

ΧΛΩΡΙΟ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χλώριο είναι το πιο διαδεδομένο απολυμαντικό μέσο για το πόσιμο νερό και τα υγρά απόβλητα παγκοσμίως (Cheremisinoff, 1995). Επίσης χρησιμοποιείται για την αδρανοποίηση – απομάκρυνση των μικροβίων στα σπίτια, στα νοσοκομεία, στις πισίνες, στους χώρους εστίασης, στα ξενοδοχεία και σε άλλους δημοσίους χώρους (www.c3.org). Συγκεντρώνει όλα τα χαρακτηριστικά ενός ‘καλού’ και οικονομικού απολυμαντικού, ωστόσο πρόσφατες έρευνες έδειξαν πως τα παραπροϊόντα της χλωρίωσης είναι καρκινογόνα, συγκεκριμένα τα τριαλογονωμένα παράγωγα του μεθανίου (THMs). Οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τα παραπροϊόντα της χλωρίωσης είναι μικροί όσον αφορά τις συγκεντρώσεις που παράγονται από μία τυπική μονάδα επεξεργασίας και οι νέοι τρόποι εφαρμογής της χλωρίωσης τείνουν να τους εξαλείψουν (Droste, 1997).

Το αέριο χλώριο ανακαλύφθηκε από το Σουηδό χημικό Scheele το 1774 κατά τη διάρκεια της αντίδρασης του διοξειδίου του μαγγανίου με το υδροχλωρικό οξύ, αλλά αναγνωρίστηκε ως χημικό στοιχείο το 1808 από το Sir Humphrey Davy, ο οποίος το ονόμασε χλώριο από την αντίστοιχη ελληνική λέξη *chloros* που σημαίνει πράσινο (AWWA, 1999; Cheremisinoff, 1995). Μέχρι να αναγνωριστεί ως στοιχείο, οι άνθρωποι θεωρούσαν πως το χλώριο ήταν συνθετικό του οξυγόνου (www.c3.org).

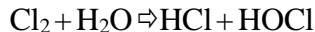
Η πρώτη χρήση του χλωρίου ως απολυμαντικού μέσου πραγματοποιήθηκε το 1825 στη Γαλλία, όπου αέριο χλώριο διαλυόταν σε αλκαλικό διάλυμα καλίου, ενώ το 1831 χρησιμοποιήθηκε σαν απολυμαντικό μέσο κατά της επιδημίας της χολέρας στην Ευρώπη (AWWA, 1999). Το 1846 με τη χρήση του χλωρίου αποτράπηκε η διάδοση ασθένειας σε μαιευτήριο της Αυστρίας (www.c3.org).

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα η ηλεκτρολυτική παρασκευή του χλωρίου και του υποχλωριώδους οξέος είχε ως αποτέλεσμα την επέκταση της χρήσης του χλωρίου ως απολυμαντικού μέσου (AWWA, 1999). Το 1908 άρχισε η συστηματική απολύμανση του νερού με χλώριο στο Boonton, ενώ το 1909 ξεκίνησε η παρασκευή υγρού χλωρίου στη Νέα Υόρκη (AWWA, 1999; Cheremisinoff, 1995). Τα αποτελέσματα της απολύμανσης ήταν ιδιαίτερος ικανοποιητικά όχι μόνο μειώθηκε ο αριθμός των μικροοργανισμών, αλλά βελτιώθηκε σημαντικά η γεύση και το χρώμα του νερού. Όσο εξαπλωνόταν η χρήση του χλωρίου, τόσο μειώνονταν ο αριθμός των κρουσμάτων μεταδιδόμενων ασθενειών μέσω του νερού. Μέχρι το 1930 ο τύφος ενώ ήταν ο δέκατος στη λίστα με τις πιο διαδεδομένες ασθένειες, βρέθηκε στην 26^η θέση (Cheremisinoff, 1995).

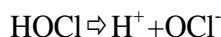
2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Το χλώριο (Cl_2) είναι ένα πυκνό και κιτρινοπράσινο αέριο με τάση να διαφύγει στην ατμόσφαιρα, καθώς είναι 2,5 φορές βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα και όταν ασκηθεί σε αυτό υπερβολική πίεση υγροποιείται απελευθερώνοντας θερμότητα και μειώνεται σημαντικά ο όγκος του (AWWA, 1999; Cheremisinoff 1995; www.c3.org). Υγροποιείται στους -34°C , ενώ μετατρέπεται σε κίτρινο στερεό στους -103°C . Λόγω της δραστηρότητας του σχηματίζει ενώσεις με το νάτριο, το μαγνήσιο και ασβέστιο, οπότε δε βρίσκεται ποτέ ελεύθερο στη φύση. Το χλώριο έχει τη δυνατότητα να αντιδρά με διάφορα στοιχεία και να δημιουργεί ενώσεις με στοιχεία που δεν αντιδρούν μεταξύ τους (www.c3.org). Χρησιμοποιείται ως απολυμαντικό μέσο είτε ως αέριο, στερεό είτε ως υγρό με τη μορφή υποχλωριόδους νατρίου ή ασβεστίου (Cheremisinoff 1995).

Το αέριο χλώριο είναι ιδιαίτερα τοξικό και διαβρωτικό λόγω της οξειδωτικής του δράσης και πρέπει να φυλάσσεται με ιδιαίτερη προσοχή. Αντιδρά σχεδόν με όλες τις οργανικές ενώσεις που περιέχονται στο νερό, ιδιαίτερα με την αμμωνία και τις φαινόλες σχηματίζοντας χλωραμίνες και χλωροφαινόλες. Όταν διαλυθεί στο νερό σε θερμοκρασίες $40-212^\circ\text{F}$, παράγει υποχλωριώδες οξύ και υδροχλώριο, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση (Cheremisinoff, 1995; U.S EPA., 1999c).



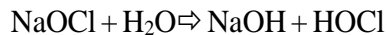
Το υποχλωριώδες οξύ διασπάται σχεδόν αμέσως σε υποχλωριώδη ιόντα και ιόντα υδρογόνου, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση. Το υποχλωριώδες οξύ είναι το πιο αποτελεσματικό απολυμαντικό από τα παράγωγα του χλωρίου και η δράση του οφείλεται στην ιδιότητα του να διεισδύει στα κυτταρικά τοιχώματα, όπως το νερό και είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Ο σχηματισμός του ευνοείται σε χαμηλές τιμές pH (Cheremisinoff, 1995).



2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΟΥΣ ΝΑΤΡΙΟΥ

Το υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl) δεν είναι τόσο τοξικό όσο το αέριο χλώριο για αυτό μπορεί να αποθηκευτεί και να παρασκευαστεί επιτόπου στη μονάδα επεξεργασίας. Πρέπει όμως να φυλάσσεται σε αντιδιαβρωτικές δεξαμενές μακριά από μέταλλα ακόμη και από το χάλυβα και σε θερμοκρασία μικρότερη των 85°F (U.S EPA., 1999a). Περιέχει στην υγρή του μορφή 1-15% κατά βάρος χλώριο και ο χρόνος ημίσειας ζωής του κυμαίνεται μεταξύ 60-1700 ημερών ανάλογα της περιεκτικότητας του σε χλώριο (AWWA, 1999). Είναι η πιο ακριβή μορφή του χλωρίου, διασπάται σε υπολειμματικό χλώριο και σχηματίζει χλωραμίνες και χλωροφαινόλες. Το διάλυμα του έχει pH κοντά στο 12. Κατά τη διάλυση του στο νερό διασπάται σε ιόντα

υποχλωριώδη ιόντα και σε ιόντα νατρίου, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση (U.S EPA.,1999a).



2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΟΥΣ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Το υποχλωριώδες ασβέστιο (CaClO_2) είναι ιδιαίτερα οξειδωτικό και επικίνδυνο. Είναι ασταθές και πρέπει να φυλάσσεται σε αντιδιαβρωτικές δεξαμενές, ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός παραγώγων και η ανάφλεξη του. Περιέχει τουλάχιστον 70% χλώριο και είναι διαλυτό στο νερό (U.S EPA., 1999b). Διατίθεται σε σκόνη ή σε ταμπλέτες και συνήθως χρησιμοποιείται σε μικρές μονάδες επεξεργασίας, λόγω του υψηλού κόστους και των διαβρωτικών του ικανοτήτων (AWWWA, 1999; Cheremisinoff, 1995). Όπως το υποχλωριώδες νάτριο, διασπάται σε υπολειμματικό χλώριο και σχηματίζει χλωραμίνες και χλωροφαινόλες. Επίσης το υποχλωριώδες ασβέστιο κρυσταλλοποιείται με αποτέλεσμα την έμφραξη των σωληνώσεων, των αντλιών και των βαλβίδων. Κατά τη διάσπασή του παράγονται υποχλωριώδη ιόντα και ιόντα ασβεστίου, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση (U.S EPA., 1999c).



3 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

Ο τρόπος παρασκευής του χλωρίου και των υποχλωριωδών αλάτων επιτόπου στη μονάδα επεξεργασίας άρχισε να διαδίδεται πρόσφατα. Η παρασκευή γίνεται μόνο με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και αλατιού (U.S EPA.,1999a).

3.1 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Η παρασκευή του αερίου χλωρίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους όπως με ηλεκτρόλυση του υποχλωριώδους οξέος ή αλκαλικού αλατόνευρου ή με οξείδωση του υποχλωριώδους οξέος. Περίπου το 70% της ποσότητας που απαιτείται για χλωρίωση στις Ηνωμένες Πολιτείες προέρχεται από ηλεκτρόλυση αλατόνευρου και καυστικών αντιδράσεων. Το αέριο χλώριο επειδή είναι σταθερό είναι δυνατόν να παρασκευαστεί εκτός μονάδας επεξεργασίας και να μεταφερθεί σε αυτή (U.S EPA., 1999a).

Σε αρκετές μονάδες επεξεργασίας το χλώριο παρέχεται σε υγροποιημένη μορφή μέσα σε κυλίνδρους και παροχετεύεται μέσα στο νερό μέσω ειδικών συσκευών. Οι συσκευές αυτές μειώνουν την πίεση του αερίου, καθώς αυτό εξέρχεται από τον κύλινδρο, ρυθμίζουν τη ροή του αερίου και τέλος αναμιγνύουν το αέριο με το νερό (Cheremisinoff, 1995).

3.2 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΟΥΣ ΝΑΤΡΙΟΥ

Το υποχλωριώδες νάτριο είναι δυνατόν να παραχθεί από υδροξείδιο του νατρίου και χλώριο είτε ηλεκτρολυτικά από το θαλασσινό νερό (U.S EPA., 1999a; U.S EPA., 1999c). Η παραγωγή του μπορεί να πραγματοποιηθεί και επιτόπου στη μονάδα επεξεργασίας (U.S EPA., 1999c). Η σταθερότητα του υποχλωριώδους νατρίου εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το χρόνο αποθήκευσης, τη συγκέντρωση του υποχλωριώδους ιόντος και την έκθεση στο φως. Η διάσπαση του υποχλωριώδους νατρίου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της δραστηριότητας του και το σχηματισμό ανεπιθύμητων παραπροϊόντων, όπως χλωρικά ιόντα. Λόγω των προβλημάτων που προκύπτουν στην αποθήκευση του, προτιμάται η επιτόπου παρασκευή του (U.S EPA., 1999a).

3.3 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΟΥΣ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Κατά την παρασκευή του υποχλωριώδους ασβεστίου, παρασκευάζεται πρώτα υποχλωριώδες οξύ με την προσθήκη υποχλωριώδους μονοξειδίου στο νερό, το οποίο εξουδετερώνεται με την προσθήκη διαλύματος ασβέστη. Στη συνέχεια απομακρύνεται το νερό και παραμένει το υποχλωριώδες ασβέστιο. Το τελικό προϊόν περιλαμβάνει περίπου 70% χλώριο και 4-6% ασβέστιο. Το υποχλωριώδες ασβέστιο πρέπει να φυλάσσεται σε δροσερά μέρη και μακριά από οργανική ύλη λόγω της οξειδωτικής του δράσης (U.S EPA., 1999a).

4 ΤΡΟΠΟΣ ΔΡΑΣΗΣ

Το χλώριο δρα δημιουργώντας προβλήματα κοντά ή πάνω στην κυτταρική μεμβράνη ή ακόμη επηρεάζει το DNA. Στα βακτήρια το χλώριο επηρεάζει την αναπνοή του κυττάρου και δημιουργεί προβλήματα στη δραστηριότητα του DNA. Έρευνες έχουν δείξει πως η χλωρίωση του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της χρήσης οξυγόνου. Επίσης προκαλεί ζημιές στις κυτταρικές μεμβράνες, διαρροές από αυτές και χαμηλότερο ρυθμό σύνθεσης του DNA. Το χλώριο είναι ιδιαίτερα δραστικό επομένως η αδρανοποίηση του μικροοργανισμού είναι ραγδαία και δεν προλαβαίνει να αναπαραχθεί ή να αναπτυχθεί (U.S EPA., 1999a).

4.1 ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΑΦΗΣ

Ανάλογα με τη μορφή του χλωρίου (χλώριο, υποχλωριώδες νάτριο ή υποχλωριώδες ασβέστιο) που χρησιμοποιείται για την απολύμανση του νερού εφαρμόζονται διαφορετικοί τρόποι επαφής με το νερό.

4.1.1 ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΑΦΗΣ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Το υγροποιημένο αέριο χλώριο εξατμίζεται σε αέριο χλώριο πριν προστεθεί στο νερό. Η

θερμότητα που απαιτείται για την εξάτμιση προέρχεται είτε από συσκευή εξάτμισης του χλωρίου είτε από άμεση θέρμανση του χλωρίου στο χώρο αποθήκευσης. Από τη στιγμή που το υγρό χλώριο εξατμίζεται, το αέριο χλώριο βρίσκεται υπό χαμηλή πίεση. Οι συνθήκες αυτές συνήθως δημιουργούνται από αναδευτήρα ή μέσω έγχυσης. Όταν πραγματοποιείται έγχυση, τότε μικρή ποσότητα νερού διέρχεται μέσω σωλήνα τύπου Venturi και αναμειγνύεται με το αέριο χλώριο δημιουργώντας διάλυμα χλωρίου, το οποίο στη συνέχεια αναμειγνύεται με την υπόλοιπη ποσότητα νερού μέσω μηχανικών αναμικτήρων. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται αναδευτήρας, δημιουργούνται συνθήκες κενού και το αέριο χλώριο διοχετεύεται απευθείας στο προς επεξεργασία νερό (U.S EPA., 1999a).

4.1.2 ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΑΦΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΟΥΣ ΝΑΤΡΙΟΥ

Συνήθως το υποχλωριώδες νάτριο διοχετεύεται απευθείας στο προς επεξεργασία νερό μέσω αντλίας (U.S EPA., 1999a). Η πιο διαδεδομένη μορφή του είναι υγροποιημένου αέριου, καθώς είναι και η πιο οικονομική λύση (AWWA, 1999). Αντίστοιχα με το χλώριο, το υποχλωριώδες νάτριο αναμειγνύεται με το νερό είτε με μηχανικούς αναδευτήρες είτε με έγχυση. Ουσιαστικά το υποχλωριώδες νάτριο δεν προστίθεται στο νερό πριν την ανάμιξη, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα διάβρωσης (U.S EPA., 1999a).

4.1.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΑΦΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΧΛΩΡΙΩΔΟΥΣ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Οι συνηθέστερες μορφές του υποχλωριώδους ασβεστίου είναι σκόνη, κόκκοι ή ταμπλέτες. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται σκόνη ή κόκκοι το υποχλωριώδες ασβέστιο αρχικά αναμειγνύεται με μικρή ροή με το νερό και στη συνέχεια το διάλυμα που σχηματίζεται ενσωματώνεται με την υπόλοιπη ποσότητα του προς επεξεργασία νερού (U.S EPA., 1999a). Συνήθως χρησιμοποιείται σε νερά με αυξημένη σκληρότητα (AWWA, 1999).

5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Πολλοί περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του χλωρίου στην αδρανοποίηση των μικροοργανισμών όπως η θερμοκρασία νερού, το pH, ο χρόνος επαφής, η θολότητα, η συγκέντρωση διαλυμένων στερεών και η συγκέντρωση του διαθέσιμου χλωρίου. Γενικότερα υψηλά ποσοστά αδρανοποίησης μικροοργανισμών επιτυγχάνονται με υψηλή συγκέντρωση χλωρίου, μεγάλους χρόνους επαφής, χαμηλή τιμή pH, υψηλή θερμοκρασία νερού, χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένων στερεών και χαμηλή θολότητα. Ουσιαστικά η τιμή του pH και η θερμοκρασία του νερού επηρεάζουν σημαντικά τη δραστηριότητα του χλωρίου (U.S EPA., 1999a).

5.1 pH

Η μικροβιοκτόνος ικανότητα του υποχλωριώδους οξέος (HOCl) είναι μεγαλύτερη από εκείνη του υποχλωριώδους ιόντος (OCl⁻). Η αναλογία μεταξύ υποχλωριώδους οξέος και υποχλωριώδους ιόντος καθορίζεται από το pH, καθώς το υποχλωριώδες οξύ σχηματίζεται σε χαμηλές τιμές pH ενώ το υποχλωριώδες ιόν κυριαρχεί σε υψηλές τιμές pH. Συνεπώς η αποτελεσματικότητα της χλωρίωσης είναι υψηλή σε χαμηλές τιμές pH (U.S EPA., 1999a).

Η αποτελεσματικότητα του αέριου χλωρίου και του υποχλωριώδους οξέος είναι η ίδια σε διάφορες τιμές του pH. Ωστόσο η προσθήκη αέριου χλωρίου μειώνει την τιμή του pH, ενώ η προσθήκη υποχλωριώδους οξέος αυξάνει το pH (U.S EPA., 1999a).

Έρευνες έχουν δείξει πως ο χρόνος επαφής που απαιτείται για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών σε pH 7 είναι διπλάσιος από εκείνον σε pH 6. Επίσης έχει αποδειχθεί πως αύξηση του pH από 7 σε 8,8 ή 9 απαιτεί εξαπλασίους χρόνους επαφής από ότι σε pH 7. ουσιαστικά αύξηση του pH έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης της χλωρίωσης. Ωστόσο σε πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί έχει αποδειχθεί πως η αδρανοποίηση των βακτηριών από το χλώριο είναι μεγαλύτερη σε υψηλές τιμές pH (U.S EPA., 1999a).

5.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

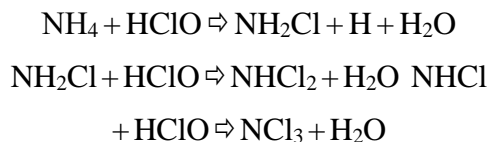
Η αδρανοποίηση των μικροοργανισμών αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας που επικρατεί στις μονάδες επεξεργασίας. Έρευνες έχουν δείξει πως απαιτείται αύξηση του χρόνου επαφής 2 ή 3 φορές, όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 10°C ώστε να επιτυγχάνεται αδρανοποίηση των μικροοργανισμών αντίστοιχη με κείνη σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας (U.S EPA., 1999a).

6 ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Ο σχηματισμός παραπροϊόντων κατά τη διαδικασία της χλωρίωσης οφείλεται στις αντιδράσεις του χλωρίου και των χουμικών ενώσεων που περιέχονται στο προς επεξεργασία νερό. Τα πιο συχνά σχηματιζόμενα είναι τα τριαλογονωμένα παράγωγα του μεθανίου (THMs), τα αλογονοοξικά οξέα (HAAs), τα αλογονοακετονιτρίλια (HANs) και οι αλογονοκετόνες (Kim et al., 2002).

Αν το προς επεξεργασία νερό δεν περιείχε αζωτούχες ενώσεις, η χλωρίωση θα ήταν μία πολύ απλή διαδικασία. Ωστόσο, οργανικές και ανόργανες αζωτούχες ενώσεις περιέχονται στο νερό, οι οποίες αντιδρούν σε σύντομο χρονικό διάστημα με το χλώριο. Η αντίδραση του χλωρίου με ενώσεις που περιέχουν άζωτο και ένα ή περισσότερα άτομα υδρογόνου έχει ως αποτέλεσμα στο σχηματισμό χλωραμινών,

που αποτελούν ήπιες μορφές απολυμαντικών. Ο σχηματισμός τους περιγράφεται από τις παρακάτω αντιδράσεις.



Η αναλογία μεταξύ των τριών τύπων χλωραμινών εξαρτάται από το pH και την ποσότητα του αμμωνίου (NH₄) που υπάρχει στο νερό. Οι τριχλωραμίνες μπορούν να σχηματιστούν μόνο σε πολύ χαμηλές τιμές pH και ουσιαστικά οι άλλες δύο μορφές των χλωραμινών επικρατούν στην επεξεργασία νερού. Οι διχλωραμίνες έχουν ισχυρότερη βακτηριοκτόνο δράση σε σχέση με τις υπόλοιπες χλωραμίνες (Cheremisinoff, 1995).

7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΛΩΡΙΟΥ

Το ασφαλές πόσιμο νερό είναι μία παγκόσμια ανάγκη και η υπολειμματική ποσότητα του χλωρίου στο νερό σε μικρές ποσότητες αποτρέπει την εξάπλωση των υδατογενών και την ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών. Το χλώριο είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό ως απολυμαντικό. Ωστόσο, η χρήση του χλωρίου ως απολυμαντικό έχει αρνητικά αποτελέσματα. Πολλές έρευνες έχουν δείξει πως το χλώριο και τα παραπροϊόντα του είναι τοξικά στα υδατικά οικοσυστήματα. Πιο συγκεκριμένα επειδή το χλώριο είναι πιο δραστικό από τις χλωραμίνες, η δράση του είναι πιο γρήγορη. Επίσης επειδή το χλώριο αντιδρά με την οργανική ύλη έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό τριαλογονομένων παραγώγων του μεθανίου που προκαλούν καρκίνο στον άνθρωπο (U.S EPA., 1999b).

7.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Το χλώριο είναι το πιο διαδεδομένο απολυμαντικό, ωστόσο ο σχηματισμός των διαφόρων παραπροϊόντων αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα για τη χρήση του. Η θολότητα επηρεάζει σημαντικά την αποτελεσματικότητά του (Cheremisinoff, 1995). Επίσης οι μεταβολές στην ποιότητα του νερού που συνήθως οφείλονται σε καταιγίδες, σε λιώσιμο των χιονιών, σε ανάπτυξη αλγών δημιουργούν μεταβολές στην ποσότητα του χλωρίου που απαιτείται για την απολύμανση με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιείται σε ικανοποιητικά επίπεδα η χλωρίωση (Codony et al., 2005). Οι μεταβολές στην προστιθέμενη ποσότητα του χλωρίου έχουν ως αποτέλεσμα στη δημιουργία οσμών και γεύσεων στο προς κατανάλωση νερό (Cheremisinoff, 1995).

Εκτός από τη χρήση ως απολυμαντικό το χλώριο έχει κι άλλες εφαρμογές στην επεξεργασία του νερού όπως απομάκρυνση οσμών και γεύσεων, οξειδωση σιδήρου και μαγγανίου, απομάκρυνση χρωμάτων και βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διήθησης και της καθίζησης (U.S EPA., 1999a).

7.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Το γεγονός ότι το χλώριο είναι ιδιαίτερα φτηνό και αποτελεσματικό το καθιστά το πιο δημοφιλές απολυμαντικό μέσο. Λόγω της οξειδωτικής του δράσης αντιδρά με την οργανική ύλη όπως πολυσακχαρίτες, αμινοξέα, πρωτεΐνες που περιέχονται στο νερό. Η οργανική αυτή ύλη αποτελεί συστατικό για το σχηματισμό των παραπροϊόντων της χλωρίωσης, πολλά από τα οποία προκαλούν προβλήματα υγείας στον άνθρωπο και στα ζώα (Πίνακας 1) (Freuze et al., 2005; Yang, 2004). Ακόμη η κατανάλωση χλωριωμένου νερού θεωρείται πως δημιουργεί προβλήματα στις γεννήσεις, όπως ελλιποβαρή νεογνά, μη φυσιολογικούς τοκετούς, αποβολές και γεννήσεις νεκρών παιδιών (Yang, 2004).

Πίνακας 1 : Παραπροϊόντα Χλωρίου, Πηγή : U.S EPA., 1999a

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ
Βρωμοδιχλωρομεθάνιο	Καρκίνο στα νεφρά, στο συκώτι και αναπαραγωγικές δυσκολίες
Βρωμοφόρμιο	Καρκίνο στα νεφρά, στο συκώτι και στο νευρικό σύστημα
Χλωριώδες Ιόν	Αναιμία
Καρκίνο Χλωροφόρμιο	στα νεφρά, στο συκώτι και αναπαραγωγικές δυσκολίες
Διβρωμοχλωρομεθάνιο	Προβλήματα στα νεφρά, στο συκώτι και στο νευρικό σύστημα
Διχλωροοξικό οξύ	Καρκίνο και άλλα προβλήματα
Αλογοοοξικά οξέα	Καρκίνο και άλλα προβλήματα
Τριχλωροοξικό οξύ	Πιθανόν καρκίνο
Συνολικά τριαλογονομεθάνια	Καρκίνο και άλλα προβλήματα

7.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΠΑΘΟΓΟΝΟΥΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

Το χλώριο είναι το πιο διαδεδομένο απολυμαντικό λόγω του μικρού κόστους διάθεσης του και της αποτελεσματικότητας έναντι διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών. Η ποσότητα του υπολειμματικού χλωρίου που παραμένει μετά τη χλωρίωση συμβάλλει στην αδρανοποίηση των μικροοργανισμών (Cheremisinoff, 1995).

7.3.1 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΙΩΝ

Η αποτελεσματικότητα του χλωρίου στην αδρανοποίηση των ιών είναι σημαντική. Σε πείραμα που έχει πραγματοποιηθεί σε 20 είδη ιών ο πιο ευαίσθητος ιός στο χλώριο είναι ένα είδος reovirus που αδρανοποιήθηκε κατά 99,99% μέσα σε 2,7 λεπτά, ενώ ο

πιο ανθεκτικός είναι είδους poliovirus που αδρανοποιήθηκε κατά 99,99% μετά από 60 λεπτά. Ουσιαστικά αδρανοποίηση κατά 99,99% των περισσότερων ιών πραγματοποιείται σε χρόνο επαφής 1,4 - 30 λεπτά (U.S EPA., 1999a). Έχει διαπιστωθεί πως οι ιοί είναι πιο ευαίσθητοι στο χλώριο σε υψηλές τιμές pH παρά σε χαμηλές (AWWA, 1999).

Σε αντίστοιχες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε συνθήκες pH 7 και θερμοκρασίας 5°C ανάμεσα σε είκοσι διαφορετικά είδη ιών έδειξαν πως μόνο δύο ιοί είδους poliovirus αδρανοποιούνται κατά 99,99% μετά από δέκα λεπτά χρόνου επαφής, έξι poliovirus αδρανοποιούνται κατά 99,99% μετά από εκατό λεπτά και έντεκα poliovirus και ο *Coxsackievirus* αδρανοποιούνται κατά 99,99% μετά από 1000 λεπτά (U.S EPA., 1999a).

7.3.2 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΩΤΟΖΩΩΝ

Αδρανοποίηση των πρωτόζωων με χλώριο δεν επιτυγχάνεται σε υψηλά ποσοστά. Πιο συγκεκριμένα το *Giardia cysts* είναι δύο φορές πιο ανθεκτικό στο χλώριο σε σχέση με τους ιούς και τρεις φορές σε σχέση με τα υπόλοιπα βακτήρια. Η δραστηριότητα του χλωρίου στην αδρανοποίηση του *Giardia cysts* καθορίζεται από το pH και τη θερμοκρασία (U.S EPA., 1999a).

Επίσης το χλώριο έχει μικρή επίδραση στην επιβίωση του *Cryptosporidium oocysts* όταν χρησιμοποιείται σε μικρές δόσεις. Ουσιαστικά επιτυγχάνεται αδρανοποίηση του *Cryptosporidium* κατά 40% με χρόνο επαφής και συγκέντρωση χλωρίου 30-3.600 mg*min/l (U.S EPA., 1999a).

7.3.3 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Το χλώριο είναι αποτελεσματικό στην αδρανοποίηση των βακτηρίων, ωστόσο η εκτεταμένη χρήση του έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή αντίσταση των βακτηριών σε αυτό καθώς πολλές καταστρέφονται μερικώς και απλά δε μπορούν να δημιουργήσουν αποικίες. Πολλά βακτήρια δεν αδρανοποιούνται όταν το νερό περιέχει μέχρι 1000ppm χλώριο (Howard et al., 2003).

Το βακτήριο *Burkholderia pseudomallei* που προκαλεί μόλυνση στον άνθρωπο με υψηλά επίπεδα θνησιμότητας επιζεί μετά από δέκα λεπτά παραμονής του σε νερό που περιέχει 1ppm χλώριο. Έχει αποδειχθεί πως το βακτήριο *Burkholderia pseudomallei* πεθαίνει μετά από δέκα έως είκοσι λεπτά έκθεσης στο χλώριο. Ακόμη και σε χαμηλές τιμές pH που κυριαρχεί το υποχλωριώδες οξύ, ισχυρό απολυμαντικό, η αδρανοποίηση του βακτηρίου αυτού δεν είναι εφικτή (Howard et al., 2003).

Πιο συγκεκριμένα το υποχλωριώδες οξύ είναι ιδιαίτερα δραστικό στην αδρανοποίηση των *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* και *Shigella dysenteriae* καθώς μειώνει σημαντικά το ρυθμό σύνθεσης του DNA και προκαλεί προβλήματα στις κυτταρικές λειτουργίες. Το υποχλωριώδες οξύ είναι περίπου 70 με 80 φορές πιο αποτελεσματικό από το υποχλωριώδες ιόν στην αδρανοποίηση των βακτηρίων (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