

ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (UV)

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι μία μέθοδος απολύμανσης του πόσιμου νερού και των υγρών αποβλήτων (Bergmann et al., 2002). Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες απολυμαντικές μεθόδους η υπεριώδης ακτινοβολία δεν αδρανοποιεί τους παθογόνους μικροοργανισμούς με χημική αλληλεπίδραση (U.S EPA., 1999a). Αυτή η μέθοδος απολύμανσης χρησιμοποιείται κυρίως για την απολύμανση μεγάλων ποσοτήτων νερού και δε χρησιμοποιείται από μικρές μονάδες επεξεργασίας, καθώς η εγκατάσταση συστημάτων υπεριώδους ακτινοβολίας είναι πολύπλοκη και υψηλού κόστους (Cheremisinoff, 1995).

Η απολύμανση με την υπεριώδη ακτινοβολία είναι μία μέθοδος που εφαρμόζεται εδώ και χρόνια στην Νότιο Αμερική και στην Ευρώπη. Το 1887 ανακαλύφθηκε η μικροβιοκτόνος δράση του ηλιακού φωτός από τους Downes και Blunt, ενώ η ανάπτυξη των λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας ολοκληρώθηκε το 1901 (AWWA, 1999; U.S EPA., 2003a). Για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε η υπεριώδης ακτινοβολία ως απολυμαντική μέθοδος στη Γαλλία το 1910. Το 1929 ο Gates ανακάλυψε πως η απολυμαντική δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας οφείλεται στην απορρόφηση της από τα νουκλεϊκά οξέα (U.S EPA., 2003a).

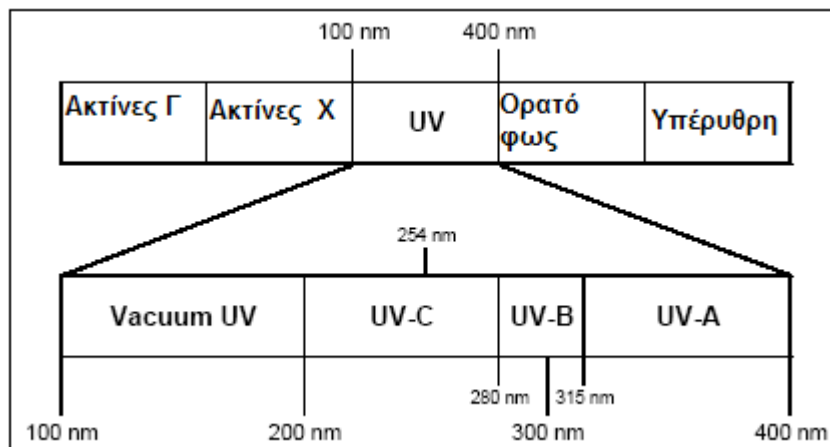
Παρότι μέχρι το πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα είχαν πραγματοποιηθεί σημαντικές έρευνες και μελέτες σχετικά με την απολυμαντική δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας, το χαμηλό κόστος του χλωρίου και τα λειτουργικά προβλήματα των συστημάτων υπεριώδους ακτινοβολίας περιόρισαν σημαντικά την επέκταση της χρήσης της υπεριώδους ακτινοβολίας στην επεξεργασία του νερού. Ουσιαστικά το 1955 πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά απολύμανση του πόσιμου νερού με υπεριώδη ακτινοβολία σε Σουηδία και Αυστρία (U.S EPA., 2003a).

Μέχρι το 1985 ο αριθμός των μονάδων που χρησιμοποιούσαν ως μέθοδο απολύμανσης την υπεριώδη ακτινοβολία ήταν 500-600, ενώ ο σχηματισμός των παραπροϊόντων κατά τη χλωρίωση οδήγησε πολλές μονάδες σε Νορβηγία και Ολλανδία να χρησιμοποιούν την υπεριώδη ακτινοβολία για την απολύμανση του νερού (U.S EPA., 2003a). Σήμερα στην Ευρώπη πάνω από 2000 μονάδες επεξεργασίας χρησιμοποιούν την υπεριώδη ακτινοβολία για την απολύμανση του πόσιμου νερού, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες γύρω στις 1000 μονάδες επεξεργασίας

νερού και 600 μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούν υπεριώδη ακτινοβολία ως μέθοδο απολύμανσης (AWWA, 1999; www.awwa.org/Advocacy).

2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μεταξύ των ακτίνων χ και του ορατού φωτός. Το φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας χωρίζεται σε τέσσερα πεδία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Η απολυμαντική δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας οφείλεται στις UV-B και UV-C. Η αποτελεσματικότητα των UV-A είναι σχετικά μικρή σε σχέση με τις UV-B και UV-C και απαιτούνται μεγάλοι χρόνοι επαφής για αποτελεσματική απολύμανση. Ακτινοβολία σε μήκος κύματος 100-200 nm έχει σημαντική απολυμαντική δράση, όμως δεν είναι ιδιαίτερα πρακτική η εφαρμογή της καθώς εξασθενεί η ένταση της πολύ γρήγορα μέσα στο νερό. Συνήθως για την απολύμανση του πόσιμου νερού χρησιμοποιείται ακτινοβολία μήκους κύματος 200-300 nm (U.S EPA., 200a).



Σχήμα 1 : Φάσμα Υπεριώδους Ακτινοβολίας, Πηγή : U.S EPA., 2003a

Η υπεριώδης ακτινοβολία διασκορπίζεται γρήγορα μέσα στο νερό, ώστε να απορροφηθεί ή να αντανακλαστεί από τα συστατικά που περιέχονται στο νερό με αποτέλεσμα να μην παραμένει υπολειμματική ποσότητα και να μη σχηματίζονται παραπροϊόντα. Ωστόσο πρέπει να συνδυάζεται η δράση της με χημικές απολυμαντικές ουσίες, ώστε να παραμένει υπολειμματική ποσότητα στο σύστημα για περαιτέρω απολύμανση του νερού (U.S EPA., 1999a).

3 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

Για την παραγωγή υπεριώδους ακτινοβολίας απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται κατά την απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία αποτελούνται από έναν κύλινδρο που περιέχει αδρανές αέριο, όπως αργό, και μικρές ποσότητες υδραργύρου. Αντιστάσεις ρυθμίζουν την ένταση του ρεύματος στους λαμπτήρες (U.S EPA., 1999a).

3.1.1 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Οι λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας λειτουργούν με τρόπο παρόμοιο των λαμπτήρων φθορισμού. Η διαφορά μεταξύ των δύο λαμπτήρων είναι ότι οι λαμπτήρες φθορισμού είναι επικαλυμμένοι με φώσφορο, ο οποίος μετατρέπει την υπεριώδη ακτινοβολία σε ορατό φως, ενώ οι λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας δεν είναι επικαλυμμένοι, ώστε να μεταδίδεται η υπεριώδης ακτινοβολία. Στις περισσότερες περιπτώσεις η υπεριώδης ακτινοβολία εκπέμπεται από δέσμη ηλεκτρονίων ιονίζοντας το υγροποιημένο αέριο υδραργύρου.

3.1.2 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ

Οι λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας διακρίνονται σε λαμπτήρες χαμηλής πίεσης που εκπέμπουν ενέργεια σε μήκος κύματος 253,7nm, σε λαμπτήρες μέσης πίεσης που εκπέμπουν ενέργεια σε μήκη κύματος από 180 -1370nm και σε λαμπτήρες που εκπέμπουν σε υψηλές συχνότητες (Πίνακας 1). Τόσο οι λαμπτήρες χαμηλής πίεσης όσο και μέσης πίεσης χρησιμοποιούνται για την απολύμανση του νερού. Η αποτελεσματικότητα των λαμπτήρων μέσης πίεσης είναι μεγαλύτερη από εκείνη των χαμηλής πίεσης. Για αυτό το λόγο απαιτείται μικρότερος αριθμός λαμπτήρων μέσης πίεσης για ισοδύναμες δόσεις. Σε μικρές μονάδες επεξεργασίας η χρήση ενός λαμπτήρα μέσης πίεσης έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αν και τα δύο είδη λαμπτήρων έχουν την ίδια αποτελεσματικότητα, στις μικρές μονάδες επεξεργασίας χρησιμοποιούνται κυρίως λαμπτήρες χαμηλής πίεσης λόγω της αξιοπιστίας τους σε σχέση με τη χρήση ενός λαμπτήρα μέσης πίεσης (U.S EPA., 1999a).

Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά Λαμπτήρων UV, Πηγή : U.S EPA., 2003a

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ
ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	254	254	200-300
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (°C)	40	130-200	600-900
ΠΙΕΣΗ ΛΑΜΠΤΗΡΑ (TORR)	0,007	0,76	300-30.000
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (W/CM)	0,5	1,5-10	50-250
ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ (HR)	8.000-10.000	8.000-12.000	4.000-8.000

Ουσιαστικά οι λαμπτήρες χαμηλής πίεσης εσωκλείονται από φύλλο χαλαζία, ώστε να διαχωρίζεται το νερό από την επιφάνεια του λαμπτήρα. Η διαρρύθμιση αυτή είναι απαραίτητη, ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία των 40°C στο λαμπτήρα. Εκτός από

φύλλα χαλαζία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί τεφλόν, αν και απορροφάει το 35% της ακτινοβολίας.

3.1.3 ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

Οι αντιστάσεις είναι μετατροπείς της ενέργειας που φτάνει στους λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι αντιστάσεις λειτουργούν σε θερμοκρασία μικρότερη των 60°C, ώστε να αποφεύγεται περίπτωση δυσλειτουργίας. Συνήθως οι αντιστάσεις κατά τη λειτουργία τους εκλύουν αρκετή θερμότητα, ώστε να κρίνεται απαραίτητη η παράλληλη λειτουργία ψυκτικών ανεμιστήρων (U.S EPA., 1999a)

Οι αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται με τους λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας διακρίνονται σε ηλεκτρονικές και ηλεκτρομαγνητικές. Οι ηλεκτρονικές λειτουργούν με υψηλότερη συχνότητα σε σχέση από τις ηλεκτρομαγνητικές με αποτέλεσμα χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας, χαμηλότερη παραγωγή θερμότητας, χαμηλότερη απαίτηση και περισσότερος χρόνος λειτουργίας της αντίστασης (U.S EPA., 1999a).

4 ΤΡΟΠΟΣ ΔΡΑΣΗΣ

Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα απολυμαντικά μέσα, η υπεριώδης ακτινοβολία είναι φυσική διαδικασία απολύμανσης και απαιτούνται μερικά δευτερόλεπτα, ώστε να επιτευχθεί η αδρανοποίηση των μικροοργανισμών (U.S EPA., 1999a). Η απολύμανση του νερού με υπεριώδη ακτινοβολία πραγματοποιείται μέσα σε θάλαμο ακτινοβολίας. Η υπεριώδης ακτινοβολία αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς μέσω απορρόφησης του φωτός που προκαλεί φωτοχημικές αντιδράσεις μεταβάλλοντας τα συστατικά των μορίων που είναι απαραίτητα για τις κυτταρικές λειτουργίες (www.awwa.org/Advocacy). Καθώς οι ακτίνες της υπεριώδους ακτινοβολίας διαπερνούν την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών, εισέρχονται στο εσωτερικό των κυττάρων και διασπών το DNA, ενώ παράλληλα αποτρέπουν την αναπαραγωγή του μικροοργανισμού. Η επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία δε μεταβάλλει χημικά το νερό, ουσιαστικά προστίθεται ενέργεια σε αυτό (www.edstrom.com). Η ενέργεια αυτή αντιδρά με τα νουκλεϊκά οξέα και άλλα κυτταρικά συστατικά προκαλώντας ζημιές στα κύτταρα που έχουν εκτεθεί (U.S EPA., 1999a). Ο βαθμός αδρανοποίησης των μικροοργανισμών εξαρτάται άμεσα από τη δόση της υπεριώδους ακτινοβολίας που εφαρμόζεται στο προς επεξεργασία νερό (www.edstrom.com)

Τα μικροβιοκτόνα αποτελέσματα της υπεριώδους ακτινοβολίας περιλαμβάνουν φωτοχημική καταστροφή του DNA και του RNA των μικροοργανισμών. Τα νουκλεϊκά οξέα των μικροοργανισμών απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται σε μήκη κύματος 240-280nm. Το DNA και το RNA

περιέχουν γενετικές πληροφορίες απαραίτητες για την αναπαραγωγή, όποτε οποιαδήποτε ζημιά σε αυτά είτε στα συστατικά τους είναι δυνατόν να αποτρέψει την αναπαραγωγή των μικροοργανισμών. Οι ζημιές κυρίως προκύπτουν καθώς τα μόρια πυριμιδίνης διμερίζονται. Η κυστοσίνη (DNA και RNA) και η θυμίνη (DNA) είναι οι βασικότερες μορφές μορίων πυριμιδίνης. Η αντιγραφή των νουκλεϊκών οξέων είναι ιδιαίτερα δύσκολη, όταν τα μόρια πυριμιδίνης είναι ενωμένα μεταξύ τους λόγω της διαστρέβλωσης που έχει υποστεί το DNA από την υπεριώδη ακτινοβολία. Επιπροσθέτως, αν δεν πραγματοποιηθεί η αντιγραφή, θα αναπαραχθούν μεταλλαγμένα κύτταρα (U.S EPA., 1999a). Ουσιαστικά οι ζημιές που προκαλούνται στο DNA δε μεταβάλλουν τις κυτταρικές λειτουργίες των μικροοργανισμών, αλλά με την αδυναμία αναπαραγωγής τους δε μπορούν να μολύνουν τον ξενιστή (U.S EPA., 2003a).

Η υπεριώδης ακτινοβολία επιτυγχάνει ικανοποιητική αδρανοποίηση βλαστών και σπορίων βακτηρίων, ιών και άλλων παθογόνων μικροοργανισμών. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κύματος 240-280nm αδρανοποιεί ικανοποιητικά τους μικροοργανισμούς προκαλώντας ανεπανόρθωτες ζημιές στα νουκλεϊκά οξέα. Η πιο αποτελεσματική τιμή μήκους κύματος είναι 254nm, όπου καταστρέφεται το DNA. Σε άλλες τιμές μήκους κύματος, όπως 200nm, υπάρχουν μέγιστες τιμές απορρόφησης της ακτινοβολίας από το DNA. Ωστόσο σε χαμηλότερες τιμές από 200nm δεν είναι πρακτική η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών (U.S EPA., 1999a).

4.1 ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΑΦΗΣ

Οι συσκευές υπεριώδους ακτινοβολίας διακρίνονται σε ανοιχτού και κλειστού τύπου όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Το νερό ρέει υπό πίεση στους αντιδραστήρες κλειστού τύπου. Στην επεξεργασία του πόσιμου νερού χρησιμοποιούνται μονάχα οι κλειστού τύπου, ενώ οι ανοιχτού τύπου αντιδραστήρες χρησιμοποιούνται κυρίως στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Οι ανοιχτού τύπου αντιδραστήρες είναι δεξαμενές με κανάλια από λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας (U.S EPA., 2003a).



Σχήμα 9.2 : Αντιδραστήρες Υπεριώδους Ακτινοβολίας, Πηγή : U.S EPA., 2003a

Οι αντιδραστήρες είναι σχεδιασμένοι, ώστε να βελτιστοποιούν την παροχή της υπεριώδους ακτινοβολίας. Το υδροδυναμικό σχήμα των αντιδραστήρων έχει μεγάλη σημασία στην απόδοση του συστήματος. Βελτίωση του υδροδυναμικού σχήματος εξασφαλίζεται με κόστος του headloss (U.S EPA., 2003a).

5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Για να επιτευχθεί η αδρανοποίηση των μικροοργανισμών η υπεριώδης ακτινοβολία πρέπει να απορροφηθεί από το μικροοργανισμό. Συνεπώς οτιδήποτε παρεμποδίζει την υπεριώδη ακτινοβολία να επιδράσει με το μικροοργανισμό μειώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες απολυμαντικές μεθόδους η δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας δεν επηρεάζεται από το pH, αλλά από τους εξής παράγοντες :

- τις βιολογικές μεμβράνες που αναπτύσσονται στην επιφάνεια των λαμπτήρων
- τα διαλυμένα οργανικά και ανόργανα συστατικά
- τη θολότητα
- τη συσσώρευση των μικροοργανισμών
- τη σύντομη ροή του νερού από τους λαμπτήρες και
- η γεωμετρία των λαμπτήρων (U.S EPA., 1999a).

5.1 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ

Η συσσώρευση των στερεών στην επιφάνεια των φύλλων προστασίας των λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας μειώνει σημαντικά την ένταση της υπεριώδους ακτινοβολίας και συνεπώς την απόδοση της απολύμανσης. Επιπροσθέτως η δημιουργία στρωμάτων από ασβέστιο και μαγνήσιο στην επιφάνεια των λαμπτήρων μειώνει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Νερό που περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου, σουλφίδια υδρογόνου και έχει υψηλή σκληρότητα είναι δεκτικό στη δημιουργία επικαλύψεων, οι οποίες μειώνουν σημαντικά την ένταση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων στερεών που δημιουργούν επικαλύψεις είναι :

- συγκέντρωση σιδήρου μεγαλύτερη από 0,1 mg/l
- συγκέντρωση σουλφιδίων υδρογόνου μεγαλύτερη από 0,2 mg/l
- και σκληρότητα μεγαλύτερη από 140 mg/l

Η μετάδοση της υπεριώδους ακτινοβολίας μπορεί να μειωθεί λόγω της παρουσίας ποικιλίας χημικών ουσιών, όπως χουμικά οξέα, φαινόλες, άλατα θειικού οξέος, και χημικών στοιχείων όπως χρώμιο, κοβάλτιο, χαλκός, σίδηρος και νικέλιο (U.S EPA., 1999a).

Η ύπαρξη σωματιδίων επηρεάζει την απόδοση της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία, καθώς περικλείουν τους μικροοργανισμούς προστατεύοντάς τους από την υπεριώδη ακτινοβολία και μειώνοντας παράλληλα την έντασή της. Ουσιαστικά η χαμηλή θολότητα των υπογείων νερών επηρεάζει ελάχιστα την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Ωστόσο, η υψηλή θολότητα των επιφανειακών νερών μειώνει σημαντικά την απόδοση της απολύμανσης (U.S EPA., 1999a).

Αντίστοιχα με τη θολότητα, η συσσώρευση των μικροοργανισμών επηρεάζει την απόδοση της μεθόδου, καθώς μόνο ένα μέρος των μικροοργανισμών εκτίθεται στην υπεριώδη ακτινοβολία (U.S EPA., 1999a).

5.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ

Η λανθασμένη γεωμετρία των λαμπτήρων έχει ως αποτέλεσμα να μένουν περιοχές χωρίς να εκτίθενται στην υπεριώδη ακτινοβολία. Θα πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα, ώστε όλη η μάζα του προς επεξεργασία νερού να εκτίθεται στην υπεριώδη ακτινοβολία για την αποτελεσματική απολύμανσή του. Τέλος θα πρέπει να δημιουργούνται συνθήκες ανάμιξης για την καλύτερη απόδοση της μεθόδου (U.S EPA., 1999a).

6 ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες απολυμαντικές μεθόδους η υπεριώδης ακτινοβολία δεν αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς μέσω χημικών αντιδράσεων, αλλά μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων στο DNA και RNA των μικροοργανισμών (U.S EPA., 1999a). Ο σχηματισμός των παραπροϊόντων οφείλεται είτε άμεσα στις φωτοχημικές αντιδράσεις είτε έμμεσα στα παράγωγα των φωτοχημικών αντιδράσεων. Οι φωτοχημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται μόνο όταν η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφηθεί από χημικές ουσίες με αποτέλεσμα το σχηματισμό παραπροϊόντων (U.S EPA., 2003a).

Στο πόσιμο νερό που έχει υποστεί χλωρίωση η επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή των οργανικών συστατικών σε πιο διασπάσιμες ουσίες. Στο υπόγειο νερό ή σε νερό που έχει διηθηθεί, η υπεριώδης ακτινοβολία δεν έχει καμία επιρροή στο σχηματισμό τριαλογονωμένων παραγώγων του μεθανίου ή των αλογονοοξικών οξέων (U.S EPA., 2003a).

7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Γενικότερα η υπεριώδης ακτινοβολία θεωρείται ιδιαίτερα δραστική μέθοδος απολύμανσης του πόσιμου νερού, καθώς αδρανοποιεί βασικούς παθογόνους μικροοργανισμούς μεταδιδόμενους από το νερό (Rochelle et al., 2005).

7.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπως και για τα υπόλοιπα απολυμαντικά μέσα, η χρήση της υπεριώδους ακτινοβολίας έχει περιορισμούς. Καθώς είναι φυσική διαδικασία απολύμανσης και όχι χημική, δεν παραμένει υπολειμματική ποσότητα στο σύστημα για περαιτέρω έλεγχο της ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Κατά αυτόν τον τρόπο κρίνεται απαραίτητη η συνδυαστική χρήση με χημικό απολυμαντικό μέσο (U.S EPA., 1999a).

Κατά την απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία δύο φαινόμενα μεγάλης σημασίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη: οι μηχανισμοί διόρθωσης των ζημιών και η ικανότητα ορισμένων μικροοργανισμών να επανενεργοποιούνται μετά από έκθεση σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, ορισμένοι μικροοργανισμοί μπορούν αν επιδιορθώσουν τις ζημιές που έχουν προκληθεί στο DNA και είναι θέση να αναπαραχθούν και πάλι. Ουσιαστικά η επανενεργοποίηση πραγματοποιείται ως επακόλουθο της καταλυτικής δράσης του ηλιακού φωτός σε ορατά μήκη κύματος. Ο βαθμός της επανενεργοποίησης διαφοροποιείται από μικροοργανισμό σε μικροοργανισμό. Τα κολοβακτηρίδια και ορισμένα βακτήρια όπως *Shigella* επανενεργοποιούνται, ενώ οι ιοί και άλλα είδη βακτηριών δεν επανενεργοποιούνται. Επειδή οι ζημιές στο DNA είναι μη αναστρέψιμες με το πέρασμα του χρόνου, υπάρχει ένα κρίσιμο σημείο όπου είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί η επανενεργοποίηση. Για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα επανενεργοποίησης, οι λαμπτήρες πρέπει να είναι καλυμμένοι είτε να ελαχιστοποιείται η έκθεση του νερού στο ηλιακό φως αμέσως μετά την απολύμανση (U.S EPA., 1999a).

7.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Στην περίπτωση που η υπεριώδης ακτινοβολία χρησιμοποιείται ως μοναδική μέθοδος απολύμανσης δεν υπάρχουν επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, καθώς δε σχηματίζονται παραπροϊόντα. Ωστόσο επειδή πραγματοποιείται συνδυαστική χρήση με άλλες απολυμαντικές μεθόδους, οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι αντίστοιχες με εκείνες των απολυμαντικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται (U.S EPA., 1999a).

7.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΠΑΘΟΓΟΝΟΥΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

Η χρήση της υπεριώδους ακτινοβολίας έχει αποδειχθεί πως είναι αποτελεσματική μέθοδος απολύμανσης του νερού, καθώς αδρανοποιούνται ιοί και βακτήρια με δόσεις

της τάξεως 2-6 mW*s/cm². Τα πρωτόζωα και συγκεκριμένα το *Gardia* και το *Cryptosporidium* είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία σε σχέση με τους υπόλοιπους μικροοργανισμούς, όμως επιτυγχάνονται ικανοποιητικά ποσοστά αδρανοποίησης τους (U.S EPA., 1999a).

7.3.1 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΙΩΝ

Η ένταση της υπεριώδους ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για την αδρανοποίηση των ιών είναι σχετικά χαμηλή. Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί πως η υπεριώδης είναι πιο αποτελεσματική από το χλώριο, όταν η συγκέντρωση του χλωρίου είναι 1,25mg/l και για χρόνο επαφής δεκαοχτώ λεπτά, ενώ η ένταση της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι 25 mW*s/cm²(U.S EPA., 1999a).

7.3.2 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΩΤΟΖΩΩΝ

Παρόλο που τα πρωτόζωα είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί μικροοργανισμοί στην υπεριώδη ακτινοβολία, σε πρόσφατες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί πως το υπεριώδες φως είναι δυνατόν να αδρανοποιήσει τέτοιου είδους μικροοργανισμούς. Ωστόσο απαιτείται μεγαλύτερη δόση για την αδρανοποίησή τους (U.S EPA., 1999a). Η υπεριώδης ακτινοβολία στα πρωτόζωα έχει τις εξής επιδράσεις: μείωση της θερμοκρασίας του πρωτόζωου, ευαισθησία του μικροοργανισμού στη θερμοκρασία, μεταβολή στην κινητικότητα και στο σχήμα του, μείωση της αναπνοής και μεταβολή της αντοχής στην υδροστατική πίεση (Rochelle et al., 2005).

Συγκεκριμένα για ποσοστά αδρανοποίησης λιγότερο από 80% του *Gardia lambia* απαιτούνται 63 mW*s/cm², ενώ για αδρανοποίηση του *Gardia muris* κατά 90% απαιτούνται 82 mW*s/cm². Αδρανοποίηση του *Cryptosporidium parvum* επιτυγχάνεται με τη χρήση λαμπτήρων χαμηλής πίεσης θεωρητικής έντασης 14,58 mW*s/cm² και για χρόνο επαφής δέκα λεπτών (U.S EPA., 1999a).

7.3.3 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην αδρανοποίηση των βακτηρίων. Οι δόσεις που απαιτούνται για την αδρανοποίηση των συγκεκριμένων μικροοργανισμών είναι αντίστοιχες με εκείνες που απαιτούνται για του ιούς (U.S EPA., 1999a).



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Αχαρνών 364 & Γλαράκι 10B, Αθήνα, 11145

Τηλ: 211 1820 163-4-5 Φαξ: 211 1820 166

e-mail: enerchem@enerchem.gr

web site: www.enerchem.gr