερατή μεμβράνη. Το νερό που διέρχεται τη μεμβράνη ονομάζεται διαπερατό (permeate), ενώ το νερό που παραμένει στην πλευρά τροφοδοσίας συγκρατούμενο (retentate) (Crittenden et al., 2023).



Εικόνα 5-10 Σχηματική απεικόνιση του διαχωρισμού σε ημιδιαπερατή μεμβράνη (Crittenden et al., 2023)

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μία διαδικασία, με την οποία ο διαλύτης ενός διαλύματος μεταφέρεται και διαχωρίζεται από τα συστατικά μέσω μεμβράνης με την άσκηση πίεσης. Ειδικότερα, ασκώντας εξωτερική πίεση με τη βοήθεια ενός εμβόλου στη μεριά του διαλύματος, το νερό κινείται από το διάλυμα προς τον διαλύτη. Το διάλυμα τροφοδοσίας διαχωρίζεται σε δύο μέλη, σε εκείνο που διέρχεται από τη μεμβράνη, δηλαδή το καθαρό παραγόμενο νερό και στο απορριπτόμενο διάλυμα με την άλμη ή το συμπύκνωμα (Αυλωνίτης, 2013). Όσο μικραίνει το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών, τόσο αυξάνεται η απαιτούμενη πίεση (Κώττη, 2010). Προσοχή πρέπει να δίνεται στην ένταση της πίεσης εισροής του ύδατος, διότι η υψηλή πίεση μπορεί να επιδεινώσει την πιθανή ρύπανση (Cheryan, 1998). Η ρύπανση θεωρείται από τα σημαντικότερα ζητήματα, που επηρεάζει τον σχεδιασμό και τη λειτουργία εγκαταστάσεων διήθησης με μεμβράνες (AWWA, 1992, 1998, 2005a). Εμφανίζεται με τρεις μορφές, απόφραξη των πόρων της μεμβράνης, στένωση των πόρων περιβάλλοντάς τους και σχηματισμός επιφανειακού επιστρώματος (Crittenden et al., 2023). Όπως και τα συμβατικά φίλτρα διήθησης, έτσι και οι μεμβράνες λειτουργούν σε δύο στάδια, το στάδιο του φιλτραρίσματος και το στάδιο

της έκπλυσης (Crittenden et al., 2023). Η ταχύτητα ροής του προς επεξεργασία νερού μπορεί να είναι κάθετη ή παράλληλη στη μεμβράνη (Εικόνα 5-11). Η παράλληλη ροή μειώνει την ανάπτυξη επιφανειακού επιστρώματος κι έτσι το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει κάνοντας αντίστροφη έκπλυση σε μεγαλύτερη χρονική απόσταση (Wiesner & Chellam, 1992).



Εικόνα 5-11 Κάθετη και παράλληλη ροή στις μεμβράνες (Crittenden et al., 2023)

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μεμβρανών μπορεί να είναι οργανικά, όπως πολυμερή ή ανόργανα, όπως κεραμικά υλικά. Συγκεκριμένα για την επεξεργασία νερού συνήθως προτιμώνται μεμβράνες, που προέρχονται από πολυαιθεροσουλφόνη, πολυακρilonιτρίλιο και πολυσουλφόνη (Ersahin et al., 2012). Το ιδανικό υλικό είναι αυτό που μπορεί να παράγει υψηλή ροή χωρίς φράξιμο ή ρύπανση και είναι ανθεκτικό. Γενικά τα υδρόφοβα υλικά τείνουν να είναι πιο ευαίσθητα στην ρύπανση σε σχέση με τα υδρόφιλα (Laine et al., 1989 και Cheryan, 1998). Δυστυχώς, οι χημικές ιδιότητες που βελτιώνουν την υδροφιλία, μειώνουν παράλληλα τη χημική, μηχανική και θερμική σταθερότητα, επειδή τα μόρια του νερού δρουν ως πλαστικοποιητές για τα υδρόφιλα υλικά (Anselme & Jacobs, 1996).

Οι μεμβράνες κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες με βάση την ικανότητα απόρριψης διαλυμένων ή αιωρούμενων συστατικών. Αρχικά, στη μικροδιήθηση (microfiltration, MF) το μέγεθος των απορριπτόμενων είναι 1-0,1 μm και αφορά αιωρούμενα στερεά. Μία ακόμη κατηγορία είναι η υπερδιήθηση (ultrafiltration, UF), που απορρίπτει μεγαλομόρια μεγέθους 0,3-0,01 μm και η νανοδιήθηση (nanofiltration, NF) δισθενή άλατα, μικροοργανισμούς και υδατάνθρακες μεγέθους 0,01-0,001 μm . Τέλος, όταν ο στόχος είναι η απομάκρυνση αλάτων μεγέθους 0,001-0,0001 χρησιμοποιείται η αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis, RO) (Αυλωνίτης, 2013).

5.8.1. Μικροδιήθηση

Η κυριότερη χρήση της μικροδιήθησης αφορά την επεξεργασία του πόσιμου νερού. Εκτός από το νερό, όμως, εφαρμόζεται και στη διύλιση χυμών, κρασιού, μπύρας, στις διεργασίες ζύμωσης και την ανάκτηση καταβυθισμένων μετάλλων (Κώττη, 2010). Μπορεί να ακολουθηθεί από νανοδιήθηση ή αντίστροφη ώσμωση για καλύτερα αποτελέσματα. Ειδικά αν το προς επεξεργασία διάλυμα είναι θαλασσινό, υφάλμυρο νερό ή παραγόμενο από μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, η μικροδιήθηση αποτελεί προκατεργασία της αντίστροφης ώσμωσης, που χρησιμοποιείται στην αφαλάτωση. Η συνηθισμένη πίεση που ασκείται σε αυτήν την κατηγορία είναι 2 bar (Αυλωνίτης, 2013).

5.8.2. Υπερδιήθηση

Στην υπερδιήθηση η πίεση που ασκείται είναι χαμηλή μεταξύ 0,5-5 bar.. Οι πόροι, που βρίσκονται στην επιφάνεια των μεμβρανών, έχουν μέγεθος μικρότερο από 0,01 μm. Χρησιμοποιείται επίσης στην επεξεργασία πόσιμου νερού. Η απόρριψη των διαφόρων ουσιών του νερού στηρίζεται στην τιμή αποκλεισμού μοριακού βάρους (molecular weight cutoff, MWCO) της μεμβράνης. Η τιμή MWCO υποδηλώνει τις ουσίες, που σε ποσοστό 90%, απορρίπτονται από τη μεμβράνη. Η χημική σύσταση των μεμβρανών υπερδιήθησης αποτελείται από άμορφα πολυμερή, όπως πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, τεφλόν, οξική κυτταρίνη, πολυσουλφόνη, πολυβινυλαλκοόλη, πολυακρυλονιτρίλιο και κεραμικά υλικά. Βέβαια, οι συνηθέστερες είναι οι μεμβράνες πολυσουλφόνης. Οι περισσότερες είναι υδρόφοβες και δεν πρέπει να αφήνονται να στεγνώνουν, διότι καταστρέφονται οι ιδιότητές τους, οπότε οι εγκαταστάσεις πρέπει να διαθέτουν συστήματα έκπλυσης μεμβρανών (Αυλωνίτης, 2013).

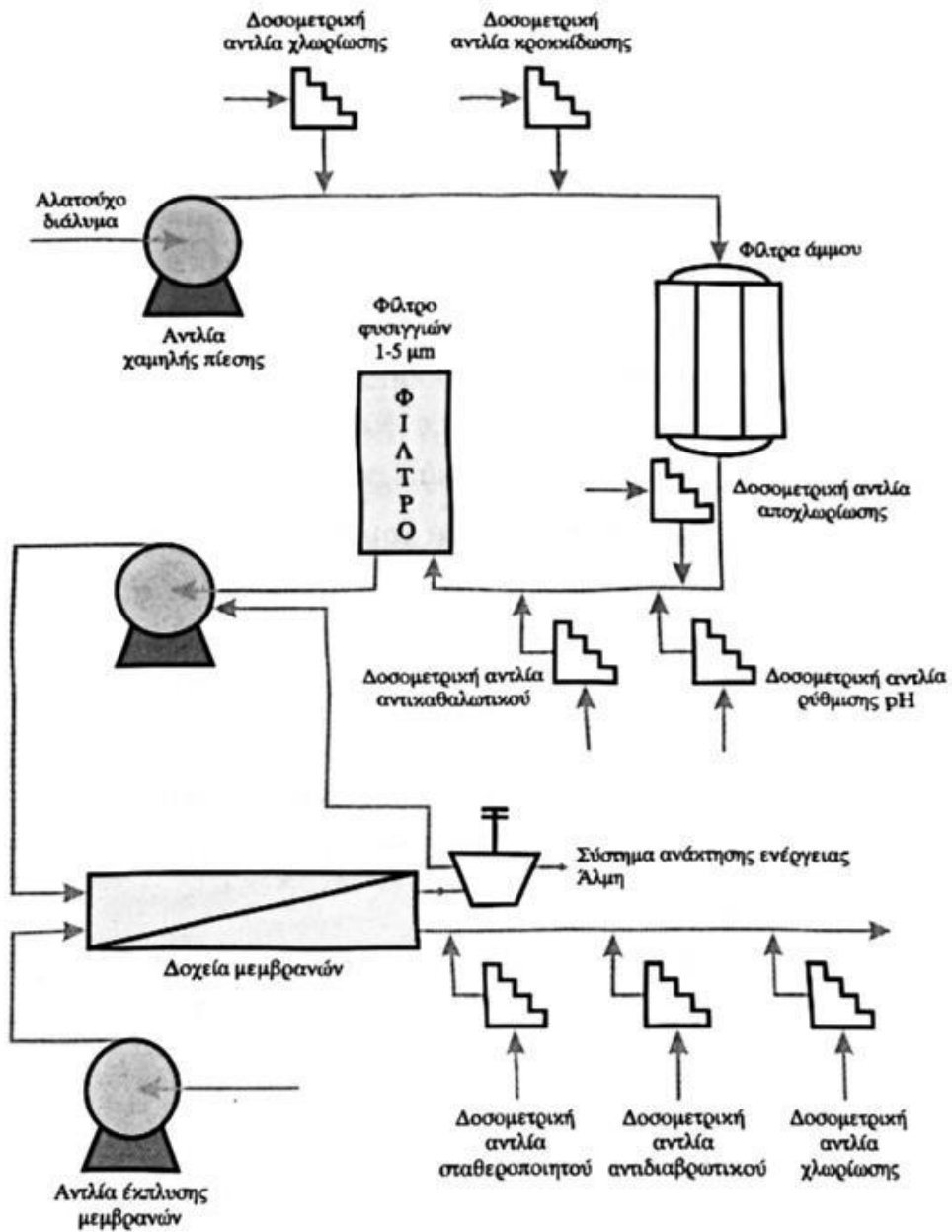
5.8.3. Νανοδιήθηση

Η νανοδιήθηση είναι πιο πρόσφατη από τις δύο προηγούμενες τεχνικές. Το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών της είναι μεταξύ 0,5-2,0 nm και η πίεση λειτουργίας της φτάνει μέχρι 15 bar (Νταρακάς, 2010). Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφαλάτωση θαλασσινών υδάτων, καθώς το ποσοστό απόρριψης των μονοσθενών αλάτων κυμαίνεται στο 30-70%. Απεναντίας, χρησιμεύει στην αποσκλήρυνση και τη βελτίωση της αλατότητας του νερού (Αυλωνίτης Σ.). Έχει την ικανότητα να αφαιρεί το 80-95% των δισθενών ιόντων, όπως αυτών που οφείλονται για την σκληρότητα των υδάτων. Λειτουργεί με βάση το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης (Crittenden et al., 2023).

5.8.4. Αντίστροφη ώσμωση

Στην αντίστροφη ώσμωση οι πόροι των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται έχουν μέγεθος < 1 nm, με αποτέλεσμα να επιτρέπουν τη διέλευση μόνο των μορίων του νερού. Η πίεση που απαιτείται μπορεί να φτάσει και τα 100 bar. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις υφάλμυρων ή θαλασσινών υδάτων (Κώττη, 2010). Είναι μία μέθοδος αντιστροφής της φυσικοχημικής διεργασίας της ώσμωσης, κατά την οποία η εφαρμοσμένη πίεση υπερβαίνει την οσμωτική πίεση του υδατικού διαλύματος, με αποτέλεσμα να εξαναγκάζεται η διέλευση του καθαρού νερού μέσω των μεμβρανών χωρίς τα διαλυτά συστατικά του (Νταρακάς, 2010). Η διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Πρώτα, το προς επεξεργασία νερό διαλύεται στο δραστικό τμήμα της εξωτερικής επιφάνειας της μεμβράνης και στη συνέχεια διαχέεται στο πορώδες υπόστρωμα μέχρι να εξέλθει από το άλλο άκρο της μεμβράνης (Αυλωνίτης, 2013). Επιπλέον, μία πρόσθετη χρήση της RO είναι η αφαίρεση ειδικών ρύπων, όπως μεγαλύτερων συνθετικών οργανικών ουσιών, για παράδειγμα τα φυτοφάρμακα (Baier et al., 1987).

Ένα σύστημα παραγωγής αφαλατωμένου νερού με αντίστροφη ώσμωση αποτελείται από τρία κυρίως μέρη, το σύστημα προκατεργασίας νερού, το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης και το σύστημα μετεπεξεργασίας νερού. Αναλυτικότερα η προκατεργασία μπορεί να περιλαμβάνει τη χλωρίωση, την κροκίδωση, την κατεργασία με πολυστρωματικά φίλτρα, την αποχλωρίωση και τη ρύθμιση pH. Επίσης, η κυρίως κατεργασία περιλαμβάνει αντλία χαμηλής και υψηλής πίεσης, στοιχεία αντίστροφης ώσμωσης και σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Τέλος, η μετεπεξεργασία αποτελείται από τη ρύθμιση του pH, τη ρύθμιση της σκληρότητας και τη χλωρίωση (Αυλωνίτης, 2013). Μία πλήρης εγκατάσταση αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση φαίνεται στην Εικόνα 5-12.



Εικόνα 5-12 Διάγραμμα μονάδας επεξεργασίας νερού με αντίστροφη ώσμωση (Αυλωνίτης, 2013)

6 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η απολύμανση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες κατεργασίες που υφίσταται το νερό. Στη διαδικασία αυτή μικροοργανισμοί, που δεν έχουν απομονωθεί με τις προηγούμενες διαδικασίες, μειώνονται ή αδρανοποιούνται (Droste, 1997). Η απολύμανση πρέπει να διαχωρίζεται από την αποστείρωση, καθώς η πρώτη στοχεύει στην εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών, αλλά με τη διατήρηση όσων δεν επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία, ενώ η δεύτερη στοχεύει στην καταστροφή όλων των ζωντανών οργανισμών που υπάρχουν στο νερό (Κώττη, 2010). Η απολύμανση του πόσιμου νερού είναι αναγκαίο να γίνεται στους χώρους αποθήκευσής του, αλλά και στα δίκτυα διανομής του. Επίσης, το νερό, που προέρχεται από κατεργασμένα λύματα, μπορεί να διατίθεται στους φυσικούς πόρους (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες) μόνο αφού έχει προηγηθεί απολύμανση (Αυλωνίτης, 2013).

Ένα σύστημα απολύμανσης θα πρέπει να έχει τους εξής στόχους:

- την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών
- την ικανοποίηση των προδιαγραφών για τις επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των συστατικών και των παραπροϊόντων απολύμανσης που τίθενται από τη νομοθεσία του κάθε κράτους
- τη χαμηλή δραστηριότητα των ουσιών που περιέχονται στο νερό
- το χαμηλό κόστος λειτουργίας
- τις μικρές απαιτήσεις συντήρησης των εγκαταστάσεων
- το μηδενικό κίνδυνο της χρήσης
- τη διατήρηση της απαιτούμενης συγκέντρωσης απολυμαντικού στο δίκτυο διανομής (Τσώνης, 2003).

Τα περισσότερα απολυμαντικά είναι και οξειδωτικά σώματα και ουσίες. Η δράση τους εστιάζει στη μεταβολή της χημικής σύστασης των ενζύμων που είναι υπεύθυνα για τον μεταβολισμό των παθογόνων μικροοργανισμών. Δηλαδή, παρεμποδίζουν τον μεταβολισμό τους. Σε γενικές γραμμές, όταν αντιδρούν αυτά τα οξειδωτικά απολυμαντικά απελευθερώνουν ατομικό οξυγόνο, το οποίο οξειδώνει τα συστατικά του πρωτοπλάσματος των κυττάρων και τελικά προκαλεί την καταστροφή τους (Αυλωνίτης, 2013).

6.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ

Η ανακάλυψη του αέριου χλωρίου έγινε από τον Σουηδό χημικό Sheele το 1774, όταν παρατήρησε την αντίδραση του διοξειδίου του μαγγανίου με το υδροχλωρικό οξύ. Όμως, ως χημικό στοιχείο αναγνωρίστηκε λίγα χρόνια αργότερα, το 1808, από τον Humphrey Davy. Η

πρώτη του χρήση ως μέσο απολύμανσης έγινε στη Γαλλία το 1825, όπου το αέριο χλώριο διαλυόταν σε αλκαλικό διάλυμα καλίου. Έπειτα, το 1831 χρησιμοποιήθηκε γενικά στην Ευρώπη έναντι της επιδημίας της χολέρας (AWWA, 1999). Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα πραγματοποιήθηκε η ηλεκτρολυτική παραγωγή του χλωρίου και του υποχλωριώδους οξέος, με αποτέλεσμα την επέκταση της χλωρίωσης (AWWA, 1999). Για πολύ καιρό όμως δεν ήταν διαδεδομένη η απολύμανση ως διαδικασία επεξεργασίας υδάτων. Αντ' αυτού χρησιμοποιούσαν δύο μέσα για τον έλεγχο των ασθενειών που διαδίδονταν με το νερό, την αποφυγή χρήσης νερού που εκτίθενται σε κόπρανα και τη διήθηση μέσω άμμου, με τη δεύτερη να μην είναι πάντα αποτελεσματική. Τελικά ο George W. Fuller το 1897 απέδειξε ότι για να λειτουργήσει σωστά η διήθηση, προϋπόθεση αποτελεί η διαδικασία της κροκίδωσης (Crittenden et al., 2023). Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι ακόμα και με την κροκίδωση, η διήθηση από μόνη της δεν ήταν μία σταθερά επιτυχημένη μέθοδος για την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών (Whipple, 1906 και Johnson, 1911) και έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για την εύρεση κάποιας πιο αποτελεσματικής. Οπότε, το 1908 ξεκίνησε η συστηματική απολύμανση με χλώριο στο Boonton με την τροφοδοσία στερεού υποχλωριώδους ασβεστίου (Crittenden et al., 2023). Ένα χρόνο μετά άρχισε η παρασκευή υγρού χλωρίου στη Νέα Υόρκη, καθιστώντας τη συνεχή χλωρίωση σε μεγάλη κλίμακα πιο εφικτή (Cheremisinoff, 1995). Η πρώτη εγκατάσταση επεξεργασίας νερού, που χρησιμοποιούσε υγρό χλώριο σε μόνιμη βάση, ήταν στη Φιλαδέλφεια της Αμερικής το 1913. Μέχρι τη δεκαετία του 1940 η απολύμανση με χλώριο είχε ευρέως διαδοθεί (Crittenden et al., 2023).

Στην Ολλανδία οι ερευνητές απέδειξαν ότι το ελεύθερο χλώριο αντιδρά με την οργανική ύλη που περιέχεται στα ύδατα και παράγει επιβλαβή προϊόντα (Bellar & Lichtenberg, 1974 και Rook, 1974). Πολλοί καταναλωτές εξέφρασαν τη δυσαρέσκειά τους για το χλώριο για αισθητικούς λόγους γεύσης και οσμής και επειδή δεν επιθυμούσαν την πόση ενός χημικού που μπορεί να παράγει τοξικές ουσίες. Οι έρευνες τότε στράφηκαν προς το Όζον και το 1893 χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία νερού για πρώτη φορά στο Oudshoorn της Ολλανδίας, ενώ το 1906 κατασκευάστηκε στη Νίκαια της Γαλλίας η πρώτη μονάδα επεξεργασίας υδάτων με χρήση όζοντος (Bryant et al., 1992). Σύντομα, τη δεκαετία 1960-1970, χρησιμοποιήθηκε από πολλές χώρες της Ευρώπης (Crittenden et al., 2023). Αργότερα μάλιστα, τη δεκαετία του 1980 δύο πρωτόζωα ήρθαν στην επιφάνεια και απέδειξαν ότι η χλωρίωση δεν είναι τόσο αποτελεσματική σε όλους τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Αυτά ήταν τα *Giardia lamblia* και *Cryptosporidium parvum*, που εμφανίζουν σημαντική ανθεκτικότητα στο χλώριο και απαιτούν ειδικά μέτρα προφύλαξης (Crittenden et al., 2023). Σήμερα, εντοπίζονται σε όλο τον πλανήτη περισσότερες από 2.000 εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν το όζον ως απολυμαντικό, από τις οποίες οι περισσότερες βρίσκονται στην Ευρώπη (Bryant et al., 1992).

Συγχρόνως, κάποιοι ερευνητές είχαν στρέψει την προσοχή τους προς την υπεριώδη ακτινοβολία. Το 1887 ανακαλύφθηκε η μικροβιοκτόνος δράση του ηλιακού φωτός από τους Downes και Blunt, ενώ το 1901 ολοκληρώθηκε η ανάπτυξη των λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας (AWWA, 1999). Η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος απολύμανσης ήταν στη Γαλλία το 1910 και μετά στη Σουηδία και την Αυστρία το 1955 (U.S. EPA, 2003). Σήμερα στην Ευρώπη πάνω από 2.000 μονάδες επεξεργασίας νερού τη χρησιμοποιούν ως μέθοδο απολύμανσης και στην Αμερική γύρω στις 1.000 (AWWA, 1999). Επιπρόσθετα, η δραστηριότητα της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία UV φαίνεται να είναι της ίδιας τάξης με της χλωρίωσης με πλεονέκτημα ότι αδρανοποιεί και το *Giardia lamblia* (Stolarik et al., 2001) και *Cryptosporidium parvum* (Craik et al., 2001).

Από εκείνη την εποχή νέες διαδικασίες επεξεργασίας και απολύμανσης νερού έρχονται στο προσκήνιο. Οι μεμβράνες για παράδειγμα, που αναφέρθηκαν και παραπάνω, έχουν τέτοια αποτελεσματικότητα στην αφαίρεση παθογόνων μικροοργανισμών, που συγκρίνονται με την αδρανοποίηση των βακτηρίων που επιτυγχάνεται μέσω της χλωρίωσης (Jacangelo et al., 1989).

6.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΛΥΜΑΝΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Για να είναι δραστική μία απολυμαντική ουσία πρέπει να έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία είναι τα εξής (Cheremisinoff, 1995 και Droste, 1997):

- Αποτελεσματική στην αδρανοποίηση των μικροοργανισμών
- Μη τοξική για τους ανθρώπους και τα ζώα
- Μη τοξική για τα υδατικά οικοσυστήματα
- Χαμηλό κόστος
- Δράση σε μεγάλο εύρος θερμοκρασίας και pH
- Δράση και στη διεργασία της ανάμειξης
- Εύκολη παρακολούθηση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της απολύμανσης.

Τα απολυμαντικά στοχεύουν στην καταστροφή του κυτταρικού τοιχώματος, τη μεταβολή της διαπερατότητας των κυττάρων, ώστε τα θρεπτικά συστατικά να μην μπορούν να διαπεράσουν τη μεμβράνη και την παρεμπόδιση της σύνθεσης πρωτεϊνών, πυρηνικών οξέων, κυτταρικής μεμβράνης και της δράσης των ενζύμων (Cheremisinoff, 1995). Βέβαια, δεν είναι απαραίτητο ένα απολυμαντικό να διαθέτει όλους τους παραπάνω μηχανισμούς δράσης. Οι πιο αποτελεσματικοί, όμως, είναι η καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης και η παρεμπόδιση των κυτταρικών λειτουργιών.

Η δράση τους εξαρτάται από το είδος και τη συγκέντρωση του ίδιου του απολυμαντικού, από το είδος των μικροοργανισμών, τον χρόνο επαφής και διάφορα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, όπως το pH, η θολότητα, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση διαλυμένων στερεών (Μήτρακας, 2001).

6.3 ΚΥΡΙΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ

Υπάρχουν πλέον αρκετές τεχνικές και μέθοδοι απολύμανσης του νερού. Όλες κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, τις μη χημικές και τις χημικές. Στην πρώτη κατηγορία συμπεριλαμβάνονται η υπεριώδης ακτινοβολία UV, η αποστειρωτική διήθηση και σε πιο περιορισμένη έκταση ο βρασμός και η ραδιενεργή ακτινοβολία. Ακόλουθα, οι χημικές μέθοδοι αποτελούνται από τα υποχλωριώδη άλατα (NaOCl , Ca(OCl)_2), το χλώριο (Cl_2), το διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2) και το όζον (O_3) (Αυλωνίτης, 2013), με το όζον να είναι το πιο ισχυρό. Το ελεύθερο χλώριο ήταν το πιο κοινό μέσο για πολλά χρόνια, αν και τελευταία η χρήση του έχει αρχίσει να μειώνεται και να αντικαθίσταται από άλλες μεθόδους (Crittenden et al., 2023).

Η ΚΥΑ Α5/288/23-1-86, στο άρθρο 6, καθορίζει ότι οι χημικές ουσίες, που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους απολύμανσης, δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα προκαθορισμένα ανώτερα όρια, ώστε να μην θεωρούνται επιβλαβείς για την υγεία των καταναλωτών. Επιπρόσθετα, το άρθρο 1 της υπουργικής απόφασης 5673/4-12-57 υποχρεώνει την απολύμανση ως διαδικασία επεξεργασίας νερού για οικισμούς άνω των 3.000 κατοίκων με δαπάνες του παρόχου (Αυλωνίτης, 2013).

6.3.1. Χλωρίωση

Η χλωρίωση είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος απολύμανσης του πόσιμου νερού. Όταν η μέθοδος χρησιμοποιείται σωστά, είναι επιτυχής η αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, ιοί, πρωτόζωα και σκώληκες. Το χλώριο είναι μία αρκετά δραστική ουσία. Όταν προστεθεί στο νερό, θα αντιδράσει πρώτα με τις συνήθεις ανόργανες ενώσεις που βρίσκονται σε αυτό, όπως το υδρόθειο και τα ιόντα σιδήρου και μαγγανίου. Σε αυτή τη φάση δεν πραγματοποιείται απολύμανση, ωστόσο μέρος του χλωρίου καταναλώνεται λόγω αυτών των αντιδράσεων, το οποίο ονομάζεται απαιτούμενο χλώριο (chlorine demand). Καθώς προστίθεται περισσότερη ποσότητα, αντιδρά με αμμωνία και οργανική ύλη, σχηματίζοντας τις χλωραμίνες (NH_2Cl , NHCl_2 , NCl_3), οι οποίες έχουν επίσης απολυμαντική δράση πιο περιορισμένης, όμως, κλίμακας (Αυλωνίτης, 2013). Οι χλωραμίνες, επίσης, δεν προκαλούν εύκολα οσμή στο νερό (Krasner & Barrett, 1983) και είναι πιο σταθερά μόρια (Trussell & Krefl, 1984). Η κύρια

απολύμανση γίνεται στο επόμενο στάδιο, που προστίθεται κι άλλη ποσότητα χλωρίου. Το σημείο, στο οποίο έχει χρησιμοποιηθεί όλο το απαιτούμενο χλώριο, ονομάζεται σημείο διακοπής (breakpoint). Τέλος, το υπολειπόμενο χλώριο (chlorine residual) αναφέρεται στην επιπλέον ποσότητα, που εμφανίζεται με τη μορφή των HClO και OCl^- . Περιλαμβάνει το ελεύθερο χλώριο (free chlorine), δηλαδή εκείνο που παραμένει στη δεξαμενή ή το δίκτυο, ώστε να δράσει σε πιθανή επανεμφάνιση των παθογόνων μικροοργανισμών, και τις χλωραμίνες, δηλαδή το δεσμευμένο χλώριο (combined chlorine). Συνεπώς, η συγκέντρωση του χλωρίου πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην καταναλώνεται ολόκληρο στα πρώτα στάδια, αλλά να περισσεύει και στο τέλος της διαδικασίας ως ελεύθερο (Αυλωνίτης, 2013).

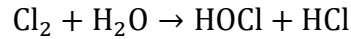
Η χλωρίωση μπορεί να επιτευχθεί είτε με αέριο χλώριο, είτε με διάλυμα υποχλωριωδών αλάτων. Το αέριο χλώριο συνήθως διατίθεται στο εμπόριο σε υγροποιημένη μορφή σε φιάλες υπό πίεση και παροχετεύεται στο νερό μέσω συσκευών, που ρυθμίζουν τη ροή του αερίου και φροντίζουν για την καλή ανάμειξη (Cheremisinoff, 1995). Απαιτείται χρόνος για να γίνει σωστή διάχυση στο νερό και άρα δράση. Η απολύμανση χρειάζεται 10 λεπτά για το ελεύθερο χλώριο και κάποιες ώρες για το δεσμευμένο. Επίσης, ο έλεγχος της οσμής και της γεύσης απαιτεί μέχρι και 4 ώρες. Η θολότητα είναι ένα χαρακτηριστικό που δυσκολεύει τη διαδικασία, καθώς τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να καλύψουν τους παθογόνους οργανισμούς. Ένα αρνητικό είναι ότι το χλώριο είναι πολύ ευαίσθητο στο ηλιακό φως και δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή μαζί του, διότι καταστρέφεται (Αυλωνίτης, 2013).

Το άρθρο 2 της υπουργικής απόφασης 5673/4-12-57 ορίζει ότι η απολύμανση στη χώρα μας εκτελείται με τη μέθοδο του χλωρίου, η συγκέντρωση του οποίου στα ακρότατα σημεία του δικτύου πρέπει να κυμαίνεται στα 0,2 ppm (mg/Lt). Επίσης, ο χρόνος δράσης του απολυμαντικού απαιτείται να είναι τουλάχιστον 20 λεπτά και ο χώρος τοποθέτησης του δοχείου χλωρίωσης να αερίζεται και να διαθέτει παροχή νερού και σύστημα αποχέτευσης. Τέλος, επισημαίνει ότι η ποσότητα του χλωρίου πρέπει να ελέγχεται καθημερινά σε τρία τουλάχιστον διαφορετικά σημεία του δικτύου και τα αποτελέσματα πρέπει να καταχωρούνται σε ειδικό βιβλίο (Αυλωνίτης, 2013).

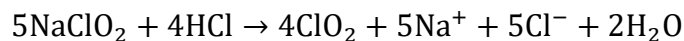
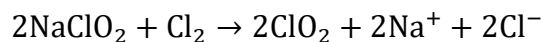
Δράση χλωρίου. Το χλώριο αντιδρά με πρωτεΐνες, σχηματίζοντας χλωραμίνες που είναι τοξικές και επιφέρουν θάνατο στα κύτταρα (Αυλωνίτης, 2013). Ουσιαστικά, δρα προκαλώντας προβλήματα στην κυτταρική μεμβράνη ή επηρεάζοντας το DNA των παθογόνων μικροοργανισμών.

Όπως αναφέρθηκε η χλωρίωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις μορφές χλωρίου. Αρχικά, το αέριο χλώριο έχει χρώμα κιτρινοπράσινο και τάση να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, αφού είναι 2,5 φορές πιο βαρύ από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Κατά την άσκηση υπερβολικής πίεσης το αέριο

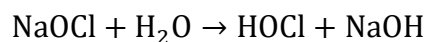
υγροποιείται, απελευθερώνεται θερμότητα και μειώνει τον όγκο του (Cheremisinoﬀ, 1995 και AWWA, 1999). Υγροποιείται στους -34 °C, ενώ στους -104 °C μετατρέπεται σε κίτρινο στερεό (Cheremisinoﬀ, 1995). Καθώς διαλύεται στο νερό, σχηματίζει υδροχλωρικό οξύ και υποχλωριώδες οξύ, το οποίο αποτελεί και το απολυμαντικό μέσο του νερού. Το υδροχλωρικό οξύ είναι πολύ ισχυρό, με αποτέλεσμα να διασπάται και να προκαλεί τη μείωση του pH (Crittenden et al., 2023). Η αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η εξής (Αυλωνίτης, 2013):



Το διοξειδίο του χλωρίου είναι ένα ισχυρό απολυμαντικό, κυρίως έναντι βακτηρίων και πρωτόζωων. Βέβαια, όσον αφορά στους ιούς το ελεύθερο χλώριο είναι πιο δραστικό από το ClO₂ (Νταρακάς, 2020). Σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης έχει χρώμα σκούρο κιτρινοπράσινο (Junli et al., 1997). Τα τελευταία χρόνια έχει επεκταθεί η χρήση του, γιατί συνδυάζει αποτελεσματικότητα και μειωμένη παραγωγή παραπροϊόντων, δηλαδή χαμηλών επιπέδων αλδεϋδών και κετονών (Bull et al., 1990). Ωστόσο, στην Ελλάδα δεν συναντάται συχνά, γεγονός που ίσως να οφείλεται στο ότι δεν παράγεται στην χώρα, καθώς είναι ένα ασταθές αέριο, που δεν μπορεί να μεταφέρεται και για την κατασκευή του στο σημείο χρήσης απαιτούνται αυστηρές συνθήκες ασφαλείας (Τσώνης, 2003). Στις περισσότερες περιπτώσεις, η δράση του διοξειδίου το χλωρίου στους ιούς γίνεται με καταστροφή του RNA τους, ενώ σπανιότερα αντιδρά με τις πρωτεΐνες των ιών (Li et al., 2004). Ακόμη, έχει μεγάλα ποσοστά επιτυχίας σε βακτήρια, όπως το *Escherichia coli* και το *Staphylococcus aureus* (Junli et al., 1997). Το διοξειδίο του χλωρίου μπορεί να παραχθεί με τρεις τρόπους (Crittenden et al., 2023):



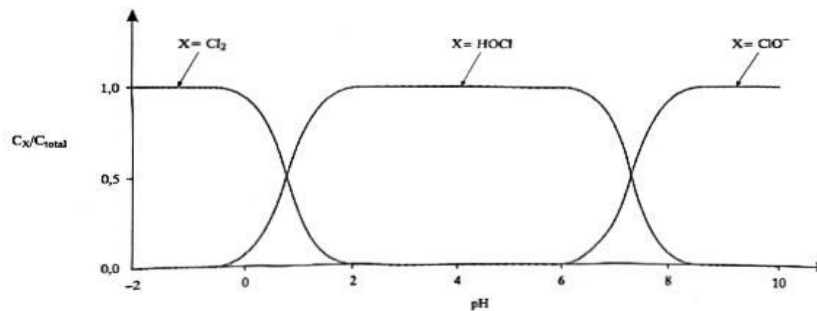
Τέλος, το υποχλωριώδες νάτριο δεν είναι τόσο τοξικό όσο το αέριο χλώριο. Πρέπει, όμως, να φυλάσσεται σε αντιδιαβρωτικές δεξαμενές μακριά από μέταλλα (AWWA, 1999). Πλέον αποτελεί μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιημένες μορφές για τη χλωρίωση. Η σταθερότητά του επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αποθήκευσής του, το pH, το ηλιακό φως και τη μόλυνση από βαρέα μέταλλα, που μπορούν να οδηγήσουν στη διάσπασή του (Crittenden et al., 2023). Σχηματίζει και αυτό υποχλωριώδες οξύ και αντιδρά με το νερό ως εξής (Αυλωνίτης, 2013):



Το υποχλωριώδες οξύ, που είναι ασθενές οξύ, αναλόγως με την τιμή του pH διασπάται με αυτόν τον τρόπο (Αυλωνίτης, 2013):



Το HOCl δρα σε όξινο pH (0-7), ενώ όταν το pH ξεπερνάει αυτές τις τιμές και γίνεται βασικό επικρατεί η μορφή OCl⁻. Για το λόγο αυτό, όταν το νερό παρουσιάζει υψηλό pH, η δοσολογία πρέπει να προσαρμόζεται αναλόγως και να είναι πιο αυξημένη (Αυλωνίτης, 2013). Αυτό συμβαίνει διότι το εξωτερικό φορτίο στην επιφάνεια των μικροοργανισμών είναι αρνητικό, οπότε το υποχλωριώδες οξύ, που έχει ουδέτερο φορτίο, δεν δυσκολεύεται να διεισδύσει στο κύτταρο. Αντίθετα, το OCl⁻ απωθείται, αφού έχει επίσης αρνητικό φορτίο (Connell, 1997). Παρακάτω απεικονίζεται ο λόγος της συγκέντρωσης των διαφόρων μορφών χλωρίου σε σχέση με το pH (Εικόνα 6-1).



Εικόνα 6-1 Μορφές χλωρίου σε συνάρτηση με το pH (Αυλωνίτης, 2013)

Αντίθετα, το διοξείδιο του χλωρίου δεν επηρεάζεται από την τιμή του pH. Μάλιστα, έχει αποδειχθεί ότι η αποτελεσματικότητά του δεν διαφοροποιείται για τις τιμές pH 6-10 (Rufell et al., 2000). Βέβαια, στις υπόλοιπες τιμές η δραστηριότητά του μειώνεται σημαντικά.

Τρόπος παρασκευής χλωρίου. Η παρασκευή του αέριου χλωρίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με ηλεκτρόλυση του υποχλωριώδους οξέος ή του αλκαλικού αλατόνερου ή με οξείδωση του υποχλωριώδους οξέος. Ο συνηθέστερος τρόπος είναι η ηλεκτρόλυση αλατόνερου και καυστικών αντιδράσεων. Επιπλέον, το υποχλωριώδες νάτριο παράγεται από την αντίδραση του υδροξειδίου του νατρίου και του χλωρίου, αλλά και με ηλεκτρόλυση από θαλασσινό νερό (US EPA, 1999). Το διάλυμα είναι γενικά ασταθές, γι' αυτό και προτιμάται η απευθείας παραγωγή του, αντί η αποθήκευσή του. Η σταθερότητα μειώνεται με το ηλιακό φως, τη θέρμανση και την παρουσία μετάλλων (Αυλωνίτης, 2013). Το διοξείδιο του χλωρίου μπορεί να παρασκευαστεί, εκτός από τον τρόπο που αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, και με ηλεκτρόλυση νερού που περιέχει χλωρίοντα (Bergmann et al., 2005).

Προβλήματα γεύσης και οσμής λόγω χλωρίωσης. Πολλές φορές η υψηλή συγκέντρωση χλωρίου προσδίδει χαρακτηριστική γεύση και οσμή στο νερό. Τα επίπεδα, στα οποία γίνεται αντιληπτή η παρουσία του, διαφοροποιούνται από καταναλωτή σε καταναλωτή. Σε γενικές γραμμές, όμως, η γεύση είναι προσδιορίσιμη, όταν η συγκέντρωση είναι κατά μέσο όρο 0,075

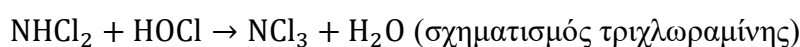
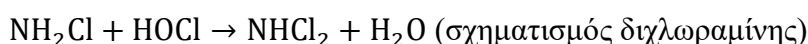
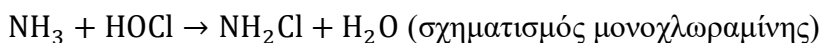
mg/L για pH=5 και 0,450 mg/L για pH=9. Η οσμή απαιτεί ακόμα μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Αν το πρόβλημα εντοπίζεται στον σχηματισμό διχλωραμίνης, η αύξηση της συγκέντρωσης του χλωρίου αποτελεί τη λύση του. Πολλές εταιρείες ύδρευσης αντιμετωπίζουν το ζήτημα με ακριβώς τον αντίθετο τρόπο, δηλαδή μειώνουν τη συγκέντρωση του χλωρίου. Αυτό, όμως, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, αφού η απολύμανση μπορεί να μην εκτελεστεί αποτελεσματικά (Αυλωνίτης, 2013).

Παραπροϊόντα χλωρίωσης. Το σοβαρότερο μειονέκτημα της χλωρίωσης είναι η δημιουργία παραπροϊόντων (Al-Abri et al., 2019). Αναλυτικότερα, τα πιθανά παραπροϊόντα, που μπορούν να σχηματιστούν είναι οι χλωριωμένοι υδατάνθρακες αν υπάρχει οργανική ύλη ως προϊόν αποσύνθεσης, κυρίως των φυτών (Αυλωνίτης, 2013). Οι πιο κοινές είναι το χλωροφόρμιο, που ανήκει στα παράγωγα του μεθανίου (THM), τα αλογονοοξικά οξέα (HAA), τα αλογονοακετονιτρίλια (HAN) και άλλες χλωριωμένες οργανικές ενώσεις (Kim et al., 2002). Για τη μείωση αυτών των παραπροϊόντων προτείνονται τρεις λύσεις, η αλλαγή του απολυμαντικού μέσου, η μείωση του χρόνου επαφής με το ελεύθερο χλώριο ή η μείωση της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης πριν ξεκινήσει η απολύμανση (Crittenden et al., 2023). Κάποια από τα γνωστά παραπροϊόντα όλων των μορφών του χλωρίου παρέχονται στον Πίνακα 6-1

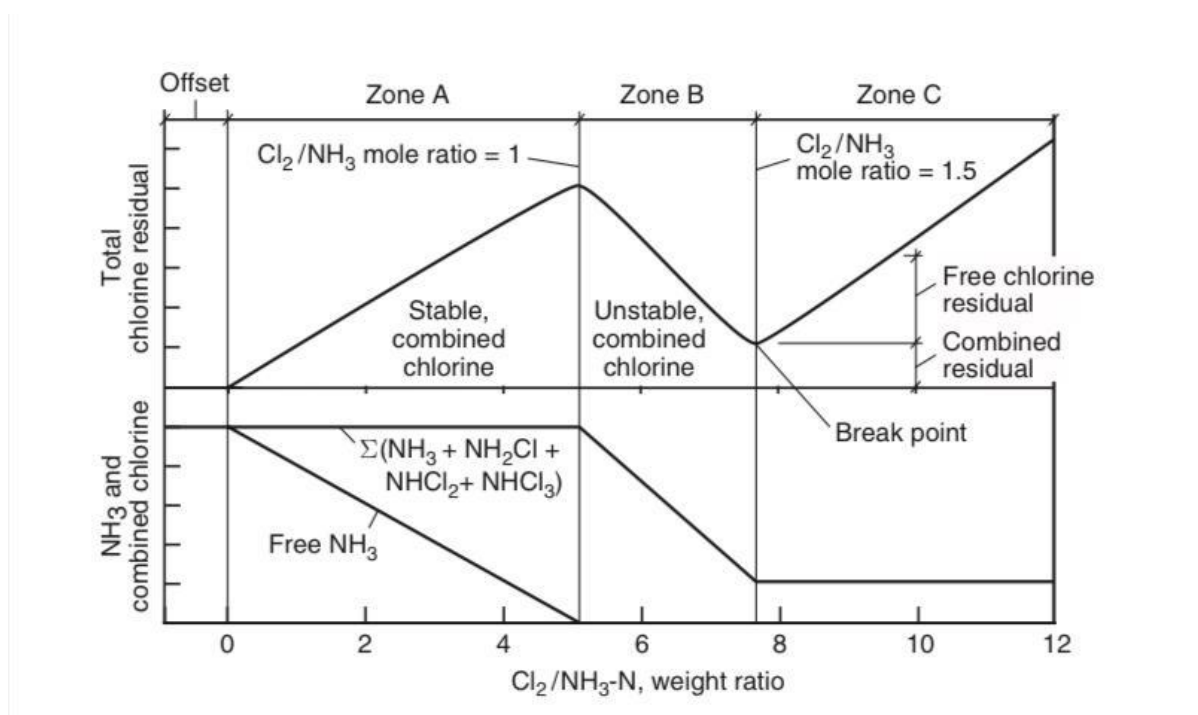
Πίνακας 6-1 Βασικά στάδια επεξεργασίας πόσιμου νερού (Νταρακάς, 2010)

Όνομα	Χημικός τύπος	Προέλευση
Χλωροφόρμιο	CHCl ₃	Cl ₂
Βρωμοδιχλωρομεθάνιο	CHBrCl ₂	Cl ₂
Διβρωμοχλωρομεθάνιο	CHBr ₂ Cl	Cl ₂
Διχλωροϊωδομεθάνιο	CHICl ₂	Cl ₂
Χλωροδιωδομεθάνιο	CHI ₂ Cl	Cl ₂
Βρωμοχλωροϊωδομεθάνιο	CHBrICl	Cl ₂
Τριωδομεθάνιο	CHI ₃	Cl ₂
Μονοχλωρικό οξύ	CH ₂ ClCOOH	Cl ₂
Διχλωρικό οξύ	CHCl ₂ COOH	Cl ₂
Βρωμοχλωρικό οξύ	CHBrClCOOH	Cl ₂
Τριχλωροακετονιτρίλιο	CCl ₃ CN	Cl ₂
Διβρωμοακετονιτρίλιο	CHBr ₂ CN	Cl ₂
Χλωρίτης	ClO ₂ ⁻	ClO ₂
Χλωρικό ιόν	ClO ₃ ⁻	ClO ₂
N-νιτροσοδιμεθυλαμίνη (NDMA)	(CH ₃) ₂ NNO	Χλωραμίνες
Κυανογόνο χλωρίδιο	ClCN	Χλωραμίνες
Κυανογόνο βρωμίδιο	BrCN	Χλωραμίνες

Επιπλέον, η αντίδραση του χλωρίου με ενώσεις, πλούσιες σε άζωτο και ένα ή περισσότερα άτομα υδρογόνου, καταλήγει στον σχηματισμό των χλωραμινών. Η αναλογία τους εξαρτάται από την παρουσία αμμωνίας (NH₃) στο νερό και το pH. Οι τριχλωραμίνες μπορούν να παρασκευαστούν μόνο σε πολύ χαμηλές τιμές pH. Την ισχυρότερη βακτηριοκτόνο δράση από όλες τις χλωραμίνες την κατέχουν οι διχλωραμίνες (Cheremisnoff, 1005). Οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται ως εξής (Crittenden et al., 2023):



Όταν προστίθενται μικρές ποσότητες χλωρίου, οι αντιδράσεις συμβαίνουν όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ωστόσο, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του χλωρίου, οι αντιδράσεις γίνονται όλο και πιο πολύπλοκες (Εικόνα 6-2).



Εικόνα 6-2 Αντίδραση χλωρίου-Παραγωγή χλωραμινών (Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023)

Αρχικά, όπως απεικονίζεται και στη ζώνη Α, το υπολειπόμενο χλώριο αυξάνεται αναλογικά με την ποσότητα χλωρίου που προστίθεται, η αμμωνία μειώνεται και οι χλωραμίνες παράγονται με σταθερό ρυθμό. Σε αυτό το στάδιο η κύρια χλωραμίνη που σχηματίζεται είναι η μονοχλωραμίνη (Crittenden et al., 2023). Αν το pH ανέρχεται στο 6, τότε εντοπίζεται σε αυτή τη φάση και η διχλωραμίνη (Pali, 1975). Στη συνέχεια, στη ζώνη Β είναι διακριτή η μείωση του υπολειπόμενου

χλωρίου, αλλά και των χλωραμινών. Αυτό συμβαίνει, διότι το χλώριο οξειδώνει κάποια από τα είδη χλωραμίνης. Στο στάδιο αυτό μετριέται κυρίως αέριο άζωτο (Saunier & Selleck, 1979). Το σημείο, στο οποίο έχει χρησιμοποιηθεί όλο το απαιτούμενο χλώριο και η οξείδωση της χλωραμίνης είναι πλήρης, ονομάζεται σημείο διακοπής (breakpoint). Από εκεί ξεκινάει η ζώνη Γ, όπου αυξάνεται εκθετικά το υπολειπόμενο χλώριο και παράγονται ξανά με σταθερό ρυθμό οι χλωραμίνες (Crittenden et al., 2023).

Επιπτώσεις στην υγεία. Δυστυχώς, κάποια από αυτά τα χλωριωμένα παράγωγα θεωρούνται καρκινογόνα, όπως το χλωροφόρμιο, και κάποια άλλα μεταλλαξιογόνα (Αυλωνίτης, 2013). Έχει αποδειχθεί ότι πολλές από αυτές τις ουσίες προκαλούν προβλήματα στην υγεία ανθρώπων και ζώων (Freuze et al., 2005). Μάλιστα, υπάρχουν πρόσφατες ενδείξεις, που υποδηλώνουν ότι η χρήση του δεσμευμένου χλωρίου μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό χαμηλών επιπέδων NDMA, ενός ύποπτου καρκινογόνου παράγοντα για τον άνθρωπο (Najm & Trussell, 2000, 2001). Τα HAAs έχουν επίσης αποδειχθεί να παρουσιάζουν μεγάλο κίνδυνο καρκινογόνου δράσης (Bull & Kopfler, 1991). Επίσης, υποστηρίζεται ότι προκαλεί προβλήματα με την ομαλή ροή εγκευμοσυνών, όπως λιποβαρή νεογνά, αποβολές, μέχρι και γεννήσεις μη ζώντων παιδιών, (Yang, 2004). Για αυτούς τους λόγους, πλέον οι μονάδες επεξεργασίας των υδάτων οφείλουν να ελέγχουν τις συγκεντρώσεις των παραπροϊόντων και να τις διατηρούν κάτω από συγκεκριμένα όρια (Crittenden et al., 2023).

Εγκαταστάσεις χλωρίωσης. Για κάθε ανεξάρτητο δίκτυο ύδρευσης απαιτούνται εννέα αυτόνομες μονάδες χλωρίωσης. Κάθε μονάδα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και έχει τη δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης της παροχής, ώστε η συγκέντρωση του ελεύθερου χλωρίου στο εξερχόμενο νερό από την κεντρική δεξαμενή να είναι συγκεκριμένη και να μην ξεφεύγει από τα επιτρεπόμενα όρια. Βασικός κανονισμός που οφείλεται να τηρείται είναι ότι η τροφοδότηση του δοχείου χλωρίου με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου πρέπει να γίνεται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Η μονάδα χλωρίωσης τοποθετείται πάντα σε προστατευμένο μέρος, το οποίο αερίζεται επαρκώς, ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση το αέριου χλωρίου σε κλειστούς χώρους (Αυλωνίτης, 2013). Αποτελείται από τις εξής εγκαταστάσεις:

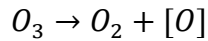
1. Δοχείο αποθήκευσης χλωρίου: Είναι κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο κλειστού τύπου και χρώματος ημιδιαφανούς λευκού, ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση της στάθμης του διαλύματος του χλωρίου. Χρειάζεται να υπάρχει οπή με πώμα και στο πλευρικό τοίχωμα κλίμακα όγκου (Αυλωνίτης, 2013).
2. Δοσομετρική αντλία: Είναι μία ηλεκτρομαγνητική αντλία κατάλληλης παροχής και πίεσης. Κατασκευάζεται από αλουμίνιο και πλαστικό και πρέπει να είναι ανθεκτική στη διάβρωση

- και την επίδραση του χλωρίου. Η τάση λειτουργίας ανέρχεται στα 220 V, ενώ η πίεση λειτουργίας τουλάχιστον στα 5 bar (Αυλωνίτης Σ, 2013).
3. Αισθητήρας ανίχνευσης χλωρίου: Χρησιμοποιείται αμπερομετρικός ανοιχτός αισθητήρας για τη μέτρηση του ελεύθερου χλωρίου στην περιοχή 0-10 mg/L. Η θερμοκρασία λειτουργίας κυμαίνεται στους 5-60 °C και η παροχή νερού είναι ρυθμιζόμενη (Αυλωνίτης, 2013).
 4. Αυτοματισμός ρύθμισης συγκέντρωσης χλωρίου: Σκοπός του είναι να δέχεται το σήμα του αισθητήρα ανίχνευσης χλωρίου, να το συγκρίνει με την προκαθορισμένη τιμή και να δίνει την κατάλληλη εντολή στη δοσομετρική αντλία για να επιτευχθεί αυτή η τιμή. Πρέπει να περιέχεται σε κατάλληλο στεγανό πλαστικό δοχείο. Επίσης, περιλαμβάνει και μετρητή στάθμης (Αυλωνίτης, 2013).

6.3.2. Οζόνωση

Το όζον O₃ ανακαλύφθηκε το 1783 από τον Van Marum, αλλά ονομάστηκε λίγα χρόνια αργότερα, το 1840, από τον Schonbein (AWWA, 1999). Είναι ένα αέριο 1,5 φορά πιο βαρύ από τον αέρα και ισχυρό οξειδωτικό. Τα προϊόντα της οξείδωσης με όζον, σε αντίθεση με αυτά με χλώριο, είναι φιλικά προς το περιβάλλον (Αυλωνίτης, 2013). Έχει την ικανότητα να οξειδώνει πολλές επιβλαβείς ενώσεις σε απλούστερες αβλαβείς μορφές (Νταρακάς, 2010). Σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 2 mg/L έχει χαρακτηριστική οσμή, οπότε ανιχνεύεται εύκολα από τον άνθρωπο (Αυλωνίτης, 2013). Στην αέρια του μορφή είναι άχρωμο, ενώ ως υγρό παίρνει μπλε χρώμα (Kiely, 1997). Είναι μέτρια διαλυτό στο νερό, αλλά αυτό εξαρτάται κιόλας από τη θερμοκρασία του νερού και τη συγκέντρωσή του (Bryant et al., 1992).

Δράση όζοντος. Το όζον ουσιαστικά καταστρέφει συστατικά που χαρακτηρίζονται από βασικό pH μέσω της οξειδωτικής του δράσης. Τέτοια συστατικά είναι αμινοξέα ή γλυκοπρωτεΐνες των κυτταρικών μεμβρανών. Είναι πολύ δραστικό για πολλά διαφορετικά είδη παθογόνων μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, ιούς και παράσιτα. Έρευνες δείχνουν πως στα πρώτα 15 λεπτά της δράσης τους αδρανοποιείται το 46% των μικροοργανισμών και στην πρώτη ώρα το ποσοστό φτάνει το 82%, όταν η συγκέντρωσή του ανέρχεται στα 0,5 mg/L, ενώ το ποσοστό εκτοξεύεται σε 93% στα 15 πρώτα λεπτά, όταν η συγκέντρωση είναι 4 mg/L (Joyti et al., 2004). Συγκεκριμένα, για τον ιό Poliomylitis virus η αδρανοποίησή του επιτυγχάνεται σε ποσοστό 99,9% σε χρόνο επαφής 4-6 λεπτά (Bryant et al., 1992) και για το παράσιτο *Giardia lamblia* σε 99% σε νερό με χαμηλή θολότητα και 90% με υψηλή (Haas et al., 2003). Όπως αναφέρθηκε, αποτελεί το πιο ισχυρό απολυμαντικό μέσο και δρα ως εξής (Αυλωνίτης, 2013):



Οι συνήθεις συγκεντρώσεις του όζοντος κυμαίνονται από 1,0-5,3 ppm (Αυλωνίτης, 2013). Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι αντιδράει και με το υλικό του πυρήνα των μικροοργανισμών και προκαλεί κυτταρικές δυσλειτουργίες (U.S. EPA, 1999). Δεν χρησιμοποιείται, όμως, μόνο ως απολυμαντικό μέσο, αλλά έχει επίσης την ικανότητα να μειώνει τις συγκεντρώσεις του σιδήρου, του μαγνησίου, του μολύβδου και του θείου, που περιέχονται στα ύδατα και να εξαλείφει τυχούσες οσμές και δυσάρεστες γεύσεις (Cheremisinoff, 1995). Αντιδρά με τα περισσότερα οργανικά στοιχεία, είτε ως μόριο, είτε ως ελεύθερη καρβοξυλική ρίζα (OH^-), η οποία παρασκευάζεται κατά τη μετατροπή του όζοντος σε οξυγόνο στην οξειδωση οργανικών ουσιών (Bryant et al., 1992).

Αν και γενικά δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από το pH, έχει αποδειχθεί ότι έχει καλύτερη αποτελεσματικότητα σε συγκεκριμένες τιμές για ορισμένους μικροοργανισμούς. Για παράδειγμα, το *Cryptosporidium parvum* αδρανοποιείται με μεγαλύτερη επιτυχία σε pH πάνω από 10 (Larson et al., 2003). Επιπρόσθετα, η δραστηριότητά του επηρεάζεται, όταν η θολότητα του νερού ξεπερνάει τα 5 NTU, γιατί αντί να καταστρέφει τους μικροοργανισμούς, διασπά τα οργανικά μόρια σε μικρότερα στοιχεία (U.S. EPA, 1999).

Τρόπος παρασκευής όζοντος. Το όζον αποτελεί ένα ασταθές αέριο, το οποίο διασπάται ταχύτητα προς οξυγόνο. Σε συνθήκες περιβάλλοντος η διάσπασή του απαιτεί περίπου τα 20 λεπτά (Bryant et al., 1992). Γι' αυτόν τον λόγο παρασκευάζεται τη στιγμή της χρήσης στις μονάδες επεξεργασίας νερού. Ο πιο συχνός τρόπος παραγωγής του είναι μέσω της ηλεκτρικής εκφόρτισης ενός αερίου, που περιέχει οξυγόνο, εφαρμόζοντας υψηλό τάση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων με κενό αέρος ανάμεσά τους (Droste, 1997). Μία εναλλακτική μέθοδος αποτελεί η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας με μήκος κύματος άνω των 200 nm σε αέριο, που περιέχει οξυγόνο.

Στην προσπάθεια κατασκευής του όζοντος πρέπει να υπολογίζονται ιδιαίτερα κάποιοι παράγοντες, αφού μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη δραστηριότητά του. Αναλυτικότερα, πρέπει να συντηρείται σωστά ο εξοπλισμός και ειδικά τα ηλεκτρόδια της συσκευής παρασκευής, που είναι αρκετά ευαίσθητα στην υγρασία. Η υγρασία επιτρέπει την ανάπτυξη νιτρωδών οξέων, τα οποία είναι διαβρωτικά για τη συσκευή. Ένας ακόμα παράγοντας που δυσχεραίνει τις συνθήκες είναι η θερμοκρασία. Η υπερβολική της αύξηση καταστρέφει τα ηλεκτρόδια και οδηγεί στην πλήρη και γρήγορα μετατροπή του όζοντος σε οξυγόνο, πριν προλάβει να δράσει ως απολυμαντικό (Bryant et al., 1992).

Παραπροϊόντα όζοντος. Το κύριο παραπροϊόν του όζοντος είναι το OH^- , που είναι έντονα οξειδωτικό μέσο. Το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) αποτελεί το προστάδιο της

καρβοξυλικών ριζών (Bryant et al., 1992). Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις έχουν βρεθεί και αλδεΐδες, ουσίες που αποτελούν πηγή τροφής για τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από τα παραπροϊόντα παρουσιάζουν τα μη αλογονωμένα παράγωγα οξειδωσης, τα οποία σχηματίζονται κατά τη διαδικασία της οξειδωσης του ιόντος του βρωμίου (Br^-) σε υποβρωμιώδες ιόν (OBr^-). Όταν το pH είναι χαμηλό, το υποβρωμιώδες ιόν αντιδράει με ιόντα υδρογόνου και σχηματίζει υποβρωμιώδες οξύ (HOBr) (Huang et al., 2005). Στην περίπτωση που υπάρχει αμμωνία, μειώνεται η παρασκευή βρωμικών ιόντων (Bryant et al., 1992). Υπάρχουν αρκετές στρατηγικές που μπορούν να χρησιμοποιούν για να μειωθούν αυτά τα παραπροϊόντα, όπως η μείωση του pH, η προσθήκη αμμωνίας και η προοξειδωση με χλώριο ή διοξείδιο του χλωρίου (Crittenden et al., 2023). Τέλος, όταν περιέχονται ιωδιούχα ιόντα στο νερό και χρησιμοποιείται όζον, οξειδώνονται σε άλατα ιωδικού οξέος (VonGunten, 2003). Κάποια από τα παραπροϊόντα του όζοντος συγκεντρώνονται στον Πίνακα 6-2

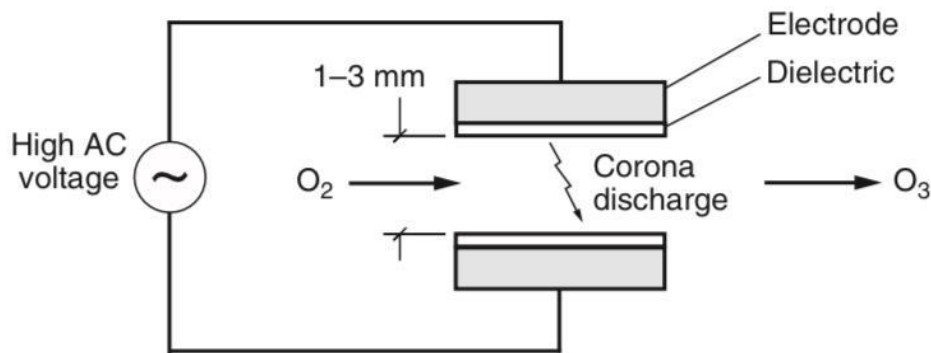
Πίνακας 6-2 Παραπροϊόντα όζοντος (Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023)

Όνομα	Χημικός τύπος
Βρωμοφόρμιο	CHBr_3
Φορμαλδεΐδη	HCHO
Γλυοξάλη	OHCCHO
Μεθυλογλυοξάλη	CH_3COCHO
Ιόνφορμικού οξέος	HCOO^-
Γλυοξυλικό οξύ	OHC-COOH
Βρωμικό ιόν	BrO_3^-

Επιπτώσεις στην υγεία. Έρευνες υποστηρίζουν ότι η παρουσία βρωμικών ιόντων, όπως το BrO_3^- στο πόσιμο νερό μπορούν να οδηγήσουν σε δημιουργία καρκίνου σε ανθρώπους και ζώα (Minear et al., 1996). Συγκεκριμένα, το υποβρωμιώδες οξύ ανήκει στις κύριες ύποπτες καρκινογόνες ουσίες (Kurokawa et al., 1990). Ένα ακόμη αρνητικό τους είναι ότι δεν είναι βιοδιασπάσιμα στα βιολογικά φίλτρα. Από την άλλη, τα άλατα ιωδικού οξέος είναι ακίνδυνα (VonGunten, 2003). Ωστόσο, έχει αποδειχθεί ότι ακόμα και τα παραπροϊόντα που είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο, δεν συγκρίνονται με την επικινδυνότητα εκείνων της χλωρίωσης, ειδικά αν γίνει συνδυασμός μεθόδων απολύμανσης, όπου τα παραπροϊόντα μειώνονται κατακόρυφα (Jyoti et al., 2004).

Εγκαταστάσεις παρασκευής όζοντος. Οι συσκευές παρασκευής όζοντος έχουν οριζόντια διάταξη και αξιοποιούν ρεύμα για την εφαρμογή τάσης ανάμεσα σε δύο γυάλινα ή κεραμικά ηλεκτρόδια, τα οποία είναι επικαλυμμένα με μέταλλο στο εσωτερικό τους (Droste, 1997) (εικόνα 20). Διακρίνονται με βάση τη συχνότητα, σε χαμηλής, μέτριας και υψηλής συχνότητας.

Οι πρώτες λειτουργούν σε συχνότητες 50-60 Hz και τάση 10-20 kV, οι δεύτερες σε συχνότητες 700-800 Hz και τάση 8-10 kV και οι τελευταίες σε 2.000-3.000 Hz και 8-10 kV. Οι συσκευές με υψηλή συχνότητα έχουν μεγαλύτερο κόστος συντήρησης και αγοράς, επιτυγχάνουν όμως καλύτερη αναγέννηση του όζοντος με χαμηλότερο κόστος κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης, απαιτούν μικρότερο χώρο εγκατάστασης (Bryant et al., 1992). Ο μηχανισμός λειτουργίας της συσκευής είναι ο εξής, τα μόρια του οξυγόνου περνούν μέσα από το ηλεκτρικό πεδίο και διασπώνται σε μονά μόρια οξυγόνου, τα οποία αντιδρούν με άλλα μονά μόρια O και σχηματίζουν το όζον (Crittenden et al., 2023).



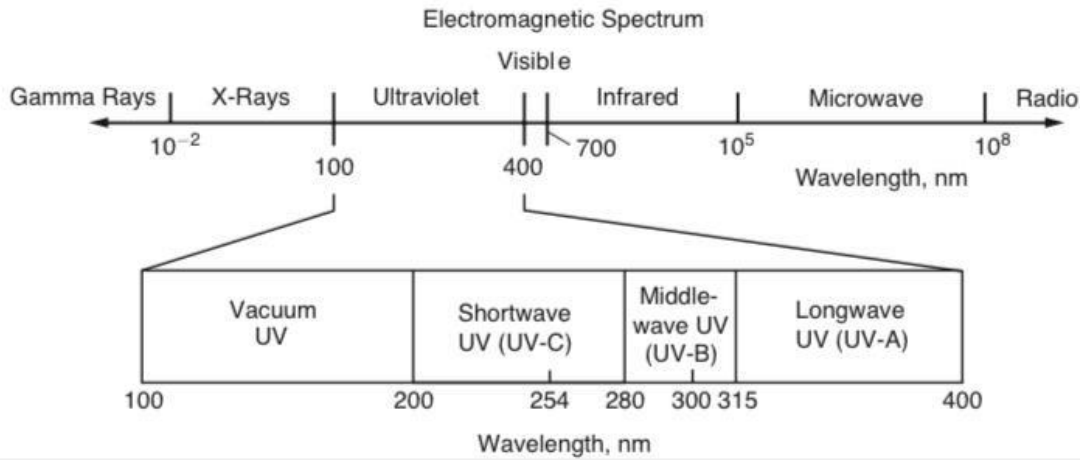
Εικόνα 6-3 Συσκευή παρασκευής όζοντος (Crittenden et al., 2023)

Υπάρχουν κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν την ομαλή λειτουργία αυτών των συσκευών. Αρχικά, η συχνότητα και η τάση του εφαρμοζόμενου ρεύματος μπορούν να αυξήσουν την παραγωγή όζοντος. Αντιθέτως, το κενό μεταξύ των ηλεκτροδίων της γεννήτριας μπορεί να προκαλέσει τη μείωση του όζοντος. Συνήθως το κενό αυτό έχει πάχος 1-3 mm (Crittenden et al., 2023). Επίσης, επειδή παράγεται θερμότητα κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, είναι απαραίτητη η ψύξη της συσκευής, η οποία επιτυγχάνεται περνώντας ένα συνεχές ρεύμα ψυκτικού νερού δίπλα στο ηλεκτρόδιο γείωσης (Crittenden et al., 2023).

6.3.3. Απολύμανση με UV ακτινοβολία

Η απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) ανήκει στα μη χημικά μέσα απολύμανσης. Αποτελεί έναν φυσικό τρόπο κατεργασίας, ο οποίος συμβαίνει από τότε που το νερό εμφανίστηκε στη Γη μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η UV ακτινοβολία καταστρέφει το γενετικό υλικό των κολοβακτηριδίων, αποτρέποντας την αναπαραγωγή τους και τον σχηματισμό αποικιών. Παρόλο που δεν παράγει παραπροϊόντα, είναι περιορισμένης χρήσης, διότι δεν αδρανοποιεί τους ιούς, ούτε όλα τα βακτήρια (Αυλωνίτης, 2013). Θεωρείται, όμως, ιδιαίτερα δραστική, αφού επιδρά σε αρκετούς βασικούς παθογόνους μικροοργανισμούς που μεταδίδονται

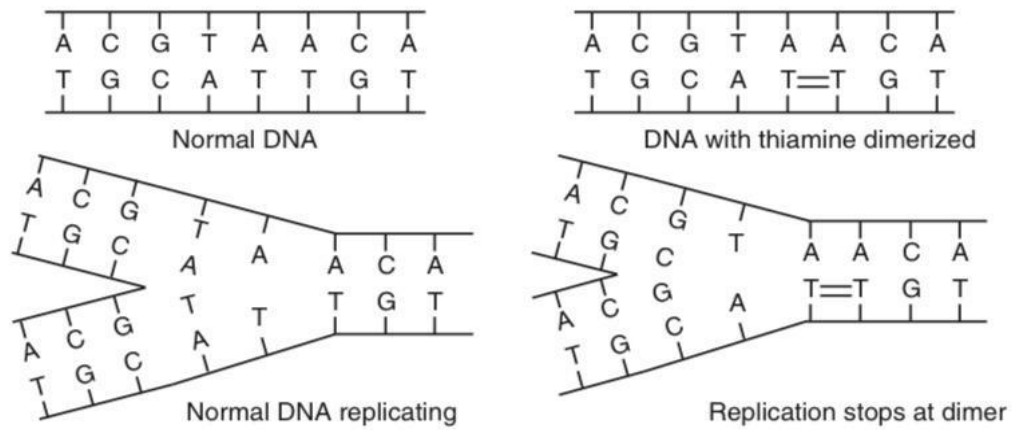
μέσω των υδάτων (Rochelle et al., 2005). Η υπεριώδης ακτινοβολία βρίσκεται σε μήκος κύματος 100-400 nm, μεταξύ των ακτίνων X και του ορατού φωτός (Εικόνα 6-4).



Εικόνα 6-4 UV ακτινοβολία στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (Crittenden et al., 2023)

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6-4 χωρίζεται σε τέσσερα πεδία, τη UV-V (vacuum UV) με μήκος κύματος 100-200 nm, τη UV-C (shortwave UV) με 200-280 nm, τη UV-B (middlewave UV) με 280-315 nm και τη UV-A (longwave UV) με 315-400 nm (Crittenden et al., 2023). Έχει διαπιστωθεί ότι το αποδοτικό μήκος κύματος για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών είναι στα 254 nm. Η ένταση της UV ακτινοβολίας μετρείται σε $W/s \text{ xcm}^2$. Οι παράγοντες που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου απολύμανσης είναι η ένταση ακτινοβολίας, η διάρκεια έκθεσης του νερού στην ακτινοβολία, η θολότητα του νερού και η περιεκτικότητά του σε αιωρούμενα στερεά (Αυλωνίτης, 2013).

Δράση UV ακτινοβολίας. Ως γενικός κανόνας ισχύει ότι όσο περισσότερη ενέργεια σχετίζεται με κάθε φωτόνιο στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τόσο πιο επικίνδυνη είναι για τους ζωντανούς οργανισμούς. Το τμήμα του φάσματος που είναι αποτελεσματικό για την απολύμανση των υδάτων ονομάζεται μικροβιοκτόνο εύρος. Η ακτινοβολία κάτω των 200 nm και πάνω από 300 δεν θεωρείται δραστική για την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών στο πόσιμο νερό, οπότε η UV Vacuum και η UV-A δεν χρησιμοποιούνται. Η απολύμανση λειτουργεί, γιατί τα φωτόνια του υπεριώδους φωτός αντιδρούν απευθείας με τα νουκλεϊκά οξέα των οργανισμών-στόχων, προκαλώντας τους βλάβες (Crittenden et al., 2023). Δρα, διμερίζοντας γειτονικά μόρια θυμίνης (T) και αναστέλλοντας την περαιτέρω αντιγραφή του γενετικού κώδικα του κυττάρου (Εικόνα 6-5).

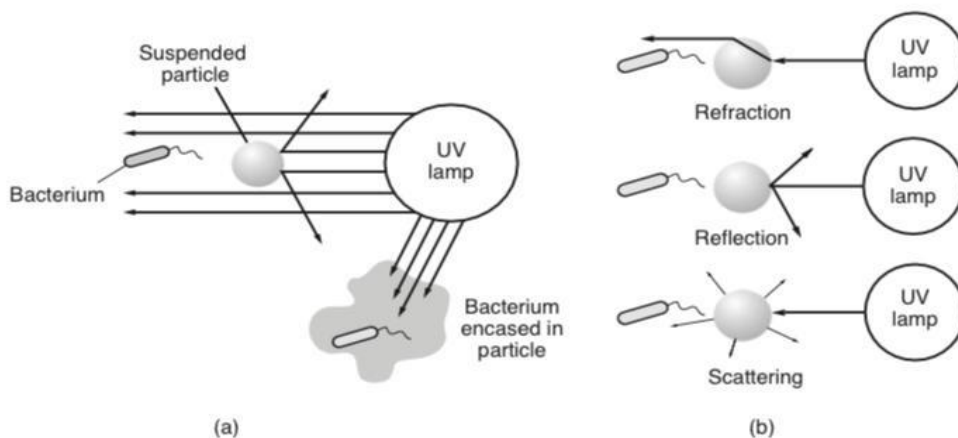


Εικόνα 6-5 Διμερισμός θυμίνης λόγω UV ακτινοβολίας (Crittenden et al., 2023)

Αν και συνήθως αυτή η διαδικασία δεν είναι θανατηφόρα για τον οργανισμό, εμποδίζει την επιτυχή αναπαραγωγή του (Setlow, 1967). Επίσης, μπορεί να διμερίζει και γειτονικά μόρια κυτοσίνης (C) και κυτοσίνης-θυμίνης, αλλά αυτό συμβαίνει σπανιότερα. Συνεπώς, οι οργανισμοί που στον γενετικό τους κώδικα είναι πλούσιοι από θυμίνη τείνουν να είναι πιο ευαίσθητοι σε αυτή τη μέθοδο. Τέτοιοι οργανισμοί είναι το *Cryptosporidium parvum* και το *Giardia lamblia*, τα οποία μάλιστα αδρανοποιούνται και σε σχετικά χαμηλές δόσεις (Crittenden et al., 2023).

Σε υψηλές δόσεις η UV ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει και πιο σοβαρές βλάβες, όπως σπάσιμο αλυσίδων, ένωση διαφορετικών κομματιών DNA μεταξύ τους, ένωση DNA με πρωτεΐνες και σχηματισμό άλλων παραπροϊόντων (Crittenden et al., 2023).

Όταν το νερό δεν είναι καθαρό και περιέχει μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών παρεμποδίζεται η διαδικασία και μειώνεται η δραστηριότητά της. Ειδικότερα, η υπεριώδης ακτινοβολία συγκεντρώνεται στα αιωρούμενα στερεά, τα οποία μπαίνουν εμπόδιο στην επαφή της ακτινοβολίας και των παθογόνων μικροοργανισμών (Εικόνα 6-6).



Εικόνα 6-6 Παρεμπόδιση UV ακτινοβολίας από αιωρούμενα σωματίδια (Crittenden et al., 2023)

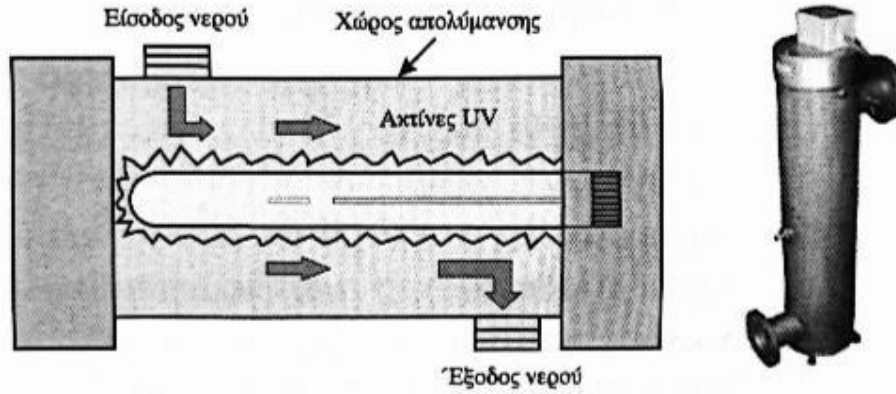
Τα σωματίδια μπορούν να δημιουργήσουν σκίαση στα παθογόνα, μέσω τριών μηχανισμών, της διάθλασης, της ανάκλασης και της σκέδασης. Γι' αυτό η απολύμανση με UV ακτινοβολία πρέπει να συνδυάζεται πάντα με μεθόδους διήθησης (Crittenden et al., 2023).

Τρόπος παρασκευής. Επειδή η UV ακτινοβολία δεν κατατάσσεται στα χημικά μέσα απολύμανσης, η παρασκευής της δεν απαιτεί χημικές αντιδράσεις, αλλά τη χρήση συσκευών, που ονομάζονται λαμπτήρες. Οι λαμπτήρες διακρίνονται σε χαμηλής πίεσης-χαμηλής έντασης, σε χαμηλής πίεσης-υψηλής έντασης και σε μέσης πίεσης-υψηλής έντασης. Την καλύτερη απόδοση την παρέχει η τελευταία (Crittenden et al., 2023). Στον Πίνακα 6-3 περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των τριών ειδών λαμπτήρα:

Πίνακας 6-3 Είδη λαμπτήρων (Προσαρμοσμένο από Ultraviolet Disinfection Guidance Manual, U.S. EPA, 2003)

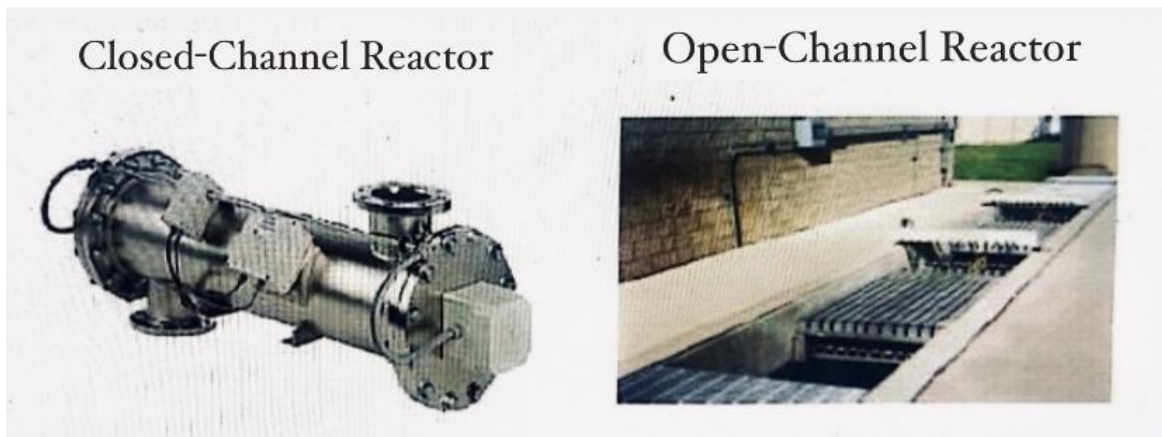
Παράμετρος	Λαμπτήρας χαμηλής πίεσης	Λαμπτήρας χαμηλής πίεσης-υψηλής έντασης	Λαμπτήρας μέσης πίεσης
Μήκος κύματος ακτινοβολίας (nm)	254	254	200-300 nm
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	40	130-200	600-900
Πίεση λαμπτήρα (torr)	0,007	0,76	300-30.000
Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια (W/cm)	0,5	1.5-10	50-250
Χρόνος ζωής (hrs)	8.000-10.000	8.000-12.000	4.0000-8.0000

Εγκαταστάσεις UV ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες μονάδες απολύμανσης με UV αποτελούνται από λαμπτήρα UV ακτινοβολίας, ο οποίος περιβάλλεται από διάφανο πλέξιγκλας ή κρύσταλλο χαλαζία. Οι λαμπτήρες είναι ατμών Hg έντασης έως και 200 W και έχουν διάρκεια ζωής έως και περίπου 4000 ώρες. Γύρω από το περίβλημα αυτό κινείται το νερό προς απολύμανση (Αυλωνίτης, 2013). Επίσης, οι μονάδες συνήθως διαθέτουν και σύστημα καθαρισμού, αισθητήρες παρακολούθησης της δόσης UV ακτινοβολίας. Η δοσολογία μπορεί να ποικίλλει, αλλάζοντας είτε την ένταση της ακτινοβολίας, είτε τον χρόνο έκθεσης. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στην πιθανότητα βραχυκυκλώματος (Crittenden et al., 2023). Μία ενδεικτική μορφή των εμπορικών συσκευών UV ακτινοβολίας αποτυπώνεται στην Εικόνα 6-7.



Εικόνα 6-7 Συσσκευή UV ακτινοβολίας (Αυλωνίτης, 2013)

Επιπρόσθετα, οι συσκευές UV ακτινοβολίας χωρίζονται σε κλειστού και ανοικτού τύπου (Εικόνα 6-8). Για την επεξεργασία του πόσιμου νερού χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερη συχνότητα οι συσκευές κλειστού τύπου, ενώ οι ανοικτού τύπου προτιμούνται κατά κύριο λόγο στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων (Crittenden et al., 2023).



Εικόνα 6-8 Συσσκευές UV ακτινοβολίας κλειστού και ανοικτού τύπου (Προσαρμοσμένο από Ultraviolet Disinfection Guidance Manual, U.S. EPA, 2003)

6.3.4. Σύγκριση μεθόδων

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στην ενότητα αυτή συγκρίνονται μεταξύ τους με βάση τέσσερα βασικά κριτήρια, την απολυμαντική ικανότητα, τις επιπτώσεις στην υγεία, τα οικονομικά στοιχεία και την ευκολία χρήσης. Αρχικά, όσον αφορά στην απολυμαντική ικανότητα η χλωρίωση πλεονεκτεί έναντι των άλλων δύο μεθόδων, διότι αποτελεί ένα ισχυρό μέσο για την απαλλαγή των παθογόνων μικροοργανισμών, ενώ παράλληλα αφήνει και υπολειμματικό απολυμαντικό, το οποίο μπορεί να παραμείνει στο νερό και να λειτουργεί ως προστατευτικός παράγοντας για μία χρονική περίοδο, αποτρέποντας

την επανεμφάνιση των τυχόντων επιζώντων οργανισμών (Μήτρακας, 2001). Κάτι τέτοιο δεν ισχύει για το όζον, καθώς είναι ένα ασταθές αέριο και αδυνατεί να προσφέρει υπολειμματική δράση, δηλαδή η δράση του είναι στιγμιαία. Γι' αυτόν τον λόγο μετά την απολύμανση με όζον πρέπει πάντα να προστίθεται και μικρή ποσότητα χλωρίου (Αυλωνίτης, 2013). Όπως επίσης, δεν ισχύει ούτε για την υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία δεν επιτρέπει τον περαιτέρω έλεγχο για ανάπτυξη μικροοργανισμών (U.S. EPA, 1999). Ωστόσο, το όζον είναι το περισσότερο δραστικό μέσο, αφού επιδρά αποτελεσματικά σε όλα τα είδη παθογόνων μικροοργανισμών και δεν επηρεάζεται από την περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών. Αντίθετα, η χλωρίωση και η UV ακτινοβολία δεν είναι τόσο αποδοτικές, όταν παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών, ενώ δεν επιδρούν καν σε κάποιους ιούς. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότεροι ιοί που μεταφέρονται με τα ύδατα έχουν ως γενετικό υλικό RNA, οπότε αντί για θυμίνη έχουν ουρακίλη (U) και άρα είναι λιγότερο ευαίσθητοι στην UV ακτινοβολία (Crittenden et al., 2023). Επιπρόσθετα, λόγω της εξέλιξης κάποιοι οργανισμοί έχουν αναπτύξει την ικανότητα επιδιόρθωσης των ζημιών που προκαλούνται από την υπεριώδη ακτινοβολία, αφού η επίδραση της υπήρχε πάντα από το φως του ήλιου. Έτσι, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στο ποιους οργανισμοί μπορούν να επαναενεργοποιηθούν (Crittenden et al., 2023). Κάποιοι από αυτούς είναι μερικά είδη κολοβακτηριδίων, όπως το *Shigella*. Οι ιοί έχει αποδειχθεί ότι δεν μπορούν να αναπτύξουν αυτή την ικανότητα. Φυσικά, επειδή οι ζημιές που προκαλεί η UV είναι μόνιμες, υπάρχει ένα περιθώριο μέσα στο οποίο μπορούν να επιδιορθωθούν οι βλάβες και αυτό είναι που πρέπει να ελέγχεται (US EPA, 1999). Στον Πίνακα 6-4 παρουσιάζεται η δραστικότητα της κάθε μεθόδου στους διάφορους παθογόνους μικροοργανισμούς.

**Πίνακας 6-4 Αποτελεσματικότητα μεθόδων στους παθογόνους μικροοργανισμούς
(Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023)**

Αποτελεσματικότητα	Αέριο Cl ₂	NaOCl	ClO ₂	Όζον	UV
Βακτήρια	Άριστη	Άριστη	Άριστη	Άριστη	Καλή
Ιούς	Καλή	Καλή	Άριστη	Άριστη	Μέτρια προς κακή
Πρωτόζωα	Μέτρια προς κακή	Μέτρια	Καλή	Καλή	Άριστη
Ενδοσπόρια	Καλή προς μέτρια	Καλή	Μέτρια	Άριστη	Μέτρια

Δεύτερος παράγοντας είναι οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Όπως περιγράφηκε τα παραπροϊόντα της χλωρίωσης και της οζόνωσης αποτελούν ύποπτους καρκινογόνους δείκτες. Από την άλλη πλευρά, η UV ακτινοβολία δεν είναι επιβλαβής για την υγεία, αφού δεν

δημιουργεί παραπροϊόντα. Ωστόσο, επειδή συχνά χρησιμοποιείται συνδυαστικά, οι επιπτώσεις στην υγεία αφορούν τη δεύτερη μέθοδο απολύμανσης (Crittenden et al., 2023).

Επόμενη κατηγορία αποτελεί το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Σίγουρα η πιο οικονομική μέθοδος είναι η χλωρίωση (Μήτρακας, 2001). Το κόστος των εγκαταστάσεων της απολύμανσης με όζον είναι παραπλήσιο με εκείνο της UV ακτινοβολίας. Παρ' όλα αυτά, το όζον είναι ακόμα πιο ακριβό, αφού εκτιμάται 2-3 φορές υψηλότερο από εκείνο του χλωρίου (Αυλωνίτης, 2013). Γενικά το όζον διαθέτει υψηλό κόστος εγκατάστασης και παραγωγής (Νταρακάς, 2010), ενώ η υπεριώδης ακτινοβολία κυρίως εγκατάστασης.

Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει και η ευκολία χρήσης της κάθε μεθόδου. Ειδικότερα, στη χλωρίωση παίρνουν μέρος αρκετά τοξικά αέρια, που απαιτούν προσοχή στη διαχείριση. Βέβαια, ως τεχνική είναι σχετικά βατή και παρέχει ευκολία μέτρησης, τόσο στο εργαστήριο, όσο και στο πεδίο (Μήτρακας, 2001). Αντίστοιχα, και το όζον απαιτεί προσεκτικό χειρισμό και ειδικό εξοπλισμό για να αποφευχθούν οι κίνδυνοι (Αυλωνίτης, 2013). Απεναντίας, η υπεριώδης ακτινοβολία είναι πολύ εύκολη στη χρήση. Η μόνη ανησυχία της μεθόδου αποτελούν τα πιθανά βραχυκυκλώματα που μπορούν να συμβούν στους αντιδραστήρες (Crittenden et al., 2023). Στον Πίνακα 6-5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών των μεθόδων.

Πίνακας 6-5 Αποτελεσματικότητα μεθόδων στους παθογόνους μικροοργανισμούς (Προσαρμοσμένο από Crittenden et al., 2023)

Μέθοδος	Φίλικό στο περιβάλλον	Παραπροϊόντα	Δραστικότητα	Κόστος επένδυσης	Κόστος λειτουργίας	Ευκολία χρήσης
Όζον	+/-	+	++	-	+	-
UV	++	++	+/-	-	++	++
ClO ₂	+/-	+/-	++	+/-	+	-
Αέριο Cl ₂	--	--	+	+/-	++	-
NaOCl	-	--	+	+++	+++	+++

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα το υποχλωριώδες νάτριο σε υγρή μορφή συμφέρει και γι' αυτό χρησιμοποιείται από πολλές χώρες ως τεχνική απολύμανσης νερού. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει έναντι των υπολοίπων τεχνικών, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6-5, είναι η δραστηριότητά του, το μικρό κόστος επένδυσης και λειτουργίας, η ευκολία χρήσης και χειρισμού, καθώς και η ικανότητα που παρέχει να παραμένει στο νερό ως ελεύθερο χλώριο, ώστε να απολυμαίνει τυχόντες εισερχόμενους μικροοργανισμούς. Ωστόσο, βασικό μειονέκτημα της τεχνικής είναι η παραγωγή παραπροϊόντων (Αυλωνίτης, 2013). Γι' αυτό τον λόγο, πολλές φορές επιλέγεται συνδυασμός μεθόδων, ώστε να επικρατήσουν τα θετικά στοιχεία της κάθε τεχνικής.

6.4 ΑΛΛΕΣΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ

Παρόλο που οι τρεις παραπάνω τεχνικές απολύμανσης είναι οι επικρατέστερες, δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν κι άλλες, αν και λιγότερο διαδεδομένες. Όπως περιγράφηκε, οι μέθοδοι αυτοί δεν είναι πάντα αποτελεσματικές και για το λόγο αυτό έχει δημιουργηθεί η ανάγκη για διερεύνηση άλλων μη συμβατικών απολυμαντικών παραγόντων. Κάποιες από αυτές προϋπήρχαν των καθιερωμένων τεχνικών και αποδείχτηκαν λιγότερο αποδοτικές, οπότε περιορίστηκε η χρήση τους, ενώ άλλες ανακαλύφθηκαν πρόσφατα και η δραστηριότητά τους δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητή.

6.4.1. Υπερμαγγανικό κάλιο

Το υπερμαγγανικό κάλιο (KMnO_4) χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά ως απολυμαντικό μέσο στην Ευρώπη το 1862 και διαδόθηκε αρκετά γρήγορα. Ωστόσο, επικράτησε η μέθοδος της χλωρίωσης και σταμάτησε να χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα (Bryant et al., 1992). Βρίσκεται συνήθως σε μορφή σκούρων μπλε-μαύρων κρυστάλλων. Οι κρύσταλλοι αυτοί μπορούν να γίνουν αρκετά επιβλαβείς όταν έρθουν σε επαφή με τα μάτια, να προκαλέσουν προβλήματα στην αναπνοή, να ερεθίζουν το δέρμα σε ενδεχόμενο επαφής, ενώ σε περίπτωση κατάποσης είναι θανατηφόροι. Για το λόγο αυτό απαιτούνται αυστηρά μέτρα ασφάλειας για τη διαχείριση του (U.S. EPA, 1999). Η διαλυτότητα του στο νερό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία, αφού όσο αυξάνεται, τόσο καλύτερα είναι τα αποτελέσματα της διάλυσης (Bryant et al., 1992). Δρα, αντιδρώντας με οργανική ύλη (Zhang et al., 2013) και οξειδώνοντας το κυτταρικό υλικό των παθογόνων μικροοργανισμών ή καταστρέφοντας συγκεκριμένα ένζυμα (U.S. EPA, 1999). Μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση δυσάρεστης οσμής και γεύσης των υδάτων, αφού οξειδώνει τον σίδηρο και το μαγγάνιο (Hedberg et al., 1998 και Bruchet et al., 2004). Επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το pH, αφού παραμένει δραστικό μόνο για τις τιμές 4-

9 για το μεγαλύτερο ποσοστό των παθογόνων μικροοργανισμών (Bryant et al., 1992). Ενώ δεν παράγει παραπροϊόντα, ο λόγος που πλέον δεν χρησιμοποιείται ευρέως είναι ότι αποτελεί καλύτερο οξειδωτικό μέσο, παρά απολυμαντικό (Crittenden et al., 2023). Είναι τόσο δυνατό οξειδωτικό, όμως, που μπορεί να οξειδώνει ακόμα και τα πιο βασικά στοιχεία των οργανικών μορίων (Lozinski et al., 2003). Κάποια επιπλέον μειονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν το υψηλό κόστος και ο ιδιαίτερα μεγάλος απαιτούμενος χρόνος επαφής, ώστε να θεωρείται δραστικό μέσο (U.S. EPA, 1999).

6.4.2. Διοξείδιο του τιτανίου

Το διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) χρησιμοποιείται κυρίως για ύδατα, που περιέχουν χημικές ρυπαντικές ουσίες, επειδή λόγω της οξειδωτικής του δράσης μπορεί να τις εξουδετερώσει. Είναι δραστικό για αρωματικές και αλειφατικές ενώσεις, χρώματα και φυτοφάρμακα, τα οποία τα οξειδώνει σε ανόργανα συστατικά, δηλαδή διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Στα πλεονεκτήματά του ανήκει το χαμηλό κόστος και ότι δεν είναι τοξική ουσία (Robertson et al., 2005). Το TiO_2 μέσω της απορρόφησης του φωτός προάγει τη μεταφορά ηλεκτρονίων από την εξωτερική στιβάδα σθένους του υλικού προς το ελεύθερο στοιχείο, ενισχύοντας έτσι το θετικό φορτίο του στοιχείου. Αυτή η μεταφορά ηλεκτρονίων παρεμποδίζεται κατά βάση από την ύπαρξη αποβλήτων στα ηλεκτρόδια (Butterfield et al., 1997). Είναι πολύ αποδοτική μέθοδος στην αδρανοποίηση βακτηρίων, όπως το *Escherichia coli* και το *Salmonella enteritidis*, ειδικά σε σύγκριση με την υπεριώδη ακτινοβολία (Robertson et al., 2005). Μία παραλλαγή της μεθόδου αποτελεί το αζωτούχο τιτάνιο (TiN), το οποίο είναι μία πιο ανθεκτική βιοδιασπώμενη ένωση, που έχει την ικανότητα να αντιστέκεται στη διάβρωση. Όπως και το διοξείδιο του τιτανίου δεν απελευθερώνει τοξικές ουσίες. Η αδρανοποίηση των μικροοργανισμών επιτυγχάνεται με ηλεκτροχημική οξείδωση των κυτταρικών μεμβρανών (Matsunaga et al., 2000).

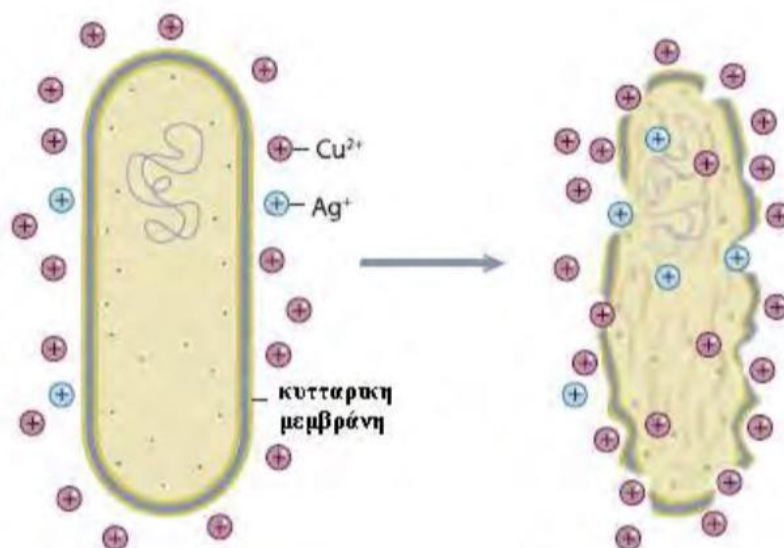
Παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους απολύμανσης, όπως ο μειωμένος σχηματισμός παραπροϊόντων, η ευνοϊκή απόδοση σε συνθήκες περιβάλλοντος και η πλήρης οξείδωση οργανικών ενώσεων σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό και άλλα αβλαβή παραπροϊόντα (Chong et al., 2012). Επιπρόσθετα, είναι πολύ δραστικό και σταθερό μέσο και παρέχει μεγάλες δυνατότητες διαχωρισμού για διάφορες ομάδες οργανισμών (Dong et al., 2015). Η ικανότητά του, λοιπόν, να αφαιρεί σε μεγάλα ποσοστά, που ξεπερνούν το 90%, ένα ευρύ φάσμα ρύπων, το καθιστά μία ισχυρή επιλογή για την επεξεργασία νερού (Abeledo-Lameiro et al., 2017). Η τοξικότητά του είναι ειδική για τους οργανισμούς-στόχους, διότι η δράση του συγκεντρώνεται μόνο σε αυτούς (Landsiedel et al., 2009) και μόλις ολοκληρώσουν το έργο τους, απομένει αμελητέα συγκέντρωση στο περιβάλλον (Magana-Lopez et al., 2021). Από την άλλη

πλευρά, κάποια σημαντικά μειονεκτήματα είναι η περιορισμένη διάρκεια ζωής των αντιδραστηρίων, η μείωση της δραστηριότητας με την πάροδο του χρόνου (Dong et al., 2015), καθώς και το υψηλό κόστος της μεθόδου (Zheng et al., 2018).

6.4.3. Ιόντα αργύρου και χαλκού

Τα ιόντα βαρέων μετάλλων, όπως του χαλκού και του αργύρου, χρησιμοποιούνται για παθογόνους μικροοργανισμούς, οι οποίοι παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στη χλωρίωση. Για παράδειγμα, επιλέγεται για τον έλεγχο του βακτηρίου *Legionella*, κυρίως σε νοσοκομειακούς χώρους. Τα ιόντα αυτά παρασκευάζονται από μεταλλικά ηλεκτρόδια (Lin et al., 1996). Η μέθοδος αυτή διαθέτει αρκετά προτερήματα, όπως το χαμηλό κόστος, την εύκολη συντήρηση του εξοπλισμού και την υπολειμματική ποσότητα, που παραμένει στο σύστημα (Lin et al., 1996 και Goetz et al., 1997). Η υπολειμματική ποσότητα παραμένει στο νερό ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες, που φτάνουν μέχρι και του 50 °C (Blanc et al., 2005). Τα ιόντα αυτά δεν προσδίδουν στα ύδατα δυσάρεστη οσμή, ούτε παράγουν τοξικά παραπροϊόντα (Liu et al., 1994). Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος χάνει την αποτελεσματικότητά της όταν το νερό εμφανίζει υψηλή σκληρότητα και θολότητα. Επίσης, απαιτεί τακτική συντήρηση με συχνές αντικαταστάσεις ηλεκτροδίων (Lin et al., 1996).

Ο μηχανισμός δράσης τους στηρίζεται στην αλλαγή της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης των μικροοργανισμών, ενώ ταυτόχρονα αδρανοποιούνται βασικές πρωτεΐνες του κυττάρου (Εικόνα 6-9). Αυτά οδηγούν στη λύση του κυτταρικού τοιχώματος και επομένως σε κυτταρικό θάνατο (Thurman & Gerba, 1989).



Εικόνα 6-9 Επίδραση ιόντων αργύρου και χαλκού στην κυτταρική μεμβράνη (Sarjoma et al., 2011)

Η μέθοδος αυτή είναι πολύ δραστική, πρέπει όμως να παρακολουθείται, ώστε να μην ξεπεραστούν τα προκαθορισμένα όρια. Σύμφωνα με το U.S. EPA οι τιμές κατωφλιού για το πόσιμο νερό ορίζονται στο 2,0 mg/L για τον χαλκό και στο 0,05 mg/L για τον άργυρο (Omelchenko et al., 2005).

6.4.4. Υπέρηχοι

Οι υπέρηχοι έχουν την ικανότητα να θανατώσουν βακτήρια, όταν παρέχεται αρκετή ενέργεια με την εφαρμογή υπερηχητικών κυμάτων, ενώ σε μικρότερα ποσοστά βελτιώνουν την απόδοση του απολυμαντικού μέσου. Το φυσιολογικό ανθρώπινο αυτί δεν μπορεί να ακούσει τα υπερηχητικά κύματα, επειδή η συχνότητα εφαρμογής τους είναι μεγαλύτερη από το ανώτερο όριο της ανθρώπινης ακοής (Diaz, 1996). Αναλυτικότερα, σε συχνότητες 20 kHz αυξάνουν τη δραστικότητα του απολυμαντικού μέσου, ενώ σε συχνότητα 850 kHz αδρανοποιούν τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Για παράδειγμα, η έκθεση μόλις για ένα λεπτό σε συχνότητα 850 kHz είναι αρκετή για να αδρανοποιηθεί το βακτήριο *Escherichia coli* (Duckhouse et al., 2004). Οι ενώσεις που ασκούν μεγάλη αποτελεσματικότητα είναι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, τα φυτοφάρμακα, τα πρόσθετα καυσίμων, το παραθείο, οι αρωματικές ενώσεις και κάποια χουμικά οξέα (Cheung et al., 1991). Κατά τη διαδικασία παρέχεται αρκετή ενέργεια, ώστε να πυρποληθεί μεγάλο ποσοστό ρύπων, αν όχι ολόκληρο. Η εκτιμώμενη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης κυμαίνεται από 4.000-10.000 °K και η πίεση από 300-975 bar (Hoffmann et al., 1996).

Όταν εισέρχονται σε ένα υγρό, όπως το νερό, εμφανίζεται ακουστική σπηλαίωση (Hua & Thompson, 2000). Σπηλαίωση είναι το φαινόμενο δημιουργίας μικροφουσαλίδων μέσα σε ένα υγρό (Joyti et al., 2001). Οι υψηλές αυτές συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν αδρανοποίηση των μικροοργανισμών με διάφορους μηχανισμούς. Αναλυτικότερα, μπορούν να διαταραχθούν οι κυτταρικές μεμβράνες (Scherba et al., 1991) ή να διασπαστούν οι χημικοί δεσμοί των μικροοργανισμών. Όσο αυξάνεται ο χρόνος υπέρηχων, τόσο αυξάνεται και το ποσοστό αδρανοποίησης των μικροοργανισμών. Για παράδειγμα, στην περίπτωση νερού μολυσμένου με *Cryptosporidium parvum* πείραμα έδειξε ότι μετά από 2, 10 και 20 λεπτά υπέρηχων στα 28 kHz το ποσοστό των ωκύστεων, που έχασαν τους πυρήνες τους, ήταν 40%, 97% και 99% αντίστοιχα (Nakonishi et al., 2001).

6.4.5. Ορθοφθαλαλδεΰδη (OPA)

Το νέο αυτό χημικό απολυμαντικό εγκρίθηκε από τον FDA τον Οκτώβριο του 1999. Το διάλυμα OPA είναι ένα διαυγές, ανοιχτό μπλε υγρό, το οποίο έχει επιδείξει εξαιρετική μικροβιοκτόνο δράση σε *in vitro* μελέτες (Rutala & Weber, 2001). Ωστόσο, δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε μυκοβακτήρια και σε σπόρια *Bacillus subtilis* (Walsh et al., 1999), έδειξαν καλή ανταπόκριση έναντι των μυκοβακτηρίων, όχι όμως έναντι των σπορίων. Όταν προσαρμόστηκε η τιμή του pH από 6,5 σε 8, βελτιώθηκε η δράση απέναντι στα σπόρια (Rutala & Weber, 2001).

Δεν έχει αποδειχθεί ότι έχει ερεθιστικές ιδιότητες για τα μάτια ή για τη ρινική κοιλότητα, διαθέτει μία ανεπαίσθητη οσμή και είναι εξαιρετικά σταθερό για τις τιμές pH 3-9. Επίσης, δεν απαιτεί παρακολούθηση κατά την έκθεση (Rutala & Weber, 2001). Από την άλλη πλευρά, ένα μειονέκτημα είναι ότι χρωματίζει τις πρωτεΐνες γκρίζες, συμπεριλαμβανομένου και του απροστάτευτου δέρματος, οπότε η διαχείρισή του απαιτεί προσοχή (Rutala & Weber, 1999).

7 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Συμπερασματικά, είναι ξεκάθαρο ότι το νερό αποτελεί τον πιο πολύτιμο φυσικό πόρο για τη ζωή στη Γη. Όχι μόνο ο άνθρωπος, αλλά όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί εξαρτώνται από αυτό, καθώς είναι απαραίτητο για την επιβίωση. Η ανθρώπινη κοινωνία, όμως, το χρησιμοποιεί επιπλέον και για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής μέσω της γεωργίας, της βιομηχανίας και άλλων τομέων. Ωστόσο, η πρόσβαση σε καθαρό, πόσιμο νερό δεν είναι δεδομένη. Οι φυσικοί πόροι του νερού εξαντλούνται με ανησυχητικούς ρυθμούς, λόγω της υπερβολικής κατανάλωσης, της κλιματικής αλλαγής και της ρύπανσης. Μάλιστα, οι περιοχές που απειλούνται από λειψυδρία όλο και πληθαίνουν, γεγονός που αποφέρει σοβαρές συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων που πλήττονται και που μελλοντικά μπορεί να επηρεάσει την υγειονομική ασφάλεια ακόμη και του παγκόσμιου πληθυσμού.

Σε αυτό συμβάλλει σημαντικά η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, καθώς έτσι αυξάνονται οι απαιτήσεις για μεγαλύτερες ποσότητες κατανάλωσης. Ταυτόχρονα, οι κλιματικές αλλαγές, όπως η ξηρασία και η ατμοσφαιρική μόλυνση, δυσχεραίνουν την αναπλήρωση των υδάτινων πόρων. Επίσης, σπουδαίο παράγοντα διαδραματίζει και η ρύπανση των υδάτων από βιομηχανικά απόβλητα, καθώς συχνά οι χημικές ουσίες που περιέχουν είναι τόσο τοξικές, που οδηγούν στην υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτινων πόρων, πολλές φορές σε σημείο που ούτε οι μέθοδοι επεξεργασίας και απολύμανσης μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά.

Είναι κρίσιμης σημασίας να αντιμετωπιστεί άμεσα αυτό το παγκόσμιο πρόβλημα. Οι πιθανές λύσεις περιλαμβάνουν την εφαρμογή μεθόδων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του νερού, καθώς και τη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών, όπως η αφαλάτωση. Η τελευταία αποτελεί μία άριστη λύση για χώρες, όπως η Ελλάδα, η οποία διαθέτει άφθονο θαλασσινό νερό, άμεσα προσβάσιμο. Βέβαια, το πρόβλημα είναι αδύνατο να αμβλυθθεί χωρίς την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων μέσω αυστηρότερων νομοθεσιών και μέσω της ευαισθητοποίησης του πληθυσμού για τη σωστή διαχείριση του νερού. Συνοψίζοντας, πρέπει να επενδύσουμε σε αυτές τις λύσεις άμεσα, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ύπαρξη νερού ανθρώπινης κατανάλωσης για τις μελλοντικές γενιές.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abbasi T. & Abbasi S.A. (2011): Sources of Pollution in Rooftop Rainwater Harvesting Systems and their Control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 41: 2097-2167.
2. Abel P.D. (2002): *Water pollution biology*. CRC Press.
3. Abeledo-Lameiro M.J., Roboredo-Fernandez A., Polo-Lopez M.I., Fernandez-Ibanez P., Ares-Mazas E., Gomez-Couso H. (2017): Photocatalytic inactivation of the waterborne protozoan parasite *Cryptosporidium parvum* using TiO₂/H₂O₂ under simulated and natural solar conditions. 280, 132-138.
4. Aguilar M.I., Saez J., Llorens M., Soler A., Ortuno J.F. (2002): Nutrient removal and sludge production in the coagulation-flocculation process. *Water research*, 36(11), 2910-2919.
5. Al-Abri M., Al-Ghafri B., Bora T., Dobretsov S., Dutta J., Castelletto S., Boretti A. (2019): Chlorination disadvantages and alternative routes for biofouling control in reverse osmosis desalination. *npg Clean Water*, 2(1), 1-16.
6. Amirtharajah A. (1998): Some Theoretical and Conceptual View of Filtration. *J. AWWA*, 80, 12, 36-46.
7. Aneez E., Mohammed A., Jawahar N. & Sekarbabu H. (2011): A preliminary attempt to reduce total dissolved solids in ground water using different plant parts. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 2(2).
8. Anselme C., Jacobs E.P. (1996): Ultrafiltration, Chap.10, in J. Mallevalle, P.E. Odendaal and M.R. Wienser (eds.), *Water Treatment Membrane Processes*, McGraw-Hill, New York.
9. Ashbolt N.J. (2004): Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicology.*, 198, pg. 229-238.
10. AWWA (1992): *Membrane Processes in Potable Water Treatment*. AWWA Membrane Technology Research Committee Report. *J. AWWA*, 84, 1, 59-67.
11. AWWA (1998): *Membrane Processes*. AWWA Membrane Technology Research Committee Report. *J. AWWA*, 90, 6, 91-105.
12. AWWA (2005a): *Recent Advances and Research Needs in Membrane Fouling*. AWWA Membrane Technology Research Committee Report. *J. AWWA*, 97, 8, 79-89.

13. Ayoko G. A., Singh K., Balera S. & Kokot S. (2007): Exploratory multivariate modeling and prediction of the physico-chemical properties of surface water and groundwater. *Journal of Hydrology*, 336(1-2), 115-124.
14. Baier J.H., Lykins B.W., Fronk C.A., Kramer S.J. (1987): Using Reverse Osmosis to Remove Agricultural Chemicals from Groundwater. *J. AWWA*, 79, 8, 55-60.
15. Baker M.N. (1948): *The quest for Pure Water*, American Water Works Association, New York.
16. Bellar T.A., Lichtenberg J.J. (1974): Determining Volatile Organics at Microgram-per-Litre Levels by Gas Chromatography. *J. AWWA*, 66, 12, 739-744.
17. Bergmann H., Koparal S. (2005): The formation of chlorine dioxide in the electrochemical treatment of drinking water for disinfection. *Electrochimica Acta*, in press.
18. Berk, Richard A., Cooley T. F., LaCivita C. J., Parker S., Sredl K. & Brewer M. (1980): Reducing consumption in periods of acute scarcity: the case of water. *Social Science Research* 9 (2): 99-120.
19. Blanc D.S., Carraba P., Zanetti G., Francioli P. (2005): Water disinfection with ozone, copper and silver, and temperature increase to control Legionella: seven years of experience in a university teaching hospital. *Journal Of Hospital Infection*, 60, 69-72.
20. Boyacioglu H. (2010): Utilization of the water quality index method as a classification tool. *Environmental monitoring and assessment*, 167 (1-4), 115-124.
21. Bruchet A., Duguet J.P., Suffe I.H. (2004): Role of oxidants and disinfectants on the removal, masking and generation of tastes and odors. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 3, 33-41.
22. Bryant E.A., Fulton G.P., Budd G.C. (1992): *Disinfection Alternatives for Safe Drinking Water*. Van Nostrand Reinhold, New York.
23. Bull R., Gerba R., Trussell R. (1990): Evaluation of Health Risks Associated with Disinfection. *Crit. Rev. Environ. Control*, 20, 2, 77-114.
24. Bull R., Kopfler F. (1991): *Health Effects of Disinfectants and Disinfection By-products*. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO.
25. Butterfield I.M., Christensen P.A., Curtis T.P., Gunlazuardi J. (1997): Water disinfection using an immobilized titanium dioxide film in a photochemical reactor with electric field enhancement. *Water Research*, 31, 675-677.

26. Camp T.R. (1964): Theory of water filtration. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 90(4), 1-30.
27. Chemical Abstracts Service (CAS), 2010a
28. Cheremisinoff P.N. (1995): *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology*. Marcel Dekker Inc., New York.
29. Cheryan M. (1998): *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*. Technomic, Lancaster, PA.
30. Cheung H.M., Bhatnagar A., Jansen G. (1991): Sonochemical Destruction of Chlorinated Hydrocarbons in Dilute Aqueous Solution. *Environ. Sci. Technol.*, 25,8, 1510-1512.
31. Chong M.N., Sharma A.K., Burn S., Saint C.P. (2012): Feasibility study on the application of advanced oxidation technologies for decentralized wastewater treatment. *J. Clean. Prod.*, 35, 230-238.
32. Cleasby J.L., Logsdon G.S. (1999): Granular Bed and Precoat Filtration. Chap.8, in R.D. Letterman (ed.), *Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies*, McGraw-Hill, New York.
33. Connell G.F. (1997): *The Chlorination/Chloramination Handbook- Water Disinfection Series*. Amer Water Works Assn.
34. Craik S., Weldon D., Finch G., Bolton J., Belosevic M. (2001): Inactivation of *Cryptosporidium parvum* Oocysts Using Medium Pressure and Low Pressure Ultraviolet Light. *Water Research*, 35, 6, 1387-1398.
35. Crittenden J.C., Trussell R.R., Hand D.W., Howe K.J., Tchobanoglous G. (2023): *Water Treatment: Principles and design*. John Wiley & Sons. 1, pg. 1-15, 18-21, 25, 28-30, 42, 45-47, 59, 62, 75-80, 83-85, 102,143-145,152, 168, 187, 543, 559-561, 567, 573-574, 645, 665, 673-678, 732-737, 786, 800, 804, 821-823, 830, 835-841, 852-856, 906-1014, 1342, 1416, 1478, 1485-1520.
36. Curtis R. (1998): *A guide to water purification*. Random house, NY.
37. De Rooy J. (1974): Price responsiveness of the industrial demand for water. *Water Resources Research* 10 (3): 403-406.
38. Diaz G.E. (1996): *Ultrasound definition*.

39. Dong H., Zeng G., Tang L., Fan C., Zhang C., He Y. (2015): An overview on limitations of TiO₂- based particles for photocatalytic degradation of organic pollutants and the corresponding countermeasures. *Water Research*, 79, 128-146.
40. Droste R.L. (1997): *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Willey and Sons Inc., U.S.A.
41. Duckhouse H., Mason T.J., Phull S.S., Lorimer J.P. (2004): The effect of sonication on microbial disinfection using hypochlorite. *Ultrasonic Sonochemistry*, 11, 173-176.
42. Ersahin M.E., Ozgun H., Dereli R.K., Ozturk I., Roest K., Van Lier J.B. (2012): A review on dynamic membrane filtration: materials, applications and future perspectives. *Bioresource technology*, 122, 196-206.
43. Ewald P., Sussman J., Distler M., Libel C., Chammas W., Dirita V., Salles C., Vicente A., Heitmann I., Cabello F. (1998): *Evolutionary Control of Infectious Disease: Prospects for Vectorborne and Waterborne Pathogens*. 93, 5, 567-576.
44. Falkenmark, J. Rockstrom (2004). *Balancing water for humans and nature: The new approach in Ecohydrology* (Earthscan, Sterling, VA).
45. Fane A.G., Tang C., Wang R. (2011): *Membrane technology for water: microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis*. Treatise on water science.
46. Forsythe S.J. (2020): *The microbiology of safe food*. John Wiley & Sons.
47. Fox K.R., Lytle D.A. (1996): Milwaukee's Crypto Outbreak: Investigation and Recommendations. *Journal AWWA*, 88, 9, pg. 87-94.
48. Freuze I., Brosillon S., Laplanche A., Tozza D., Cavard J. (2005): Effect of chlorination on the formation of odorous disinfection by-products. *Water Research*. 39, 2636-2642.
49. Fuller G. (1898): *Report on the Investigation into Purification of the Water of the Ohio River at Louisville, Kentucky*, D. Van Nostrand Co., New York.
50. Gleick P. H. (1993): *Water in crisis*. Pacific Institute for Studies in Den., Environment & Security. Stockholm Env. Institute, Oxford University Press. 9, 473.
51. Goetz A., Yu V.L. (1997): Copper-silver ionization: Cautious optimism for Legionella disinfection and implications for environmental culturing. *American Journal of Infection Control*, 25, 6.
52. Grabow W.O.K. (1998): *The Virology of Waste Water Treatment*. *Water Res.*, 2, 675-701.

53. Greenwood R., Mills G.A., Roig B. (2007): Introduction to emerging tools and their use in water monitoring. *TraAC Trends in Analytical Chemistry*, 26(4), 263-267.
54. Haas C.N., Kaymak B. (2003): Effect of initial microbial density on inactivation of *Giardia muris* by ozon. *Water research*, 37, 2980-2988.
55. Hach (2008): *Water Analysis Handbook*. 5th Edition, Hach Company, Loveland. CO.
56. Harrison B.M. (2001): *Pollution - Causes, Effects and Control*. University of Birmingham, 4th Edition, UK.
57. Hazen A. (1914): *Clean water and how to get it*. J. Wiley & sons.
58. Hedberg T., Wahlberg T.A. (1998): Upgrading of waterworks with a new biooxidation process for removal of manganese and iron. *Water Sci. Technol.*, 37, 121-126.
59. Helena B., Pardo R., Vega M., Barrado E., Fernandez J. M. & Fernandez L. (2000): Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water research*, 34(3), 807-816.
60. Heyworth J.S., Glonek G., Maynard E.D., Baghurst P.A., Finlay-Jones J. (2006): Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Africa. *International Journal of Epidemiology*. 35: 1051-1058.
61. Hoffmann M.R., Hua I., Hochemer R., (1996): Application of Ultrasonic Irradiation for Degradation of Chemical Contaminants in Water. *Ultrason., Sonochem.*, 3, S163-S172.
62. Hua I., Thompson J.E. (2000): Inactivation of *Escherichia coli* by Sonication at Discrete Ultrasonic Frequencies. *Water Research*, 34(15), 3888-3893.
63. Huang W., Fang G., Wang C. (2005): The determination and fate of disinfection by-products from ozonation of polluted raw water. *Science of the Total Environment*, 345, 261-272.
64. Hudson H.E., Wolfner J.P. (1967): Design of Mixing and Flocculating Basins. *J. AWWA*, 59, 10, 1257-1267.
65. Jancangelo J.G., Laine J.M., Carns K.E., Cummings E.W., Mallevalle J. (1989): Low Pressure Membrane Filtration for Removing *Giardia* and Microbial Indicators. *J. AWWA*, 83, 9, 97-106.
66. Johnson G.A. (1911): Hypochlorite Treatment of Public Water Supplies. *Am. J. Public Health*, 562-565.

67. Junli H., Li W., Nanqi R., Fang M. (1997): Disinfection effect of chlorine dioxide on bacteria in water. *Water Research*, 31, 607-631.
68. Jyoti K.K., Pandit A.B. (2001): Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation. *Biochemical Engineering Journal*, 7, 201-212.
69. Jyoti K.K., Pandit A.B. (2004): Ozone and cavitation for water disinfection. *Biochemical Engineering Journal*, 18, 9-19.
70. Kiely G. (1997): *Environmental Engineering*. McGraw Hill Inc., New York.
71. Kim J., Chung Y., Shin D., Kim M., Lee Y., Lim Y., Lee D. (2002): Chlorination byproducts in surface water treatment process. *Desalination*. 151, 1-9.
72. Kim Y., Hwang H.M., Wang L., Kim I., Yoon Y., Lee H. (2016): Solar-light photocatalytic disinfection using crystalline/amorphous low energy bandgap reduced TiO₂. 6, 2-11.
73. King Thomas (1993): *Green Grass, Running Water*.
74. Kling C., Olin G., Fahraeus J., Norlin G. (1942): Sewage as a Carrier and Disseminator of Poliomyelitis Virus. *Acta Med. Scand.*, 112, 217-249.
75. Krasner S., Barrett S. (1984): *Aroma and Flavor Characteristics of Free Chlorine and Chloramines*. AWWA, American Works Association, Denver, CO. 381-389.
76. Kurokawa Y., Mackawa A., Takahashi M., Hayashi Y. (1990): Toxicity and carcinogenicity of Potassium Bromate. *Environ. Health Perspectives*, 87, 309.
77. Laine J.M., Hagstrom J.P., Clark M.M., Mallevalle J. (1989): Effects of Ultrafiltration Membrane Composition. *J. AWWA*, 81, 11, 61-67.
78. Larson M.A., Marinas B.J. (2003): Inactivation of *Bacillus subtilis* spores with ozone and monochloramine. *Water research*, 37, 833-844.
79. Li J.W., Tao Z.X., Wang X.W., Zheng J.L., Chao F.H. (2004): Mechanisms of inactivation of Hepatitis A virus in water by chlorine dioxide. *Water Research*, 38, 1514-1519.
80. Lin Y.S.E., Vidic R.D., Stout J.E., Yu V.L. (1996): Individual and combined effects of copper and silver ions on inactivation of *Legionella Pneumophila*. *Water Research*, 30, 1905-1913.
81. Liu Z., Stout J.E., Tedesco L., Boldin M., Hwang C., Diven W.F., Yu V.L. (1994): Controlled evaluation of copper-silver ionization in eradicating *Legionella pneumophila* from a hospital water distribution system. *The journal of infection diseases*. Apr, 169(4), 919-922.

82. Liu D.H.F., Liptak B.G. (2000): Environmental Engineers Handbook. Lewis Publishers, 2nd Edition, New York.
83. Losinski T., Wierzchowski K.L. (2003): Inactivation and destruction by KMnO₄ of Escherichia coli RNA polymerase open transcription complex-recommendations for footprinting experiments. Analytical Biochemistry, 320, 239-251.
84. MacDonald L.E., Strosher M.M. (1998): Selenium mobilization from surface coal mining in the Elk River Basin, British Columbia: a survey of water, sediment and biota.
85. MacKenzie W., Hoxie N., Proctor M., Gradus M., Blair K., Peterson D., Kazmierczak J., Addiss D., Fox K., Rose J., Davis J. (1994): A Massive Outbreak in Milwaukee of Cryptosporidium Infection Transmitted through the Public Water Supply. N. Engl. J. Med., 331, 161-167.
86. MacMahon J.M. (1992): U.S. Patent No. 5,166,220. Washington DC: US Patent and Trademark Office.
87. Madigan M.T., Martinko J.M., Parker J. (1997): Brock Biology of Microorganisms, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
88. Magana-Lopez R., Zaragoza-Sanchez P.I., Jimenez-Cisneros B.E., Chavez-Mejia A.C. (2021): The Use of TiO₂ as a Disinfectant in Water Sanitation Applications. Water Review, 13, 1641, 14-16.
89. Matilainen A., Vepsäläinen M., Sillanpää M., (2010): Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment. A review. Advances in colloid and interface science, 159(2), 189-197.
90. Matsunaga T., Okochi M., Takahashi M., Nakayama T., Wake H., Nakamura M. (2000): TiN electrode reactor for disinfection of drinking water. Water Research, 34, 3117-3122.
91. Melnick J. (1947): Poliomyelitis Virus in Urban Sewage in Epidemic and Nonepidemic Times. 45, 240-253.
92. Miller J. & Tyler G. (2009): Βιώνοντας το περιβάλλον. 9η έκδοση. Εκδόσεις ΙΩΝ, Τόμος II. Αθήνα.
93. Minear R.A., Amy G.L. (1996): Disinfection by-products in water treatment. Lewis Publishers, Florida.
94. Najm I., Trussell R. (2000): NDMA Formation in Water and Wastewater, in Proceeding American Water Works Association Water Quality Technology Conference, Denver, CO.

95. Najm I., Trussell R. (2001): NDMA Formation in Water and Wastewater. *J. AWWA*, 93, 2, 92-99.
96. Nakanishi M., Mukai S., Kimata I., Iseki M., Maeda Y. (2001): Inactivation of *Cryptosporidium parvum* Oocysts in Drinking Water by High-intensity Ultrasonic Waves. *AWWA*, 2001 Annual Conference, Washington, DC.
97. Neefe J., Strokes J. (1945): An Epidemic of Infectious Hepatitis Apparently due to a Waterborne Agent. *JAMA*, 128, 1063-1071.
98. Olszynski J. (1988): Plagues and Epidemics. *Plumbing Mechanical Mag.*, 5, 5, pg. 42-56.
99. O'Melia C.R., Stumm W. (1967): Theory of water filtration. *Journal-American Water Works Association*, 59(11), 1393-1412.
100. O'Melia C.R. (1972): Coagulation and Flocculation, in W.J. Weber, *Physicochemical Processes for Water Quality Control*, Wiley-Interscience, New York.
101. Omelchenko A., Pivovarov A.A., Swindal W.J. (2005): Modern Tools and Methods of Water Treatment for Improving Living Standards, Water Disinfection using Silver and Copper Ions and Colloidal Gold. *NATO Science Series*, 48, 159-166.
102. Palin A. (1975): Water Disinfection-Chemical Aspects and Analytical Control. *Disinfection-Water and Wastewater*. J. Johnson edition, 71-93.
103. Pandit A.B., Kumar J.K. (2013): *Drinking Water: Disinfection Techniques*. Taylor & Francis Group. 1, pg.1-17.
104. Pandya K.V. (2012): U.S. Patent No. 8,147,696. Washington DC: US Patent and Trademark Office.
105. Peirce J.J., Vesilind P.A., Weiner R. (1998): *Environmental pollution and control*. Butterworth- Heinemann.
106. Rautenbach R., Vossenkaul K., Linn T., Katz T. (1997): Waste water treatment by membrane process- new development in ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis. *Desalination*, 108(1-3), 247-253.
107. Rochelle P.A., Upton S.J., Montelone B.A., Woods K. (2005): The response of *Cryptosporidium parvum* to UV light. *Review, Trends in Parasitology*, Vol.21, No.2.
108. Robertson J.M.C., Robertson P.K.J., Lawton L.A. (2005): A comparison of the effectiveness of TiO₂ photocatalysis and UVA photolysis for the destruction of the three pathogenic microorganisms. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, in press.

109. Rook J.J. (1974): Formation of Haloforms During the Chlorination of Natural Water, *Water Treatment Exam*, 23, 234-243.
110. Ruffell K.M., Rennecker J.L., Marinas B.J. (2000): Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts with chlorine dioxide. *Water Research*, 34, 868-876.
111. Rutala W.A., Weber D.J. (1999): Disinfection of endoscopes: review of new chemical sterilants used for high-level disinfection. *Infect Control Hosp. Epidemiol.*, 20, 69-76.
112. Rutala W.A., Weber D.J. (2001): *New Disinfection and Sterilization Methods*. University of North Carolina, Health Care System and UNC School of Medicine, Chapel Hill, North Carolina, 7, 2, 348-349.
113. Saunier B., Selleck R. (1979): The Kinetics of Breakpoint Chlorination in Continuous Flow Systems. *J. AWWA*, 71, 3, 164-172.
114. Sarjomma M., Urdahl P., Ramsli E., Borchgrevink-Lund C.F., Ask E. (2011): Prevention of Legionnaires disease in hospitals. *Tidsskr Nor Legeforen nr.* 16, 131, 1554-1557.
115. Sawidis T., Chettri M.K., Zachariadis G.A., Stratis J.A. (1995): Heavy metals in aquatic plants and sediments from water in Macedonia, Greece. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 32(1): 73-80.
116. Scherba G., Weigel R.M., O'Brien W.D. (1991): Quantitative Assessment of the Germicidal Efficacy of Ultrasonic Energy. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(7), 2079-2084.
117. Schoenen D. (2002): Role of disinfection in suppressing the spread of pathogens with drinking water: possibilities and limitations, *Water Research*, 36, pg. 3874-3888.
118. Servais P., Joret J.C. (1999): BOM in Water Treatment, in M. Prevost (ed.), *Biodegradable Organic Matter in Drinking Water*, American Water Works Association Research Foundation, Lewis Publisher, Boca Raton, FL.
119. Setlow J. (1967): The Effects of Ultraviolet Radiation and Photoreactivation. *Comprehensive Biochem.*, 27, 157-209.
120. Simeonov V., Stratis J.A., Samara C., Zachariadis G.A., Voutsas D., Anthemidis A., Kouimtzis T. (2003): Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water research*. 37 (17): 4119-4124.
121. Smith T. (1893): A New Method for Determining Quantitatively the Pollution of Water by Fecal Bacteria. Thirteenth Annual Report for the Year 1892, New York State Board of Health, Albany, NY. pg. 712-722.

122. Stolarik G.F., Christie D., Prendergast R., Gillogly T.E., Oppenheimer J.A. (2001): Long-Term Performance and Reliability of a Demonstration-Scale UV Reactor. Proc. of the First International Congress on Ultraviolet Technologies, Washington, DC. International Ultraviolet Association, Ontario, Canada.
123. Tarpagkou R., Pantokratoras A. (2014): The influence of lamellar settler in sedimentation tanks for potable water treatment- a computational fluid dynamic study. Powder Technology, 268, 139-149.
124. Tchobanoglous G., Schroeder E.D. (1985): Water Quality - Characteristics, Modeling, Modification. Addison-Wesley. MA.
125. Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D. (2003): Wastewater Engineering - Treatment and Reuse. 4th Edition, McGraw-Hill, New York.
126. Thurman R.B., Gerba C.P. (1989): The molecular mechanisms of copper and silver ion disinfection of bacteria and viruses. Crit. Rev. Environ. Control, 18, 295-315.
127. Trask J., Paul J. (1942): Periodic Examination of Sewage for the Virus of Poliomyelitis. J.Exp. Med. 73, 1-6.
128. Trussell R.R., Kreft P. (1984): Engineering Considerations of Chloramine Application. Chlorination for THM Control: Principles and Practices, AWWA Special Workshop, Dallas, TX, 47-73.
129. Trussell R.R. (2001): Endocrine Disruptors and the Water Industry. J. AWWA, 93, 2, 58-65.
130. United States Geological Survey (USGS): The Water Cycle, Greek (2017).
131. US Environmental Protection Agency (EPA), 1999, 2001 & 2003 (Ultraviolet Disinfection Guidance Manual).
132. Verma A.K., Dash R.R., Bhunia P. (2012): A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of color from textile wastewaters. Journal of environmental management, 93(1), 154-168.
133. Von Gunten U. (2003): Ozonation of drinking water-Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. Water Research, 37, 1469-1487.
134. Walsh S.E., Maillard J.Y., Russell A.D. (1999): Ortho-phthalaldehyde- a possible alternative to glutaraldehyde for high level disinfection. J. Appl. Microbiol., 86, 1039-1046.
135. Whipple G.C. (1906): Disinfection as a means of water purification. AWWA American Works Association, New York, 266-288.

136. Wiesner M.R., Chellam S. (1992): Mass Transport Considerations for Pressure-Driven Membrane Processes. J. AWWA, 84, 1, 88-95.
137. World Health Organization (WHO): Emerging Issues in Water and Infectious Disease (2003).
138. Yang C.Y. (2004): Drinking water chlorination and adverse birth outcomes in Taiwan. Toxicology. 198, 249-254.
139. Young G. J., Dooge J. C. I., Rodda J. C. (1994): Global water resources issues. Cambridge University Press.
140. Zhang Y., Wang Y., Zhou L. (2013): Influence of excess KMnO₄ on the adsorption of powdered activated carbon. Chem. Eng. Journal., 226, 279-285.
141. Zheng X., Shen Z.P., Cheng C., Shi L., Cheng R., Yuan D., (2018): Photocatalytic disinfection performance in virus and virus/bacteria system by Cu-TiO₂ nanofibers under visible light. Environ. Pollut., 237, 452-459.
142. Αυλωνίτης Σ. Α.: Εισαγωγή στην τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης (2006). Εκδόσεις ΙΩΝ.: σελ. 15-17, 19-21, 23, 50-51, 139-142
143. Αυλωνίτης Σ. Α.: Περιβαλλοντική Μηχανική Ι. Εισαγωγή στην τεχνολογία νερού και υγρών αποβλήτων (2013). Εκδόσεις ΙΩΝ. σελ. 21-24, 31-33, 92-93, 95-108, 115-117, 127-130, 135-155, 205-248, 347.
144. Γεωργόπουλος Α. (2004): Γη, ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης. Αθήνα: Gutenberg.
145. Ζανάκη Κ. (2001): Έλεγχος ποιότητας νερού. Εκδόσεις ΙΩΝ: 2η έκδοση. Αθήνα.
146. Κώττη Σ.Μ. (2010): Τεχνολογία επεξεργασίας πόσιμου νερού. Χανιά: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα.
147. Λέκκας Θ. (1996): Περιβαλλοντική μηχανική Ι- Διαχείριση υδάτινων πόρων. Μυτιλήνη, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
148. Μανωλεδάκης Μ. & Μάρκη Ε. (2008): Το υδραγωγείο του Χορτιάτη. Το αρχαιολογικό έργο στη Μακεδονία και τη Θράκη. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 22, σελ. 361-368.
149. Μήτρακας Μ. (2001): Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού.
150. Μπρούσαλης Κ. (2012): Οι ανυπότακτοι. 2, σελ 18.
151. Νικολαΐδης Χ., Κωνσταντινίδης Θ., Αλεξανδροπούλου Ι., Βαρελά Α., Κάπη Μ., Μάνδαλος Π., Μπινοπούλου Σ., Παρασίδης Θ., Τσελεμπόνης Α. (2009): Χρήσεις του νερού και

- επιπτώσεις στην υγεία των πολιτών από τη σκοπιά της υγιεινής περιβάλλοντος. Αλεξανδρούπολη, σελ. 15-26.
- 152.Νταρακάς Ε. (2010): Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- 153.Παναγιωτίδης Π., Δημητρακόπουλος Α. (1999): Υδρολογία: Εισαγωγή στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Τόμος Α.: σελ. 147-207.
- 154.Ταμιωλάκης Γ. (1985): Η ιστορία της ύδρευσης της Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- 155.Τσώνης Σ. (2003): Καθαρισμός νερού. Αθήνα, Παπασωτηρίου.
- 156.ΦΕΚ Β/3525/25.05.2023