



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



Η ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΤΑΡΕΣΚΟΣ ΝΙΚΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2006



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΤΑΡΕΣΚΟΣ ΝΙΚΟΣ

Επιβλέπων : Δρ Γ Σταυρουλάκης
Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης : Δρ. Αντωνιάδης Α
Καθηγητής

Παπαφιλιππάκη Α. (MSc)
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Ημερομηνία παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1. Γενικά	7
1.1 Το πρώτο δίκτυο ύδρευσης.....	7
1.2 Το δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων.....	8
1.2.1 Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού και Λυμάτων της Δ.Ε.Υ.Α.Χ.....	9
1.3 Ποιότητα πόσιμου νερού Δ.Ε.Υ.Α.Χ	10
1.4 Δεξαμενή Πόλης (ΔΠ)	12
1.4.1 Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ΔΠ.....	12
1.5 Επιλογή πηγής και διαδικασίας επεξεργασίας νερού	13
1.5.1 Επιλογή πηγής νερού.....	14
1.5.1.1 Επιφανειακά νερά.....	14
1.5.1.2 Υπόγεια νερά	15
1.5.2 Ανάπτυξη Μεθόδων Επεξεργασίας Νερού Ύδρευσης.....	15
1.5.2.1 Επιφανειακό νερό	16
1.5.2.2 Υπόγειο νερό	16

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2. Γενικά	18
2.1 Η ιστορία της απολύμανσης	18
2.2 Ταξινόμηση απολυμαντικών μέσων.....	19
2.2.1 Επιλογή απολυμαντικού	19
2.2.1.1 Επιλογή οξειδωτικού	20
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης	20
2.4 Μέθοδοι απολύμανσης	20
2.4.1 Χλωρίωση.....	20
2.4.1.1 Το αέριο διοξείδιο του χλωρίου (ClO ₂)	21
2.4.1.2 Αέριο χλώριο (Cl ₂)	21
2.4.1.3 Χλωραμίνωση.....	23
2.4.2 Όζον.....	25
2.4.3 Υπεριώδης Ακτινοβολία (UV)	29
2.5 Σύγκριση μεθόδων απολύμανσης.....	30
2.5.1 Απολυμαντική ικανότητα	30
2.5.2 Επικινδυνότητα μεθόδου και παραπροϊόντων.....	31
2.5.3 Κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας-συντήρησης.....	32
2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων απολύμανσης	32
2.6.1 Χλωρίωση.....	32
2.6.2 Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)	33
2.6.3 Όζον.....	34

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3. Γενικά	35
3.1 Παραπροϊόντα χλωρίωσης (CPBs)	35
3.1.1 Τριαλογονοπαράγωγα του μεθανίου THM	36
3.1.1.1 Χλωροφόρμιο	37
3.1.1.2 Διχλωβρωμομεθάνιο	37
3.1.1.3 Διβρωμοχλωρομεθάνιο	38
3.1.1.4 Βρωμοφόρμιο	38
3.1.1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχηματισμό των TAM	38
3.1.2 Αλογονομένα Οξικά Οξέα (HAAs)	39
3.1.2.1 Τριχλωροοξικό οξύ (TCA)	40
3.1.2.2 Διχλωροοξικό οξύ	40
3.1.3 Αλογονομένα Ακετονιτρίλια (HANs)	40
3.1.3.1 Μονοχλωροακετονιτρίλιο (MCAN)	41
3.1.3.2 Διχλωροακετονιτρίλιο (DCAN)	41
3.1.3.3 Τριχλωροακετονιτρίλιο (TCAN)	41
3.1.3.4 Μονοβρωμοακετονιτρίλιο (MBAN)	41
3.1.3.5 Διβρωμοακετονιτρίλιο DBAN	41
3.1.3.6 Βρωμοχλωροακετονιτρίλιο BCAN	42
3.1.4 Αλογονομένες Κετόνες (HKs)	42
3.1.4.1 1,3-Διχλωροπροπανόνη	42
3.1.4.2 1,1-Διχλωροπροπανόνη	42
3.1.4.3 1,1,1-Τριχλωροπροπανόνη	42
3.2 Κίνδυνοι υγείας από τα παραπροϊόντα χλωρίωσης	43
3.2.1 Καρκίνος	43
3.2.2 Αποβολές και γενετικές ανωμαλίες	46
3.3 Οι κανονισμοί που έθεσε η USEPA για τα ασφαλή επίπεδα των παραπροϊόντων απολύμανσης	46
3.4 Η οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης	47
3.5 Τρόποι μείωσης των παραπροϊόντων χλωρίωσης	48

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Πειραματικό μέρος

4.1 Περιγραφή της λειτουργίας και του τεχνολογικού εξοπλισμού του συστήματος αυτόματου εποπτικού ελέγχου SDADA στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων	49
4.1.1 Το radio modem	51
4.1.2 Το τηλεφωνικό modem	52
4.1.3 Η λειτουργία της χλωρίωσης στο SCADA	55
4.2 Διαδικασία μέτρησης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου με το kit-test της Merck	56
4.3 Μέτρηση του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου σε σημεία του δικτύου ύδρευσης της πόλης των Χανίων	56
4.3.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μετρήσεων	64
4.4 Παρακολούθηση της διακύμανσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου	66
4.5 Μελέτη κινητικότητας του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου	68

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Συμπεράσματα	71
Βιβλιογραφία	72

Σύνοψη

Η πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην απολύμανση του πόσιμου νερού που άρχισε να εφαρμόζεται εδώ και πολλά χρόνια (since 1850) με την χλωρίωση του νερού που ακόμα και στις μέρες μας αποτελεί την περισσότερο εφαρμόσιμη μέθοδο απολύμανσης. Πρόσφατα όμως διαπιστώθηκε ότι αν στο νερό υπάρχει οργανική ουσία κατά την χλωρίωση παράγονται παραπροϊόντα χλωρίωσης (CBPs), που σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο.

Προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερος έλεγχος και αποτελεσματικότητα της απολύμανσης αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνολογίες, μια από αυτές είναι και το σύστημα αυτόματου εποπτικού ελέγχου χλωρίωσης (SCADA) που εφαρμόζεται στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων. Οι απαιτήσεις για καλύτερη απολύμανση, χωρίς επικίνδυνα παραπροϊόντα οδήγησαν στην εφαρμογή και άλλων μεθόδων απολύμανσης, με πιο διαδεδομένες την υπεριώδη ακτινοβολία (UV) και το όζον. Η υπεροχή όμως της χλωρίωσης έναντι των άλλων μεθόδων απολύμανσης είναι ότι παρέχει υπολειμματική δράση που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη διανομή του νερού μέσα στο δίκτυο ύδρευσης.

Στο πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας γίνεται αναφορά αλλά και αξιολόγηση του συστήματος SCADA. Επίσης μελετήθηκε η κινητικότητα του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου σε δείγματα πόσιμου νερού ώστε να διαπιστωθεί το κατά πόσον επηρεάζει η θερμοκρασία, η ανάδευση και η ηλιακή ακτινοβολία την συγκέντρωση του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου.

Abstract

This final project reported in the disinfection of drinking water that has been applied for a lot of years (since 1850) with the chlorination of water that even in our days constitutes the most applicable method of disinfection. Recently however it was found that if in the water an organic substance exists during the chlorination byproducts of chlorination (CBPs) are produced, that according to epidemiologic studies are dangerous for the person.

In order to achieve a better control and efficiency of chlorination various technologies were developed, one of them is also the system of automatic supervisory control of chlorination (SCADA) which is applied to the water network of supply of city of Chania. The requirements for better disinfection, without dangerous byproducts led to the application of other methods as well, with the most wide spreader methods, the ultraviolet radiation (UV) and ozone. However, the supremacy of chlorination against the other methods of disinfection is that it provides residual action which is particularly useful in the water distribution in the water network supply.

In the experimental work of this final project become report but also evaluation the system SCADA. Also the kinetic of free residual chloride in samples of drinking water was studied that it would be ascertain how much the temperature, the stir and the solar radiation influence the concentration of free residual chloride.

Εισαγωγή

Το νερό, το υψίστης σημασίας αγαθό για τον άνθρωπο θεωρείται επικίνδυνο γι' αυτόν όταν δεν λαμβάνονται μέτρα για να πληρεί ορισμένους όρους Υγιεινής. Την επί σειρά ετών έλλειψη του μικροβιολογικού ελέγχου του υδάτινου περιβάλλοντος, η ανθρωπότητα πλήρωσε πολύ ακριβά. Εκατομμύρια άνθρωποι έπεσαν θύματα σοβαρών υδατογενών λοιμώξεων. Ακόμα και σήμερα που είναι γνωστή η σημασία της μικροβιολογικής καθαρότητας του νερού για την Δημόσια Υγεία, ο αριθμός των υδατογενών λοιμώξεων εξακολουθεί να είναι μεγάλος και είναι γνωστό ότι στις χώρες του τρίτου κόσμου αποτελούν την πρώτη αιτία θανάτου των παιδιών. Οι υδατογενείς αυτές λοιμώξεις οφείλονται στην παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών οι οποίοι, εισερχόμενοι στο νερό μέσω των λυμάτων, επιβιώνουν, παρά το ολιγοτροφικό-αφιλόξενο υδάτινο περιβάλλον, άλλοτε μικρό, άλλοτε μεγάλο χρονικό διάστημα και μεταδίδουν τα διάφορα υδατογενή νοσήματα με ποικίλους τρόπους όπως με κατάποση, επαφή και εισπνοή υδατοσταγονιδίων.

Η ρύπανση (επιβάρυνση με ύλη ή ενέργεια), ή μόλυνση (επιβάρυνση με παθογόνους για τον άνθρωπο και τα ζώα μικροοργανισμούς) των επιφανειακών και υπόγειων νερών αποτελεί σοβαρό πρόβλημα και απασχολεί τους επιστήμονες, τους πολιτικούς αλλά και τους απλούς πολίτες σε όλο τον κόσμο, γιατί οι ανάγκες σε γλυκό νερό αυξάνονται συνέχεια ενώ οι διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι είναι λίγοι και η δυνατότητα αυτοκαθαρισμού του νερού που συμβαίνει μέσω του υδρολογικού κύκλου είναι περιορισμένη.

Συνεπώς η επεξεργασία/απολύμανση του νερού πριν την κατανάλωσή του κρίνεται αναγκαία, κυρίως στα δίκτυα ύδρευσης, τα οποία πρέπει να παρέχουν στους καταναλωτές νερό κατάλληλο για πόση. Στις μέρες μας η τεχνολογία επεξεργασίας του νερού και οι νέες τεχνολογίες αυτοματισμού και ελέγχου που εφαρμόζονται σε δίκτυα ύδρευσης, βρίσκονται σε τέτοιο επίπεδο ώστε να είναι σε θέση να παρέχουν στους καταναλωτές νερό απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς, παράσιτα και ουσίες, σε αριθμούς και συγκεντρώσεις, που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Ως προς το πόσιμο νερό, οι μεγάλες πόλεις στη χώρα μας (με πληθυσμό πάνω από 50.000 κατοίκους) υδρεύονται με νερό καλής ποιότητας, που ελέγχεται τακτικά. Μερικές από αυτές, όπως για παράδειγμα η πόλη των Χανίων, έχουν συστήματα αυτοματισμού και εποπτικού ελέγχου για καλύτερο έλεγχο και λειτουργία της απολύμανσης του δικτύου.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

«ΔΙΚΤΥΟ ΥΔΡΕΥΣΗΣ»

Γενικά

Με τον όρο δίκτυο ύδρευσης εννοούμε το σύνολο των αγωγών που μεταφέρουν το διυλισμένο νερό από τις κατά τόπους Μονάδες Επεξεργασίας Νερού Ύδρευσης (MENY) μέχρι τα υδρόμετρα των καταναλωτών ^[6]. Τα δίκτυα ύδρευσης αποτελούνται από σωληνώσεις υπό πίεση, αντλίες, διακόπτες ροής, βαλβίδες αντεπιστροφής, μετρητές πίεσης και παροχής. Σε ελάχιστες περιπτώσεις υπάρχουν αγωγοί ύδρευσης όπου η ροή γίνεται με βαρύτητα, όπως ήταν τα πρώτα υδραγωγεία που χρησιμοποιήθηκαν από την εποχή της αρχαίας Ελλάδας και της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας.

Η χρήση των κλειστών αγωγών υπό πίεση επιτρέπει να υιοθετηθεί όποια όδευση του δικτύου επιβάλλει η κατανάλωση και όχι η τοπογραφία της περιοχής και επιπλέον αποκλείει τη μόλυνση του νερού που είναι ευκολότερη στους ανοικτούς αγωγούς βαρύτητας. Όταν χρησιμοποιούνται ανοικτά κανάλια για τη μεταφορά του νερού σε μεγάλες αποστάσεις, πάντα ακολουθεί ο καθαρισμός του νερού στην MENY πριν τη διοχέτευση του στο δίκτυο ύδρευσης.

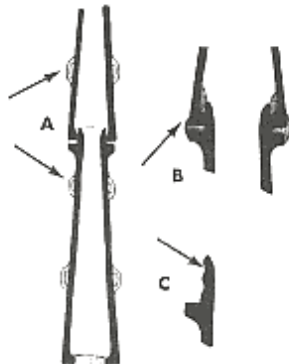
1.1 Το πρώτο δίκτυο ύδρευσης

Το πρώτο γνωστό δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης για ολόκληρη πόλη το συναντάμε στην Κνωσό (Εικόνα 1.1) από την πρώτη ΜεσοΜινωϊκή περίοδο περίπου 2000π.Χ. Οι ανασκαφές που έγιναν από τον Ηρακλειώτη Μίνωα Καλοκαιρινό (1878) και τον Άγγλο Sir Άρθουρ Έβανς (1900-1913 και 1922-1930) έφεραν στο φως ένα εντυπωσιακό σύστημα ύδρευσης. Το νερό μεταφερόταν μέσα σε πήλινες σωλήνες από αρκετά μακριά απ' τις περιοχές Κουνάβων και Αρχανών στο υδραγωγείο της πόλης και από εκεί διανεμόταν στα σπίτια τα οποία ήταν ξύλινα, πέτρινα και μαρμάρινα και μερικά απ' αυτά με τρεις, λιγότερα με τέσσερις αλλά και λίγα, όπως το παλάτι, με πέντε ορόφους ^{[7][9]}.



Εικόνα 1.1 Ο αρχαιολογικός χώρος της Κνωσού

Τα τμήματα των σωλήνων που ήταν από ψημένο πηλό είχαν κατασκευαστεί με τρόπο που να εγκαθίστανται εύκολα. Επικάλυψη των άκρων χρησιμοποιούνταν για ομαλές ενώσεις, εξασφαλίζοντας ελεύθερη ροή του νερού και ελάχιστο στροβιλισμό. Πριονωτή διαμόρφωση των ενώσεων διατηρούσε την ένωση σίγουρη.



Σχήμα 1.1 σχέδιο αρχαίων σωλήνων και ενώσεων ^[7]

Στο Σχήμα 1.1 βλέπουμε πως η κατασκευή των πήλινων σωλήνων ήταν με κατάλληλα διαμορφωμένα άκρα που επέτρεπαν συνδέσεις με μέγιστη ασφάλεια αλλά και βέλτιστη ροή. Είναι προφανές ότι για τέτοια ακρίβεια συνδέσεων θα χρησιμοποιούσαν καλούπι στις κατασκευές που θα εξασφάλιζε τόσο ομοιογένεια και τυποποίηση σωλήνων όσο και ταχύτητα παραγωγής.

Άλλο ενδιαφέρον σημείο που έγινε γνωστό μόνο μετά από την σύγχρονη επανεφεύρεσή του, είναι σημεία του συστήματος υδρεύσεως σχεδιασμένα έτσι που με στροβιλισμό λόγω ροής μέσα από σπειροειδούς σχήματος σωληνώσεις να ανεβάζουν την πίεση ή την ταχύτητα του νερού ανάλογα με την ανάγκη σε κάθε σημείο. Απλός τρόπος καθαρισμού ήταν τα ενδιάμεσα φρεάτια συντήρησης του δικτύου όπου έπεφτε η πίεση του νερού και μπορούσαν να επιπλεύσουν ή να βυθιστούν οι όποιες ακαθαρσίες πριν το νερό συνεχίσει την πορεία του ^[7].

1.2 Το δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων

Το δίκτυο ύδρευσης της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης και αποχέτευσης του Δήμου Χανίων (ΔΕΥΑΧ) λειτουργεί από το 1980, ωστόσο από το 1995 η Επιχείρηση προχώρησε σε ένα πρόγραμμα εκσυγχρονισμού των δικτύων ύδρευσης της πόλης των Χανίων με τη βοήθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ελληνικής κυβέρνησης που χρηματοδοτούν τμήμα του κόστους των έργων. Ο προαναφερόμενος εκσυγχρονισμός του δικτύου ύδρευσης επιτεύχθηκε με μια σειρά έργων στα τελευταία χρόνια, με σημαντικότερα τα παρακάτω ^[14]:

- Κατασκευή νέων δεξαμενών και βελτίωση υφισταμένων
- Κατασκευή νέων αγωγών και αντικατάσταση ορισμένων υφισταμένων
- Κατασκευή χώρου Κεντρικού Ελέγχου των εγκαταστάσεων
- Βελτίωση της αυτοματοποίησης των εγκαταστάσεων
- Ανάπτυξη μοντέλου για το δίκτυο διανομής
- Εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου των διαρροών, της ύδρευσης και της αποχέτευσης του δικτύου (σύστημα SCADA)

Το συνολικό μήκος του δικτύου ύδρευσης της πόλης των Χανίων, μετά από τον εκσυγχρονισμό του από το επενδυτικό πρόγραμμα της Ε.Ε ύψους 5,500,000, ξεπερνά τα 220.000m. Το δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων τροφοδοτείται από ένα και μόνο σημείο, τις πηγές τις Αγυιάς μέσω έξι αντλιών εκ των οποίων οι τρεις είναι κύριες και οι άλλες τρεις βοηθητικές και αντλούν νερό από δύο υπόγειες πηγές που βρίσκονται κοντά στην λίμνη. Το καλοκαίρι που μπορεί να πέσει η στάθμη στη λίμνη της Αγυιάς το δίκτυο τροφοδοτείται και από τον Οργανισμό Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (ΟΑΔΥΚ) [8].

Το νερό αμέσως μετά την άντλησή του μεταφέρεται με δύο κύριους αγωγούς που τροφοδοτούν το δίκτυο ύδρευσης της πόλης : τον αγωγό διαμέτρου Φ800 που τροφοδοτεί τις δεξαμενές του Βαντέ στις Μουρνιές και τον αγωγό διαμέτρου Φ350. Το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου της πόλης τροφοδοτείται από τον αγωγό εξόδου διαμέτρου Φ700 των δεξαμενών του Βαντέ που είναι τρεις στο σύνολο με χωρητικότητα 6,000m³ η κάθε μια. Το υπόλοιπο μέρος του δικτύου που είναι η κυρίως η Νέα Χώρα και ένα κομμάτι των Παχιανών (από Αναπαύσεως έως Ζυμβρακάκη) και της Κισιάμου, τροφοδοτείται κατευθείαν από τις πηγές της Αγυιάς μέσω του αγωγού Φ350, χωρίς ενδιάμεσα να αποθηκευτεί σε κάποια δεξαμενή. Οι απαιτήσεις του δικτύου για την τροφοδότηση του με πόσιμο νερό, για το χειμώνα είναι περίπου 28,000m³ με 30,000m³, ενώ το καλοκαίρι ανέρχονται σε 30,000m³ με 32,000m³, ημερησίως [24] [27].

Την ημέρα η πίεση του αγωγού Φ350 ενισχύεται κατά 0,9 Bar περίπου από τον αγωγό εξόδου Φ700 της δεξαμενής μεταχλωρίωσης του Βαντέ, που έχει πίεση 4 έως 5 Bar. Η πίεση πέφτει στα 0,9 Bar μέσω ενός μειωτήρα πίεσης που συνδέει τους δύο αγωγούς. Την νύχτα ο μειωτήρας κλείνει γιατί οι καταναλώσεις νερού μειώνονται, άρα η απαιτούμενη πίεση από τον αγωγό Φ350 είναι μικρότερη [24].

Ακόμη το δίκτυο ύδρευσης της πόλης περιλαμβάνει εννιά δεξαμενές : τις τρεις δεξαμενές του Βαντέ, την δεξαμενή της Αγυιάς, του Αγ. Ιωάννη, Ασυρμάτου, Γιουρμέτη, Αγ. Μαθαίου και Λενταριανών, με συνολική χωρητικότητα 25,000m³. Λόγω της πολύ καλής ποιότητας του πηγαιού νερού, η μόνη επεξεργασία στην οποία υποβάλλεται είναι η απολύμανση (χλωρίωση). Χλωρίωση στο δίκτυο της πόλης γίνεται σε δύο μόνο σημεία : στην είσοδο των δεξαμενών του Βαντέ και στον αγωγό Φ350 και πραγματοποιείται μέσω του συστήματος SCADA. Το SCADA με τα κατάλληλα συστήματα ελέγχου που διαθέτει αναλαμβάνει να παρέχει, μέσω εκχυτήρων υποχλωριώδους χλωρίου, στο πόσιμο νερό που διαρρέει τους αγωγούς συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου 0,35 mg/l καθ' όλη την διάρκεια της μέρας [27].

Η χλωρίωση που γίνεται στον αγωγό Φ350 έχει τα εξής μειονεκτήματα σε σχέση με τις την χλωρίωση στις δεξαμενές του Βαντέ : το νερό μέσα στον αγωγό μεταφέρεται μαζικά και το χλώριο δεν μπορεί να διαχυθεί ομοιόμορφα σε αυτόν όπως γίνεται στην δεξαμενή, με αποτέλεσμα ένα risk χλωρίωσης της αντλίας, μπορεί να βρεθεί μετά από ώρα σε απόσταση αρκετών χιλιομέτρων από το σημείο της χλωρίωσης. Αντίθετα στον Βαντέ η χλωρίωση γίνεται στον αγωγό Φ800, λίγο πριν εισαχθεί στις δεξαμενές (προχλωρίωση) στις οποίες γίνεται ομοιόμορφη διάχυση του υπολειμματικού χλωρίου και το νερό στην έξοδό του από την δεξαμενή έχει σταθερή συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου [24].

1.2.1 Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού και Λυμάτων της Δ.Ε.Υ.Α.Χ

Το 1991 ιδρύθηκε το Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού και Λυμάτων της Δ.Ε.Υ.Α.Χ με σκοπό τον έλεγχο της υγιεινής του πόσιμου νερού της πόλης και την παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Το εργαστήριο είναι επαρκώς εξοπλισμένο και εκτός απ' τον συμβατικό εξοπλισμό που

περιλαμβάνει φορητές συσκευές για επιτόπιο έλεγχο των νερών, εργαστηριακές συσκευές για τον φυσικοχημικό και μικροβιολογικό έλεγχο νερών και αποβλήτων, διαθέτει όργανα υψηλής τεχνολογίας, όπως αέριο χρωματογράφο για τον προσδιορισμό οργανικών μικρορύπων, φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης για τον προσδιορισμό βαρέων μετάλλων, κ.α. Έτσι είναι σε θέση να καλύψει τον μεγαλύτερο αριθμό των ελέγχων που επιβάλλει η νομοθεσία.

Ο πρωτοβάθμιος έλεγχος των πόσιμων νερών γίνεται στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού και Λυμάτων της Δ.Ε.Υ.Α.Χ ενώ για τους υπόλοιπους ελέγχους συνεργάζεται με πανεπιστήμια, ερευνητικά ιδρύματα, την Ε.Υ.Δ.Α.Π. κ.α. Ο τακτικός ποιοτικός έλεγχος που πραγματοποιείται από το Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού και Λυμάτων της Δ.Ε.Υ.Α.Χ για τα πόσιμα νερά περιλαμβάνει ^[8]:

- Καθημερινό έλεγχο της μικροβιολογικής και χημικής ποιότητας του νερού, σε 25 διαφορετικά σημεία του δικτύου της πόλης των Χανίων, των πηγών της Αγυιάς και των γεωτρήσεων στα Μυλωνιανά.
- Καθημερινό έλεγχο του υπολειμματικού χλωρίου στο δίκτυο.
- Δειγματοληψίες και αναλύσεις για τον εντοπισμό και διερεύνηση τυχόν προβλημάτων στο δίκτυο μετά από παράπονα καταναλωτών.
- Αν και δεν προβλέπεται από την νομοθεσία, έχει εντάξει από το 1997 στις τακτικές αναλύσεις του νερού, τον προσδιορισμό των παραπροϊόντων της χλωρίωσης στο δίκτυο ύδρευσης (THM).
- Τακτικές δειγματοληψίες και αναλύσεις του νερού ορισμένων Δήμων του νομού με τους οποίους έχουν συναφθεί ειδικές συμβάσεις (Νέας Κυδωνίας, Σούδα, Κίσσαμος).
- Παροχή υπηρεσιών επ' αμοιβή, δηλαδή χημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις, για λογαριασμό φορέων της Τοπικής Αυτοδιοίκησης.

1.3 Ποιότητα πόσιμου νερού Δ.Ε.Υ.Α.Χ.

Η φυσικοχημική και μικροβιολογική ποιότητα των νερών των πηγών που υδροδοτούν την πόλη των Χανίων, δηλαδή από τις πηγές της Αγυιάς και τις γεωτρήσεις του ΟΑΔΥΚ στα Μυλωνιανά, είναι εξαιρετικά καλή. Πρόκειται για νερά ελαφρώς αλκαλικά, πολύ καλής ποσιμότητας ως προς την σκληρότητα, με λίγα ανόργανα άλατα, συγκεντρώσεις ανεπιθύμητων ουσιών, όπως π.χ. νιτρικά, νιτρώδη, βαρέα μέταλλα, πολύ χαμηλότερες από τα επιθυμητά επίπεδα και πολύ καλή μικροβιολογική ποιότητα.

Η απολύμανση του νερού γίνεται συνεχώς με υποχλωριώδες νάτριο σε δύο σημεία, στην είσοδο των δεξαμενών του Βαντέ και στον αγωγό Φ350 του Αγ. Ιωάννη και το νερό του δικτύου δεν παρουσιάζει καμία μικροβιολογική επιβάρυνση. Η Δ.Ε.Υ.Α.Χ. από το 2001, ελέγχει on line σε καθημερινή βάση το υπολειμματικό χλώριο στο δίκτυο με το σύστημα SCADA, μέσω ενός δικτύου σταθμών (ΤΣΥ) αυτόματης μέτρησης του υπολειμματικού χλωρίου σε 15 σημεία του δικτύου ύδρευσης (δεξαμενές, δίκτυο).

Από το 1994, η Δ.Ε.Υ.Α.Χ. έχει επεκτείνει τον συστηματικό έλεγχο του νερού και στα παραπροϊόντα της χλωρίωσης, όπως χλωρομεθάνια, αρχικά σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο Κρήτης (Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος) και στη συνέχεια από το 1997 αυτοδύναμα. Οι συγκεντρώσεις των ουσιών είναι σταθερά σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα, γεγονός που πιστοποιείται στους παρακάτω πίνακες, όπου παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων ορισμένων από τις μικροβιολογικές και χημικές αναλύσεις του νερού, τόσο στις πηγές όσο και στο δίκτυο ύδρευσης ^[8].

Πίνακας 1.1 Μικροβιολογικές Αναλύσεις^[8]

	12/12/2000		9/7/2001		Εβδομαδιαίες Μετρήσεις
	Αγιά έξοδος μοτέρ	Μυλωνιανά	Αγιά έξοδος μοτέρ	Μυλωνιανά- ΟΑΔΥΚ	Δίκτυο
Ολικά κολοβακτηρίδια (απ./100 ml)	1	1	1	2	0
Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (απ./100 ml)	0	0	0	0	0
Εντερόκοκκοι (απ./100 ml)	0	0	0	0	0
Ολική Μεσόφιλη Χλωρίδα (απ./100 ml)	0	0	0	0	1-2

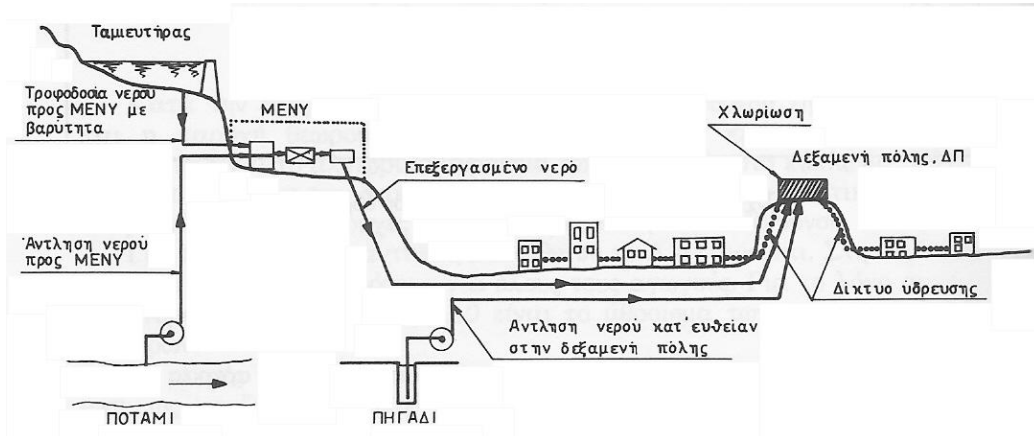
Πίνακας 1.2 Χημικές Αναλύσεις^[8]

Ημερομηνία δειγματοληψίας	20/3/2001	24/4/2001		
Σημείο δειγματοληψίας	Δεξαμενή Ιωάννη (έξοδος)	Αγ. Πλατεία Σπλάντζιας	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατο επίπεδο
Υπολειμματικό Cl ₂ (mg/l)	0,37	0,38		
Θερμοκρασία (°C)	15	16		
PH / θολερότητα (NTU)	8,06 / 0,90	8,11 / 0,90		
Οσμή / Γεύση (μακροσκοπικά)	Κανονική	Κανονική	0	
Αγωγιμότητα (μS/cm)	270	295	400	
Νιτρικά NO ₃ - (mg/l)	1,32	1,76	25	50
Νιτρώδη NO ₂ - (mg/l)	0	0,01		0,1
Αμμωνιακά NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,04	0,00	0,05	0,5
Οξειδωσιμότητα (mg/l O ₂)	-	0,81	2	5
Αιωρούμενα στερεά TSS (mg/l)	-	0		
Ολικά διαλυμένα στερεά TDS (mg/l)		192,5		<1500
Φωσφορικά PO ₄ ³⁻ (mg/l)	-	0,15	0,4	5,0
Φθόρια F - (mg/l)	-	0,28 (28°C)		
Χλωριούχα Cl ⁻ / (mg/l)	15,7	14,2	25	100
Θειικά SO ₄ ²⁻ (mg/l)	-	16	25	250
Άζωτο Kjeldahl (mg/l)	-	0		0
Φαινόλες	-	0		0,5
Πυριτικά SiO ₂ (mg/l)		5,29		
Ca / Mg (mg/l)	38,2 / 9,72	38,2 / 11,7	100 / 30	- / 50
Ολική / Παροδική Σκληρότητα (DH)	7,78 / 7,07	8,02 / 7,07		
Αλκαλικότητα -m/-p	126,25 / 0	126,2 / 0		

(mg CaCO ₃ /l)				
HCO ₃ - (mg/l)	154	154		
Fe / Cu (mg/l)		0,02 / 0,01	50 /	200 /
Zn / Mn (mg/l)		0,07 / 0,01	100 / 20	5.000 / 50
Na / K (mg/l)		8,44 / 0,4	20 / 10	175 / 12
Al (mg/l)	0	0	0,05	0,2

1.4 Δεξαμενή Πόλης (ΔΠ)

Για την ύδρευση μιας αστικής περιοχής σχεδόν πάντα κατασκευάζεται μια ή περισσότερες δεξαμενές πόλης (ΔΠ), όπου αντλείται ή οδηγείται με βαρύτητα το νερό από την μονάδα επεξεργασίας του νερού ύδρευσης (MENV) ή σε αρκετές περιπτώσεις απ' ευθείας από το πηγάδι, όπως φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα 1.2. Η ΔΠ είναι μια επιφανειακή δεξαμενή ή ένας υδατόπυργος και εξασφαλίζει την παροχή νερού σε ημερήσια βάση ^[3].



Σχήμα 1.2 Σχηματική παράσταση δεξαμενής πόλης με τις εναλλακτικές τροφοδοσίες ^[3]

Το δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων περιλαμβάνει τις εξής δεξαμενές :

- Δεξαμενές Βαντέ
- Δεξαμενή Αγυιάς
- Δεξαμενή Αγ. Ιωάννη
- Δεξαμενές Ασυρμάτου
- Δεξαμενή Γιουρμέτη
- Δεξαμενή Αγ. Μαθαίου
- Δεξαμενή Λενταριανών

1.4.1 Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ΔΠ

Η χρήση της δεξαμενής σε ένα δίκτυο ύδρευσης μιας πόλης έχει τα εξής πλεονεκτήματα :

- Εξισορροπεί την κυμαινόμενη ζήτηση έναντι μιας σταθερής παροχής. Η έξοδος από την ΜΕΝΥ ή η κατευθείαν άντληση από ένα πηγάδι έχουν σταθερή παροχή κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Η κατανάλωση κάθε άλλο παρά σταθερή είναι και απαιτείται μια ενδιάμεση αποθήκευση του νερού.
- Η χρήση της ΔΠ μειώνει την απαίτηση σε άντληση, γιατί δε χρειάζεται να διατίθεται η άντληση που αντιστοιχεί στη μέγιστη ζήτηση νερού. Όταν υπάρχει η απαίτηση για τη μέγιστη παροχή η ΔΠ δίνει το επιπλέον νερό που έχει αποθηκευτεί από τις χρονικές περιόδους, κατά τις οποίες η ζήτηση είναι μικρότερη από την άντληση.
- Μειώνει τις πιέσεις του νερού στο δίκτυο
- Παρέχει τη δυνατότητα για ποιοτικό έλεγχο κοντά στην κατανάλωση και επιπλέον απολύμανση του νερού. Σε πολλές πόλεις της Ελλάδας η χλωρίωση του νερού των πηγαδιών γίνεται στις ΔΠ.
- Αποτελεί αποθήκη νερού για την πυρόσβεση.

Η ιδανική περίπτωση κατασκευής των ΔΠ είναι η ύπαρξη ανάγλυφου, γεγονός σύνηθες στις ελληνικές πόλεις, όχι όμως στις πόλεις των ευρωπαϊκών χωρών. Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται η τοποθέτηση της ΔΠ στην κορυφή ενός λόφου μέσα στην πόλη. Όταν δεν υπάρχει ύψωμα μέσα στην πόλη, κατασκευάζεται υδατόπυργος. Πάντως η τοποθέτηση των ΔΠ στις μεγάλες πόλεις πρέπει να γίνεται στρατηγικά, έτσι ώστε να μειώνεται η απαίτηση για άντληση και να αριστοποιείται η κατανομή της πίεσης στο δίκτυο ύδρευσης.

Για να αποδειχθεί εάν είναι σκόπιμη η κατασκευή μιας ΔΠ πρέπει να συγκριθεί το επιπλέον κόστος άντλησης με το κόστος κατασκευής της ΔΠ. Μαζί με την κοστολογική σύγκριση πρέπει να εξετάζονται και τα ποιοτικά πλεονεκτήματα. Οι ΔΠ είναι επιθυμητό να είναι καλυμμένες (κλειστές) για την αποφυγή μόλυνσης από ανθρώπους ή ζώα και τον αποκλεισμό ανάπτυξης μ/φ (μικροφυκών) ^[3].

1.5 Επιλογή πηγής και διαδικασίας επεξεργασίας νερού

Για την εξασφάλιση της ύδρευσης μιας περιοχής πρέπει να επιλέξουμε κατ' αρχήν την πηγή του νερού μέσα από τις δυνατές πηγές και στη συνέχεια να καθορίσουμε τη μέθοδο επεξεργασίας. Η επιλογή της πηγής του νερού είναι μια διαδικασία που πρέπει να περιλαμβάνει και θεωρήσεις μακροπρόθεσμες. Η μέθοδος επεξεργασίας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τα χαρακτηριστικά του ακατέργαστου νερού και σε μικρότερο βαθμό, από τις απαιτήσεις του δικτύου κατανάλωσης, την προσθήκη φθοριόντων και τη μέθοδο απολύμανσης.

Στην επιλογή της πηγής προηγείται η σύνταξη του υδατικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης. Κατά τη μελέτη του υδατικού ισοζυγίου εντοπίζονται οι επιφανειακές και οι υπόγειες πηγές, καθορίζονται τα υδατικά αποθέματα και η διαχρονική απόδοση των αποθεμάτων. Η ύπαρξη στατιστικών στοιχείων για τη βροχόπτωση, την εξάτμιση, την απορροή, τη διήθηση, την παροχή των υδατορευμάτων, τη στάθμη των υδροφορέων είναι απαραίτητα για την εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς των πηγών.

Το συνολικό διαχειριστικό Σχήμα συμπεριλαμβάνει τις πηγές που θα ικανοποιήσουν την παρούσα και μελλοντική ζήτηση, τα υδραυλικά έργα για τη διευθέτηση των πηγών, όπως τα φράγματα, οι ταμιευτήρες, τα έργα υδροληψίας και μεταφοράς, τα έργα αποθήκευσης και επεξεργασίας ^[3].

1.5.1 Επιλογή πηγής νερού

Η επιλογή της πηγής ύδρευσης περιλαμβάνει τη θεώρηση όλων των εναλλακτικών πηγών και τα χαρακτηριστικά τους. Οι παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν, όταν επιλέγεται μια πηγή νερού, είναι :

- Απόδοση Ασφαλής (ποσότητα) για τις άμεσες αλλά και τις μακροχρόνιες ανάγκες.
- Ποιότητα Νερού.
- Απαίτηση Συλλογής (Έργα εισόδου, πηγάδια, ταμιευτήρες, δεξαμενές κ.λ.π.).
- Απαίτηση Επεξεργασίας (περιλαμβάνει το κόστος και τη δυνατότητα διάθεσης υπολειμμάτων π.χ. ιλύος, ενεργού άνθρακα).
- Απαίτηση Μεταφοράς και Διανομής.

Ο στόχος κατά την επιλογή της πηγής του νερού είναι η εξασφάλιση της ποιότητας αλλά και της ποσότητας για τη συνεχή τροφοδοσία για τις παρούσες και μελλοντικές ανάγκες. Η ποιότητα του νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της πηγής. Η διαδικασία επεξεργασίας του νερού στοχεύει στη δημιουργία ποιότητας αποδεκτής για την αστική ή/και βιομηχανική κατανάλωση.

Αν και η ποιότητα του νερού ποικίλει πολύ από περιοχή σε περιοχή μπορούμε να πούμε ότι τα επιφανειακά νερά έχουν ορισμένες ομοιότητες όπως επίσης και ότι τα υπόγεια νερά έχουν μερικά κοινά χαρακτηριστικά ^[3].

1.5.1.1 Επιφανειακά νερά

Με τον όρο επιφανειακά νερά ορίζουμε τα νερά των ποταμών, των λιμνών και των ταμιευτήρων. Η τοποθεσία της πηγής δίνει πολλές φορές τη δυνατότητα της ροής με βαρύτητα προς τη μονάδα επεξεργασίας του νερού (MENY). Για τα επιφανειακά νερά απαιτείται πάντα κάποια επεξεργασία.

Το νερό των ποταμών έχει το χαρακτηριστικό της μεταβαλλόμενης ποιότητας. Κατά τη διάρκεια ισχυρών βροχοπτώσεων αλλάζει πολύ γρήγορα η θολότητα του νερού καθώς και άλλες παράμετροι. Έτσι αν η τροφοδοσία της MENY γίνεται χωρίς ενδιάμεση ταμίευση, πρέπει η μονάδα να διαθέτει την απαιτούμενη ευελιξία, γιατί μπορούν να δημιουργηθούν και προβλήματα παροχής ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής. Επιπλέον, το νερό των ποταμών μερικές φορές υπόκειται σε σημειακές απορρίψεις μολυσματικών ουσιών (π.χ τοξικά βιομηχανικά απόβλητα, ρίψη σκουπιδιών κτλ). Πρέπει επομένως οι διαδικασίες να σχεδιάζονται και για τέτοιες περιπτώσεις.

Το νερό των λιμνών και των ταμιευτήρων έχει το χαρακτηριστικό να αλλάζει ποιότητα με τις εποχές. Η αλλαγή αυτή όμως είναι σταδιακή. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού το νερό της λίμνης μπορεί να στρωματοποιείται σε δύο στρώματα, όπου το θερμότερο στρώμα παραμένει πλησίον της επιφάνειας, ενώ ένα ψυχρότερο στρώμα παγιδεύεται χαμηλότερα με πολύ μικρή ανάμιξη των δύο στρωμάτων. Αυτή η κατάσταση είναι δυνατό να οδηγήσει σε εξάντληση του οξυγόνου στα χαμηλότερα στρώματα. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες, σίδηρος και μαγγάνιο είναι δυνατό να διαλυθούν στο νερό. Επίσης, προβλήματα οσμής και γεύσης είναι δυνατό να παρατηρηθούν, λόγω της έκλυσης ανοξικών και αναερόβιων προϊόντων αποσύνθεσης, όπως το υδρόθειο. Τα υψηλότερα στρώματα των λιμνών υπόκεινται στη μαζική αύξηση των μικροφυκών (algal bloom), εάν η συγκέντρωση των ανθρακικών, των θρεπτικών συστατικών, της θερμοκρασίας και της ηλιοφάνειας είναι ευνοϊκά. Η μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης των μικροφυκών είναι δυνατό να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στη θολότητα του νερού, στην

αλκαλικότητα, τη γεύση, την οσμή, το pH και άλλα χαρακτηριστικά (πρόβλημα μεγάλης αύξησης μικροφυκών έχει παρουσιαστεί στο νερό τροφοδοσίας των μονάδων επεξεργασίας της περιοχής των Αθηνών)^[3].

Άλλες παράμετροι για την επιλογή τροφοδοσίας με επιφανειακό νερό είναι η χρήση της γης στις γύρω περιοχές, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και η τοπογραφία. Για τον Ελλαδικό χώρο η ύδρευση από ποταμούς αφορά ένα μόνο μέρος της χώρας, η δε ύπαρξη λιμνών περιορίζεται επίσης σε ένα μικρότερο χώρο και πολύ μεγαλύτερη σημασία έχει η κατασκευή ταμιευτήρων.

Οι ταμιευτήρες (τεχνητές λίμνες - reservoir) εξομαλύνουν την αναντιστοιχία της διάθεσης νερού λόγω βροχοπτώσεων και της ζήτησης για αστική χρήση. Έτσι ο ταμιευτήρας αποταμιεύει το νερό που περισσεύει κατά την υγρή περίοδο (χειμώνα ή υγρή χρονιά) για τη χρήση κατά την ξηρή περίοδο (καλοκαίρι ή ξηρή χρονιά). Οι ταμιευτήρες σχεδιάζονται για την επιτυχή αποταμίευση για ένα χρονικό διάστημα σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία που υπάρχουν.

1.5.1.2 Υπόγεια νερά

Η εκμετάλλευση των υπόγειων νερών γίνεται με την κατασκευή πηγαδιών και γαλαριών και με τη συλλογή του νερού των πηγών. Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων είναι σταθερή από εποχή σε εποχή, παρουσιάζει όμως μεγάλες διακυμάνσεις από μια περιοχή σε άλλη. Αλλαγές στις υδρογεωλογικές συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν διαφορετική ποιότητα νερού σε σχετικά κοντινές αποστάσεις.

Το κόστος της έρευνας νέων υπόγειων πηγών είναι υψηλότερο απ' ό,τι για τις επιφανειακές πηγές. Συνήθως απαιτείται ένας αριθμός πηγαδιών για τον έλεγχο της απόδοσης του υδροφορέα και της ποιότητας του νερού. Η παροχή του υπόγειου νερού στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του είναι συνήθως ακριβότερη απ' ό,τι του επιφανειακού, γιατί απαιτείται μεγαλύτερη άντληση. Η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι συνήθως ανώτερη από εκείνη του επιφανειακού ως προς τους μικροοργανισμούς, τη θολότητα και τον Ολικό Οργανικό Άνθρακα. Από την άλλη πλευρά, το περιεχόμενο των ανόργανων αλάτων (σκληρότητα, σίδηρος, μαγγάνιο) του υπόγειου νερού είναι υψηλότερο και σε μερικές περιπτώσεις απαιτεί επεξεργασία. Πάντως σε πολλές εφαρμογές το υπόγειο νερό αντλείται κατευθείαν στην κατανάλωση με ελάχιστη ή και καθόλου επεξεργασία^[3].

Σήμερα υπάρχει παγκοσμίως (αλλά και στην Ελλάδα) μεγάλο ενδιαφέρον για την ποιότητα των υπόγειων υδάτων σχετικά με τη μόλυνση τους με φυτοφάρμακα και διαλύτες. Ενδιαφέρον επίσης - υπάρχει και πρέπει να υπάρχει - για τη θέση των χωματερών, της ταφής δοχείων χημικών κ.λ.π. Όταν γίνεται αξιολόγηση μιας υπόγειας πηγής νερού, πρέπει να λαμβάνουμε υπ' όψη μας την πιθανότητα ρύπανσης της από τέτοιες πηγές. Τέλος, μερικές περιοχές έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν και επιφανειακά και υπόγεια νερά. Είναι δυνατό στην περίπτωση αυτή να γίνεται βελτιστοποίηση στη χρήση των νερών, που θα χρησιμοποιεί τα καλύτερα χαρακτηριστικά της κάθε πηγής.

1.5.2 Ανάπτυξη Μεθόδων Επεξεργασίας Νερού Ύδρευσης

Η ανάπτυξη της μεθόδου προέρχεται από το συνδυασμό των φυσικών και χημικών διεργασιών, ανάλογα με την ποιότητα του νερού που φθάνει στη MENY.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες νερού ως προς την προέλευσή του :

- Επιφανειακό νερό
- Υπόγειο νερό

1.5.2.1 Επιφανειακό νερό

Τα βασικά προβλήματα ποιότητας του επιφανειακού νερού είναι τα αιωρούμενα συστατικά, το χρώμα, η γεύση, η οσμή, η μικροβιακή μόλυνση και η χημική μόλυνση.

Η συμβατική πλήρης μονάδα επεξεργασίας επιφανειακού νερού φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα 1.3. Στην πλήρη αυτή μονάδα έχουμε κόσκινο στην αρχή για την απομάκρυνση μικροφυκών ή άλλων αντικειμένων και πλήρη διεργασία συσσωμάτωσης και διαύγασης πριν τη διήθηση. Η δεξαμενή καθίζησης χρησιμοποιείται και ως συσσωματωτής. Τα φίλτρα διήθησης μπορεί να είναι ενός στρώματος με πληρωτικό υλικό χαλαζιακή άμμο ή δύο στρωμάτων με ανθρακίτη και άμμο ή ακόμη και με κοκκώδη ενεργό άνθρακα και άμμο. Στην εγκατάσταση αυτή γίνεται προχλωρίωση και έχει σημειωθεί η ενδεχόμενη απαίτηση για ρύθμιση του pH.

Το διηθημένο νερό απολυμαίνεται με χλώριο ή όζον ή άλλο απολυμαντικό και στη συνέχεια διοχετεύεται κατ' ευθείαν στην κατανάλωση ή στη δεξαμενή πόλης. Η προσθήκη οξειδωτικού στην αρχή των εγκαταστάσεων γίνεται για την προστασία της εγκατάστασης από βιολογικές αναπτύξεις μικροοργανισμών και μικροφυκών.

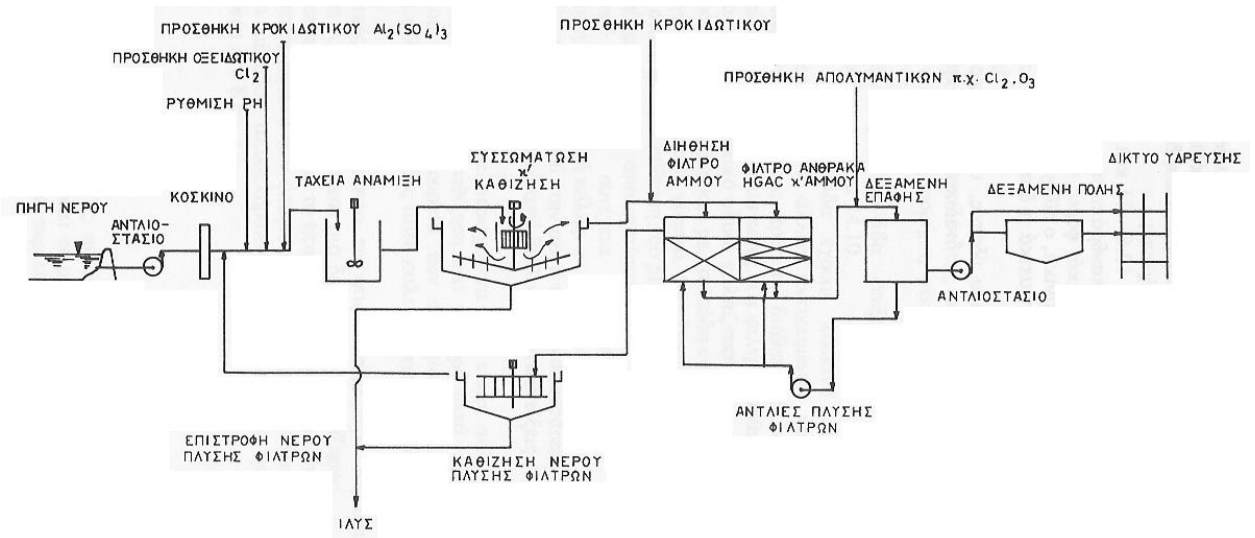
Σε περιπτώσεις που τα περιεχόμενα αιωρούμενα συστατικά είναι πολύ χαμηλά, είναι δυνατό να απαλειφθεί η καθίζηση και το νερό μετά την προσθήκη του κροκιδωτικού και τη δημιουργία των συσσωματωμάτων οδηγείται κατ' ευθείαν στα φίλτρα. Η μέθοδος αυτή καλείται *απ' ευθείας διήθηση (Direct filtration)*.

Σε μερικές περιπτώσεις που το επιφανειακό νερό περιέχει μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενων συστατικών σχεδιάζεται και μια δεξαμενή προκαθίζησης. Επίσης σε περιπτώσεις που το επιφανειακό νερό έχει υψηλή σκληρότητα, χαρακτηριστικό βέβαια των υπόγειων υδάτων και όχι των επιφανειακών, εφαρμόζεται μέθοδος αποσκλήρυνσης με υδράσβεστο.

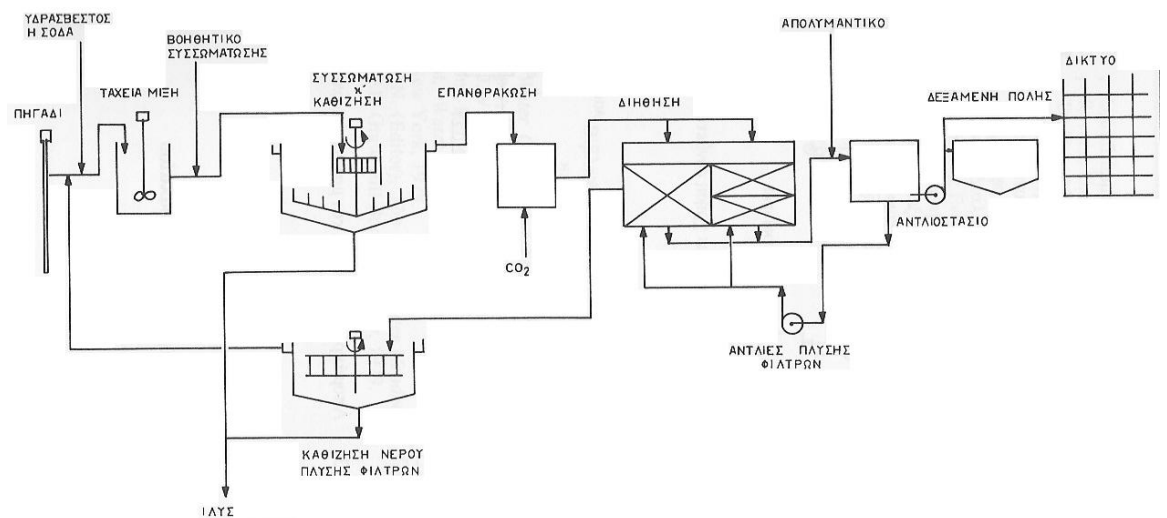
1.5.2.2 Υπόγειο νερό

Τα βασικά προβλήματα της ποιότητας του υπόγειου νερού είναι η υψηλή σκληρότητα, ο σίδηρος και το μαγγάνιο. Διαδικασίες επεξεργασίας για πηγές με υψηλή σκληρότητα περιλαμβάνουν τη χρήση υδρασβέστου για την απομάκρυνση του ασβεστίου και του μαγνησίου ή του ανθρακικού νατρίου, εάν υπάρχει σημαντική μη ανθρακική σκληρότητα.

Στο Σχήμα 1.4 παρουσιάζεται σχηματικά η διαδικασία επεξεργασίας υπόγειου νερού όπου γίνεται αποσκλήρυνση. Το αποσκληρημένο νερό έχει pH 10.6 με 11 και το pH μειώνεται με την προσθήκη διοξειδίου του άνθρακα (επανθράκωση-recarbonation). Η ιονταλλαγή εφαρμόζεται μερικές φορές για τα υπόγεια νερά, όταν είναι πολύ χαμηλά τα ΑΣ, τα οργανικά, ο σίδηρος και το μαγγάνιο.



Σχήμα 1.3 Σχηματική παράσταση συμβατικής μονάδας επεξεργασίας επιφανειακού νερού [3]



Σχήμα 1.4 Σχηματική παράσταση συμβατικής μονάδας επεξεργασίας υπόγειου νερού [3]

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

«ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ»

Γενικά

Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό ευνοείται από ορισμένους παράγοντες, όπως είναι το ουδέτερο pH, η παρουσία οργανικής ύλης που είναι η τροφή τους, καθώς και η ύπαρξη θρεπτικών συστατικών, όπως το άζωτο και ο φωσφόρος, τα οποία είναι απαραίτητα στη βιοσύνθεσή τους. Εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους τους οι μικροοργανισμοί είναι δύσκολο να απομακρυνθούν πλήρως από το νερό μόνο με φυσικοχημικές διεργασίες, όπως είναι η καθίζηση και η διήθηση, οπότε για να διασφαλισθεί η απουσία τους στο νερό απαιτείται η απολύμανσή του.

Απολύμανση είναι η επεξεργασία εκείνη του νερού που έχει ως σκοπό την καταστροφή ή την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών που τυχόν περιέχει, ώστε να προστατευθεί η δημόσια υγεία. Πρωταρχικός σκοπός της απολύμανσης είναι η αναστολή του πολλαπλασιασμού και της επιβίωσης κάθε παθογόνου μικροοργανισμού μέσα στο σύστημα ύδρευσης. Γενικότερα, ως απολύμανση ορίζεται η επεξεργασία εκείνη που έχει ως σκοπό τη διατήρηση των μικροοργανισμών ενός ανοικτού ή κλειστού δικτύου νερού σε επίπεδα που δεν επηρεάζουν τη διεργασία. Είναι ουσιώδες να διευκρινισθεί η διαφορά μεταξύ της αποστείρωσης, η οποία σημαίνει πλήρη καταστροφή όλων των μικροοργανισμών και της απολύμανσης, η οποία χαρακτηρίζεται ως η εκλεκτική ελάττωση σε ανεκτά επίπεδα των μικροοργανισμών ^{[5][13]}.

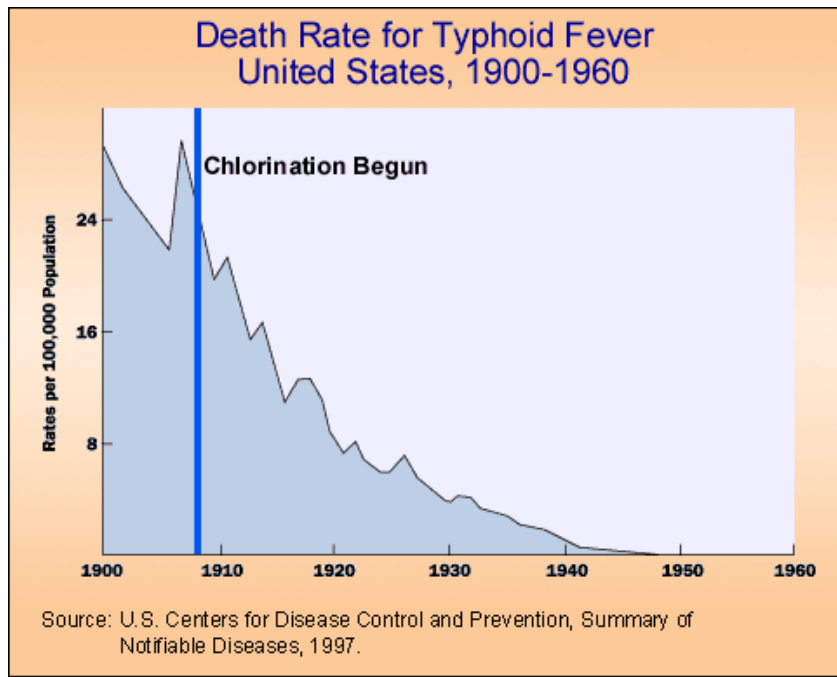
2.1 Η ιστορία της απολύμανσης

Η χλωρίωση αποτέλεσε την πρώτη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την απολύμανση τόσο των υγρών αποβλήτων, όσο και του πόσιμου νερού. Μια από τις πρώτες γνωστές χρήσεις του χλωρίου για την απολύμανση νερού ήταν από τον John Snow το 1850, όταν προσπάθησε να απολυμάνει την ευρεία παροχή νερού αντλιών οδών στο Λονδίνο μετά από ένα ξέσπασμα χολέρας. Το 1897, εφαρμόστηκε από τον Sims Woodhead ως προσωρινό μέτρο για να αποστειρωθούν οι κεντρικοί αγωγοί διανομής πόσιμου νερού στο Maidstone, Kent της Αγγλίας μετά από ένα ξέσπασμα τυφοειδούς πυρετού.

Η συνεχής χλωρίωση του πόσιμου νερού άρχισε τα πρώτα έτη αυτού του αιώνα στη Μεγάλη Βρετανία, όπου η εφαρμογή της μείωσε αισθητά τους τυφοειδείς θανάτους. Αμέσως μετά από αυτήν την δραματική επιτυχία, η χλωρίωση άρχισε να εφαρμόζεται στην πόλη του Jersey City, N.J το 1908 και στη συνέχεια την υιοθέτησαν πολλές πόλεις και αστικές περιοχές στις ΗΠΑ με αποτέλεσμα να συμβάλλει στην εξαφάνιση των μεταδιδόμενων από το νερό ασθενειών όπως η χολέρα, τύφος, η δυσεντερία και η ηπατίτιδα Α. Πριν από την εμφάνιση της χλωρίωσης στην επεξεργασία πόσιμου νερού, ο τυφοειδής πυρετός σκότωσε περίπου 25 από τους 100.000 ανθρώπους στις ΗΠΑ ετησίως, ένα ποσοστό θανάτου που προσεγγίζει αυτού που συνδέθηκε εκείνη την περίοδο με τα αυτοκινητικά ατυχήματα ^[12].

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 2.1 από την στιγμή που άρχισε να εφαρμόζεται η χλωρίωση οι θάνατοι από τυφοειδή πυρετό μειώθηκαν σημαντικά. Τα πρώτα προβλήματα ανέκυψαν στις αρχές του 1940 στις Η.Π.Α. όπου ήταν έντονη η δυσάρεστη γεύση και οσμή στο χλωριωμένο νερό. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, αλλά και θεμάτων που σχετίζονται με την ασφαλή διαχείριση των εγκαταστάσεων απολύμανσης, την ελάττωση των

επιπτώσεων των παραπροϊόντων απολύμανσης, τη μείωση του λειτουργικού κόστους και φυσικά τη βελτίωση της απολυμαντικής δράσης, αναπτύχθηκαν, παράλληλα και με τις τεχνολογικές εξελίξεις, νέες μέθοδοι απολύμανσης, ή και παραλλαγές της απολύμανσης με χλώριο (διοξείδιο του χλωρίου) ^[10].



Σχήμα 2.1 Θάνατοι από τον τυφοειδή πυρετό στις Ηνωμένες Πολιτείες την χρονική περίοδο 1900-1960 ^[12]

2.2. Ταξινόμηση απολυμαντικών μέσων

Τα μέσα απολύμανσης με βάση τη φύση τους μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στα μη χημικά και στα χημικά. Στα μη χημικά μέσα απολύμανσης του νερού ανήκουν η υπεριώδης ακτινοβολία, η αποστειρωτική διήθηση και σε περιορισμένη έκταση η θερμότητα και η ραδιενεργός ακτινοβολία. Τα χημικά μέσα μπορούν επίσης να διαιρεθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στα οξειδωτικά και στα 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 χλωρίου, το βρώμιο, το ιώδιο, το υπεροξείδιο υδρογόνου και το όζον. Στα μη οξειδωτικά απολυμαντικά ανήκουν οργανικές κυρίως ενώσεις, όπως είναι το μεθυλενοδιθειοκυάνιο, το διβρωμονιτριλοπροπιοναμίδιο, οι ισοθειαζολόνες κ.ά. ^[5].

2.2.1 Επιλογή απολυμαντικού

Η επιλογή του απολυμαντικού εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

- Να είναι δραστικό σε όλες τις κατηγορίες μικροοργανισμών που παρουσιάζονται ή αναμένεται να παρουσιασθούν στο σύστημα.
- Να συμφέρει οικονομικά η εφαρμογή του.

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

2.2.1.1 Επιλογή οξειδωτικού

Τα κριτήρια για την επιλογή ενός οξειδωτικού είναι η απόδοση στην επεξεργασία, το κόστος αγοράς και η ευκολία χειρισμού. Η ασυμβατότητα με τις διεργασίες που προηγούνται και εκείνες που ακολουθούν και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της απαιτούμενης οξείδωσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Υπάρχουν μερικά μόνο οξειδωτικά μέσα που πληρούν τους ανωτέρω όρους:

- οξυγόνο του αέρα
- όζον
- υπεροξείδιο του υδρογόνου
- υπερμαγγανικό κάλιο
- χλώριο ή υποχλωριώδες
- διοξείδιο του χλωρίου

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης είναι μια σύνθετη συνάρτηση πολλών μεταβλητών, όπως είναι :

- το είδος και η δόση του μέσου απολύμανσης
- το είδος και η συγκέντρωση των μικροοργανισμών
- ο χρόνος επαφής και τα χαρακτηριστικά ποιότητας του νερού

Οι βασικοί παράγοντες της απολυμαντικής δράσης (συγκέντρωση απολυμαντικού και χρόνος επαφής) είναι μεταβλητά στοιχεία, διότι η θερμοκρασία, το pH και η θολερότητα του νερού μπορούν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης.

2.4 Μέθοδοι απολύμανσης

Σήμερα οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι απολύμανσης είναι:

- **Χλωρίωση** (αέριο χλώριο, υποχλωριώδες νάτριο, διοξείδιο του χλωρίου)
- **Υπεριώδη Ακτινοβολία** (U.V.)
- **Οζόνωση** (με παραγωγή όζοντος από ατμοσφαιρικό αέρα ή οξυγόνο)

Τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει ο προσανατολισμός και στον Ελληνικό χώρο προς την κατεύθυνση των «καθαρών» τεχνολογιών απολύμανσης (υγρών αποβλήτων αλλά και πόσιμου νερού) και ειδικότερα προς την απολύμανση με όζον^[10].

2.4.1 Χλωρίωση

Εδώ και δεκάδες χρόνια το χλώριο χρησιμοποιείται ως απολυμαντικό μέσο στο πόσιμο νερό ακόμα και στις μέρες μας παραμένει το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο απολυμαντικό

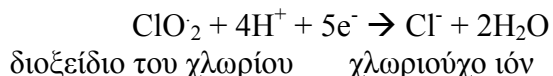
μέσο για το πόσιμο νερό. Το χλώριο προστίθεται στο νερό σε αέρια μορφή, σε υγρή μορφή (υποχλωριώδες νάτριο) ή σε σκόνη (υποχλωριωδών αλάτων) και είναι το απολυμαντικό για το οποίο έχουμε την περισσότερη επιστημονική γνώση από οποιοδήποτε άλλο.

Μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδος απολύμανσης είναι η χρήση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου, το οποίο είναι τοξικό στους περισσότερους παθογόνους μικροοργανισμούς. Το ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο είναι το χλώριο στην μοριακή του μορφή (Cl_2) και τα παράγωγα του : υποχλωριώδες οξύ (HOCl) και υποχλωριώδη ιόντα (OCl^-). Το χλώριο καταστρέφει διάφορους παθογόνους μικροοργανισμούς, όπως είναι τα βακτήρια *E. coli*, τα οποία χρησιμοποιούνται ως δείκτης μικροβιακής μόλυνσης. Η απολυμαντική του δράση εξαρτάται από τη τιμή pH, τη θερμοκρασία, το περιεχόμενο του νερού σε οργανικές ενώσεις, καθώς επίσης και από άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού ^[5].

2.4.1.1 Το αέριο διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2)

Για την απολύμανση του πόσιμου νερού χρησιμοποιείται το αέριο διοξείδιο του χλωρίου, ClO_2 , σε περισσότερες από 300 περιοχές της Βόρειας Αμερικής και σε χιλιάδες δήμους και κοινότητες της Ευρώπης. Έχει καλή απολυμαντική δράση και δημιουργεί πολύ λίγα παραπροϊόντα, όπως τριαλομεθάνια. Είναι όμως ασταθές αέριο και δεν μπορεί να παραχθεί σε εμπορεύσιμη μορφή, αλλά πρέπει να παράγεται στο σημείο χρήσης κάτω από αυστηρές διαδικασίες ασφαλείας. Σε σύγκριση με το ελεύθερο χλώριο παρουσιάζει καλύτερη δράση έναντι παθογόνων βακτηρίων και μικρότερη δράση έναντι ιών.

Τα μόρια του ClO_2 είναι υπεροξυ-ελεύθερες ρίζες παρόμοια με τις ρίζες HOO και ROO και οξειδώνουν οργανικά μόρια προσλαμβάνοντας ηλεκτρόνια απ' αυτά:



Επειδή το διοξείδιο του χλωρίου δεν εισάγει γενικά άτομα χλωρίου στις ουσίες με τις οποίες αντιδρά - και επειδή οξειδώνει τις διαλυμένες οργανικές ενώσεις - σχηματίζονται πολύ λιγότερες ποσότητες τοξικών οργανικών παραπροϊόντων απ' ό,τι εάν χρησιμοποιείτο μοριακό χλώριο. Όπως και στην περίπτωση του όζοντος, το ClO_2 δεν μπορεί να αποθηκευτεί επειδή είναι εκρηκτικό σε υψηλές συγκεντρώσεις και έτσι πρέπει να παράγεται στον τόπο χρησιμοποίησής του. Αυτό γίνεται με οξείδωση της ανοιγμένης μορφής ClO_2^- από το άλας του χλωρίου-νατρίου^[4].



2.4.1.2 Αέριο χλώριο (Cl_2)

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



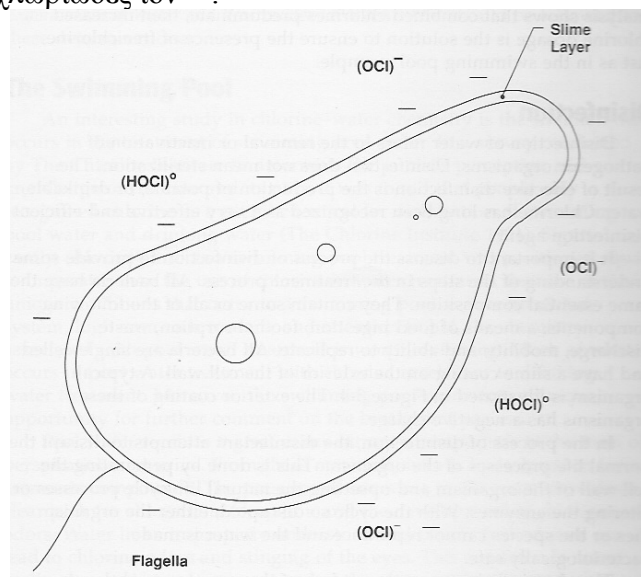
Το υποχλωριώδες οξύ (HOCl) είναι το δραστικό συστατικό που σχηματίζεται, το οποίο στη συνέχεια παίρνει μέρος σε μια σειρά αντιδράσεων που περιλαμβάνουν τις αντιδράσεις απολύμανσης, αντιδράσεις με διάφορες οργανικές και ανόργανες ενώσεις, καθώς επίσης και μερική διάσπασή του σε ιόντα υδρογόνου και υποχλωριώδη σύμφωνα με την αντίδραση ^[5]:



Η πιο συνηθισμένη απολύμανση του νερού γίνεται με το υποχλωριώδες οξύ (HOCl), το οποίο σε σχέση με τα υποχλωριώδη ιόντα έχει αρκετά μεγαλύτερη απολυμαντική δράση, το γεγονός αυτό εξηγείται παρακάτω.

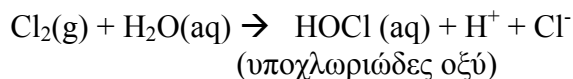
Ένας τυπικός μικροοργανισμός απεικονίζεται στο σχήμα 2.3 όπου φαίνεται ότι το επικαλυπτικό στρώμα του μικροοργανισμού έχει αρνητικό φορτίο. Κατά την διαδικασία της απολύμανσης το απολυμαντικό επιχειρεί να διασπάσει τις ζωτικές λειτουργίες του οργανισμού. Αυτό το πετυχαίνει με το να διεισδύσει στο κυτταρικό τοίχωμα του μικροοργανισμού και να ανατρέψει τις φυσικές διαδικασίες των κύκλων ζωής του μικροοργανισμού ή να μεταβάλει τα ένζυμά του. Έτσι ο μικροοργανισμός είτε πεθαίνει είτε δεν μπορεί να αναπαραχθεί με αποτέλεσμα το νερό να είναι ασφαλές ^[1].

Το ηλεκτρικό φορτίο στην επιφάνεια του μικροοργανισμού και το σχετικό φορτίο του απολυμαντικού είναι σημαντικά κατά την απολύμανση. Το υποχλωριώδες ιόν (OCl⁻) έχει ουδέτερο φορτίο με αποτέλεσμα να δυσκολεύεται να διεισδύσει στο κύτταρο λόγω της ηλεκτρονικής άπωσης των φορτίων που είναι όμοια. Αντίθετα το υποχλωριώδες οξύ που έχει ουδέτερο φορτίο δεν απωθείται από το φορτίο του μικροοργανισμού, με αποτέλεσμα να είναι πιο δραστικό από το υποχλωριώδες ιόν ^[1].

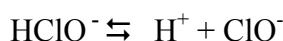


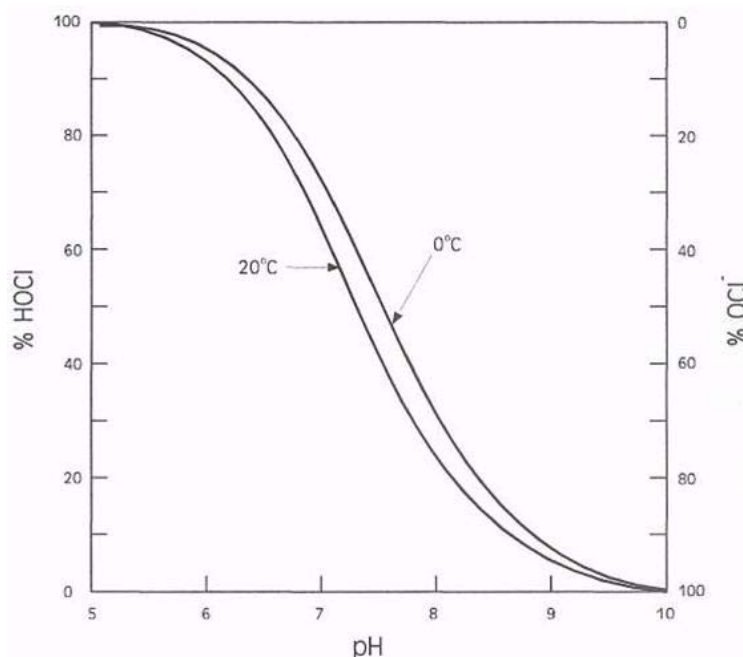
Σχήμα 2.3 Απεικόνιση ενός τυπικού μικροοργανισμού ^[1]

Όπως και το O₃, το HOCl δεν είναι σταθερό σε υψηλές συγκεντρώσεις και δεν μπορεί να αποθηκευτεί. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, όπως π.χ. σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, το HOCl παράγεται με διάλυση μοριακού αερίου χλωρίου, Cl₂, στο νερό. Για μέσες τιμές pH, η ισορροπία της αντίδρασης του χλωρίου με το νερό μετατοπίζεται προς τα δεξιά, και γίνεται σε μερικά δευτερόλεπτα ^[4].



Έτσι, ένα υδατικό διάλυμα χλωρίου περιέχει πολύ μικρές ποσότητες υδατικού Cl₂. Εάν το pH του νερού που αντιδρά γίνει πολύ υψηλό (pH > 8), το αποτέλεσμα θα είναι ο ιονισμός του ασθενούς οξέος HOCl σε υποχλωριώδες ιόν, OCl⁻, που είναι σχετικά ανενεργό για την καταπολέμηση των μικροοργανισμών ^[4].





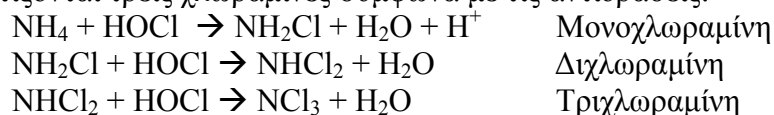
Σχήμα 2.2 Μεταβολή της συγκέντρωσης του $HOCl$ και OCl^- σε σχέση με το pH και τη θερμοκρασία ^[1].

2.4.1.3 Χλωραμίνωση

Ένας άλλος λόγος για την προσθήκη αμμωνίας είναι για να παρεμποδίσει το χλώριο να αντιδράσει με μικροποσότητες οργανικών ενώσεων στο νερό, όπως φαινόλες, και να σχηματισθούν δυσάρεστες οσμές και γεύσεις.

Οι χλωραμίνες παράγονται στο σημείο χρήσης από χλώριο και αμμωνία και βοηθούν στην απομάκρυνση οσμών και γεύσης που αφήνει στο νερό η χλωρίωση. Έχουν ασθενέστερη απολυμαντική δράση από το ελεύθερο χλώριο, έχουν χημικά σταθερότερη υπολειμματική απολυμαντική δράση και δεν ευνοούν την δημιουργία τριαλομεθανίων. Αυτό συμβαίνει γιατί η αμμωνία παρεμποδίζει το χλώριο να αντιδράσει με μικροποσότητες οργανικών ενώσεων που απαντούν στο νερό με αποτέλεσμα ο σχηματισμός των ΤΑΜ και η δυσάρεστη οσμή και γεύση του νερού να μην ευνοείται. Απαιτούνται όμως μεγαλύτερες εγκαταστάσεις που να επιτρέπουν μεγάλο χρόνο δράσης, ενώ έχουν μειωμένη δραστηριότητα έναντι της *Legionella*, των πρωτόζωων και των ιών ^[4].

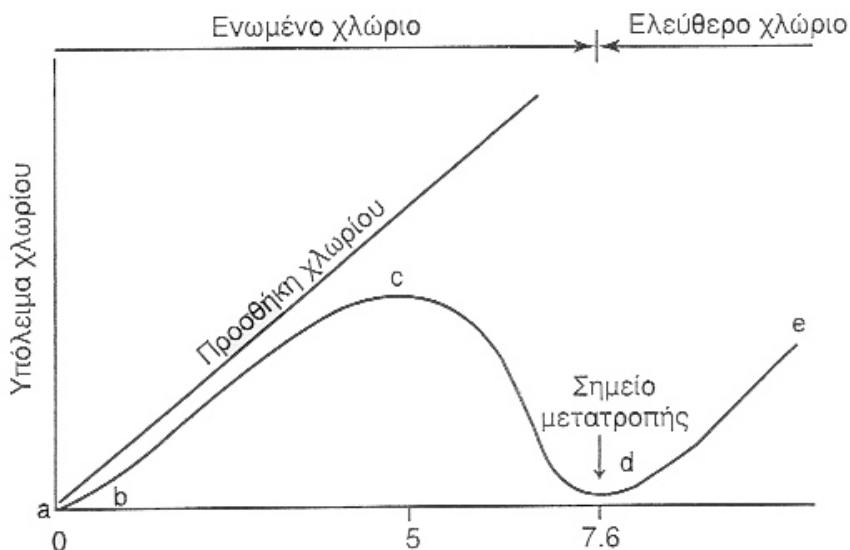
Γενικά, η χλωραμίνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δευτερογενής απολύμανση για την βελτίωση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων του χλωριωμένου νερού. Πιο συγκεκριμένα η αμμωνία αντιδρά αμέσως με το χλώριο και σχηματίζει μία σειρά από ενώσεις, τις χλωραμίνες, η ακριβής φύση των οποίων εξαρτάται από τις σχετικές συγκεντρώσεις των δύο αυτών ενώσεων και από το pH . Σχηματίζονται τρεις χλωραμίνες σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Όταν στο νερό περιέχεται αμμωνία, πρέπει να αυξηθεί η ποσότητα του χλωρίου που προστίθεται για να εξασφαλισθεί μια περίσσεια χλωρίου για να καταστρέψει τους παθογόνους

μικροοργανισμούς. Οποσδήποτε, το ενωμένο χλώριο, όπως οι μονο και διχλωραμίνες, διατηρούν ένα μέρος της απολυμαντικής τους ικανότητας και για μεγάλο χρονικό διάστημα, αν και είναι λιγότερο αποτελεσματικές απ' ότι το ελεύθερο χλώριο, που είναι παρόν σαν υποχλωριώδες οξύ και υποχλωριούχα ιόντα. Γι' αυτό συνηθίζεται σε μερικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας για πόσιμο νερό να προστίθεται αμμωνία στο στάδιο της χλωρίωσης. Το ενωμένο χλώριο χρειάζεται ένα χρόνο επαφής 100 φορές μεγαλύτερο από ότι το ελεύθερο χλώριο προκειμένου να επιτευχθεί ο ίδιος βαθμός απολύμανσης. Όταν προστίθεται χλώριο σε νερό που περιέχει αμμωνία, τότε παράγεται μια χαρακτηριστική καμπύλη συγκέντρωσης των υπολειμμάτων του χλωρίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4 Εάν συνυπάρχουν αναγωγικές ανόργανες ενώσεις, όπως ο σίδηρος και το μαγγάνιο, τότε παρατηρείται ζήτηση χλωρίου χωρίς την παραγωγή ενός υπολείμματος κι έτσι προκύπτει ένα ευθύγραμμο τμήμα κατά την αρχή της καμπύλης (a-b). Εφόσον το υπόλειμμα χλωρίου είναι κορεσμένο στο νερό, τότε η συγκέντρωσή του είναι συνάρτηση της αναλογίας βάρους χλώριο : αμμωνία ^[4].

Στο Σχήμα 2.4 η ευθεία γραμμή α δίνει τη συγκέντρωση του χλωρίου που προστίθεται ή την συγκέντρωση του υπολείμματος του χλωρίου στο νερό εφόσον δεν γινόταν καμία αντίδραση αλλά απλά διάλυση. Όταν η αναλογία χλώριο: αμμωνία είναι < 5:1 σε PH 7-8, τότε το υπόλειμμα χλωρίου είναι στο σύνολο μονοχλωραμίνη (τμήμα καμπύλης b-c). Καθώς αυξάνεται η αναλογία χλώριο: αμμωνία, αντιδρά μια ποσότητα από χλωραμίνες και σχηματίζονται μικρές ποσότητες διχλωραμίνης. Καθώς η αναλογία πλησιάζει στο 7,6:1, οι χλωραμίνες οξειδώνονται από την περίσσεια του χλωρίου σε αέριο άζωτο, με αποτέλεσμα την ταχεία ελάττωση του υπολείμματος χλωρίου στο νερό (c-d) ^[4].



Σχήμα 2.4 Χαρακτηριστική καμπύλη χλωρίωσης με το σημείο μετατροπής ^[4]

Μετά το σημείο μετατροπής, δεν έχει παραμείνει αμμωνία για να αντιδράσει με το χλώριο, έτσι αυξάνει η συγκέντρωση του υπολείμματος χλωρίου σε ποσοστό ανάλογο με εκείνο του προστιθέμενου χλωρίου (d-e). Έτσι, η απολύμανση πριν από το σημείο μετατροπής οφείλεται στο ενωμένο χλώριο (μόνο και διχλωραμίνες) ενώ μετά το σημείο μετατροπής οφείλεται στο ελεύθερο χλώριο αν και ίχνη από διχλωρο- και τριχλωραμίνες μπορεί να παραμείνουν σε χαμηλότερες τιμές pH.

Το σημείο μετατροπής είναι χαρακτηριστικό για κάθε νερό που χλωριώνεται γιατί η απαίτηση του νερού για χλώριο εξαρτάται κυρίως από τη συγκέντρωση των αναγωγικών ενώσεων και της αμμωνίας καθώς και από άλλους παράγοντες

2.4.2 Όζον

Το όζον είναι μια αλλοτροπική περισσότερο ενεργή μορφή του οξυγόνου με χημικό τύπο O_3 . Στην στερεά μορφή έχει μπλε χρώμα, στην υγρή μαύρο-μπλε και στην στερεά μαύρο. Το σημείο ζέσης του είναι $-111,5\text{ }^\circ\text{C}$ και το σημείο τήξης του $-192,5\text{ }^\circ\text{C}$. Είναι 1,6 φορές βαρύτερο από τον αέρα, οπότε σε περιπτώσεις διαρροής όζοντος αυτό συγκεντρώνεται σε χαμηλά σημεία. Η ειδική του μάζα σε $0\text{ }^\circ\text{C}$ και πίεση 1 atm είναι $2,143\text{ Kg/m}^3$, ενώ η θερμότητα σχηματισμού 1 mole σε σταθερό όγκο είναι 143 KJ (34,2 Kcal). Έχει μια χαρακτηριστική οσμή, η οποία το καθιστά ανιχνεύσιμο από την ανθρώπινη όσφρηση σε συγκεντρώσεις στον αέρα μεγαλύτερες από 2 mg/l. Από την ιδιότητα του αυτή έχει πάρει την ονομασία του^[5].

Παράγεται από τον ιονισμό του οξυγόνου σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, που προκαλείται από υψηλή τάση. Η ιώδης εκκένωση είναι ορατή κατά την παραγωγή του όζοντος. Βιομηχανικά το όζον παράγεται με τη διοχέτευση αέρα ή οξυγόνου ανάμεσα σε ηλεκτρόδια, όπου εφαρμόζεται τάση από 10.000 - 20.000 V. Για αποφυγή δημιουργίας τόξου, τα ηλεκτρόδια καλύπτονται από διηλεκτρική ύλη ίσου πάχους. Η συνήθης συγκέντρωση του όζοντος κυμαίνεται από 10 έως 20 mg/l^[3].

Το όζον έχει την τάση να διασπάται γρήγορα προς σχηματισμό οξυγόνου, ενώ παράλληλα ελευθερώνει θερμότητα. Σε υψηλές συγκεντρώσεις διασπάται με εκρηκτικό τρόπο, ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως είναι οι $-120\text{ }^\circ\text{C}$. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις όμως και σε θερμοκρασία δωματίου η διάσπαση γίνεται με μικρότερο ρυθμό αλλά μπορεί να επιταχυνθεί από την παρουσία καταλυτών, την υπεριώδη ακτινοβολία και τη θερμότητα. Για το λόγο αυτό δεν είναι δυνατόν να παράγουμε και στη συνέχεια να αποθηκεύσουμε ή να μεταφέρουμε όζον σε συγκεντρώσεις που θα ήταν πρακτικά χρήσιμες, οπότε πρέπει να παραχθεί στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του νερού με μία σχετικά ακριβή διαδικασία, που περιλαμβάνει ηλεκτρικές εκκενώσεις σε ξηρό αέρα.

Είναι το ισχυρότερο από τα κοινά απολυμαντικά και δεν δημιουργεί τριαλομεθάνια. Η δράση του όμως επηρεάζεται από το pH του νερού, από το μονοξείδιο ή διοξείδιο του άνθρακα και από διάφορες οργανικές ή ανόργανες ουσίες που βρίσκονται στο νερό. Μετά την εισαγωγή του στο νερό, παραμένει για ένα μικρό χρονικό διάστημα, αρκετό για την απολύμανση και στη συνέχεια αποσυντίθεται.

Η σπουδαιότερη ιδιότητα του όζοντος είναι η ισχυρή οξειδωτική του δράση, γεγονός που το καθιστά πρώτη επιλογή όταν απαιτείται η εκτέλεση ισχυρά οξειδωτικών αντιδράσεων. Το όζον δρα πάνω στα αιωρούμενα ή στα διαλυμένα σωματίδια στο νερό με άμεση ή έμμεση οξείδωση, με οζονόλυση και με κατάλυση. Οι αντιδράσεις άμεσης οξείδωσης του όζοντος, οι οποίες προκύπτουν από τη δράση ενός ατόμου ενεργού οξυγόνου, είναι συνήθως ακαριαίες, καθώς το όζον έχει το μεγαλύτερο δυναμικό οξειδοαναγωγής από όλα τα οξειδωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία του νερού^[5].

Το όζον παράγει επίσης αντιδράσεις έμμεσης οξείδωσης. Ένας μέρος του όζοντος που διαλύεται στο νερό διασπάται και σχηματίζει ελεύθερες ρίζες (HO^\cdot), οι οποίες αντιδρούν πολύ γρήγορα κι οξειδώνουν οργανικές και ανόργανες ενώσεις διαλυμένες στο νερό. Η διάσπαση αυτή του όζοντος επιταχύνεται σε υψηλές τιμές pH, οι οποίες ευνοούν το σχηματισμό των ελεύθερων ριζών (HO^\cdot).

Το όζον δρα επίσης διαμέσου της οζονόλυσης, παρεμβάλλοντας δηλαδή όλο το μόριο του σε άτομα που συνδέονται με πολλαπλούς δεσμούς, με αποτέλεσμα να παράγονται δύο απλούστερα μόρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες από το αρχικό. Το όζον τέλος μπορεί να καταλύσει και να επιταχύνει ορισμένες αντιδράσεις οξειδωσης. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά του είναι ότι διασπάται δίνοντας οξυγόνο στο νερό, γεγονός κατά κανόνα ευπρόσδεκτο. Έτσι, αποτελεί ένα μέσο απολύμανσης που δεν έχει ανεπιθύμητες επιδράσεις στη γεύση, την οσμή και την εμφάνιση του νερού.

Εξαιτίας της μεγάλης οξειδωτικής και απολυμαντικής του ισχύος, το όζον χρησιμοποιείται για την απολύμανση του νερού καταστρέφοντας τους παθογόνους μικροοργανισμούς (βακτήρια και ιούς), που απαντούν στο νερό. Δρα πιο γρήγορα και αποτελεσματικά από τα άλλα απολυμαντικά και η απολυμαντική του δράση οφείλεται στο ότι καταστρέφει την βασική δομή του μικροβιακού κυττάρου (μέσω οξειδωτικών αντιδράσεων), εφόσον δεν υπάρχει αυξημένη θολερότητα στο νερό (η οποία προστατεύει τα κύτταρα των μικροοργανισμών). Συγκεκριμένα καταστρέφει την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών με αποτέλεσμα την μη συγκράτηση του κυτταρικού υλικού (πλήρη καταστροφή του κυττάρου) [10].

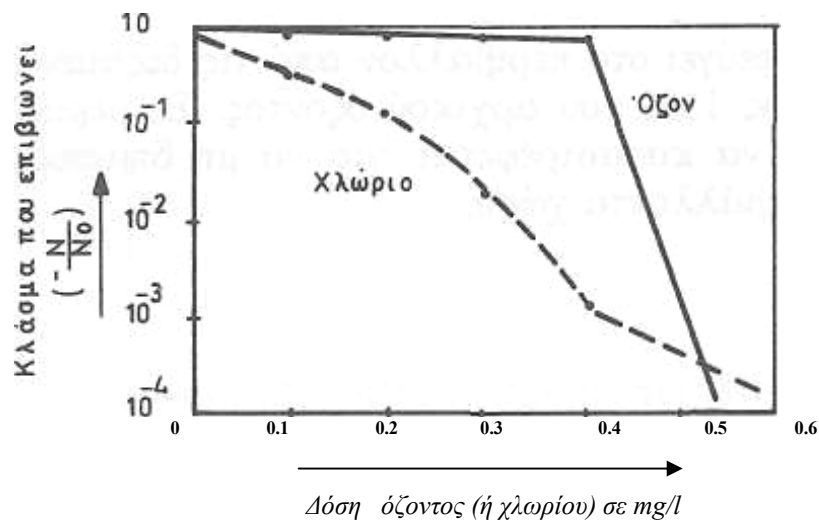
Συγκεντρώσεις όζοντος 0,1-0,2 mg/l, (Σχήμα 2.6) είναι αρκετές για να έχουμε νερό σχεδόν ελεύθερο από μικροοργανισμούς σε διάστημα λίγων δευτερολέπτων. Μικροοργανισμοί ανθεκτικοί στο χλώριο, οι οποίοι οξειδώνονται και καταστρέφονται ταχύτατα από το όζον, είναι οι αμοιβάδες, οι κόκκοι, οι ευμύκητες, οι μυξομύκητες, τα άλγη, τα σπόρια και οι κύστες. Συγκεντρώσεις όζοντος 0,3-0,5 mg/l καταστρέφουν ή εξουδετερώνουν τους ιούς μέσα σε λίγα λεπτά σε σύγκριση με τις ώρες που χρειάζονται άλλα απολυμαντικά μέσα ακόμα και σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις [5].

Το όζον, σε αντίθεση με το χλώριο, όταν χρησιμοποιείται ως απολυμαντικό δεν δίνει απομένουσες συγκεντρώσεις μετά την απολύμανση του νερού, γιατί όντας ευκολοδιάσπαστο εξαφανίζεται. Το γεγονός αυτό έχει και θετική και αρνητική πλευρά. Η θετική του πλευρά είναι ότι δεν έχουμε ενώσεις που δημιουργήθηκαν κατά τη δράση του, ούτε τη χημική παρουσία (έστω και σε μικρές ποσότητες) του οξειδωτικού μέσου. Η αρνητική είναι ότι δεν υπάρχει καμία προστασία στο δίκτυο ύδρευσης. Εάν π.χ. σε κάποια ρωγμή του δικτύου έχουμε είσοδο μ/ο, οι μ/ο αυτοί θα φτάσουν στους καταναλωτές. Όταν απαιτείται προστασία του δικτύου και χρησιμοποιείται όζον συνήθως χρησιμοποιείται και ένα άλλο απολυμαντικό (συνδυασμό) [3].

Ως απολυμαντικό το όζον έως κάποια συγκέντρωση δεν έχει σημαντική αντίδραση, ενώ από κάποια συγκέντρωση και πάνω η δραστηριότητα του είναι πολύ αυξημένη. Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται η διαφορά της εξάρτησης της δραστηριότητας του χλωρίου και του όζοντος από τη συγκέντρωση. Πάντως όταν είναι δυνατό να ανιχνευτεί όζον, τα κολοβακτηρίδια και τα άλλα βακτήρια κανονικά έχουν εξαφανιστεί. Στις συνήθεις περιπτώσεις για απολύμανση καθαρού νερού συγκέντρωση όζοντος 1 με 2 mg/l είναι αρκετή [3].

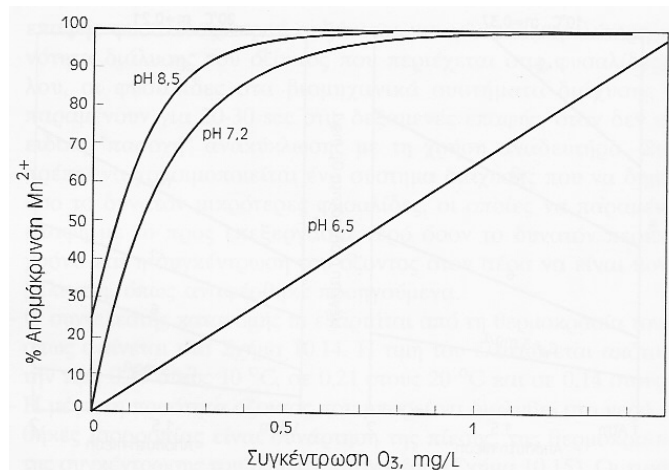
Εκτός από την απολύμανση του νερού το όζον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία του νερού για την επίτευξη των εξής στόχων [5] :

- **Απομάκρυνση του χρώματος του νερού**, στο οποίο προσδίδει μια ελκυστική γαλάζια απόχρωση.
- **Απομάκρυνση οσμών**. Το όζον καταστρέφει την πλειοψηφία των ενώσεων που είναι υπεύθυνες για την ανεπιθύμητη γεύση και οσμή του νερού, ειδικά όλες τις φαινολικές ενώσεις.



Σχήμα 2.5 Διαφορά της εξάρτησης της δραστηριότητας του χλωρίου και του όζοντος από τη συγκέντρωση ^[3]

- Απομάκρυνση του σιδήρου, του μαγγανίου και του θείου.** Το όζον προκαλεί την καθίζηση του σιδήρου ακόμα κι αυτού στις χουμικές ενώσεις. Οι ενώσεις του μαγγανίου απομακρύνονται χωρίς να χρειάζεται καταλύτης ή υψηλές τιμές pH. Σε τιμή pH 6,5 είναι δυνατή η πλήρης οξείδωση τους, αλλά απαιτείται επεξεργασία στη συνέχεια σε φίλτρο ενεργού άνθρακα, για να μετατραπούν τα υπερμαγγανικά άλατα που σχηματίστηκαν σε υδροξείδιο του μαγγανίου (Σχήμα 2.6). Το όζον χρησιμοποιείται επίσης για την απομάκρυνση του σιδήρου και του μαγγανίου στις περιπτώσεις που είναι συμπλοκοποιημένα με οργανικά οξέα. Το υδρόθειο και άλλες θειούχες ενώσεις καταστρέφονται από το όζον χωρίς προβλήματα.

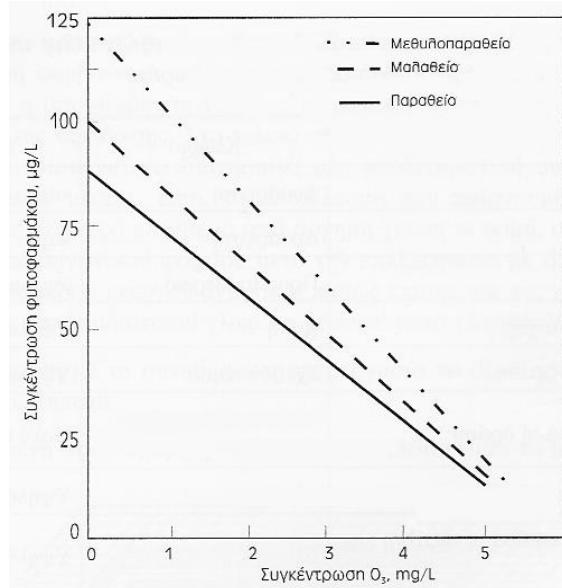


Σχήμα 2.6 Απομάκρυνση 1mg/l μαγγανίου από το νερό σε σχέση με τη συγκέντρωση του όζοντος και την τιμή του pH ^[3].

- Απομάκρυνση οργανικών υλικών.** Το όζον οξειδώνει μερικώς τα οργανικά υλικά (10 μέχρι 25%), αλλά δεν μπορεί να προκαλέσει τη συσσωμάτωση των κολλοειδών σωματιδίων. Έτσι συχνά χρησιμοποιείται πριν τη θρόμβωση σε συνδυασμό με ένα άλας

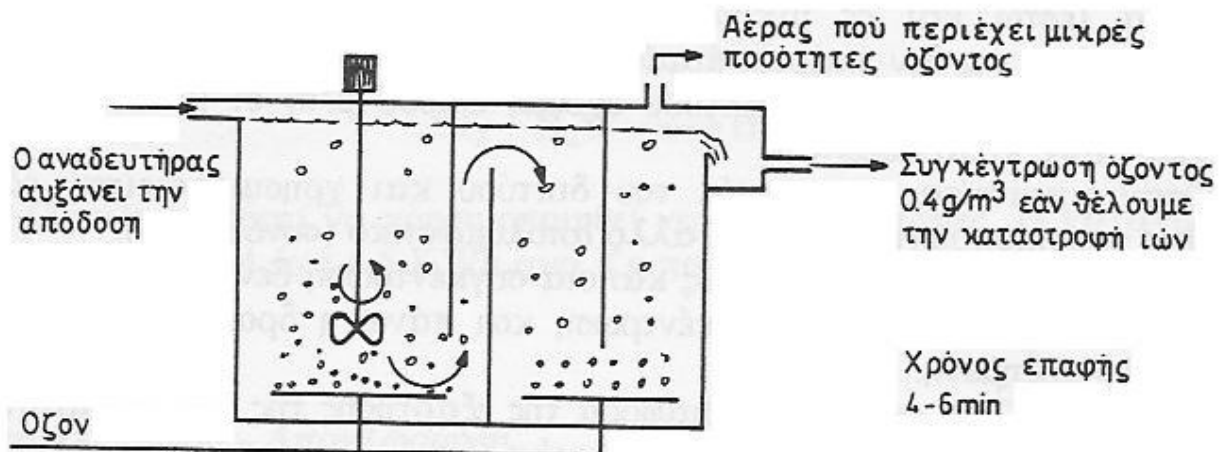
μετάλλου για να βελτιώσει τη διαύγαση και να μειώσει την ποσότητα όζοντος στην τελική απολύμανση.

- **Διάσπαση των απορρυπαντικών.** Αν χρησιμοποιηθεί σε ικανοποιητικές ποσότητες, το όζον απομακρύνει τα απορρυπαντικά σε πολύ μεγάλο ποσοστό.
- **Η απομάκρυνση των οργανοοξοφορικών φυτοφαρμάκων,** όπως είναι το παραθείο, το μαλαθείο και το μεθυλοπαραθείο, είναι δυνατή με χρήση όμως ικανής συγκέντρωσης όζοντος (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7 Ρυθμός καταστροφής οργανοοξοφορικών φυτοφαρμάκων από το όζον^[5]

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής όζοντος περιλαμβάνουν^[3] τους αεροσυμπιεστές, τα αεροφυλάκια, τα συστήματα ψύξης/ξήρανσης, τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις μετασχηματιστών κ.λ.π., τη συσκευή παραγωγής όζοντος, και τις δεξαμενές (πύργους) επαφής (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8 Δεξαμενές επαφής με όζον^[3]

Ο αέρας που φεύγει στο περιβάλλον από τις δεξαμενές επαφής με όζον περιέχει από 1 έως 15% του αρχικού όζοντος. Σε μερικές περιπτώσεις το όζον αυτό πρέπει να καταστρέφεται, για να μη δημιουργηθούν αρνητικές συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο.

2.4.3 Υπεριώδης Ακτινοβολία UV

Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι, όπως άλλωστε και το κανονικό φως, μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μια ενέργεια που διαδίδεται μέσω της ταλάντωσης των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει δυαδικό χαρακτήρα: αφενός υπάρχουν κύματα και αφετέρου υπάρχουν μόρια (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 320-400 nm, 280-320 nm και 100-280 nm, UVA (ηλιακό σύνολο) UVB και UVC (απολύμανση) αντίστοιχα. 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 ^[11].

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 λοιμογόννοι. 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 απορρόφηση 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 ^[5]. 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 ^[3].

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 15-20cm μια λάμπα ισχύος 36W είναι ικανή για αποστείρωση 3m³/h. Στην πράξη για ικανοποιητική απολύμανση υπολογίζεται ότι απαιτούνται 40 Wh/m³ ειδική κατανάλωση ενέργειας ^[3].

Η απολυμαντική δράση που χρειάζεται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση καθορίζεται από τον μικροοργανισμό και από τη δόση της υπεριώδους ακτινοβολίας UVC που χρησιμοποιείται. Μια δόση υπεριώδους ακτινοβολίας UVC είναι το αποτέλεσμα της έντασης της λάμπας (ισχύς

της λάμπας στα 254nm) επί τη διάρκεια της έκθεσης (μέγεθος ροής) και εκφράζεται σε $mW \cdot sec/cm^2$. Υπάρχει αντιστρόφως ανάλογη αλληλεπίδραση ανάμεσα στην ένταση της λάμπας και τη διάρκεια της έκθεσης: μια δόση $10mW \cdot sec/cm^2$ επιτυγχάνεται με ένταση $2mW/cm^2$ διάρκειας 5 sec ή με $5 mW/cm^2$ διάρκειας 2 sec ^[11].

Κατά την λειτουργία το νερό εισέρχεται από την βαλβίδα εισόδου (inlet) και ρέει κατά μήκος του χαλαζιακού σωλήνα (που περιέχει την λάμπα UV) και του εσωτερικού τοιχώματος του θαλάμου. Το απολυμασμένο νερό εξέρχεται από την βαλβίδα εξόδου (outlet).

Ένα τυπικό σύστημα UV έχει τα εξής χαρακτηριστικά ^[11]:

- Βαλβίδα οπτικού ελέγχου - επιτρέπει τον οπτικό έλεγχο της λειτουργίας της λάμπας, αργότερα είναι δυνατή σε αυτή την βαλβίδα η προσθήκη ηλεκτρονικού οργάνου ελέγχου.
- Προστατευτική σωλήνα χαλαζία - το κρύο νερό που περνά από μια απροστάτευτη λάμπα (χωρίς σωλήνα χαλαζία) μειώνει την θερμοκρασία της λάμπας και την απόδοση ακτινοβολίας της. Η προστατευτική σωλήνα χαλαζία επιτρέπει στην λάμπα να διατηρεί την υψηλότερη θερμοκρασία για να αποδώσει την ακτινοβολία 2537 Å που απαιτείται.
- Μηχανικά καθαριστικά - επιτρέπουν τον καθαρισμό του προστατευτικού σωλήνα χωρίς την ανάγκη αποσυναρμολόγησης ή διακοπής λειτουργίας του συστήματος.
- Αξεσουάρ - Μετρητές ροής, ηλεκτρονικός έλεγχος UV, ηλεκτρονικές βαλβίδες διακοπής λειτουργίας, πρέπει να είναι διαθέσιμες για το σύστημα, ώστε να επιτρέπει την σωστή λειτουργία του συστήματος, χωρίς επιστάτη.

2.5 Σύγκριση μεθόδων απολύμανσης

Η απολύμανση με όζον παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, όμως όσον αφορά το δίκτυο ύδρευσης από μόνη της αδυνατεί να παρέχει ικανοποιητική προστασία γιατί όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως εάν π.χ. σε κάποια ρωγμή του δικτύου έχουμε είσοδο μικροοργανισμών, οι μ/ο αυτοί θα φτάσουν στους καταναλωτές. Όταν απαιτείται προστασία του δικτύου και χρησιμοποιείται όζον συνήθως χρησιμοποιείται και ένα άλλο απολυμαντικό που συνήθως είναι το χλώριο (συνδυασμό).

Στην αναλυτική αναφορά που ακολουθεί συγκρίνονται οι μέθοδοι απολύμανσης που αναφέρθηκαν παραπάνω με κριτήρια τα οποία μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες ^[10]:

α. Απολυμαντική ικανότητα

β. **Επικινδυνότητα** χρησιμοποιούμενων χημικών και παραπροϊόντων και επίδραση στον αποδέκτη

γ. **Οικονομικά στοιχεία** (κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας-συντήρησης)

2.5.1 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 δεν έχει εξηγηθεί πλήρως και πιθανολογείται ότι επιδρά απευθείας στο DNA και RNA του πυρήνα. Η διαδικασία αδρανοποίησης των ενζύμων έχει διαπιστωθεί ότι είναι αναστρέψιμη.
- Η υπεριώδης ακτινοβολία δρα «στειώνοντας» τους μικροοργανισμούς και συγκεκριμένα αλλοιώνοντας το DNA και RNA εμποδίζει τη μεταφορά γενετικού υλικού και άρα την αναπαραγωγή των μικροοργανισμών. Παρόλα αυτά αρκετοί μ.ο. είναι ικανοί να

επιδιορθώνουν 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 μ.ο. δεν έχουν αναφερθεί.

Τόσο η χλωρίωση, όσο και η υπεριώδης ακτινοβολία (U.V.) «δυσκολεύονται» να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένα είδη μικροοργανισμών. Η δράση του χλωρίου κατά των ιών είναι μικρότερη από εκείνη του όζοντος. Επιπλέον έχει διαπιστωθεί και αποδειχθεί η δράση του όζοντος σε είδη μικροοργανισμών που διαφεύγουν μίας ή και των δύο άλλων μεθόδων (π.χ. *Escherichia Coli*, *Cryptosporidium*, πολυιοί, *Giardia muris*, *Giardia lamblia* κ.α.)^[10].

Η υπεριώδης ακτινοβολία αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα με τα αιωρούμενα στερεά (η διείσδυση U.V. ακτινοβολίας σε στρώμα 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 U.V. ακτινοβολίας από τη 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^[10].

2.5.2 Επικινδυνότητα μεθόδου και παραπροϊόντων

Όσον αφορά το αέριο χλώριο και το ClO₂, είναι και τα δύο τοξικά αέρια και κάθε διαφυγή τους χαρακτηρίζεται σοβαρότατο ατύχημα. Ταυτόχρονα το ClO₂ είναι ιδιαίτερα ασταθές ακόμη και σε υδατικά διαλύματα (>10% W/V), ιδιαιτέρως εάν συμπιεστεί. Οι διάφορες τροποποιήσεις της μεθόδου για τη βελτίωση της απόδοσης αλλά και τη 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 αέριο χλώριο ή ClO₂ 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)^[10].

Η διάθεση των χλωριωμένων αποβλήτων σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά δημιουργεί μεγάλα προβλήματα στο οικοσύστημα, ενώ οι συνέπειες γίνονται ακόμα μεγαλύτερες εάν τα νερά χρησιμοποιούνται ως πηγές υδροληψίας. Το χλώριο αντιδρά με οργανικές ενώσεις σχηματίζοντας αλογονοφόρμια (τριαλομεθάνια, χλωροφόρμιο CHCl₃, βρωμοδιχλωρομεθάνιο CHCl₂Br, χλωροδιβρωμομεθάνιο CHClBr₂ και βρωμοφόρμιο CHBr₃). Το χλωροφόρμιο θεωρείται καρκινογόνο, ενώ τα τρία βρωμιωμένα αλογονοφόρμια που δεν έχουν ελεγχθεί για καρκινογένεση είναι μεταλλαξιογόνα. Η χρήση διοξειδίου του χλωρίου (ClO₂) ελαττώνει τις παραγόμενες συγκεντρώσεις αλογονοφορμίων, αλλά πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι πιθανό να επηρεάζει το αιμοποιητικό σύστημα^[10].

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

2.5.3 Κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας-συντήρησης

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

Από την άλλη πλευρά το κόστος λειτουργίας των μονάδων όζοντος είναι μικρότερο, καθώς η μοναδική απαίτηση είναι ηλεκτρικό ρεύμα (ή και οξυγόνο), ενώ οι μονάδες U.V. εκτός του ηλεκτρικού ρεύματος έχουν μια επιπρόσθετη επιβάρυνση λόγω της 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 τη 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 δύο άλλες εγκαταστάσεις απαιτούν μεγαλύτερο εργατικό δυναμικό λόγω της συνεχούς παρακολούθησης που απαιτείται.

Το κόστος υλικών και εργασιών συντήρησης είναι ιδιαίτερα υψηλό στις εγκαταστάσεις U.V, καθώς πέρα από όποιες τακτικές εργασίες συντήρησης η πράξη έχει δείξει ότι απαιτείται αλλαγή των λαμπτήρων περίπου μια φορά το 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 τη λειτουργία μονάδων στον Ελληνικό χώρο)^[10].

2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων απολύμανσης

2.6.1 Χλωρίωση

Πλεονεκτήματα :

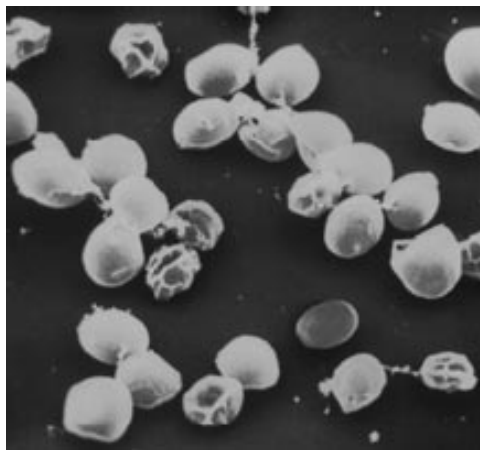
Η χλωρίωση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική ενάντια στους περισσότερους παθογόνους μικροοργανισμούς, είναι εύκολη στην εφαρμογή, στον έλεγχο, και στην επίβλεψή της. Λειτουργικά είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδος απολύμανσης και αποτελεί το απολυμαντικό με την καλύτερο συντελεστή απόδοσης ως προς το κόστος και την αποτελεσματικότητα απολύμανσης

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

Μειονεκτήματα :

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της χλωρίωσης είναι η δημιουργία οργανικών παραπροϊόντων χλωρίωσης (CBPs : THMs, HAAs, HANs) που όπως διαπιστώνεται στο

επόμενο κεφάλαιο απειλούν άμεσα την υγεία του ανθρώπου. Επίσης η χλωρίωση δεν είναι αποτελεσματική ενάντια στο παθογόνο *Cryptosporidium* (εικόνα 2.1) και απαιτεί τη μεταφορά και την αποθήκευση των χημικών ουσιών.



Εικόνα 2.1 Cryptosporidium ^[19]

2.6.2 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 περισσότερων ιών, σπόρια και κύστες. Επίσης δεν χρειάζεται να παράγεται, να αποθηκεύεται ή να ελέγχεται κανένα χημικό κατά την απολύμανση, με αποτέλεσμα να μην υφίσταται κίνδυνος υπερδοσολογίας. Χαρακτηριστικό είναι και το χαμηλό κόστος της απολύμανσης καθώς εκατοντάδες λίτρα νερού απολυμαίνονται με ελάχιστο κόστος.

Μειονεκτήματα :

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της απολύμανσης του πόσιμου νερού με UV είναι ότι δεν παρέχεται καμία υπολειμματική προστασία στο δίκτυο ύδρευσης. Εξίσου σοβαρό μπορεί να χαρακτηριστεί και το φαινόμενο της φωτοενεργοποίησης ορισμένων μικροοργανισμών : η επίδραση του φωτός ορισμένου μήκους κύματος είναι δυνατόν να ενεργοποιήσει ορισμένους μικροοργανισμούς μετά από την απολύμανσή τους με UV, οι οποίοι στην συνέχεια θα μπορούν να πολλαπλασιαστούν και να γίνουν λοιμογόνοι. Έχει χαμηλή αδρανοποίηση μερικών ιών (ρεοϊούς και ροταϊούς) και η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης δύσκολα ελέγχεται. Ακόμη απαιτείται υψηλό κόστος για τη δημιουργία ενός εφεδρικού συστήματος απολύμανσης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

2.6.3 Όζον

Πλεονεκτήματα :

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

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 τη διάρκεια δευτεροβάθμιων διαδικασιών απολύμανσης. Μειονέκτημα επίσης αποτελεί η δυσκολία στον έλεγχο και στην παρακολούθησή του ειδικά κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες φορτίου και ότι απαιτείται μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο από τη χλωρίωση.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

«ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΧΛΩΡΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ»

Γενικά

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 μια 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.

3.1 Παραπροϊόντα χλωρίωσης (CBPs)

Τα παραπροϊόντα του χλωρίου 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 ^[3]:

- 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. Αυτά τα οργανικά μπορεί να είναι ενοχλητικά, όπως συμβαίνει με τα κυανοφύκη και τους μεταβολίτες τους, που προκαλούν δυσάρεστες οσμές. Μερικές απ' αυτές τις ενώσεις είναι γνωστές για αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Οι χουμικές ενώσεις είναι πρόδρομοι σχηματισμού των τριαλογονωμένων μεθανίων και άλλων αλογονομένων υδρογονανθράκων που σχηματίζονται κατά τη χλωρίωση ^[3].

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 ^[3].

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 Πίνακα 3.1.

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 ^[3].

Πίνακας 3.1 Παραπροϊόντα χλωρίωσης ^[18]

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)

Διβρωμοχλωροοξικό οξύ (DBCA)

Τριβρωμοοξικό οξύ (TBA)

Αλογονοακετονιτρίλια (HANs)

Μονοχλωροακετονιτρίλιο (MCAN)

Τριχλωροακετονιτρίλιο (TCAN)

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)

3.1.1 Τριαλογονοπαράγωγα του μεθανίου (THM)

Η πρώτη ομάδα αλογονομένων παραπροϊόντων απολύμανσης του νερού (DBPs) που προσδιορίστηκε στο επεξεργασμένο πόσιμο νερό ήταν τα τριαλογονοπαράγωγα του μεθανίου (THMs). Η τάξη των παραπροϊόντων των THM απαρτίζεται από τέσσερα ξεχωριστά χημικά είδη: το χλωροφόρμιο, το βρωμοδιχλωρομεθάνιο, το διβρωμοχλωρομεθάνιο και το βρωμοφόρμιο. Αυτή η ανακάλυψη συνέπεσε χρονικά με ευρήματα που συσχέτιζαν την χλωρίωση του νερού με τον καρκίνο. Έρευνα υπό την καθοδήγηση της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) κατέληξε στον εντοπισμό του χλωροφορμίου στο χλωριωμένο πόσιμο νερό. Η παρουσία των ιόντων βρωμίου στο νερό και η οξειδωσή τους από το χλώριο σε υποβρωμιώδες οξύ θεωρήθηκαν η αιτία του σχηματισμού των βρωμιωμένων THMs. Αποδείχθηκε επίσης ότι οι συγκεντρώσεις των THMs στο τελικό νερό συσχετίζονται με την συγκέντρωση του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) στο ανεπεξεργαστο νερό. Τα συστατικά της φυσικής οργανικής ύλης (NOM), π.χ. χουμικές ουσίες, που αποτελούν το κύριο μέρος του TOC στα περισσότερα νερά, αναγνωρίστηκαν ως οι κύριες πρόδρομες ουσίες, με τις οποίες αντιδρούν το χλώριο και το βρώμιο και παράγουν τα THMs. Ο ακριβής σχηματισμός των THM από τις χουμικές ενώσεις με επίδραση του χλωρίου δεν είναι απόλυτα γνωστός. Η ύπαρξη ορισμένων χημικών ομάδων στην περιφέρεια των μεγαλομορίων φαίνεται ότι εξηγεί το σχηματισμό των THM ^{[3][17][18]}.

3.1.1.1 Χλωροφόρμιο

Το 1976 το χλωροφόρμιο αναγνωρίστηκε ως καρκινογόνος ουσία από το Εθνικό Ινστιτούτο Καρκίνου των ΗΠΑ, γεγονός που οδήγησε τελικά στην νομοθετική ρύθμιση από την EPA της μέγιστης επιτρεπόμενης συγκέντρωσης των ολικών τριαλογονοπαραγώγων του μεθανίου (TTHMs) στα 0,10 mg/l (100 µg/l). Έχει αναφερθεί ότι το περισσότερο χλωροφόρμιο που βρίσκεται στο νερό τελικά μεταφέρεται στον αέρα ως αποτέλεσμα της πτητικότητάς του. Το χλωροφόρμιο εμφανίζεται στο πόσιμο νερό είτε μέσω της παρουσίας του απευθείας στην πηγή, είτε μέσω σχηματισμού κατά την χλωρίωση. Ο βαθμός και ο ρυθμός δημιουργίας του χλωροφορμίου κατά την χλωρίωση είναι συνάρτηση των συγκεντρώσεων του χλωρίου και των χουμικών ενώσεων, της θερμοκρασίας και του pH. Τα επίπεδα κυμαίνονται ανάλογα με την εποχή, με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά το καλοκαίρι από ότι τον χειμώνα ^{[18][19]}.

Γενικά, το χλωροφόρμιο έχει τα ίδια συμπτώματα τοξικότητας στους ανθρώπους όπως και στα ζώα. Στους ανθρώπους η αναισθησία μπορεί να επιφέρει θάνατο ως αποτέλεσμα αναπνευστικής και καρδιακής αρρυθμίας και αποτυχίας. Νέκρωση των νεφρικών σωληνίων και δυσλειτουργία των νεφρών έχουν επίσης παρατηρηθεί σε ανθρώπους. Η χαμηλότερη τιμή στην οποία έχει παρατηρηθεί τοξικότητα στο σκύωτι από επαγγελματική έκθεση σε χλωροφόρμιο βρίσκεται στο εύρος 80-160 mg/m³ (με περίοδο έκθεσης μικρότερη από 4 μήνες) σύμφωνα με μια μελέτη, και στο εύρος 10-1000 mg/m³ (με έκθεση 1-4 χρόνια) σύμφωνα με άλλη μελέτη. Ο μέσος όρος της στοματικής θανατηφόρας δόσης για έναν ενήλικα έχει υπολογιστεί ότι είναι περίπου 45 g, αλλά μπορεί να προκύψουν μεγάλες διαφορές, ανάλογα με την ευαισθησία των ατόμων ^[18].

Σε 19 μελέτες που έγιναν για την τοξικότητα της χλωρίωσης είχαν εστιάσει ειδικά στο χλωροφόρμιο και τα αποτελέσματα ήταν τα εξής : Για μια δόση χλωροφορμίου συγκεντρώσεως 1 µg/L, ο κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου, στο ανώτερο επίπεδο εμπιστοσύνης 95% για έναν άνθρωπο με μια διάρκεια ζωής 70 ετών και μια κατανάλωση ενός λίτρου νερού την ημέρα είναι περίπου 1 στα 10 εκατομμύρια. Στο επίπεδο συγκέντρωσης των 100 µg/L των ΤΜΗ, ο κίνδυνος αυξάνεται σε 1 στα 100.000 ^[21].

Η επίσημη αρχή προστασίας περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (USEPA) αξιολογώντας πρόσφατες έρευνες κατέληξε στο ότι το χλωροφόρμιο παρόλο που σε υψηλές συγκεντρώσεις πιθανότατα είναι καρκινογόνο, σε συγκεντρώσεις όμως που είναι εντός των προβλεπόμενων από την USEPA (EPA, 2002a), οι πιθανότητες για να προκαλέσει καρκίνο στον άνθρωπο είναι εξαιρετικά μικρές ^[19].

3.1.1.2 Διχλωβρωμομεθάνιο

Έχει αναφερθεί ότι το διχλωροβρωμομεθάνιο δημιουργεί καρκινογένεση σε αρουραίους και σε ποντίκια, ενώ στα θηλυκά αύξησε το βάρος του σκύωτιού, προκάλεσε κυτταρικό πολλαπλασιασμό και υπομεθυλίωση του DNA στο σκύωτι όπως και το χλωροφόρμιο, αλλά η βλάβη στο σκύωτι ιστορικά έδειχνε διαφορετική. Ακόμη έχει επιδείξει κάποια γενοτοξική δραστηριότητα (ανωμαλίες στα χρωμοσώματα) σε κύτταρα θηλαστικών και έχει προκαλέσει ανταλλαγές στα αδερφικά χρωμοσώματα (SCEs) του νωτιαίου μυελού των οστών. Κατά τις τελευταίες εκτιμήσεις τα στοιχεία για καρκινογένεση του διχλωροβρωμομεθανίου θεωρούνται επαρκή και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα για καρκινογένεση στον άνθρωπο ^[18].

Επίσης μια μελέτη σε γυναίκες που έλαβε χώρα σε διάφορες κοινότητες της Καλιφόρνιας (μελέτη των Waller et al. 1998), από όλα τα παραπροϊόντα, βρήκε την μεγαλύτερη συσχέτιση με

το διχλωροβρωμομεθάνιο. Επειδή οι διαθέσιμες μελέτες έχουν σημαντικούς περιορισμούς, η USEPA και το American Water Works Association Research Foundation (WWARF) είναι χορηγοί υποστήριξης για την εκπόνηση μιας νέας επιδημιολογικής μελέτης βασισμένης στη μελέτη των Waller et al. 1998. Αυτή η μελέτη, που θα είναι υπό την επίβλεψη των ερευνητών του πανεπιστημίου της βόρειας Καρολίνας, αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2005^[19].

3.1.1.3 Διβρωμοχλωρομεθάνιο

Το διβρωμοχλωρομεθάνιο είναι μεταλλαξιογόνο στα βακτήρια και γενετοξικό σε κύτταρα θηλαστικών. Τα δεδομένα που υπάρχουν υπονοούν κάποια πιθανή γενετοξικότητα για το διβρωμοχλωρομεθάνιο. Σύμφωνα με τις τελευταίες εκτιμήσεις του Διεθνούς Πρακτορείου για την Έρευνα του καρκίνου (IARC), τα αποδεικτικά στοιχεία για καρκινογένεση σε πειραματόζωα θεωρήθηκαν περιορισμένα και το διβρωμοχλωρομεθάνιο δεν θεωρείται ότι προκαλεί καρκινογένεση στους ανθρώπους^[18].

3.1.1.4 Βρωμοφόρμιο

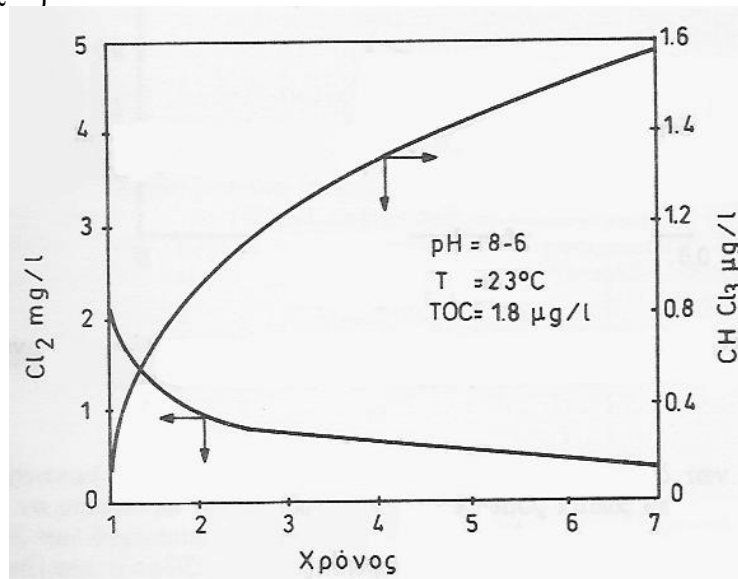
Όπως και το βρωμοδιχλωρομεθάνιο, το βρωμοφόρμιο προκάλεσε όγκους στο παχύ έντερο των αρουραίων, αδενωματικούς πολύποδες και αδενοκαρκινώματα. Το συκώτι είναι το κύριο όργανο που έχει πιθανότητα καρκινογένεσης και για τους αρουραίους αλλά και για τα ποντίκια. Σε ισομοριακές δόσεις το βρωμοφόρμιο δείχνει να είναι λιγότερο τοξικό για το συκώτι του θηλυκού ποντικιού από το χλωροφόρμιο παρόλο που το προφίλ της τοξικότητας ήταν περίπου το ίδιο. Υπήρχαν κάποιες ενδείξεις γενετοξικότητας SCEs για το βρωμοφόρμιο σε κύτταρα θηλαστικών. Στην τελευταία εκτίμηση IARC οι ενδείξεις στα ζώα ήταν περιορισμένες και το βρωμοφόρμιο δεν θεωρήθηκε ότι δημιουργεί με βεβαιότητα καρκινογένεση στους ανθρώπους^[18].

3.1.1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχηματισμό των THM

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω η τάξη των παραπροϊόντων των THM απαρτίζεται από τέσσερα ξεχωριστά χημικά είδη : το χλωροφόρμιο, το διχλωροβρωμομεθάνιο, το διβρωμοχλωρομεθάνιο και το βρωμοφόρμιο. Η συγκέντρωση καθενός από αυτά τα τέσσερα είδη εξαρτάται από την συγκέντρωση των ιόντων του βρωμίου, τη συγκέντρωση του TOC, από την θερμοκρασία, το pH, την απορρόφηση ακτινοβολίας UV στα 254nm, την δόση του χλωρίου και από το χρόνο αντίδρασης. Η αναλογία της συγκέντρωσης των βρωμιόντων στο νερό της πηγής προς την δόση του χλωρίου που προστίθεται επηρεάζει τη δημιουργία αυτών των χημικών ειδών με μια μετατόπιση προς βρωμιωμένα παράγωγα όσο αυξάνεται η αναλογία δόσης των βρωμιόντων. Επειδή η δόση του χλωρίου είναι τυπικά ανάλογη με την συγκέντρωση οργανικού άνθρακα, η αφαίρεση του οργανικού άνθρακα θα μειώσει την απαιτούμενη δόση χλωρίου και θα αυξήσει την αναλογία των βρωμιόντων προς το υδατικό χλώριο^{[3] [18]}.

Έρευνες έδειξαν ότι μειώνοντας την συγκέντρωση οργανικού άνθρακα πριν από την απολύμανση με χλώριο μειώνεται η συγκέντρωση των συνολικών THM, δηλαδή το άθροισμα των συγκεντρώσεων των τεσσάρων ενώσεων. Παρόλο που η ολική συγκέντρωση THM μειώνεται με την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα η συγκέντρωση των βρωμιωμένων THM και άλλων βρωμιωμένων ενώσεων αυξάνεται στην περίπτωση ύπαρξης βρωμιόντων στο νερό.

Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται ο σχηματισμός των TAM και κυρίως του χλωροφορμίου (σχηματίζεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τα άλλα THM), ως εξάρτηση της κατανάλωσης του χλωρίου ^[3].



Σχήμα 3.1 Κατανάλωση χλωρίου και σχηματισμός THM ^[3]

3.1.2 Αλογονομένα Οξικά Οξέα (HAAs)

Μετά την αναγνώριση της παρουσίας των THMs στο χλωριωμένο νερό, μια δεύτερη μεγάλη ομάδα αλογονομένων παραπροϊόντων χλωρίωσης DBPs αναγνωρίστηκε: τα αλογονομένα οξικά οξέα (HAAs, πίνακας 3.2) και συγκεκριμένα το διχλωροξικό οξύ και το τριχλωροξικό οξύ (DCAA, TCAA). Τα αλογονομένα οξικά οξέα είναι τυπικά η μεγαλύτερη ομάδα παραπροϊόντων της χλωρίωσης στο πόσιμο νερό. Τα HAAs σχετίζονται με τα THMs η συγκέντρωση των οποίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την συγκέντρωση των HAAs αποφεύγοντας έτσι μεγάλο μέρος αναλύσεων ^{[16][18]}.

Το τριχλωροξικό οξύ TCAA είναι επίσης ένα βιομηχανικό χημικό που χρησιμοποιείται και ως παρασιτοκτόνο. Μπορεί να βρεθεί σε πόσιμο νερό από άλλες πηγές εκτός από την χλωρίωση. Άλλα αλογονομένα CBPs ανιχνεύονται συχνά στο πόσιμο νερό σε μικρότερες συγκεντρώσεις, όπως τα αλογονομένα ακετονιτρίλια, οι αλογονομένες κετόνες, η χλωροπικρίνη, το κυανοχλωρίδιο και ο υδρίτης της χλωράλης. Ορισμένα από τα παραπάνω CBPs έχουν αποδειχθεί ότι επιδρούν δυσμενώς στην υγεία, όπως το διχλωροξικό οξύ (DCAA) που η καρκινογόνος δράση του θεωρείται πολύ ισχυρότερη από οποιοδήποτε από τα THMs, με βάση πειράματα σε ζώα ^{[3][18][17]}.

Πίνακας 3.2 Αλογονοπαράγωγα του οξικού οξέος (HAAs) ^[18]

Αλογονοπαράγωγα του οξικού οξέος (HAAs)

- Μονοχλωροοξικό οξύ (MCA)
- Μονοβρωμοοξικό οξύ (MBA)
- Διχλωροοξικό οξύ (DCA)
- Βρωμοχλωροοξικό οξύ (BCA)
- Τριχλωροοξικό οξύ (TCA)
- Διβρωμοοξικό οξύ (DBA)
- Διβρωμοχλωροοξικό οξύ (DBCA)
- Τριβρωμοοξικό οξύ (TBA)

Μια έρευνα που έλαβε χώρα για την δημιουργία των ΗΑΑ κατά την διάρκεια της χλωρίωσης έδειξε ότι δεν είναι δυνατή η αποφυγή της δημιουργίας τους εάν στο νερό υπάρχουν και οργανικά στοιχεία.. Έχουν ανιχνευτεί σε χλωριωμένα πόσιμα νερά διεθνώς, σε συγκεντρώσεις από 3,8 έως 63μg/l ^[18].

3.1.2.1 Τριχλωροξικό οξύ (TCA)

Στα πρώτα πειράματα για πιθανή καρκινογένεση του TCA σε πειραματόζωα (ποντίκια), βρέθηκε ότι το TCA μέσω του μηχανισμού συμπυκνωμένου υπεροξειδίου προκαλεί καρκινογένεση στο συκώτι των ποντικών και των αρουραίων. Το TCA από ότι έχει αναφερθεί δεν είναι γενοτοξικό αλλά έχει δείξει κάποιες γενοτοξικές ιδιότητες στα ποντίκια και δεν είναι μεταλλαξιογόνο στα βακτήρια. Αναγωγική αποχλωρίωση του TCA αποφέρει κάποια ποσότητα διχλωροξικού οξέος σε ποντίκια και αρουραίους, ως ενδιάμεσο μεταβολίτη. Οι ενδείξεις για καρκινογένεση του TCA από πειράματα σε πειραματόζωα, θεωρούνται περιορισμένες και το TCA δεν θεωρείται καρκινογόνος για τον άνθρωπο ^[18].

3.1.2.2 Διχλωροξικό οξύ

Το διχλωροξικό οξύ είναι επίσης ηπατοκαρκινογόνος για τα αρσενικά και τα θηλυκά ποντίκια. Σε συχνά επαναλαμβανόμενες δόσεις, προκάλεσε επιπρόσθετα βλάβη στα νεφρά και νευροτοξικότητα στους αρουραίους. Το συκώτι είναι το αρχικό όργανο στόχος της τοξικότητας. Το DCA έχει δώσει συγκεχυμένα αποτελέσματα σε διαφορετικές γενοτοξικές δοκιμές υπονοώντας κάποια πιθανή γενοτοξικότητα. Κατά τη διάρκεια αναλύσεων για το φάσμα της μετάλλαξης του DCA σε γονίδια *ras*, προκάλεσε όγκους στο συκώτι των αρσενικών ποντικών αλλά παρόλα αυτά δεν έδωσε στοιχεία για την γενοτοξική επίδραση, αλλά για την παρότρυνση της ανάπτυξης κάποιας υποκατηγορίας αυθαίρετων όγκων. Στην τελευταία εκτίμηση IARC τα στοιχεία για καρκινογένεση από το DCA σε πειραματόζωα θεωρούνται επαρκή και το DCA θεωρείται ότι είναι πιθανώς καρκινογόνος για τον άνθρωπο ^[18].

3.1.3 Αλογονομένα Ακετονιτρίλια (HANs)

Τα αλογονομένα ακετονιτρίλια (πίνακας 3.3), έχουν αναγνωριστεί στο περιβάλλον μόνο ως παραπροϊόντα της απολύμανσης σε υπόγεια και επιφανειακά νερά. Πιθανοί πρόδρομοι για την δημιουργία αυτών των ουσιών κατά την διαδικασία της χλωρίωσης είναι τα άλγη, οι χουμικές ουσίες και πρωτεϊνούχα συστατικά (τα οποία υπάγονται στη φυσική οργανική ύλη). Τα βρωμιωμένα ακετονιτρίλια δημιουργούνται όταν υπάρχουν στο νερό ιόντα του βρωμίου κατά την διάρκεια της χλωρίωσης. Τα αλογονομένα ακετονιτρίλια δεν έχουν ανιχνευτεί μέχρι τώρα σε ανεπεξέργαστες πηγές νερού ^{[3][18]}.

Τα αλογονομένα ακετονιτρίλια είναι γενοτοξικά στα κύτταρα των θηλαστικών. Έχουν επίσης αναφερθεί μεταλλαξιογόνες και καρκινογόνες ιδιότητες των αλογονομένων ακετονιτρίλιων (διβρωμοακετονιτρίλιο, βρωμοχλωροακετονιτρίλιο και μονοχλωροακετονιτρίλιο) και των αλογονομένων κετόνων (1,1-διχλωροπροπανόνη και 1,1,1-τριχλωροπροπανόνη) σε πειράματα που έγιναν σε ποντίκια. Ακόμη έχει αναφερθεί ότι το διβρωμοακετονιτρίλιο και το βρωμοχλωροακετονιτρίλιο είναι μεταλλαξιογόνα στη σαλμονέλα, ενώ το τριχλωροακετονιτρίλιο είναι τερατογόνο σε αρουραίους ^[18].

Πίνακας 3.3 Αλογονοακετονιτρίλια (HANs) ^[18]

Αλογονοακετονιτρίλια (HANs)

Μονοχλωροακετονιτρίλιο (MCAN)

Τριχλωροακετονιτρίλιο (TCAN)

Διχλωροακετονιτρίλιο (DCAN)

Μονοβρωμοακετονιτρίλιο (MBAN)

Βρωμοχλωροακετονιτρίλιο (BCAN)

Διβρωμοακετονιτρίλιο (DBAN)

3.1.3.1 Μονοχλωροακετονιτρίλιο (MCAN)

Το MCAN χρησιμοποιήθηκε ως παρασιτοκτόνο, και ανιχνεύτηκε επίσης σε χλωριωμένα χουμικά οξέα. Αυτή η ένωση έχει καταχωρηθεί στην ομάδα 3 του Διεθνούς Πρακτορείου για την Έρευνα του καρκίνου (IARC) και δεν έχει αποδειχτεί ότι είναι καρκινογενές για τον άνθρωπο^[18].

3.1.3.2 Διχλωροακετονιτρίλιο (DCAN)

Το DCAN είναι το πιο συχνά εμφανιζόμενο αλογονοπαράγωγο του ακετονιτρίλιου στο πόσιμο νερό. Το DCAN ανιχνεύτηκε και σε ελληνικά νερά. Κανένα στοιχείο δεν αποδεικνύει μέχρι τώρα ότι το DCAN είναι καρκινογενές στα ζώα ή στον άνθρωπο αλλά ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) έθεσε προσωρινό ανώτατο όριο για το πόσιμο νερό 90 µg/l το 1994^{[17][18]}.

3.1.3.3 Τριχλωροακετονιτρίλιο (TCAN)

Το τριχλωροακετονιτρίλιο έχει χρησιμοποιηθεί ως εντομοκτόνο και έχει ανιχνευτεί σε διαλύματα χλωριωμένων χουμικών οξέων και σε δείγματα νερού. Έχει ανιχνευτεί σε συγκέντρωση 0,1 µg/l σε χλωριωμένο νερό στη Γαλλία καθώς επίσης στην Κορέα σε συγκέντρωση έως 2.7 µg/l και στην Ελλάδα σε συγκέντρωση έως 1 µg/l. Η ένωση αυτή θεωρείται ως μη καρκινογενής αλλά το προσωρινό όριο που έθεσε ο WHO για το πόσιμο νερό ήταν 1 µg/l το 1994. Αυτή η τιμή μπορεί να θεωρηθεί πολύ μικρή σε σύγκριση με την τιμή για το DCAN που είναι 90 µg/l. Αυτό μάλλον οφείλεται στην ισχυρή εμβρυοτοξικότητα που παρουσίασε το TCAN στους αρουραίους^{[17][18]}.

3.1.3.4 Μονοβρωμοακετονιτρίλιο (MBAN)

Το MBAN έχει ερευνηθεί πολύ λίγο και γι' αυτό δεν αναφέρεται στην Καταγραφή Τοξικών Επιδράσεων Χημικών Ουσιών ούτε στην αναφορά του IARC^[18].

3.1.3.5 Διβρωμοακετονιτρίλιο DBAN

Το DBAN ανιχνεύτηκε σε χλωριωμένα δείγματα νερού που προέρχονταν από υπόγεια και επιφανειακά νερά. Βρέθηκε επίσης σε δείγματα πόσιμου νερού, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονταν από 0,2 έως 2,5 µg/l. Η ανώτερη τιμή συγκέντρωσης για το πόσιμο νερό που τέθηκε προληπτικά από τον WHO ήταν 100 µg/l το 1994^[18].

3.1.3.6 Βρωμοχλωροακετονιτρίλιο (BCAN)

Το BCAN ανιχνεύτηκε σε χλωριωμένα υπόγεια και επιφανειακά νερά, σε αποθηκευμένο χλωριωμένο νερό ποταμών και σε χλωριωμένα δείγματα πόσιμου νερού. Μια μελέτη έδειξε την παρουσία BCAN σε 35 δείγματα που πάρθηκαν στις Η.Π.Α. κατά την άνοιξη, το καλοκαίρι, το φθινόπωρο και το χειμώνα σε συγκεντρώσεις από 0,5 έως 0,7 µg/l. Σε μια άλλη μελέτη οι συγκεντρώσεις του BCAN που βρέθηκαν σε δείγματα από μονάδα επεξεργασίας νερού (που περιλάμβανε χλωρίωση) ήταν από 0,2 έως 10 µg/l. Επίσης έχει ανιχνευτεί σε χλωριωμένα νερά στις ΗΠΑ (0.5-0.7 µg/l), στον Καναδά (έως 0.5 µg/l), στην Ισπανία 1.3-4.3 µg/l) και στην Κορέα (έως 7.19 µg/l). Λόγω της έλλειψης στοιχείων για τις επιπτώσεις του BCAN στην υγεία, ο WHO δεν έθεσε όρια στο πόσιμο νερό ^[18].

3.1.4 Αλογονομένες Κετόνες (HKs)

Οι αλογονομένες κετόνες στο σύνολό τους περιλαμβάνουν την 1,1-Διχλωροπροπανόνη, την 1,3-Διχλωροπροπανόνη και την 1,1,1-Τριχλωροπροπανόνη και παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4 Αλογονοακετονιτρίλια (HKs) ^[18]

Αλογονοκετόνες (HKs)
1,1-Διχλωροπροπανόνη (1,1-DCP)
1,3-Διχλωροπροπανόνη (1,3-DCP)
1,1,1-Τριχλωροπροπανόνη (1,1,1-TCP)

3.1.4.1 1,3-Διχλωροπροπανόνη

Η 1,3-διχλωροπροπανόνη είναι άχρωμο και γλοιώδες υγρό, με οσμή παρόμοια με αυτή του χλωροφορμίου. Μπορεί να ελευθερωθεί με τις αέριες εκπομπές ή τα υγρά απόβλητα κατά τις διαδικασίες παραγωγής και χρήσης του. Έχει ανιχνευθεί στα υγρά απόβλητα των βιομηχανιών παραγωγής γλυκερόλης και αλουδρίνης. Χρησιμοποιείται ως διαλύτης για σκληρές ρητίνες και νιτροκυτταρίνες. Επίσης, στην παραγωγή φωτογραφικών χημικών και βερνικιών, καθώς κι ως συνεκτικό μέσο υδατοχρωμάτων. Χρησιμοποιείται κι ως σταυροδεσμός κατά την οργανική σύνθεση.(Θ. Λέκκας, 1998) Για την 1,3-διχλωροπροπανόνη δεν έχουν αναφερθεί επιδράσεις καρκινογένεσης ή τοξικότητας στους υδατικούς οργανισμούς ^[18].

3.1.4.2 1,1-Διχλωροπροπανόνη

Έχει ανιχνευτεί σε χλωριωμένα νερά, σε πολλές χώρες, στην Ευρώπη αλλά και στην Αμερική, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,1 έως 8,8µg/l.. Έχουν αναφερθεί καρκινογόνες και μεταλλαξιογόνες επιδράσεις σε ποντίκια ^[18].

3.1.4.3 1,1,1-Τριχλωροπροπανόνη

Έχει ανιχνευτεί σε χλωριωμένα νερά, σε πολλές χώρες, στην Ευρώπη αλλά και στην Αμερική, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,3 έως 19,5µg/l.(Lekkas, 2003) Έχουν

αναφερθεί καρκινογόνες και μεταλλαξιόγόνες επιδράσεις σε ποντίκια (Bull & Robinson, 1986). Στο νερό διασπάται προς χλωροφόρμιο ^[18].

3.2 Κίνδυνοι υγείας από τα 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 αναφέρθηκε ότι το χλωριωμένο πόσιμο νερό περιέχει χλωροφόρμιο ως παραπροϊόν. Επειδή το χλωροφόρμιο προκαλεί καρκινογένεση σε ζώα, άρχισε να δημιουργείται μια ανησυχία για τον κίνδυνο καρκίνου που σχετίζεται με τα παραπροϊόντα του χλωρίου ^[18]. Η τοξικότητα της χλωρίωσης εμφανίζεται να είναι η έμμεση τοξικότητα των παραπροϊόντων που παράγονται από τις αντιδράσεις του χλωρίου με τις οργανικές ενώσεις παρά μια 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 θεσπιστεί όρια και κανονισμοί για τον έλεγχό τους. Διάφορα παραπροϊόντα χλωρίωσης χαρακτηρίζονται από την επίσημη προστασία του περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA) ως πιθανές καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο (βρωμοδιχλωρομεθάνιο, βρωμοφόρμιο, και διχλωροξικό οξύ), και τα CBPs στο σύνολό τους σύμφωνα με μια πληθώρα επιστημονικών στοιχείων μπορούν να προκαλέσουν γεννητικές ανωμαλίες και να επιφέρουν ζημιά στην αναπαραγωγή ^[20].

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 ^[3].

Μια πληθώρα επιστημονικών στοιχείων, σχεδόν 30 επιδημιολογικές μελέτες, συνδέουν τα παραπροϊόντα χλωρίωσης με τους αυξανόμενους κινδύνους για εμφάνιση καρκίνου. Ένας αναπτυσσόμενος τομέας της επιστήμης συνδέει τα CBPs με τις αποβολές και τις γεννητικές ανωμαλίες, συμπεριλαμβανομένων των δυσλειτουργιών του νευρικού συστήματος και το χαμηλό βάρος γέννησης στα νεογέννητα. 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 και ίσως δεν θα μπορούσαν ποτέ να εξακριβωθούν ^[20].

3.2.1 Καρκίνος

Η EPA σε μια έκθεση που δημοσίευσε το 2003, εκτίμησε ότι το μέγιστο όφελος στην υγεία των καταναλωτών από τη θέσπιση των νέων ορίων για τα THM (ppb 80, που μειώνεται από τα τρέχοντα πρότυπα των 100 ppb) είναι μια πιθανή μείωση 2.332 περιπτώσεων καρκίνου της ουροδόχου κύστης ετησίως από τις εκτιμώμενες 9.300 περιπτώσεις που συμβαίνουν ετησίως και προκαλούνται από τα THMs σε συγκέντρωση 100ppb. Δηλαδή με μια μείωση στη συγκέντρωση των THM κατά 20ppb μειώνονται περίπου 25% ετησίως τα νέα περιστατικά καρκίνου της ουροδόχου κύστης. Η USEPA έπειτα διαπίστωσε ότι ο κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου της ουροδόχου κύστης αφορά μόνο ένα κομμάτι από το συνολικό πιθανό κίνδυνο που συνδέεται με τα CBPs στο πόσιμο νερό" (63 FR 69390-69476). Άλλα προβλήματα υγείας που παρουσιάζονται από την έκθεση στα CBPs πιθανόν να περιλαμβάνουν και άλλα είδη καρκίνων

καθώς και να προκαλούν διαταραχές στη νεφρά και στη σπλήνα και νευροτοξικές επιδράσεις (63 FR 69390-69476). Στο σύνολο των μελετών που αξιολογήθηκαν από την USEPA, οι εκτιμήσεις για τους ανθρώπους με αυξημένο κίνδυνο για εμφάνιση καρκίνου βασίζονται σε συστήματα επεξεργασίας νερού για τα οποία το μέσο επίπεδο των THM σε ένα διάστημα δώδεκα μηνών ήταν τουλάχιστον 80 μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) ^[20].

Μια πρόσφατη επιδημιολογική μελέτη (European Urology Supplements 4 (2005)) για την οποία συνεργάστηκαν σαράντα ιταλικά ουρολογικά κέντρα, μελέτησε τη συσχέτιση του καρκίνου της ουροδόχου κύστης με την χλωρίωση του νερού λαμβάνοντας υπ' όψη και παράγοντες όπως το κάπνισμα, το άγχος, η διατροφή, η μόλυνση της ατμόσφαιρας ή συνθήκες εργασίας που πρέπει να αξιολογηθούν ^[21].

Η ανάλυση περιορίστηκε στους ασθενείς που επηρεάστηκαν από το μέσο επιφανειακό καρκίνο της ουροδόχου κύστης TCCB. Συγκεντρώθηκαν λεπτομερή στοιχεία για την ηλικία, το φύλο, την κατοικία, την απασχόληση, το ενεργό και ενεργητικό κάπνισμα, τους υδάτινους πόρους καθώς και η βαφή μαλλιών. Η κατανομή των προαναφερθέντων περιβαλλοντικών παραγόντων αναλύθηκε σε σχέση με τη δημιουργία όγκου και τα χαρακτηριστικά καρκινογένεσης όπως η πολλαπλότητα και το ιστορικό ^[21].

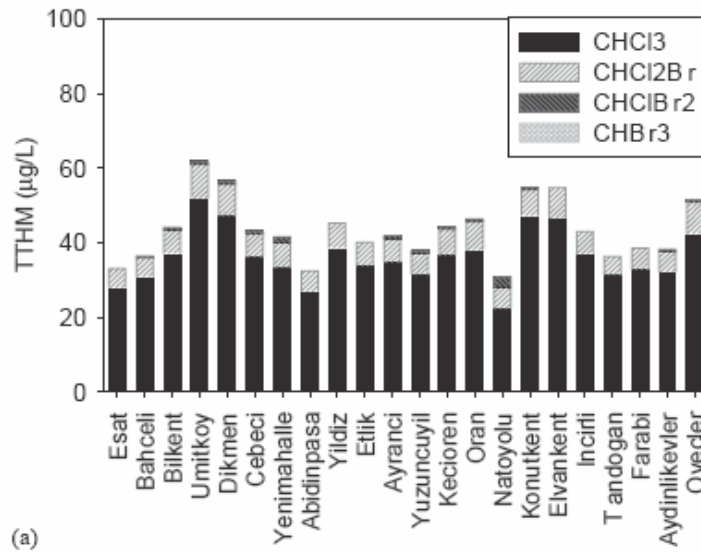
Τα αποτελέσματα της μελέτης έχουν ως εξής: από τους 498 ασθενείς, 303 (60,8%) παρουσίασαν αρχικούς όγκους και 324 (65,1%) πολλαπλάσια τραύματα (multiple lesions). Πάνω από 80% των ασθενών ζούσε σε αστικές περιοχές, 116 (24,2%) ασθενείς απασχολήθηκαν με τη βιομηχανία και 89 (18,4%) με τη γεωργία. Σαράντα ασθενείς δηλαδή το 8.1% χρησιμοποίησαν βαφή μαλλιών. Το κάπνισμα παρατηρήθηκε σε 372 (76%) ασθενείς, με μια μεσαία περίοδο καπνίσματος 30 ετών. Το εμφιαλωμένο νερό ήταν η μόνη πόσιμη παροχή νερού για 206 (43%) ασθενείς για μια μεσαία περίοδο 17 ετών. Στην πολλών μεταβλητών ανάλυση βρέθηκε ένας σημαντικός συσχετισμός μεταξύ της πολλαπλότητας όγκων και της απασχόλησης σε βιομηχανικό και γεωργικό περιβάλλον ($p < 0.03$) και μεταξύ του αριθμού επαναλήψεων και της περιόδου καπνίσματος ($p = 0.005$) αντίστοιχα. Το χλωριωμένο δημοτικό νερό ήταν ο κύριος πόρος συχνότερα για τους μη καπνιστές απ' ό,τι για τους καπνιστές (38% έναντι 29%). Ένας συσχετισμός μεταξύ των υδάτινων πόρων και του καρκίνου της ουροδόχου κύστης στους μη καπνιστές ήταν εμφανής ($p = 0.01$). Κανένας σημαντικός συσχετισμός δεν βρέθηκε μεταξύ της τ-κατηγορίας και του γ-βαθμού και των προαναφερθέντων παραγόντων κινδύνου. Σύμφωνα με την έρευνα οι χλωριωμένοι υδάτινοι πόροι μπορούν να χαρακτηριστούν ως περιβαλλοντικός παράγοντας κινδύνου για την ανάπτυξη καρκίνου της ουροδόχου κύστης ^[21].

Σε μια μελέτη που έγινε στην γειτονική Τουρκία, προσδιορίστηκαν οι ολικές συγκεντρώσεις των THM σε 22 περιφέρειες της Άγκυρας (Σχ 3.2), η οποία προμηθεύεται νερό από τρεις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού το Ivedik, το Pursaklar και το Bayindir ^[15].

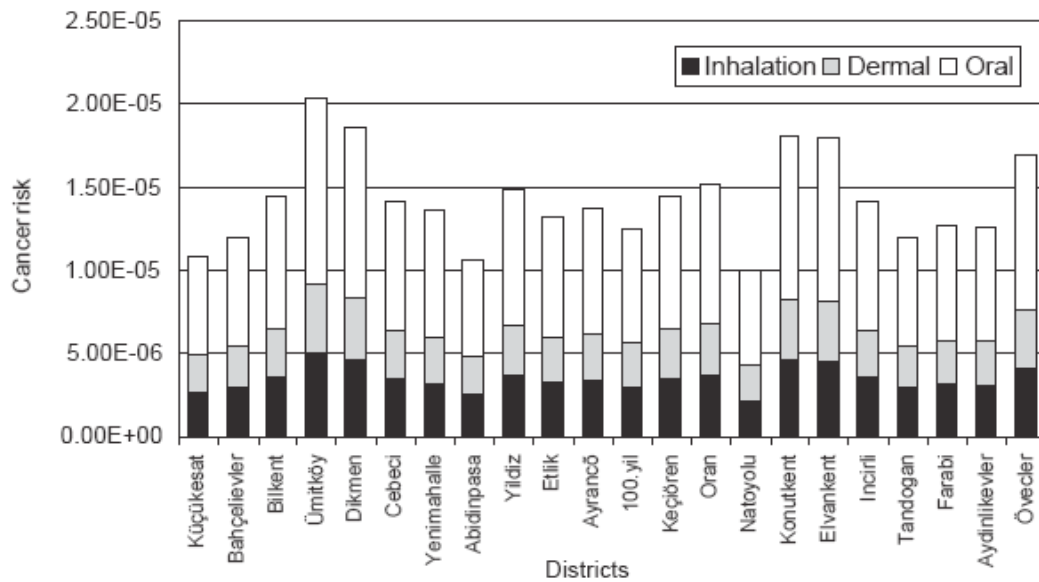
Στο Σχήμα 3.2 παρατηρούμε πως από τα THM την μεγαλύτερη συγκέντρωση βρέθηκε να έχει το χλωροφόρμιο (CHCl_3) σε όλες τις περιφέρειες καθώς και ότι η συγκέντρωση των TTHM δεν ξεπερνά τα όρια που έχουν θέση η USEPA και η ΕΕ.

Επίσης στη μελέτη εκτιμήθηκε ο κίνδυνος καρκίνου από την εισπνοή, την κατάποση και την δερματική επαφή με το νερό. Όπως είναι φανερό στο Σχήμα 3.3, ο υψηλότερος κίνδυνος για την εμφάνιση καρκίνου σχετίζεται με την κατάποση και παρατηρώντας τα σχήματα 3.2 και 3.3 διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μια μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των THM και του κινδύνου εμφάνισης καρκίνου.

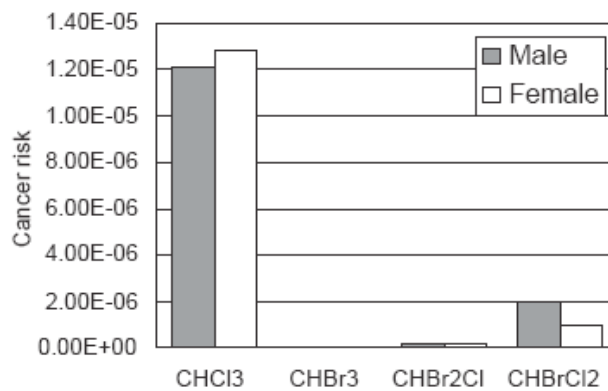
Επίσης προσδιορίστηκε ο κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου στους άνδρες και στις γυναίκες ξεχωριστά σε σχέση με τα THM, από τα οποία όπως παρατηρούμε στο γράφημα 3.4, περισσότερο καρκινογόνο είναι το χλωροφόρμιο και στις δύο ομάδες του πληθυσμού.



Σχήμα 3.2 Ολικές συγκεντρώσεις THM σε 22 περιφέρειες της Αγκυρας [15]



Σχήμα 3.3 Κίνδυνος καρκίνου από χρήσεις του νερού σε 22 περιφέρειες της Αγκυρας [15]



Σχήμα 3.4 Κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου από τα τριαλογονομεθάνια (THM) στις δύο ομάδες πληθυσμού [15]

Οι εκτιμήσεις κινδύνου έδειξαν ότι, αν και τα επίπεδα των THM δεν είναι επάνω από τα όρια που έθεσαν οι USEPA και η ΕΕ, κάθε χρόνο ένας στα πέντε εκατομμύρια κατοίκων της Άγκυρας θα μπορούσε να πάθει καρκίνο από την καθημερινή κατανάλωση νερού και κυρίως από την πόση ^[15].

3.2.2 Αποβολές και γενετικές ανωμαλίες

Τουλάχιστον δέκα σημαντικές επιδημιολογικές μελέτες που έγιναν σε περισσότερες από 287.000 έγκυες γυναίκες (έξι εκ των οποίων απαριθμούνται παρακάτω) καταδεικνύουν υψηλούς κινδύνους για δυσλειτουργίες του νευρικού συστήματος, μειωμένους ρυθμούς ανάπτυξης των εμβρύων, αποβολές, και άλλες δυσμενής επιπτώσεις για τις γυναίκες που πίνουν χλωριωμένο νερό βρύσης. Οι επιστήμονες έχουν βρει υψηλούς κινδύνους που σχετίζονται σε έκθεση των εγκύων ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα THM, της τάξεως των 10ppb αλλά και σε υψηλότερα αλλά νομικά επιτρεπτά επίπεδα των THMs (75ppb), για πάνω από ένα τρίμηνο εγκυμοσύνης ^[20].

Για συγκεντρώσεις σε επίπεδα των 100ppb ή και μεγαλύτερα για τα THMs που βρέθηκαν στο πόσιμο νερό αρκετών πολιτειών των ΗΠΑ (Charleston, SC Omaha, NE Charleston, WV Passaic County, NJ Jackson, MS Pittsburgh & suburbs, PA Newark, NJ San Francisco, CA Washington, DC Maryland Suburbs of Washington, DC (WSSC)) οι επιδημιολογικές μελέτες που έγιναν σε εγκύους παρατήρησαν αυξημένο κίνδυνο για ^[20]:

- δίχало στη στοματική κοιλότητα
- μείωση του ρυθμού ανάπτυξης του εμβρύου
- θάνατος του εμβρύου στη γέννα
- ελαττώματα στο κεντρικό νευρικό σύστημα
- ελαττώματα στο νευρικό σωλήνα του εμβρύου (neural tube defects)
- σημαντικές καρδιακές δυσλειτουργίες στη γέννα
- αποβολή στο πρώτο τρίμηνο
- μικρό σωματικό βάρος γέννησης
- μικρό μήκος σώματος
- μικρή περιφέρεια κεφαλιού

3.3 Οι κανονισμοί που έθεσε η USEPA για τα ασφαλή επίπεδα των παραπροϊόντων απολύμανσης

Η επίσημη αρχή προστασίας περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών, Environmental Protection Agency (USEPA) με κάποιους κανονισμούς καθόρισε τα επίπεδα των παραπροϊόντων από την απολύμανση του νερού (DBPs) στο πόσιμο νερό με βάση τις αποδεδειγμένες επιδράσεις τους στην υγεία. Τα πρώτα όρια που τέθηκαν καθόρισαν ως μέγιστη συγκέντρωση των THM στα 100ppb για συστήματα ύδρευσης που διανέμουν νερό σε πάνω από 10,000 ανθρώπους. Το 1996 σε συνεδρίαση της SDWA (Safe Drinking Water Act), το κογκρέσο ζήτησε από την USEPA να επανακαθορίσει τα επίπεδα που είχε θέσει για τα DBPs σε δύο στάδια. Οι αναθεωρημένοι κανονισμοί έχουν ως σκοπό να μειώσουν τον κίνδυνο από τα DBPs, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι το πόσιμο νερό προστατεύεται από ενδεχόμενη μικροβιακή μόλυνση ^[19].

Τον Δεκέμβριο του 1998 η USEPA εξέδωσε το στάδιο 1 που περιλάμβανε τον αναθεωρημένο κανονισμό για τα παραπροϊόντα από την απολύμανση του νερού (DBPs). Οι κανονισμοί βασίστηκαν σε μια συμφωνία μεταξύ των μελών μιας ομοσπονδιακής συμβουλευτικής επιτροπής που περιελάμβανε τους αντιπροσώπους των Chlorine Chemistry

Council, αξιωματούχους της δημόσιας υγείας, και άλλες αρμόδιες ομάδες. Αυτή η διαφορετική ομάδα εμπειρογνομόνων ανέπτυξε από κοινού ένα σύνολο συστάσεων που μειώνουν επικερδώς τα επίπεδα των DBPs, χωρίς συμβιβασμό στην προστασία από τους μικροβιακούς μολυσματικούς παράγοντες. Στην ανάπτυξη του σταδίου 1 DBP του κανόνας, η USEPA ήταν πολύ προσεκτική για την ενθάρρυνση της χρήσης της εναλλακτικών απολυμαντικών. Η USEPA αναγνώρισε ότι η εναλλακτική χρήση άλλων απολυμαντικών μπορεί να μειώσει τα επίπεδα των THMs και HAAs, αλλά να παράγει άλλα, λιγότερο κατανοητά παραπροϊόντα. Επίσης η USEPA απέφυγε να κάνει συστάσεις που θα ενθάρρυναν τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας να μειώσουν το επίπεδο των απολυμαντικών που ήδη χρησιμοποιούν. Μεγάλα συστήματα ύδρευσης (εκείνα που υδροδοτούν περισσότερο από 10.000 ανθρώπους) απαιτήθηκε να συμμορφωθούν με το στάδιο 1 DBP του κανονισμού μέχρι τον Δεκέμβριο του 2001. Συστήματα που εξυπηρετούν λιγότερους από 10.000 άτομα ζητήθηκε να συμμορφωθούν μέχρι τον Δεκέμβριο του 2003. Δεδομένου ότι το στάδιο 1 του κανονισμού τίθεται σε πλήρη ισχύ, η USEPA ολοκληρώνει τις εργασίες για το 2^ο στάδιο του κανόνα που αφορά τα DBPs. Το στάδιο 2 του κανονισμού αναπτύσσεται ταυτόχρονα με τον κανονισμό LT2 που αφορά την επεξεργασία των επιφανειακών υδάτων, προκειμένου να εξεταστούν οι εναλλαγές κινδύνου μεταξύ του παθογόνου ελέγχου και την έκθεση σε DBPs. Ο κανονισμός LT2 διαπραγματεύεται πρώτιστα με τον έλεγχο του παθογόνου *Cryptosporidium* και άλλων ανθεκτικών στην απολύμανση παθογόνων. Σύμφωνα με τη θεμελιώδη συμφωνία του Σεπτεμβρίου 2000 της συμβουλευτικής επιτροπής στο Principle, τα μέγιστα όρια για τα τριαλογονομεθάνια (THMs) και πέντε από τα αλογοακετονιτρίλια (HAAs) θα παραμείνουν στα 80 ppb και ppb 60 αντίστοιχα. Εντούτοις, το στάδιο 2 του κανονισμού θα περιορίσει επίσης τα επίπεδα των DPB σε συγκεκριμένες θέσεις εντός των συστημάτων επεξεργασίας νερού. Όταν εφαρμόζεται πλήρως ο κανόνας, θα σημαίνει ότι κανένα μέρος του συστήματος διανομής δεν θα επιτραπεί για να υπερβεί τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια, για αυτές τις οργανικές ενώσεις. Η USEPA αναμένει να οριστικοποιήσει το στάδιο 2 του κανόνας το 2004, με συμμόρφωση των συστημάτων επεξεργασίας νερού κατά τη διάρκεια των επόμενων οκτώ ετών ^[19].

3.4 Η οδηγία 98/83/EK του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η οδηγία 98/83/EK του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998 έχει ενσωματωθεί στην Ελληνική Νομοθεσία με τη Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 και έχει στόχο την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στη ρύπανση ή/ και μόλυνση του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, διασφαλίζοντας ότι είναι υγιεινό και καθαρό ^[22].

Σύμφωνα με την οδηγία η οποία άρχισε να εφαρμόζεται από τις 25.12.03, η μέγιστη συγκέντρωση των ολικών τριαλογονομεθανίων ή THMs (χλωροφόρμιο, βρωμοφόρμιο, διβρωμοχλωρομεθάνιο, βρωμοδιχλωρομεθάνιο), ορίζεται στα 100 µg/l. Ακόμη η οδηγία προτρέπει τις συναρμόδιες αρχές να επιδιώκουν την χαμηλότερη τιμή των THMs, χωρίς όμως να θίγεται η απολύμανση. Επίσης επισημαίνεται ότι : για το νερό που παρέχεται από το δίκτυο διανομής, στο σημείο, εντός του κτιρίου ή της κτιριακής εγκατάστασης, στο οποίο βγαίνει από τη βρύση, που χρησιμοποιείται συνήθως για παροχή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, το νερό που παρέχεται από βυτίο, στο σημείο όπου το νερό εξέρχεται από το βυτίο X και για το νερό που χρησιμοποιείται σε επιχείρηση παραγωγής τροφίμων, στο σημείο όπου το νερό χρησιμοποιείται στην επιχείρηση, η τιμή πρέπει να έχει επιτευχθεί το αργότερο, πέντε ημερολογιακά έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας Απόφασης. Η παραμετρική τιμή για τα ολικά

τριαλογονομεθάνια από την έναρξη ισχύος της παρούσας Απόφασης και μέχρι πέντε έτη μετά την έναρξη ισχύος της, είναι 150 µg/l ^[22].

Οι συναρμώδιες αρχές μεριμνούν ώστε να λαμβάνονται όλα τα δέοντα μέτρα για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση της συγκέντρωσης των τριαλογονομεθανίων στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης κατά την περίοδο που απαιτείται για να επιτευχθεί η τήρηση της παραμετρικής τιμής. Όταν εφαρμόζουν μέτρα για την επίτευξη της τιμής αυτής, οι συναρμώδιες αρχές δίνουν προοδευτικά την προτεραιότητα στις περιοχές με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις τριαλογονομεθανίων στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης ^[22].

3.5 Τρόποι μείωσης των παραπροϊόντων χλωρίωσης

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 συμβάλουν 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 περισευούμενη. Οι διαδικασίες οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στην μείωση των παραπροϊόντων χλωρίωσης είναι ^{[18][19]}.

1]. 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 ^{[19][18]}.

2]. Τεχνολογία μεμβρανών

Οι μεμβράνες, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, η χρήση σου τους όμως καταδεικνύει και άριστη αφαίρεση της φυσική οργανικής ουσίας. Η λειτουργία των μεμβρανών στηρίζεται στην υδραυλική πίεση που ωθεί το νερό μέσα από ημιπερατές μεμβράνες η οποίες απορρίπτουν τους περισσότερους μολυσματικούς παράγοντες του νερού. Οι παραλλαγές αυτής της τεχνολογίας περιλαμβάνουν αντίστροφη όσμωση (RO), φιλτράρισμα με νανόφιльтра (χαμηλή πίεση RO), και μικροδιήθηση (συγκρίσιμη με τη συμβατική διήθηση άμμου) ^[19].

3]. Βελτίωση της συμβατικής επεξεργασίας

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

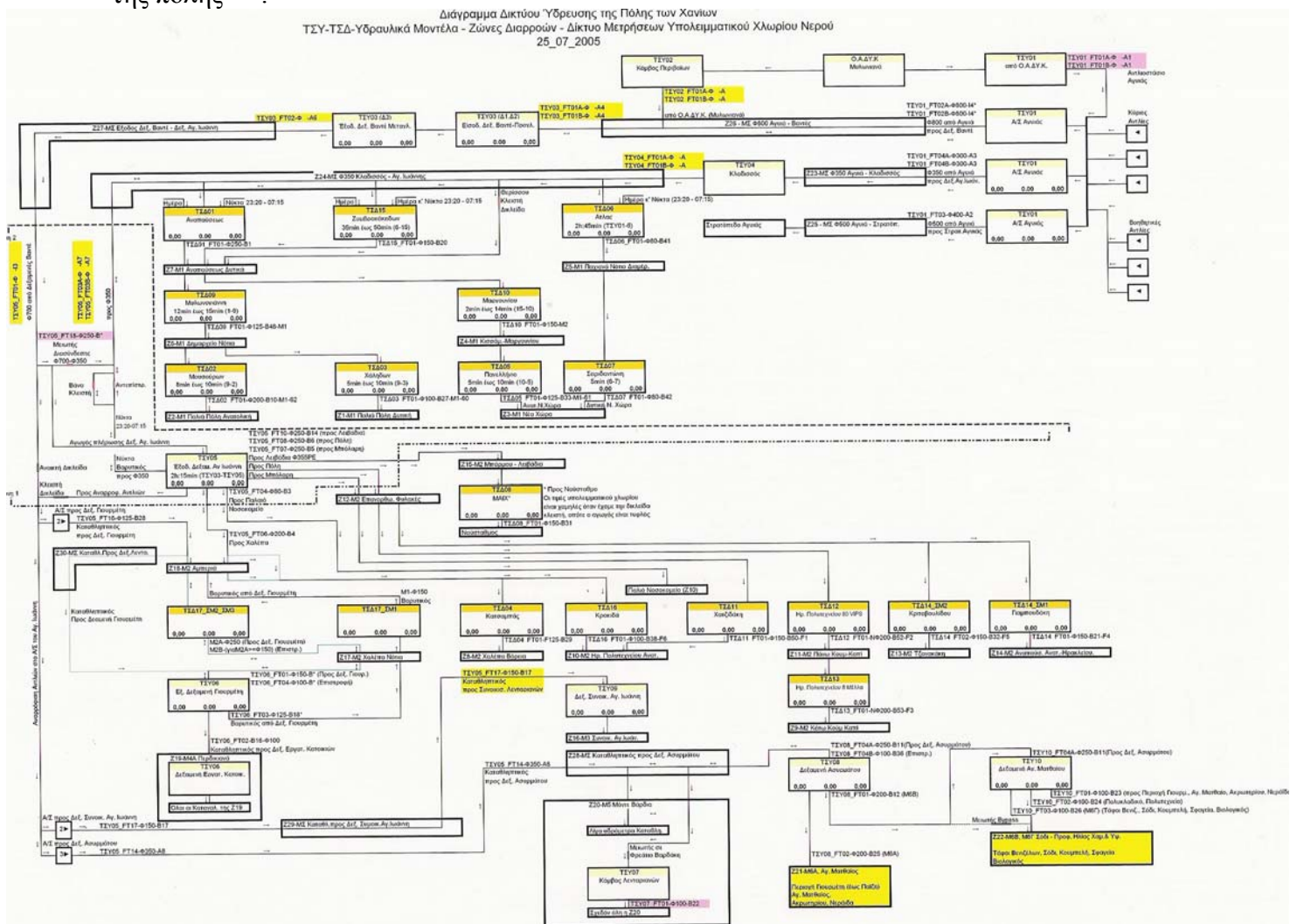
Πάνω από το 50% της απομάκρυνσης των παραπροϊόντων της απολύμανσης μπορεί να επιτευχθεί με την προσαρμογή του pH, την αλλαγή ή μεγαλύτερη δόση του κροκιδωτικού και την βελτίωση των συνθηκών ανάμειξης. Η αποτελεσματικότητα της συμβατικής επεξεργασίας για την απομάκρυνση συγκεκριμένων συνθετικών χημικών εξαρτάται από το εύρος στο οποίο αυτά έλκονται από την σωματιδιακή ύλη. Η υδρόφοβη συνθετική οργανική ύλη απομακρύνεται πιο εύκολα με την συμβατική επεξεργασία ^[18].

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

«ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ»

4.1 Περιγραφή της λειτουργίας και του τεχνολογικού εξοπλισμού του συστήματος αυτόματου εποπτικού ελέγχου SDADA, στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων

Το σύστημα αυτοματισμού SCADA δημιουργήθηκε από την εταιρία TEKA SYSTEMS που είναι μέλος του ομίλου ΒΙΟΧΑΛΚΟ και είναι ένα σύστημα αυτόματου εποπτικού ελέγχου αμφίδρομης, ασύρματης κυρίως, επικοινωνίας. Αποτελείται από 10 σταθμούς Αποχέτευσης (ΤΣΑ), 10 σταθμούς Ύδρευσης (ΤΣΥ) και 20 σταθμούς Διαρροών (ΤΣΔ), οι οποίοι διαιρούν το Δήμο Χανίων σε 30 Ζώνες προκειμένου να δημιουργηθεί το μαθηματικό μοντέλο των Διαρροών της πόλης [23].



Σχήμα 4.1 Το δίκτυο ύδρευσης της πόλης των Χανίων με τους τοπικούς σταθμούς του συστήματος SCADA [26]

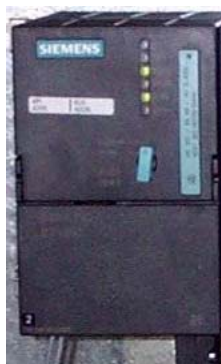
Η επικοινωνία με τους σταθμούς γίνεται κυρίως ασύρματα μέσω Modems (Radio Modems, Leased Line Modes, Dial Up Modems) χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο επικοινωνίας 3964R. Το σύστημα επικοινωνιών είναι πλήρως παραμετροποιημένο και μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί οποιαδήποτε παράμετρος του, χωρίς, να επηρεασθεί το υπόλοιπο σύστημα ^[23].

Κάθε τοπικός σταθμός έχει δυο είδη επικοινωνίας: την Πρωτεύουσα και τη Δευτερεύουσα επικοινωνία. Ο εξωτερικός πίνακας είναι το πρώτο πράγμα που βλέπουμε μόλις επισκεφτούμε το τοπικό σταθμό. Βέβαια τέτοιοι εξωτερικοί πίνακες υπάρχουν μόνο στους τοπικούς σταθμούς που δεν είναι στεγασμένοι, δηλαδή σε τοπικούς σταθμούς που είναι μικροί και είναι τοποθετημένοι συνήθως στην άκρη κάποιου δρόμου, πάνω σε κάποιο πεζοδρόμιο. Τέτοιους πίνακες θα συναντήσουμε στους σταθμούς ύδρευσης ΤΣΥ02, ΤΣΥ04 και ΤΣΥ07 ^{[23][26]}.



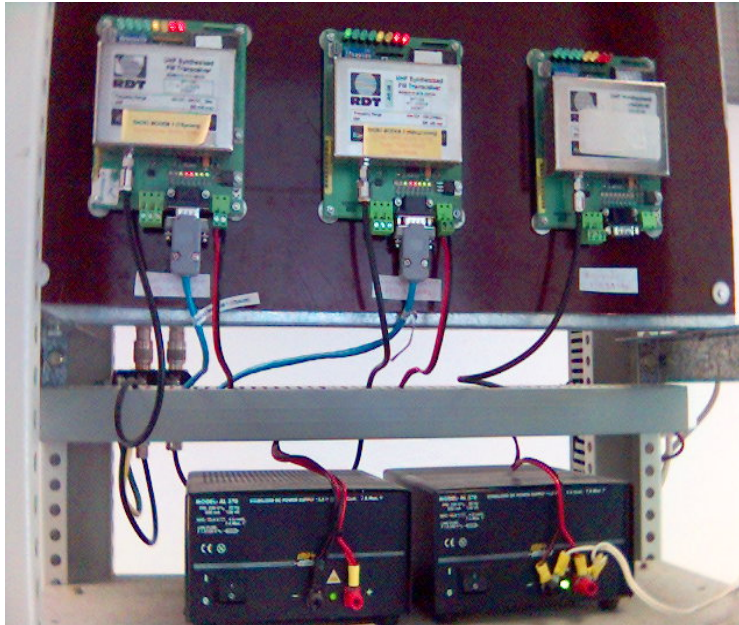
Εικόνα 4.1 Εξωτερικός τοπικός σταθμός. Στην φωτογραφία διακρίνονται οι πίνακες ισχύος, ο πίνακας του μικροελεκτή (PLC) καθώς και η μονάδα παροχής αδιάλειπτης τάσης (UPS) ^[26]

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU, *Εικόνα 4.2*), ή μικροελεκτή, μπορούμε να πούμε ότι αποτελεί την ψυχή του τοπικού σταθμού. Είναι το βασικότερο εξάρτημα του αυτοματισμού του τοπικού σταθμού. Όταν ο σταθμός βρίσκεται σε αυτόματη λειτουργία, αυτή αποφασίζει πότε και ποιο μηχάνημα του τοπικού σταθμού θα λειτουργήσει, με βάση βέβαια το πρόγραμμα που εμείς έχουμε δώσει να εκτελεί. Επίσης είναι αυτή που αναγνωρίζει και εκτελεί τις εντολές τηλεχειρισμού μερικών μηχανημάτων που δίνει ο χειριστής από το κέντρο ελέγχου στα μηχανήματα.



Εικόνα 4.2 κεντρική μονάδα επεξεργασίας(CPU) ^[26]

Στον κεντρικό σταθμό (ΚΣΕ) ο οποίος βρίσκεται δίπλα στις δεξαμενές του Αγίου Ιωάννη, υπάρχουν 3 Radio Modems (ένα για την Ύδρευση, ένα για την Αποχέτευση και ένα για τις Διαρροές, *Εικόνα 4.3*), με τα οποία επιτυγχάνεται κυκλική επικοινωνία (rolling) με όλους τους τοπικούς σταθμούς (ΤΣ) που έχουν Radio Modems, αποστέλλοντας κάθε φορά τη διεύθυνση του σταθμού με τον οποίο πρόκειται να υπάρξει επικοινωνία.



Εικόνα 4.3 Radio Modems ^[26]

Στον κεντρικό σταθμό (ΚΣΕ) υπάρχουν επίσης τόσα Leased Line Modems, όσοι είναι και οι τοπικοί σταθμοί (ΤΣ) που έχουν επικοινωνία μέσω Leased Line γραμμών. Τέλος στον κεντρικό σταθμό (ΚΣΕ) υπάρχει και ένα Dial Up Modem, μέσω του οποίου γίνεται κυρίως η Δευτερεύουσα επικοινωνία των περισσότερων σταθμών (καλώντας κάθε φορά το επιθυμητό νούμερο), όταν διαγνωσθεί πρόβλημα στην Πρωτεύουσα επικοινωνία.

4.1.1 Το radio modem

Το radio modem (*Εικόνα 4.4*) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή με την χρήση της οποίας μπορούμε να έχουμε επικοινωνία του κάθε τοπικού σταθμού αποχέτευσης με τον κεντρικό σταθμό ελέγχου (ΚΣΕ), έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται ο έλεγχος της λειτουργίας του τοπικού σταθμού από απόσταση καθώς και η αποστολή εντολών τηλεχειρισμού των εξαρτημάτων του τοπικού σταθμού από τον χειριστή του συστήματος στο κέντρο ελέγχου. Η μεταφορά αυτή των δεδομένων από τον τοπικό σταθμό προς το κέντρο ελέγχου και των εντολών από το κέντρο ελέγχου προς τον τοπικό σταθμό γίνεται ασύρματα με την εκπομπή και την λήψη αντίστοιχα ενός ραδιοσήματος. Την εκπομπή και την λήψη αυτή καθώς και την μεταφορά των δεδομένων από το ένα σημείο στο άλλο την πετυχαίνουμε με την χρήση αυτής της συσκευής ^[26].



Εικόνα 4.4 Radio Modem ^[26]

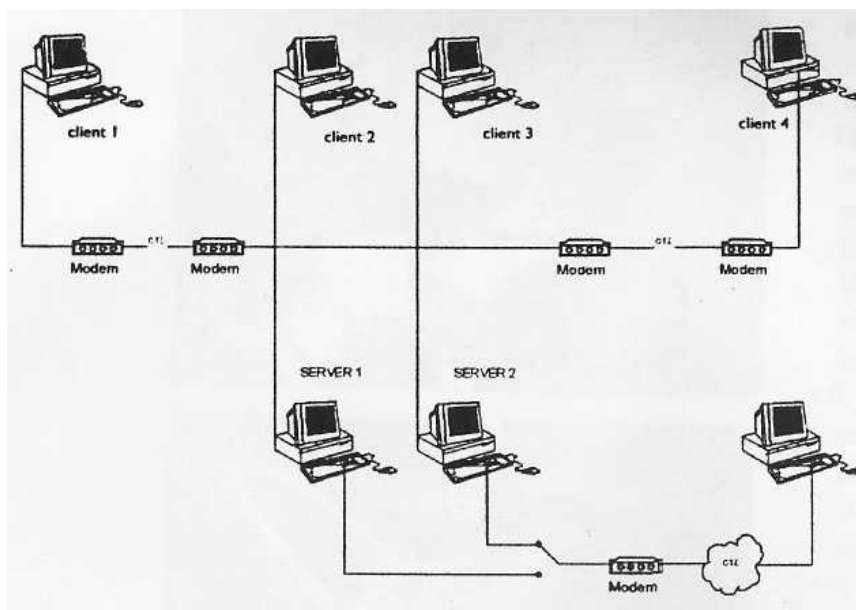
4.1.2 Το τηλεφωνικό modem

Το τηλεφωνικό μόντεμ (Εικόνα 4.5) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή με την χρήση της οποίας μπορούμε να έχουμε επικοινωνία του κάθε τοπικού σταθμού αποχέτευσης με τον κεντρικό σταθμό ελέγχου (ΚΣΕ), έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται ο έλεγχος της λειτουργίας του τοπικού σταθμού από απόσταση καθώς και η αποστολή εντολών τηλεχειρισμού των εξαρτημάτων του τοπικού σταθμού από τον χειριστή του συστήματος στο κέντρο ελέγχου. Η μεταφορά αυτή των δεδομένων από τον τοπικό σταθμό προς το κέντρο ελέγχου και των εντολών από το κέντρο ελέγχου προς τον τοπικό σταθμό γίνεται με την χρήση αυτής της συσκευής και με την βοήθεια γραμμών του ΟΤΕ. Οι γραμμές που έχουν χρησιμοποιηθεί στους τοπικούς σταθμούς είναι δυο ειδών, απλές τηλεφωνικές γραμμές (Dial Up) και γραμμές ευθείες (Leased Lines) ^[26].



Εικόνα 4.5 Τηλεφωνικό μόντεμ

Μοναδική εξαίρεση στα παραπάνω αποτελεί ο τοπικός σταθμός ΤΣΥ 5 (Δεξαμενή Αγίου Ιωάννη), ο οποίος επικοινωνεί απευθείας με τους δυο SERVERS μέσω ενός καλωδίου MPI (Multi Point Interface) της SIEMENS, λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ ΚΣΕ και του συγκεκριμένου τοπικού σταθμού. Το σύστημα της Ύδρευσης - Αποχέτευσης - Διαρροών αποτελείται από 2 «Servers» και 4 «clients» (τουλάχιστον) όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα επικοινωνίας Clients και Servers ^[23]

Στον ΚΣΕ του Αγίου Ιωάννη υπάρχουν οι 2 «server» στους οποίους συγκεντρώνονται τα στοιχεία από τους σταθμούς. Εκεί υπόκεινται σε επεξεργασία, δημιουργούνται αρχεία με τα ιστορικά στοιχεία και καταχωρούνται. Οι δύο αυτοί «servers» δουλεύουν παράλληλα και κάνουν ακριβώς την ίδια δουλειά. Βρίσκονται σε έναν μικρό, απομονωμένο χώρο και δεν χρησιμοποιούνται για τον χειρισμό του συστήματος.

Οι «clients» είναι Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές που συνδέονται με τους «servers» (Εικόνα 4.6) και χρησιμοποιούνται για την εποπτεία του συστήματος από τους χειριστές. Βρίσκονται δε στον κύριο χώρο ελέγχου του συστήματος. Έχουν τοποθετηθεί δύο στον Άγιο Ιωάννη και από ένας στα γραφεία της ΔΕΥΑΧ και στο κέντρο βιολογικού καθαρισμού. Επίσης μέσω Modem μπορεί να συνδεθεί ένας φορητός Η/Υ σαν "client" ^[23].

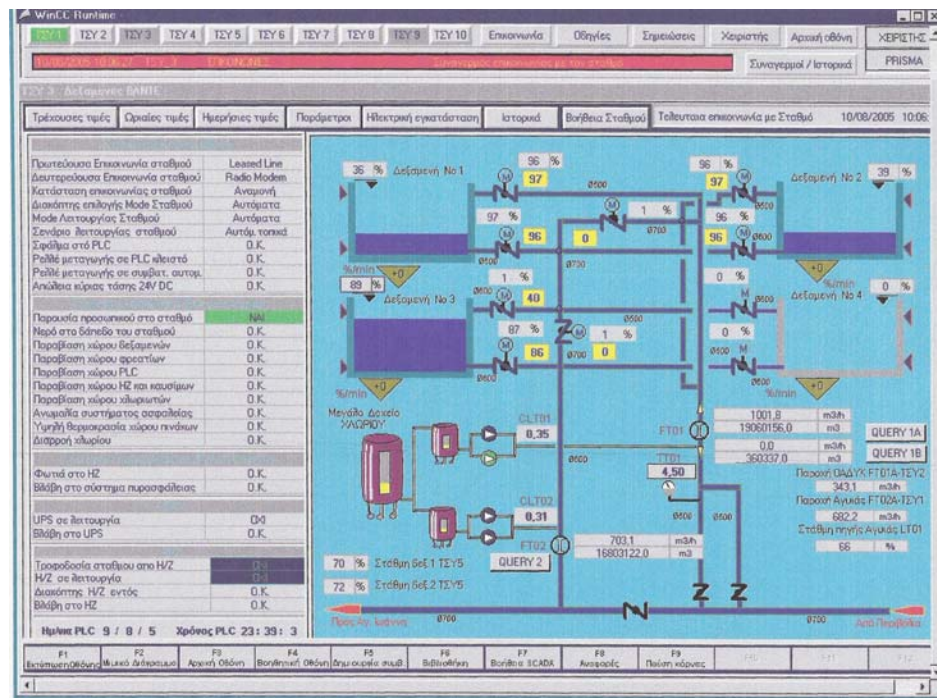


Εικόνα 4.6 Servers

Από τους «servers» ο ένας είναι ο κύριος (master) και ο άλλος είναι σε «θερμή εφεδρεία» (hot stand by). Όλοι οι clients συνδέονται στον κύριο «server». Όταν στον κύριο «server»

παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα τότε ο «hot standby» γίνεται κύριος και όλοι οι clients μεταπίπτουν σε αυτόν.

Η μορφή με την οποία απεικονίζεται ένας σταθμός στο SCADA είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 4.7 Οθόνη ελέγχου του συστήματος στον τοπικό σταθμό ΤΣΥ03 των δεξαμενών Βαντέ

Από την Εικόνα 4.7 μπορεί ο χειριστής να αντλήσει πληροφορίες για όλα τα κρίσιμα μεγέθη που αφορούν το σταθμό, όπως είναι [23]:

- Η στάθμη των δεξαμενών, η οποία αλλάζει χρώματα όταν υπερβεί ή πέσει κάτω από κάποια όρια που έχει θέσει ο χειριστής και παράγει και ηχητικό alarm σε περιπτώσεις υπερχειλίσης ή αδειάσματος.
- Η κατάσταση της κάθε αντλίας, δηλαδή αν είναι σε λειτουργία ή όχι και αν έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει η αντλία όταν πάρει την εντολή ή όχι.
- Οι μετρήσεις παροχομέτρων, πιεσόμετρων, πεχαμέτρων, θολομέτρων, αγωγιμομέτρων.
- Οι θέσεις των βανών (πόσο επί τοις εκατό είναι ανοικτές).
- Οι βλάβες των οργάνων μέτρησης των διαφόρων μεγεθών.
- Η λειτουργία των χλωριωτών, η ποσότητα χλωρίου στο νερό, καθώς και συναγερμοί για την υπερχλωρίωση και την υποχλωρίωση.
- Τους πίνακες με τις καταγραφές των τεσσάρων τελευταίων ημερών για όλα τα αναλογικά μεγέθη του σταθμού, τους μέσους όρους (ανά ώρα και ανά ημέρα), τα μέγιστα και ελάχιστα (ανά ώρα και ανά ημέρα), καθώς και τους πίνακες με τα σημαντικότερα συμβάντα (Διακοπές ΔΕΗ, υπερχειλίσεις, κ.α.) με τις ημερομηνίες κατά τις οποίες συνέβησαν.
- Οι εισοδοι και οι έξοδοι προσωπικού από τον τοπικό σταθμό, με ταυτόχρονη επισήμανση της εξουσιοδότησης που έχει ο κάθε εργαζόμενος (στη περίπτωση που δεν υπάρχει η αντίστοιχη εξουσιοδότηση παράγεται συναγερμός παραβίασης του σταθμού).

- Το τελευταίο alarm από όλους τους σταθμούς, καθώς και alarm επικοινωνίας των υπολοίπων σταθμών
- Τα αρχεία βοήθειας για τη λειτουργία του συστήματος ή για
- Τα ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά στοιχεία του συστήματος.

Τέλος ο χειριστής έχει τη δυνατότητα μέσα από το SCADA, να τηλεχειριστεί τις αντλίες, τις βάνες και να αλλάξει κάποιες από τις παραμέτρους λειτουργίας του PLC. Ακόμα μπορεί να θέσει σε λειτουργία ή εκτός λειτουργίας την επικοινωνία με καθένα από τους τοπικούς σταθμούς, να δει συνολικά ή ανά τοπικό σταθμό τους συναγερμούς του SCADA καθώς επίσης και να εκτυπώσει αναφορές (τις οποίες μπορεί να σχεδιάσει ο ίδιος), με στοιχεία που τον ενδιαφέρουν για κάποιο χρονικό διάστημα που εκείνος έχει ορίσει. Μπορεί ακόμα να προγραμματίσει την εμφάνιση κάποιων-μηνυμάτων, προκειμένου να ενημερωθούν όλοι οι χειριστές για κάποια αλλαγή ή σαν υπενθύμιση κάποιας περιοδικής συντήρησης ή άλλης ενέργειας που πρέπει να γίνει σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή. Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο του συστήματος, είναι η δυνατότητα του χειριστή να έχει γνώση της κατάστασης όλων των σταθμών, ακόμα και αν βρίσκεται μέσα στην Εικόνα ενός άλλου σταθμού. Σε αυτή τη περίπτωση, το SCADA με ηχητικό και οπτικό alarm, θα οδηγήσει τον χειριστή στο σημείο που πρέπει προκειμένου να εντοπίσει, να αναγνωρίσει και να αποκαταστήσει το σφάλμα αν αυτό είναι δυνατόν ^[23].

4.1.3 Η λειτουργία της χλωρίωσης στο SCADA

Η χλωρίωση στο δίκτυο ύδρευσης, όπως προαναφέρθηκε, γίνεται μέσω του συστήματος SCADA. Ειδικότερα διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου εισέρχεται στην είσοδο των δεξαμενών του Βαντέ και στον αγωγό Φ350 μέσω εκχυτήρων χλωρίωσης που τροφοδοτούνται από δοσομετρικές αντλίες (Εικόνα 4.8) οι οποίες ελέγχονται από τους μικροελεγκτές των τοπικών σταθμών ΤΣΥ03 και ΤΣΥ04 στα σημεία χλωρίωσης. Οι μικροελεγκτές των τοπικών σταθμών παίρνουν συνεχώς πληροφορίες από τα παροχόμετρα που υπάρχουν στους αγωγούς και ανάλογα την παροχή του νερού υπολογίζουν την ποσότητα υποχλωριώδους νατρίου που θα εισάγουν μέσω των εκχυτήρων στους αγωγούς ώστε να εξασφαλίσουν την επιθυμητή συγκέντρωση του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου που τους έχει προγραμματιστεί και είναι 0,35 mg/l ^[24].



Εικόνα 4.8 Δοσομετρική αντλία χλωρίωσης στον τοπικό σταθμό ΤΣΥ03 στον Βαντέ ^[27]

4.2 Διαδικασία μέτρησης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου με το kit-test της Merck

Για την μέτρηση του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit (Merck Cl₂ 1.00598).

Η μέθοδος βασίζεται στην ιδιότητα της χημικής ένωσης DPD (Dypropyl-P-Phenylenediamine) να αντιδρά αμέσως σε ελαφρώς οξεινωμένο διάλυμα με το ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο και να δημιουργεί χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα. Η ένταση του δημιουργούμενου χρώματος, είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του ελεύθερου χλωρίου. Με την βοήθεια φωτομέτρου μετρείται η απορρόφηση της ακτινοβολίας με μήκος κύματος 557nm από το δείγμα και το αποτέλεσμα ανάγεται σε συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου σε mg/l, χρησιμοποιώντας μια πρότυπη καμπύλη αναφοράς την οποία αποθήκευσε ο κατασκευαστής του οργάνου κατά την βαθμονόμησή του. Το εύρος ανίχνευσης του kit είναι από 0,01 έως και 7,5mg/l.

Η διαδικασία μέτρησης με το kit-test της Merck είναι η εξής : Με σιφόνιο των 10ml μεταφέρονται σε δοκιμαστικό σωλήνα, 8ml δείγματος νερού και αμέσως προστίθεται μία μικροκουταλιά από το αντιδραστήριο Cl₂-1 της Merck. Ακολουθεί ανάδευση σε αναδευτήρα (Vortex) στις 2200 rpm περίπου, έως ότου διαλυθεί πλήρως το αντιδραστήριο. Το διάλυμα που προκύπτει αφήνεται για ένα λεπτό για να ολοκληρωθεί η αντίδραση. Παράλληλα τοποθετείται το φιαλίδιο με το bar code του kit στην κατάλληλη υποδοχή του φωτομέτρου (Εικόνα 4.9) έτσι ώστε το όργανο να φορτώσει την καμπύλη βαθμονόμησης του κατασκευαστή για το Cl₂ και να είναι σε θέση να μετρήσει το ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο.



Εικόνα 4.9 Merck Nova 60

Στη συνέχεια το δείγμα μεταφέρεται σε γυάλινη τετράγωνη κυψελίδα (προσοχή να είναι πάνω από την χαραγή) και τοποθετείται προσεκτικά στο φωτόμετρο για μέτρηση. Μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα το όργανο αναγράφει την τιμή μέτρησης η οποία εκφράζεται σε συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου με μονάδα μέτρησης mg/l. Για την αξιοπιστία των μετρήσεων ο κατασκευαστής δίνει ένα εύρος απόκλισης από την πραγματική τιμή $\pm 0.18\text{mg/l}$ (σε κυψελίδα των 10mm) ^[25].

4.3 Αποτελέσματα μετρήσεων ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου σε σημεία του δικτύου ύδρευσης της πόλης των Χανίων

Προκειμένου να γίνει αξιολόγηση των μετρήσεων του SCADA, σε έξι σημεία της πόλης συλλέχθηκαν δείγματα νερού από βρύσες καταναλωτών για ένα διάστημα 5 ημερών με σταθερή ώρα δειγματοληψίας στις 8 το πρωί. Οι διευθύνσεις των σημείων ήταν Μάρκου Μπότσαρη 63, Τζανακάκη 21, Ρωμανού 3 ΤΕΙ, Ελ. Βενιζέλου 112, Κροκιά 28 και Μιχαηλάκη 6 (Εικόνα

4.10). Με το kit – test της Merck μετρήθηκε το ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο σε κάθε δείγμα και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Μέτρηση της συγκέντρωσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου με το kit – test της Merck

	Cl ₂ (mg/l)				
	25-Ιουλ	26-Ιουλ	27-Ιουλ	28-Ιουλ	29-Ιουλ
ΤΕΙ	0,14	0,1	0,14	0,3	0,12
Τζανακάκη 21	0,18	0,18	0,23	0,28	0,27
Μάρκου Μπότσαρη	0,12	0,17	0,24	0,26	0,28
Ελ. Βενιζέλου 112	0,2	0,2	0,24	0,26	0,28
Κροκιδά 28	0,13	0,1	0,1	0,11	0,1
Μιχεληδάκη 6	0,11	0,18	0,11	0,11	0,1



Εικόνα 4.10 Χάρτης της πόλης των Χανίων με τα σημεία δειγματοληψίας (χρωματισμένες κουκίδες)

Για τα ίδια σημεία δειγματοληψίας, από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA ανακτήθηκαν οι μετρήσεις του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου για τις συγκεκριμένες ημέρες της δειγματοληψίας, με σκοπό την σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Σε κάθε σημείο δειγματοληψίας αντιστοιχεί ο τοπικός σταθμός (ΤΣ) του συστήματος που φέρει τον απαραίτητο τεχνολογικό εξοπλισμό ώστε να μπορεί να μετράει τη συγκέντρωση του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου καθ' όλη την διάρκεια της μέρας και να αποστέλλει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (real time data) στους κεντρικούς υπολογιστές του συστήματος, στον Αι Γιάννη, όπου και καταγράφονται.. Οι τιμές των μετρήσεων αποθηκεύονται έως τρεις μέρες στους

κεντρικούς υπολογιστές και έπειτα αρχειοθετούνται σε ψηφιακή μορφή, από όπου είναι σε θέση να ανακτηθούν οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί. Όπως και έγινε ανάκτηση δεδομένων για τις ημερομηνίες δειγματοληψίας, από τους τοπικούς σταθμούς : ΤΣΔ09, ΤΣΥ05, ΤΣΔ14_ΣΜ2, ΤΣΥ03 και ΤΣΔ12 που αντιστοιχούν στα σημεία δειγματοληψίας ως εξής :

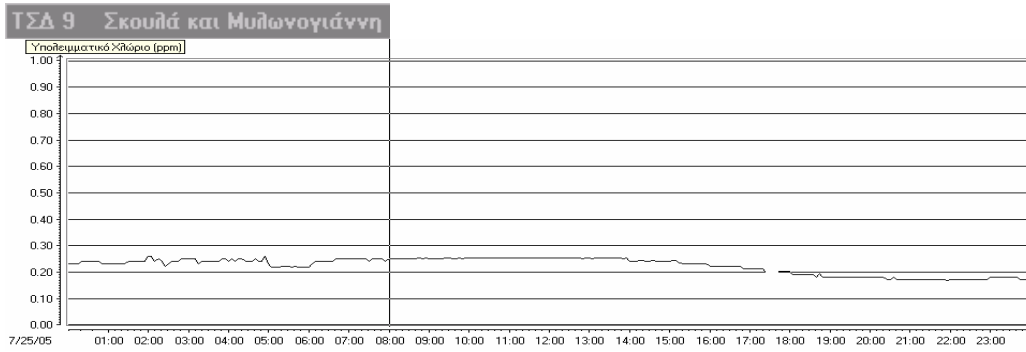
1) Το νερό για να φτάσει στο σημείο δειγματοληψίας Τζανακάκη 21 ακολουθεί την εξής διαδρομή : καταρχήν αντλείται από την λίμνη της Αγυιάς και οδηγείται μέσω ενός Φ800 αγωγό στις δεξαμενές του Βαντέ, όπου χλωριώνεται κατά την είσοδό του σε αυτές, δηλαδή προχλωριώνεται. Αν κατά την έξοδο του από τις δεξαμενές βρεθεί να έχει χαμηλή συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου, τότε χλωριώνεται ξανά (μεταχλωρίωση). Έπειτα καταλήγει στην δεξαμενή του Αι Γιάννη και περνάει από τον τοπικό σταθμό διαρροών ΤΣΔ14_ΣΜ2 (είσοδος) για να φτάσει τελικά στη βρύση του καταναλωτή που είναι στη Τζανακάκη 21. Επομένως οι μετρήσεις του τοπικού σταθμού ΤΣΔ14_ΣΜ2 αναφέρονται στο δείγμα νερού από τη Τζανακάκη 21 ^[24].

2) Για τα σημεία δειγματοληψίας Κροκιδά 28, Μιχελιδάκη 6, Ελ. Βενιζέλου 112 και ΤΕΙ, το νερό ακολουθεί την ίδια διαδρομή με το σημείο Τζανακάκη 21, με την διαφορά ότι περνάει από τους τοπικούς σταθμούς ΤΣΔ16, για την Κροκιδά 28 και Ελ. Βενιζέλου 112, από τον τοπικό σταθμό ΤΣΔ12 και ΤΣΔ17 για τη Μιχελιδάκη 6 και το ΤΕΙ αντίστοιχα. Επειδή ο τοπικός σταθμός ΤΣΔ16 και ΤΣΔ17 δεν είναι σε λειτουργία λόγω κάποιων τεχνικών προβλημάτων, για τα σημεία δειγματοληψίας που είναι στη Κροκιδά 28, Ελ. Βενιζέλου 112 και ΤΕΙ πήραμε δεδομένα, για το υπολειμματικό χλώριο, από τον τοπικό σταθμό ύδρευσης ΤΣΥ05 στην έξοδο της δεξαμενής του Αι Γιάννη, το κοντινότερο δηλαδή τοπικό σταθμό μετά τον ΤΣΔ16 και ΤΣΔ17 ^[24].

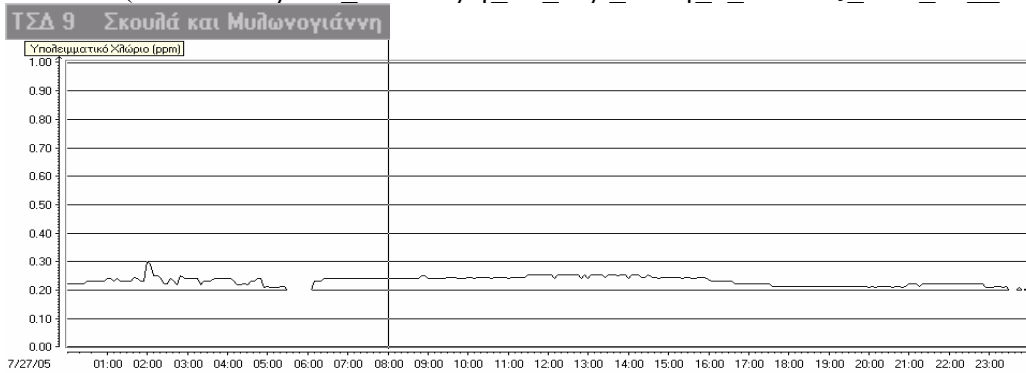
3) Για να φτάσει το νερό στο σημείο δειγματοληψίας Μάρκου Μπότσαρη ακολουθεί την εξής διαδρομή : άντληση από την πηγή της Αγυιάς και εισαγωγή στον αγωγό Φ350 όπου και χλωριώνεται. Στη συνέχεια περνάει από τον τοπικό σταθμό ΤΣΔ01 της Αναπαύσεως και ακολουθεί ο ΤΣΔ09 για να φτάσει τελικά στο σημείο δειγματοληψίας. Ακόμη δεδομένα ανακτήθηκαν και από τοπικό σταθμό ύδρευσης ΤΣΥ03 στην έξοδο των δεξαμενών του Βαντέ. Όλες οι μετρήσεις των τοπικών σταθμών που αναφέρθηκαν παρουσιάζονται στα Γραφήματα 1 έως 22 που ακολουθούν.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις 26 Ιουλίου, λόγω αναβάθμισης του Server, δεν καταχωρήθηκαν μετρήσεις, γι' αυτό και τα δεδομένα προέρχονται κατά προσέγγιση (για την ώρα που κάνει να φτάσει το νερό σε κάθε σημείο) από τον τοπικό σταθμό ΤΣΥ03, δηλαδή από την έξοδο των δεξαμενών Βαντέ. Για το σημείο δειγματοληψίας Μάρκου Μπότσαρη δεν καταχωρήθηκε μέτρηση γιατί το σημείο αυτό τροφοδοτείται από τον αγωγό Φ350 και όχι από τις δεξαμενές του Βαντέ.

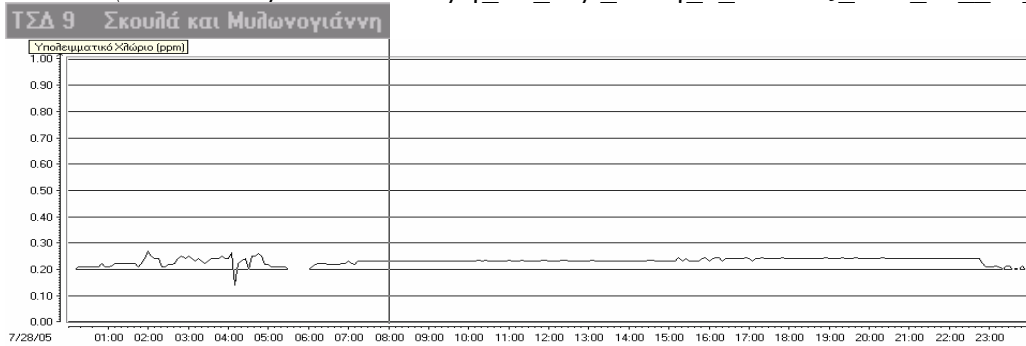
Τα δεδομένα των τοπικών σταθμών παρουσιάζονται στα Γραφήματα 1 έως 22.



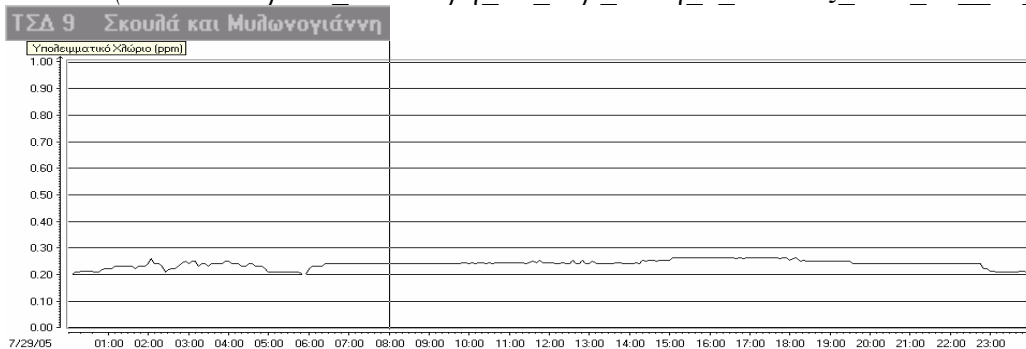
Γράφημα 1. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ9.1 Μάρκου Μπότσαρη_Κλ_Γαβ_Ζώνη_6_Είσοδος_ΤΣΔ_09_25_07_2005)



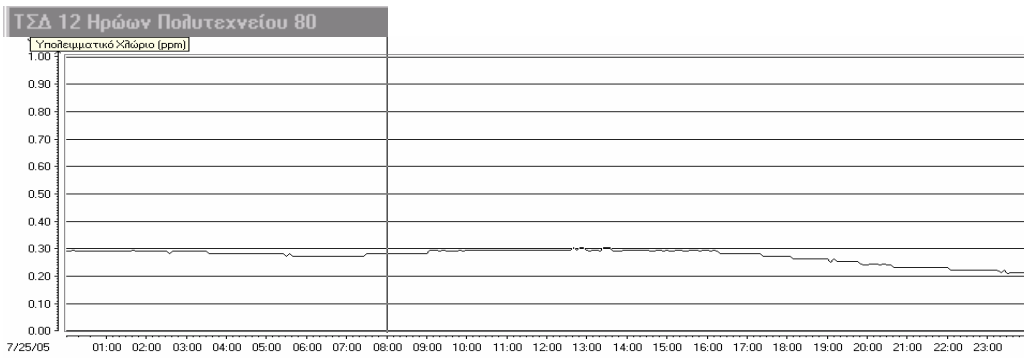
Γράφημα 2. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ9.2 Μάρκου Μπότσαρη_Κλ_Γαβ_Ζώνη_6_Είσοδος_ΤΣΔ_09_27_07_2005)



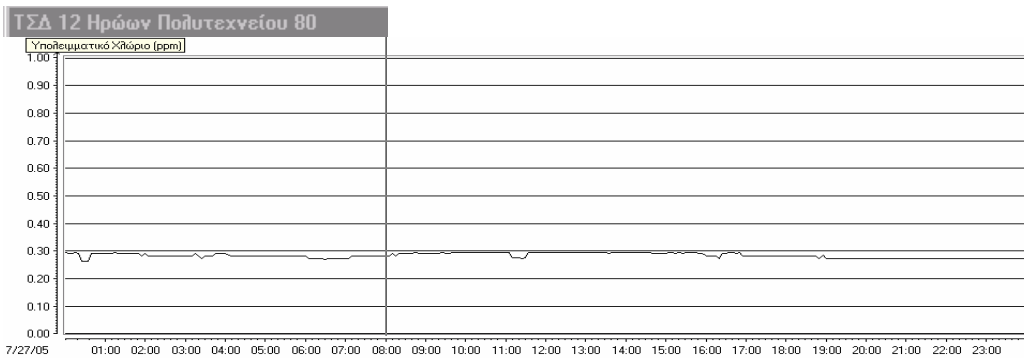
Γράφημα 3. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ9.3 Μάρκου Μπότσαρη_Κλ_Γαβ_Ζώνη_6_Είσοδος_ΤΣΔ_09_28_07_2005)



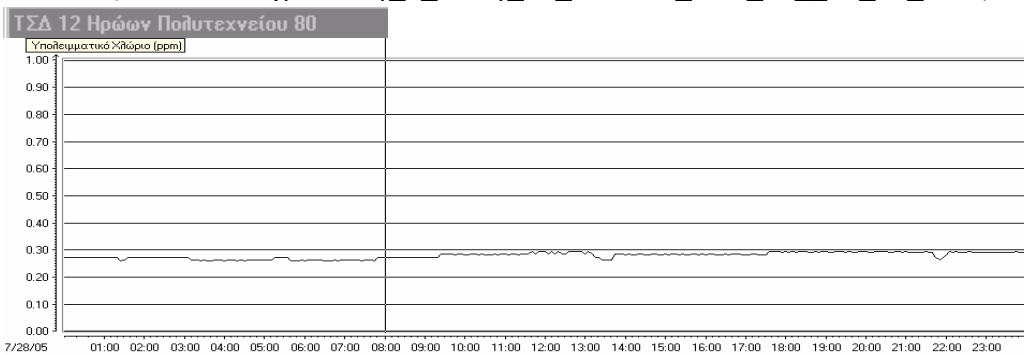
Γράφημα 4. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ9.4 Μάρκου Μπότσαρη_Κλ_Γαβ_Ζώνη_6_Είσοδος_ΤΣΔ_09_29_07_2005)



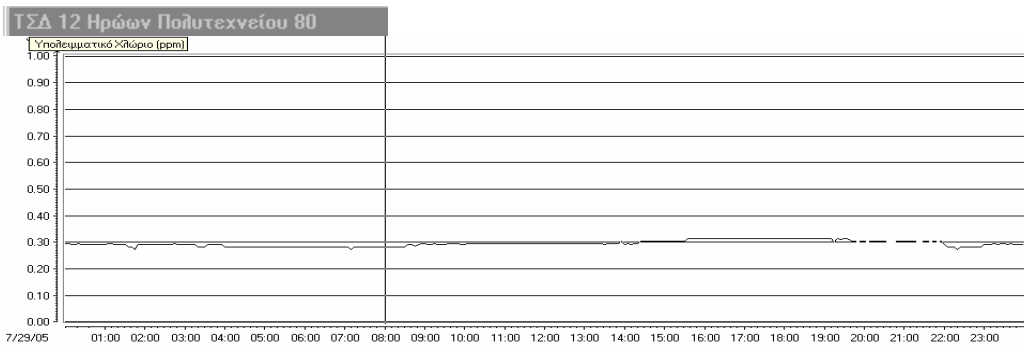
Γράφημα 5. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ12.1 Μιχελιδάκη_6_Ζώνη_11_Είσοδος_ΤΣΔ_12_25_07_2005)



Γράφημα 6. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ12.2 Μιχελιδάκη_6_Ζώνη_11_Είσοδος_ΤΣΔ_12_27_07_2005)

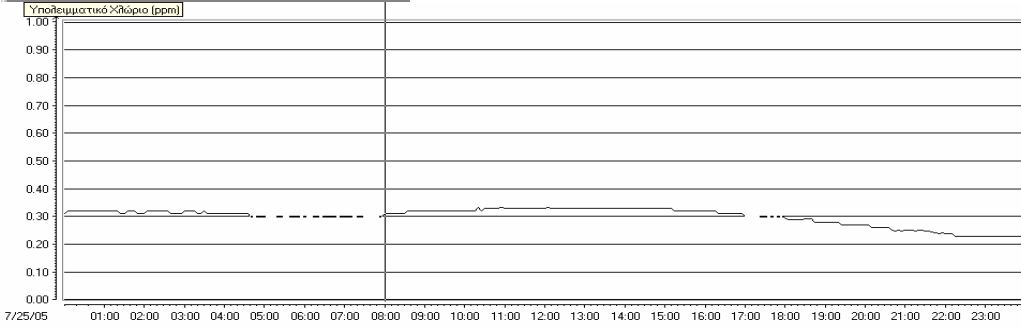


Γράφημα 7. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ12.3 Μιχελιδάκη_6_Ζώνη_11_Είσοδος_ΤΣΔ_12_28_07_2005)



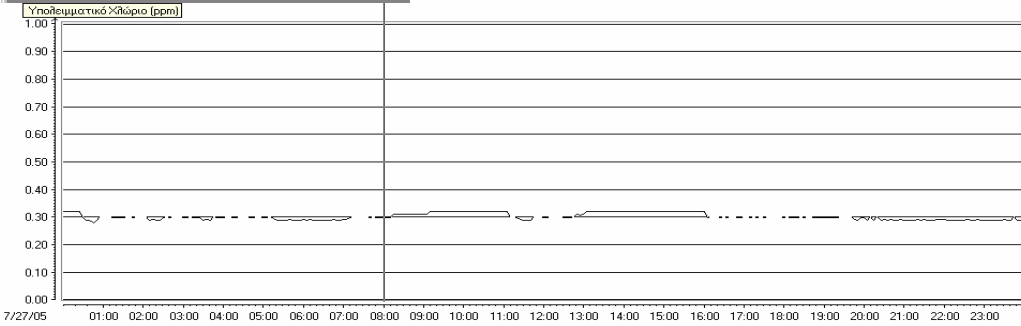
Γράφημα 8. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ12.4 Μιχελιδάκη_6_Ζώνη_11_Είσοδος_ΤΣΔ_12_29_07_2005)

ΤΣΔ 14 Γιαμπουδάκη και Κριτοβουλίδου



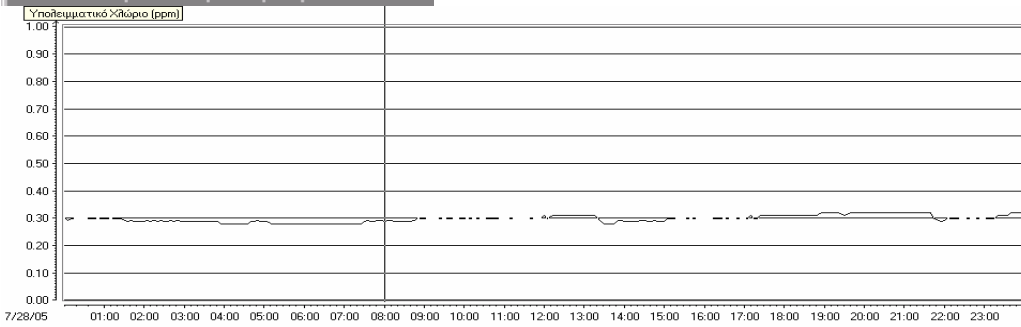
Γράφημα 9. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ14.1 Τζανακάκη_21_Ζώνη_13_Είσοδος_ΤΣΔ_14_25_07_2005)

ΤΣΔ 14 Γιαμπουδάκη και Κριτοβουλίδου



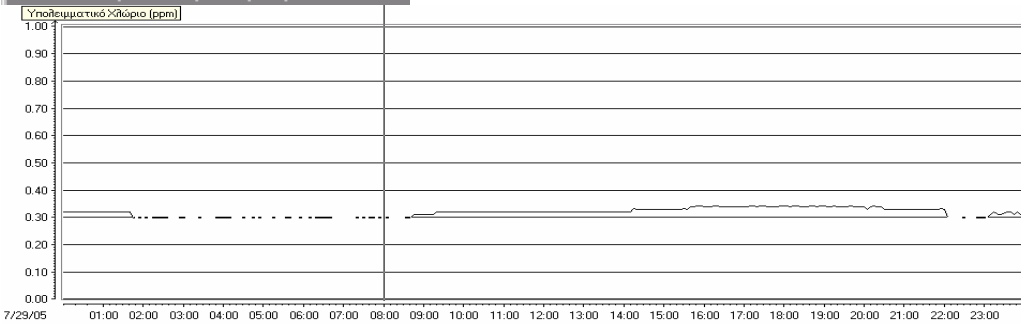
Γράφημα 10. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ14.2 Τζανακάκη_21_Ζώνη_13_Είσοδος_ΤΣΔ_14_27_07_2005)

ΤΣΔ 14 Γιαμπουδάκη και Κριτοβουλίδου

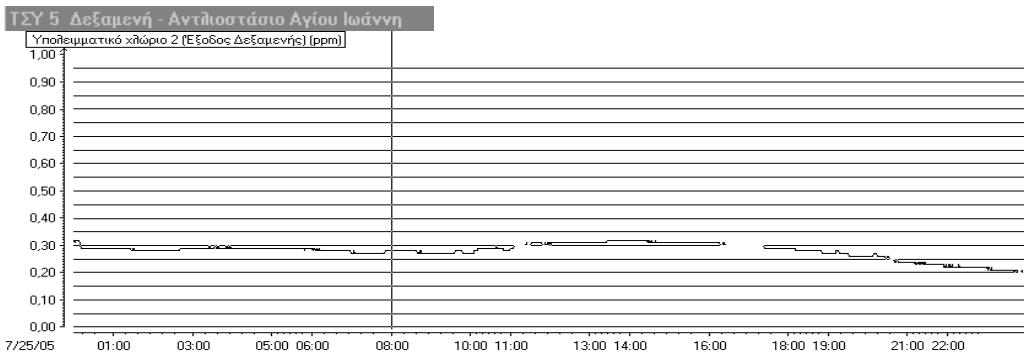


Γράφημα 11. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ14.3 Τζανακάκη_21_Ζώνη_13_Είσοδος_ΤΣΔ_14_28_07_2005)

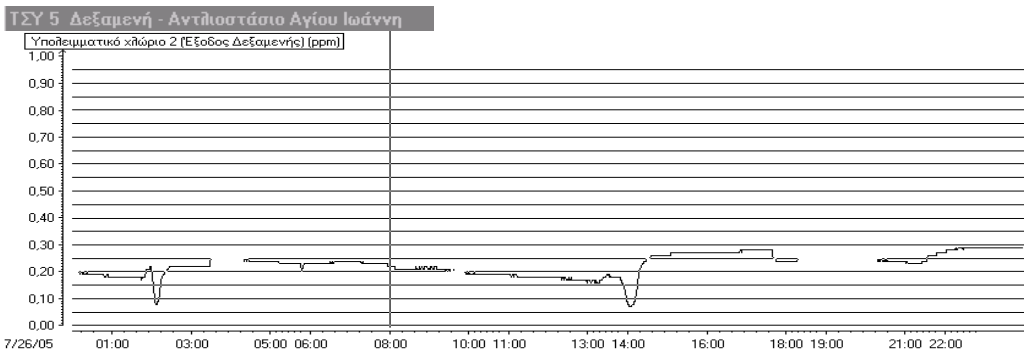
ΤΣΔ 14 Γιαμπουδάκη και Κριτοβουλίδου



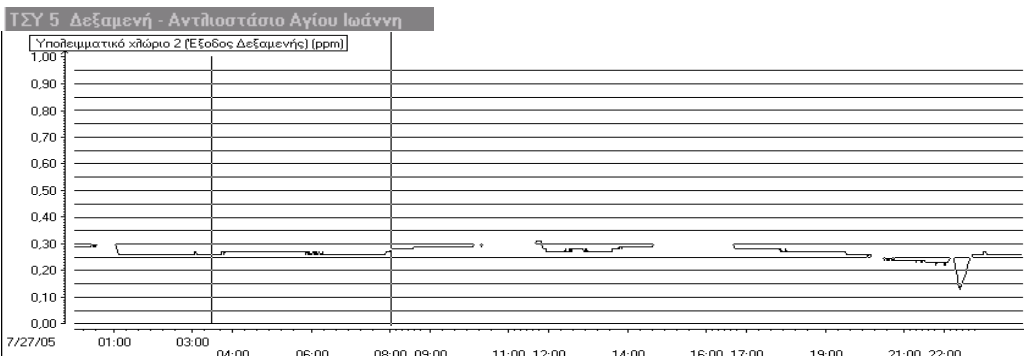
Γράφημα 12. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ14.4 Τζανακάκη_21_Ζώνη_13_Είσοδος_ΤΣΔ_14_29_07_2005)



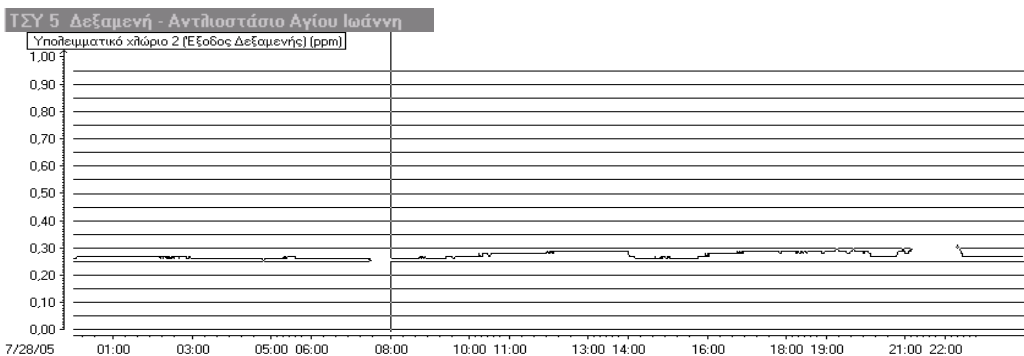
Γράφημα 13. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ5.1 Ελ_Βενιζέλου_112_Πρίν_Αττικόν_Ζώνη_10_από_Έξοδο_Δεξ_Αγ_Ιωάννη_25_07_2005)



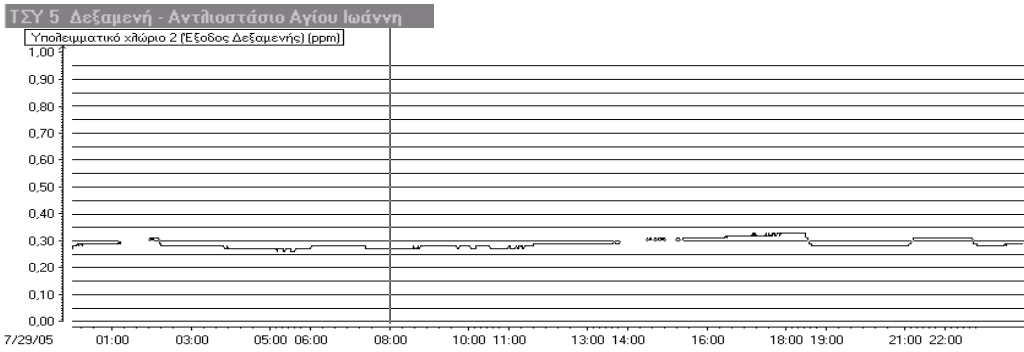
Γράφημα 14. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ5.2 Ελ_Βενιζέλου_112_Πρίν_Αττικόν_Ζώνη_10_από_Έξοδο_Δεξ_Αγ_Ιωάννη_26_07_2005)



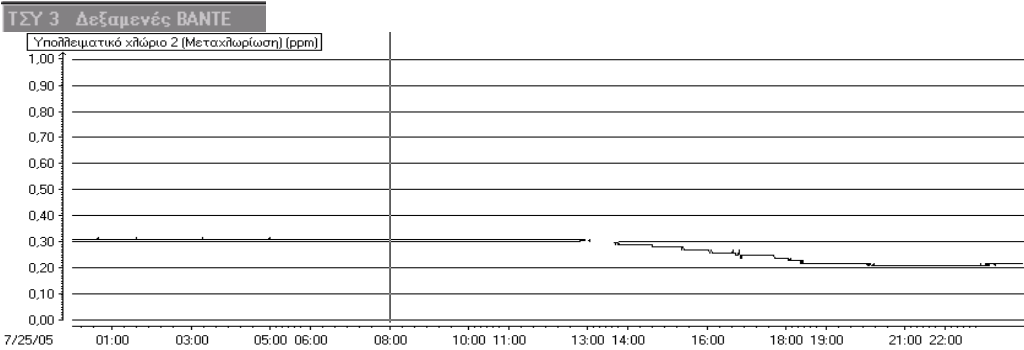
Γράφημα 15. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ5.3 Ελ_Βενιζέλου_112_Πρίν_Αττικόν_Ζώνη_10_από_Έξοδο_Δεξ_Αγ_Ιωάννη_27_07_2005)



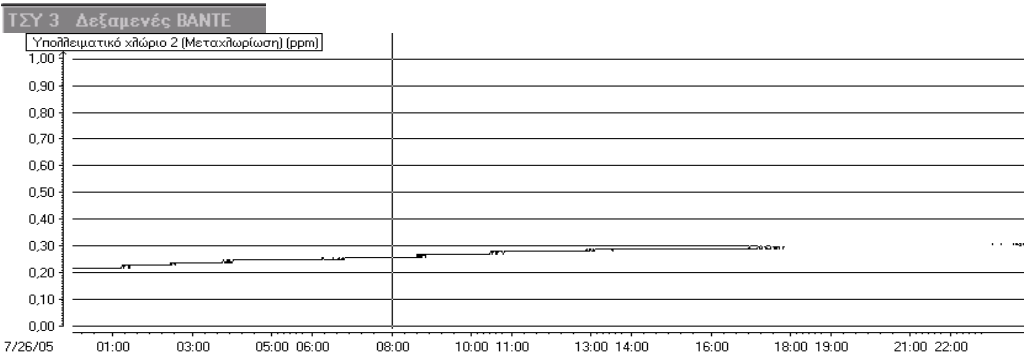
Γράφημα 16. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ5.4 Ελ_Βενιζέλου_112_Πρίν_Αττικόν_Ζώνη_10_από_Έξοδο_Δεξ_Αγ_Ιωάννη_28_07_2005)



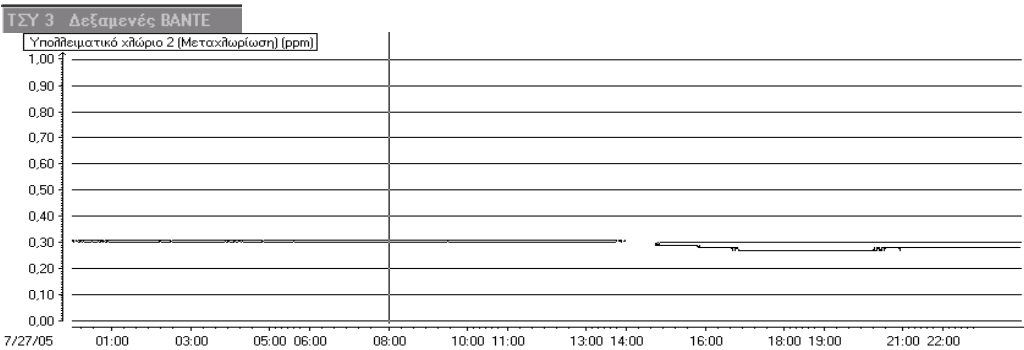
Γράφημα 17. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ15.5 Ελ_Βενιζέλου_112_Πρίν_Αττικόν_Ζώνη_10_από_Έξοδο_Δεξ_Αγ_Ιωάννη_29_07_2005)



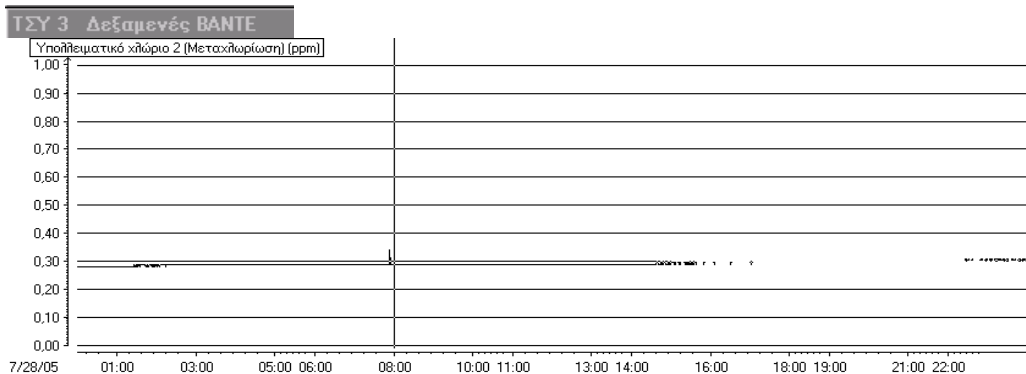
Γράφημα 18. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ3.1 ΤΣΥ03_Έξοδος_Δεξαμενών_Βαντέ_Μεταχλωρίωση_25_07_2005)



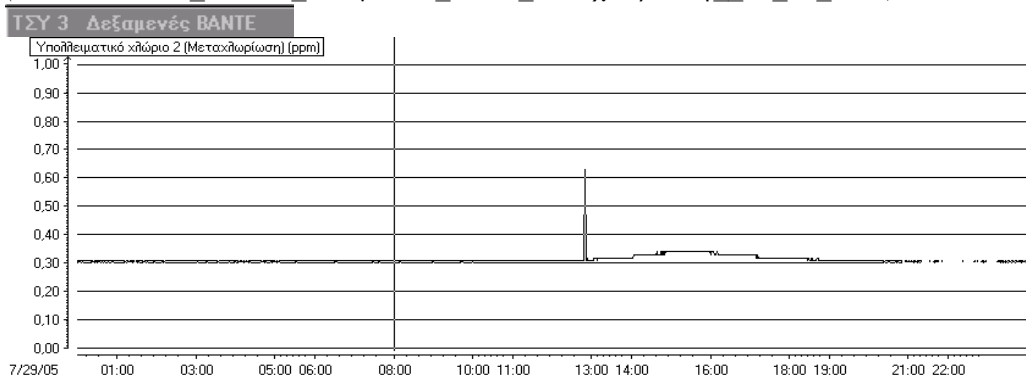
Γράφημα 19. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ3.2 ΤΣΥ03_Έξοδος_Δεξαμενών_Βαντέ_Μεταχλωρίωση_26_07_2005)



Γράφημα 20. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ3.3 ΤΣΥ03_Έξοδος_Δεξαμενών_Βαντέ_Μεταχλωρίωση_27_07_2005)



Γράφημα 21. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ3.4 ΤΣΥ03_Εξοδος_Δεξαμενών_Βαντέ_Μεταχλωρίωση_28_07_2005)



Γράφημα 22. Μετρήσεις του υπολειμματικού χλωρίου από το αρχείο δεδομένων του συστήματος SCADA (ΤΣΔ3.5 ΤΣΥ03_Εξοδος_Δεξαμενών_Βαντέ_Μεταχλωρίωση_29_07_2005)

4.3.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μετρήσεων

Τα δεδομένα από το SCADA και από το kit της Merck συγκρίνονται στα γραφήματα 23 έως 28, όπου το ιστόγραμμα με μπορντό χρώμα αντιστοιχεί στις μετρήσεις με το kit της Merck και το γαλάζιο στις μετρήσεις του SCADA.

Παρατηρώντας τα γραφήματα, διαπιστώνουμε ότι μεταξύ των δύο συστημάτων μέτρησης υπολειμματικού χλωρίου (Scada / Kit) μεγαλύτερη σύγκλιση αποτελεσμάτων παρατηρείται στα γραφήματα 24, 25 και 26. Στα γραφήματα 27 και 28 παρατηρούνται οι σημαντικότερες διαφορές και αυτό μπορεί να οφείλεται σε λάθη κατά την δειγματοληψία όπως :

1) το νερό ρέει με πίεση κατά την δειγματοληψία και το χλώριο ως πτητική ένωση διαφεύγει εύκολα.

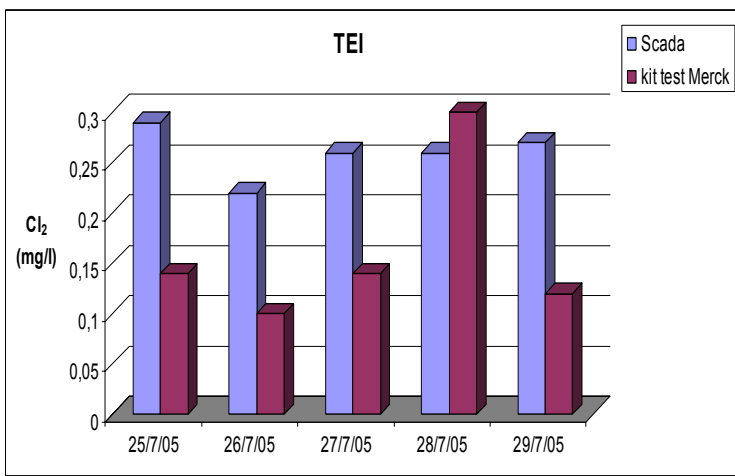
2) συλλογή δείγματος νερού στάσιμου στο δίκτυο των σωληνώσεων εφόσον δεν αφεθεί η βρύση πριν την δειγματοληψία να τρέξει ώστε το νερό να ανανεωθεί.

2) κακή φύλαξη του δείγματος καθώς η έκθεση του δείγματος σε ηλιακή ακτινοβολία και υψηλές θερμοκρασίες, προκαλεί απώλειες υπολειμματικού χλωρίου.

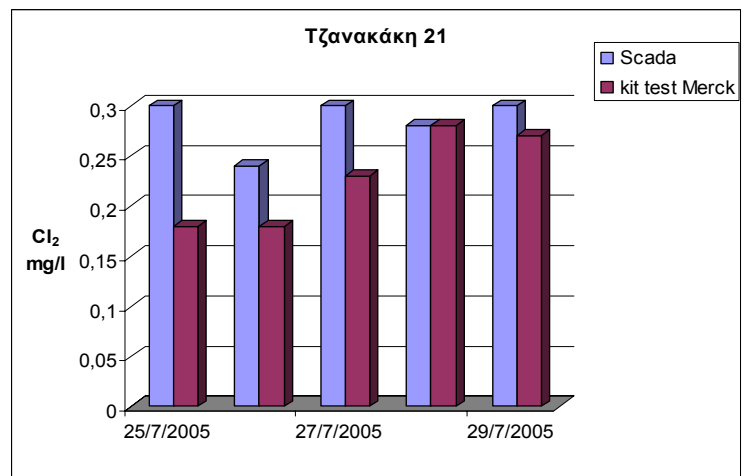
ή

3) σε σφάλματα στο σύστημα SCADA καθώς ενδέχεται τα ηλεκτρόδια μερικών τοπικών σταθμών του συστήματος να παρουσιάσουν προβλήματα βαθμονόμησης ή να απαιτούν συντήρηση (καθάρισμα του ηλεκτροδίου του αισθητήρα).

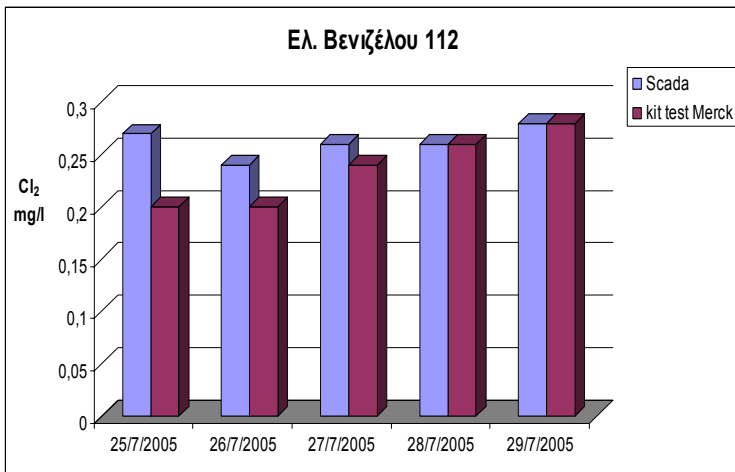
Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις του SCADA δεν έχουν μεγάλη διακύμανση και είναι εντός των προβλεπόμενων από την νομοθεσία ορίων 0,2-0,5 mg/l συγκέντρωσης ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου.



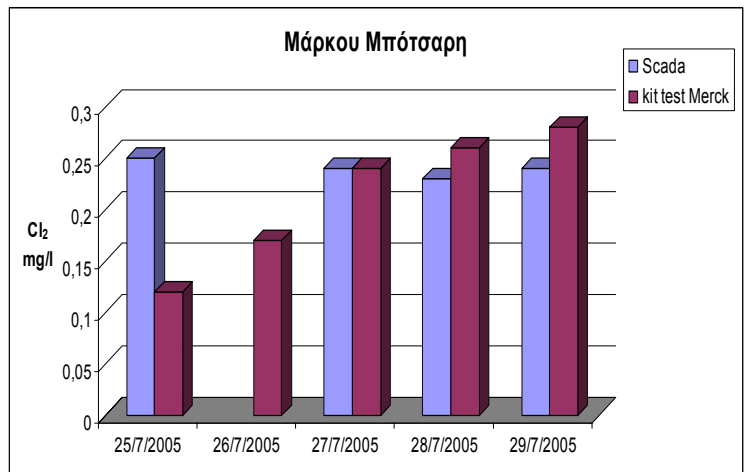
Γράφημα 23. Συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου στο TEI



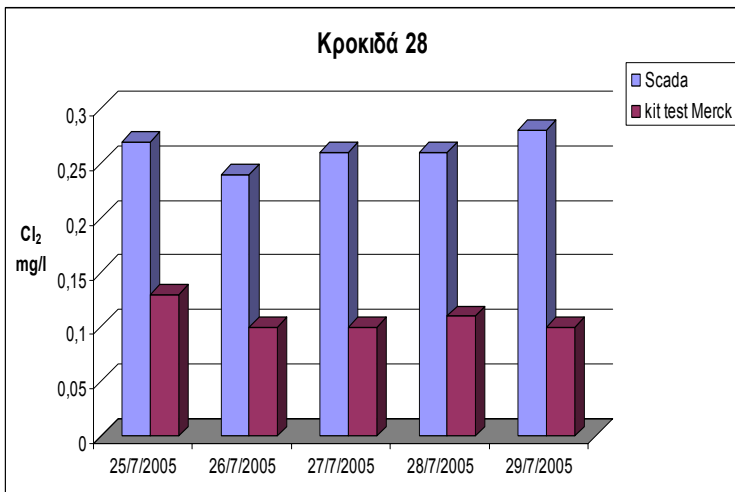
Γράφημα 24. Συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου στη Τζανακάκη 21



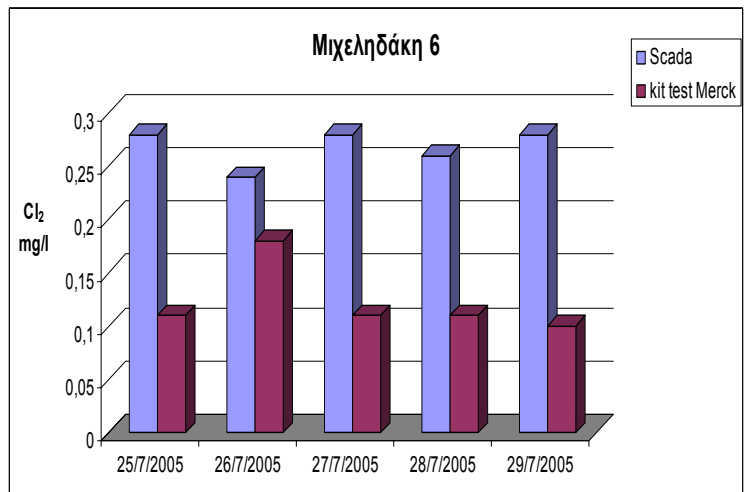
Γράφημα 25. Συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου στη ΕΛ. Βενιζέλου 112



Γράφημα 26. Συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου στη Μ. Μπότσαρη



Γράφημα 27. Συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου στη Κροκιάδα 28



Γράφημα 28 Συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου στη Μιχελιδάκη 6

Οι μέσοι όροι των μετρήσεων της συγκέντρωσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου που μετρήθηκε με το σύστημα Scada και με το kit test της Merck ανά σημείο δειγματοληψίας, για όλη την διάρκεια της δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

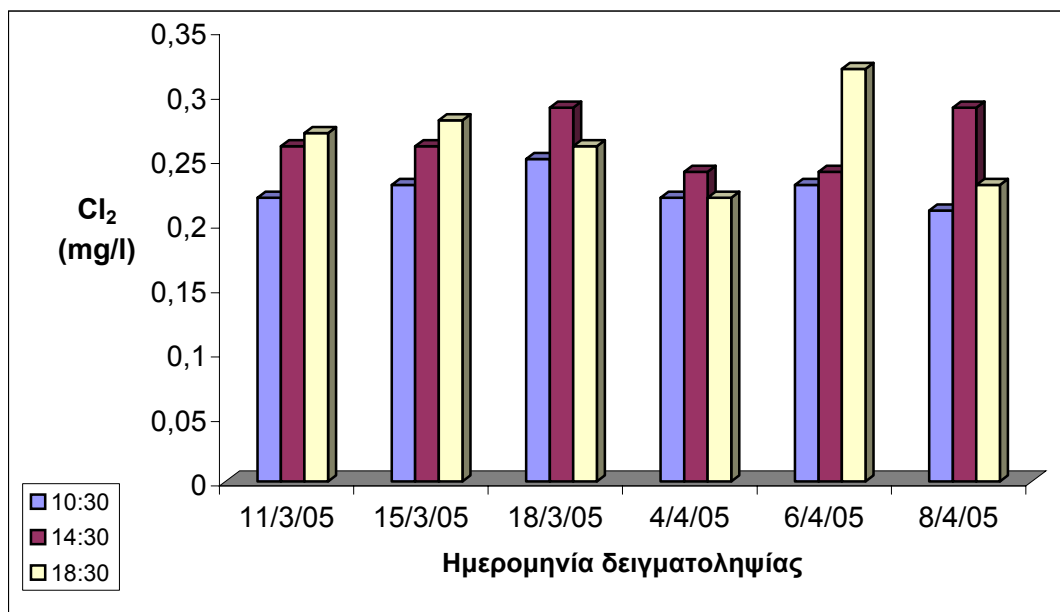
Πίνακας 4.2 Μέσος όρος των μετρήσεων της συγκέντρωσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου, για την διάρκεια της δειγματοληψίας, από το σύστημα Scada και από το kit test της Merck.

C₁₂ (mg/l)	Scada	Merck	% διαφορά μ.ο.
ΤΕΙ	0,26	0,16	62.5
Τζανακάκη 21	0,284	0,228	24.5
Μάρκου Μπότσαρη	0,24	0,214	12
Ελ. Βενιζέλου 112	0,262	0,236	11
Κροκιδά 28	0,262	0,108	140
Μιχελιδάκη 6	0,268	0,122	120

Από τον πίνακα 4.2 διαπιστώνουμε πως η μεγαλύτερη % διαφορά των μετρήσεων, της συγκέντρωσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου, του συστήματος Scada σε σχέση με αυτές που μετρήθηκαν με το kit test της Merck, παρατηρείται στα σημεία Κροκιδά 28 και Μιχελιδάκη 6. Ικανοποιητική συσχέτιση παρουσιάζεται για τα σημεία Τζανακάκη 21, Μάρκου Μπότσαρη και Ελ. Βενιζέλου 112, αντίθετα για τα σημεία Κροκιδά 28 και Μιχελιδάκη 6, οι μετρήσεις μεταξύ των δύο μεθόδων αποκλίνουν σημαντικά.

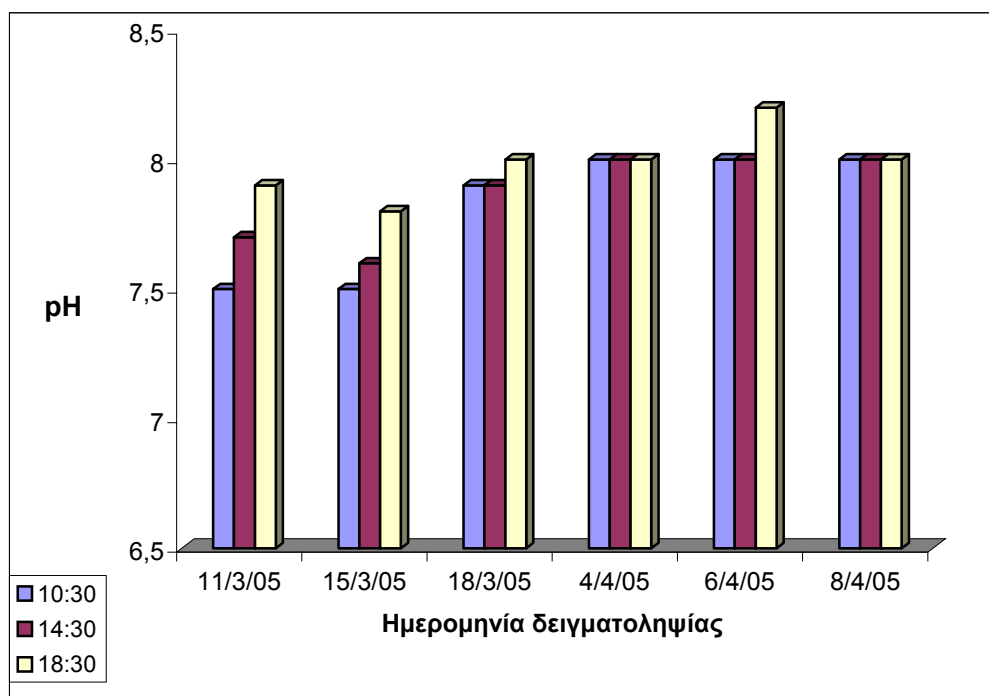
4.4 Παρακολούθηση της διακύμανσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου

Το υπολειμματικό χλώριο, το pH και η θερμοκρασία, μετρήθηκαν σε ημερήσια βάση σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (στις 10:30, 14:30 και στις 18:30) στη βρύση κατανάλωσης πόσιμου νερού στο κτήριο του ΤΕΙ. Σκοπός αυτών των μετρήσεων ήταν να προσδιοριστεί αν και κατά πόσο υπάρχει διακύμανση στα επίπεδα χλωρίωσης σε ένα σημείο του δικτύου ύδρευσης και συγκεκριμένα το νερό που προέρχεται από την δεξαμενή του Αγ. Ιωάννη. Όλες οι μετρήσεις έγιναν με το ίδιο kit-test της Merck για το ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου και pH παρουσιάζονται στα Γραφήματα 4.3, 4.4 αντίστοιχα.



Γράφημα 4.3 Συγκέντρωση ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου σε δείγματα νερού από τη βρύση του ΤΕΙ στις 10:30, 14:30 και 18:30 στις ημερομηνίες δειγματοληψίας

Από το γράφημα 4.3 διαπιστώνουμε πως η διακύμανση στην συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου από το πρωί έως το απόγευμα είναι μικρή και δεν υπερβαίνει το 1mg/l. Επίσης όλες οι τιμές βρίσκονται εντός των επιτρεπόμενων ορίων χλωρίωσης αφού κυμαίνονται μεταξύ 0,2 με 0,3 mg/l. Η μεγαλύτερη χρονική διακύμανση παρατηρείται στις 6/4 όπου η απογευματινή τιμή του υπολειμματικού χλωρίου ξεπέρασε τα 3 mg/l.



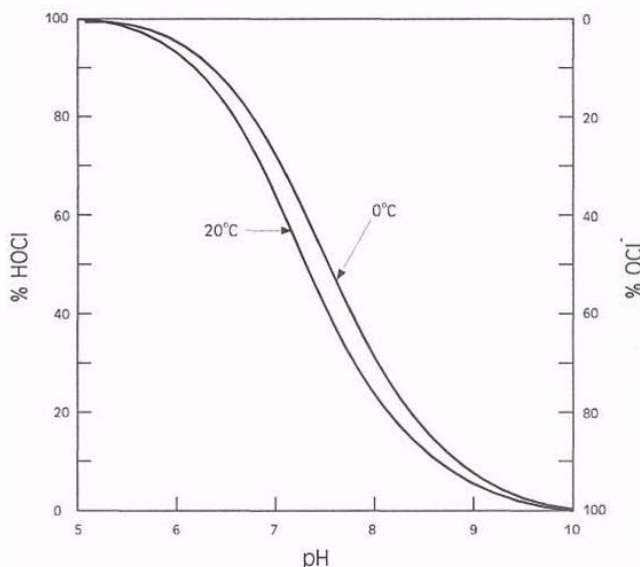
Γράφημα 4.4 Τιμή PH σε δείγματα νερού από τη βρύση του ΤΕΙ στις 10:30, 14:30 και 18:30 στις ημερομηνίες δειγματοληψίας

Οι τιμές pH κυμαίνονται μεταξύ 7,5 με 8,2 (Γράφημα 4.4) και βρίσκονται εντός του εύρους διακύμανσης που αναφέρεται στην σχετική νομοθεσία.

Όπως είναι γνωστό η αποτελεσματικότητα της χλωρίωσης ενάντια στους παθογόνους μικροοργανισμούς εξαρτάται κατά ένα μεγάλο βαθμό από το pH. Αυτό συμβαίνει γιατί το υποχλωριώδες οξύ (HOCl) που είναι το δραστικότερο συστατικό, σε υψηλές τιμές PH δίσταται σε υποχλωριώδη ιόντα και υδρογόνο σύμφωνα με την αντίδραση :



Το υποχλωριώδες ιόν είναι σχετικά ανενεργό για την καταπολέμηση των μικροοργανισμών και έτσι δεν επιτυγχάνεται ασφαλής απολύμανση για υψηλές τιμές pH, δηλαδή μεγαλύτερες του 8.



Σχήμα 4.3 Επί τοις εκατό μεταβολή της συγκέντρωσης του υποχλωριώδους οξέως και υποχλωριώδους ιόντος σε σχέση με το PH και τη θερμοκρασία ^[1].

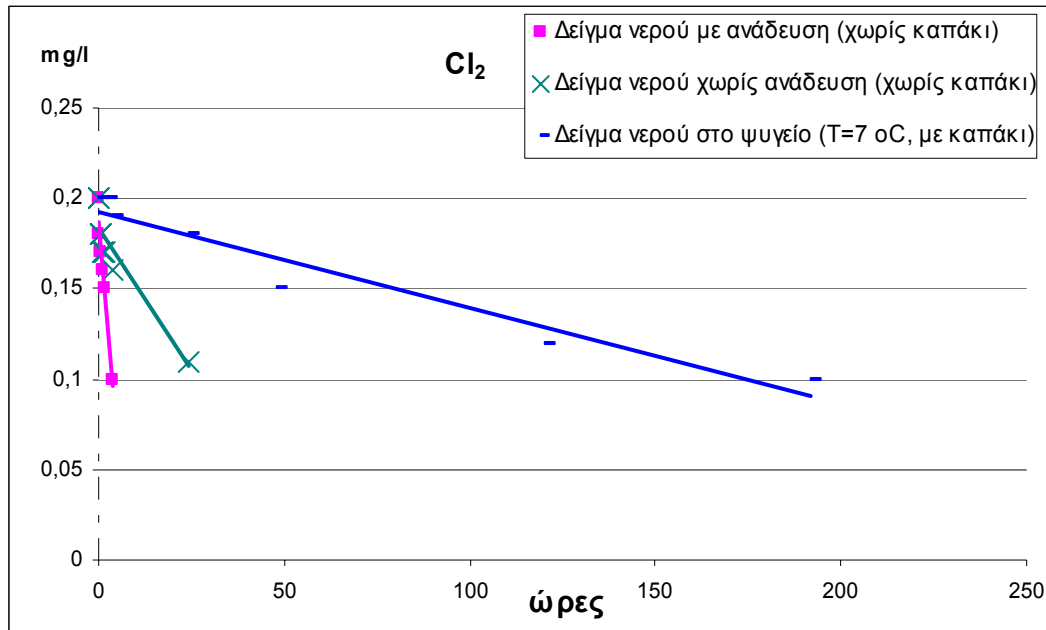
Από το Σχήμα 4.3 βλέπουμε ότι για τιμές pH των δειγμάτων από 7,5 έως και 8, το υπολειμματικό χλώριο με την μορφή υποχλωριώδους οξέος βρίσκεται σε ποσοστό μεταξύ 40% και 20% αντίστοιχα.

4.5 Μελέτη κινητικότητας του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου

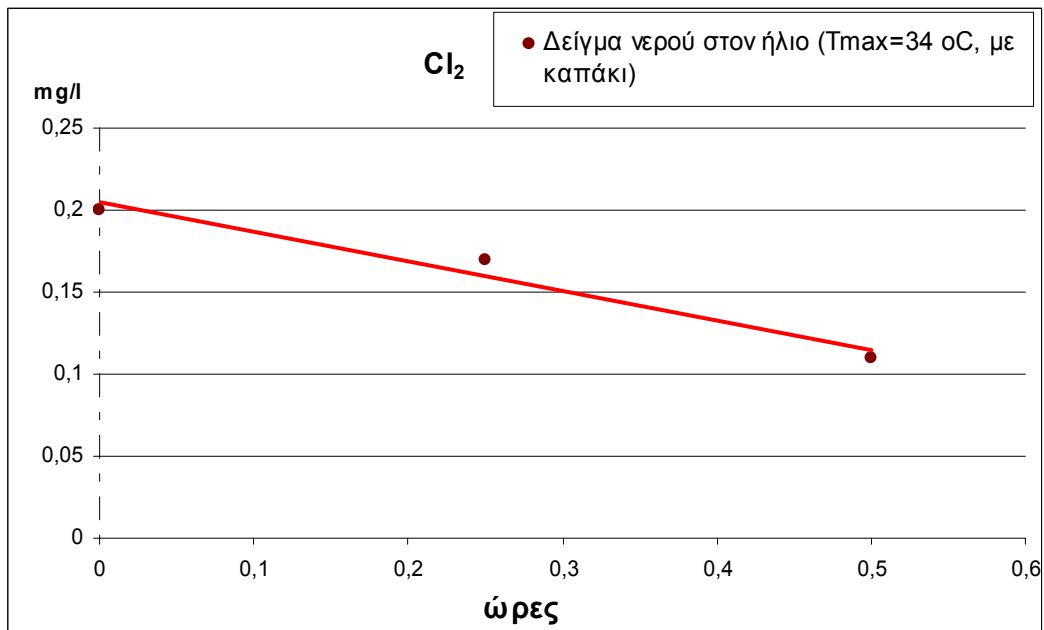
Προκειμένου να βρεθεί το κατά πόσον διατηρείται το υπολειμματικό χλώριο στο πόσιμο νερό κατά την αποθήκευσή του και να διαπιστωθούν οι καταλληλότερες συνθήκες διατήρησής του έγινε το εξής πείραμα :

Από την βρύση του ΤΕΙ συλλέχθηκαν τέσσερα δείγματα νερού σε πλαστικά μπουκάλια του ενός λίτρου και αμέσως μετρήθηκε το ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο και το σημείο εκείνο ορίστηκε ως χρονικό σημείο 0. Στη συνέχεια για διάφορα χρονικά διαστήματα μετρήθηκε το υπολειμματικό χλώριο, με το kit-test της Merck, στα μπουκάλια που το κάθε ένα βρισκόταν σε διαφορετικές συνθήκες : το 1^ο βρισκόταν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά ήταν υπό συνεχή ανάδευση (χωρίς καπάκι), το 2^ο διατηρήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά χωρίς

ανάδευση (χωρίς καπάκι), το 3^ο παρέμεινε συνεχώς στον ήλιο ($T_{\max}=37\text{ }^{\circ}\text{C}$, με καπάκι) και τέλος το 4^ο μπουκάλι (με καπάκι) διατηρήθηκε στο ψυγείο σε θερμοκρασία $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της συγκέντρωσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου σε mg/l παρουσιάζονται στα Γραφήματα 4.5, 4.6 και 4.7 που ακολουθούν.



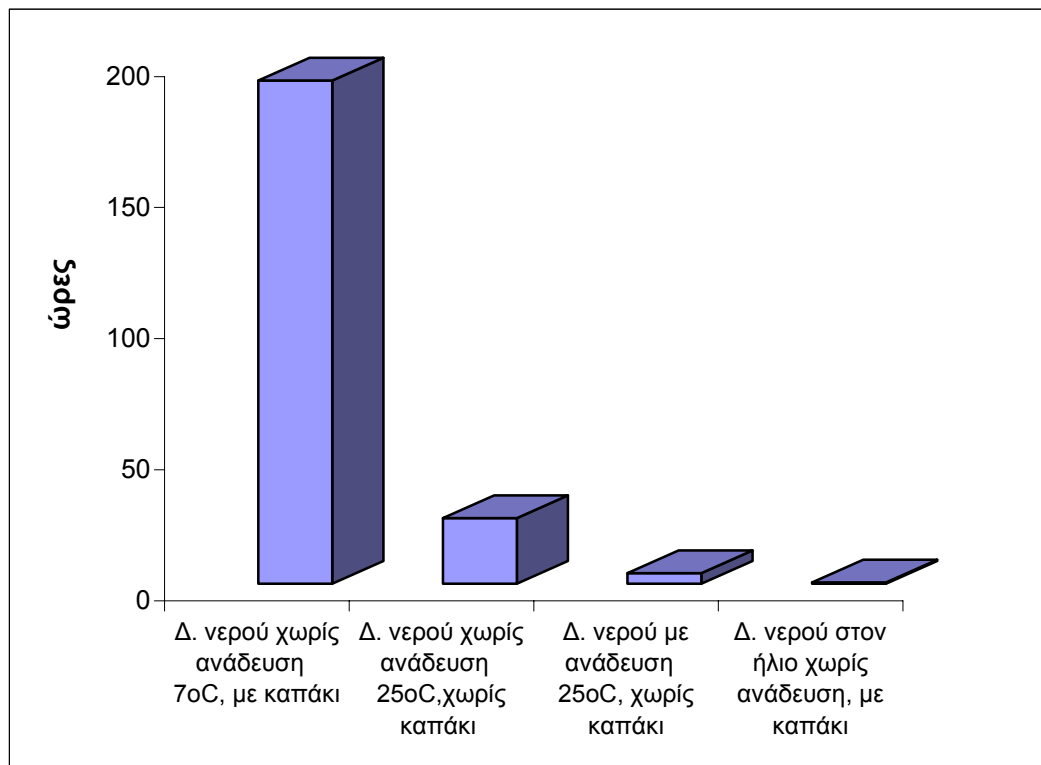
Γράφημα 4.5 Απώλεια ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου σε δείγματα νερού που παρέμειναν με ή χωρίς ανάδευση σε θερμοκρασία $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $7\text{ }^{\circ}\text{C}$



Γράφημα 4.6 Απώλεια ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου σε δείγμα νερού που παρέμεινε στον ήλιο χωρίς ανάδευση (μέγιστη θερμοκρασία $34\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Από τα Γραφήματα 4.5 και 4.6 διαπιστώνουμε πως υπάρχει μια γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων και πως το δείγμα νερού που βρίσκονταν στο ψυγείο διατήρησε για πολύ

περισσότερο το ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο σε σχέση με τα άλλα δείγματα, αυτό όμως παριστάνεται καλύτερα στο γράφημα που ακολουθεί.



Γράφημα 4.7 Χρόνος σε ώρες που απαιτήθηκε για να μεταβληθεί η συγκέντρωση του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου από 0,2 σε 0,1 mg/l ανάλογα με τις συνθήκες παραμονής των δειγμάτων.

Από το γράφημα 4.7 παρατηρούμε πως το υπολειμματικό χλώριο του δείγματος που βρισκόταν στο ψυγείο σε χαμηλή θερμοκρασία διατηρήθηκε κατά πολύ περισσότερο από όλα τα άλλα δείγματα και συγκεκριμένα κατά 87% περισσότερο από το δείγμα νερού που βρισκόταν χωρίς ανάδευση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το τελευταίο σε σχέση με το δείγμα που ήταν με ανοιχτό καπάκι στην ίδια θερμοκρασία και με ανάδευση, διατηρήθηκε κατά 84% περισσότερο, αυτό οφείλεται στο ότι το χλώριο είναι πτητική ένωση μπορεί και εξατμίζεται εύκολα. Το δείγμα νερού που το διαπερνούσαν οι ηλιακές ακτίνες έχασε το 50% της συγκέντρωσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου μέσα σε 30min, δηλαδή 384 φορές πιο γρήγορα απ' ό,τι το δείγμα νερού που ήταν στο ψυγείο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η ανάδευση /αναταραχή, η ακτινοβολία του ηλίου και η θερμοκρασία είναι οι κύριοι παράγοντες που συντελούν στην μείωση της συγκέντρωσης του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου στο νερό.

Για να είναι λοιπόν σε θέση το νερό να διατηρεί όσον το δυνατόν περισσότερο το ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο, θα πρέπει να διατηρείται σε μπουκάλι που δεν θα αφήνει την ηλιακή ακτινοβολία να το διαπερνάει, θα πρέπει να σφραγίζεται καλά, να μην αναδεύεται και να φυλάσσεται σε χαμηλή θερμοκρασία.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

«ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ»

Για την ύδρευσης μιας περιοχής καλό θα ήταν να επιλέγεται υπόγεια πηγή νερού γιατί η ποιότητα του είναι συνήθως ανώτερη από εκείνη του επιφανειακού ως προς τους μικροοργανισμούς, τη θολότητα και τον Ολικό Οργανικό Άνθρακα (Τ.Ο.С), τα οποία σχετίζονται άμεσα με την ανθρώπινη υγεία.

Όσον αφορά την μέθοδο απολύμανσης τα στοιχεία δίνουν ένα προβάδισμα στη χρήση του όζοντος ως απολυμαντικού μέσου, καθώς εξασφαλίζει αρκετά καλή απολύμανση χωρίς λειτουργικούς κινδύνους και αρνητικές επιδράσεις στον αποδέκτη. Ταυτόχρονα οι οικονομικοί όροι εκτιμώνται ως συμφέροντες (κόστος λειτουργίας και συντήρησης). Από μόνη της όμως σαν μέθοδος απολύμανσης δεν μπορεί να εφαρμοστεί για την προστασία ενός δικτύου ύδρευσης γιατί δεν παρέχει υπολειμματική δράση. Η μόνη μέθοδος η οποία έχει εφαρμοστεί όσο καμία άλλη και θεωρείται πλέον αξιόπιστη, παρέχει υπολειμματική δράση και μπορεί έτσι να παρέχει προστασία από τους παθογόνους μικροοργανισμούς καθ' όλη τη διάρκεια μεταφοράς του νερού στο δίκτυο ύδρευσης, είναι η χλωρίωση. Το μεγάλο όμως μειονέκτημα της χλωρίωσης είναι τα παραπροϊόντα χλωρίωσης που αν σχηματίζονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις, σύμφωνα με τα επιστημονικά στοιχεία, μπορούν να βλάψουν σοβαρά την ανθρώπινη υγεία.

Καμία μέθοδος απολύμανσης από μόνη της δεν είναι κατάλληλη για να εξασφαλίσει στο δίκτυο ύδρευσης νερό απαλλαγμένο από μικροβιολογικό φορτίο και επικίνδυνα παραπροϊόντα απολύμανσης (DBPs). Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος αρκετές μεγάλες μονάδες επεξεργασίας νερού ύδρευσης χρησιμοποιούν συνδυασμό μεθόδων απολύμανσης με επικρατέστερο το όζον – χλώριο. Το όζον γιατί έχει πολύ καλή απολυμαντική δράση και δεν σχηματίζει τόσα πολλά επικίνδυνα παραπροϊόντα και το χλώριο το οποίο χρησιμοποιείται σε μικρές συγκεντρώσεις στο δίκτυο ύδρευσης για να παρέχει υπολειμματική δράση.

Αν διαπιστωθεί ότι το νερό στην έξοδο του από τη μονάδα επεξεργασίας έχει υψηλές τιμές CPBs, θα πρέπει να εφαρμοστεί η σχετική τεχνογνωσία (φίλτρα ενεργού άνθρακα, τεχνολογία μεμβρανών και βελτίωση της συμβατικής επεξεργασίας) για την απομάκρυνση οργανικής ύλης που φαίνεται να είναι η κύρια πηγή δημιουργίας των παραπροϊόντων χλωρίωσης (CBPs).

Η πρόκληση λοιπόν της χλωρίωσης ως μέθοδος απολύμανσης του νερού στις μέρες μας, είναι να συγκεντρωθούν τα οφέλη της άριστης αποτελεσματικότητας απολύμανση του χλωρίου ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιδράσεις και την τοξικότητα των παραπροϊόντων της. Οι χημικοί, οι βιολόγοι, και οι μηχανικοί πρέπει να εργαστούν μαζί για να προσδιορίσουν, να συνεκτιμήσουν και να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικότερα τις απολυμαντικές μορφές του χλωρίου για να μεγιστοποιήσουν την απολύμανση ^[2]. Τεχνολογική πρόοδος σε αυτό τον τομέα έχει σημειωθεί και ένα παράδειγμα είναι τα συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου της απολύμανσης σε δίκτυα ύδρευσης όπως το SCADA, που έχει την δυνατότητα να αυξάνει την αποτελεσματικότητα και τον έλεγχο της χλωρίωσης.

Συγχρόνως, πρέπει να προσδιορίσουν, να συνεκτιμήσουν και να ελαχιστοποιήσουν τις τοξικές μορφές των παραπροϊόντων που παράγονται από τις αντιδράσεις του χλωρίου με τις οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στο νερό. Μέχρι το σημείο που αυτό είναι δυνατό, μπορούμε να απολαύσουμε τα οφέλη της χλωρίωσης και να ελαχιστοποιήσουμε τις ανθρώπινες και περιβαλλοντικές επιδράσεις των παραπροϊόντων της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Gerald F. Connell, The Chlorination/Chloramination Handbook, Water Disinfection Series
2. Jolley Condie, Johnson Katz, Minear Mattice, Jacobs, «Water chlorination Chemistry, Environmental Impact and Health Effects» Volume 6. USA
3. Θεμιστοκλής Δ. Λέκκας (1996), Περιβαλλοντική μηχανική Ι διαχείριση υδατικών πόρων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη
4. Θ. Κουϊμτζή, Κ. Φυτιάνου, Κ. Σαμαρά – Κωνσταντίνου (1998), «Χημεία περιβάλλοντος» Θεσσαλονίκη
5. Μανασής Μ, «Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού», 2η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
6. ΕΥΔΑΠ, Λειτουργία Δικτύου. Διαθέσιμο :
http://www.eydap.gr/index.asp?a_id=72
7. www.AT.idx.gr - Αρχαία Τεχνολογία, Δίκτυο Ύδρευσης. Διαθέσιμο:
<http://67.18.47.148/com/index/at/site/5.05.asp>
8. Δ.Ε.Υ.Α.Χ, Ύδρευση. Διαθέσιμο :
http://www.chania.gr/eldocs/o_deuax.jsp#2
9. Κνωσός, Βικιπαίδεια. Διαθέσιμο :
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BD%CF%89%CF%83%CF%8C%CF%82>
10. Κώστας Δελήμπασης (2001, Νοε. 20), Απολύμανση υγρών αποβλήτων. Διαθέσιμο :
http://www.e-telescope.gr/gr/cat08/art08_011120.htm
11. Universal Aqua Plus, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ. Διαθέσιμο :
<http://www.aquaplus.gr/aposteirosi-nerou.html>
12. Keith Christman, The History of Chlorine. Διαθέσιμο :
http://c3.org/chlorine_knowledge_center/history.html
13. www.water.idx.gr, Νερό και Δημόσια Υγεία, Απολύμανση του Νερού. Διαθέσιμο :
<http://67.18.47.148/com/index2/water/default.asp>
14. Πατρίς, Καθαρό το νερό των Χανίων βεβαιώνει η ΔΕΥΑΧ. Διαθέσιμο :
<http://www.patris.gr/archive/2000/11/3/7th.html#4>
15. Tokmak B. et al., November 2003, Trihalomethanes and associated potential cancer risks in the water supply in Ankara, Turkey, Environmental Research 96 (2004) 346 345–352

16. Nikolaou A.D., Lekkas T.D., Golfinopoulos S.K., January 2004, Kinetics of the formation and decomposition of chlorination by-products in surface waters, Chemical Engineering Journal 100 (2004) 139–148
17. Nikolaou A.D. , Lekkas T.D., Golfinopoulos S.K., Sept. 2001, DISINFECTION BY-PRODUCTS IN THE DRINKING WATER OF ATHENS, 7th International Conference on Environmental Science and Technology Ermoupolis, Syros island, Greece
18. Ροντογιάννη.Β, Sep 2004, Απομάκρυνση Οργανικών Ενώσεων Από Το Πόσιμο Νερό Με Χρήση Φίλτρου Ενεργού Ανθρακα, MSc Thesis, Πολυτεχνείο Κρήτης
19. Drinking Water Chlorination, A Review of Disinfection Practices and Issues. Διαθέσιμο : http://c3.org/chlorine_issues/disinfection/c3white2003.html
20. Sean Gray, Jane Houlihan, Richard Wiles, Jeremiah Baumann (2001 Oct.), Consider the Source Farm runoff, chlorination byproducts and human health, ENVIRONMENTAL WORKING GROUP THE STATE PIRGS WORKING GROUP
21. European Urology Supplements 4 (2005), Water chlorination and other environmental factors in bladder cancer, Result of a multicentre study, No. 3, pp. 220
22. ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ Αρ. Φύλλου 892, άρθρα 1, 6, 8, 10, 18
23. Περιοδικό Υδροεπιχειρήσεις (2003 Νοε.), σελίδες 78-80
24. Παρασκάκης Σ. (Χανιά 2005), Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Δ.Ε.Υ.Α.Χ, Συνέντευξη και σχετικό υλικό για το σύστημα SCADA,
25. Merck KGaA, (Chlorine Test Cl₂ 1.00598), Οδηγίες χρήσης για τον προσδιορισμό του ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου με το kit test Cl₂
26. Περιγραφή Συστήματος Τοπικών Σταθμών Ύδρευσης της πόλης των Χανίων – Εγχειρίδια ΔΕΥΑΧ
27. Οπτικοακουστικό υλικό (DVD) εκπαιδευτικής εκδρομής του ΤΕΙ Χανίων στις εγκαταστάσεις χλωρίωσης στο Βαντέ.