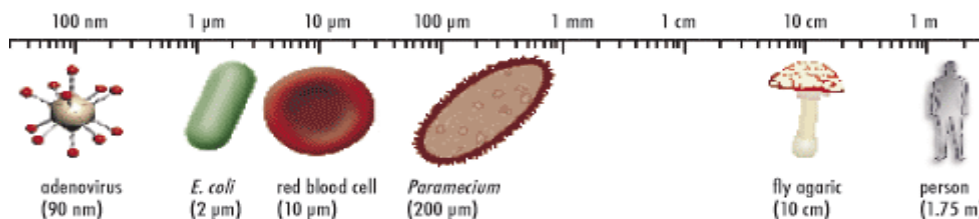


ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΡΟΠΩΝ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Απολύμανση είναι το τμήμα εκείνο της επεξεργασίας του νερού με το οποίο επιτυγχάνεται η καταστροφή , ή η αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών , που τυχόν αυτό περιέχει.

Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό σε συγκεντρώσεις που είναι βλαπτικοί για τον άνθρωπο, είναι ένας υπαρκτός κίνδυνος. Τυχόν μόλυνση του νερού ακόμα και με μικρό αριθμό βακτηρίων , μπορεί να συνεπάγεται την ανάπτυξη τους , ευνοούμενη από παράγοντες όπως είναι το ουδέτερο pH , η παρουσία οργανικής ύλης και θρεπτικών συστατικών όπως ο φώσφορος και το άζωτο , απαραίτητα για την λειτουργία της βιοσύνθεσής των.

Στο ανεπεξέργαστο νερό τα βακτήρια είναι , κατά κανόνα , προσκολλημένα σε στερεά ύλη ή σε μεγαλύτερους οργανισμούς και ως εκ τούτου μεγάλο μέρος του απομακρύνεται με φυσικοχημικές διεργασίες (καθίζηση – διήθηση). Ωστόσο , οι διεργασίες αυτές δεν μπορούν να εξασφαλίσουν την πλήρη απομάκρυνση τους λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους. Η διήθηση σε χαλαζιακή άμμο ιδεατής διαμέτρου 0,8 -1,2 mm , κρατά σωματίδια μεγαλύτερα από 30 μm , ενώ τα βακτήρια είναι 1-15 μm γεγονός που οδηγεί στην απαίτηση της απολύμανσης.



Η απολύμανση έχει σκοπό την διατήρηση των μικροοργανισμών ενός ανοικτού , ή κλειστού δικτύου νερού , σε επίπεδα πληθυσμού και κατάσταση τέτοια που να μην είναι επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία και διακρίνεται από την αποστείρωση , που σημαίνει πλήρη καταστροφή των μικροοργανισμών.

Μία σωστή και πλήρη προσέγγιση του συγκεκριμένου θέματος, μπορεί και πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

1. Αναφορά στους μηχανισμούς και στους παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης.
2. Τεχνική Περιγραφή των διαφόρων μεθόδων απολύμανσης που θα συμπεριλαμβάνει και αναφορά στα παραπροϊόντα απολύμανσης της κάθε περίπτωσης ξεχωριστά.
3. Τεχνικό - οικονομική σύγκριση των διαφόρων μεθόδων.
4. Μεταφορά εμπειρίας από εφαρμογή της κάθε περίπτωσης , στον Ελλαδικό ή και στον Παγκόσμιο χώρο.

1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

1.1. Μηχανισμοί απολύμανσης .

Η δράση των απολυμαντικών μέσων ενάντια στους παθογόνους μικροοργανισμούς , επιτυγχάνεται μέσω :

- Της καταστροφής ή της εξασθένησης της οργάνωσης της κυτταρικής δομής και κυρίως της κυτταρικής μεμβράνης .
- Της παρέμβασης στον μεταβολισμό , κύριου υπεύθυνου για την παραγωγή ενέργειας , και
- Της παρέμβασης κατ' ευθείαν στην βιοσύνθεση και την ανάπτυξη.

Στους διάφορους μηχανισμούς βλαπτικής επίδρασης στα κύτταρα των μικροοργανισμών , ανήκει και η παρεμπόδιση της ενζυματικής δράσης και ικανότητας των κυττάρων να συνθέσουν νέα υλικά. Έτσι , τα διάφορα οξειδωτικά μέσα , όπως π.χ. το χλώριο , το όζον , μεταβάλουν την χημική σύσταση των ενζύμων και τα αδρανοποιούν , με αποτέλεσμα να εμποδίζεται ο ρυθμός μεταβολισμού. Επισημαίνεται ότι τα ένζυμα που είναι ζωτικά για τον μεταβολισμό , βρίσκονται σε μικρές ποσότητες , γεγονός στο οποίο αποδίδεται η μικροβιοκτόνος δράση του χλωρίου και του όζοντος , ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις.

1.2. Παράμετροι αποτελεσματικότητας απολύμανσης .

Στην απολύμανση του πόσιμου νερού οι βασικοί παράγοντες που ελέγχουν την αποτελεσματικότητα της διεργασίας είναι η ικανότητα των απολυμαντικών να οξειδώνουν , ή να διασπούν το κυτταρικό τοίχωμα , καθώς και η ικανότητά τους να διαχέονται μέσα στο κυτταρικό υλικό και να παρεμποδίζουν τους μηχανισμούς λειτουργίας του κυττάρου.

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης , ελέγχεται από τις παρακάτω παραμέτρους :

- Το είδος του απολυμαντικού .
- Το είδος των μικροοργανισμών .
- Την συγκέντρωση του απολυμαντικού .
- Το χρόνο επαφής .
- Το pH .
- Την θερμοκρασία .
- Την θολερότητα .

1.2.1. Το είδος του απολυμαντικού .

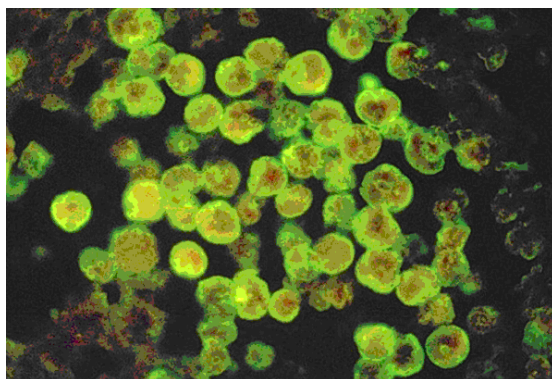
Η επιλογή του απολυμαντικού είναι ένα σύνθετο πρόβλημα , η επίλυση του οποίου εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων , μέσα στους οποίους περιλαμβάνονται ι:

- Ο βαθμός δραστηριότητάς του σε όλες τις κατηγορίες μικροοργανισμών , που υπάρχουν ή που αναμένονται στο σύστημα ύδρευσης .
- Το κόστος από την εφαρμογή του .
- Ο αριθμός και η σοβαρότητα των παρενεργειών που δημιουργούνται στο σύστημα , καθώς και η ανεξέλεγκτη ανάπτυξη ανεπιθύμητων παραπροϊόντων .
- Οι κίνδυνοι που δημιουργούνται από την εφαρμογή του στο προσωπικό και στο περιβάλλον .

1.2.2. Το είδος των μικροοργανισμών .

Μικροοργανισμοί θεωρούνται οι οργανισμοί τους οποίους δεν μπορούμε με γυμνό μάτι (με διάσταση μικρότερη από 1 mm) . Οι μικροοργανισμοί που έχουν ενδιαφέρον για την ποιότητα του νερού , με βάση την υγιεινή , είναι κυρίως οι ιοί , τα βακτήρια και τα πρωτόζωα.

Η διαφοροποίηση της αντίστασής των στην απολύμανση οφείλεται κυρίως στον ξεχωριστό τρόπο της κυτταρικής δομής των. Γενικά τα πρωτόζωα είναι πιο ανθεκτικά στην απολύμανση και ακολουθούν τα βακτήρια και οι ιοί.



Μικροοργανισμοί στο πόσιμο νερό ,

1.2.3. Η συγκέντρωση του απολυμαντικού και χρόνος επαφής .

Γενικά ένα σύστημα απολύμανσης χαρακτηρίζεται από τις τιμές συγκέντρωσης του απολυμαντικού C και τον χρόνο επαφής t με το νερό και τυχόν μικροοργανισμούς .

Αναπτύχθηκαν διάφορες εμπειρικές κατά βάση σχέσεις που προσπαθούν να περιγράψουν την κινητική της απολύμανσης. Μία από αυτές , που περιλαμβάνει και τις μεταβολές στη συγκέντρωση του απολυμαντικού , ορίζει ότι :

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\Lambda * C^n * t , \text{ όπου :}$$

C : Η συγκέντρωση του απολυμαντικού.

N : Ο αριθμός των μικροοργανισμών την χρονική στιγμή t.

N₀ : Ο αριθμός των μικροοργανισμών την χρονική στιγμή 0.

t : Ο χρόνος

n : Ο συντελεστής διάλυσης , με τιμή που εξαρτάται από το είδος του απολυμαντικού , την τιμή του pH και με συνήθη τιμή 1.

Λ : Ο συντελεστής θνησιμότητας .

Ο συντελεστής Λ προκύπτει από Πίνακα , για διάφορα απολυμαντικά , σε σχέση με ορισμένα είδη μικροοργανισμών , για 99% καταστροφή , με pH=7 και σε θερμοκρασία 20⁰ C.

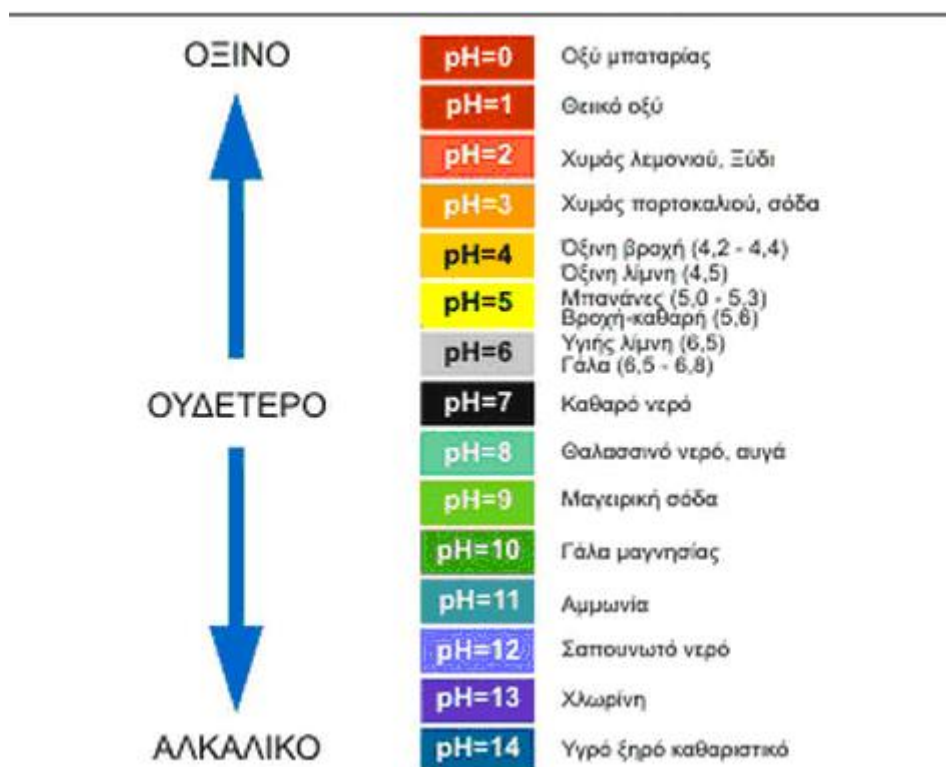
Συνήθως χρησιμοποιείται η σταθερά 99% για καταστροφή των μικροοργανισμών.

Από την διερεύνηση της εξίσωσης προκύπτει ότι για μεγάλες συγκεντρώσεις απολυμαντικού απαιτούνται μικροί χρόνοι επαφής , ενώ για μικρές συγκεντρώσεις , μεγάλοι χρόνοι επαφής. Το τελευταίο οδηγεί αναπόφευκτα και σε μεγάλες δεξαμενές απολύμανσης.

1.2.4. Η τιμή του pH .

Το pH του νερού μπορεί να έχει ρόλο στην καταστροφή των μικροοργανισμών , όταν επηρεάζει την χημική μορφή του απολυμαντικού μέσου στο διάλυμα.

Έτσι , η αποτελεσματικότητα κάποιων απολυμαντικών μέσων , όπως του χλωρίου , εξαρτάται πολύ ισχυρά από το pH , ενώ η αποτελεσματικότητα άλλων , όπως του όζοντος , δεν εξαρτάται από το pH .



1.2.5. Η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επηρεάζει τον ρυθμό αντίδρασης σε ορισμένα στάδια της απολύμανσης, όπως την διάχυση του απολυμαντικού διαμέσου των κυτταρικών τοιχωμάτων, άρα και το σύνολο της απολύμανσης.

Γενικά σε χαμηλές θερμοκρασίες επιτυγχάνεται μειωμένη ικανότητα απολύμανσης των χημικών απολυμαντικών αλλά και άλλων. Οι χαμηλές θερμοκρασίες απαιτούν μεγαλύτερους χρόνους επαφής, αλλά και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις απολυμαντικού απ' ό,τι οι υψηλότερες θερμοκρασίες.

Όλα τα παραπάνω, πάντα με το δεδομένο ότι η θερμοκρασία είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την γεύση του νερού. Μία θερμοκρασία 10°C – 12°C θεωρείται ως ιδανική, ενώ όταν αυτή ξεπερνά τους 20°C , το νερό έχει δυσάρεστη γεύση και κρίνεται ακατάλληλο.

1.2.6. Η θολερότητα

Τα σωματίδια που προκαλούν θολερότητα, αποτελούν κρυψώνες για τους μικροοργανισμούς, άρα με βάση αυτό η θολερότητα γενικά εμποδίζει την απολύμανση. Επιπλέον, τα υλικά από τα οποία αποτελούνται τα σωματίδια της θολερότητας, προκαλούν και απαιτούν επιπλέον κατανάλωση απολυμαντικού, άρα αυξημένες δόσεις αυτού.



Συσκευή μέτρησης θολερότητας .

2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ

Ένα σύστημα απολύμανσης γενικά πρέπει να επιτυγχάνει τα παρακάτω :

- Αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών .
- Ικανοποίηση των προδιαγραφών για τα παραπροϊόντα απολύμανσης .
- Διατήρηση της απαιτούμενης υπολειμματικής συγκέντρωσης απολυμαντικού στο δίκτυο διανομής του πόσιμου νερού .

Κατά την επιλογή ενός μέσου απολύμανσης , πέρα από την ικανότητά του να καταστρέφει μικροοργανισμούς , πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν και άλλες ιδιότητές του , και κυρίως αυτές που επηρεάζουν την ποιότητα του επεξεργασμένου νερού , την απόδοση της μονάδας , καθώς και το κόστος λειτουργίας.

Το απολυμαντικό μπορεί να επηρεάζει θετικά ή αρνητικά κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά της ποιότητας του επεξεργασμένου νερού.

Ορισμένα μέσα απολύμανσης χρησιμοποιούνται επίσης για τον έλεγχο της γεύσης και της οσμής. Η δράση του χλωρίου και του όζοντος μπορεί να μειώσει και το χρώμα του.

Όσο αφορά την επίδρασή του απολυμαντικού σε μια μονάδα επεξεργασίας του νερού , σημειώνεται ότι η διατήρηση υπολειμματικού χλωρίου στο νερό που διέρχεται από αμμόφιλτρα , μπορεί να είναι ευνοϊκή επειδή θα λειτουργούν σε κατάσταση απουσίας μικροβιακής χλωρίδας και δεν θα επηρεάζονται από ανάπτυξη μικροοργανισμών. Σε άλλη περίπτωση , η προεπεξεργασία με χλώριο ή όζον , μπορεί να έχει ως συνέπεια την μειωμένη θολότητα στο διηθημένο νερό.

Η ασφάλεια , το επίπεδο ικανοτήτων χειρισμού του προσωπικού , ο βαθμός ελέγχου και επίβλεψης , για να εξασφαλισθεί η ικανοποιητική απόδοση και συντήρηση της μονάδας επεξεργασίας , αποτελούν κριτήρια επιλογής του απολυμαντικού μέσου.

Τέλος σημαντικός παράγοντας επιλογής , πρέπει ν' αποτελεί και η ικανότητα του απολυμαντικού να διατηρεί μια υπολειμματική συγκέντρωση στο δίκτυο διανομής του νερού , προς εξασφάλιση στην δημόσια υγείας.

Τα μέσα απολύμανσης με βάση την φύση τους , μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες :

- Στα χημικά, και
- Στα μη χημικά.

Τα χημικά μέσα επίσης μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες που είναι :

- Τα οξειδωτικά απολυμαντικά , και
- Τα μη οξειδωτικά απολυμαντικά.

Τα οξειδωτικά απολυμαντικά περιλαμβάνουν μια σειρά από ενώσεις με οξειδωτικό δυναμικό , όπως είναι το αέριο χλώριο , το υποχλωριώδες νάτριο , το διοξείδιο του υδρογόνου , το διοξείδιο του χλωρίου , το βρώμιο , το ιώδιο , το υπεροξείδιο του υδρογόνου και το όζον.

Στα μη χημικά μέσα απολύμανσης του νερού ανήκουν η υπεριώδης ακτινοβολία , η αποστειρωτική διήθηση και σε περιορισμένη έκταση η θερμότητα και η ραδιενεργός ακτινοβολία.

2.1. Οξειδωτικά χημικά μέσα απολύμανσης .

Τα χημικά οξειδωτικά παίζουν σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία του νερού και προστίθενται σε αρκετά σημεία των εγκαταστάσεων , ανάλογα με το ποιες απαιτήσεις του σχεδιασμού της διεργασίας εξυπηρετούνται κάθε φορά.

Έτσι όταν προστίθενται στην αρχή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας νερού επιτυγχάνονται οι εξής στόχοι :

- Ο έλεγχος και η ανάπτυξη των μικροοργανισμών στην δεξαμενή επεξεργασίας.
- Η απομάκρυνση χρώματος.
- Η βελτίωση των χαρακτηριστικών οσμής και γεύσης.
- Η καταστροφή ορισμένων οργανικών ρυπαντών και
- Η ιζηματοποίηση μετάλλων.

Σημειώνεται ότι η χρήση των χημικών οξειδωτικών στο τέλος της εγκατάστασης επεξεργασίας , μοναδικό σκοπό έχει την απολύμανση του νερού.

2.1.1. Αέριο χλώριο

Η απολυμαντική του δράση εξαρτάται από την τιμή pH, την θερμοκρασία, το περιεχόμενο του νερού σε οργανικές ενώσεις, καθώς επίσης και από άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού.

Το αέριο χλώριο, όταν διαλύεται στο νερό, υδρολύεται σύμφωνα με την εξίσωση :



Το υποχλωριώδες οξύ (HOCl) είναι το δραστικό συστατικό που σχηματίζεται και το οποίο παίρνει μέρος σε μια σειρά αντιδράσεων που περιλαμβάνουν :

- Αντιδράσεις και απολύμανση .
- Αντιδράσεις με διάφορες οργανικές και ανόργανες ενώσεις και
- Μερική διάσπαση του σε ιόντα υδρογόνου και υποχλωριώδη, σύμφωνα με την αντίδραση :



Το HOCl είναι ασθενές οξύ κι η παρουσία του στο νερό εξαρτάται κυρίως από το pH. Έτσι σε τιμές μικρότερες από 2 το χλώριο υπάρχει κυρίως ως αέριο, σε τιμές μεταξύ 2 και 6 υπερσχύει το HOCl, ενώ πάνω από pH 6 αρχίζει η διάσπαση του HOCl με τα υποχλωριώδη ιόντα να υπερσχύουν σε τιμές pH μεγαλύτερες από 7,5. Η απολυμαντική ικανότητα του HOCl είναι μεγαλύτερη από αυτή των OCl⁻. Επομένως η απολυμαντική δράση του χλωρίου είναι καλύτερη σε χαμηλές τιμές pH.

Η απολυμαντική ικανότητα του HOCl εξαρτάται επίσης από την θερμοκρασία, επειδή για συγκεκριμένη τιμή pH η θερμοκρασία επηρεάζει την διάσπαση του HOCl, η οποία ελαττώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Γενικά στις χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες και για ορισμένη συγκέντρωση χλωρίου η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει τον χρόνο καταστροφής των μικροοργανισμών.

Το χλώριο είναι ισχυρά οξειδωτικό, το οποίο όπως και τα άλλα οξειδωτικά μέσα απολύμανσης αντιδρά με πολλές ενώσεις που υπάρχουν στο νερό, όπως NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , S^{2-} , CN^- και διάφορες οργανικές ενώσεις. Το ποσό του χλωρίου που αντιδρά με τις ενώσεις αυτές, πριν αρχίσει η καθαρά απολυμαντική του δράση, λέγεται απαιτούμενο χλώριο. Ως ενεργό χλώριο εννοείται το άθροισμα όλων των ενώσεων χλωρίου που απαντούν σε κάποια χρονική στιγμή στο νερό και έχουν απολυμαντική δράση. Ως ελεύθερο χλώριο ή υπολειμματικό χλώριο χαρακτηρίζεται εκείνο το τμήμα του συνολικά υπάρχοντος ενεργού χλωρίου το οποίο βρίσκεται σε μορφή υποχλωριόδους οξέος και υπερχλωριόδων ιόντων σε ποσοστό 0,2 ppm, για να δράσει απολυμαντικά σε περίπτωση που συντρέχει αιτία μόλυνσης του νερού με παθογόνους οργανισμούς μέσα στο δίκτυο.

Το αέριο χλώριο διατίθεται στο εμπόριο συμπιεσμένο και υγροποιημένο μέσα σε χαλύβδινες φιάλες. Κατά τη χρησιμοποίησή του για χλωρίωση πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η διαλυτότητά του στο νερό είναι σχετικά μικρή. Το αέριο χλώριο έχει πρασινοκίτρινο χρώμα, είναι 2,5 φορές βαρύτερο από τον αέρα και παρουσία υγρασίας οξειδώνει ταχύτατα τα συνηθισμένα μέταλλα. Στις συσκευές τροφοδοσίας αερίου χλωρίου η απαιτούμενη ποσότητα αναρροφάται με την βοήθεια ενός ακροφυσίου – μίκτου που λειτουργεί με πίεση νερού.

Το πάγιο κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος χλωρίωσης με αέριο χλώριο είναι σημαντικά μεγαλύτερο, σε σχέση με εναλλακτικά συστήματα χλωρίωσης του νερού, εξαιτίας κυρίως των προδιαγραφών υψηλής ασφαλείας. Το λειτουργικό όμως κόστος χρήσης αερίου χλωρίου είναι χαμηλότερο σε σχέση με τα άλλα χημικά οξειδωτικά. Είναι γενική εκτίμηση ότι η χρήση αερίου χλωρίου είναι οικονομικά συμφέρουσα για καταναλώσεις μεγαλύτερες από 50 g/h.

Η εγκατάσταση των συσκευών χλωρίωσης θα πρέπει να γίνεται σε ιδιαίτερους χώρους, οι οποίοι πρέπει να είναι στεγνοί και να βρίσκονται στο έδαφος.

Επειδή το αέριο χλώριο είναι βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα συνιστάται η τοποθέτηση εξαερισμού στα σημεία του χώρου πάνω από το δάπεδο. Σε περίπτωση συναγερμού από διαφυγή μεγάλων ποσοτήτων, το χλώριο θα πρέπει να απομακρύνεται με καταιονισμό νερού.

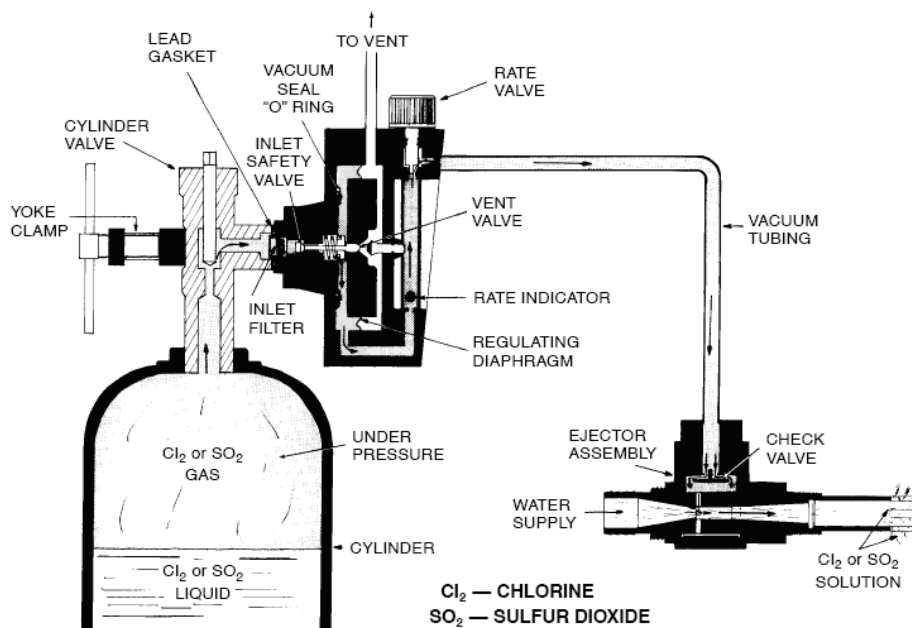
Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η χρήση του αερίου χλωρίου ενέχει σημαντικό βαθμό επικινδυνότητας και σε περίπτωση διαρροής του αερίου χλωρίου οι επιπτώσεις μπορεί να γίνουν πολύ σοβαρές.

Ένα σύστημα απολύμανσης με χλώριο περιλαμβάνει τις χαλύβδινες κυλινδρικές φιάλες ή δεξαμενές στις οποίες είναι αποθηκευμένο το υγροποιημένο χλώριο, τις διατάξεις (σωλήνες, ρυθμιστές, μετρητές παροχής χλωρίου, αντλίες, εγχυτήρες, ειδικά εξαρτήματα κλπ) τροφοδότησης του χλωρίου στην θέση που τροφοδοτείται και τα συστήματα μετρήσεων (παροχής νερού, συγκέντρωσης υπολειπόμενου χλωρίου) και ελέγχου - ρύθμισης της διεργασίας της χλωρίωσης.

Η έξοδος του χλωρίου από τις χαλύβδινες φιάλες ή δεξαμενές προς το σύστημα τροφοδότησης γίνεται με αέρια μορφή όταν πρόκειται για σχετικά μικρές παροχές χλωρίου (όταν ο ρυθμός τροφοδότησης χλωρίου είναι μικρότερος από τον ρυθμό εξάτμισης του υγροποιημένου χλωρίου που υπαγορεύεται από τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας δια μέσου των τοιχωμάτων των χαλύβδινων φιαλών ή δεξαμενών), ή είναι δυνατόν να γίνεται αρχικά με υγρή μορφή όταν πρόκειται για μεγάλες παροχές. Όταν η έξοδος γίνεται με υγρή μορφή παρεμβάλλεται αμέσως μετά το σημείο εξόδου μια διάταξη εξάτμισης που περιλαμβάνει κατάλληλο σύστημα θέρμανσης για αποτελεσματική αεριοποίηση του διερχόμενου υγροποιημένου χλωρίου. Έτσι σε κάθε περίπτωση στην κεφαλή του συστήματος τροφοδότησης παροχετεύεται αέριο χλώριο.

Οι γραμμές χλωρίωσης είναι δυνατόν να λειτουργούν υπό πίεση με ωθούσα δύναμη την πίεση του αερίου χλωρίου. Στην περίπτωση όμως αυτήν είναι δυνατόν να προκύψουν σοβαρά προβλήματα από πιθανές διαρροές χλωρίου.

Έτσι συνήθως οι γραμμές χλωρίωσης λειτουργούν με πίεση μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Αυτό γίνεται για λόγους ασφαλείας και η ωθούσα δύναμη στην μεταφορά του αερίου χλωρίου είναι το σχετικό κενό που δημιουργείται στην στένωση του εγχυτήρα όπου γίνεται η αναρρόφηση και η διαλυτοποίηση του χλωρίου σε ρεύμα νερού το οποίο διέρχεται με μεγάλη ταχύτητα δια μέσου της στένωσης (προκαλώντας έτσι υποπίεση) .



Εικόνα 1 . Τυπική λειτουργία εγχυτήρα προσαρμοσμένου με λειτουργία φιάλης

2.2.2. Διοξείδιο του χλωρίου

Το διοξείδιο χλωρίου είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα απολυμαντικά που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του νερού μέχρι σήμερα. Στις ΗΠΑ 85 περίπου μονάδες επεξεργασίας νερού χρησιμοποιούν το διοξείδιο του χλωρίου για απολύμανση, την αφαίρεση σιδήρου και μαγγανίου καθώς επίσης και την αφαίρεση της οσμής, της γεύσης και του χρώματος από το νερό. Στην Ευρώπη, 495 περίπου μονάδες χρησιμοποιούν το διοξείδιο του χλωρίου τόσο για την απολύμανση όσο και για την οξειδωση διαφόρων ουσιών. Ακόμη αναφέρουν ότι καταστρέφει αποτελεσματικά τα κολοβακτηρίδια, εντεροβακτηρίδια και τα παθογόνα αμοιβάδας. Είναι πιο ισχυρό οξειδωτικό από το χλώριο και παρέχει επίσης υπολειμματική δράση στο πόσιμο νερό. Ωστόσο τα κύρια μειονεκτήματά του είναι το σχετικά υψηλό του κόστος και τα προβλήματα παραγωγής του. Το διοξείδιο του χλωρίου πρέπει να παρασκευάζεται επιτόπου και να χρησιμοποιείται άμεσα στην εγκατάσταση επεξεργασίας γιατί είναι ιδιαίτερα ασταθές και σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 30% είναι εκρηκτικό.

Το διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2) παρασκευάζεται από διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου NaClO_2 που αντιδρούν είτε με αέριο χλώριο Cl_2 , υποχλωριώδες οξύ HOCl , είτε με υδροχλώριο HCl .

Με βάση τα πιο πάνω γίνεται και η διάκριση μεταξύ των συσκευών παρασκευής διοξειδίου του χλωρίου παρόλο που μπορεί να χρησιμοποιηθούν την ίδια πρώτη ύλη, έχουν διαφορετικό τρόπο σύνθεσης του διοξειδίου του χλωρίου.

Παλαιότερα το διοξείδιο του χλωρίου χρησιμοποιείτο για την αντιμετώπιση προβλημάτων γεύσης και οσμής. Τελευταία όμως έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία επιφανειακών νερών διότι είναι πολύ ισχυρό οξειδωτικό και απολυμαντικό και παράλληλα **δεν** συμβάλλει στην δημιουργία ενώσεων τριαλομεθανικού τύπου. Επίσης το διοξείδιο του χλωρίου δεν αντιδρά με την αμμωνία όπως συμβαίνει στην περίπτωση του χλωρίου.

Το διοξείδιο του χλωρίου θεωρείται εξίσου καλό (ή και καλλίτερο) απολυμαντικό με το χλώριο και εμφανίζει πλεονέκτημα έναντι του χλωρίου αφού δε μειώνεται η απολυμαντική του ισχύς καθώς αυξάνεται το pH. Επίσης με το διοξείδιο του χλωρίου επιτυγχάνονται πολύ καλά αποτελέσματα όσον αφορά την αφαίρεση σιδήρου και μαγγανίου.

Το διοξείδιο του χλωρίου θεωρείται ως ένα ισχυρό πρωτεύον απολυμαντικό.

Το διοξείδιο του χλωρίου διατηρεί ακόμη μια υπολειπόμενη στάθμη σε νερά που παρουσιάζουν χαμηλή απαίτηση οξειδωτικών παραγόντων και έτσι μπορεί να θεωρηθεί σε μερικές περιπτώσεις και ως δευτερεύον απολυμαντικό (απολυμαντικό που χρησιμοποιείται για την προστασία του δικτύου διανομής).



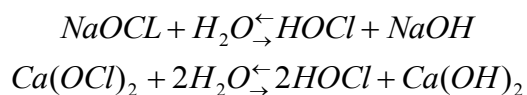
Εικόνα 2 . Αντιδραστήρας ClO₂.



Εικόνα 3. Τροφοδοσία Αντιδραστήρα .

2.2.3. Υποχλωριώδη άλατα

Υπάρχουν δύο ακόμη χημικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προκύψει υποχλωριώδες οξύ μετά από προσθήκη τους στο νερό. Το ένα είναι το υποχλωριώδες νάτριο το οποίο διατίθεται υπό μορφή υδατικού διαλύματος και το άλλο είναι το υποχλωριώδες ασβεστόιο το οποίο διατίθεται υπό μορφή κοκκώδους υλικού ή συμπιεσμένων ταμπλετών. Κατά την προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου και υποχλωριώδους ασβεστίου στο νερό λαμβάνουν χώρα οι επόμενες αντιδράσεις:



Σημειώνεται ότι τόσο η προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου όσο και υποχλωριώδους ασβεστίου έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση της αλκαλικότητας, αλλά για τις περιορισμένες ποσότητες που προστίθενται για χλωρίωση φυσικών νερών δεν παρατηρείται συνήθως αύξηση του pH.

Το υποχλωριώδες νάτριο διατίθεται υπό μορφή διαλύματος με εμπορικό τίτλο 10 έως 15%. Διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου με εμπορικό τίτλο πάνω από 15% είναι ασταθή και εξασθενούν με την πάροδο του χρόνου. Ο εμπορικός τίτλος ενός διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου ορίζεται ως εξής :

$$\text{Εμπορικός τίτλος} = \frac{\frac{gNaOCl}{L}}{10}$$

Έτσι η % κατά βάρος περιεκτικότητα ενός διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου σε υποχλωριώδες νάτριο είναι :

$$\% \text{ κ.β. υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl)} = \frac{\text{Εμπορικός τίτλος (\%)}}{\text{πυκνότητα διαλύματος (g/mL)}}$$

Η σταθερότητα ενός διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου εξαρτάται από διαφόρους παράγοντες όπως :

1. Η αρχική περιεκτικότητα του διαλύματος σε υποχλωριώδες νάτριο .
2. Η θερμοκρασία του χώρου όπου αποθηκεύεται .
3. Ο χρόνος αποθήκευσης .
4. Οι ακαθαρσίες που περιέχει από τη διαδικασία παραγωγής του .
5. Η έκθεση στο φως .

Η μείωση της περιεκτικότητας σε διαθέσιμο χλώριο ενός διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου με την πάροδο του χρόνου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό των εφαρμοζομένων δόσεων χλωρίωσης.

Η εφαρμογή συστημάτων χλωρίωσης με υποχλωριώδη άλατα , μπορεί να ξεπερνά τον δυνητικό κίνδυνο που υπάρχει κατά την μεταφορά , αποθήκευσης και χρησιμοποίηση του υγροποιημένου χλωρίου , δεν παύει όμως ν' αποτελεί μία επιλογή με μεγαλύτερο κόστος.

Η τροφοδότηση των δόσεων του χλωρίου γίνεται με κατάλληλη δοσομέτρηση διαλυμάτων υποχλωριωδών αλάτων. Στο σημείο όπου γίνεται η εφαρμογή του υποχλωριώδους αλάτος θα πρέπει να επιτυγχάνεται ικανοποιητική ομοιογενοποίηση σε όλη την μάζα του νερού όπου γίνεται η προσθήκη. Ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι μία δοσομετρική αντλία , που προσθέτει το χλώριο στο νερό σταγόνα – σταγόνα , όσο απαιτείται και ένας πλαστικός κάδος από όπου η δοσομετρική αντλία αναρροφά το διάλυμα του χλωρίου. Η δοσομετρική αντλία λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα (220 Volt) , ή μπαταρία σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκό φόρτισης και η κατανάλωσή της είναι πολύ μικρή .

Η λειτουργία της δοσομετρικής αντλίας είναι αυτόματη. Ο τρόπος και ο βαθμός αυτοματισμού , διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή.

Η χρήση του διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου είναι ένας πολύ **απλός** και **ασφαλής** τρόπος απολύμανσης με την προϋπόθεση βέβαια ότι λαμβάνονται όλα τα στοιχειώδη μέτρα προστασίας.

Η χρήση του υποχλωριώδους ασβεστίου είναι εξίσου **ασφαλής** με την διαφορά ότι στην περίπτωση αυτή απαιτούνται **διατάξεις διάλυσης** του στερεού προϊόντος και απαιτείται πιο **τακτική συντήρηση**, διότι τείνουν να σχηματίζονται αδιάλυτα άλατα ασβεστίου που επικάθονται στις επιφάνειες και **φράσσουν** τα σωληνάκια της τροφοδοσίας.



Εικόνα 4. Τυπικό σύστημα αυτόματης χλωρίωσης .

2.2.4. Το όζον .

Το όζον χρησιμοποιείται τόσο για τον έλεγχο της οσμής και της γεύσης όσο και για την απολύμανση του νερού. Η απολύμανση με όζον είναι η πρωτεύουσα απολύμανση και απαιτείται στη συνέχεια ένα στάδιο δευτερεύουσας απολύμανσης για την προστασία του δικτύου διανομής.

Η οζόνωση του νερού επιτυγχάνει εκτός από την απολύμανση και τα παρακάτω αποτελέσματα :

- Οξειδωση οργανικού υλικού .
- Έλεγχο των φυκών και άλλων παραγόντων που προκαλούν προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό .
- Αποσταθεροποίηση μερικών τύπων κολλοειδούς υλικού .
- Αφαίρεση χρώματος με οξειδωση ενώσεων που παρουσιάζουν χρώμα.
- Οξειδωση σιδήρου και μαγγανίου .
- Ταχύτατη αδρανοποίηση όλων των παθογόνων μικροοργανισμών .

Το όζον είναι μία τριατομική αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου , είναι πανταχού παρόν στην ατμόσφαιρα αλλά απαντάται πάντοτε σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Έχει χαρακτηριστική οσμή και γίνεται αντιληπτό από την ανθρώπινη όσφρηση ακόμη και σε συγκεντρώσεις 0,01 ppm. Το όζον έχει σημείο υγροποίησης $-111,9^{\circ}\text{C}$ και το υγροποιημένο αέριο δεν είναι δυνατόν να αποθηκευθεί αφού εκρήγνυται. Επίσης και συμπιεσμένα αέρια μίγματα όζοντος και οξυγόνου εκρήγνυνται όταν η αναλογία όζοντος φτάνει 30% (κατά βάρος) . Το όζον λοιπόν δεν είναι δυνατόν να προμηθεύεται από κάποια εξωτερική πηγή αλλά θα πρέπει να παράγεται επί τόπου προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την απολύμανση σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας νερού.

Το όζον παράγεται από ατμοσφαιρικό αέρα που έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία , ή από καθαρό οξυγόνο. Το αέριο όζον παράγεται με ηλεκτρική εκκένωση ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια τάσης 10 έως 20 KV.

Η αντίδραση παραγωγής όζοντος λαμβάνει χώρα σε κατάλληλο αντιδραστήρα που καλείται οζονιστήρας και αποτελείται από ένα οριζόντιο ή κατακόρυφο κυλινδρικό δοχείο , εντός του οποίου υπάρχει ένας ορισμένος αριθμός ανοξειδωτων σωλήνων προσαρμοσμένων σε μία συμπαγή κατασκευή και κολλημένων στα δύο σταθερά άκρα του δοχείου.

Τα συστήματα απολύμανσης με όζον αποτελούνται από τέσσερα μέρη που είναι : (1) οι διατάξεις προετοιμασίας και τροφοδότησης με αέριο , (2) ο αντιδραστήρας παραγωγής όζοντος , (3) οι διατάξεις επαφής του όζοντος με το προς απολύμανση νερό και (4) οι διατάξεις καταστροφής όζοντος.

Η τροφοδότηση του αντιδραστήρα παραγωγής όζοντος γίνεται είτε με οξυγόνο ατμοσφαιρικού αέρα , είτε με ρεύμα εμπλουτισμένο σε οξυγόνο , είτε με καθαρό οξυγόνο. Όταν πρόκειται για οξυγόνο ατμοσφαιρικού αέρα χρησιμοποιούνται στάδια καθαρισμού του αέρα από αιωρούμενο υλικό και από υδρατμούς. Τα στάδια αυτά αντιστοιχούν σε διεργασίες φίλτρανσης , συμπίεσης , ψύξης και ξήρανσης.

Το όζον χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία και για την απόσμηση του νερού. Οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν θείο και άζωτο είναι οι κύριες αιτίες των οσμών. Μικρές ποσότητες όζοντος της τάξης των 1 – 2 mg/L , προστιθέμενες στο νερό είναι ικανές να οξειδώσουν αυτές τις ενώσεις.

Παράλληλο όφελος της ικανότητας απόσμησης του όζοντος είναι ότι εμποδίζει την επανεμφάνιση των οσμών.

Τα πλεονεκτήματα της απολύμανσης με όζον είναι πολλά. Δεν τίθενται θέματα ασφαλείας σε σχέση με τη μεταφορά και την αποθήκευση. Το όζον έχει εξαιρετες απολυμαντικές ιδιότητες. Καταστρέφει ταχύτατα μικροοργανισμούς ανθεκτικούς στο χλώριο ή άλλα απολυμαντικά όπως αμοιβάδες , κόκκοι , μύκητες , μυξομύκητες , φύκια , σπόροι και κύστες.

Η απολύμανση με όζον λαμβάνει χώρα σχεδόν ακαριαία. Οι χρόνοι εφαρμογής είναι μικροί , ο οζονισμός απαιτεί περίπου 10 min ενώ η χλωρίωση 30 – 35 min.

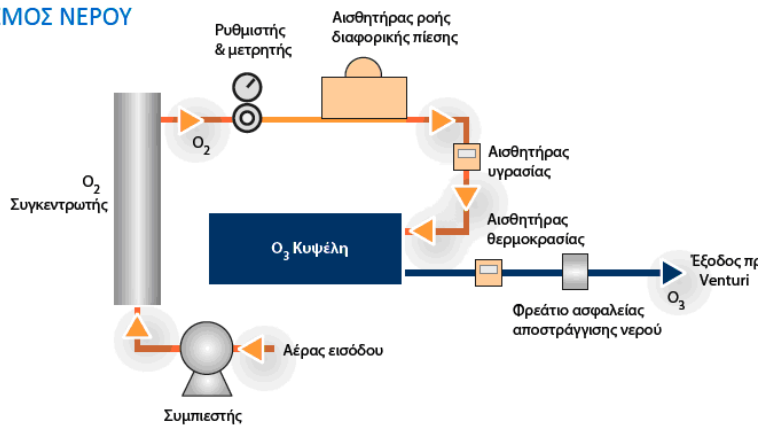
Ο οζονισμός έχει μικρότερη ευαισθησία στο pH και τη θερμοκρασία.

Η απολυμαντική ικανότητα παρουσιάζεται αναλλοίωτη για pH 6 - 10 και θερμοκρασία 2 – 30⁰ C.

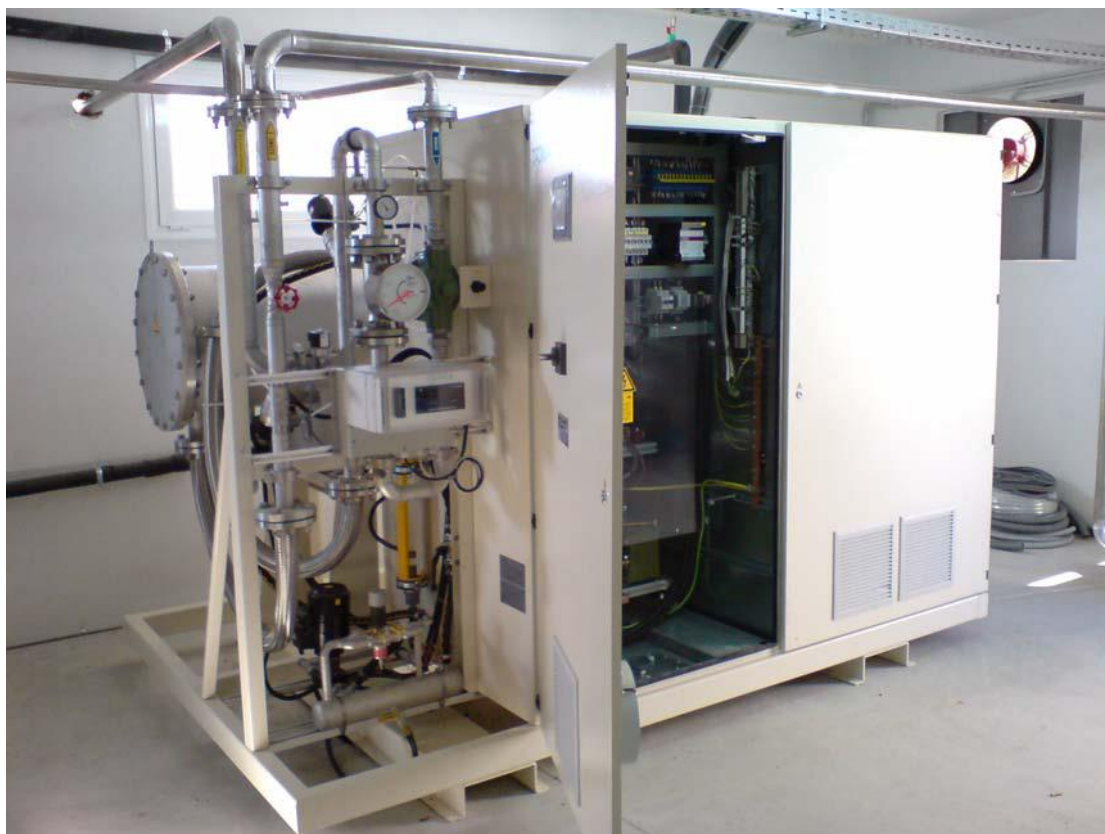
Υπάρχουν βέβαια και μειονεκτήματα τα οποία συνίστανται στο υψηλό πάγιο και λειτουργικό κόστος , στο ότι οι περιεχόμενοι στο νερό ρυπαντές καταναλώνουν οξειδωτικό όζον ανταγωνιστικά , γεγονός που μπορεί να καταστήσει τον οζονισμό ασύμφορο , στο ότι απαιτείται πιλοτική εγκατάσταση για να βρεθεί η βέλτιστη δόση όζοντος και στο ότι σχηματίζονται ενώσεις επικίνδυνες για την υγεία όπως εποξειδία , βρωμικά και βρωμιωμένες οργανικές ενώσεις.

Τέλος, λόγω του ότι είναι ασταθές δεν έχει υπολειμματική δράση. Έτσι το όζον χρησιμοποιείται κυρίως σαν βασική απολύμανση των επιφανειακών νερών , ενώ ακολουθεί περαιτέρω επεξεργασία του , μεταξύ των οποίων και χλωρίωση.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΖΟΝΤΟΣ – ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΝΕΡΟΥ



Εικόνα 5. Παραγωγή όζοντος – Καθαρισμός νερού .



Εικόνα 6. Τυπική μορφή οζονιστήρα.

2.2.5. Υπεριώδης Ακτινοβολία UV

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι , όπως άλλωστε και το κανονικό φως , μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία , μία ενέργεια που διαδίδεται μέσω της ταλάντωσης των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει δυαδικό χαρακτήρα : κύμα – σωματίδιο (φωτόνια)

Τα κύματα χαρακτηρίζονται από το μήκος κύματος ενώ τα φωτόνια από την ενέργειά τους. Όσο μικρότερο είναι το μήκος του κύματος , τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια των φωτονίων και αντιστρόφως. Το μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας UV είναι μικρότερο από εκείνο του κανονικού φωτός , αλλά περιέχει περισσότερη ενέργεια.

Τα μήκη κύματος που έχουν ταξινομηθεί από τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (CIE) είναι UV-C ($\lambda < 280\text{nm}$) UV-B ($280\text{nm} < \lambda < 315\text{nm}$) UV-A ($315\text{nm} < \lambda < 400\text{nm}$).

Η UVC διαθέτει ισχυρή απολυμαντική δράση. Μικροοργανισμοί όπως οι ιοί , τα βακτήρια και οι μύκητες καταστρέφονται ή απενεργοποιούνται χάρη στη φωτοχημική δράση που παρέχει η υπεριώδης ακτινοβολία UVC.

Η υπεριώδης ακτινοβολία δεν σκοτώνει μικροοργανισμούς αλλά αδρανοποιεί το πυρηνικό DNA με αποτέλεσμα να μην λειτουργεί ο αναπαραγωγικός μηχανισμός. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε το φαινόμενο της φωτοενεργοποίησης (photoreactivation). Η επίδραση του φωτός ορισμένου κύματος είναι δυνατόν να επανεργοποιήσει ορισμένους μικροοργανισμούς οι οποίοι στην συνέχεια θα πολλαπλασιαστούν και θα γίνουν λοιμογόνοι. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται σε ορισμένα βακτήρια (κολοβακτηριοειδή , σιγκέλλες) , ενώ δεν παρατηρείται στους ιούς.

Η μέθοδος απολύμανσης του νερού με υπεριώδη ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην καταστροφή μονοκύτταρων μικροοργανισμών , όπως είναι τα παθογόνα μικρόβια. Η καταστροφή των μικροοργανισμών οφείλεται στην απορρόφηση της ακτινοβολίας από το γενετικό υλικό των κυττάρων. Η μέγιστη καταστροφική ικανότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας επιτυγχάνεται σε μήκος κύματος περίπου 265 nm , όπου αναφέρεται η μέγιστη απορρόφησή της από τα νουκλεϊνικά οξέα. Όταν το γενετικό υλικό των κυττάρων απορροφά την ενέργεια από την υπεριώδη ακτινοβολία , σχηματίζονται διμερή πυριμιδίνης μεταξύ γενετικών βάσεων πυριμιδίνης στην ίδια αλυσίδα DNA. Χάρη σε αυτό το δεσμό διμερών στην αλυσίδα του DNA οι μικροοργανισμοί προσβάλλονται με τέτοιο τρόπο ώστε ο διαχωρισμός των κυττάρων και επομένως ο πολλαπλασιασμός τους να είναι αδύνατος : ο μικροοργανισμός γίνεται επομένως αβλαβής και πεθαίνει.

Αν και όλοι μικροοργανισμοί προσβάλλονται από την υπεριώδη ακτινοβολία , η ευαισθησία τους ποικίλλει , εξαρτώμενη από την αντίσταση στη διείσδυση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η χημική σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος και το πάχος του καθορίζουν την αντίσταση των μικροοργανισμών στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Η απολύμανση του νερού επιτυγχάνεται κατά τη διέλευση μέσα από ειδικές συσκευές ακτινοβόλησής του με υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Η υπεριώδης ακτινοβολία εκπέμπεται από λαμπτήρες πολύ χαμηλής πίεσης ατμών υδραργύρου με ισχύ έως και 200 W οι οποίες έχουν μέσο χρόνο ζωής μεταξύ 2000 και 4000 ωρών. Τα εκπεμπόμενα μήκη κύματος κυμαίνονται από 200 - 300 nm. Το νερό ρέει γύρω από το λαμπτήρα και σε επίπεδο τόσο ρηχό , όσο χρειάζονται οι υπεριώδεις ακτίνες να απορροφηθούν γρήγορα από το νερό.

Για το συνηθισμένο πάχος νερού 15 - 20 cm μια λάμπα ισχύος 36 W είναι ικανή για αποστείρωση 3 m³/h. Στην πράξη για ικανοποιητική απολύμανση υπολογίζεται ότι απαιτούνται 40 Wh/m ειδική κατανάλωση ενέργειας.

Η ακτινοβολία UV παράγεται από κατάλληλες λάμπες ατμών υδραργύρου. Οι λάμπες αυτές είναι παρόμοιες με τους συνήθεις λαμπτήρες φθορισμού που χρησιμοποιούνται για φωτισμό. Μία σημαντική διαφορά είναι ότι στην περίπτωση του φθορισμού η επιφάνεια του γυαλιού του μακρόστενου λαμπτήρα έχει καλυφθεί με φωσφορίζουσα ουσία που μετατρέπει την υπεριώδη ακτινοβολία σε φωτεινή ακτινοβολία μικρότερης ενέργειας η οποία αντιστοιχεί στην ορατή περιοχή. Στην περίπτωση των λαμπών UV η επιφάνεια του γυαλιού δεν είναι καλυμμένη και έτσι εξέρχεται η ακτινοβολία UV αφού φυσικά απορροφηθεί ένα σχετικά μικρό ποσοστό από το γυαλί της λάμπας.

Οι λάμπες UV χρησιμοποιούνται για την απολύμανση του πόσιμου νερού σε δύο διαφορετικές λειτουργικές διαμορφώσεις. Στην μία διαμόρφωση (διαμόρφωση Α) , η λάμπα UV περιβάλλεται από διαφανή σωλήνα από χαλαζία . Μεταξύ της λάμπας UV και του περιβλήματος από χαλαζία υπάρχει μία δακτυλιοειδής διαχωριστική περιοχή. Το προς απολύμανση νερό ρέει περιλούοντας την εξωτερική επιφάνεια του περιβλήματος. Το περίβλημα από χαλαζία προσαρμόζεται στη διάταξη απολύμανσης κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η υδατοστεγανότητα της δακτυλιοειδούς διαχωριστικής περιοχής.

Η άλλη διαμόρφωση Β , αντιστοιχεί σε ροή του νερού δια μέσου συστοιχίας διαφανών σωλήνων , (από τεφλόν ή από χαλαζία) και ακτινοβόληση του νερού από λάμπες UV οι οποίες είναι κατάλληλα τοποθετημένες με τον άξονά τους προς τους διαφανείς σωλήνες.

Ο βαθμός αδρανοποίησης ή θανάτωσης των μικροοργανισμών από την ακτινοβολία UV είναι ανάλογος της δόσης UV που εφαρμόζεται. Η δόση UV υπολογίζεται από την σχέση :

$$D = I \cdot t$$

Όπου :

D : η δόση UV , mWs/cm²

I : η ένταση της ακτινοβολίας , mW/cm²

t : ο χρόνος έκθεσης

Οι αντιδραστήρες απολύμανσης με UV διακρίνονται σε κλειστού τύπου και σε ανοικτού τύπου (ανοικτά κανάλια). Για την περίπτωση του πόσιμου νερού η προτίμηση είναι στους αντιδραστήρες κλειστού τύπου.

Η κατάλληλη δόση για απολύμανση ποικίλει για τους διάφορους μικροοργανισμούς. Οι πιο πολλοί μικροοργανισμοί καταστρέφονται για επίπεδο δόσεων στην περιοχή 20 έως 30 Mw.s/cm².

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της απολύμανσης με UV είναι : (1) δεν προστίθεται κάποια ουσία στο νερό , (2) ο χρόνος έκθεσης είναι μικρός και (3) η χρήση δόσεων μεγαλύτερων από τις ενδεδειγμένες δεν δημιουργεί προβλήματα.

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης με UV (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) δεν εξαρτάται από μερικά χημικά χαρακτηριστικά του νερού όπως π.χ. pH , αλκαλικότητα και ολικός ανόργανος άνθρακας. Πάντως σημειώνεται ότι τα σκληρά νερά δημιουργούν προβλήματα επικαθήσεων στις επιφάνειες των λαμπών UV. Ακόμη η παρουσία αιωρούμενου ή και διαλυτού οργανικού υλικού ενδέχεται να προφυλάσσει μερικώς τους μικροοργανισμούς από την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας. **Συνεπώς η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη διαύγεια του νερού και την ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων σε αυτό.**

Τα μειονεκτήματα συνίστανται στην απουσία υπολειμματικής δράσης σε αντίθεση με τη χλωρίωση και το υπολειμματικό χλώριο , ή διοξείδιο του χλωρίου , στην απουσία μεθόδων μέτρησης της δόσης , γεγονός που παρεμποδίζει επίσης τον έλεγχο και στην πιθανότητα φωτοεπισκευής των κυττάρων που έχουν πληχθεί από την ακτινοβολία UV. Τα σημαντικότερα όμως μειονεκτήματα – προβλήματα είναι η πτώση της απόδοσης των συσκευών ακτινοβολίας και της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων και ότι οι λαμπτήρες και οι επιφάνειες ανάκλασης λερώνουν με την πάροδο του χρόνου..



Εικόνα 7. Συστοιχία λαμπτήρων UV .



Εικόνα 8. Τυπική διάταξη με UV .

2.2.6. Χλωραμίνες

Η χλωραμίνωση χρησιμοποιείται σαν δευτερογενής απολύμανση για την βελτίωση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων του χλωριωμένου νερού και γίνεται με προσθήκη χλωρίου και αμμωνίας.

Το χλώριο αντιδρά με την αμμωνία και σχηματίζει τριών ειδών χλωραμίνες , την μονοχλωραμίνη , την διχλωραμίνη και την τριχλωραμίνη.

Το είδος των χλωραμινών που θα σχηματιστούν εξαρτάται από την αναλογία χλωρίου – αμμωνίας , από την συγκέντρωση του χλωρίου , την τιμή του pH , την θερμοκρασία και τον χρόνο επαφής.

Οι χλωραμίνες παρασκευάζονται από συνδυασμό δύο ουσιών , η παρασκευή τους περιλαμβάνει την παροχή χλωρίου και αμμωνίας στο σύστημα. Το χλώριο μεταφέρεται στην μονάδα και διοχετεύεται στο σύστημα είτε στην αέρια μορφή του που είναι πιο οικονομικότερη , είτε σαν υποχλωριώδες νάτριο. Η αμμωνία είναι δυνατόν να παρασκευαστεί επί τόπου ή να μεταφερθεί στην μονάδα επεξεργασίας. Οι περισσότερες μονάδες χρησιμοποιούν είτε αέρια (άνυδρη) αμμωνία , είτε υγρή αμμωνία. Η άνυδρη αμμωνία είναι αέριο σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος και ιδιαίτερα διαλυτή στο νερό.

Ο χειρισμός της υγροποιημένης αμμωνίας καθώς και των διαλυμάτων υδροξειδίου του αμμωνίου πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά. Όταν η προμήθεια της αμμωνίας γίνεται υπό μορφή άνυδρης υγροποιημένης αμμωνίας χρησιμοποιούνται συστήματα τροφοδότησης που είναι αντίστοιχα με τα συστήματα τροφοδότησης του αερίου χλωρίου. Όταν η προμήθεια της αμμωνίας γίνεται υπό μορφή διαλύματος υδροξειδίου του αμμωνίου ή αλάτων του αμμωνίου , η δοσομέτρηση γίνεται με διατάξεις δοσομέτρησης διαλυμάτων.

Η συνήθης δόση μονοχλωραμίνης για την προστασία του συστήματος διανομής είναι στην περιοχή 1 – 4 mg/L. Η μονοχλωραμίνη είναι ασθενές απολυμαντικό μέσο. Η μικροβιοκτόνος αποτελεσματικότητά της είναι περίπου 200 φορές μικρότερη από τη μικροβιοκτόνο αποτελεσματικότητα του υποχλωριώδους οξέος και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σε μερικές περιπτώσεις σχετικά υψηλές δόσεις μονοχλωραμίνης για προστασία του δικτύου διανομής.

2.2.7. Παραπροϊόντα χλωρίωσης

Η χλωρίωση είναι το πιο κοινό μέσο απολύμανσης του πόσιμου νερού.

Ξεκίνησε στις αρχές του 1900 και είναι μια φθηνή και αποτελεσματική επεξεργασία για την οποία τότε δεν υπήρχαν υπόνοιες ότι προκαλούσε ανεπιθύμητα αποτελέσματα για την ανθρώπινη υγεία. Το 1974 εντοπίστηκε το πρώτο παραπροϊόν χλωρίωσης, το χλωροφόρμιο. Επειδή το χλωροφόρμιο διαπιστώθηκε ότι προκαλεί καρκινογένεση σε ζώα, άρχισε να δημιουργείται μία ανησυχία για τον κίνδυνο καρκίνου που σχετίζεται με τα παραπροϊόντα του χλωρίου. Από τότε έως σήμερα έχουν βρεθεί δεκάδες παραπροϊόντα χλωρίωσης και έχουν γίνει αρκετές μελέτες για να διερευνηθούν όλες οι αρνητικές επιπτώσεις που ενδεχομένως προκαλούν στην υγεία του ανθρώπου.

Τα παραπροϊόντα του χλωρίου (CBPs), δημιουργούνται κατά την διαδικασία της χλωρίωσης στην επεξεργασία νερού. Οι καθοριστικοί παράγοντες που συμβάλουν στην δημιουργία τους είναι η ποιότητα του ανεπεξέργαστου νερού και η δόση του χλωρίου. Τα επιφανειακά νερά (ποτάμια και λίμνες) περιέχουν ποικίλη οργανική ύλη, (ιδιαίτερα χουμικά οξέα) που είναι η κύρια πηγή δημιουργίας των παραπροϊόντων. Συγκεκριμένα η οργανική ύλη που συντελεί στο σχηματισμό των CBPs προέρχεται κυρίως από:

- τη διάσπαση των οργανικών ενώσεων που υπάρχουν στη φύση.
- τις οικιακές και βιομηχανικές εκροές.
-

Η πρώτη ομάδα είναι η μεγαλύτερη και αποτελείται από χουμικά υλικά, τους μεταβολίτες τους και υψηλού μοριακού βάρους αλειφατικούς και αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Μερικές από αυτές τις ενώσεις είναι γνωστές για αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Οι οργανικές ενώσεις οικιακής και βιομηχανικής προέλευσης προκαλούνται από τις απορροές αστικών περιοχών, από τα υγρά απόβλητα και από έκπλυση μολυσμένων εδαφών. Οι περισσότερες χημικές ενώσεις αυτής της ομάδας έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Συμπεριλαμβάνουν φυτοφάρμακα, διαλύτες, πλαστικοποιητές, απορρυπαντικά κ.α.

Ειδικότερα τα CBPs σχηματίζονται είτε με οξείδωση των οργανικών, που υπάρχουν στο νερό από το χλώριο, είτε με αντίδραση αντικατάστασης, όπου το άτομο χλωρίου αντικαθιστά ένα άτομο υδρογόνου. Τα παραπροϊόντα χλωρίωσης που έχουν προσδιοριστεί μέχρι και σήμερα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα στον επόμενο Πίνακα.

Από τα CBPs μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα τριαλογονομένα παράγωγα του μεθανίου (THMs) , γιατί σχηματίζονται σε μεγαλύτερες ποσότητες και είναι τοξικά . Επομένως έχει αναπτυχθεί μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα για την κατανόηση του σχηματισμού τους και για την εφαρμογή πρακτικών διαδικασιών για την απαλλαγή του νερού από αυτά.

Πίνακας – Παραπροϊόντα χλωρίωσης

Τριαλογονοπαράγωγα του μεθανίου (THMs).

Χλωροφόρμιο CHCl_3

Διχλωροβρωμομεθάνιο CHCl_2Br

Διβρωμοχλωρομεθάνιο CHBr_2Cl

Τριβρωμομεθάνιο ή Βρωμοφόρμιο CHBr_3

Αλογονοπαράγωγα του οξικού οξέος (HAAs)

Μονοχλωροοξικό οξύ (MCA)

Μονοβρωμοοξικό οξύ (MBA)

Διχλωροοξικό οξύ (DCA)

Βρωμοχλωροοξικό οξύ (BCA)

Τριχλωροοξικό οξύ (TCA)

Διβρωμοοξικό οξύ (DBA)

Διβρωμοχλωτροοξικό οξύ (DBCA)

Τριβρωμοοξικό οξύ (TBA)

Αλογονοακετονιτρίλια (HANs)

Μονο χλωροακετονιτρίλιο (MCAN)

Τριχλωροακετονιτρίλιο (TCAAN)

Διχλωροακετονιτρίλιο (DCAN)

Μονοβρωμοακετονιτρίλιο (MBAN)

Βρωμοχλωροακετονιτρίλιο (BCAN)

Διβρωμοακετονιτρίλιο (DBAN)

Αλογονοκετόνες (HKs)

1.1. – Διχλωροπροπανόνη (1,1- DCP)

1.3. – Διχλωροπροπανόνη (1,3 – DCP)

1.1.1. – Τριχλωροπροπανόνη (1,1,1 – TCP)

Η τοξικότητα της χλωρίωσης εμφανίζεται να είναι η έμμεση τοξικότητα των παραπροϊόντων που παράγονται από τις αντιδράσεις του χλωρίου με τις οργανικές ενώσεις , παρά μία άμεση τοξικότητα του χλωρίου.



Τα παραπροϊόντα χλωρίωσης (CBPs) , είναι ένα σύνθετο μίγμα περισσότερων από 100 ενδεχομένως τοξικών ενώσεων. Σήμερα μόνο για τα τριαλογονομεθάνια (THMs) και για κάποια αλογοακετονιτρίλια (HAAs) έχουν θεσπισθεί όρια και κανονισμοί για τον έλεγχό τους. Διάφορα παραπροϊόντα χλωρίωσης χαρακτηρίζονται ως πιθανές καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο (βρωμοδιχλωρομεθάνιο , βρωμοφόρμιο και διχλωροξικό οξύ) , και τα CBPs στο σύνολό τους σύμφωνα με μία πληθώρα επιστημονικών στοιχείων μπορούν να προκαλέσουν γεννητικές ανωμαλίες και να επιφέρουν ζημιά στην αναπαραγωγή.

Από το σύνολο των παραπροϊόντων χλωρίωσης μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα Τριαλογονομένα Παράγωγα του Μεθανίου (THM) , γιατί σχηματίζονται σε μεγαλύτερες ποσότητες και είναι τοξικά και για αυτούς τους λόγους αποτελούν το αντικείμενο μελέτης των περισσότερων τοξικολογικών και επιδημιολογικών ερευνών που έχουν γίνει.

Η τάξη των παραπροϊόντων των THM απαρτίζεται από τέσσερα ξεχωριστά χημικά είδη: το χλωροφόρμιο , το βρωμοδιχλωρομεθάνιο , το διβρωμοχλωρομεθάνιο και το βρωμοφόρμιο.

Μια πληθώρα επιστημονικών στοιχείων , σχεδόν 30 επιδημιολογικές μελέτες , συνδέουν τα παραπροϊόντα χλωρίωσης με τους αυξανόμενους κινδύνους για εμφάνιση καρκίνου , τις αποβολές και τις γεννητικές ανωμαλίες , συμπεριλαμβανομένων των δυσλειτουργιών του νευρικού συστήματος και το χαμηλό βάρος γέννησης στα νεογνήματα. Οι επιδημιολογικές μελέτες βρίσκουν συχνά δυσμενή αποτελέσματα σε επίπεδα που θεωρούνται αποδεκτά βάσει των νομικών ρυθμίσεων για το πόσιμο νερό. Οι πληροφορίες για τις επιδράσεις που προκαλεί κάθε παραπροϊόν στον άνθρωπο ξεχωριστά παραμένουν ανεπαρκείς για την εξαγωγή κάποιων ασφαλών συμπερασμάτων.

Υπάρχουν κάποιες τεχνολογίες επεξεργασίας που αν εφαρμοστούν , μπορούν να παρέχουν ασφαλές πόσιμο νερό και συγχρόνως να μειώσουν σημαντικά τους κινδύνους υγείας που σχετίζονται με τα παραπροϊόντα χλωρίωσης.

Οι καθοριστικοί παράγοντες που συμβάλλουν στην δημιουργία των παραπροϊόντων χλωρίωσης είναι η ποιότητα του ανεπεξέργαστου νερού και η δόση του χλωρίου. Η δημιουργία των παραπροϊόντων χλωρίωσης μπορεί να μειωθεί με απομάκρυνση όσο το δυνατό περισσότερης οργανικής ύλης από το νερό , πριν την χλωρίωση και βελτιστοποιώντας την δόση του χλωρίου , ώστε να είναι αποτελεσματική αλλά όχι περισσευούμενη. Οι διαδικασίες οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στην μείωση των παραπροϊόντων χλωρίωσης είναι :

α. Απορρόφηση .

Η οργανική ύλη που είναι κύρια πηγή δημιουργίας των παραπροϊόντων , μπορεί να απομακρυνθεί με την βοήθεια ενός φίλτρου ενεργού άνθρακα μέσω της προσρόφησης ή μέσω της βιολογικής δραστηριότητας που λαμβάνει χώρα στο φίλτρο. Ακόμη το φίλτρο ενεργού άνθρακα είναι σε θέση να απομακρύνει σε μεγάλο ποσοστό αρκετά παραπροϊόντων χλωρίωσης και κυρίως τα THM και HAA.

β. Τεχνολογία μεμβρανών .

Οι μεμβράνες χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού , η χρήση τους όμως καταδεικνύει και άριστη αφαίρεση της φυσικής οργανικής ουσίας. Η λειτουργία των μεμβρανών στηρίζεται στην υδραυλική πίεση που ωθεί το νερό μέσα από ημιπερατές μεμβράνες οι οποίες απορρίπτουν τους περισσότερους μολυσματικούς παράγοντες του νερού.

γ. Βελτίωση της συμβατικής επεξεργασίας .

Όταν το χλώριο χρησιμοποιείται ως απολυμαντικό , οι διεργασίες για την συμβατική επεξεργασία του νερού (καθίζηση , διύλιση) μειώνουν τις τελικές συγκεντρώσεις των περισσότερων παραπροϊόντων χλωρίωσης , επειδή περιορίζουν τη συγκέντρωση του ολικού οργανικού άνθρακα πριν το στάδιο της χλωρίωσης.

Πάνω από το 50% της απομάκρυνσης των παραπροϊόντων της απολύμανσης , μπορεί να επιτευχθεί με την προσαρμογή του pH , την αλλαγή ή μεγαλύτερη δόση του κροκιδωτικού και την βελτίωση των συνθηκών ανάμειξης .



2.2.8. Παραπροϊόντα διοξειδίου του χλωρίου (ClO_2) .

Οι μέχρι τώρα έρευνες σχετικά με τις επιπτώσεις του διοξειδίου του χλωρίου έχουν επικεντρωθεί στο ίδιο το διοξείδιο του χλωρίου και στα δύο γνωστά ανόργανα ιόντα που σχηματίζονται κατά την διάλυσή του στο νερό , το χλωριώδες (ClO_2) και το χλωρικό (ClO_3). Είναι διαπιστωμένο ότι το ClO_2 δεν παράγει τριαλογονομεθάνια ενώ υπάρχουν ελάχιστες πληροφορίες για πιθανά άλλα οργανικά παραπροϊόντα που μπορεί θεωρητικά να σχηματίσει.

Ο ΠΟΥ δεν έχει ορίσει κάποιο όριο , με το σκεπτικό ότι το ClO_2 μετά την διάλυσή του στο νερό διασπάται γρήγορα και το όριο που έχει τεθεί για το χλωριώδες ιόν αποτελεί ασφαλή περιορισμό και για το ClO_2 .

Το χλωριώδες και το χλωρικό ιόν είναι γνωστό ότι προκαλούν μεθαιμογλοβιναιμία και πιο πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι το χλωριώδες ιόν προκαλεί αιμολυτική αναιμία σε δόσεις κάτω από αυτές που προκαλούν σχηματισμό μεθαιμογλοβίνης. Ο κίνδυνος μεταλλακτικής ή καρκινογόνου δράσης τους είναι λιγότερο σαφής από ότι για το χλώριο και τα συμπεράσματα σχετικών εργαστηριακών ερευνών είναι αντικρουόμενα.

Μία έρευνα που έγινε στις ΗΠΑ σε ανθρώπινο πληθυσμό έδειξε ότι δόση 0.034 mg ανά κιλό βάρους ανά ημέρα δεν προκαλεί ανιχνεύσιμα αρνητικά αποτελέσματα. Ο ΠΟΥ έχει υιοθετήσει την τιμή των 0.2 mg/l μόνο για το χλωριώδες ιόν.

2.2.9. Παραπροϊόντα οζονισμού .

Η χρήση του όζοντος για την απολύμανση του πόσιμου ύδατος έχει συνδεθεί με την ανεπιθύμητη παρουσία βρώμικων ιόντων τα οποία θεωρούνται ως «ύποπτοι καρκινογόνοι παράγοντες» . Τα βρώμικα ιόντα δεν αποτελούν κανονικό συστατικό των φυσικών υδάτων , αλλά σχηματίζονται κατά την αντίδραση βρωμιούχων ιόντων με το όζον. Τα βρωμιούχα ιόντα αποτελούν κανονικό συστατικό των φυσικών υδάτων πηγών που βρίσκονται σε παραθαλάσσιες περιοχές και υπάρχει διείσδυση θαλάσσιου ύδατος , (το θαλάσσιο ύδωρ περιέχει περίπου 65 mg Br/L). Διαπιστώθηκε αναλογική συσχέτιση μεταξύ ποσότητας διαβιβαζόμενου όζοντος και συγκέντρωσης παραγόμενων βρωμικών ιόντων.

Ο οζονισμός προκαλεί τον σχηματισμό ακεταλδεϋδης και φορμαλδεϋδης που είναι καρκινογόνα όταν εισπνέονται , αλλά δεν υπάρχουν τοξικολογικές μελέτες των επιπτώσεων όταν γίνετε η κατάποση τους.



2.2.10. Παραπροϊόντα χλωραμινών .

Οι χλωραμίνες μπορεί να αποτελούν και οι ίδιες έναν κίνδυνο για την υγεία , όμως πολύ λίγη έρευνα έχει γίνει για την αξιόπιστη εκτίμηση του κινδύνου αυτού. Το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των ΗΠΑ προτείνει το όριο των 0,83 mg / l , αν υποθεθεί ότι το πόσιμο νερό είναι η μόνη πηγή έκθεσης του ανθρώπου σε χλωραμίνες. Η συγκέντρωση αυτή δεν είναι επαρκής για να δράσει αποκλειστικά σαν απολυμαντικό , μπορεί όμως να κριθεί ικανοποιητική για συντήρηση της υγιεινής κατάστασης του δικτύου. Η ΠΟΥ προτείνει το όριο των 3 mg/l.

Οι χλωραμίνες γενικώς παράγουν τα ίδια παραπροϊόντα με το χλώριο αλλά σε μικρότερες συγκεντρώσεις. Επιπλέον όμως παράγουν χλωριούχο κυάνιο , φορμαλδεΰδη και ακεταλδεΰδη. Οι επιπτώσεις της φορμαλδεΰδης και της ακεταλδεΰδης εκτέθηκαν παραπάνω. Το χλωριούχο κυάνιο είναι γενικώς τοξικό , αλλά το όριο των 300 ppb έχει οριστεί μόνο για τον αέρα. Για το πόσιμο νερό δεν υπάρχουν ανάλογες έρευνες ώστε να προσδιοριστεί το σχετικό όριο.

3. ΤΕΧΝΙΚΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ .**3.1. Σύγκριση μεθόδων απολύμανσης.**

Παρακάτω συγκρίνονται οι μέθοδοι απολύμανσης που αναφέρθηκαν παραπάνω με κριτήρια τα οποία μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες .

A. Απολυμαντική ικανότητα .

B. Επικινδυνότητα χρησιμοποιούμενων χημικών και παραπροϊόντων και επίδραση στον αποδέκτη .

Γ. Οικονομικά στοιχεία (κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας – συντήρησης)

3.1.1. Απολυμαντική ικανότητα .

- Το χλώριο δρα διαπερνώντας την κυτταρική μεμβράνη και αδρανοποιώντας ορισμένα ένζυμα , σε ότι αφορά τα βακτηρίδια , ενώ σε ότι αφορά τους ιούς και τους άλλους μικροοργανισμούς , ο τρόπος δράσης του δεν έχει εξηγηθεί πλήρως και πιθανολογείται ότι επιδρά απευθείας στο DNA και το RNA του πυρήνα. Η διαδικασία αδρανοποίησης των ενζύμων έχει διαπιστωθεί ότι είναι αναστρέψιμη.
- Η υπεριώδης ακτινοβολία δρα «στεριώνοντας» τους μικροοργανισμούς και συγκεκριμένα αλλοιώνοντας το DNA και το RNA , εμποδίζει την μεταφορά γενετικού υλικού και άρα την αναπαραγωγή των μικροοργανισμών. Παρόλα αυτά αρκετοί μικροοργανισμοί είναι ικανοί να επιδιορθώσουν μόνοι τους τις βλάβες του γενετικού υλικού (φωτοεπιδιόρθωση) , αναιρώντας την απολυμαντική επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας.
- Το όζον καταστρέφει την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών με αποτέλεσμα την μη συγκράτηση του κυτταρικού υλικού και την πλήρη καταστροφή του κυττάρου. Περιπτώσεις αναζωογόνησης μικροοργανισμών δεν έχουν αναφερθεί.

Τόσο η χλωρίωση , όσο και η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) «δυσκολεύονται» να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένα είδη μικροοργανισμών. Η δράση του χλωρίου κατά των ιών είναι μικρότερη από εκείνη του όζοντος. Επιπλέον έχει διαπιστωθεί και αποδειχτεί η δράση του όζοντος σε είδη μικροοργανισμών που διαφεύγουν μιας και των δυο άλλων μεθόδων (πχ. *Escherichia Coli* , *Cryptosporidium* , πολυϊοί , *Giardia myris* , *Giardia lamblia* κ.ά.) .

Η υπεριώδης ακτινοβολία αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα με τα αιρούμενα στερεά , (η δειξήση UV ακτινοβολίας σε στρώματα απεσταγμένου νερού 7,5 cm , πέφτει από το 93% στο 7% παρουσία σιδήρου σε συγκέντρωση 1 mg/l) .

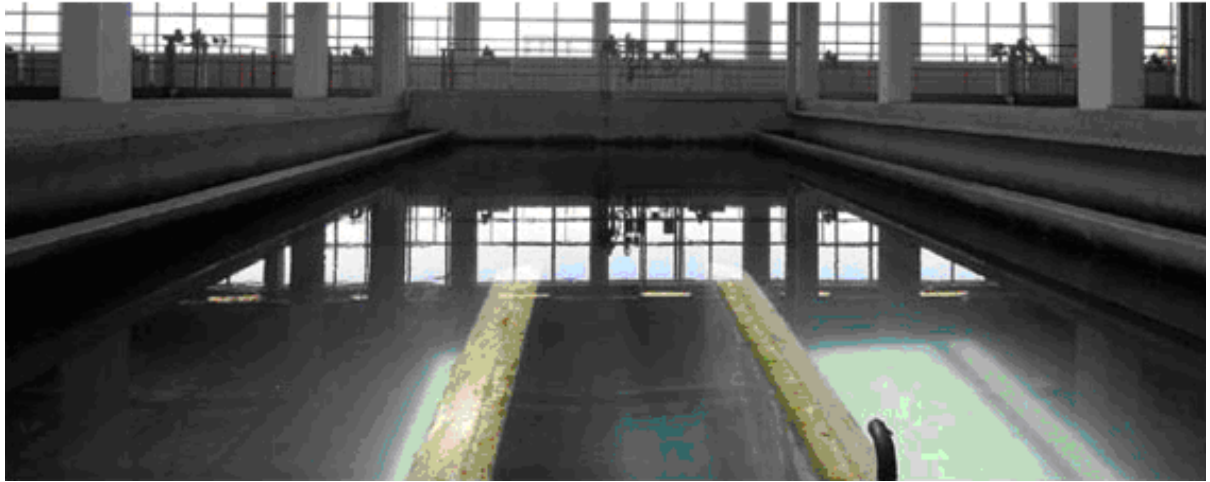
Επίσης , με την υπεριώδη ακτινοβολία δεν καταστρέφονται μικροοργανισμοί προσκολλημένοι σε σχεδόν αόρατα σωματίδια , ή μικροοργανισμοί που διέρχονται από το σημείο ακτινοβολίας σε μεγάλους σχηματισμούς. Μεγάλη είναι η μείωση της απολυμαντικής δράσης της UV ακτινοβολίας από την συσσώρευση ακαθαρσιών και λιπών στην επιφάνεια των λαμπτήρων. Αντίθετα το όζον δεν εξαρτάται από αντίστοιχους παράγοντες και έχει , γενικά , ταχύτερη και ισχυρότερη απολυμαντική δράση , η υπολειμματική του δράση όμως είναι ελάχιστη.

3.1.2. Επικινδυνότητα μεθόδου παραπροϊόντων .

Όσο αφορά το αέριο χλώριο και το ClO_2 , είναι και τα δυο τοξικά αέρια και κάθε διαφυγή τους χαρακτηρίζεται σοβαρότατο ατύχημα. Ταυτόχρονα το ClO_2 είναι ιδιαίτερα ασταθές ακόμη και σε υδατικά διαλύματα ($>10\% \text{ w/v}$) , ιδιαιτέρως εάν συμπιεστεί. Οι διάφορες τροποποιήσεις της μεθόδου για την βελτίωση της απόδοσης αλλά και την μεγαλύτερη ασφάλεια δεν είναι ιδιαιτέρως αποδοτικές , καθώς οι χλωριωτές προδιάλυσης όταν λειτουργούν υπό πίεση εμφανίζουν μεγαλύτερους κινδύνους διαφυγής. Αντίθετα το όζον που και αυτό είναι αέριο έχει πολύ μικρό χρόνο ζωής (30 min) , ενώ είναι χαρακτηριστικό ότι η έκθεση σε 1000 ppm όζοντος για 30 sec μπορεί να προκαλέσει ελαφρό ερεθισμό , ενώ ισοδύναμη έκθεση σε χλώριο ή ClO_2 συχνά αποβαίνει μοιραία. Σε κάθε περίπτωση η παραγωγή και η κατανάλωση του παραγόμενου όζοντος γίνεται σε κλειστό κύκλωμα και η περίσσεια καταστρέφεται σε θερμοκαταλυτικό αντιδραστήρα (καταστροφέας όζοντος) .

Η διαφορά του αέριου χλωρίου και του ClO_2 , είναι ότι το χλώριο διακινείται και χρησιμοποιείται αποθηκευμένο σε χαλύβδινες φιάλες υπό πίεση , ενώ το διοξείδιο του χλωρίου παράγεται έπη τύπου στις δόσεις που απαιτούνται και προστίθεται κατευθείαν στο νερό. Κατά συνέπεια , ο σωστός σχεδιασμός των διατάξεων αποθήκευσης των αντιδρώντων διαλυμάτων και η στοιχειώδης συντήρηση του αντιδραστήρα παραγωγής του πυκνού διαλύματος ελαχιστοποιούν τους κινδύνους ατυχήματος. Ωστόσο , η όλη διαδικασία παραγωγής και δοσομέτρησης είναι πιο σύνθετη από αυτή της προσθήκης υποχλωριωδών αλάτων και δεν συνίσταται αν δεν υπάρχει κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό για επίβλεψη και συντήρηση.

Η χρήση του όζοντος , με τα μέχρι στιγμής λίγα επιστημονικά στοιχεία , δεν δημιουργεί επικίνδυνα παραπροϊόντα , αλλά αντίθετα έχει θετική επίδραση στα φυσικά χαρακτηριστικά του αποδέκτη , καθώς συντελεί στην απομάκρυνση του χρώματος , των οσμών και στην καταστροφή ορισμένων επικίνδυνων οργανικών ουσιών.



3.1.3. Κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας - συντήρησης .

Το κόστος εγκατάστασης των μονάδων όζοντος και UV είναι παραπλήσιο , ενώ αυτό των μονάδων χλωρίωσης είναι μικρότερο , καθώς δεν συμπεριλαμβάνονται εξελιγμένες τεχνολογικές διατάξεις.

Από την άλλη πλευρά το κόστος λειτουργίας των μονάδων όζοντος είναι μικρότερο , καθώς μοναδική απαίτηση είναι ηλεκτρικό ρεύμα , (ή και οξυγόνο) , ενώ οι μονάδες UV εκτός του ηλεκτρικού ρεύματος , έχουν μια επιπρόσθετη επιβάρυνση λόγω αλλαγής των λαμπτήρων , που η συχνότητα αλλαγής εξαρτάται από την ποιότητα του νερού και από κάποιες άλλες κατασκευαστικές παραμέτρους. Οι διατάξεις χλωρίωσης είναι προφανές ότι έχουν ένα σημαντικό κόστος προμήθειας των χρησιμοποιούμενων χημικών.

Η απαίτηση εργατικού δυναμικού για την λειτουργία των μονάδων όζοντος είναι μικρή , καθώς δεν χρειάζεται συνεχής παρακολούθηση , ενώ οι όποιοι περιοδικοί έλεγχοι ή διορθώσεις γίνονται από το υπάρχον προσωπικό βάρδιας. Οι δυο άλλες εγκαταστάσεις απαιτούν μεγαλύτερο εργατικό δυναμικό λόγω της συνεχούς παρακολούθησης που απαιτείται.

Το κόστος υλικών και εργασιών συντήρησης είναι ιδιαίτερα υψηλό στις εγκαταστάσεις UV , καθώς πέρα από τις όποιες τακτικές εργασίες συντήρησης , η πράξη έχει δείξει ότι απαιτείται αλλαγή των λαμπτήρων περίπου μια φορά τον χρόνο.

Αυτή η μεγάλη συχνότητα αντικατάστασης ενός τόσο σημαντικού τμήματος της μονάδας , επιφέρει δραματική αύξηση του κόστους υλικών. Η συντήρηση των μονάδων όζοντος ακολουθεί το πρόγραμμα συντήρησης όλης της μονάδας και δεν προβλέπονται τακτικές αντικαταστάσεις τμημάτων του εξοπλισμού , πριν από χρονικό διάστημα λειτουργίας 5 χρόνων (τα δεδομένα προκύπτουν και από την λειτουργία μονάδων στον Ελληνικό χώρο) .

Πάντως , ασφαλείς συγκρίσεις και τελικά συμπεράσματα για τα επί μέρους κόστη λειτουργίας και συντήρησης των διαφόρων τρόπων και τύπων απολύμανσης , ασφαλώς και δεν μπορεί να υπάρχουν , καθώς λείπουν και τα πραγματικά αντίστοιχα ποσά , αναφερόμενα σε ίδιας δυναμικότητας εγκαταστάσεις .

Θεωρούμε πάντως , ότι η διερεύνηση του κόστους των διαφόρων τρόπων απολύμανσης του πόσιμου νερού , οφείλει και πρέπει να γίνεται από τους φορείς του νερού , ακόμα και με δεδομένο ότι η απολύμανση γενικά , δεν συμμετέχει με μεγάλο ποσοστό στο κόστος παραγωγής , επεξεργασίας και διανομής του πόσιμου νερού .

3.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων απολύμανσης .

3.2.1. Χλωρίωση .

Πλεονεκτήματα :

Η χλωρίωση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική ενάντια στους περισσότερους πιθανούς παθογόνους οργανισμούς , είναι εύκολη στην εφαρμογή , στον έλεγχο , και στην επίβλεψη της , ενώ και το κόστος είναι σχετικά χαμηλό.

Λειτουργικά είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδος απολύμανσης και αποτελεί το απολυμαντικό με τον καλύτερο συντελεστή απόδοσης ως προς το κόστος και την αποτελεσματικότητα απολύμανσης.

Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα της είναι ότι παρέχει ένα υπόλειμμα στο δίκτυο ύδρευσης που προστατεύει από πιθανή μόλυνση στο δίκτυο (παραμένει ως προστατευτικός παράγοντας για αρκετό χρονικό διάστημα μέσα στο νερό) και βοηθάει στην μείωση της προσκόλλησης των μικροοργανισμών σε τοιχώματα των σωλήνων αποτρέποντας έτσι την δημιουργία ενός είδους κρούστας (βιοφίλμ) .

Μειονεκτήματα :

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της χλωρίωσης είναι η δημιουργία οργανικών παραπροϊόντων χλωρίωσης τα οποία και απειλούν άμεσα την ανθρώπινη υγεία.

Επίσης η χλωρίωση προσδίδει χαρακτηριστικά έντονη οσμή και γεύση στο νερό , η οποία οφείλεται όχι μόνο στο χλώριο αλλά και σε διάφορα παραπροϊόντα απολύμανσης.

Τα διαλύματα των υποχλωριωδών αλάτων δεν είναι σταθερά , αλλά το ενεργό χλώριο μειώνεται με την πάροδο του χρόνου , ειδικά σε συνθήκες αυξημένων θερμοκρασιών (καλοκαίρι). Συνεπώς η αποθήκευση για μεγάλα χρονικά διαστήματα δεν συνίσταται.

Αυτό συνεπάγεται μια συνεχή διαδικασία προμήθειας φρέσκου υλικού για έτοιμα διαλύματα , όπως το υποχλωριώδες νάτριο.



3.2.2 . UV .

Πλεονεκτήματα :

Κατά την απολύμανση του νερού με υπεριώδης ακτινοβολία (UV) , αντίθετα με τη χλωρίωση , δεν παράγεται κανένα γνωστό παραπροϊόν σε επίπεδα ανησυχητικά για την υγεία του ανθρώπου. Η UV είναι αποτελεσματική ενάντια στο παθογόνο *Cryptosporidium* και στην αδρανοποίηση των περισσοτέρων ιών , σπόρια και κύστες υπό την προϋπόθεση της απόλυτης καθαρότητας του νερού.. Επίσης δεν χρειάζεται να παράγεται , να αποθηκεύεται ή να ελέγχεται κανένα χημικό κατά την απολύμανση , με αποτέλεσμα να μην υφίσταται κίνδυνος υπερδοσολογίας. Δεν δημιουργεί υπολειμματική τοξικότητα , παρέχει βελτιωμένη ασφάλεια σε σχέση με την χρήση χημικών απολυμαντικών , ενώ απαιτεί και μικρότερο χώρο από την απολύμανση με χλώριο.

Μειονεκτήματα :

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της απολύμανσης του πόσιμου νερού με UV είναι ότι δεν παρέχει καμία υπολειμματική προστασία στο δίκτυο ύδρευσης. Εξίσου σημαντικό μπορεί να χαρακτηριστεί και το φαινόμενο της φωτοενεργοποίησης ορισμένων οργανισμών : η επίδραση του φωτός ορισμένου μήκους κύματος είναι δυνατόν αν ενεργοποιήσει ορισμένους μικροοργανισμούς μετά από την απολύμανση με UV , οι οποίοι στην συνέχεια θα μπορούν να πολλαπλασιαστούν και να γίνουν λοιμογόνους. Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης δύσκολα ελέγχεται. Ακόμη απαιτείται υψηλό κόστος για την δημιουργία ενός εφεδρικού συστήματος απολύμανσης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Δεν παρέχει άμεση μέτρηση για τον έλεγχο της επιτυχίας της απολύμανσης.

Καταναλώνει ενέργεια , είναι κρίσιμος ο υδραυλικός σχεδιασμός του UV συστήματος , ενώ είναι και σχετικά ακριβό . Τέλος απαιτεί μεγάλο αριθμό UV λυχνιών , όταν χρησιμοποιούνται συστήματα χαμηλής πίεσης , χαμηλής έντασης , ενώ και η λυχνία του απαιτεί συχνό καθαρισμό για να απομακρυνθούν οι όποιες επικαθήσεις αλάτων.

3.2.3 . Όζον .

Πλεονεκτήματα :

Το όζον είναι το ισχυρότερο απολυμαντικό λόγω της ισχυρής οξειδωτικής του δράσης. Επίσης κατά την απολύμανση δεν παράγονται χλωριωμένα παράγωγα (CBPs) και σε αντίθεση με την χλωρίωση είναι αποτελεσματικό ενάντια στο , *Cryptosporidium* σε υψηλές συγκεντρώσεις. Συντελεί στην απομάκρυνση του χρώματος , των οσμών και στην καταστροφή ορισμένων επικίνδυνων οργανικών ουσιών.

Δεν παρουσιάζει προβλήματα ασφαλείας σε σχέση με την μεταφορά και την αποθήκευσή του. Έχει εξαιρετικές απολυμαντικές ιδιότητες. Καταστρέφει ταχύτατα μικροοργανισμούς ανθεκτικούς στο χλώριο ή άλλα απολυμαντικά όπως αμοιβάδες , κόκκους , μύκητες , μυξομύκητες , φύκια , σπόρους και κύστες. Απαιτεί μικρούς χρόνους εφαρμογής (ο οζονισμός απαιτεί περίπου 10 min , ενώ η χλωρίωση 30 - 350 min). Η απολύμανση πραγματοποιείται σχεδόν ακαριαία. Η μέθοδος με όζον έχει μικρότερη ευαισθησία στο pH και στην θερμοκρασία. Η απολυμαντική δράση μένει αναλλοίωτη για 2 - 30 C και 6 - 10.

Μειονεκτήματα :

Το μεγαλύτερο ίσως μειονέκτημα της απολύμανσης με όζον είναι ότι δεν παρέχει καμία υπολειμματική δράση , με αποτέλεσμα να μην υπάρχει καμία προστασία στο δίκτυο ύδρευσης. Αν στο νερό υπάρχουν βρωμιόντα τότε κατά την απολύμανση παράγονται βρωμιωμένα οργανικά παραπροϊόντα. Ακόμη το όζον σπάει περισσότερα σύμπλοκα οργανικής ύλης σε μικρότερες ενώσεις που μπορούν να προάγουν την επανανάπτυξη των μικροοργανισμών μέσα στο δίκτυο ύδρευσης και να αυξήσουν την δημιουργία παραπροϊόντων κατά την διάρκεια δευτεροβάθμιων διαδικασιών απολύμανσης. Μειονέκτημα επίσης αποτελεί η δυσκολία στον έλεγχο και στην παρακολούθηση του ειδικά κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες φορτίου και απαιτείται μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο από την χλωρίωση. Τέλος , απαιτεί πιλοτική εγκατάσταση προκειμένου να βρεθεί βέλτιστη δόση όζοντος.

3.2.4 Διοξειδίο του χλωρίου .

Πλεονεκτήματα

- Δεν σχηματίζει τα παραπροϊόντα του χλωρίου ή των υποχλωριωδών αλάτων
- Σχηματίζει ελάχιστα μικρού κινδύνου παραπροϊόντα
- Έχει καλή υπολειμματική δράση.
- Παράγεται επι τόπου στις απαιτούμενες ποσότητες από απολύτως σταθερά διαλύματα που μπορεί να αποθηκεύονται επ' αόριστον.
- Είναι εξαιρετικό οξειδωτικό όπως το όζον και απαιτεί πολύ μικρό χρόνο επαφής για να επιτύχει την απολυμαντική δράση.
- Δεν αντιδρά με την αμμωνία αλλά οξειδώνει το σίδηρο και άλλα τυχόν μέταλλα που ευρίσκονται διαλυμένα στο νερό.

Μειονεκτήματα

- Απαιτείται παρασκευή επιτόπου και συνεπώς προσεκτική επίβλεψη και συντήρηση.
- Υπάρχει πιθανότητα διαφυγής μικρής ποσότητας αερίου διοξειδίου του χλωρίου σε περίπτωση διαρροής.
- Είναι έντονα τοξικό στην αναπνοή

4. ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΑΠΟ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΧΩΡΟ .

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τη διεθνή πρακτική στο θέμα της απολύμανσης νερού. Τα αποτελέσματα πάρθηκαν από ένα ερωτηματολόγιο το οποίο είχε σταλεί σε μεγάλες μονάδες επεξεργασίας νερού της Ευρώπης και της Αμερικής. Τα στοιχεία αυτά τα οποία παρουσιάζονται στους δυο πιο κάτω πίνακες 4.1. και 4.2. , αφορούσαν την δυναμικότητα της κάθε μονάδας επεξεργασίας , τον τύπο του νερού που επεξεργάζονται και τις μεθόδους απολύμανσης.

Σύμφωνα με τα στοιχεία παρατηρείται πως η κύρια μέθοδος απολύμανσης που εφαρμόζεται είναι η χλωρίωση , ενώ η πλειοψηφία των εταιριών που παρουσιάζονται χρησιμοποιούν ενεργό άνθρακα για την απομάκρυνση φυτοφαρμάκων και οργανικών ενώσεων. Υπάρχουν ωστόσο και εταιρίες που χρησιμοποιούσαν μόνο όζον , ή μόνο UV , αλλά σε μικρότερο ποσοστό. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι το όζον χρησιμοποιείται κυρίως κατά την επεξεργασία αντικαθιστώντας την αποχλωρίωση. Με αυτή την αλλαγή επιτυγχάνονται δυο πράγματα : α) αποφυγή δημιουργίας CBPs καθώς σε αυτή την φάση το νερό είναι συνήθως πλούσιο σε οργανικά και β) την αναβάθμιση της απόδοσης μεθόδων καθαρισμού του νερού (κυρίως στην κροκίδωση) , λόγω της οξειδωτικής δράσης του όζοντος.

Στην Κύπρο υπάρχουν δυο μονάδες επεξεργασίας νερού την Λεμεσό και στην Λευκωσία. Η μονάδα επεξεργασίας νερού της Λεμεσού λειτουργεί από το 1944 και τροφοδοτείται με ακατέργαστο νερό από το φράγμα του Κούρη.

Έχει δυναμικότητα επεξεργασίας 40.000 m³ την ημέρα , με δυνατότητα αύξησης της στα 80.000 m³ την ημέρα. Τα κύρια στάδια επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται είναι η κροκίδωση , η συσσωμάτωση , η καθίζηση , η διήθηση και η χλωρίωση.

Η μονάδα επεξεργασίας νερού Τερσεφάνου στην Λευκωσία λειτουργεί από το 1999 και έχει δυνατότητα επεξεργασίας 60.000 m³ την ημέρα , με δυνατότητα αύξησης στα 90.000 m³ την ημέρα. Η μονάδα τροφοδοτείται με ακατέργαστα νερά προερχόμενα από φράγματα του Κούρη και του Καλαβάσου μέσω νοτίου αγωγού. Επιπρόσθετα είναι δυνατή η παροχή αφαλατωμένου νερού από μονάδα αφαλάτωσης της Δεκέλιας της Λευκωσίας. Τα κύρια στάδια επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται είναι η αποχλωρίωση , αερισμός, κροκίδωση , συσσωμάτωση , διήθηση , φιλτράρισμα , μεταχλωρίωση και διόρθωση του pH. Επιπλέον υπάρχει πρόνοια εγκατάστασης συστήματος οζονίωσης στο μέλλον αν καταστεί απαραίτητο.

Στην Ελλάδα εξετάζονται κατ' αρχήν μονάδες επεξεργασίας νερού στην Θεσσαλονίκη και την Αθήνα.

Η μονάδα επεξεργασίας νερού Αλιάκμονα στη Θεσσαλονίκη λειτουργεί από το 2003 και επεξεργάζεται επιφανειακά νερά δυναμικότητας 150.000 m³ την ημέρα στο παρόν στάδιο της Α φάσης των έργων , ενώ στο μέλλον με την ολοκλήρωση κάποιων φάσεων θα υπάρχει δυναμικότητα επεξεργασίας 600.000 m³ την ημέρα.

Οι διεργασίες που υφίσταται το νερό κατά την επεξεργασία του είναι οι εξής :

προοζόνωση (για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των αλγών που ενδεχομένως να εμφανιστούν κατά περιόδους στο νερό) , ρύθμιση του pH , (για βελτιστοποίηση της όλης επεξεργασίας του) , με την προσθήκη διαλύματος θειικού οξέος , προσθήκη κροκιδωτικού , (ως κροκιδωτικό χρησιμοποιείται διάλυμα θειικού αργίλου) , κροκίδωση , καθίζηση , διύλιση σε κλίνες άμμου , οζόνωση για την διάσπαση των φυτοφαρμάκων , (που ενδεχομένως να εμφανιστούν στο επιφανειακό νερό κατά περιόδους) , διύλιση σε κλίνες ενεργού άνθρακα , (για την προσρόφηση και κατακράτηση των προϊόντων που προκύπτουν από την διάσπαση των φυτοφαρμάκων) , ρύθμιση του pH στην τελική επιθυμητή τιμή και απολύμανση με χλώριο.



Στην Αθήνα οι μονάδες επεξεργασίας πόσιμου νερού είναι τέσσερις :

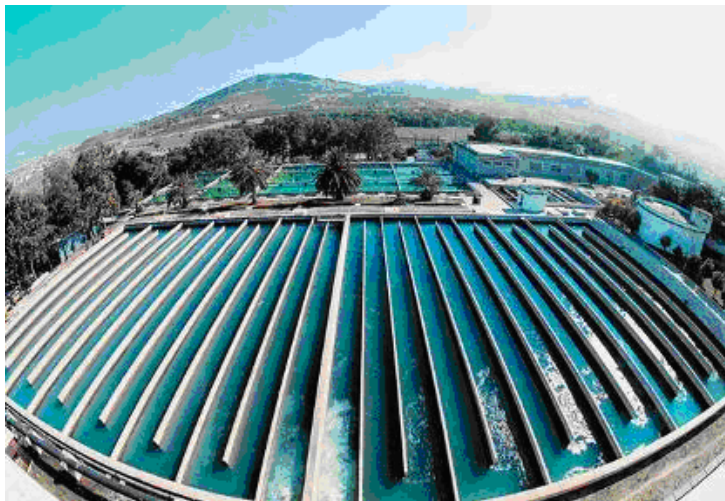
του Γαλατσίου , των Αχαρνών , του Πολυδενδρίου και της Μάνδρας (Ασπροπύργου).

Τα στάδια επεξεργασίας που χρησιμοποιούν και οι τέσσερις προαναφερθείσες μονάδες είναι η εσχάρωση , η αποχλωρίωση , η κροκίδωση , (θειικό αργίλιο) , η καθίζηση , η φίλτραυση (αμμόφιλτρα) , μεταχλωρίωση (εφόσον δεν είναι ικανοποιητική η μεταχλωρίωση).

Η μονάδα Γαλατσίου λειτουργεί από το 1931 και επεξεργάζεται νερό δυναμικότητας 540.000 m^3 την ημέρα , συγκεκριμένα για απολύμανση νερού χρησιμοποιείται χλώριο στην εγκατάσταση και χλωραμίνη στην εισαγωγή του δικτύου διανομής.

Η μονάδα Αχαρνών κατασκευάστηκε το 1978 και ανακατασκευάστηκε το 1992 με νέα συστήματα , όπως πλύσης φίλτρων με εμφύσηση αέρα και ανάστροφη ροή του νερού , χρησιμοποιεί μόνο την χλωρίωση για απολύμανση. Οι μονάδες επεξεργασίας νερού Πολυδενδρίου περιλαμβάνουν δυο ισοδύναμες μονάδες με ονομαστική δυναμικότητα 100.000 m^3 την ημέρα η καθεμία και λειτουργούν από το 1986 , χρησιμοποιούν μόνο την χλωρίωση για απολύμανση.

Η μονάδα Ασπροπύργου λειτουργεί από το 1997 και αποτελείται από τέσσερις ισοδύναμους κλάδους με συνολική ικανότητα επεξεργασίας νερού 200.000 m^3 την ημέρα και χρησιμοποιούν μόνο την χλωρίωση για απολύμανση.



Ο τρόπος απολύμανσης σε υπόλοιπες Ελληνικές πόλεις , μαζί με τον αντίστοιχο όγκο νερού που απολυμαίνονται , φαίνεται στον τελευταίο επισυναπτόμενο Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα έρευνας με ερωτηματολόγιο για τις πρακτικές απολύμανσης στην Ευρώπη .

Αγγλία			
(1) Thames Water Utilities			
Νερό που επεξεργάζεται	1 x 10 ⁹ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Χλωρίωση/Χλώριο, χλωραμίνη 0,5 ml/l
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	7,38 εκατο	Χρήση όζοντος	Ναι, προεπεξεργασία
Συνολικό μήκος δικτύου	31280 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Ναι, (GAC)
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		Ε/Υ=77% / 23%	
(2) AWG (Anglian Water)			
Νερό που επεξεργάζεται	475 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Χλωρίωση/Χλώριο, χλωραμίνη 0,5-1,2 ml/l
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	4 εκατό.	Χρήση όζοντος	Ναι, προεπεξεργασία
Συνολικό μήκος δικτύου	35000 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Ναι, (GAC)
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		Ε/Υ=55% / 45%	
Ολλανδία			
(3) Water Supply Company Orierijssel (WMO N.V)			
Νερό που επεξεργάζεται	76 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Ενεργός άνθρακας + UV (40 mJ/cm²)
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	1,1 εκατό.	Χρήση όζοντος	Όχι
Συνολικό μήκος δικτύου	12000 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Ναι, (GAC)
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		Ε/Υ=25% / 75%	
(4) N.V. Waterleidingmaatschappij			
Νερό που επεξεργάζεται	30 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Δεν χρειάζεται απολύμανση
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	450000	Χρήση όζοντος	Όχι
Συνολικό μήκος δικτύου	4000 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Όχι
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		Ε/Υ=0% / 100%	
Δανία			
(5) Vindeby Vandforsyning A.M.B.A.			
Νερό που επεξεργάζεται	-	Μέθοδος απολύμανσης	Ενεργός άνθρακας + UV
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	-	Χρήση όζοντος	Όχι
Συνολικό μήκος δικτύου	-	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Ναι, (GAC)
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		-	
Σουηδία			
(6) Stockholm Water Co			
Νερό που επεξεργάζεται	130 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Χλωρίωση (Χλώριο + χλωραμίνη) +UV
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	1 εκατό.	Χρήση όζοντος	Όχι
Συνολικό μήκος δικτύου	-	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Όχι
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		Ε/Υ=100% /75%	

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

(7) Sagep			
Νερό που επεξεργάζεται	240 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Χλωρίωση (Χλώριο)
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	2,5 εκατό.	Χρήση όζοντος	Ναι, σε συνδυασμό με ενεργό άνθρακα
Συνολικό μήκος δικτύου	2000 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Ναι, (PAC)
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		E/Y=50% / 50%	
Βέλγιο			
(8) AWW Antwerpse Waterwerken			
Νερό που επεξεργάζεται	150 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Χλωρίωση (Χλώριο)
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	1 εκατό.	Χρήση όζοντος	Όχι
Συνολικό μήκος δικτύου	2500 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Ναι, (GAC)
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		E/Y=100% / 0%	
(9) PIDPA - Provinciale en Intercommunale Drinkwatermaatschappij de Provincie Antwerpen			
Νερό που επεξεργάζεται	64 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	UV (40 mJ/cm²) η /και χλωρίωση
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	1,1 εκατό.	Χρήση όζοντος	Όχι
Συνολικό μήκος δικτύου	12000 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Όχι
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		E/Y=0% / 100%	
Ιρλανδία			
(10) Cork Corporation - Sanitary Services [Cork]			
Νερό που επεξεργάζεται	23 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Φθορίωση/Χλωρίωση στην έξοδο
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	-	Χρήση όζοντος	Όχι
Συνολικό μήκος δικτύου	650 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Όχι
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		E/Y=100% / 0%	
Νορβηγία			
(11) Frevar KF			
Νερό που επεξεργάζεται	16 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Χλωρίωση (Χλώριο με μορφή NaOCl)
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	70000	Χρήση όζοντος	Όχι
Συνολικό μήκος δικτύου	650 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Όχι
Επιφανειακά / Υπόγεια ύδατα		E/Y=100% / 0%	
Ελβετία			
(12) SIG (Servises industriels de Geneve)			
Νερό που επεξεργάζεται	50 x 10 ⁶ m³/y	Μέθοδος απολύμανσης	Οζόνωση
Πληθυσμός που εξυπηρετείται	420000	Χρήση όζοντος	Ναι
Συνολικό μήκος δικτύου	1240 km	Χρήση Ενεργού άνθρακα	Ναι

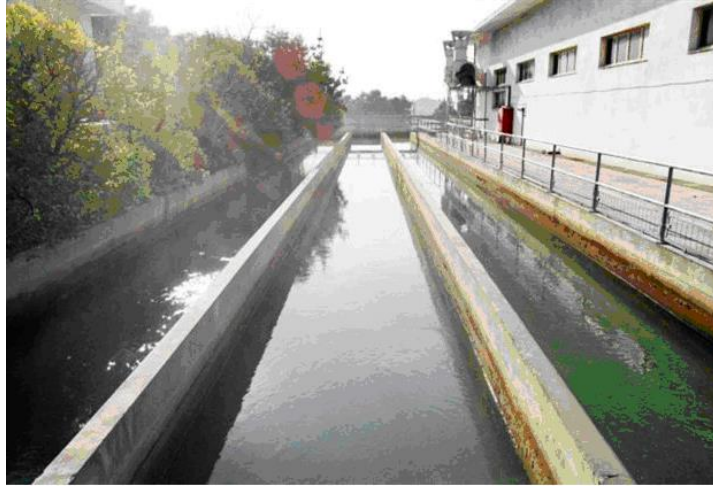
Πίνακας 4.2. Πρακτικές απολύμανσης στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης .

Χώρες/Απολύμανση	Χλώριο	Διοξείδιο του χλωρίου	Χλωραμίνες	Όζον
Αυστρία	1	3	-	3
Βέλγιο	1	3	-	3
Δανία	-	-	-	-
Φιλανδία	1	3	3	3
Γαλλία	2	2	-	-
Γερμανία	1		1	3
Μεγάλη Βρετανία	1	3	3	3
Ελλάδα	1	-	-	-
Ιρλανδία	1	-	-	-
Ιταλία	1	1	-	-
Λουξεμβούργο	-	-	-	-
Ολλανδία	2	2	-	3
Πορτογαλία	1	-	-	-
Ισπανία	1	3	2	-
Σουηδία	1	3	2	-

Μέθοδοι απολύμανσης. 1. Κυρίαρχη πρακτική, 2. Κοινή πρακτική, 3. Περιστασιακή πρακτική.

Πίνακας 4.3. Τρόποι Απολύμανσης πόσιμου νερού σε Ελληνικές πόλεις .

A/a/	Πόλη	Νερό που επεξεργάζεται σε εκ. m ³ / έτος	Τρόπος Απολύμανσης
1	Δράμα	11	Υποχλωριώδες Νάτριο
2	Αγρίνιο	5	Υποχλωριώδες Νάτριο
3	Κομοτηνή	5	Αέριο Χλώριο
4	Ναύπλιο	3	Υποχλωριώδες Νάτριο
5	Λειβαδειά	4	Υποχλωριώδες Νάτριο
6	Μυτιλήνη	4	Υποχλωριώδες Νάτριο
7	Λαμία	7,5	Υποχλωριώδες Νάτριο
8	Κοζάνη	7	Υποχλωριώδες Νάτριο
9	Λάρισα	17	Υποχλωριώδες Νάτριο
10	Σέρρες	8	Υποχλωριώδες Νάτριο
11	Τύρναβος	4	Υποχλωριώδες Νάτριο



Συμπερασματικά :

Καμία μέθοδος απολύμανση από μόνη της δεν είναι κατάλληλη για να εξασφαλίσει στο δίκτυο ύδρευσης νερό κατάλληλο για πόση. Η χρήση χλωρίου ενώ είναι αποτελεσματική για την θανάτωση των περισσοτέρων μικροοργανισμών , συμβάλει στην δημιουργία οργανικών παραπροϊόντων επικίνδυνων μακροχρόνια για την ανθρώπινη υγεία.

Η εναλλακτική μέθοδος με χρήση χλωραμινών συμβάλει στην δημιουργία λιγότερων οργανικών παραπροϊόντων συγκριτικά με το χλώριο , αλλά είναι λιγότερο αποτελεσματική ενάντια στους μικροοργανισμούς και ειδικά ενάντια των ιών και των πρωτόζωων. Λόγω αυτού απαιτείται συνδυασμός με ένα ισχυρότερο απολυμαντικό για βασική απολύμανση.

Η χρήση διοξειδίου του χλωρίου είναι αποτελεσματικότερη από το χλώριο ή την χλωραμίνη ως απολυμαντικό ενάντια στους μικροοργανισμούς , συμβάλλοντας στην δημιουργία λιγότερων θερμοθετημένων οργανικών προϊόντων. Παρόλα αυτά συμβάλει στην δημιουργία πρόσθετων DBPs και απαιτεί για την εφαρμογή του ακριβότερο εξοπλισμό και εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις απ' ότι οι προαναφερόμενες μέθοδοι απολύμανσης.

Το όζον αν και είναι αποτελεσματικότερο συγκριτικά με το διοξείδιο του χλωρίου ενάντια των πρωτόζωων , συμβάλει στην δημιουργία πρόσθετων DBPs όταν τα ακατέργαστα νερά είναι βρωμιούχα , για τα οποία υπάρχουν ελάχιστα στοιχεία όσον αφορά τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και δεν υπάρχει επιπλέον προστασία στο νερό κατά την διάρκεια διανομής του. Επίσης απαιτείται εξειδικευμένη τεχνική ικανότητα στη χρήση.

Επιπρόσθετα η βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η χρήση της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι αποτελεσματική στα βακτήρια και στα πρωτόζωα και δεν συμβάλει στην δημιουργία επιπρόσθετων DBPs. Η συγκεκριμένη μέθοδος όμως είναι λιγότερο αποτελεσματική στην διαδικασία της απολύμανσης κατά ορισμένων ιών και δεν παρέχει επιπλέον προστασία στο νερό ούτως ώστε να συνοδεύεται πάντα από δευτεροβάθμιο απολυμαντικό μέσο συμβάλλοντας έτσι στο σχηματισμό νέων DBPs.