

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ – ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΙΕΙΝΗ
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ
ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

της **Μαρίας Παν. Αγιωτάτου**

Λάρισα, 2015

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: Χρήστος Χατζηχριστοδούλου

Μέλη: Γιώργος Ραχιώτης

Βαρβάρα Μουχτούρη

Στη οικογένειά μου,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρόσβαση σε επαρκείς ποσότητες ασφαλούς νερού για πόση, οικιακή χρήση αλλά και για αστικές και βιομηχανικές εφαρμογές είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία και την ευημερία του ανθρώπου. Σε πολλές περιοχές του κόσμου οι άνθρωποι έχουν υποφέρει από ανεπαρκή πρόσβαση σε ασφαλές νερό ενώ κάποιοι άλλοι έπρεπε να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις μόνο για αποκτήσουν επαρκές νερό για την διατήρηση της ζωής τους. Όλοι οι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν σε περιοχές όπου υπήρχε άφθονο και εύκολα διαθέσιμο νερό με πιο σημαντικά παραδείγματα ο πολιτισμός της Μεσοποταμίας (Τίγρης και Ευφράτης), της Αιγύπτου (Νείλος), της Αρχαίας Ινδίας (Γάγγης), της Αρχαίας Κίνας (Κίτρινος ποταμός), της Αρχαίας Ελλάδας (θαλάσσια οικονομία και εμπόριο). Αλλά μέχρι και σήμερα οι περισσότερες από τις μεγαλύτερες μητροπόλεις του κόσμου (Νέα Υόρκη, Μόντρεαλ, Λονδίνο, Τόκυο, Μπουένος Άιρες) χρωστάνε την επιτυχία τους σε μεγάλο ποσοστό στην εύκολη πρόσβαση τους, μέσω του νερού, στην επακόλουθη επέκταση του εμπορίου της.

Εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της γής, της μαζικής κατανάλωσης, της κατάχρησης των φυσικών πόρων, της ρύπανσης και μόλυνσης του νερού η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής και διαρκώς μειώνεται. Για αυτό το λόγο, το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό σε όλη την υφήλιο και άρχισε ήδη να αποτελεί αιτία για πολλές πολιτικές διενέξεις. Σύμφωνα με έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού υπολογίζεται ότι τα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%. Σήμερα ένα ποσοστό περίπου 40% από τους ανθρώπους που ζουν στην γη δεν έχει επαρκές νερό και για υποτυπώδη υγιεινή. Περισσότεροι από 2,2 εκατομμύρια άνθρωποι πέθαναν το 2000 από ασθένειες που σχετίζονται με την κατανάλωση μολυσμένου νερού ή με την ξηρασία.

Συνεπώς η τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης είναι τομείς της επιστήμης που έχουν στόχο την κατεργασία νερού και παραγωγή γλυκού νερού από νερό αποβλήτων, θαλασσινό και υφάλμυρο νερό. Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης εισήχθησαν πριν από 50 χρόνια περίπου και ήταν σε θέση να εξασφαλίσουν πρόσβαση σε νερό αλλά με μεγάλο κόστος. Οι εξελίξεις νέων και βελτιωμένων τεχνολογιών έχουν διευρύνει σημαντικά τις ευκαιρίες για πρόσβαση σε μεγάλες ποσότητες ασφαλούς πόσιμου νερού σε πολλά μέρη

του κόσμου. Περισσότερες από 12.000 μονάδες αφαλάτωσης είναι σε λειτουργία σε όλο τον κόσμο παράγοντας περίπου 40 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού την ημέρα έχοντας στόχο όχι την παραγωγή γλυκού νερού αλλά και την μείωση του κόστους παραγωγής ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή νερού σε προσιτές τιμές για τον μέσο καταναλωτή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1 Το νερό και η σημασία του.....	12
1.2 Κατανάλωση νερού.....	12
1.3 Προέλευση και πηγές νερού.....	13
1.4 Κατάταξη νερού.....	15
1.5 Έλλειψη νερού.....	16
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	17
2.1 Σκοπός και στόχος.....	19
2.3 Αναμενόμενα αποτελέσματα – Συμπεράσματα.....	19
3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	20
3.1 Ιστορικά στοιχεία.....	20
3.2 Εισαγωγή στην αφαλάτωση.....	21
3.3 Αφαλάτωση και Water Safety Plan.....	22
3.4 Κύριοι μέθοδοι αφαλάτωσης.....	25
3.5 Θερμικές μέθοδοι αφαλάτωσης.....	26
3.5.1 Πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση – Multistage flash distillation (MSF).....	26
3.5.2 Απόσταξη σε πολλαπλές βαθμίδες – Multistage effect distillation (MED).....	27
3.5.3 Εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών – Vapour compression distillation (VCD).....	28
3.6 Τεχνολογίες μεμβρανών.....	28
3.6.1 Αντίστροφη όσμωση – Reverse osmosis (RO).....	29
3.6.2 Πορεία λειτουργίας μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση.....	30
3.6.3 Περιγραφή συστήματος αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση.....	31
3.6.3.1 Προ-κατεργασία θαλασσινού νερού.....	31
3.6.3.1.α Χλωρίωση.....	32
3.6.3.1.β Θρόμβωση – Κροκίδωση.....	33

3.6.3.1.γ Πολυστρωματικά φίλτρα.....	33
3.6.3.1.δ Αποχλωρίωση.....	34
3.6.3.1.ε Ρύθμιση pH.....	34
3.6.3.1.στ Προσθήκη αντικαθαλωτικού.....	34
3.6.3.1.ζ Φίλτρο φυσιγγίων.....	35
3.6.3.2 Κυρίως σύστημα αφαλάτωσης	35
3.6.3.2.α Αντλία χαμηλής πίεσης.....	35
3.6.3.2.β Αντλία υψηλής πίεσης.....	35
3.6.3.2.γ Στοιχεία αντίστροφης όσμωσης.....	36
3.6.3.2.δ Συστήματα ανάκτησης ενέργειας.....	36
3.6.3.2.ε Συμβατικά συστήματα ανάκτησης ενέργειας.....	37
3.6.3.2.στ Νέα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας RO.....	37
3.6.3.3 Μετεπεξεργασία.....	38
3.6.3.3.α Ρύθμιση pH.....	38
3.6.3.3.β Ρύθμιση σκληρότητας.....	38
3.6.3.3.γ Χλωρίωση.....	39
3.6.4. Ηλεκτροδιάλυση –Electrodialysis (ED).....	39
 4. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΑΦΑΛΤΩΣΗ.....	41
4.1. Εισαγωγή.....	41
4.2 Χημικοί κίνδυνοι και αφαλάτωση.....	41
4.3 Χημικοί κίνδυνοι στην πηγή του νερού.....	43
4.3.1 Βόριο και βρωμιούχα.....	43
4.3.2 Νάτριο και κάλιο.....	44
4.3.3 Μαγνήσιο και ασβέστιο.....	46
4.4 Προεπεξεργασία.....	46
4.5 Χημικά που παράγονται από την διαδικασία αφαλάτωσης.....	47
4.6 Μετεπεξεργασία.....	47
4.6.1 Προσθήκη μεταλλικών στοιχείων.....	48
4.7 Σύστημα διανομής.....	48

5. ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....	50
5.1 Πηγές και επιβίωση παθογόνων μικροοργανισμών.....	50
5.2 Μικροβιολογικοί παράμετροι κατά την διαδικασία αφαλάτωσης.....	52
5.2.1. Προεπεξεργασία.....	52
5.2.2 Ανάμειξη νερού πηγής με αφαλατωμένο νερό.....	53
5.3 Αντίστροφη όσμωση.....	53
5.3.1 Ακεραιότητα του συστήματος αντίστροφης όσμωσης.....	54
5.3.2 Ρύπανση και βιοφίλμ (biofouling).....	55
5.4 Οργανική ύλη και ανάπτυξη μικροοργανισμών στο αφαλατωμένο νερό.....	56
5.5 Θερμικές διεργασίες.....	56
5.6 Απολύμανση αφαλατωμένου νερού.....	57
5.7 Αποθήκευση και διανομή αφαλατωμένου νερού.....	58
5.8 Ζητήματα σχετικά με την ανάμειξη του νερού με άλλες πηγές.....	58
5.9 Συστάσεις.....	59
 6. ΜΕΤΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΕΠΙΒΛΕΨΗ (ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ), ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ.....	 62
6.1 Απόδειξη.....	63
6.1.1 Πλήρης λειτουργία.....	63
6.1.2 Επαλήθευση.....	64
6.1.3 Επιτήρηση (παρακολούθηση).....	64
6.2 Πλήρης λειτουργία για αφαλάτωση.....	65
6.3 Πηγή νερού.....	67
6.3.1 Θαλάσσια νερά.....	68
6.3.2 Γλυφές επιφάνειες ή υπόγεια ύδατα.....	69
6.3.3 Παράμετροι λειτουργίας ελέγχου.....	69
6.4 Προκατεργασία.....	71
6.4.1 Διαδικασίες μέσω μεμβράνης, κλιμάκωση, καθίζηση και ρύπανση.....	74
6.4.2 Θερμική διαδικασία – πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (MSF) και πολυβάθμια απόσταξη (MED).....	75
6.5 Επεξεργασία.....	76
6.5.1 Διαδικασία μέσω μεμβράνης.....	76
6.5.2 Θερμική διαδικασία.....	77

6.6 Ανάμειξη και προσθήκη ιχνοστοιχείων.....	78
6.6.1 Παράμετροι λειτουργίας ελέγχου.....	80
6.7 Διαδικασία απολύμανσης μετά την επεξεργασία.....	80
6.7.1 Παράμετροι λειτουργία ελέγχου.....	81
6.8 Αποθήκευση και διανομή.....	81
6.9 Απορρίψεις.....	82
6.9.1 Παράμετροι λειτουργίας ελέγχου.....	83
6.10 Επαλήθευση.....	84
6.11 Έλεγχος ποιότητας.....	86
6.11.1 Πρόσθετα και χημικά.....	86
6.11.2 Εξοπλισμός παρακολούθησης, δειγματοληψία, εργαστήρια και μέθοδοι ανάλυσης.....	88
6.12 Σχέδια παρακολούθησης και αποτελέσματα.....	89
6.13 Επιτήρηση.....	89
6.14 Κανονισμός.....	91
6.14.1 Κανονισμοί για την ποιότητα του νερού.....	92
6.14.2 Κανονισμοί της παροχής πόσιμου νερού.....	96
6.14.3 Αναφορά συμβάντων και έλεγχος κανονισμών.....	96
6.15 Προτάσεις παρακολούθησης.....	96
 7. ΟΡΟΙ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΚΡΟΥΣΜΑΤΑ ΥΔΑΤΟΓΕΝΩΝ ΝΟΣΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	 103
 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	 105

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

3.1 Πλάνο για την παραγωγή ασφαλούς πόσιμου νερού.....	23
3.2 Βασικά στοιχεία του WSP για αφαλάτωση.....	24
6.1 Χημικά που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία θερμικής μεθόδου αφαλάτωσης	72
6.2 Χημικά προεπεξεργασίας που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο μεμβρανών.....	73
6.3 Απαιτήσεις και παράμετροι δειγματοληψίας.....	93
6.4 Προτεινόμενοι παράμετροι παρακολούθησης και συχνότητας για τις μονάδες αφαλάτωσης.....	98

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

1.1 Ο υδρολογικός κύκλος του νερού.....	14
3.1 Το φαινόμενο της αντίστροφης όσμωσης.....	29
3.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης μονάδα αφαλάτωσης με RO.....	31
6.1 Τυπική ακολουθία των διαδικασιών επεξεργασίας αφαλάτωσης και διανομή.....	66
6.2 Πλάνο δειγματοληψίας ασφαλούς πόσιμου νερού.....	95

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ

Το νερό αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα για τον ανθρώπινο οργανισμό καθώς αποτελεί πολύτιμη αξία στην τροφική αλυσίδα. Έχει κατοχυρωθεί ως κοινωνικό αγαθό και η πρόσβασή του σε αυτό θεωρείται ως βασικό ανθρώπινο δικαίωμα. Επίσης το νερό αποτελεί ουσιώδη παράγοντα για την ανάπτυξη κάθε κοινωνίας καθώς αποτελεί την κινητήριου δύναμη τόσο για τον πρωτογενή όσο και για τον δευτερογενή τομέα παραγωγής. Παρόλο όλα αυτά το νερό από ανανεώσιμος πόρος τείνει να γίνει μη ανανεώσιμος λόγω της αυξημένης ζήτησης και της διαρκώς ελλοτούμενης προσφοράς. Ο άνθρωπος θεωρώντας το μέχρι σήμερα ως ανεξάντλητο το σπαταλούσε, ενώ την ίδια στιγμή τα παγκόσμια αποθέματα γλυκού νερού συνεχώς μειώνονται σε σχέση με την αύξηση του πληθυσμού.

1.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ

Οι πηγές πόσιμου νερού παραμένουν περίπου σταθερές από την αρχή της ζωής στην γη. Αντίθετα ο πληθυσμός της αυξάνεται αλματωδώς ειδικά τα τελευταία χρόνια, συνεπώς η αύξηση του πληθυσμού προκάλεσε την ραγδαία αύξηση της ζήτησης σε πόσιμο και καθαρό νερό. Η κατανάλωση νερού ποικίλει ανάλογα με την περιοχή, την χρονική περίοδο και το βιοτικό επίπεδο. Αν διαιρέσουμε την συνολική κατανάλωση σε μία ορισμένη περιοχή και χρονική περίοδο με τον αριθμό των κατοίκων και τον αριθμό ημερών βρίσκουμε τον δείκτη κατανάλωσης νερού (water index consumption) που είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος. Σήμερα σε μια αναπτυγμένη χώρα για τον υπολογισμό της κατανάλωσης σε μια περιοχή για οικιακή χρήση, χρησιμοποιείται ο δείκτης κατανάλωσης νερού από 150-350 lt/ημέρα ανά κάτοικο. (1)

Οι χρήσεις του νερού διακρίνονται στην οικιακή χρήση, στην βιομηχανική χρήση και στην αγροτική χρήση. Στα μεγάλα αστικά κέντρα το 50% της συνολικής κατανάλωσης νερού αποδίδεται σε οικιακή χρήση. Σε γενικές γραμμές η οικιακή χρήση μοιράζεται στις εξής χρήσεις : 5% για πόση, 4% για καθαριότητα, 3% πότισμα κήπων, 37% για σωματικό πλύσιμο και λουτρό, 41% στην χρήση της τουαλέτας, 6% στην κουζίνα. Σήμερα το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού υποφέρει από έλλειψη νερού, κάτι που αναμένεται να επιδεινωθεί τα επόμενα χρόνια και να φτάσει το 60%. Από την άλλη

πλευρά η χρήση του νερού υγειονομικώς μη αποδεκτής ποιότητας στις υποανάπτυκτες χώρες προκαλεί το 80-09% των ασθενειών και το 30% των θανάτων. (1, 2)

Η βιομηχανική και η οικονομική ανάπτυξη καθώς και η ανάγκη καλλιέργειας μεγαλύτερων εκτάσεων αλλά και εντατικής καλλιέργειας της γης, οδηγεί σε συνεχώς μεγαλύτερες καταναλώσεις νερού. Έτσι τεχνικές ανακύκλωσης νερού, η χρησιμοποίηση διπλών δικτύων ύδρευσης με χρήση νερού από επεξεργασία αποβλήτων αλλά και χρησιμοποίησης του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού για παραγωγή γλυκού νερού είναι κάτι παραπάνω από αναγκαίες. Σήμερα βιομηχανικές χώρες που παραδοσιακά δεν είχαν πρόβλημα έλλειψης νερού αναγκάζονται να αποζητούν νέες πηγές νερού. Αν μεν οδηγηθούν στην εύκολη λύση της υπεράντλησης των υπόγειων αποθεμάτων νερού, προκαλείται μείωση της ποιότητας του αντλούμενου νερού, μείωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και τελικά είσοδο της θάλασσας σε αυτόν. Η ορθή λοιπόν λύση στο πρόβλημα της έλλειψης υδάτινων πόρων είναι αφενός μεν η ορθή διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων και η ανεύρεση νέων πηγών πόσιμου και φρέσκου νερού. (2)

1.3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΝΕΡΟΥ

Ως γλυκό νερό χαρακτηρίζεται το νερό που είναι αβλαβές για την υγεία, ευχάριστο στην γεύση, διαυγές, άοσμο και απαλλαγμένο από μικρόβια και οργανικές ύλες. Η θερμοκρασία του πρέπει να κυμαίνεται από 10 °C έως 15°C. (3)

Το νερό στη φύση ακολουθεί διαρκώς μια διαδικασία η οποία καλείται «υδρολογικός κύκλος». Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφεται από τα ακόλουθα βήματα: αρχικά το νερό της θάλασσας εξατμίζεται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, στη συνέχεια οι υδρατμοί ανεβαίνουν στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας συμπυκνώνονται και σχηματίζουν σύννεφα, τα οποία υπό συγκεκριμένες συνθήκες δημιουργούν την βροχή, το χιόνι και το χαλάζι με αποτέλεσμα το νερό να καταλήγει και πάλι στην γη. Από την συνολική ποσότητα νερού που πέφτει στη γη ένα μέρος πέφτει στις υγρές επιφάνειες, λίμνες, ποτάμια, θάλασσα που είναι και το μεγαλύτερο. Ένα άλλο μέρος πέφτει στο έδαφος μέρος του οποίου απορροφάται εμπλουτίζοντας τον υδροφόρο ορίζοντα και ένα μέρος ρέει μέσω των ποταμών προς την θάλασσα. Συνεπώς οι θάλασσες, τα ποτάμια και οι λίμνες αποτελούν τα επιφανειακά νερά που καλύπτουν το 70% της επιφάνειας της γης. Μεγάλες όμως

ποσότητες νερού συγκρατούνται στο έδαφος και υπέδαφος και αποτελούν τα υπόγεια νερά. (4)



Εικόνα 1.1 : Ο υδρολογικός κύκλος του νερού.
(πηγή: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>)

Οι πηγές νερού που μπορεί να παρέχουν άμεσα χρησιμοποιήσιμο νερό ως πόσιμο, οικιακή και βιομηχανική χρήση ή νερό που απαιτεί φυσική επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθεί είναι:

- **Ποτάμια:** Όλοι οι ποταμοί εκβάλουν σε λίμνες ή στην θάλασσα. Το νερό των ποταμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα με μικρή σχετική κατεργασία εφόσον δεν δέχεται βιομηχανικά ή αστικά απόβλητα.
- **Λίμνες:** Η ποιότητα του νερού των λιμνών καθορίζονται από την ποιότητα του νερού των ποταμών που εκβάλουν σε αυτές.

- **Υπόγειο νερό:** Τα υπόγεια νερά περιλαμβάνουν κυρίως τα διάφορα φυσικά ή τεχνητά πηγάδια. Περίπου η μισή ποσότητα του νερού της βροχόπτωσης ή χιονιού και χαλαζιού αποθηκεύεται εντός του εδάφους δημιουργώντας τον υδροφόρο ορίζοντα.
- **Θαλασσινό νερό:** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για βιομηχανική και για οικιακή χρήση ή άλλες εφαρμογές μετά από επεξεργασία αφαλάτωσης. (1)

1.4 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΝΕΡΟΥ

Η διαδικασία παραγωγής πόσιμου νερού ή νερού για βιομηχανική χρήση από θαλασσινό, υφάλμυρο νερό, υπόγειο ή επιφανειακό νερό προϋποθέτει την πλήρη γνώση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων του προς επεξεργασία νερού. Σε πολλές περιπτώσεις η ακριβής γνώση των φυσικών ιδιοτήτων του νερού δεν είναι τόσο σημαντική σε άλλες όμως και μικρή απόκλιση από το σημείο του βρασμού του νερού σε ορισμένη πίεση μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένο σχεδιασμό του αποστακτήρα. Έτσι είναι πολύ χρήσιμη η γνώση επικαιροποιημένων τιμών των φυσικών ιδιοτήτων του νερού. (1)

Το φυσικώς υπάρχον νερό σε οποιαδήποτε μορφή στην επιφάνεια της γης ή υπογείως πάντοτε περιέχει διαλυμένες στερεές ουσίες. Ένας τρόπος κατάταξης του είδους του νερού μπορεί να γίνει με την ποσότητα της πάσης φύσεως διαλυμένων ουσιών στερεών ουσιών (total dissolved solids, TDS) και μετράται ως μέρη στο εκατομμύριο (part per million, ppm). (5)

Σύμφωνα λοιπόν με την περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά TDS το νερό μπορεί να διαχωριστεί σε διάφορες κατηγορίες:

- **Πόσιμο νερό** (tap water) με TDS <500 ppm.
- **Ελαφρά υφάλμυρο νερό**, μπορεί να είναι και πόσιμο σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την σχετική Ελληνική νομοθεσία.
- **Υφάλμυρο νερό** (brackish water), μη πόσιμο και συνήθως ακατάλληλο για καλλιέργειες $2.000 < \text{TDS} < 10.000 \text{ ppm}$.
- **Θαλασσινό νερό** (sea water), $30.000 < \text{TDS} < 42.000 \text{ ppm}$. (6)

1.5 ΕΛΛΕΙΨΗ ΝΕΡΟΥ

Η έλλειψη νερού είναι παγκόσμιο φαινόμενο και ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα τα του πλανήτη. Το πρόβλημα αυτό οφείλεται κυρίως στις τεράστιες αλλαγές που έχουν γίνει στο δεύτερο μισό του 20ου αιώνα.

Η γενική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου κυρίως όμως η εκρηκτική πληθυσμιακή αύξηση της ζήτησης νερού και εξίσου δυσανάλογη σπατάλη με αποτέλεσμα οι πηγές τροφοδότησης με νερό χρήσης μεγάλων περιοχών του πλανήτη να στερέψουν σταδιακά. Η ραγδαία όμως αύξηση του πληθυσμού έχει και έναν άλλο σημαντικό και εξίσου θλιβερό αποτέλεσμα που είναι η ραγδαία αύξηση της ρύπανσης και μόλυνσης όλων σχεδόν των υδάτινων αποθεμάτων. Αυτή η ρύπανση κα μόλυνση προέρχεται τόσο από τα λύματα οικιακής χρήσης καθώς και από τα βιομηχανικά απόβλητα και την αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. (1)

Στον πλανήτη μας υπάρχουν τεράστιες άγονες περιοχές όπου οι κλιματολογικές συνθήκες προσφέρουν ελάχιστη έως μηδενική βροχόπτωση, όπου η έλλειψη του νερού είναι απόλυτη. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζουν πολλές παράκτιες περιοχές όπου η έλλειψη πόσιμου νερού έστω και υφάλμυρου, είναι η ίδια όπως και στις ηπειρωτικές ερήμους. Υπολογίζεται ότι σε όλη την γη υπάρχουν περίπου 33.000 km άγονες ακτές, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων βρίσκεται στον Ινδικό ωκεανό, στην Αραβική χερσόνησο και κατά μήκος των Αφρικανικών ακτών. (7)

Για την σωστή αντιμετώπιση της λειψυδρίας θα πρέπει να εφαρμοστούν μέτρα εξοικονόμησης και σωστής διαχείρισης των υδατικών πόρων, μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης του νερού, διαχρονικές πολιτικές όσον αφορά την προστασία και την διάθεση των υδάτων. Λύσεις στην έλλειψη του νερού είναι η μεταφορά νερού από περιοχές που υπάρχει ο αγαθό αυτό, η κατασκευή φραγμάτων για την συγκέντρωση και αποθήκευση του νερού των ποταμών και την μετέπειτα αξιοποίησή του και η αφαλάτωση θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Αν υπολογιστεί κανείς ότι το 97% του νερού πάνω στην γη είναι θαλασσινό, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η αφαλάτωση θαλασσινού για την παραγωγή πόσιμου νερού, είναι η μόνη ουσιαστική και μακροχρόνια λύση στο πρόβλημα σε παγκόσμιο επίπεδο. Βέβαια παρά το ότι η αφαλάτωση παράγει φρέσκο νερό, αυτό δεν θα πρέπει να επιφέρει την αναιτιολόγητη και υπερβολική παραγωγή και την αλόγιστη διάθεση και χρήση του. (7)

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην εργασία είναι συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση με αναζήτηση πηγών και πρόσβαση σε ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες όπως είναι το pubmed που είναι η Εθνική Βιβλιοθήκη της Ιατρικής των ΗΠΑ (National library of Medicine), σε διεθνής οργανισμούς WHO - Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας καθώς και σε μηχανές αναζήτησης όπως το www.google.com αλλά και σε άλλες βιβλιοθήκες όπως το Scopus. Επίσης θα γίνει χρήση ελληνικής και ξένης Νομοθεσίας και Οδηγίες.

Λέξεις κλειδιά για αναζήτηση πληροφοριών: desalination, reverse osmosis, evaporator, evaporation, microbiological quality, chemical quality, waterborne diseases, waterborne outbreaks, hazard, hazardous event, system failure, potable water, drinking water, water for human consumption.

Μέθοδος αφαλάτωσης	Κατηγορία νερού	Κίνδυνοι	Μέτρα ελέγχου	Αριθμός άρθρων
				Elsevier
desalination	water	microbial	quality chemical	113
dezalination	drinking	pathogens	microbial	
reverse osmosis	water	human enteric	quality	
electrodialysis	potable water	viruses	microbiology	
multistage flash	drink	micro-	quality	
distillation	finished	organisms	chemical	
(MSF)	water	pathogenic	analysis	
multistage effect	blending	organisms	effluent	
distillation	water	bacteria	treatment	
(MED)	desalinated	algae	water quality	
thermal	water	toxin	pathogen quality	
desalination	water supply	producing	pathogen	
processes	fresh water	algae	monitoring	
thermal		viruses	microbial	
desalination		genus	control	
system		protozoan	disinfection by-	
multieffect		parasites	products	
evaporation		chemical	disinfection	
membrane		contamination	water safety	
separation				

technologies		petroleum	plan	
membrane		petroleum	remineralization	
desalination		products		
evaporator		toxic metals		
evaporation		biocides		
distillation		organic		
evaporative		chemicals		
condenser		DBP's		
solar distillation		TOC		
		boron and		
		bromide		
		sodium and		
		potassium		
		magnesium		
		and calcium		
		organic fouling		
(desalination OR reverse osmosis OR membrane desalination OR distillation OR evaporator*) AND (water OR potable water OR drinking water OR drinking OR fresh water* OR water supply*) AND (microbial OR algae OR bacteria OR genus OR viruses OR chemical OR biocides OR micro-organisms OR contamination OR sodium OR potassium OR organic chemicals) And (quality chemical OR microbial quality OR water quality OR disinfection OR microbial control OR chemical analysis OR water safety plan OR remineralization)				

Στο σύνολο των άρθρων τα 12 αναφέρονταν σε μεθόδους αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και 2 στο κόστος λειτουργίας και εγκατάστασης μονάδων αφαλάτωσης. Τα περισσότερα άρθρα 80 στον αριθμό τους έκαναν αναφορά στην ανάλυση μεθόδων αφαλάτωσης και προτάσεις ως προς την βελτίωσή τους, χωρίς να γίνεται αναφορά όσο αφορά τόσο την χημική όσο και την μικροβιολογική ανάλυση και ποιότητα του παραγόμενου νερού από αφαλάτωση. Τα 19 άρθρα χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία τα οποία ανέφεραν τις αρχές μεθόδους της αφαλάτωσης.

2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ

Οι στόχοι της εργασίας είναι:

1. Η περιγραφή των μεθόδων αφαλάτωσης για παραγωγή πόσιμου νερού με σκοπό τον εντοπισμό των κινδύνων.
2. Η περιγραφή των κινδύνων (hazards) και των επικίνδυνων γεγονότων (hazardous events) κατά την παραγωγή νερού.
3. Η περιγραφή των μέτρων ελέγχου.
4. Χημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά του νερού αμέσως μετά την παραγωγή του, όπως έχουν καταγραφεί μέσα από ερευνητικές εργασίες.
5. Η ανασκόπηση και περιγραφή περιστατικών που προκάλεσαν κρούσματα υδατογενών νοσημάτων σε ανθρώπους.
6. Προτάσεις για την ασφαλή παραγωγή πόσιμου νερού με αφαλάτωση.

2.3 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συστηματική καταγραφή των κινδύνων και των επικίνδυνων γεγονότων στην πηγή, κατά την διαδικασία της αφαλάτωσης και την επεξεργασία του παραγόμενου νερού. Εκτίμηση της επικινδυνότητας κατά την παραγωγή πόσιμου νερού με την μέθοδο της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού λαμβάνοντας υπόψη επιδημιολογικά στοιχεία και δεδομένα ερευνητικών εργασιών σχετικά με την ποιότητα του παραγόμενου νερού. Δημιουργία προτάσεων για μέτρα ελέγχου και λειτουργικά όρια βασισμένα σε ερευνητικές μελέτες.

3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Περίπου το 70% της επιφάνειας της γης καλύπτεται από νερό, το 97% του οποίου είναι θαλασσινό. Το υπόλοιπο 3% είναι καθαρό νερό και βρίσκεται στους πάγους (2%), στους υδροφόρους ορίζοντες και στην επιφάνεια της γης π.χ. σε ποτάμια, λίμες καθώς και στην ατμόσφαιρα της γης υπό τη μορφή υδρατμών (1%). Καθώς το καθαρό νερό είναι απαραίτητο για την διατήρηση της ζωής αλλά και σε πλήθος δραστηριοτήτων που σχετίζονται με αυτή, όπως οι καλλιέργειες, η ζωή στο αστικό περιβάλλον και στην βιομηχανία, χρειάζονται πολύ μεγάλες ποσότητες για την κάλυψη του συνόλου των αναγκών. Η έλλειψη μεγάλων αποθεμάτων και η μόλυνση των ήδη υπαρχόντων στρέφει το ενδιαφέρον στην εκμετάλλευση του θαλασσινού νερού με την διεργασία της αφαλάτωσης. (8)

Με τον όρο «αφαλάτωση» χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μία αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Έτσι κατ' επέκταση η αφαλάτωση είναι μια διαδικασία (μέθοδος) ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό, υφάλμυρο ή χαμηλής ποιότητας νερού. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές μη ξηρό κλίμα, φτωχές σε πόσιμο νερό και με πρόσβαση όπως σε θαλασσινό νερό. Όπως είναι γνωστό το 97,3% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στη θάλασσα αναμεμιγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα σε τέτοια μορφή που η χρήση του, είτε ως πόσιμο είτε ακόμα και για βιομηχανικές διεργασίες καθίσταται αδύνατη. (9)

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ιστορικά η ιδέα της αφαλάτωσης μέσω της εξάτμισης ανάγεται στους Αρχαίους Έλληνες ναυτικούς που την εφάρμοζαν κατά τον 4ο π.Χ. αιώνα στα μεγάλα ταξίδια τους ενώ το 350 π.Χ. είχε μελετηθεί πειραματικά από τον Αριστοτέλη.(9)

Τον 18 ο αιώνα με την ανάπτυξη της ατμοπλοΐας η αναγκαιότητα μεγάλης ποσότητας ύδατος στη χρήση ατμομηχανών κατάστησε επιτακτική ανάγκη την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ώστε να μην προκαλείται ταχύτατη διάβρωση των μηχανών. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφαλάτωσης νερού δόθηκε στην Αγγλία το 1869. Η σπουδαιότητα αυτής της ανακάλυψης φάνηκε από το γεγονός ότι τον ίδιο αμέσως χρόνο οι Άγγλοι κατέστησαν την πρώτη μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος στο

Άντεν για τις ανάγκες του στόλου τους. Ο πρώτος μεγάλος εργοστασιακός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος για εμπορική χρήση εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα το 1930. (10)

Το 1950 η Αμερικάνικη κυβέρνηση δημιουργεί ειδική υπηρεσία (OSW- Office of Saline Water) και χρηματοδοτεί τις έρευνες για την αφαλάτωση ενώ αρχίζουν οι πρώτες σύγχρονες εφαρμογές θερμικής αφαλάτωσης σε χώρες της Μέσης Ανατολής. Το 1960 ξεκινούν στο Πανεπιστήμιο UCLA της Καλιφόρνια τα πρώτα πειράματα στην αντίστροφη όσμωση με την κατασκευή των πρώτων μεμβρανών από τους ερευνητές Sydney Loeb και Shrinivasa Sourirajan. Το 1965 κατασκευάζεται η πρώτη πειραματική μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης. (10)

Από το 1970 άρχισαν να τίθενται σε λειτουργία μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στις ΗΠΑ, στη Ρωσία, στο Μεξικό, στη Μέση Ανατολή, σε παράλιες χώρες όπως είναι η Σαουδική Αραβία, το Κουβέιτ, η Αίγυπτος αλλά και το Ισραήλ. Στο δυτικό κόσμο ο μεγαλύτερος χρήστης της μεθόδου είναι η Ισπανία όπου ξεκίνησε μαζική χρήση αφαλάτωσης στα Κανάρια νησιά. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης της Ευρώπης βρίσκεται σήμερα στο Καρμπονέρας της νότιας Ισπανίας. (9)

Στο τέλος της δεκαετίας του '70 ο John Cadotte συνεργάτης του Americas Midwest Research Institute και του Film Tec Corporation εφεύρει μια πολύ βελτιωμένη μεμβράνη που θα χρησιμοποιηθεί καθολικά στα επόμενα χρόνια.

Την περίοδο 1990 – 2003 πραγματοποιείται σημαντική τεχνολογική πρόοδος στην αντίστροφη όσμωση με αποτέλεσμα την βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας της ποιότητας του νερού και κυρίως την μείωση του κόστους αφαλάτωσης (κατά 3 φορές). (9)

3.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Ως η καταλληλότερη λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας, θεωρείται η χρήση μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού η οποία αρχίζει να υιοθετείται από διάφορες χώρες όλο και περισσότερο.

Τεχνολογίες αφαλάτωσης είναι σε χρήση σε όλο τον κόσμο εξυπηρετώντας διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης της παροχής πόσιμου νερού για οικιακή και δημόσια

χρήση, βιομηχανικές εργασίες και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης νερού για τους πρόσφυγες και για στρατιωτικές επιχειρήσεις. Αφαλάτωση χρησιμοποιείται ακόμα σε πολλά ποντοπόρα πλοία και σε υποβρύχια. (9)

Η αφαλάτωση εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, άνυδρες με πρόσβαση όμως σε θαλασσινό νερό. Έτσι η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης σε πολλές άνυδρες περιοχές είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική τους ανάπτυξη. Συγκεκριμένα η αφαλάτωση είναι μια σημαντική πηγή νερού σε άνυδρες περιοχές της Μέσης Ανατολής (Περσικός κόλπος, Βόρεια Αφρική) τα νησιά της Καραϊβικής και άλλες περιοχές όπου η φυσική διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει την ζήτηση και όπου οι παραδοσιακές επιλογές ύδρευσης ή η μεταφορά νερού από άλλες περιοχές έχουν χαρακτηριστεί αδύνατες ή αντικοινομικές. (9)

Στις μέρες μας λειτουργούν περίπου 15.000 μονάδες αφαλάτωσης σε όλο τον κόσμο, κυρίως στην Μέση Ανατολή, αλλά και στις Η.Π.Α., την Δυτική Ευρώπη και την Ιαπωνία. Αυτός ο αριθμός όλο και συνεχίζει να αυξάνεται καθώς οι ερευνητές εργάζονται για την βελτίωση της διαδικασίας. (1)

3.3 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ WATER SAFETY PLAN

Σε κάθε παροχή πόσιμου νερού η ανάπτυξη ενός ασφαλούς πλάνου νερού το λεγόμενο Water Safe Plan (WSPs) αποτελεί το πρώτο ουσιώδες βήμα για την παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού (πίνακας 1). Για κάθε νέο σύστημα η ανάπτυξη ενός WSPs πρέπει να αρχίζει με την φάση του σχεδιασμού και να υλοποιούνται όλα τα στάδια του πλάνου όπως έχουν θεσπιστεί. Η εφαρμογή του WSPs είναι σημαντική, γιατί από τα στάδια που πρέπει να υλοποιηθούν, γίνεται εντοπισμός πιθανών κινδύνων και των εμποδίων τους και η εισαγωγή προληπτικών μέτρων για την εξάλειψη των κινδύνων οι οποίοι θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ποιότητα και την ποσότητα του παραγόμενου νερού.(11)



Πίνακας 3.1 : Πλάνο για την παραγωγή ασφαλούς πόσιμου νερού. (WHO, 2011)

Το WSP χαρτογραφεί το σύστημα παροχής νερού από την λεκάνη απορροής ώστε να αξιοποιήσει και να γίνει λεπτομερής ανασκόπηση του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου όλων των βημάτων και σταδίων που εντοπίζει τους κινδύνους οι οποίοι θα μπορούσαν να εισέλθουν σε κάθε στάδιο και να καθορίσει τους κινδύνους για την αποφυγή επικίνδυνων γεγονότων. Οι κίνδυνοι μπορεί να είναι φυσικοί, μικροβιολογικοί και χημικοί και θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου ή να επηρεάσουν την αποδοχή του νερού στους καταναλωτές (οσμή, γεύση). Επίσης κίνδυνοι μπορεί να είναι συστατικά ή και περιστατικά τα οποία θα αποτελούσαν απειλή κατά την λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης. Οι κίνδυνοι μπορεί να φτάσουν στον καταναλωτή σε αριθμού παθογόνων ή σε συγκεντρώσεις χημικών και το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ασθένειας ή την μη αποδοχή του νερού. Αυτό ίσως να περιλαμβάνει και υπέρβαση των προτύπων του πόσιμου νερού που εφαρμόζονται σε κάθε χώρα. Εκτός από τις τεχνικές εκτιμήσεις, το WSP απαιτεί και στοιχεία διαχείρισης όπως είναι η εκπαίδευση του προσωπικού, καταγραφή και διατήρηση αρχείων, περιοδική επανεξέταση των διαδικασιών λειτουργίας και διαχείριση του συστήματος διανομής. Παρακάτω αναφέρονται τα βασικά στοιχεία ενός WSP για αφαλάτωση. (11)

Component	Action
Description of the system, including the water source and sources of hazards.	Thoroughly understand and document the system from the source to the tap.
Assess the risks of hazards reaching consumers in numbers or concentrations of concern, and ensure that steps are in place to mitigate the risks	Determine the pathogens or chemicals that could be introduced at each stage, and ensure that barriers or operational procedures are in place to reduce the risks to meet health-based targets.
Ensure that the barriers are working efficiently at all times, and develop procedures for responding when efficiency starts to fall.	Develop operational monitoring to demonstrate that processes are working efficiently and an alert system to warn upon a decrease in effectiveness. Develop management procedures to ensure that all of the procedures are followed.
Verification that the WSP is working adequately and that a safe and acceptable supply of drinking-water is delivered.	Analyse key indicators of water quality and safety, and assess against appropriate standards and guidelines.
Develop supporting programmes.	Activities in such programmes are tailored to the specific needs and priorities of the water supply system and may vary from consumer education and community engagement to workforce training programmes.
Periodically review the WSP, and update the WSP in the wake of problems or emergencies.	Ensure that operation and management procedures are kept up to date and revised to incorporate lessons learnt.

Πίνακας 3.2 : Βασικά στοιχεία του WSP για αφαλάτωση. (WHO, 2011)

Οι κίνδυνοι μπορεί να είναι παρόν στην πηγή νερού, να προκύψουν κατά την διάρκεια της αφαλάτωσης ή κατά την διανομή στο σύστημα διανομής. Ένα βασικό βήμα είναι η παρακολούθηση των διαδικασιών και των εμποδίων ώστε να εξασφαλιστεί ότι

εφαρμόζονται σωστά σε όλες τις περιπτώσεις. Όλοι οι έλεγχοι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την παροχή πληροφοριών που θα μπορούν να εφαρμοστούν για να εξασφαλίζεται η ορθή διαχείριση του συστήματος και η παραγωγή ασφαλούς πόσιμου νερού. Επίσης το WSP περιλαμβάνει διαδικασίες για να διασφαλίσει ότι οι χημικές ουσίες και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο σύστημα συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις και δεν θα δημιουργήσουν κινδύνους. Κατάλληλα σχέδια έκτακτης ανάγκης πρέπει να καλύπτουν όλες τις πτυχές του συστήματος από περιστατικό μόλυνσης στην πρωτογενή πηγή νερού, βλάβη λειτουργίας κατά την διάρκεια της εφαρμογής αφαλάτωσης μέχρι την διανομή στο σύστημα παροχής. Πριν την διανομή στο σύστημα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι διαδικασίες σταθεροποίησης και προσθήκης ιχνοστοιχείων όσο αφορά τα συστήματα αφαλάτωσης. (11)

3.4 ΚΥΡΙΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχει αναπτυχθεί μεγάλος αριθμός τεχνολογιών αφαλάτωσης θαλασσινού νερού καθώς τα αποθέματα για καθαρό νερό όλο και λιγοστεύουν. Δεν μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει μια συγκεκριμένη μέθοδος αφαλάτωσης η οποία να θεωρείται η καλύτερη και πιο αξιόπιστη. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από τεχνολογίες αφαλάτωσης που απομακρύνουν αποτελεσματικά τα άλατα από το αλμυρό νερό παράγοντας ένα ρεύμα ύδατος με χαμηλή συγκέντρωση άλατος (ρεύμα προϊόντος) και ένα άλλο με υψηλή συγκέντρωση των υπολοίπων αλάτων (άλμη ή συμπύκνωμα).

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου και βιομηχανικού νερού από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Στις θερμικές μεθόδους ή μεθόδους απόσταξης, οι οποίες βασίζονται στην απόσταξη κατά την οποία το νερό αλλάζει τουλάχιστον δύο φορές φάση και επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του νερού από το αλατούχο διάλυμα.
- Στις τεχνολογίες μεμβρανών, οι οποίες χρησιμοποιούν μεμβράνες για τον διαχωρισμό των αλάτων από το νερό. (12)

Οι δύο προαναφερθείσες κατηγορίες περιλαμβάνουν τις εξής μεθόδους:

Θερμικές μέθοδοι:

1. Πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση – Multistage Flash Distillation (MSF).
2. Απόσταξη σε πολλαπλές βαθμίδες – Multistage Effect Distillation (MED).
3. Εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών – Vapour Compression Distillation (VCD).
4. Ηλιακή απόσταξη – Solar Distillation. (1)

Τεχνολογίες μεμβρανών:

1. Αντίστροφη όσμωση – Reverse Osmosis (RO).
2. Ηλεκτροδιάλυση – Electrodialysis (ED). (2)

3.5 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η βασική αρχή των θερμικών μεθόδων αφαλάτωσης είναι η αλλαγή φάσης του νερού από υγρό σε αέριο κατά την εξάτμιση και στη συνέχεια από την αέρια φάση (ατμοί) στην υγρή φάση κατά την συμπύκνωση, το οποίο είναι απαλλαγμένο από τα άλατα του αρχικού διαλύματος. (2)

3.5.1 ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ – MULTISTAGE FLASH DISTILLATION (MSF)

Η μέθοδος της πολυβάθμιας εκρηκτικής εξάτμισης εφαρμόζεται σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις με μεγάλες παροχές σε αφαλατωμένο νερό. Η αρχή λειτουργίας της είναι η εξής : το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε ένα δοχείο που ονομάζεται βραστήρας άλμης, σε θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη από το σημείο βρασμού και εισέρχεται στο πρώτο θάλαμο, που ονομάζεται βαθμίδα, όπου επικρατεί πίεση χαμηλότερη από την πίεση κορεσμού. Με την απότομη μετάβαση του θερμού θαλασσινού νερού σε χαμηλότερη πίεση, προκαλείται ο ταχύτατος βρασμός του και η απότομη μετατροπή του σε ατμό. Ο ατμός που δημιουργείται έρχεται κατόπιν σε επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν κρύο θαλασσινό νερό, υδροποιείται και συλλέγεται ως καθαρό νερό. (13)

Ο εκρηκτικός βρασμός με τον σχηματισμό ατμού έχει σαν αποτέλεσμα την ψύξη του διαλύματος. Η ψύξη αυτή είναι σημαντική π.χ. για την εξάτμιση περίπου του 7% μιας ποσότητας θαλασσινού νερού αρχικής θερμοκρασίας 100°C, η θερμοκρασία του φθάνει μετά την εξάτμιση περίπου στους 60°C. Για να είναι δυνατή μια νέα εκρηκτική εξάτμιση στην επόμενη βαθμίδα πρέπει η πίεση στο θάλαμο να είναι χαμηλότερη από αυτή που αντιστοιχεί στο σημείο βρασμού του διαλύματος στην προηγούμενη βαθμίδα. (13, 14)

Τέτοιες εγκαταστάσεις βρίσκουν ευρύτατη εφαρμογή σε στη Μέση Ανατολή και ειδικότερα στην Σαουδική Αραβία, τα Εμιράτα και το Κουβέιτ και καλύπτουν το 40% της παγκόσμιας εφαρμογής της αφαλάτωσης. (13)

3.5.2 ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΣΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΒΑΘΜΙΔΕΣ – MULTISTAGE EFFECT DISTILLATION (MED)

Η απόσταξη σε πολλαπλές βαθμίδες είναι παρόμοια με την πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση, αναπτύχθηκε νωρίς και υπήρχαν εγκαταστάσεις από την δεκαετία του '50. Παρόλο αυτά σταδιακά αντικαταστάθηκε από την πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση λόγω τεχνικών προβλημάτων και ακόμη και σήμερα δεν είναι τόσο διαδεδομένη.

Η εγκατάσταση αφαλάτωσης πολλαπλών βαθμίδων αποτελείται από ένα λέβητα θέρμανσης, ένα εξατμιστήρα, ένα συμπυκνωτή ατμών και έναν διαχωριστή από όπου ο ατμός περνάει ελεύθερα αλλά οι λεπτές σταγόνες της άλμης παγιδεύονται και αποχωρίζονται από τον ατμό. Η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας στους εξατμιστήρες μιας βαθμίδας οδήγησε στην κατασκευή εξατμιστήρων με περισσότερες βαθμίδες, δηλαδή πολλούς εξατμιστήρες συνδεδεμένους σε σειρά, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας όλου του συστήματος. (2)

Εδώ ο ατμός περνάει από μέσα σωλήνες, ενώ το ψυχρό θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω τους, για να δημιουργηθεί φιλμ και να εξατμιστεί αποτελεσματικότερα. Έτσι μέρος του ατμού συμπυκνώνεται και συλλέγεται σαν καθαρό νερό, ενώ ο υπόλοιπος ατμός μαζί με μέρος του θαλασσινού νερού που ατμοποιήθηκε συνεχίζουν στην επόμενη βαθμίδα. Και εδώ σε κάθε βαθμίδα υπάρχει αντλία κενού για να βοηθά την εξάτμιση με βαθμιαία μειούμενη πίεση σε κάθε βαθμίδα, ίση με την πίεση κορεσμού στην αντίστοιχη θερμοκρασία. Αυτό επιτρέπει την λειτουργία σε υψηλή (>90°C) ή χαμηλή (<90°C) θερμοκρασία και μάλιστα η μέγιστη θερμοκρασία βρασμού μπορεί να είναι έως και

55°C, πράγμα που λειτουργεί ανασταλτικά στην διάβρωση και επιτρέπει τη χρήση χαμηλού επιπέδου απορριπτόμενης θερμότητας από άλλες θερμικές διεργασίες. Στη μέθοδο αυτή συχνά χρησιμοποιούνται και συμπιεστές (μηχανικοί ή θερμικοί) ενώ οι παραλλαγές της προκύπτουν από την οριζόντια ή κάθετη διάταξη των σωλήνων ατμού και τη φορά του ατμού σε σχέση με την άλμη (ομορροή, αντιρροή ή παράλληλη). Η επιλογή του τρόπου εξαρτάται από την μεταβολή της διαλυτότητας των αλάτων σε σχέση με την θερμοκρασία της άλμης και της μέγιστης συγκέντρωσής της. (13)

3.5.3 ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΜΕ ΕΠΑΝΑΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΩΝ – VAPOUR COMPRESSION DISTILLATION (VCD)

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο αποδοτική και απλή στην κατασκευή, χωρίς πολλαπλά στάδια. Το θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω σε μια σειρά σωλήνων που τους διαπερνά ατμός, θερμαίνεται και εξατμίζεται με την βοήθεια αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση. Ο συμπιεστής αυτός μαζεύει τους ατμούς του καθαρού νερού και τους εκτοξεύει με πίεση μέσα στους σωλήνες και με την επαφή του ψυχρού θαλασσινού νερού συμπυκνώνονται και λαμβάνονται ως προϊόν. (13)

Η κύρια διαφορά με τις προηγούμενες δύο μεθόδους είναι προφανώς η απουσία πηγή θερμότητας, αφού εδώ η εξάτμιση προκαλείται αποκλειστικά και μόνο από την χαμηλή πίεση, δηλαδή λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Και εδώ η δημιουργία λεπτού φιλμ πάνω στους σωλήνες είναι το κλειδί για την αποτελεσματικότερη εξάτμιση και άρα απόδοση της εγκατάστασης. Η εξάτμιση με συμπίεση ατμών χρησιμοποιείται γενικά σε μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις και παράγει μέχρι και 3.000 m³/ ημέρα. (1,13)

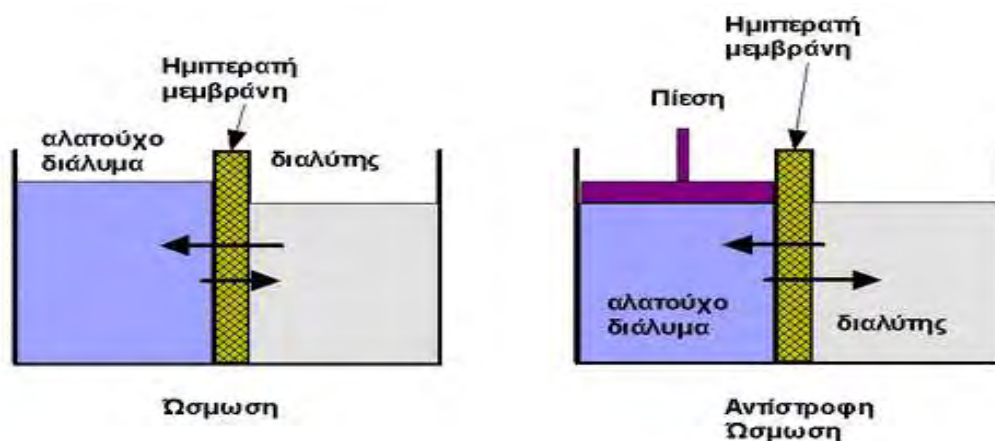
3.6 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Η αφαλάτωση με την χρήση μεμβρανών είναι μια διαδικασίας διαχωρισμού των αλάτων από το αλατούχο διάλυμα με την χρήση ημιπερατών μεμβρανών. Το παραγόμενο αφαλατωμένο νερό είναι αρκετά μικρής περιεκτικότητας σε άλατα, με αποτέλεσμα να είναι ικανό για κάθε χρήση. Οι δύο βασικές τεχνολογίες που εφαρμόζονται σήμερα είναι η αντίστροφη όσμωση και η ηλεκτροδιάλυση.

3.6.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ – REVERSE OSMOSIS (RO)

Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης αποτελεί την πλέον διαδεδομένη, αξιόπιστη και οικονομική τεχνολογία για την παραγωγή υψηλής ποιότητας πόσιμου νερού. Αποτελεί το 32,6% του παραγόμενου νερού με εγκαταστάσεις για παροχές μεγαλύτερες από 4.000 m³/d και το 19,5% για παροχές μεταξύ 100 και 4.000 m³/d.(13)

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου στηρίζεται σε αντιστροφή του φυσικού φαινομένου της όσμωσης. Φυσιολογικά όταν δύο υγρά με διαφορετική πυκνότητα (περιεκτικότητα σε άλατα) έρθουν σε επαφή, τότε το υγρό με την μικρότερη πυκνότητα, μετατοπίζεται προς το υγρό με την υψηλότερη πυκνότητα, μέχρι να υπάρξει ισορροπία (το όλο μίγμα να αποκτήσει την ίδια πυκνότητα), αυτή η ιδιότητα ονομάζεται διάχυση. Όταν όμως μεταξύ των δύο υγρών παρεμβληθεί μια ημιπερατή μεμβράνη, τότε εμποδίζεται η διέλευση των αλάτων, αλλά όχι και του νερού (διαλύτης) που διέρχεται ελεύθερα στο αλατούχο διάλυμα. Η οσμωτική ροή από το αραιότερο προς το πυκνότερο υγρό συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί μια κατάσταση ισορροπίας, η οποία χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του αλατούχου διαλύματος, η διαφορά αυτής της στάθμης των διαλυμάτων αντιστοιχεί στην οσμωτική πίεση και η ιδιότητα αυτή ονομάζεται όσμωση. Αν όμως ασκηθεί πίεση στο αλατούχο διάλυμα, υψηλότερη της οσμωτικής πίεσης, τότε η ροή αντιστρέφεται και έχουμε έξοδο καθαρού νερού από το αλατούχο διάλυμα προς το διαλύτη, αυτό ονομάζεται αντίστροφη όσμωση. (14,15)



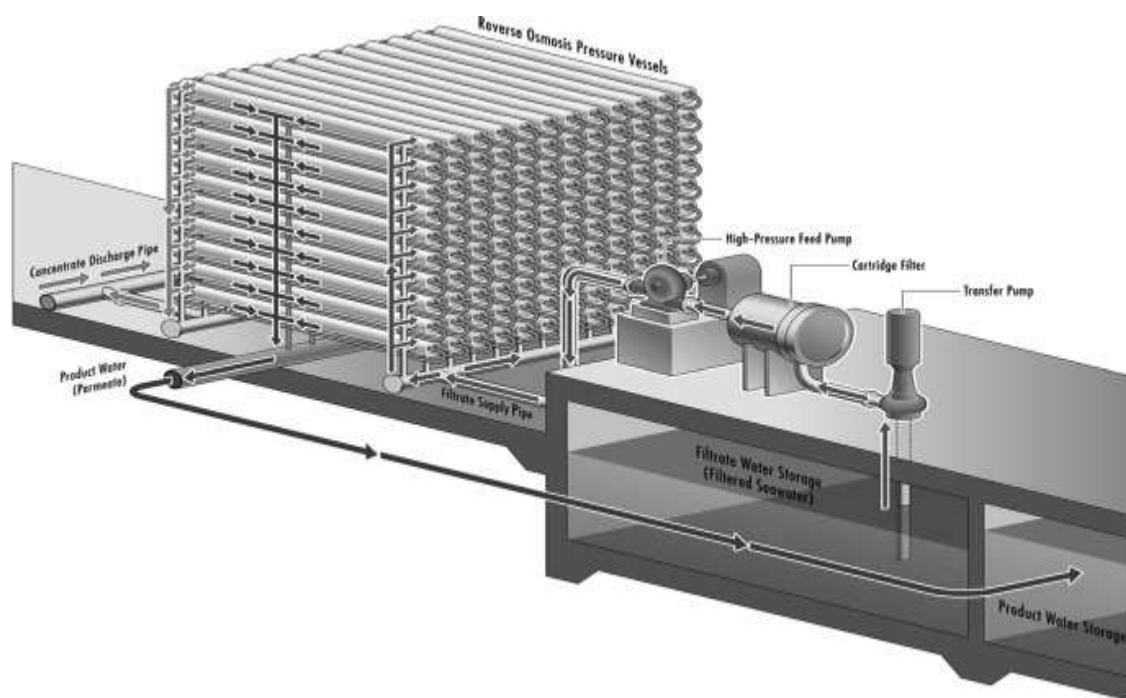
Εικόνα 3.1 : Το φαινόμενο της όσμωσης. (10)

Στις σύγχρονες εφαρμογές αφαλάτωσης η διαδικασία αντίστροφης όσμωσης είναι αυτοματοποιημένη με μία αντλία υψηλής πίεσης να διοχετεύει συνεχώς θαλασσινό νερό σε μεμβράνες που βρίσκονται μέσα σε ένα δοχείο υψηλής πίεσης, το θαλασσινό νερό αφού υποστεί προκατεργασία, με την βοήθεια της αντλίας υψηλής πίεσης, διέρχεται με πίεση από την μεμβράνη η οποία κρατάει την διαλυμένη ουσία στην μία πλευρά της και επιτρέπει στο καθαρό νερό να περάσει από την άλλη. (2)

3.6.2 ΠΟΡΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

Οι μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση ακολουθούν μια πορεία λειτουργίας, η οποία μπορεί να χωριστεί σύμφωνα με την σειρά των σταδίων που την αποτελούν. Συνοπτικά έχουμε:

- Τροφοδοσία θαλασσινού νερού.
- Προκατεργασία θαλασσινού νερού.
- Συμπίεση προκατεργασμένου νερού τροφοδότησης σε αντλία υψηλής πίεσης.
- Αφαλάτωση του νερού σε μονάδα αντίστροφης όσμωσης.
- Ανάκτηση ενέργειας μέσω απόρριψης της άλμης.
- Τελική κατεργασία του αφαλατωμένου νερού.
- Απόρριψη του υπολείμματος της άλμης. (2)



Εικόνα : Τρισδιάστατη απεικόνιση διάταξης μονάδας αφαλάτωσης με RO. (WHO,2007)

3.6.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

Στην παραπάνω υποενότητα αναφέρθηκαν τα κύρια στάδια λειτουργίας μιας μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση. Ένα σύστημα παραγωγής αφαλατωμένου νερού με αντίστροφη όσμωση αποτελείται από τρία κυρίως μέρη :

1. Το σύστημα προ-κατεργασίας θαλασσινού νερού.
2. Το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης.
3. Το σύστημα μετεπεξεργασίας νερού.

3.6.3.1 ΠΡΟ-ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.

Για να διατηρηθεί η αποδοτικότητα και η διάρκεια ζωής ενός συστήματος αντίστροφης όσμωσης, απαιτείται η προ-κατεργασία του αλατούχου διαλύματος. Η επιλογή της κατάλληλης προ-κατεργασίας θα μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα της διεργασίας και τη αξιόπιστη λειτουργία των μεμβρανών μειώνοντας:

- Επικαθίσεις αλάτων.
- Μόλυνση μεμβρανών.

- Αποικοδόμηση μεμβρανών.

Το σύστημα προ-κατεργασίας θα πρέπει να σχεδιασθεί χημικά και υδροδυναμικά με τον κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε να αποφεύγεται η ανεπαρκής προ-κατεργασία και το υψηλό κόστος λειτουργίας. Κάθε κατάλληλο σύστημα προ-κατεργασίας προϋποθέτει στοιχεία που αφορούν:

- Κατασκευή μεμβρανών.
- Διαμόρφωση των μεμβρανών
- Προέλευση του αλατούχου διαλύματος προς αφαλάτωση
- Χημική και μακροσκοπική σύσταση του διαλύματος τροφοδοσίας
- Ποιότητα παραγόμενου νερού
- Ποσοστό ανάκτησης νερού

Η μακροσκοπική ποιότητα του νερού προς επεξεργασία μπορεί να καθορισθεί από τον εμπειρικό παράγοντα δείκτης πυκνότητας λάσπης (silt density index,SDI). Τιμές του SDI υψηλότερες του 3 και ακόμη περισσότερο σε τιμές μεγαλύτερες του 5 σημαίνει νερό χαμηλής ποιότητας που απαιτεί καλύτερη προ-κατεργασία. Το νερό των γεωτρήσεων και πηγαδιών είναι γενικά καλύτερης ποιότητας ($SDI < 2$), από αυτά των επιφανειακών νερών ή της ανοιχτής θάλασσας, ($2 < SDI < 6$). (16)

3.6.3.1.α Χλωρίωση

Για την πρόληψη δημιουργίας επιστρώματος μόλυνσης οργανικής κυρίως προέλευσης (biofouling) το νερό προς αφαλάτωση χλωριώνεται, είτε με αέριο χλώριο, είτε συνήθως με υπο-χλωριώδες νάτριο ή λιγότερο συχνά υπο-χλωριώδες ασβέστιο. Η χλωρίωση γίνεται με δοσομετρικές αντλίες συνεχώς ώστε στο νερό τροφοδοσίας η συγκέντρωση σε ενεργό χλώριο να φτάνει μέχρι 10ppm. Η χλωρίωση μπορεί να γίνεται online στην εγκατάσταση ή στην δεξαμενή εξισορρόπησης του νερού προς επεξεργασία. Η δεύτερη περίπτωση ενδείκνυται διότι το χλώριο έχει μεγαλύτερο χρόνο δράσης. Το χλώριο οξειδώνει και σκοτώνει όλους τους ζωντανούς οργανισμούς που θα μπορούσαν να επικαθίσουν στις μεμβράνες και να αναπτύξουν αποικίες μολύνοντας την επιφάνειά τους και μειώνοντας την παραγωγή νερού ενώ χειροτερεύουν την ποιότητα του παραγόμενου νερού. (16,17)

3.6.3.1.β Θρόμβωση - κροκίδωση

Για χρησιμοποιούμενο νερό με υψηλό ποσοστό αιωρούμενων στερεών, υψηλή τιμή SDI, χρησιμοποιούνται ουσίες που προκαλούν την συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών και τελικά τον διαχωρισμό τους από το νερό προς επεξεργασία σε επόμενο στάδιο. Τα συσσωματώματα ή γενικώς τα αιωρούμενα στερεά διέρχονται από δύο είδη φίλτρων. Τα φίλτρα άμμου, που περιλαμβάνουν στρώσεις από αδρανή υλικά διαφορετικού μεγέθους και από τα φίλτρα φυσιγγίων όπου συγκρατούνται όλα τα αιωρούμενα στερεά μεγέθους μεγαλύτερου των 1-5 μm . (18)

3.6.3.1.γ Πολυστρωματικά φίλτρα

Τα πολυστρωματικά φίλτρα περιέχουν αδρανή υλικά σε στρώματα (layers), και λειτουργούν ως φίλτρα. Περιλαμβάνουν σε στρώσεις διαφόρων μεγεθών από τον πυθμένα προς τα επάνω:

- χαλαζιακά μικρά χαλίκια
- αδρανή πυριτική άμμο,
- ανθρακίτη

Η πυκνότητα αυτών των υλικών είναι τέτοια ώστε διατηρείται η διαστρωμάτωσή τους ακόμη και σε ισχυρές αναδεύσεις λόγω μεγάλης ταχύτητας της διερχόμενης θάλασσας. Αυτό συμβαίνει όταν έχουμε έκπλυση των φίλτρων με αντίθετη ροή. Η έκπλυση των φίλτρων γίνεται όταν η πτώση πίεσης στα φίλτρα είναι μεγαλύτερη του 20% της εφαρμοζόμενης πίεσης. Η έκπλυση μπορεί να γίνεται αυτόματα ή χειροκίνητα. Το μέγεθος των σωματιδίων είναι μεταξύ 0,5-3 mm. Ο καθαρισμός του νερού επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

1. Με την μη δυνατότητα των αιωρούμενων σωματιδίων να διαπεράσουν το ανώτατο στρώμα, λόγω μεγέθους.
2. Με την καθίζηση του λόγω βάρους στην επιφάνεια του μέσου στα φίλτρα, στα κατώτερα στρώματα.

Τα φίλτρα περιλαμβάνουν τις κατάλληλες σωληνώσεις και βάνες ώστε να είναι δυνατή η έκπλυσή τους. Όταν περιλαμβάνονται πολλά παράλληλα φίλτρα, τότε η έκπλυση μπορεί να γίνει και κατά την διάρκεια λειτουργίας της μονάδας εφόσον υπάρχει η απαιτούμενη παροχή θαλασσινού νερού. Η ταχύτητα ροής στα φίλτρα άμμου θα πρέπει

να είναι όσο το δυνατό μικρότερη. Για λόγους πρακτικούς και μείωσης του μεγέθους του φίλτρου σε ρεαλιστικές διαστάσεις η ταχύτητα είναι περίπου 10-25m/h. Η ταχύτητα αυτή διπλασιάζεται κατά την έκπλυση. Τα δοχεία είναι κατασκευασμένα από πολυεστέρα ή από ανοξείδωτα μέταλλα ή μέταλλα επενδυμένα εσωτερικά με πολυμερές υλικό πάχους τουλάχιστον 3mm. Θα πρέπει να φέρουν ασφαλιστική βαλβίδα κενού ώστε να προστατεύονται από υποπίεση, η πίεση δοκιμής τους θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 bar. (1)

3.6.3.1.δ Αποχλωρίωση

Το υπολειπόμενο χλώριο που έχει χρησιμοποιηθεί εάν φτάσει στις μεμβράνες θα τια καταστρέψει. Έτσι θα πρέπει να υπάρχει στάδιο από-χλωρίωσης. Με δοσομετρική αντλία τροφοδοτούμε το νερό με αναγωγικά μέσα, όπωςθειωτικό νάτριο ήθειώδες νάτριο, όξινοθειώδες νάτριο ή μετα-θειώδες νάτριο κατάλληλης δοσολογίας ώστε να μην υπάρχει καμία περίπτωση να παραμείνει χλώριο στο διάλυμα. Η από-χλωρίωση μπορεί να γίνει και με φίλτρα ενεργού άνθρακα. Τα φίλτρα αυτά συγκρατούν επίσης αιωρούμενη οργανική ύλη και χλωραμίνες, ιδιαίτερα επικίνδυνες ουσίες. Ο ενεργός άνθρακας προκύπτει από άνθρακα με κατεργασία με ατμό σε υψηλή θερμοκρασία ή με χημικά μέσα. Για την απολύμανση του διαλύματος τροφοδοσίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδοι πλην της χλωρίωσης όπως η χρήση όζοντος ή UV. (18)

3.6.3.1.ε Ρύθμιση pH

Για την αποφυγή επικαθίσεων αλάτων χρησιμοποιούμε οξέα για την μείωση του pH του διαλύματος, το χρησιμοποιούμενο οξύ είναι το υδροχλωρικό οξύ. Σε πολλές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης χρησιμοποιείται και το θειικό οξύ. Η δοσολογία του καθορίζεται από την σύσταση του κατεργαζόμενου νερού. (18)

3.6.3.1.στ Προσθήκη αντικαθαλωτικού

Η παρεμπόδιση των επικαθίσεων αλάτων μπορεί να γίνει και με την προσθήκη ειδικών αντικαθαλωτικών (antiscalants) ουσιών που παρεμποδίζουν την επικάθιση αλάτων. Απαιτούνται μικρές ποσότητες αντικαθαλωτικού (1-10ppm). Η δράση τους οφείλεται στο γεγονός ότι προσροφούνται επιφανειακά στο αρχικό στάδιο του σχηματισμού των αλάτων, έτσι ώστε δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη των κρυστάλλων και συνεπώς το σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων. Οι εταιρείες παραγωγής αντικαθαλωτικών

προσφέρουν ειδικά λογισμικά για το προσδιορισμό της δοσολογίας αντικαθαλωτικού ανάλογα με την χημική σύσταση του διαλύματος τροφοδοσίας. (18)

3.6.3.1.ζ Φίλτρο φυσιγγίων

Για την ολοκλήρωση της προ-κατεργασίας η θάλασσα διέρχεται από τα φίλτρα φυσιγγίων. Ο αριθμός και οι διαστάσεις των φυσιγγίων που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από την παροχή της θάλασσας. Γενικά χρησιμοποιούνται φίλτρα από πολυμερές υλικό (πολυπροπυλένιο) συνήθων διαστάσεων, μήκους 76cm και εξωτερικής διαμέτρου 6cm, η εσωτερική κοιλότητα έχει διάμετρο 3cm. η πυκνότητα του υλικού κατασκευής των φίλτρων είναι τέτοια ώστε από τα φίλτρα αυτά διέρχονται σωματίδια μεγέθους μικρότερου συνήθων των 1-5 μm. Το δοχείο το οποίο τοποθετούνται τα φυσιγγία θα πρέπει να είναι από ανοξείδωτο υλικό ή κατάλληλο πολυμερές ή χάλυβα επενδυμένο εσωτερικά με κατάλληλη επίστρωση ανθεκτική στην διάβρωση. (18)

3.6.3.2 ΚΥΡΙΩΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης περιλαμβάνει τα εξής τμήματα:

3.6.3.2.α Αντλία χαμηλής πίεσης

Η αντλία χαμηλής πίεσης (low pressure pump, LP) είναι συνήθως περιστροφική αντλία κατάλληλης ισχύος για την τροφοδοσία των φίλτρων και της αντλίας υψηλής πίεσης. Είναι κατασκευασμένη από υλικό ανθεκτικό στην διάβρωση, ανοξείδωτο χάλυβα ή αλουμινούχο μπρούτζο. Λαμβάνει το αλατούχο διάλυμα, θάλασσα ή υφάλμυρο νερό, απευθείας από την πηγή τροφοδοσίας είτε από δεξαμενή εξισορρόπησης. Εκτός της μίας αντλίας LP υπάρχει και δεύτερη αντλία που χρησιμοποιείται για την έκπλυση και καθαρισμό των μεμβρανών, μικρότερης ισχύος. Γενικά εγκαθίστανται δύο παράλληλες αντλίες χαμηλής πίεσης, μία σε λειτουργία και μία εφεδρική. (18)

3.6.3.2.β Αντλία υψηλής πίεσης

Η αντλία υψηλής πίεσης (high pressure pump, HP) είναι εμβολοφόρα αντλία με τρία ή περισσότερα έμβολα, κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα και ειδικά κεραμικά υλικά για μείωση του βάρους τους. Χρησιμοποιούνται επίσης και πολυβάθμιες περιστροφικές αντλίες στη σειρά από κατάλληλο υλικό. Οι αντλίες HP θα πρέπει να

παρέχουν πίεση που φτάνει τα 70 bar. Το νερό τροφοδοσίας εξερχόμενο από την αντλία στην υψηλή πίεση διοχετεύεται στα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης που βρίσκονται στα δοχεία πίεσης. (18)

3.6.3.2.γ Στοιχεία αντίστροφης όσμωσης

Αποτελούνται από ειδικά δοχεία πίεση εντός των οποίων τοποθετούνται σε σειρά 1-7 στοιχεία μεμβρανών. Ο έλεγχος της ποιότητας παραγωγής κάθε μεμβράνης γίνεται με ειδικό σωλήνα που τοποθετείται εσωτερικά των μεμβρανών στον σωλήνα του παραγόμενου νερού. Κάθε σύστημα αφαλάτωσης μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης (δοχείο πίεσης και στοιχεία μεμβρανών) διαταγμένα παράλληλα σχηματίζοντας μία ή περισσότερες συστοιχίες (arrays). Το νερό προς κατεργασία εισέρχεται σε κάθε στοιχείο αντίστροφης όσμωσης και από το ένα άκρο, ενώ στο άλλο άκρο εξέρχονται το καθαρό νερό και η άλμη. Εάν επιθυμούμε μεγαλύτερη ανάκτηση η άλμη μπορεί να ανακυκλώνεται ή να χρησιμοποιηθεί και δεύτερο πέρασμα (second pass) σε άλλη συστοιχία στοιχείων αντίστροφης όσμωσης. Η πίεση λειτουργίας μπορεί να καθορίζεται από βάνα που υπάρχει στην έξοδο της άλμης. Κάθε εταιρεία κατασκευής έχει το δικό της σχεδιασμό για τον καθορισμό της ασκούμενης πίεσης αλλά και της ανάκτησης. (1,19)

Τα δοχεία πίεσης είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις 1000-1200 psi, εφόσον το διάλυμα τροφοδοσίας είναι θαλασσινό και φέρουν ειδικές πλάκες στα άκρα τους με τα κατάλληλα εξαρτήματα ώστε να είναι δυνατή η συναρμολόγηση τους χωρίς να υπάρχουν διαρροές θάλασσας ή παραγόμενου νερού στο περιβάλλον, αλλά και να διασφαλίζουν την στεγανότητα μεταξύ της θάλασσας και του παραγόμενου νερού. (1,19)

3.6.3.2.δ Συστήματα ανάκτησης ενέργειας

Η άλμη εξέρχεται από τα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης σε υψηλή πίεση. Έτσι είναι λογικό να χρησιμοποιηθεί κάποιο σύστημα ανάκτησης στις ενέργειες πίεσης που περικλείει η άλμη. Αυτό άλλωστε έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της δαπανώμενης ενέργειας για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Αν θεωρήσουμε την ειδική κατανάλωση ενέργειας (specific energy consumption), που είναι η δαπανώμενη ενέργεια ανά m³ παραγόμενου νερού, τότε η μείωση της τιμής της τα τελευταία χρόνια έχει προέλθει και από την χρήση των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας. Δίνονται ενδεικτικά

κάποια από τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία της αφαλάτωσης. (19)

3.6.3.2.ε Συμβατικά συστήματα ανάκτησης ενέργειας

Αποτελούνται από ένα υδροστρόβιλο ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον κινητήρα της αντλίας υψηλής πίεσης μέσω ιμάντα έτσι ώστε να μειώνεται η δαπάνη ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο η εξοικονόμηση ενέργειας φτάνει το 40% της δαπανώμενης ενέργειας στην αντλία υψηλής πίεσης. Η εξοικονόμηση ενέργειας οφείλεται στην μείωση της απαιτούμενης ενέργειας του κινητήρα της αντλίας υψηλής πίεσης, λόγω μηχανικής βοήθειάς του από τον στρόβιλο Pelton. Η ασκούμενη υψηλή πίεση ελέγχεται από την βάνα που υπάρχει στην άλμη. Κλείσιμο της βάνας αυξάνει την ασκούμενη πίεση αλλά και το λόγο ανάκτησης, παράμετροι που στον συγκεκριμένο σχεδιασμό είναι αλληλένδετοι. (19,20)

3.6.3.2.στ Νέα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας RO

Η ανάγκη μείωσης ακόμη περισσότερο της δαπάνης ενέργειας για αφαλάτωση έχει οδηγήσει στην εφαρμογή καινοτόμων συστημάτων ανάκτησης ενέργειας. Τα συστήματα αυτά οδηγούν σε ακόμη μεγαλύτερο ποσοστό ανάκτησης ενέργειας και η απόσβεση της δαπάνης τους μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και σε ένα χρόνο λειτουργίας. Η επιλογή συνεπώς του συστήματος ανάκτησης της ενέργειας που θα εφαρμοσθεί θα πρέπει να εξετασθεί κατά περίπτωση, γενικώς τέτοια συστήματα ανάκτησης εφαρμόζονται για μονάδες αφαλάτωσης δυναμικότητας μεγαλύτερης των 100 m³/day. Ενδεικτικά δίνονται τα εφαρμοζόμενα καινοτόμα συστήματα ανάκτησης ενέργειας αυτά είναι: ο εναλλάκτης πίεσης (pressure exchanger, PX) και ο Turbo charger (HPB). Τα συστήματα ανάκτησης ενέργεια είναι σχεδιασμένα για λειτουργίας ε θαλασσινό νερό υψηλής πίεσης κατασκευασμένα από ανθεκτικά υλικά για τις συνθήκες λειτουργίας τους, κεραμικά υλικά ή ανοξείδωτο χάλυβα. (1,19)

3.6.3.3 ΜΕΤΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Το παραγόμενο νερό της αφαλάτωσης παρουσιάζει γενικά πολύ μικρή σκληρότητα και σχετικά χαμηλό pH. Έτσι πριν διατεθεί για κατανάλωση θα πρέπει να προστεθούν κάποια χημικά που θα το κάνουν πλέον εύπεπτο, ευχάριστο στην γεύση και γενικώς κατάλληλο για κατανάλωση. Ακόμη το αφαλατωμένο νερό στη μορφή που παράγεται παρουσιάζει ισχυρά διαβρωτικές ιδιότητες, έτσι είναι ιδιαίτερα επιθετικό σε σωληνώσεις που αποτελούνται από απλό χάλυβα, γαλβανισμένο χάλυβα και ακόμη από ανοξείδωτο χάλυβα. (21)

3.6.3.3.α Ρύθμιση pH

Το pH ρυθμίζεται, αυξάνεται, με προσθήκη υδροξειδίου νατρίου ή με προσθήκη όξινου ανθρακικού νατρίου. Η δοσολογία ρυθμίζεται ανάλογα με το pH του παραγόμενου νερού και την επιθυμητή τιμή. Αύξηση του pH βελτιώνει και το Langelier Inedx μειώνοντας τις διαβρωτικές ιδιότητες του νερού. Ο λόγος είναι ότι επιταχύνεται η καταβύθιση του CaCO_3 , έτσι ώστε σχηματίζεται ένα προστατευτικό στρώμα στις σωληνώσεις εμποδίζοντας τη διάβρωση των επιφανειών. Για να μειωθούν οι διαβρωτικές ιδιότητες του αφαλατωμένου νερού προστίθεται αντιδιαβρωτικό όπως είναι διάφορες πολυφωσφορικές ενώσεις. Τα φωσφορικά ιόντα βοηθούν στην καταβύθιση φωσφορικού ασβεστίου και σχηματισμό προστατευτικού επιστρώματος στις μεταλλικές επιφάνειες. (22)

3.6.3.3.β Ρύθμιση σκληρότητας

Η αύξηση της σκληρότητας μπορεί να γίνει με προσθήκη με την βοήθεια δοσομετρικής αντλίας χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2) και χλωριούχο μαγνήσιο (MgCl_2) ή διαβίβαση του νερού μέσα από ειδικές στήλες που περιέχουν ορυκτό Calcite, που περιλαμβάνει άλατα μαγνησίου και ασβεστίου. Η δεύτερη λύση κρίνεται ικανοποιητική διότι με την αύξηση της σκληρότητας δεν αυξάνεται η συγκέντρωση ιόντων χλωρίου. Η λειτουργία και η διαλυτοποίηση των αλάτων που δημιουργούν σκληρότητα στις στήλες αυτές επιταχύνεται σε χαμηλό pH. Όσο χαμηλότερο είναι το pH τόσο μεγαλύτερη είναι και η σκληρότητα του παραγόμενου νερού. Αυτό βέβαια πιθανόν να απαιτεί τη χρήση οξέως είτε στο διάλυμα τροφοδοσίας είτε στο παραγόμενο νερό από την άλλη πλευρά θα πρέπει να ρυθμίζεται το pH του παραγόμενου νερού. Η ρύθμιση του pH και

σκληρότητας θα πρέπει να γίνεται με προσαρμογή της δοσολογίας οξέος σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας της μονάδας. (22)

3.6.3.3.γ Χλωρίωση

Τέλος γίνεται χλωρίωση του νερού με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις για το πόσιμο νερό. Το υπολειπόμενο χλώριο στο πόσιμο νερό δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,2 ppm. (23)

3.6.4 ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ – ELECTRODIALYSIS (ED)

Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης χρησιμοποιεί τον ηλεκτρισμό για να καθαρίσει το νερό. Εφαρμόζεται κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου και όχι θαλασσινού νερού γιατί η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης των ιόντων στο αλατούχο διάλυμα. Η ηλεκτροδιάλυση είναι μία διεργασία αφαλάτωσης στην οποία τα άλατα υπό μορφή ιόντων απομακρύνονται από την κύρια μάζα του διαλύματος μέσω μεμβρανών και έτσι το παραμένον διάλυμα περιέχει άλατα μικρότερης συγκέντρωσης δηλαδή πόσιμο νερό. Η διεργασία χρησιμοποιεί ειδικές φορτισμένες μεμβράνες που επιτρέπουν επιλεκτικά την δίοδο των ιόντων από αυτές. Οι μεμβράνες διακρίνονται σε κατιονικές (cation-exchange) που επιτρέπουν την δίοδο των κατιόντων από αυτές και ανιονικές (anion-exchange) που επιτρέπουν την δίοδο των ανιόντων. (24)

Η μονάδα ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται από μία σειρά στενών θαλάμων (compartments) πάχους 0,1 cm δια μέσω των οποίων εισάγεται και κινείται με την βοήθεια αντλίας το αλατούχο διάλυμα προς αφαλάτωση. Τα τμήματα αυτά χωρίζονται μεταξύ τους εναλλακτικά από ανιονικές (A) και κατιονικές (K) μεμβράνες δηλαδή μεμβράνες που επιτρέπουν την δίοδο μόνο των αρνητικών ή μόνο των θετικά ιόντων αντίστοιχα. Τα εξωτερικά τμήματα φέρουν ηλεκτρόδια στα οποία διοχετεύεται συνεχές ρεύμα. Με την βοήθεια μιας αντλίας το διάλυμα προς αφαλάτωση εισέρχεται στο χώρο των κελιών και περνάει ανάμεσα από φορτισμένες μεμβράνες θετικά και αρνητικά εναλλάξ. Έτσι τα ιόντα που είναι διαλυμένα προσκολλώνται στις μεμβράνες, τα ιόντα κινούνται προς την άνοδο(+) και τα κατιόντα προς την κάθοδο(-), οι οποίες επιτρέπουν την διέλευση τους μόνο στο ένα είδος από αυτά δημιουργώντας διαμερίσματα μικρότερης και μεγαλύτερης συγκέντρωσης που μας δίνει το αφαλατωμένο νερό και την άλμη αντίστοιχα. (1, 24)

Η καρδιά του συστήματος ηλεκτροδιάλυσης είναι οι μεμβράνες. Για την αποφυγή επικαθίσεων αλάτων και κατά επέκταση για την βέλτιστη λειτουργία των μεμβρανών αντιστρέφεται κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα η πολικότητα οπότε έχουμε την αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis reverse, EDR) ώστε τα τμήματα των μεμβρανών που είχαν μαζέψει πολλά άλατα να καθαρίζουν από το καθαρό νερό που ρέει. (2)

4. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό για να είναι πόσιμο πρέπει να είναι καθαρό από φυσική, βιολογική και μικροβιολογική άποψη και μπορεί να καταναλώνεται χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την υγεία του ανθρώπου. Ταυτόχρονα πρέπει να περιέχει μια ισορροπία διαλυμένων συστατικών έτσι ώστε η κατανάλωση να μην προκαλεί προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό, στις χρήσεις για τις οποίες προορίζεται αλλά και να μπορεί να μεταφερθεί και να διοχετευθεί για κατανάλωση χωρίς προβλήματα. Πρέπει να είναι ευχάριστο στην γεύση και στην οσμή όταν καταναλώνεται. Παρακάτω θα αναφερθούν χημικοί και μικροβιολογικοί κίνδυνοι που μπορούν να υπάρχουν στην πηγή, κατά την διαδικασία της αφαλάτωσης, στην επεξεργασία μετά την παραγωγή και κατά επέκταση να επηρεάσουν την ποιότητα του πόσιμου νερού και την ανθρώπινη υγεία. Επίσης αναφέρονται και τα απαραίτητα μέτρα ελέγχου που πρέπει να εφαρμόζονται για τον περιορισμό και την εξάλειψη των προαναφερόμενων κινδύνων.

4.2 ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Οι χημικοί κίνδυνοι που μπορούν να παρουσιαστούν κατά την διαδικασία της αφαλάτωσης είναι αρκετοί και από μια μεγάλη σειρά προελεύσεων. Μπορεί να προέρχονται από την πηγή νερού, από την προσθήκη χημικών που χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία της αφαλάτωσης με στόχο την αποτελεσματική του λειτουργία του συστήματος ώστε να εξασφαλιστεί μικροβιολογική ασφάλεια και σταθεροποίηση του νερού πριν αυτό εισέλθει στο κυρίως σύστημα επεξεργασίας, στο σύστημα διανομής καθώς και στον έλεγχο διάβρωσης που μπορεί να προκληθεί στις επιφάνειες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης και διανομής του νερού στους καταναλωτές. Αρκετοί από τους παραπάνω κινδύνους συναντώνται και στις συμβατικές πηγές και προμήθειες του νερού αλλά υπάρχει μια σειρά κινδύνων που έχει ιδιαίτερη σημασία για την αφαλάτωση. Δεδομένου ότι η μέθοδος της αφαλάτωσης βασίζεται στην απομάκρυνση των ανόργανων αλάτων τα περισσότερα από αυτά ή ίχνη αυτών δεν θα φτάσουν στο τελικό προϊόν και δεν θα αποτελούν κίνδυνο για τους καταναλωτές, ενώ κάποια άλλα πρέπει να

είναι σημαντικά μειωμένη η συγκέντρωσή τους στο τελικό προϊόν. Ωστόσο ορισμένες από τις χημικές ουσίες δεν αφαιρούνται επαρκώς, κάποιες άλλες θα προστεθούν κατά την διαδικασία της μετεπεξεργασίας του αφαλατωμένου νερού ενώ ορισμένα ανόργανα ιόντα που έχουν αφαιρεθεί έχουν σημαντική διατροφική αξία και έχουν ευεργετικό ρόλο στην υγεία του ανθρώπου. (2)

Οι διαφορετικές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στην αφαλάτωση του νερού έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις στην προσθήκη των χημικών και διαφορές στην απομάκρυνση των χημικών από την πηγή νερού.

Η διαδικασία αξιολόγησης περιλαμβάνει:

- Φυσικές και ανθρωπογενείς χημικές ουσίες στο νερό πηγής
- Χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ή εισάγονται κατά τη διάρκεια της προεπεξεργασίας
- Προσθήκη χημικών ουσιών και τα υποπροϊόντα των χημικών αντιδράσεων
- Χημικά που προστίθενται για την καλύτερη απόδοση της μεθόδου
- Χημικές ουσίες που προστίθενται στην μετεπεξεργασία του αφαλατωμένου νερού.
- Οι ρυπογόνες ουσίες και τα προϊόντα διάβρωσης από τις επιφάνειες επαφής.

Όπως και με άλλα αποθέματα η προσέγγιση για την εξασφάλιση ασφαλούς αφαλατωμένου νερού για κατανάλωση θα πρέπει να ακολουθεί τα σχέδια ασφαλείας του νερού και να πλησιάζει στην εφαρμογή μια ξεχωριστής προμήθειας. Αυτό απαιτεί τον προσδιορισμό και την αξιολόγηση των κινδύνων, καθορισμό των κατάλληλων μέτρων που είναι σε θέση να εξαφανίσουν τους κινδύνους ή να τους ελαχιστοποιήσουν. Επίσης είναι σημαντικό να εξεταστεί κατά πόσο μια παρέμβαση για τον έλεγχο ή τον περιορισμό ενός κινδύνου μπορεί να έχει αντίκτυπο σε άλλους κινδύνους. Για αυτό το λόγο είναι σημαντικό να γίνει μια συγκριτική αξιολόγηση των κινδύνων έτσι ώστε να μην επιλύονται κίνδυνοι μικρότερης σημασίας εις βάρος πιο σημαντικών κινδύνων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται κατά την

διαδικασία της αφαλάτωσης. Τα χημικά και οι πηγές των χημικών ουσιών που θα μπορούσαν ενδεχομένως να παρουσιαστούν στην πρώτη πηγή νερού ή να εισαχθούν κατά την διάρκεια των διαφόρων σταδίων παραγωγής αφαλατωμένου νερού και στην τελική προετοιμασία του πόσιμου νερού. Μια σημαντική διαφορά της αφαλάτωσης είναι η χρήση της θάλασσας ή άλλων πηγών νερού με την ανάμειξη του τελικού αφαλατωμένου νερού. (2)

Επίσης το νερό που χρησιμοποιείται για την ανάμειξη με το αφαλατωμένο νερό πρέπει να θεωρείται και να αντιμετωπίζεται κατάλληλα σύμφωνα πάντα στα πλαίσια του προγράμματος διαχείρισης ασφάλειας συστημάτων νερού (Water Safety Plan) δεδομένου ότι μια τέτοια ενέργεια θα μπορούσε να αποτελεί πηγή μόλυνσης του τελικού προϊόντος.

4.3 ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΣΤΗΝ ΠΗΓΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Με τον όρο «πηγή νερού» εννοείται τόσο το αλατούχο διάλυμα που χρησιμοποιείται για την διαδικασία της αφαλάτωσης όσο και το αλατούχο νερό που χρησιμοποιείται για την ανάμειξη με το τελικό προϊόν. Επίσης το νερό που θα υποστεί αφαλάτωση, το επίπεδο και το είδος της προεπεξεργασίας που θα εφαρμοστεί και το νερό ανάμειξης θα χρειαστούν σημαντική εξέταση-μελέτη.

Πολλές ανόργανες χημικές ουσίες απαντώνται φυσικά στο θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό που χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση. Πολλές από αυτές τις χημικές ουσίες έχει σχεδιαστεί να αφαιρεθούν μέσω της διαδικασίας της αφαλάτωσης, συμπεριλαμβανομένου το χλωριούχο νάτριο, αλλά θα υπάρχουν και ορισμένες που μπορεί να επηρεάσουν τα στάδια της προεπεξεργασίας και μετεπεξεργασίας όπως είναι τα βρωμιούχα και σε λιγότερο βαθμό τα ιωδιούχα. (2)

4.3.1 Βόριο και βρωμιούχα

Τα περισσότερα από τα ανόργανα συστατικά θα απομακρυνθούν σε σημαντικό βαθμό είτε με την διαδικασία θερμικής μεθόδου αφαλάτωσης είτε της αντίστροφης όσμωσης αν και μερικά ίχνη χλωριούχου νατρίου και βρωμιούχα μπορεί να υπάρχουν στο

κατεργασμένο νερό από το σύστημα μεμβρανών και ενδεχομένως από κάποιες παλαιότερες εγκαταστάσεις απόσταξης. Από τις βασικές προσμίξεις που έχουν άμεσο ενδιαφέρον για την υγεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος είναι το βόριο, το οποίο έχει μεγάλη σπουδαιότητα στην διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης αφού ο λόγος απόρριψης του βορίου είναι μικρότερη από ότι για τις άλλες και περισσότερες ανόργανες ουσίες.

Αρχικά τα βρωμιούχα υπάρχουν στο θαλασσινό νερό σε σχετικά μεγάλες ποσότητες (περίπου 70 έως 80 mg/lit) ωστόσο ακόμα και μεγάλο ποσοστό απομάκρυνσής τους (π.χ. >95%) θα επιτρέψουν σε κάποια βρωμιούχα της τάξης του ενός έως αρκετές mg/lit να υπάρχουν στο τελικό νερό. Η συγκέντρωση των βρωμιούχων στα αφαλατωμένο νερό είναι ανάλογη προς την συγκέντρωση των χλωριούχων. Ανόργανα βρωμιούχα επίσης υπάρχουν και σε πολλά γλυκά νερά σε επίπεδα χιλιοστόγραμμα, ιδιαίτερα των υπογείων υδάτων. (2, 25)

4.3.2 Νάτριο και κάλιο

Το νάτριο και το κάλιο είναι ηλεκτρολύτες, δηλαδή χημικώς είναι ουσίες οι οποίες μέσα στα διαλύματα έχουν την ιδιότητα να άγουν ηλεκτρισμό. Οι συγκεκριμένοι ηλεκτρολύτες υπάρχουν μέσα στο ανθρώπινο σώμα και η διατήρηση της ισορροπίας τους είναι απαραίτητη για την καλή και σωστή λειτουργία των κυττάρων και των οργάνων. Η παρουσία του νατρίου απαντάται κυρίως σε μικρές συγκεντρώσεις στα πόσιμα νερά και κυρίως σε αυτά που προέρχονται από πηγές γλυκού νερού.

Το νάτριο βρίσκεται κυρίως στο υγρό που περιβάλλει τα κύτταρα, δηλαδή είναι στον εξωκυττάριο χώρο. Όταν συνδέεται με το χλώριο παράγεται μια ουσία που λέγεται χλωριούχο νάτριο και είναι αυτό που κοινώς ονομάζεται αλάτι. Η περίσσεια νατρίου, η οποία προσλαμβάνεται με τις τροφές, απεκκρίνεται από το σώμα με τα ούρα. Το νάτριο παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του νερού του οργανισμού. Επίσης, η είσοδος και η έξοδος νατρίου από ορισμένα κύτταρα είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση βασικών λειτουργιών του σώματος. Παραδείγματος χάριν, για να εκτελεστούν οι διεργασίες στον εγκέφαλο, το νευρικό σύστημα και τους μυς είναι αναγκαία η δημιουργία ηλεκτρικών σημάτων για τη μεταξύ των κυττάρων επικοινωνία. Τα ηλεκτρικά αυτά σήματα δημιουργούνται από τη μετακίνηση του νατρίου. Έτσι, πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή συγκέντρωση νατρίου στον οργανισμό μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία στα συγκεκριμένα κύτταρα και σε ακραίες περιπτώσεις ακόμα και το

θάνατο. Αύξηση του νατρίου στον οργανισμό, δηλαδή υπερνατριαιμία, παρατηρείται όταν υπάρχει περίσσεια νατρίου σε σχέση με το νερό. Οι αιτίες που οδηγούν σε υπερνατριαιμία μπορεί να είναι πολλαπλές και περιλαμβάνουν τις παθήσεις των νεφρών, τη χαμηλή πρόσληψη νερού και τις μεγάλες απώλειες νερού με τις διάρροιες ή και τους εμέτους. Χαμηλή συγκέντρωση νατρίου, δηλαδή υπονατριαιμία παρατηρείται όταν υπάρχει σχετική αύξηση στο νερό του σώματος σε σχέση με το νάτριο. Η υπονατριαιμία μπορεί να οφείλεται σε παθήσεις του ήπατος ή των νεφρών, σε συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια, σε εκτεταμένα εγκαύματα κ.λπ. Οι φυσιολογικές τιμές νατρίου στο αίμα είναι 135-145 χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (mEq/L). Στο θαλασσινό και στο υφάλμυρο νερό περιέχονται συνήθως υψηλότερες συγκεντρώσεις καλίου από ότι στα γλυκά νερά και μεγάλο ποσοστό του όπως και του νατρίου αφαιρείται κατά την διάρκεια της αφαλάτωσης. (2, 25)

Το κάλιο, ο άλλος βασικός ηλεκτρολύτης του οργανισμού, βρίσκεται κυρίως στο εσωτερικό των κυττάρων, δηλαδή στον ενδοκυτταρίο χώρο. Και το κάλιο είναι απαραίτητο για τη φυσιολογική λειτουργία των κυττάρων. Ιδιαίτερα, το κάλιο παίζει σημαντικό ρόλο στην ομαλή ρύθμιση των καρδιακών παλμών και στη λειτουργία των μυών του σώματος. Μεγάλη αύξηση (υπερκαλιαιμία) ή μείωση (υποκαλιαιμία) των επιπέδων καλίου στον οργανισμό μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες στο νευρικό σύστημα, ενώ μπορεί να προκληθούν έως και δυνητικά θανατηφόρες αρρυθμίες στην καρδιά. Το κάλιο φυσιολογικά αποβάλλεται από τα νεφρά. Οποιαδήποτε δυσλειτουργία των νεφρών μπορεί να οδηγήσει σε κατακράτηση του καλίου και σημαντική αύξηση των επιπέδων αυτού στο αίμα. Επίσης, ορισμένα φάρμακα (π.χ. καλιοσυντηρητικά διουρητικά, αναστολείς του μετατρεπτικού ενζύμου της αγγειοτενσίνης κ.ά.) μπορεί να αυξήσουν την πιθανότητα πρόκλησης υπερκαλιαιμίας, ιδιαίτερα όταν συνυπάρχει και κάποιου βαθμού νεφροπάθεια. Υποκαλιαιμία μπορεί να παρατηρηθεί όταν ο οργανισμός έχει μεγάλες απώλειες καλίου. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί σε παθήσεις των νεφρών, ύστερα από πολλαπλούς εμέτους ή και διάρροιες, μετά τη λήψη συγκεκριμένων φαρμάκων, όπως είναι τα διουρητικά κ.λπ. Οι φυσιολογικές τιμές καλίου στο αίμα είναι 3,5-5,0 χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (mEq/L). (2,25)

Για να διατηρηθούν στα φυσιολογικά επίπεδα οι τιμές καλίου και νατρίου του οργανισμού συστήνεται οι ενήλικοι ημερησίως να καταναλώνουν περίπου 1.500 χιλιοστόγραμμα νατρίου και περίπου 2.000-3.000 χιλιοστόγραμμα καλίου την ημέρα. Αυτό σημαίνει ότι η καθημερινή διατροφή πρέπει να περιλαμβάνει δημητριακά, φρούτα

και λαχανικά, ενώ πρέπει να αποφεύγονται οι προκατασκευασμένες και κονσερβοποιημένες τροφές, οι οποίες περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλατιού, δηλαδή νατρίου. (2,25)

4.3.3 Μαγνήσιο και ασβέστιο

Το μαγνήσιο και το ασβέστιο είναι απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και υπάρχουν στα θαλάσσια ύδατα σε σημαντικά επίπεδα αλλά όχι και απαραίτητα στα υφάλμυρα νερά. Απομακρύνονται αποτελεσματικά με την διαδικασία της αφαλάτωσης αλλά μπορεί να προστεθούν ξανά στο τελικό νερό μέσω των διαδικασιών για την σταθεροποίηση του νερού και μείωση της διαβρωτικής δράσης. (2,25)

4.4 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η προεπεξεργασία του νερού πριν την εισαγωγή του στο κυρίως σύστημα αφαλάτωσης είναι σημαντική και έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να απομακρύνονται όλα τα συστατικά τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την διαδικασία της αφαλάτωσης με την δημιουργία βιοφίλμ στις μεμβράνες του συστήματος. Οι τεχνικές της μικροδιήθησης και του φιλτραρίσματος είναι αυτές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά για την απομάκρυνση των μικροσωματιδίων και την σημαντική μείωση της φυσικής οργανικής ύλης, συμπεριλαμβανομένου και σημαντικής μείωσης και των NOM (Natural Organic Matter). (2)

Τα οργανικά και ανόργανα οξέα και άλλες συναφείς ουσίες που αποτελούν τα NOM (Natural Organic Matter) μπορούν να αντιδράσουν με το χλώριο και να παραχθεί ένα ευρύ φάσμα αλογονομένων παρα-προϊόντων. Η παρουσία υψηλών τιμών βρωμιδίου, όπως βρίσκονται στο θαλασσινό νερό και σε υφάλμυρα νερά, το βρωμίδιο οξειδώνεται σε βρώμιο το οποίο μπορεί να λάβει μέρος στις αντιδράσεις αλογοενώσεων και να παραχθούν οργανοβρωμιούχα προϊόντα. Στοιχεί από μελέτες σχετικά με την χλωρίωση θαλασσινού νερού δείχνουν ότι η απόδοση των υπό προϊόντων απολύμανσης (DBPs) κυριαρχείται από τριθαλομεθάνια (THMs) ιδιαίτερα από βρωμοφόρμιο και σε μικρότερο βαθμό από χλωρόδιβρωμεθάνιο. Οι τιμές που προτείνονται από τον οδηγό του WHO για τα δύο αυτές ουσίες είναι 100 µg/litre, για τα THMs 200 µg/litre και για το βρωμοφόρμιο και το χλωρόδιβρωμεθάνιο 60 µg/litre. (2)

Θεωρητικά ένα μεγάλος αριθμός οργανικών ρυπαντών, των ρυπαντών αυτών που υπάρχουν στην πηγή νερού και εκείνων που προκύπτουν από την απολύμανση, θα μπορούσαν να μεταφερθούν στο προϊόν ως αποτέλεσμα της μεθόδου της απόσταξης ατμού. Είναι αναγκαίο να καθοριστεί πόσο σημαντικό είναι αυτό και κάτω από ποιες συνθήκες λαμβάνει χώρα. Οι μεμβράνες παρέχουν ένα φράγμα για τις περισσότερες, αν όχι όλες, τις χημικές ενώσεις. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό η συλλογή στοιχείων και πληροφοριών από μονάδες αφαλάτωσης και από συγκεκριμένους τύπους μεμβρανών. (2)

4.5 ΧΗΜΙΚΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Όταν χρησιμοποιούνται καθαριστικά για τις μεμβράνες, τα οποία εφαρμόζονται είτε on-line είτε off-line, τα χημικά αυτά μπορεί να είναι παρόντα στο σύστημα σε υψηλές συγκεντρώσεις. Ωστόσο οι μεμβράνες θα πρέπει να ξεπλυθούν σωστά πριν την εγκατάστασή τους, πριν τεθεί το σύστημα σε λειτουργία και την απόρριψη αποβλήτων. Η προεπεξεργασία των αποβλήτων είναι αναγκαία και είναι σημαντικό η διάθεσή τους να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπορούν να μολύνουν είτε άλλες πηγές νερού ή νερά που ίσως χρησιμοποιηθούν για την επακόλουθη ανάμειξη με το αφαλατωμένο νερό. (2)

Υλικά που προέρχονται από σωληνώσεις και από επιφάνειες επαφής σε συστήματα επεξεργασίας και διαδικασιών που θα έρθουν σε επαφή με το νερό πρέπει να αξιολογούνται προκειμένου να εξασφαλίζεται ότι οι χημικές ουσίες δεν ξεπερνούν τις ενδεικτικές τιμές που προτείνουν οι κατευθυντήριες οδηγίες ή δεν μπορούν να εισάγουν άλλες ουσίες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν κίνδυνο για την υγεία ή θα επηρέαζαν αρνητικά την αποδοχή του τελικού νερού από τον καταναλωτή. Οι διαδικασίες που εξασφαλίζουν αυτή την περίπτωση είναι ένα σημαντικό στοιχείο του σχεδίου ασφαλείας του νερού. (2)

4.6 ΜΕΤΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην μετεπεξεργασία του νερού. Αυτοί είναι η ανάμειξη, η προσθήκη των μεταλλικών

στοιχείων, η απολύμανση και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και διανομή του νερού στο δίκτυο. Συνήθως το αφαλατωμένο νερό αναμειγνύεται με άλλες πηγές νερού συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην μεταφορά απαραίτητων ιχνοστοιχείων στο τελικό προϊόν. Η ανάμειξη του αφαλατωμένου νερού με θαλασσινό νερό έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσο αφορά την διάβρωση και την γεύση του νερού. Επίσης η ανάμειξη με θαλασσινό νερό έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον προσθήκη νατρίου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου στο πόσιμο νερό και πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στα φυσικά ανόργανα στοιχεία που περιέχονται και κατά πόσο αυτά πληρούν τις κατευθυντήριες γραμμές ή έχουν μη αποδεκτή γεύση. Υπάρχει επίσης ένα σημαντικό ζήτημα όσο αφορά τις πιθανές ανθρωπογενείς μολύνσεις από ένα ευρύ φάσμα πηγών που πρέπει να εξεταστούν σε τοπικό επίπεδο, από οποιαδήποτε εξωτερική και δυνητικά ελάχιστη διαδικασία θεραπείας που χρησιμοποιείται, λαμβάνοντας υπόψη πιθανές πηγές ρύπανσης και απειλές. (2)

Η απολύμανση και η διήθηση του νερού ανάμειξης είναι απαραίτητη ελαχιστοποιώντας με αυτό τον τρόπο οποιαδήποτε δυνατότητα μικροβιολογικής μόλυνσης, στο σχηματισμό υπό προϊόντων

4.6.1 Προσθήκη μεταλλικών στοιχείων

Η προσθήκη μεταλλικών στοιχείων είναι απαραίτητη για την μείωση διάβρωσης του συστήματος.

Άλλες χημικές ενώσεις που μπορούν να προστεθούν στο νερό για την αναστολή διάβρωσης είναι τα πυριτικά, τα ορθοφωσφορικά και τα πολυφωσφορικά. Τέτοιες χημικές ενώσεις χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλά μέρη του κόσμου χωρίς να προκαλούν κάποιο κίνδυνο για την δημόσια υγεία καθώς ελέγχεται η ποιότητά τους. (2)

4.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Το νερό αφαλάτωσης είναι αρκετά διαβρωτικό από πολλές άλλες πηγές πόσιμου νερού και είναι σημαντικό να έχει σταθεροποιηθεί για να ελαχιστοποιηθεί η διάβρωση στους μεταλλικούς σωλήνες και εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στο σύστημα διανομής και στα κτίρια. Οι απαιτήσεις όσο αφορά την διάβρωση είναι ότι δεν πρέπει να αυξάνει τα επίπεδα μετάλλων και να μην υπερβαίνει τις κατευθυντήριες γραμμές ή να προσθέτει μη

αποδεκτή εμφάνιση ή γεύση ή ζημίες στις επιφάνειες επαφής. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν μέταλλα από την πρωτογενή διανομή και αποθήκευση, ιδιαίτερα του σιδήρου και του νικελίου και από τα υδραυλικά είδη και εξαρτήματα των κτιρίων συμπεριλαμβανομένου του μολύβδου και του χαλκού. Ο σίδηρος έχει στο παρελθόν δημιουργήσει προβλήματα με αποχρωματισμό του νερού μειώνοντας σημαντικά την αποδεκτικότητα του νερού τόσο για πόση όσο και για οικιακή χρήση. (2,26)

5. ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

5.1 ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΒΙΩΣΗ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Η επιβίωση των παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον έχει μελετηθεί εκτενώς. Ωστόσο υπάρχουν μερικοί παθογόνοι οργανισμοί που είναι σε θέση να παραμένουν στην πηγή του νερού και στο πόσιμο νερό από μέρες ως και μήνες χωρίς να αναπτύσσονται ή και να πολλαπλασιάζονται στο νερό. Υπάρχουν βέβαια με εξαίρεση κάποιοι παθογόνοι μικροοργανισμοί όπως π.χ *Legionella*, *Vibrio*, *Naegleria* και *Acanthamoeba* των οποίων η επιβίωση είναι στενά συνδεδεμένη με το νερό, την θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία, την οσμωτική πίεση, τον πληθυσμό και την δραστηριότητα των πρωτόζωων. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού έχει ως αποτέλεσμα την ενεργό ανάπτυξη της γηγενούς ή αυτοφυούς πανίδας και χλωρίδας την οποία χρησιμοποιούν οι παθογόνοι οργανισμοί συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπινων παθογόνων για την ανάπτυξή τους, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία μεταφορά των παθογόνων σε θερμότερα ύδατα σε σχέση με νερά θερμοκρασίας κάτω των 15 °C. Η ηλιακή ακτινοβολία έχει αναγνωρισθεί ως ένας σημαντικός παράγοντας στην αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών, επιπλέον τα περισσότερα ανθρώπινα εντερικά βακτήρια αποσυντίθενται ταχύτερα σε θαλασσινό νερό από ότι σε γλυκό λόγω της υψηλότερης οσμωτικής πίεσης. Τα παράκτια ρεύματα και τα επιφανειακά κύματα μπορούν να μεταφέρουν τους παθογόνους μικροοργανισμούς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Εκτός από τους παθογόνους μικροοργανισμούς που συνδέονται με ανθρωπογενείς πηγές υπάρχουν και κάποια αυτόχθονα θαλάσσια βακτήρια όπως εκείνα που ανήκουν στο γένος *Vibrio* (*cholerae*, *parahaemolyticus*, *vulnificus*, *minicus*) άλγη που παράγουν τοξίνες οι οποίες αποτελούν πιθανές πηγές για υδατογενή κρούσματα στον ανθρώπινο πληθυσμό. Η έκθεση των ανθρώπων στις φυκοτοξίνες μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους, ωστόσο η κατάποση είναι ο πιο σημαντικός. Αυτή αφορά την ακούσια κατάποση νερού ή την κατανάλωση μολυσμένης τροφής, όπως είναι τα αγροτικά προϊόντα, ψάρια, οστρακοειδή και μαλάκια. Οι τοξίνες προκαλούν την διαρροϊκή, παραλυτική ή αμνησιακή δηλητηρίαση των οστρακοειδών ενώ οι τοξίνες των κυανοβακτηρίων έχουν συνδεθεί με τον καρκίνο και το θάνατο ανθρώπων. Για

παράδειγμα ένα είδος φυκιού που ονομάζεται *Karenia brevis* (παλαιότερη ονομασία *Gymnodinium breve*) κατά την άνθισή του παράγονται μεγάλες ποσότητες τοξίνης η *brevitoxin*. Αυτή η τοξίνη προκαλεί νευροτοξική δηλητηρίαση προσβάλλοντας το νευρικό σύστημα του ανθρώπου και μπορεί να αποβεί και μοιραία. Τα παρακάτω είδη φυκιών όπως το *Alexandrium* sp. ευθύνεται για την παραγωγή παραλυτικής τοξίνης ενώ το *Pseudo-nitzschia* για παραγωγή αμνησιακής τοξίνης. Η φωτοσύνθεση στα κύτταρα των φυκών είναι αυτή που καθορίζει και το χρώμα κατά τη άνθισή τους κατά αυτό τον τρόπο έχουμε την εμφάνιση χρωμάτων όπως του πράσινου, κίτρινου, κόκκινου ή καφέ. Το φωτεινό πράσινο ανθίζει κυρίως σε συστήματα γλυκού νερού και είναι αποτέλεσμα του κυανοβακτηρίου *Microcystis* γνωστό και ως μπλέ-πράσινα φύκια. Ιδιαίτερης σημασίας και πιο επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία είναι τα είδη *Pfiesteria piscicida*(*Aureococcus* και *Aureoumbra*) που χρωματίζουν με κόκκινο ή καφέ χρώμα τα νερά γνωστό και ως κόκκινη παλίρροια. Συνοψίζοντας το βακτήριο *Vibrio cholerae* ανευρίσκεται συνήθως σε νερά που έχουν μολυνθεί από ανθρώπινα περιττώματα και αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για την υγεία του πληθυσμού που χρησιμοποιεί τα νερά αυτά. Τα άλγη και οι τοξίνες τις οποίες παράγουν παρουσιάζουν σημαντική εποχιακή και χρονική μεταβλητότητα και η ραγδαία ανάπτυξή τους οφείλεται κατά κανόνα όταν το νερό θερμαίνεται κατά την διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού. Ο ανθρωπογενής ευτροφισμός σε συνδυασμό με άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες και κυρίως με αυτούς που σχετίζονται με την παγκόσμια κλιματική αλλαγή δημιουργούν ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη φυτοπλαγκτικών οργανισμών συμπεριλαμβανομένων και των τοξινών που παράγουν. Η θερμοκρασία, η αλατότητα και τα θρεπτικά συστατικά θεωρούνται σημαντικές πηγές για την εμφάνιση και την ανάπτυξη των αλγών. Πολλοί από τους οργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την άνθιση τοξινών παρουσιάζουν ευρεία κατανομή και τα τελευταία χρόνια δείχνουν αξιοσημείωτη εξάπλωση. Φυσικά γεγονότα όπως τυφώνες μπορούν να διασπείρουν τους οργανισμούς και υπάρχει υποψία ότι οι οργανισμοί μπορεί να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω των πλοίων. Κάποια φύκη απαντώνται συχνά σε παράκτιες περιοχές ύστερα από την απόρριψη λυμάτων που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (αυξημένη απόθεση θρεπτικών αλάτων, ιδίως φωσφόρου και αζώτου) αλλά και σε δεξαμενές πόσιμου νερού. (2,27)

5.2 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η αποτελεσματικότητα μιας μονάδας αφαλάτωσης για την απομάκρυνση ή και να την αδρανοποίηση του μικροβιακού φορτίου γίνεται αξιολογώντας την απόδοση του συστήματος και τους παράγοντες που είναι δυνατό να παραχθούν ή να αναμειχθούν στο τελικό επεξεργασμένο νερό. Η επιβίωση των μικροοργανισμών εξαρτάται από την δυναμικότητα και τις συνθήκες λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας που εφαρμόζονται για την απομάκρυνση ή/και αδρανοποίηση τους. Το θέμα της απολύμανσης ή της εξάλειψης των μικροοργανισμών μπορεί να εφαρμοστεί στο νερό στο στάδιο της προεπεξεργασίας, στο τελικό παραγόμενο νερό που προκύπτει από την διαδικασία των μεμβρανών ή της θερμικής επεξεργασίας καθώς και στην μετεπεξεργασία. (2)

5.2.1 Προεπεξεργασία

Οι ιδιαιτερότητες της προεπεξεργασίας συνήθως καθορίζονται από το διάγραμμα ροής που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των διαλυμένων στερεών. Για παράδειγμα οι μεμβράνες πρέπει να προστατεύονται από τα σωματίδια έτσι ώστε να αποτρέπεται η δημιουργία βιοφίλμ και η απόφραξή τους. Στόχος της προεπεξεργασίας είναι η προστασία των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης και η αποτροπή δημιουργίας βιοφίλμ στην επιφάνειά τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη οξειδωτικών και βιοκτόνων των οποίων όμως η χρήση δεν ενδείκνυται για την αποτελεσματική απολύμανση του νερού καθώς και οι δόσεις που χρησιμοποιούνται δεν έχουν την αναμενόμενη υπολειμματική δράση που απαιτείται. Άλλες διαδικασίες μεμβρανών που χρησιμοποιούνται για την προεπεξεργασία του νερού πριν την εισαγωγή του στο κυρίως σύστημα αφαλάτωσης είναι η μικροδιήθηση και η νανοδιήθηση και έχουν σημαντική ικανότητα στο να συγκρατούν μεγάλο ποσοστό σωματιδίων που σχετίζονται με μικροοργανισμούς και διαλυμένα στερεά. Μπορούν να απομακρύνουν αποτελεσματικά έως και 6 logs των μικροοργανισμών ανάλογα με το μέγεθος των πόρων διανομής αλλά η ακριβής απομάκρυνση θα πρέπει να επικυρωθεί πριν την εφαρμογή της προεπεξεργασίας. Αν μέρος του προεπεξεργασμένου αυτού νερού χρησιμοποιείται για την ανάμειξή του με το αφαλατωμένο νερό θα πρέπει να αξιολογείται ως προς τα επίπεδα απολύμανσης και αφαίρεσης σωματιδίων έτσι ώστε να επιτευχθούν τα όρια ασφαλείας, οποιαδήποτε αραίωση του νερού είναι απαγορευτική. (2,28)

5.2.2 Ανάμειξη νερού πηγής με αφαλατωμένο νερό

Η ποιότητα του νερού πηγής που χρησιμοποιείται για την ανάμειξή του με το ατελώς επεξεργασμένο νερό αφαλάτωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική πριν την διανομή του στο σύστημα. Αυτό είναι πρωταρχικής σημασίας για την αξιολόγηση του μικροβιολογικού κινδύνου του νερού ανάμειξης αλλά και των συνεπειών για τον σχηματισμό των παραπροϊόντων απολύμανσης. Η ποσότητα του νερού που αναμειγνύεται μπορεί να ποικίλει από το 1% το λιγότερο έως και 10% και μπορεί να περιλαμβάνει μερικώς επεξεργασμένο θαλασσινό νερό και μη επεξεργασμένα υπόγεια ύδατα. Η διαδικασία της προεπεξεργασίας δεν θα πρέπει να επιτρέπει την εισαγωγή παθογόνων και άλλων ανεπιθύμητων μικροοργανισμών με το τελικό αφαλατωμένο νερό. Θα πρέπει να εφαρμόζονται γενικές οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές για την ελαχιστοποίηση των μικροβιακών κινδύνων στο πόσιμο νερό. Οι οποίες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο αξιολόγησης του συστήματος με σκοπό να διαπιστωθεί αν η προμήθεια του παραγόμενου πόσιμου νερού με αφαλάτωση (από την πηγή μέσω της προεπεξεργασίας στην κατανάλωση) μπορεί να διανεμηθεί πληρώντας όλους τους στόχους για την ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον θα πρέπει σε κάθε χώρα να υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί, οι οποίοι θα καθορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις για απολύμανση και απομάκρυνση των σωματιδίων. Η απαιτούμενη απόδοση για την απομάκρυνση των βακτηρίων, ιών και παρασίτων θα πρέπει να προσαρμοστεί με το επίπεδο μόλυνσης του ακατέργαστου νερού που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάμειξη. Επίσης αν το αναμειγμένο νερό περιέχει περιέχει υψηλά ποσοστά σε TOC ή βρωμιούχα τότε η χημική απολύμανση με χλώριο ή με όζον μπορεί να μην είναι αποτελεσματική εξαιτίας του σχηματισμού ανεπιθύμητων παραπροϊόντων. (2)

5.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

Έχει αποδειχθεί ότι η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης απομακρύνει ένα μεγάλο μέρος βακτηρίων και παθογόνων, ανάλογα με τον τύπο των μεμβρανών που εφαρμόζεται έτσι ώστε να απομακρύνεται όλο το σύνολο ή μεγάλο μέρος των ιών. Ακόμη και αν η κύρια εφαρμογή της αντίστροφης όσμωσης είναι η αφαλάτωση, η αντίστροφη όσμωση και η νανοδιήθηση όλο και περισσότερο εφαρμόζεται για την θεραπεία των επιφανειακών υδάτων με στόχο την άρση των φυτοφαρμάκων, τις πρόδρομες ουσίες των παραπροϊόντων της απολύμανσης και των παθογόνων

οργανισμών. Με τις αποδόσεις που αναφέρθηκαν σε πίνακα πλήρους κλίμακας, οι διεργασίες αντίστροφης όσμωσης υψηλής ποιότητας έχουν αποδειχθεί καλά φράγματα για την απομάκρυνση των παθογόνων εφόσον επιλεχθούν και συντηρούνται σωστά. Ο WHO παρέχει οδηγίες που στόχο έχουν την απομάκρυνση των βακτηρίων, των ιών και των πρωτόζωων, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τυπικές και ενισχυμένες διεργασίες επεξεργασίας του νερού. Η απομάκρυνση των ιών με μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης μπορούν να ποικίλουν σημαντικά και είναι συνάρτηση της λειτουργίας της μεμβράνης, της κατάστασης και της ακεραιότητας των κελιών. Η αφαίρεση κυμαίνεται από 2.7 έως περισσότερο από 6.8 logs ανάλογα με τον τύπο των μεμβρανών, έχει αναφερθεί σε εργαστηριακή κλίμακα ότι η χρήση βακτηριοφάγου MS2 ως ιός μοντέλο οι συγγραφείς πρότειναν ότι η επιλογή είναι σημαντικός παράγοντας απομάκρυνσης του ιού. ο Kitis et al (2002,2003) έχουν αναφέρει ότι η απομάκρυνση του MS2 κυμαίνεται από 5 logs για μονάδα με διπλά στοιχεία και σε περισσότερα από 6,8 logs για μονάδα πολλαπλών βαθμίδων. Έχουν διεξαχθεί πειραματικές εφαρμογές μελετών για να διερευνήσουν την δυνατότητα ενός ολοκληρωμένου συστήματος, όπως αυτό της νανοδιήθησης και της υπερδιήθησης, για την απομάκρυνση διαφόρων μικροοργανισμών συμπεριλαμβανομένων των ιών, πρωτόζωα (Cryptosporidium oocysts και Giardia cysts), σπόρους βακτηρίων (Clostridium perfringens) και βακτηριοφάγους (MS2 και PRD-1). Ο Lovins et al (1999) παρατήρησαν ότι οι απομακρύνσεις συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προκύπτουν από την προεπεξεργασία κυμαίνονταν από 6.1 logs έως 10.1 logs αποδεικνύοντας ότι η θεραπεία των μεμβρανών μπορεί να υπερβεί την μικροβιακή απομάκρυνση όταν αυτή συνδυαστεί και με άλλες μονάδες επεξεργασίας όπως η πήξη, διύλιση και απολύμανση του επιφανειακού νερού. Δεδομένου ότι οι μικροοργανισμοί συνδέονται με τα σωματίδια δημιουργώντας θολότητα στο νερό η οποία όμως μπορεί να μειωθεί αισθητά από τις μεμβράνες απορρόφησης. (2)

5.3.1 Ακεραιότητα του συστήματος αντίστροφης όσμωσης

Η αντίστροφη όσμωση αποτελεί ένα εξαιρετικό εμπόδιο των μικροοργανισμών η διατήρηση όμως αυτού του εμποδίου εξαρτάται από την ακεραιότητα του συστήματος. Οποιαδήποτε διακοπή της ακεραιότητας των μεμβρανών θα μπορούσε να οδηγήσει στο πέρασμα των παθογόνων μέσα στο νερό κατά την διάρκεια της επεξεργασίας του για αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να παρακολουθείται η ακεραιότητα του συστήματος μέσω δοκιμών. Με βάσει εργαστηριακών μελετών που διεξήχθησαν από τους Colvin et al (2000), Kitis et al (2002), συγκρίθηκαν τρεις μεθοδολογίες ακεραιότητας του

συστήματος. Διερεύνησαν την ικανότητα των τριών μεθοδολογιών για να 1: ποσοτικοποιήσουν την απομάκρυνση ιών (βακτηριοφάγου MS2) σε ενιαίο στοιχείο και σε διπλή διάταξη στοιχείων, 2: προσδιορίσουν τις αλλαγές στην ικανότητα απομάκρυνσης των ιών όταν τα συστήματα έχουν διαφορετικούς τύπους μεμβρανών. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η απώλεια της ακεραιότητας της μεμβράνης μείωσε την απομάκρυνση των ιών από 5.3 logs σε 2.3 logs. (2,28)

5.3.2 Ρύπανση και βιοφίλμ (biofouling)

Δεδομένου ότι τα βακτήρια μπορούν να διαπεράσουν μέσα από τις μεμβράνες λόγω κάποιου ελαττώματος τους, η διέλευση καθώς και η ανάπτυξη των μικροβίων (biofouling) μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του νερού. Είναι εξαιρετικά ανησυχητικό η επίδραση και η ανάπτυξη του βιοφίλμ στις μεμβράνες καθώς η διατήρηση και η ανάπτυξη των παθογόνων βακτηρίων. Το βιοφίλμ μπορεί να επηρεάσει την ακεραιότητα των μεμβρανών δημιουργώντας τρύπες στην επιφάνειά της. (2)

Η ρύπανση των μεμβρανών δημιουργείται από σταδιακή συσσώρευση υλικών στους πόρους ή στην επιφάνεια των μεμβρανών. Σημαντικό ρόλο στην δημιουργία ρύπανσης έχει το νερό τροφοδοσίας, τα χαρακτηριστικά και η σύνθεση της οργανικής ύλης, η προεπεξεργασία του νερού, τα είδη των θρομβωτικών που χρησιμοποιούνται και τα χαρακτηριστικά των μεμβρανών. Το biofouling δημιουργείται όταν οι μικροοργανισμοί συσσωρεύονται και αναπτύσσονται στην επιφάνεια των μεμβρανών ελαττώνοντας με αυτό τον τρόπο την ροή του νερού μέσω των μεμβρανών και την αύξηση πίεσης των μεμβρανών. Σε μελέτες που έχουν διεξαχθεί ο Flemming et al. (1997) υποστηρίζει ότι σε κάθε σύστημα μεμβρανών που γίνεται επεξεργασία νερού αντιμετωπίζουν πρόβλημα εμφάνισης βιοφίλμ και σε μερικά παρουσιάζεται πρόβλημα λειτουργίας εξαιτίας του υπερβολικού σχηματισμού. Ο Paul (1991) 58 από τις 70 μονάδες αντίστροφης όσμωσης στις ΗΠΑ ανέφεραν προβλήματα biofouling. Ενώ ο Vrouwenvelder και van der Kooij (2001) σε έρευνα εγκαταστάσεων επεξεργασίας με νανοδιήθηση και αντίστροφη όσμωση στην Ολλανδία παρατήρησαν προβλήματα biofouling στις 12 από τις 13 εγκαταστάσεις που μελετήθηκαν. (2,28)

5.4 ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΥΛΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟ ΝΕΡΟ

Το αφαλατωμένο νερό έχει συνήθως χαμηλές ή πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα (TOC) και ακόμα περισσότερες χαμηλές συγκεντρώσεις σε βιοαποικοδομήσιμο οργανικό άνθρακα (BOM) οι οποίες μπορούν μερικώς ή και τελείως να απομακρυνθούν με την αντίστροφη όσμωση. Οι διαδικασίες της νανοδιήθησης και της αντίστροφης όσμωσης είναι πλέον αποτελεσματικές στην απομάκρυνση του BOM.

Η διέλευση των παθογόνων βακτηρίων από το βιοφίλμ ή από το προς επεξεργασία νερό εξαρτάται από την διάμετρο των οπών της μεμβράνης και είναι σημαντικό να αναφέρονται ώστε να αποφευχθεί το πέρασμά τους στον όγκο του νερού. Ορισμένα βακτήρια έχουν επιβιώσει από την διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης και έχουν περάσει σε όλο το σύστημα διανομής, ένα από αυτά τα βακτήρια είναι και το *Novosphingobium capsulatum*. (2)

5.5 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Όταν χρησιμοποιούνται θερμικές διεργασίες για την αφαλάτωση του νερού η μικροβιακή αδρανοποίηση μπορεί να επιτευχθεί με την θερμοκρασία που εφαρμόζεται και με το χρόνο παραμονής του νερού σε αυτή την θερμοκρασία. Οι συνήθεις θερμοκρασίες που εφαρμόζονται για να εξασφαλιστεί αδρανοποίηση των βλαστικών κυττάρων με υγρή θερμότητα ποικίλει από 50°C σε 60 °C όταν διατηρείται για 5-30 λεπτά έτσι ώστε να επιτευχθεί παστερίωση. Σπόρια, ενδοσπόρια και άλλες ανθεκτικές μορφές είναι πιο ανθεκτικά στην θερμότητα και απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες όπως στους 70 -100 °C και μεγαλύτερο χρόνο παραμονής. Τα περισσότερα παθογόνα αδρανοποιούνται κάτω από στιγμιαία παστερίωση σε θερμοκρασία 72 °C για 15 sec. Το συμπύκνωμα είναι απίθανο να περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς μετά την διαδικασία της απόσταξης λόγω της θανάτωσης των παθογόνων από την θερμότητα καθώς και ότι δεν μπορούν να παρασυρθούν. Ωστόσο σε μερικές διαδικασίες αφαλάτωσης χρησιμοποιούνται μικρότερες πιέσεις για να μειώσουν το σημείο βρασμού και την απαιτούμενη ενέργεια. Θερμοκρασίες κάτω των 50 μπορεί να χρησιμοποιηθούν αλλά μπορεί να μην επιτευχθεί αδρανοποίηση των παθογόνων. (2)

5.6 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το αφαλατωμένο νερό αποτελεί μια σχετικά εύκολη πρόκληση για απολύμανση λόγω του χαμηλού TOC, του περιεχομένου των σωματιδίων, το χαμηλό μικροβιακό φορτίο και την ελάχιστη οξειδωτική απαίτηση μετά την αφαλάτωση. Η θολότητα δεν είναι πιθανό να επηρεάσει την απόδοση της χημικής απολύμανσης καθώς οι τιμές της στο αφαλατωμένο νερό είναι χαμηλές. Η μετεπεξεργασία μπορεί να προκαλέσει αύξηση της ανόργανης θολότητας χωρίς αυτό όμως να επηρεάζει την απολύμανση. Τα επίπεδα στόχοι της αδρανοποίησης των παθογόνων παραμένει στο αφαλατωμένο νερό και μπορεί να επιτευχθεί εύκολα με τις κατάλληλες διεργασίες απολύμανσης. Μόλις τα επίπεδα στόχοι της απολύμανσης επιτευχθούν ως ένα μέρος του σχεδίου για ασφαλές νερό, ένα κατάλληλο μέτρο που πρέπει να εφαρμόζεται είναι η δράση του υπολειμματικού χλωρίου που πρέπει να διατηρείται κατά την διάρκεια διανομής. (2)

Τα θέματα που θεωρούνται σημαντικά για την απολύμανση αφαλατωμένου νερού είναι:

- Το εν δυνάμει πέρασμα του ιού μέσω κάποιων μεμβρανών που φέρνει το σημείο στις κατάλληλες συνθήκες για την αδρανοποίηση του
- Η πιθανή απώλεια της ακεραιότητας των μεμβρανών που θα μπορούσε να οδηγήσει στο πέρασμα παθογόνων μικροοργανισμών στην διαδικασία επεξεργασίας του νερού.
- Η πρακτική ανάμειξης του μη αφαλατωμένου νερού για τον εμπλουτισμό του επεξεργασμένου νερού εγείρει την ανάγκη για καθορισμό κατάλληλων μέτρων και στόχων για την μεταχείριση και απολύμανση του νερού που θα χρειαστεί για τον εμπλουτισμό του αφαλατωμένου νερού.

Εκτός από το νερό ανάμειξης το οποίο συνήθως επεξεργάζεται, τα παραπάνω θέματα μπορούν να αντιμετωπιστούν τις περισσότερες φορές με την εφαρμογή απολύμανσης μετά την αφαλάτωση του νερού με βάση το χλώριο ή άλλες εναλλακτικές διαδικασίες απολύμανσης (UV, όζον) για την μείωση του κινδύνου και την παραγωγή ασφαλούς πόσιμου νερού. (2)

5.7 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η πρόκληση στο να διατηρηθεί η ποιότητα του αφαλατωμένου νερού κατά την αποθήκευση και διανομή του δεν απαιτεί ειδικές συνθήκες. Οι μικροοργανισμοί θα μπορούσαν να αναπτυχθούν κατά την διάρκεια της διανομής λόγω μη αποτελεσματικής και ελλιπούς απολυμαντικής δράσης και της υψηλής θερμοκρασίας του νερού, αυτό συναντάται συχνά στις χώρες που χρησιμοποιούν την αφαλάτωση για την παραγωγή πόσιμου νερού. Ένα ευρύ φάσμα μικροβίων, όπως η *Legionella*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Burkholderia pseudomallei* και άτυπα μυκοβακτηρίδια τα οποία περιλαμβάνουν παθογόνα στελέχη, μπορεί να βρίσκονται στο νερό διανομής. Η μετάδοση αυτών των βακτηρίων γίνεται κυρίως με την εισπνοή και την επαφή (κολύμβηση, μπάνιο) και εκδηλώνονται με λοιμώξεις στο αναπνευστικό σύστημα, αλλοιώσεις του δέρματος και βλάβες στον εγκέφαλο. Δεν υπάρχει καμία απόδειξη συσχέτισης ότι μπορεί να εκδηλωθεί γαστρεντερική λοίμωξη από αυτούς τους μικροοργανισμούς ύστερα από κατάποση πόσιμου νερού, αλλά η *Legionella* μπορεί να αυξηθεί σε σημαντικούς αριθμούς σε θερμοκρασία μεταξύ 25 έως 50 °C. Η θερμοκρασία είναι ένα σημαντικό στοιχείο για τον έλεγχο και την διατήρηση του νερού σε ασφαλές επίπεδο. Για αυτό το λόγο η θερμοκρασία του νερού πρέπει να διατηρείται όπου είναι δυνατό κάτω από τους 25 έως 50 °C. Σε συστήματα ζεστού νερού, η αποθήκευση θα πρέπει να διατηρείται πάνω από τους 55 °C, και παρόμοιες θερμοκρασίες σε όλο το σύστημα των σωληνώσεων ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών. Όπου οι θερμοκρασίες σε συστήματα παραγωγής ζεστού ή κρύου νερού διανομής δεν μπορεί να διατηρηθεί σε θερμοκρασία μεταξύ των 25-50 °C, θα πρέπει να δίνεται μεγαλύτερη προσοχή στην απολύμανση και σε ενέργειες που στοχεύουν στον περιορισμό ανάπτυξης βιοφίλμ. Η συσσώρευση λάσπης, αλάτων, αλγών ή σκουριάς στο σύστημα διανομής ευνοεί την ανάπτυξη της *Legionella* spp, όπως και στο στάσιμο νερό. Στα συστήματα διανομής νερού που διατηρούνται καθαρά και γίνεται συνεχής κυκλοφορία νερού είναι λιγότερο πιθανό η ανάπτυξη της *Legionella* spp. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα στην επιλογή των υδραυλικών υλικών στα οποία δεν ευνοείται μικροβιακή ανάπτυξη κ δημιουργία βιοφίλμ. (2)

Η διατήρηση της ποιότητας του νερού κατά την αποθήκευση και την διανομή εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων όπως:

- Την ποσότητα της βιοαποδόμησης της οργανικής ύλης και τα ιχνοστοιχεία που ευνοούν την ανάπτυξη βακτηρίων.
- Την χημική ισορροπία για να περιοριστεί η απελευθέρωση του σιδήρου, του μόλυβδου και του χαλκού.
- Την διατήρηση της υπολειμματικής οξείδωσης.
- Την διαθεσιμότητα και τη φύση των επιφανειών σύνδεσης, κυρίως του σωλήνα και της δεξαμενής και την παρουσία της διάβρωσης.
- Την διατήρηση της ακεραιότητας των σωλήνων και των δεξαμενών.
- Τις συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη όπως ο χρόνος παραμονής, η θερμοκρασία και οι υδραυλικές συνθήκες.

Οι υψηλές θερμοκρασίες του νερού θα περιορίσουν την διατήρηση μια αποτελεσματικής υπολειμματικής δράσης σε όλο το σύστημα διανομής λόγω της αυξημένης χημικής αντίδρασης με το απολυμαντικό. Για αυτό το λόγο προτείνεται η χρήση χλωραμινών αντί του χλωρίου καθώς αποτελεί μια συμφέρουσα και εναλλακτική λύση σε συστήματα διανομής με μεγάλο χρόνο παραμονής και αυξανόμενες θερμοκρασίες. Ωστόσο η νιτροποίηση μπορεί να προκύψει από τις χλωραμίνες όταν υπάρχει το βακτήριο *Nitrosomonas*.

5.8 ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΜΙΞΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΆΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ.

Η ανάμειξη του αφαλατωμένου νερού με υπόγεια ύδατα ή με άλλες πηγές πόσιμου νερού πρέπει να εφαρμόζεται. Αυτή η πρακτική δεν ειδικά θέματα για το αφαλατωμένο νερό με εξαίρεση ότι θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή όσο αφορά την χημική σταθερότητα ώστε να προληφθεί η απελευθέρωση σιδήρου, μόλυβδου και χαλκού. (2)

5.9 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

Όπως συμβαίνει με όλα τα αποθέματα νερού έτσι και η παραγωγή του αφαλατωμένου νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αξιόπιστη διαθέσιμη πηγή νερού. Οι μονάδες αφαλάτωσης πρέπει να εγκαθίστανται μακριά από αστικά λύματα, αποχετεύσεις όμβριων υδάτων και περιοχές που εμφανίζεται ανάπτυξη και άνθιση επιβλαβών άλγων.

Το επίπεδο του αντίκτυπου από εκκενώσεις βοθρολυμάτων εξαρτάται από τις τοπικές καιρικές συνθήκες αλλά πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην θέση τροφοδοσίας και στις απορροές των λυμάτων. Κατάλληλη παρακολούθηση των βιολογικών και φυσικοχημικών παραμέτρων της πηγής νερού κατά την διάρκεια λειτουργίας της εγκατάστασης θα εξασφαλίσει ότι οι διαδικασίες επεξεργασίας δεν έχουν ξεπεράσει τα ανώτατα όρια μόλυνσης. (2)

Η παρακολούθηση της ποιότητας της πηγής νερού από παθογόνους μικροοργανισμούς σε μια διαδικασία αφαλάτωσης δεν είναι και τόσο αποτελεσματική προσέγγιση διότι παρόμοια ζητήματα αντιμετωπίζονται και για την παρακολούθηση των γλυκών υδάτων. Ωστόσο, είναι χρήσιμη γιατί παρέχει βασικές πληροφορίες που είναι ικανές να υποδείξουν σημαντικές αλλαγές στην ποιότητα του νερού για να εξασφαλιστεί και η μέθοδος θεραπείας. Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν διάφορες βιολογικές και φυσικοχημικές παραμέτρους. Πληροφορίες σχετικά με πιθανούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία μπορούν να επιτευχθεί μέσω της χρήσης δεικτών κοπρανώδους μόλυνσης, όπως *E. coli enterococci*, τα οποία αποδεικνύουν μόλυνση κοπρανώδους προέλευσης. Επιπλέον επειδή οι εντερόκοκκοι είναι πιο ανθεκτικοί στις περιβαλλοντικές συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος από ότι η *E. coli* θα ήταν καλύτερο να υπάρχει ένας καλύτερος δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης στο θαλασσινό νερό και η παρουσία εντερικών παθογόνων. Οι κολιφάγοι που είναι ιοί και μολύνουν κολοβακτηρίδια και είναι παρόμοιοι με τους ανθρώπινους ιούς εκτιμάται ότι μπορούν να επιβιώσουν και να παραμείνουν στο θαλασσινό νερό, καθώς επίσης έχουν προταθεί για χρήσιμους δείκτες για την ποιότητα της πηγής και για την απόδοση της διαδικασίας αφαλάτωσης. Η ανάπτυξη και η ορθή εφαρμογή των αναλυτικών μεθόδων προσαρμόζονται καλύτερα σε θαλασσινά ύδατα και όπου απαιτείται βελτίωση για την παρακολούθηση της θαλάσσιας πηγής. Ορισμένες συστάσεις περιλαμβάνουν:

- Η διατήρηση της απολύμανσης του νερού μετά την αφαλάτωση πρέπει να εξασφαλίζει την αδρανοποίηση των βακτηρίων και των ιών και την διατήρηση της υπολειμματικής δράσης κατά την αποθήκευση και διανομή.
- Το νερό που χρησιμοποιείται για την ανάμειξη πρέπει να πληρεί τα μικροβιολογικά όρια ποιότητας όπως ορίζονται για το ακατέργαστο νερό για την μείωση των κινδύνων. Μολυσμένο νερό δεν πρέπει να αναμειγνύεται με το τελικό νερό από αφαλάτωση.

- Η θεραπεία θα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να εξασφαλιστούν πολλαπλά εμπόδια συμπεριλαμβανομένου του τελικού φράγματος της απολύμανσης.
- Η διατήρηση της ποιότητας του νερού κατά την αποθήκευση και διανομή του συμπεριλαμβανομένης και τη υπολειμματικής δράσης είναι σημαντική για να εξασφαλιστεί ότι η ποιότητα του νερού διατηρείται μέχρι τον καταναλωτή.
- Κατάλληλες κατευθυντήριες οδηγίες από τονWHO θα πρέπει να εφαρμόζονται κατά την αποθήκευση και διανομή ώστε να ελαχιστοποιείται η ανάπτυξη και η επαναμόλυνση του νερού.
- Το αφαλατωμένο νερό είναι πολύ χαμηλό δε θρεπτικά συστατικά και έχει μικρή πιθανότητα μικροβιακής ανάπτυξης. Ωστόσο υψηλές θερμοκρασίες από 30 έως 45 που είναι συχνές σε κάποιες χώρες που χρησιμοποιούν μεθόδους αφαλάτωσης είναι πιθανή η ανάπτυξη όπως η Legionella και η νιτροποίηση όταν χρησιμοποιούνται χλωραμίνες.(2)

6. ΜΕΤΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ (ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ), ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ

Τα πιο αποτελεσματικά μέσα διαβεβαίωσης ότι πίνουμε πόσιμο νερό με ασφάλεια είναι μέσω της εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου συστήματος αξιολόγησης και διαχείρισης του κινδύνου . Στον WHO Guideline for Drinking- water Quality (2009) (οδηγίες για πόσιμο νερό), αυτή η προσέγγιση βασίζεται στην εφαρμογή των σχεδίων ασφαλούς νερού (WSPs) εντός του πλαισίου για ασφαλές πόσιμο νερό . Το πλαίσιο περιλαμβάνει:

- Στόχους βασισμένους στην υγεία που παρέχουν τα «σημεία αναφοράς» των προμηθευτών νερού
- Τα τρία συστατικά του WSPs:
 - -σύστημα αξιολόγησης
 - -πλήρους λειτουργίας
 - -σχέδια διαχείρισης

Τα οποία σε συνδυασμό περιγράφουν τις ενέργειες που έχουν ληφθεί από τους προμηθευτές νερού για να βεβαιώσουν ότι η ασφάλεια όπως ορίζεται από τους στόχους που βασίζονται στην υγιεινή έχει επιτευχθεί και

- ανεξάρτητη επίβλεψη για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του WSPs ως προς τους στόχους

Η επίβλεψη παίζει σημαντικό ρόλο στην επιβεβαίωση ότι η λειτουργία του WSPs είναι η πρόθεση του και η επίτευξη του στην παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού. Συμπεριλαμβάνει απόδειξη, έμπρακτη παρακολούθηση, επαλήθευση και επιτήρηση. Απόδειξη είναι η διαδικασία απόκτησης στοιχείων ότι τα μέτρα ελέγχου και το WSPs, ως σύνολο, είναι ικανοί στην επίτευξη στόχων βασισμένων στην υγιεινή, η έμπρακτη παρακολούθηση χρησιμοποιείται στο να καθοριστεί ότι τα ατομικά συστατικά του συστήματος πόσιμου νερού, δουλεύουν όπως είχε προγραμματιστεί, η επαλήθευση παρέχει την βεβαιότητα ότι ένα σύστημα ως σύνολο παρέχει ασφαλές νερό, ενώ η επιτήρηση επανεξετάζει την συμμόρφωση με διακεκριμένες οδηγίες, υψηλές αξίες και κανονισμούς.(2)

6.1 ΑΠΟΔΕΙΞΗ

Η απόδειξη των μέσων ελέγχου συμπεριλαμβανομένης και της επεξεργασίας μεταχείρισης είναι αναγκαία για να αποδείξει ότι είναι ικανή να ενεργεί όπως έχει οριστεί. Πρόκειται για μια ερευνητική δραστηριότητα που έχει ληφθεί όταν το σύστημα έχει σχεδιαστεί και δημιουργηθεί ή έχει τροποποιηθεί . Η απόδειξη θα πρέπει να αξιολογεί την απόδοση των προδιαγραφών για το κάθε μέσο ελέγχου που έχει ληφθεί υπόψη των χαρακτηριστικών της πηγής νερού. Το πρώτο βήμα για την απόδειξη είναι να διερευνήσουμε ότι υπάρχουν διαθέσιμα αρχεία από την επιστημονική βιβλιογραφία, κυρίως βιομηχανία, άλλους χρήστες του εξοπλισμού και κατασκευαστές ή προμηθευτές. Η απόδειξη θα πρέπει να επιβεβαιώνει ότι ιδιαίτερα στοιχεία του εξοπλισμού κατάφεραν να εκπληρώσουν την ερμηνεία των προτύπων. Η παρακολούθηση συνδέεται συχνά με την απόδειξη ως λογική και εντατική δραστηριότητα που έχει ληφθεί κυρίως ως πιλοτική δοκιμασία ή πριν την λειτουργία και κατά την λειτουργία των συστημάτων. Η παρακολούθηση των αναγκών γενικά θα είναι πιο εκτεταμένη για τις καινοτόμες διαδικασίες ή αυτές που δεν ακολουθούν τα πρότυπα. Η απόδειξη μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση τρόπων λειτουργίας, στις παραμέτρους και τα κριτήρια πλήρους λειτουργίας όσο και στην συντήρηση των αναγκών.(2)

6.1.1 Πλήρης λειτουργία

Η πλήρης λειτουργία είναι η σειρά οργανωμένων παρατηρήσεων και μετρήσεων που έχουν ληφθεί για να εκτιμηθεί η συνεχής απόδοση του κάθε μέτρου ελέγχου στην πρόληψη, εξάλειψη ή μείωση τυχαίων κινδύνων. Η πλήρης λειτουργία συνήθως θα στηρίζεται σε απτές και γρήγορες διαδικασίες όπως η μέτρηση της θολούρας και των κατάλοιπων χλωρίνης ή της επιθεώρησης για την ακεραιότητας του συστήματος διανομής.

Οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση θα πρέπει:

-Να είναι εύκολα μετρήσιμοι

-Να αντανακλούν την πραγματικότητα του κάθε μέτρου ελέγχου

-Να παρέχουν μια χρόνο-ένδειξη της αποτελεσματικότητας που θα στηρίζεται σε ένα συνδυασμό των ορίων παρακολούθησης και

-Να παρέχουν την ευκαιρία σε εργαλεία διορθωτικών μέσων όπου κριθεί αναγκαίο

Τα όρια πλήρους λειτουργίας ξεχωρίζουν για την απόδοση των αποδεκτών και των μη αποδεκτών μέτρων ελέγχου. Αν εντοπιστεί μη αποδεκτή απόδοση τότε

προκαθορισμένες διορθωτικές ενέργειες πρέπει να εφαρμοστούν. Ο στόχος είναι τα μέτρα των παραμέτρων πλήρους λειτουργίας και τα εργαλεία των όποιων διορθωτικών ενεργειών χρειαστεί να ληφθούν, να εφαρμοστούν μέσα σε ένα χρονικό πλαίσιο που θα προλαμβάνει το νερό που δεν είναι ασφαλές, να μην παρέχεται στους καταναλωτές. Σε κάποιες περιπτώσεις τα κριτήρια του στόχου πλήρους λειτουργίας, τα οποία είναι πιο αυστηρά από τα όρια λειτουργίας μπορεί να χρησιμοποιηθούν στο να παρέχουν έγκαιρες προειδοποιήσεις στους χειριστές δίνοντας την δυνατότητα να γίνουν αλλαγές προτού φτάσουν στα όρια ή τα ξεπεράσουν.(2)

6.1.2 Επαλήθευση

Πέρα από την επίβλεψη των ιδιαίτερων στοιχείων παρακολούθησης του συστήματος πόσιμου νερού είναι αναγκαίο να λάβουμε και την επαλήθευση, να παρέχουμε βεβαίωση ότι το σύστημα ως σύνολο λειτουργεί με ασφάλεια. Η σειρά των παραμέτρων που συμπεριλαμβάνονται στην επαλήθευση θα πρέπει να καθιερώνεται από τα πρότυπα και τις κατευθυντήριες οδηγίες για το πόσιμο νερό και τυπικά θα περιλαμβάνουν και τις δοκιμές για τους δείκτες μικροβιολογικής ποιότητας, όσο και των χημικών κινδύνων. Η επαλήθευση μπορεί να γίνει από τον προμηθευτή νερού, ως μέρος του ποιοτικού ελέγχου, από ένα ανεξάρτητο οργανισμό επίβλεψης ή από ένα συνδυασμό και των δυο.(2)

6.1.3 Επιτήρηση (παρακολούθηση)

Η επιτήρηση είναι η « συνεχής και επαγρυπνούσα αξιολόγηση της δημόσιας υγείας και επιθεώρηση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των προμηθευτών πόσιμου νερού. (WHO 1976). Η επιτήρηση θα πρέπει να γίνεται από ένα ανεξάρτητο οργανισμό στο οποίο θα έχει δοθεί η νόμιμη εξουσία που στηρίζει τις δραστηριότητες του και ενισχύει τις όποιες διορθωτικές ενέργειες χρειάζονται να γίνουν ώστε να προστατευτεί η δημόσια υγεία.(2)

Υπάρχουν δυο προσεγγίσεις ως προς την επιτήρηση, προσεγγίσεις βασισμένες σε άμεση αξιολόγηση και έλεγχο. Στην προσέγγιση που βασίζεται στον έλεγχο, ο έλεγχος ποιότητας του πόσιμου νερού, όπως παρέχεται στους καταναλωτές, γίνεται από τον προμηθευτή νερού, με αξιολόγηση των προγραμμάτων παρακολούθησης και συμπεριλαμβάνονται και τα αποτελέσματα της διαδικασίας ελέγχου. Στην προσέγγιση

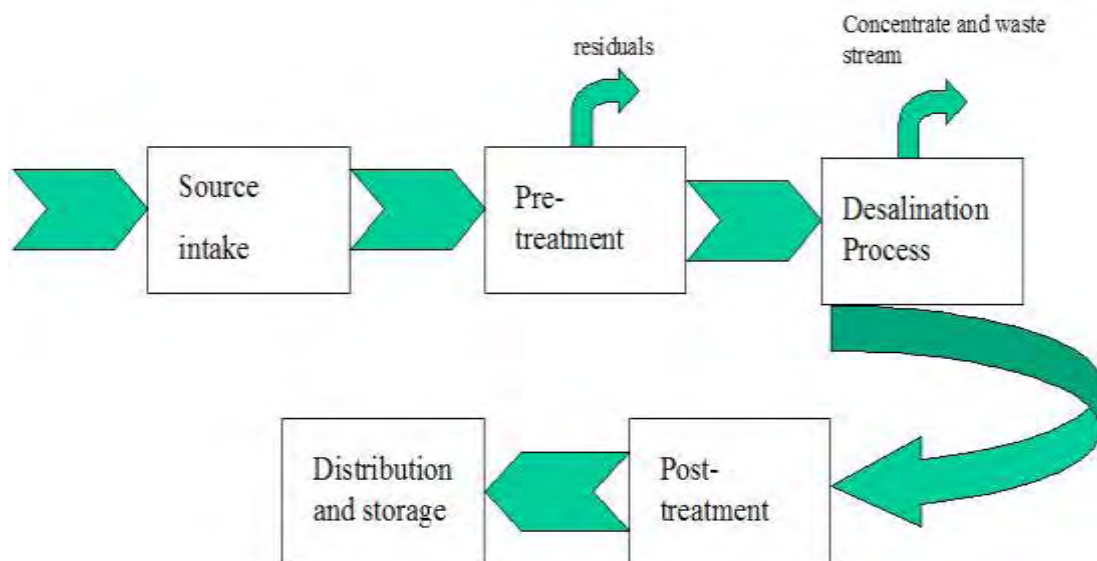
άμεση αξιολόγησης, ανεξάρτητες δοκιμές της ποιότητας νερού γίνονται από την εταιρεία επιτήρησης. Αυτό το είδος δοκιμών συμπληρώνει το πρόγραμμα επαλήθευσης που έχει ληφθεί από τον προμηθευτή. Η επιτήρηση συνήθως θα περιλαμβάνει τόσο την διαδικασία έγκρισης και επιθεώρησης από το WSPs όσο και την επιθεώρηση της πραγματοποίησης των σχεδίων.(2)

6.2 ΠΛΗΡΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Κίνδυνοι μπορεί να προκύψουν σε κάθε βήμα από την πηγή του θαλασσινού νερού ή από το γλυφό νερό μέχρι και τον τελικό προμηθευτή πόσιμου νερού.

Τα μέτρα ελέγχου χρησιμοποιούνται για πρόληψη, εξάλειψη ή μείωση αυτών των κινδύνων και μπορεί να περιλαμβάνουν ενέργειες όπως η προστασία των πηγών νερού από μόλυνση, από υπονόμους ή βιομηχανικά απόβλητα, διαχείριση και προστασία του συστήματος διανομής, το κεφάλαιο 3 παρέχει μία αναφορά από τυπικές τεχνολογίες και μέτρα ελέγχου που μπορούν να εφαρμοστούν για να παραχθεί ασφαλές πόσιμο νερό μέσω της αφαλάτωσης. Ο συνδυασμός των μέτρων ελέγχου που χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένο σχέδιο θα ποικίλει και αυτό θα εξαρτάται από την ποικιλία των παραγόντων, συμπεριλαμβάνονται και το είδος της πηγής του νερού και το μέγεθος του σχεδίου. Άσχετα από τον συνδυασμό των μέσων ελέγχου που χρησιμοποιούνται σε ένα σχέδιο, η αποτελεσματικότητα της απόδοσης του κάθε μέτρου πρέπει να αξιολογηθεί. Αυτό επιτυγχάνεται με την πλήρη λειτουργία, δηλαδή τον έμπρακτο έλεγχο.(2,28)

Ο έλεγχος μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε ένα από τα συστατικά όπως περιγράφονται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 6.1 : Τυπική ακολουθία των διαδικασιών επεξεργασίας αφαλάτωσης και διανομής. (WHO,2007)

- Η πηγή νερού λαμβάνει υπόψη την πιθανή επίδραση της μόλυνσης των πηγών και την θερμοκρασία που δημιουργείται από φυσικά φαινόμενα
- προεπεξεργασία που περιλαμβάνει και την χρήση πρόσθετων και χημικών
- αφαλάτωση (βασισμένη στην διαδικασία της μεμβράνης και στην θερμική διαδικασία)
- μίξη (συμπεριλαμβανομένης και της θεραπείας μίξης νερού), απολύμανση και προσθήκη μεταλλικών στοιχείων
- αποθήκευση και διανομή συμπεριλαμβανομένης και της εκτίμησης της διάβρωσης και σταθερότητας του προϊόντος / μείγμα νερού

Η επιβεβαίωση της σταθερής ποιότητας του πόσιμου νερού, απαιτεί φροντίδα και προσοχή στις λεπτομέρειες στην καθημερινή λειτουργία όλων των διαδικασιών μέσω του συστήματος αφαλάτωσης από την πηγή στον καταναλωτή. Τέτοιες λεπτομέρειες θα πρέπει να ανακτώνται στην πλήρη λειτουργία των εγκαταστάσεων της αφαλάτωσης. Αυτό θα πρέπει να φαίνεται σε ακριβείς και σύγχρονα πλάνα λειτουργίας και πρέπει να καταγράφονται και να υποστηρίζονται από κατάλληλη εκπαίδευση για τους διαχειριστές μονάδων. (2)

Ο πίνακας 6.1 παρέχει μια περίληψη των παραμέτρων του πλήρους ελέγχου με προτεινόμενες συχνότητες ελέγχου για μεγάλες ($>10\text{MGD}$, $\sim 37850\text{m}^3/\text{ημέρα}$) και μικρές μονάδες ($<1\text{MGD}$, $\sim 3785\text{m}^3/\text{ημέρα}$). Όπου οι πηγές είναι περιορισμένες η επιλογή των μέτρων ελέγχου και συχνοτήτων πρέπει να καθοδηγείται από μια εκτίμηση κινδύνου. Χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση, ο έλεγχος του κινδύνου και των μέτρων μπορούν να τεθούν ως προτεραιότητα σε επίπεδο ρίσκου που σχετίζεται με τον κίνδυνο και την απώλεια της αποτελεσματικότητας απόδοσης των μέτρων ελέγχου που έχουν σχεδιαστεί να μειώνουν ή να απομακρύνουν τον κίνδυνο. Η συχνότητα ελέγχου θα πρέπει επίσης να βασίζεται σε επίπεδο ρίσκου, σε σχέση με την ποικιλία που υπάρχει στην παρουσία κινδύνου ή στην απόδοση των μέτρων ελέγχου. (2,28)

6.3 ΠΗΓΗ ΝΕΡΟΥ

Οι μονάδες αφαλάτωσης μπορούν να διαχειριστούν το θαλασσίνο νερό (από ανοιχτά σημεία πρόσληψης και αγωγούς ή από πηγάδια που βρίσκονται στο βυθό της θάλασσας, στη παραλία ή σε νησί σε παραθαλάσσιες περιοχές και πάνω σε νησιά) και γλυφές επιφάνειες νερού ή από το υπέδαφος. Οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης απαιτούν αξιόπιστες πηγές νερού με αρκετά σταθερή ποιότητα. Η ποιότητα και η σταθερή φυσική πρόσληψη νερού θα επηρεάσει τη φύση και την αποτελεσματικότητα της προεπεξεργασίας, την αποτελεσματικότητα μεταχείρισης της διαδικασίας και την ασφάλεια του πόσιμου νερού που έχει παραχθεί από αφαλάτωση. Η ποιότητα επηρεάζεται από φυσικά φαινόμενα, από φαινόμενα όπως καταιγίδες και υπερχειλίση και αυξανόμενες πηγές μόλυνσης. Όποτε είναι δυνατή μια προληπτική προσέγγιση, που πρέπει να εφαρμόζεται για να εξασφαλιστεί η ποιότητα της πηγής του νερού όπως επίσης πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στα μέτρα ελέγχου που έχουν σχεδιαστεί για να προστατεύσουν τις πηγές νερού και τις λήψεις από σωληνώσεις. Σε αυτή την περίπτωση η χαμηλή απόδοση ή βραχυπρόθεσμη αποτυχία της εκβολής της διαδικασίας διαχείρισης μπορεί να έχει μεγαλύτερες επιπτώσεις. Επιπροσθέτως η παρουσία ρύπων μπορεί να αποβεί επικίνδυνη, αν η πηγή νερού χρησιμοποιείται σε διαδικασίες μείξης και πρέπει επίσης να παρακολουθούνται.(2)

6.3.1 Θαλάσσια νερά

Πιθανή επίδραση στην ποιότητα του νερού και πρόσληψη στην μονάδα αφαλάτωσης, μπορεί να περιλαμβάνει:

- Οικιακά απόβλητα που έχουν εκκενωθεί ακατέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα
-κυρίως παθογόνα μικρόβια και μερικά έντονα χημικά
- Ρήξη επικίνδυνων αποβλήτων στα ανοιχτά της θάλασσας και στις ακτές
-χημικά, παθογόνα και ραδιενεργά υλικά
- Εκμετάλλευση πετρελαίου και αερίου στα ανοιχτά της θάλασσας και κοντά στις ακτές, ανασκαφές, διαδικασία παραγωγής και διάλυση
-Γεώτρηση λάσπης μέσα σε θολότητα, χημικά συμπεριλαμβανομένου υδρογονάνθρακα, μερικές δόσεις ραδιενεργών νουκλεϊδίων
- Άλμη και άλλα απόβλητα που ρέουν από τις μονάδες αφαλάτωσης
-χημικά συμπεριλαμβανομένου αντιδιαβρωτικών και στοιχείων κατά του αφρού
- Μεταφορά φορτίου συμπεριλαμβανομένου των πετρελαιοφόρων και τουριστικών σκαφών
-σαβούρα πλοίων, διαρροή καυσίμου, απόβλητα που περιέχουν παθογόνα μικρόβια
- Απόβλητα από βιομηχανικά συμπλέγματα
-χημικά που συμπεριλαμβάνουν υδρογονάνθρακες και οργανικά βαρέα μέταλλα σύνθετων συμπλεγμάτων
- Λύματα από μονάδες παραγωγής ενέργειας συμπεριλαμβανομένων και των υδάτων ψύξης
-αντιρρυπαντικές ουσίες, βιοκτόνα και θερμική μόλυνση
- Στρατιωτικές ενέργειες όπου γίνονται διαρροές πετρελαίου, χημικά, βιολογικά και πιθανοί ραδιενεργοί μολυντές παράγονται, τυχαία ή από πρόθεση
- Ευτροφισμός που σχετίζεται με απόβλητα από πλούσια θρεπτικά συστατικά νερού από καταιγίδες
- Αύξηση οργανικού φορτίου που έχει σχέση με τον θάνατο των ψαριών ή την αποσύνθεση της θαλάσσιας ζωής και
- Παγίδευση και φράξιμο των οθόνων εισαγωγής από θαλάσσιους οργανισμούς ή πέρασμα οργανισμών μέσα από οθόνες και μέσα από τον εξοπλισμό. Τέτοιοι οργανισμοί είναι τα μύδια, στρείδια και μαλάκια που μπορούν να μεγαλώσουν

μέσα σε τέτοιες δομές ενώ οι μικροοργανισμοί μπορούν να προσκολληθούν και να μεγαλώσουν παράγοντας βιοφίλμ. (2)

6.3.2 Γλυφές επιφάνειες και υπόγεια ύδατα

Γλυφά νερά μπορούν να αντληθούν από επιφάνειες πηγών όπως λίμνες, εκβολές ή υδροφορείς. Ανοιχτές λίμνες και εκβολές μπορούν να είναι υποκείμενα παρόμοιων πηγών μόλυνσης θαλασσινού νερού. Τα υπόγεια νερά κυρίως όταν γίνεται η λήψη τους από βαθείς ή περιορισμένους υδροφορείς είναι γενικά πιο πυκνά σε ποιότητα και περιέχουν χαμηλά επίπεδα μόλυνσης από την επιφάνεια του νερού, κάτι που οφείλεται στην επίδραση του φιλτραρίσματος των υποστρωμάτων του εδάφους. Ωστόσο, η μόλυνση των νερών του υπεδάφους μπορεί να συμβεί και υπάρχει μία αυξανόμενη ανησυχία γι' αυτό.(2)

Οι πηγές μπορούν να συμπεριλαμβάνουν:

- Οικιακά απόβλητα που έχουν αποβληθεί ακατέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα -κυρίως παθογόνα μικρόβια όπως απορρυπαντικά, καθαριστικά οικιακής χρήσης, χημικά απολυμαντικά
- Βιομηχανικά απόβλητα -συμπεριλαμβάνονται και χημικοί υδρογονάνθρακες
- Επικίνδυνα απόβλητα από χωματερές -χημικά
- Διαλυτά λιπάσματα και εντομοκτόνα από καλλιέργειες
- Ενέργειες εκμετάλλευσης πετρελαίου, βιομηχανικά προϊόντα από πετρέλαιο, απόβλητα και παράγωγα από αργό πετρέλαιο

6.3.3 Παράμετροι λειτουργίας ελέγχου

Οι παράμετροι λειτουργίας- ελέγχου μπορούν να επηρεαστούν από τις έρευνες και την γνώση των χαρακτηριστικών της πηγής νερού, πιθανές πηγές μόλυνσης και την τοποθεσία της τροφοδότησης των λήψεων νερού (λήψη δειγμάτων) σε σχέση με αυτές τις πηγές. Οι έρευνες που έχουν γίνει ως μέρος μιας εντατικής επίβλεψης ή μετέπειτα επίβλεψης θα καθορίσει την έκταση των παραμέτρων και την συχνότητα των δειγμάτων ακόμα και για τα προγράμματα λειτουργίας – ελέγχου. Ο κάθε έλεγχος χρήζει να έχει ένα σκοπό και να ενσωματώνει μηχανισμούς για ερμηνεία και πράξη. Τα όρια της

λειτουργίας πρέπει να τεθούν από παραμέτρους που έχουν επιλεγεί για έλεγχο. Αν αυτά τα όρια ξεπεραστούν, οι αιτίες πρέπει να ερευνηθούν και να ξεκινήσουν ενέργειες αντιμετώπισης του. Ωστόσο πιθανά μέτρα αντιμετώπισης πρέπει να προσδιοριστούν και να καταγραφούν πριν ξεπεραστούν τα όρια.(2)

Enterococci και E. coli μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες βακτηριδιακής μόλυνσης από απόβλητα ενώ οι χημικοί παράμετροι μπορεί να έχουν αμμωνία (από απόβλητα), υδρογονάνθρακες από πετρέλαιο, ακόμα και πηκτικά συστατικά και γράσο (λίπη), βιομηχανικά χημικά (εξαρτάται από τις βιομηχανικές παραμέτρους) και ραδιενέργεια. Ο καθαρός οργανικός άνθρακας (TOC) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γενικός δείκτης μόλυνσης από οργανικά στοιχεία ή απόβλητα με αλλαγές στην συμπύκνωση οι οποίες οδηγούν σε έρευνα πιθανών αιτιών.(2)

Οι καταγίδες μπορούν να οδηγήσουν σε επιδείνωση της ποιότητας νερού. Η επίδραση από τις καταγίδες μπορεί να χειριστεί ελέγχοντας την θολότητα και αν έχουν ξεπεραστεί τα όρια διαχείρισης, μια επιλογή είναι να σταματήσουν οι λήψεις μέχρι η θολότητα να πέσει στα φυσιολογικά όρια.(2)

Η άνθιση μικροφυκιών μπορεί επίσης να είναι ένας λόγος αύξησης θολότητας ή μια πηγή τοξικών φυκιών. Στα νερά της επιφάνειας (στατικά νερά – ύδατα) συχνά ανθίζουν είδη φυκιών, συμπεριλαμβανομένου και των δινομαστιγωτών και κυανοβακτηρίων πρέπει να παρακολουθούνται. Άλλοι οργανισμοί συμπεριλαμβανομένων και των φυκιών, μπορούν να προκαλέσουν φραγές των δομών πρόσληψης και ίσως χρειαστεί να παρακολουθούνται επίσης. Η εμφάνιση ή αφθονία οργανισμών μπορεί να είναι εποχιακή και η παρακολούθηση προγραμμάτων πρέπει να αντανakλά αυτή την πιθανότητα. Οι επιπτώσεις των οργανισμών σε δομές πρόσληψης συν την φραγή των οθονών και την ανάπτυξη τους μέσα σε σωλήνες αναρρόφησης.(2)

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της πηγής νερού υπάρχει μια ποικιλία παραμέτρων οι οποίες μπορεί να έχουν πιθανές επιπτώσεις προς τις εκβολές στην διαδικασία κατεργασίας και ως εκ τούτου επιρροή στις απαιτήσεις της προ-επεξεργασίας

Οι παράμετροι μπορούν να περιλαμβάνουν:

-Βαρέα μέταλλα

-Χημικά χαμηλής διαλυτότητας όπως CaCO_3 , CaSO_4 , CaF_2 , BaSO_4 , SrSO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$

-Θολότητα, αλκαλικότητα και pH

-Πυρίτιο

-Υδροθείο και θειούχα μέταλλα (ιδιαίτερα στο θαλασσινό νερό)

-Σίδηρο, μαγγάνιο και αλουμίνια (στα υπόγεια ύδατα)

-Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)

-Απολυμαντικά και άλλα χημικά επεξεργασίας σε ψυχρά ύδατα από ρίψεις από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η θερμοκρασία και το pH πρέπει να παρακολουθούνται λόγω των επιπτώσεων σε διαδικασίες προ-επεξεργασίας και επεξεργασίας. Η θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων παραμένει σχετικά σταθερή αλλά η θερμοκρασία στην επιφάνεια του νερού έχει διακυμάνσεις ακόμα και μέσα στην ίδια μέρα και πρέπει να παρακολουθείται πιο συχνά. Η μέτρηση του pH και της αλκαλικότητας είναι σημαντική σε σχέση με τον έλεγχο της διάβρωσης και της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας της πήξης που χρησιμοποιείται ως προ-επεξεργασία για μεθόδους που βασίζονται σε μεμβράνες και ραδιενέργεια.(2)

6.4 ΠΡΟ-ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Η προ-κατεργασία μπορεί να ενσωματώσει την προσθήκη χημικών. Πίνακες 6.1 και 6.2 που παρουσιάζουν τυπικά χημικά που χρησιμοποιούνται στην προ-κατεργασία πριν την θερμική διαδικασία και την διαδικασία που βασίζεται σε μεμβράνες. Χημικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διευκολύνουν τις διαδικασίες προ-επεξεργασίας της βαλβίδας εκροής επιδόσεων ή σαν καθαριστικά. Εκτός από την εξασφάλιση ότι τα πρόσθετα και χημικά παράγουν το ζητούμενο αποτέλεσμα , χρειάζεται επίσης να ληφθεί φροντίδα για να εξασφαλιστεί επαρκής ποιότητας νερού που δεν περιέχει ανεπιθύμητες προσμείξεις και δεν τοξικά.(2,29)

Chemical Type	Purpose of Use	Dose And Feed Location	Application
Scale inhibitor (Usually phosphonates, polyphosphate, polymaleic or polycarboxylic acids, or a blend of several of these)	Usually crystal modifiers that avoid precipitation and development of deposits (primarily CaCO ₃ , Mg (OH) ₂ . Blends may include dispersant properties to prevent crystals adhering to equipment.	1-8 mg/litre, MU	Used in all thermal desalination processes.
Acid (usually sulphuric acid),	Usually crystal modifiers that avoid precipitation and development of deposits (primarily CaCO ₃ , Mg (OH) ₂ . Blends may include dispersant properties to prevent crystals adhering to equipment.	1-8 mg/litre, MU	Used in all thermal desalination processes.
Antifoam (Poly Othelyne Ethylene Oxide or similar surfactant)	Uncorrected foaming due to unusual feed water conditions may overwhelm the process indicated by high product TDS (carryover).	≈0.1 mg/litre, MU	Used intermittently in all thermal processes but primarily MSF.
Oxidizing Agent: most often a form of chlorine, however biocides may have some use, particularly for smaller systems.	To control bio-fouling and aquatic organism growth in the intake and desalination equipment. Continuous dosing of 0.5-2 mg/L active Cl ₂ with intermittent shock dosing (site specific but may be 3.7 mg/L for 30-120 minutes every 1-5	≈1.0 mg/litre, CW	Used for large surface and sea water intakes.

	days).		
Sodium bisulfite.	Oxygen scavenger to remove traces of residual oxygen or chlorine in the brine recirculation.	≈0.5 mg/litre, MU	Used only in MSF desalination systems and in intermittent mode.

Πίνακας 6.1 : Χημικά που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία θερμικής μεθόδου αφαλάτωσης.(WHO, 2007)

Chemical Type	Purpose of Use	Dose	Application
Scale inhibitors (polyelectrolyte polymer blends).	Increase of solubility of sparingly soluble salts such as calcium and magnesium carbonates and sulfates. Additional chemicals may be used to target specific species, such as silica.	≈2-5 mg/litre	Primarily in brackish water desalination and water reclamation using RO and ED/EDR operating at high recoveries.
Acid (usually sulfuric acid).	Reduction of pH for inhibition of scaling and for improved coagulation.	40-50mg/litre as required to reduce pH to ≈6-7	Primarily in seawater RO applications. Not used in all applications.
Coagulant (usually ferric chloride or ferric sulphate).	Improvement of suspended solids removal.	5 -15 mg/litre	Primarily in open intake seawater RO and surface water RO systems.
Flocculant Aid (usually cationic polymer).	Improvement of suspended solids Removal.	1-5 mg/litre	Primarily in open intake seawater RO and surface water RO. May only be used intermittently when feed SDI is unusually high.
Oxidizing Agent: most often a form of chlorine. However biocides have found some	To control bio-fouling and aquatic organism growth in the intake and pre-treatment facilities. Chloramines may be	Site specific but may be 3.7mg/litre for 30-120 minutes every 1-5 days	Used for large surface and sea water intakes. Small systems and those using wells, especially those in

use, particularly in smaller systems.	used for pretreatment in reclamation systems and their use should be avoided in seawater desalination systems.		which source water is anaerobic may not require oxidation.
Reducing agent (usually a form of bisulfite); function of chlorine dosage	To eliminate oxidizing impacts on the RO membrane.	Generally 2 to 4 times higher than oxidizing agent dose.	In all membrane processes using polyamide RO membranes (Less common cellulose acetate membranes have greater tolerance of oxidants).
Membrane preservation and sterilization	Off line membranes must be sterilized and preserved. Sterilization may utilize hydrogen peroxide. In some cases acetic acid is also used to create peracetic acid. Preservation most commonly utilizes sodium bisulfite.		

Πίνακας 6.2 : Χημικά προεπεξεργασίας που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο μεμβρανών. (WHO,2007)

Έλεγχος ποιότητας χημικών παρατίθεται στο τμήμα 5.11

6.4.1 Διαδικασίες μέσω μεμβράνης, κλιμάκωση, καθίζηση και ρύπανση

Η προ-κατεργασία είναι απαιτούμενη για την διαδικασία που βασίζεται σε διεργασίες με μεμβράνες ώστε να μειωθεί η κλιμάκωση, η καθίζηση και η ρύπανση. Οι κύριες αιτίες είναι:

- Σωματίδια και αιωρούμενα στερεά
- Παρουσία χαμηλής διαλυτότητας αλάτων όπως CaCO_3 , CaSO_4 , CaF_2 , BaSO_4 , SrSO_4 , Mg(OH)_2
- Οργανικοί ρύποι (λάδι, γράσο, υδρογονάνθρακες)
- Κολλοειδές διοξείδιο του πυριτίου και θείου
- Μεταλλικά οξείδια (σίδηρος, μαγγάνιο και αλουμίνια)
- Υπερτροφοδοσία αντικαθαλάτωσης

- Βιορύπανση που προκαλείται από βιολογικές αυξήσεις

Ένας στόχος της προ-κατεργασίας είναι η αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών και της θολότητας, με σκοπό να πετύχουμε την απαιτούμενη τιμή του δείκτη πυκνότητας (SDI). Πήξη (με προσαρμογή pH) και φιλτράρισμα είναι ο πιο κοινός τρόπος προ-κατεργασίας που χρησιμοποιείται για το θαλασσινό νερό όσο και για υφάλμυρα ύδατα, η προ-κατεργασία ίσως να περιλαμβάνει και τακτοποίηση και μαλάκωμα. Η αφαλάτωση νερού τροφοδοσίας πρέπει να έχει θολότητα κάτω από 1 NTU και SDI κάτω από 5 για να εξασφαλιστεί αξιόπιστη απόδοση. Η θολότητα (ή εναλλακτικά τα σωματίδια) μπορεί να ελεγχθούν και on line. Η SDI μπορεί να προσδιοριστεί επί τούτου με την συχνότητα παρακολούθησης η οποία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της μεταβλητότητας και των συστημάτων. Ένας δεύτερος στόχος είναι η μείωση των επιπτώσεων στην διαδικασία θεραπείας όπως στην κλιμάκωση της καθίζησης και της ρύπανσης. Οι αναστολές κλιμάκωσης χρησιμοποιούνται στην μείωση των επιπτώσεων των αλάτων χαμηλής διαλυτότητας ή συγκεκριμένων χημικών όπως πυρίτιο, ενώ απολυμαντικά χρησιμοποιούνται για την μείωση της πιθανής βιοαπόξεσης.(2,29)

Οι μεμβράνες μπορεί να υποστούν βλάβη από οξειδωτικούς παράγοντες όπως ελεύθερο χλώριο και αυτό πρέπει να αφαιρεθεί από τις πηγές τροφοδοσίας τρεχούμενου νερού. Η από-χλωρίωση γενικά επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας βιοξειώδες νάτριο. Η απόδοση της διαδικασίας της χλωρίωσης και απο-χλωρίωσης μπορεί να μετρηθεί on line χρησιμοποιώντας υπολειμματικούς αναλυτές OPR (oxidation-reduction potential or redox potential) οθόνες. (2)

Εξάλλου, η δοσολογία πρέπει να ελέγχεται από τους ρυθμούς παρακολούθησης της έγχυσης και τα επίπεδα των χημικών δεξαμενών. Η ποσότητα των χημικών που χρησιμοποιείται και τα επίπεδα της μέσης δοσολογίας πρέπει να ελέγχονται και να καταγράφονται καθημερινά από τους χειριστές των εγκαταστάσεων.(2)

6.4.2 Θερμική διαδικασία – πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση και πολυβάθμια

Η θερμική διαδικασία γενικά απαιτεί μικρότερη προ-κατεργασία απ' ότι η διαδικασία που βασίζεται σε μεμβράνες. Το πρωταρχικό θέμα είναι ότι οι βιορύποι των σωλήνων λήψης, η διάβρωση και η απόξεση. Η διάβρωση και η απόξεση μπορεί να ελαχιστοποιηθούν με ένα συνδυασμό προ-κατεργασίας και τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των μεταγενέστερων διαδικασιών. Η διάβρωση προκαλείται κυρίως

από διαλυμένα αέρια και ο φυσικός εξαερισμός χρειάζεται για τις MSF μονάδες ώστε να αφαιρεθεί το οξυγόνο. Σε MED μονάδες ο εξαερισμός γίνεται σε ακροφύσια ψεκασμού. Η απόξεση μπορεί να προκληθεί από καθίζηση του θειικού ασβεστίου, ανθρακικού ασβεστίου ή υδροξειδίου του μαγνησίου. Οι αναστολές κλίμακας μπορούν να προστεθούν κατά της διάρκειας της προ-κατεργασίας ή εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί οξύ για να μειωθεί το pH και να προβλεφθεί η δημιουργία κλιμάκωσης. Λόγω της βελτίωσης των προϊόντων της αντι-απόξεσης, η επεξεργασία με οξύ γενικά δεν απαιτείται για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού και χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις (υφάλμυρα ύδατα ή λύματα με μεγάλη συγκέντρωση ανθρακικών ειδών).(2)

Η βιολογική αύξηση μπορεί να συμβεί στην τροφοδοσία πρόσληψης νερού και σε γραμμές τροφοδοσίας. Η χλωρίωση μπορεί να διατηρείται περίπου στα 0,1 mg/L.

Περιοδικά πρέπει να γίνονται ενέσεις σε μεγαλύτερες δόσεις ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της πηγής ύδατος.

Εκτός από τα στοιχεία απόξεσης και τα απολυμαντικά, χρησιμοποιούνται και αντιαφριστικά στην θερμική διαδικασία για να διαλύσουν τον αφρό που προκαλείται από οργανικά και για να μειώσουν την ένταση της επιφάνειας στην διεπιφάνεια του ατμού/ νερού. Οι αναστολές κλίμακας, απολυμαντικά ή αντιαφριστικά που χρησιμοποιούνται, πριν την χρήση τους πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά η ποιότητα των χημικών. Εξάλλου, η δόση πρέπει να ελέγχεται από τους ρυθμούς έγχυσης (παρακολούθησης) και από τα επίπεδα χημικών στις δεξαμενές τροφοδοσίας. Η ποσότητα των χημικών που χρησιμοποιείται και η μέση δόση πρέπει να μετριοούνται και να καταγράφονται καθημερινά από τους χειριστές της μονάδας.(2)

6.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

6.5.1 Διαδικασία μέσω μεμβράνης

Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας μέσω μεμβράνης μπορεί να αξιολογηθεί με on line παρακολούθηση της πίεσης της μεμβράνης και μέτρηση της πτώσης της πίεσης σε όλο το μήκος και της διαφορετικής πίεσης (dP). Εξάλλου, η αγωγιμότητα και ο ρυθμός ροής του διηθήματος και τα συμπυκνωμένα ρεύματα, πρέπει να παρακολουθούνται και

να χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τα ποσοστά ανάκτησης και την χημική ισορροπία. Η απόξεση, η καθίζηση και η ρύπανση που οφείλονται σε ακατάλληλη κατεργασία μπορούν να προκαλέσουν σταδιακή απόκλιση του μήκους dP (διαφορετική πίεση), της πίεσης της μεμβράνης ή της ροής διηθήματος αλλά και αύξηση σε άλας του διηθήματος με την πάροδο του χρόνου. Αυτές οι συνέπειες μπορούν να εντοπιστούν με την παρακολούθηση της κατεργασίας μέσω της διαδικασίας της μεμβράνης. Αλλαγές στα ποσοστά της αγωγιμότητας / TDS της παραγωγής νερού μπορούν επίσης να αποτελούν δείκτες απόξεσης, καθίζηση και ρύπανση.(2)

Η παρακολούθηση της πίεσης της μεμβράνης και της αγωγιμότητας του διηθήματος πρέπει να δίνουν μια ένδειξη της ακεραιότητας της μεμβράνης αλλά ίσως να μην μπορεί να ανιχνευτεί η μικρότερη ζημιά που επιτρέπει το πέρασμα μικροβιακών προσμείξεων, η ευαισθησία του μέτρου αγωγιμότητας είναι περιορισμένη. Ο δείκτης του TOC συστήνεται ως μέτρο παρακολούθησης ως εναλλακτική λύση, ιδιαίτερα όπου η πηγή ύδατος περιέχει υψηλά επίπεδα μικροβιακής μόλυνσης. Ωστόσο, υπάρχουν ερωτήματα σχετικά με την ευαισθησία αυτής της παραμέτρου και χρειάζεται να γίνει περαιτέρω έρευνα για να προσδιοριστούν οι ευαίσθητες διαδικασίες ελέγχου ακεραιότητας.(2)

Οι θερμοκρασίες θα πρέπει επίσης να συμπεριλαμβάνονται στα σχέδια παρακολούθησης. Ένας καθετήρας θερμοκρασίας μπορεί να εγκατασταθεί πριν από τις μεμβράνες. Υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να ρίξουν την ενέργεια που χρειάζεται για την μονάδα RO και να βελτιώσουν την ροή αλλά να επιταχύνουν την αύξηση, με το πέρασμα του χρόνου, του δείκτη άλατος της διόδου.(2)

6.5.2 Θερμική διαδικασία

Η επιλογή της υψηλότερης θερμοκρασίας άλμης (TBT, Top brine temperature) είναι το κλειδί των στοιχείων σχεδιασμού της θερμικής διαδικασίας και θα πρέπει να ελέγχεται διαρκώς. Διορθωτικές ενέργειες και πιθανό κλείσιμο της μονάδας πρέπει να γίνει, αν η TBT υπερβεί τον προκαθορισμένο στόχο. Η απόξεση θεικού ασβεστίου και ανθρακικού ασβεστίου μπορεί να ελεγχθεί μέσω της θερμικής διαδικασίας σε ελεγχόμενες θερμοκρασίες. Αυτό ολοκληρώνεται στη φάση του σχεδιασμού επιλέγοντας την υψηλότερη θερμοκρασία άλμης αλλά και άλλων παραμέτρων όπως η συγκέντρωση άλμης. Για παράδειγμα, η υψηλότερη TBT της μονάδας MSF δεν μπορεί να είναι πάνω από 112 °C, ενώ η υψηλότερη για την μονάδα MED πρέπει να περιοριστεί στους 65°C.

- Η διάβρωση επηρεάζεται επίσης από τις θερμοκρασίες λειτουργίας (σχηματισμός διοξειδίου του άνθρακα)
- Τα TDS (Total dissolved solids) μπορεί να παρακολουθούνται συνεχώς χρησιμοποιώντας μέτρα αγωγιμότητας. Όταν η συγκέντρωση υπερβαίνει τα κριτήρια του στόχου, η απόσταξη πρέπει να απορρίπτεται. Όταν η απόσταξη της αγωγιμότητας γίνεται υψηλή, πρέπει να ερευνάται η αιτία π.χ. διαρροή ενός σωλήνα ή αντικατάσταση του αντιεφιδρωτή.
- Η απόσταξη και η διόρθωση της ροής πρέπει επίσης να παρακολουθείται on line. Αν η διόρθωση της ταχύτητας της ροής πέσει κάτω από την τιμή που έχει δοθεί, διορθωτικές ενέργειες πρέπει να γίνουν και πιθανόν η μονάδα πρέπει να κλείσει.
- Τα συστήματα κατασκευάζονται από μια ποικιλία υλικών όπως ατσάλι και κρίματα χαλκού και νικελίου. Ο χαλκός, το σίδηρο και το νικέλιο μπορούν να μετρηθούν με αποστάξεις για να αξιολογηθεί η διάβρωση και η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. (2)

Σε μερικές MED διαδικασίες η ενσωμάτωση θερμοσυμπίεστης ατμού (MED- TC) συμπίκνωσης μπορεί να αναμειχθεί με το απόσταγμα. Σε αυτή την περίπτωση, χημικά που επεξεργάζονται σε λέβητα όπως υδραζίνη, ανθρακο-υδραζίνη και άλλα καθαριστικά οξυγόνου (που χρησιμοποιούνται σε διαχείριση της υψηλής πίεσης στους λέβητες σε μονάδες παραγωγής ενέργειας) μπορούν να μεταφερθούν στην απόσταξη. Ιδανικά, αυτό το πρόβλημα πρέπει να διευθετηθεί στο στάδιο του σχεδιασμού. Ωστόσο, και η παρακολούθηση πρέπει να ληφθεί υπόψη. (2)

6.6 ΑΝΑΜΕΙΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η ανάμειξη γίνεται για να σταθεροποιηθεί το αφαλατωμένο νερό, να μειωθεί η διάβρωση και να βελτιωθεί η γεύση και η αποδοχή του νερού στους καταναλωτές. Υπάρχουν δυο είδη προσέγγισης που μπορούν να πετύχουν αυτόν τον στόχο, η ανάμειξη με νερό υψηλότερης αλμυρότητας, η επαναμετάλλωση με προσθήκη χημικών. Η ανάμειξη απαιτεί σωστό σχεδιασμό των εγκαταστάσεων μίξης για να ξεπεραστούν οι διαφορές των φυσικών ιδιοτήτων των υγρών που αναμειγνύονται. Πρέπει να παρέχεται αρκετή ενέργεια για να ξεπεραστούν οι διαφορές της πυκνότητας των δύο υγρών και επίσης να παρέχεται διασπορά των ρευστών στοιχείων από τα διάφορα ρεύματα ώστε να

παραχθεί ένα ομοιογενές μείγμα. Το προϊόν (από το μείγμα) πρέπει να έχει παραχθεί με αξιόπιστο τρόπο και να είναι προϊόν αξιόπιστης και ασφαλούς μικροβιολογικής ποιότητας.(2)

Η επιλογή της μείξης νερού είναι σημαντική για δυο λόγους, για την χημική και για την μικροβιολογική οπτική. Από χημική άποψη, η μείξη νερού πρέπει να παράγει ένα προϊόν που να είναι σταθερό και όχι επιθετικό σχετικά με το σύστημα διανομής. Η καλή διαχείριση της διαδικασίας της απόσταξης, θερμικής και μέσω μεμβράνης, παρέχει ασφατωμένο νερό απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς. Οι μείξεις ύδατος πρέπει να είναι παρόμοιας ποιότητας. Για αυτό τον λόγο η μείξη πρέπει να επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας προ-επεξεργασμένη πηγή νερού. Εναλλακτικές μέθοδοι προστατεύουν τα υπόγεια ύδατα ή επεξεργάζονται την επιφάνεια του νερού. Η μείξη υδάτων γενικά απαιτείται εκτός και αν είναι μικροβιολογικά ασφαλές (π.χ. προστατευμένα υπόγεια ύδατα). (2)

Όταν αναμειγνύονται νερά ανόμοιας ποιότητας πρέπει να λάβουμε υπόψη πιθανές χημικές αντιδράσεις όπως και θέματα χημικής διαλυτότητας. Για παράδειγμα αν η μείξη οδηγεί σε απόξεση ανθρακικού ασβεστίου μπορεί να υπάρχουν αντίθετες αντιδράσεις στην απόδοση της μείξης που θα οδηγήσουν σε διακυμάνσεις της ποιότητας νερού. Η απόξεση μπορεί να φθείρει τις στατικές λεπίδες ανάμειξης και να προκαλέσει βραχυκύκλωμα στην μονάδα ανάμειξης και να οδηγήσει στην δημιουργία θυλάκων με μεγάλη περιεκτικότητα άλατος στο προϊόν. Η λύση σε τέτοια προβλήματα, όταν αυτά συμβούν, μπορεί να επιτευχθεί μέσω παρακολούθησης δεικτών όπως μεγαλύτερος κορεσμός του δείκτη (LSI) πιθανή καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου (CCPP) ή την αναλογία Larson όπως έχει παρατηρηθεί μέσα από περιοδικές επιθεωρήσεις των συστημάτων μείξης.(2)

Η μετα-επεξεργασία μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη χημικών. Αν αυτό συμβαίνει υπάρχουν 3 πρωταρχικές ανησυχίες που πρέπει να απευθυνθούμε:

- I. Η ποιότητα των πρόσθετων και η εισαγωγή χημικών ρύπων κατά την διάρκεια της παρασκευής, αποθήκευσης, διανομής και μεταφοράς.
- II. Έλεγχος του ποσοστού της δόσης για να βεβαιωθούμε ότι παρέχεται η συμπύκνωση που απαιτείται.

III. Προβλέποντας ή ελαχιστοποιώντας τις ανεπιθύμητες χημικές αντιδράσεις που ακολουθούν μετά τα χημικά πρόσθετα.

Αυτό το θέμα είναι παρόμοιο με την μείξη. Αρκετές αλλαγές μπορούν να συμβούν σε κάποια σημεία της δοσολογίας που ίσως οδηγήσουν σε προβλήματα ρύπανσης σε μικροκλίμακα.(2)

6.6.1 Παράμετροι λειτουργίας ελέγχου

Οι λειτουργικοί παράμετροι για την προ-επεξεργασία ποικίλουν ανάλογα με την διαδικασία, τις πιθανές επιπτώσεις στην ποιότητα του αφαλατωμένου νερού και τη φύση του δικτύου διανομής. Η on line μέτρηση του pH και της αγωγιμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν την διαδικασία της προ-επεξεργασίας που αφορά είτε μείξη είτε χημικά πρόσθετα. Ασβέστιο, μαγνήσιο και αλκαλικότητα πρέπει επίσης να ελέγχονται για να εξασφαλιστεί ότι έχουν επιτευχθεί οι ελάχιστες συγκεντρώσεις. Η δοσολογία πρέπει να ελέγχεται παρακολουθώντας τους ρυθμούς και τα επίπεδα έγχυσης στη χημικές δεξαμενές. Η ποσότητα των χημικών που χρησιμοποιείται και τα επίπεδα της μέσης δόσης πρέπει να ελέγχονται καθημερινά από τους χειριστές της μονάδας.(2)

Από την άλλη μεριά της διαβρωτικότητας, δείκτες όπως οι LSI ή CCPP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιβεβαιώσουμε ότι αφαλατωμένο νερό θα έχει ελάχιστες επιπτώσεις διάβρωσης στο κονίαμα που χρησιμοποιείται ως επένδυση ενώ αν το ατσάλι ή ο άνθρακας/ατσάλι υπάρχουν στο σύστημα διανομής, ο δείκτης Larson Ratio πρέπει να χρησιμοποιηθεί μαζί με τον LSI ή τον CCPP. Ανάλογα με την πηγή μείξης υδάτων ο εντερόκοκκος E. Coli (ή εναλλακτικά θερμο-ανθεκτικά κολοβακτηρίδια) ή κολιφάγοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων της ρύπανσης από κόπρανα. (2)

6.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Οι γενικές αρχές για την διαδικασία μετά την επεξεργασία απολύμανσης του αφαλατωμένου νερού είναι παρόμοιες με αυτές της απολύμανσης των πηγών του γλυκού νερού, που προορίζεται για πόσιμο νερό. Όμως, η παρουσία υψηλότερων συγκεντρώσεων βρωμιδίων από το θαλασσινό νερό και από άλλες υφάλμυρες πηγές ,

μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό βρωμιούχων υποπροϊόντων απολύμανσης. Η παρουσία βρωμιδίου μπορεί να αυξήσει τα βρωμικά αν χρησιμοποιηθεί όζον και βρωμικά (συμπυκνωμένα) πάνω από 0,4mg/litre και να μειωθεί η σταθερότητα των χλωραμίνων, αν η χλωραμίνωση χρησιμοποιείται για να απολυμάνει το αφαλατωμένο νερό.(2,30)

6.7.1 Παράμετροι λειτουργίας ελέγχου

Όπως και για άλλες μετα-χημικές διαδικασίες η δοσολογία πρέπει να ελέγχεται. Η δοσολογία πρέπει να ελέγχεται από τον έλεγχο του επιπέδου έγχυσης και από τα επίπεδα των υπολειμμάτων στις χημικές δεξαμενές. Οι ποσότητες των χημικών που χρησιμοποιούνται και η μέση δόση θα πρέπει να ελέγχονται καθημερινά από τους χειριστές της μονάδας. Οι συγκεντρώσεις απολύμανσης ή η δοσολογία μπορεί να ελέγχεται on line ή χειρονακτικά χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο kit. Όπου γίνεται απολύμανση με χλώριο ή χλωραμίνη, τα κατάλοιπα μπορούν να μετρηθούν. Σε συνδυασμό με την ταχύτητα ροής και χρόνου πριν την παροχή στους καταναλωτές τα κατάλοιπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί το απολυμαντικό CTs. Όπου η UV ακτινοβολία χρησιμοποιείται, η ελάχιστη δόση μπορεί να ελεγχθεί από on line συσκευές. Πρέπει να ελέγχονται και οι συγκεντρώσεις των υποπροϊόντων απολύμανσης. Η σύνθεση των υποπροϊόντων εξαρτάται από την φύση της απολύμανσης π.χ. τριαλομεθάνια για χλωρίωση, βρωμικό άλας και βρωμιούχα τριαλομεθάνια για οζοντισμό και χλωρίτη για διοξείδιο του χλωρίου.(2)

6.8 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ

Ένα σημείο διαφοροποίησης ανάμεσα στο αφαλατωμένο νερό και άλλα είδη πόσιμου νερού είναι η πιθανότητα αυξανόμενης διάβρωσης εκτός και αν το νερό έχει σταθεροποιηθεί κατάλληλα με μετα-επεξεργασία μείξης ή προσθήκη χημικών. Η παρακολούθηση της μετά-επεξεργασίας πρέπει να επεκταθεί και στο σύστημα διανομής για να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις του αφαλατωμένου νερού στο σύστημα αποθήκευσης και διανομής. Η παρακολούθηση πρέπει να περιλαμβάνει και έλεγχο για διαβρωμένα προϊόντα βασιζόμενος στα είδη των υλικών που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής όσο και στο οικιακό δίκτυο. Αυτό αφορά έλεγχο για χαλκό, νικέλιο, σίδηρο, ψευδάργυρο και μόλυβδο. Αν κατά τον έλεγχο εντοπιστούν ενδείξεις αυξημένων

επιπέδων διάβρωσης, πρέπει να εξεταστεί πάλι η διαδικασία μείξης της μετά-επεξεργασίας. Σε κάποιες περιπτώσεις πρέπει επίσης να ελεγχθεί πάλι η επιλογή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.(2,30)

Τα συστήματα αφαλάτωσης είναι πιο δεδομένα στα θερμά κλίματα και οι αυξανόμενες θερμοκρασίες των υδάτων στα συστήματα αποθήκευσης και διανομής ίσως αυξήσουν την πιθανότητα ανάπτυξης ζωντανών παθογόνων ιών όπως *Legionella* and *Naeglezia fowleri*. Σε αυτά τα κλίματα οι υπόγειες εγκαταστάσεις των αγωγών θα βοηθήσουν στον έλεγχο της θερμοκρασίας των υδάτων και θα μειώσουν τον κίνδυνο από αυτούς τους οργανισμούς. Διατηρώντας κατάλοιπα χλωρίου στο σύστημα διανομής, είναι κάτι που επίσης βοηθά στην παροχή προστασίας. Αν υιοθετηθεί αυτή η μέθοδος, η παρακολούθηση θα πρέπει να περιλαμβάνει και έλεγχο για την ύπαρξη καταλοίπων χλωρίου μέσα στο σύστημα διανομής.(2)

Μια εναλλακτική στρατηγική για την προστασία από την ανάπτυξη μικροβίων στο σύστημα διανομής, είναι μέσω της απολύμανσης με χρήση χλωραμίνωσης παρά με τη χρήση χλωρίωσης. Σε αυτή την περίπτωση η παρακολούθηση πρέπει να περιλαμβάνει συνολικό έλεγχο υπολειμμάτων χλωρίου σε ολόκληρο το σύστημα διανομής. Στο τέλος του συστήματος των αγωγών, υπάρχει ένα πρόβλημα, όταν οι ιδιοκτήτες, ιδίως σε περιοχές όπου το νερό παραδοσιακά ήταν αναξιόπιστο, συνηθίζουν να εγκαθιστούν δεξαμενή αποθήκευσης, συνήθως στη στέγη, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του νερού που βγαίνει από την βρύση.(2)

6.9 ΑΠΟΡΡΙΨΕΙΣ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΩΝ, ΝΕΡΟ ΨΥΞΗΣ, ΠΡΟ-ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΤΑΛΟΙΠΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ MEMBRANΩΝ

Η αφαλάτωση μπορεί να προκαλέσει ένα ποσοστό απορρίψεων, συμπεριλαμβάνονται:

- Κατάλοιπα από διαδικασία προ-κατεργασίας που έχει χρησιμοποιηθεί πριν την αφαλάτωση με χρήση μεμβράνης. Τα κατάλοιπα ίσως περιέχουν στερεά και λάσπη μαζί με απολυμαντικά για θρόμβους και κατάλοιπα. Αυτά τα κατάλοιπα μπορούν να αντιμετωπιστούν ή σε μερικές περιπτώσεις να απορριφθούν χωρίς καμία αγωγή.
- Διαλύματα καθαρισμού μεμβράνης και ξεπλύματος(με νερό)

- Συμπυκνώματα από την θερμική διαδικασία και την διαδικασία με χρήση μεμβράνης, συμπεριλαμβανομένων και χημικών ουσιών που έχουν αφαιρεθεί με την μέθοδο της αφαλάτωσης μαζί με τα πρόσθετα όπως θρομβωτικά, αναστολείς και αντιαφριστικά. Θερμικές εκκενώσεις μπορεί να γίνονται σε υψηλές θερμοκρασίες και να περιέχουν χαμηλά επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου.
- Εκκενώσεις νερού ψύξης από θερμική διαδικασία. Αυτές μπορεί να εκκενωθούν ξεχωριστά ή αναμειγμένες σε συμπυκνώματα άλμης. Η θερμοκρασία εκκένωσης του νερού ψύξης πρέπει να είναι περίπου 10 °C πάνω από την θερμοκρασία πηγής ύδατος και τα συμπυκνώματα διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να μειωθούν. Οι εκκενώσεις μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες προϊόντων διάβρωσης, απολυμαντικά και απολυμαντικά υπο-προϊόντων.(2)

Συμπυκνώματα και άλλες εκκενώσεις μπορούν αν εκκενωθούν μέσω εκβολών ειδικά σχεδιασμένων, υπαρχουσών εκβολών που σχετίζονται με τις μονάδες που διαχειρίζονται βιομηχανικά απόβλητα. Σε μερικές περιπτώσεις, σε μικρότερες μονάδες, τα κατάλοιπα και διαλύματα καθαρισμού μπορεί να εκκενωθούν μέσα στα συστήματα αποχέτευσης.(2)

6.9.1 Παράμετροι λειτουργίας ελέγχου

Η σύνθεση και όγκος των εκκενώσεων πρέπει να ελέγχονται για να καθοριστεί η σύνθεση της ροής των αποβλήτων και για να μπορεί να αξιολογηθούν οι πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον στα ύδατα που δέχεται. Η θερμοκρασία και το διαλυμένο οξυγόνο στις εκκενώσεις και στις θερμικές διαδικασίες, πρέπει να παρακολουθείται. Όταν γίνονται εκκενώσεις, η ποιότητα των ανάμεικτων υγρών αποβλήτων, πρέπει να παρακολουθείται. Οι εκκενώσεις πρέπει να πληρούν με τις τοπικές ή εθνικές απαιτήσεις που έχουν θεσπιστεί από τις υπηρεσίες για την προστασία του περιβάλλοντος και η παρακολούθηση των προγραμμάτων θα πρέπει να είναι συνεπής με αυτές τις προδιαγραφές.(2)

Η ανάπτυξη βιοπροσδιορισμού μπορεί να παρέχει χρήσιμα εργαλεία για να αξιολογηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την μίξη χημικών και φυσικών ιδιοτήτων στις διαφορετικές εκκενώσεις, που παράγονται κατά την αφαλάτωση. Όταν εκκενώνονται συμπυκνώματα και κατάλοιπα σε μονάδες διαχείρισης υγρών αποβλήτων, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για να καθοριστεί η συμβατότητα με την ποιότητα των υγρών αποβλήτων και όποια σχέση έχουν που σχετίζεται με την ανακύκλωση των

υγρών αποβλήτων. Οποιαδήποτε ροή των υγρών αποβλήτων γίνει, και εκκενώσεις αφαλάτωσης πρέπει να μετρηθούν ως δείκτης απόκλισης στην ποιότητα του νερού.(2)

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης περιλαμβάνει:

- Προ- κατεργασία καταλοίπων, πρέπει να παρακολουθείται για θολότητα, για αιωρούμενα στερεά, χημικά θρομβωτικά, κατάλοιπα από απολυμαντικά και pH.
- Διαλύματα καθαρισμού μεμβράνης πρέπει να ελεγχθούν για χημικά καθαριστικά.
- Απορρίψεις άλμης, πρέπει να παρακολουθούνται για TDS , άλατα, βαρέα μέταλλα, θρεπτικά συστατικά, θερμοκρασία, διαλυόμενο οξυγόνο (θερμική διαδικασία) και πρόσθετα όπως στοιχεία όπως απόξεσης και αντι- αφριστικά
- Η θερμοκρασία και το διαλυόμενο οξυγόνο των εκκενώσεων νερού ψύξης, πρέπει να παρακολουθείται για χαλκό, νικέλιο και σίδηρο ως δείκτες προϊόντων διάβρωσης.(2)

6.10 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

Η επαλήθευση της ποιότητας του αφαλατωμένου νερού ακολουθεί τις ίδιες αρχές όπως αυτές που εφαρμόζονται σε άλλα είδη πόσιμο νερού όπως στο WSPs (Water safety plan). Ο στόχος της επαλήθευσης είναι να εξασφαλιστεί ότι τα συστήματα αφαλατωμένου νερού παράγουν ασφαλές και αποδεκτό νερό το οποίο συμφωνεί με τους κανόνες υγιεινής. Το σύνολο των παραμέτρων που περιλαμβάνονται στην παρακολούθηση της επαλήθευσης θα διέπονται από οδηγίες και πρότυπα που έχουν καθιερωθεί για το πόσιμο νερό. Κάποιο είδος επαλήθευσης μπορεί να γίνει από το παράγωγο αφαλατωμένου νερού και κάποιο άλλο είδος επαλήθευσης από τον προμηθευτή νερού στο σύστημα διανομής. (2)

Η επαλήθευση της μικροβιολογικής ποιότητας, τυπικά θα περιλαμβάνει και έναν έλεγχο για ένδειξη κοπράνων και μπορεί να περιλαμβάνει κι έναν έλεγχο για ετερότροφες πλάκες. Ο έλεγχος για συγκεκριμένους παθογόνους μικροοργανισμούς, γενικά δεν δικαιολογείται, ωστόσο ίσως να υπάρχουν εξαιρέσεις. Για παράδειγμα σε θερμά κλίματα ο έλεγχος πρέπει να γίνεται για οργανισμούς όπως για *Legionella* ή για *Naegleria fowleri*, που μπορούν να αναπτυχθούν μέσα στα συστήματα διανομής. Η

επαλήθευση της μικροβιολογικής ποιότητας, πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις πιθανές πηγές μόλυνσης ακόμα και τα προϊόντα αφαλατωμένου νερού, και τα αναμεμιγμένα ύδατα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης και διανομής. (2)

Προγράμματα επαλήθευσης για την μικροβιολογική ποιότητα γενικά περιλαμβάνουν έναν αριθμό τοποθεσιών, αρχίζοντας από την ολοκληρωμένη αγωγή και συμπεριλαμβάνει διάφορα σημεία μέσα στο σύστημα διανομής.

Η τοποθεσία και η συχνότητα του ελέγχου για χημικές παραμέτρους θα εξαρτάται από πιθανή μεταβλητότητα και την αρχική πηγή. Η δειγματοληψία στο τέλος της αγωγής, γενικά είναι αρκετή για τις παραμέτρους που δεν επηρεάζονται από την διανομή αλλά από παραμέτρους όπως τα υποπροϊόντα απολύμανσης όπου η συμπύκνωση μπορεί να αλλάξει, η δειγματοληψία πρέπει να γίνεται και στα άκρα του συστήματος διανομής. Λόγω της παρουσίας του βρωμιδίου στο θαλασσινό νερό, τα υποπροϊόντα απολύμανσης, είναι πιθανό να επιδράσουν και να κυριαρχούνται από βρωμιωμένες συνθέσεις. Αυτό θα ήταν θέμα για τις υφάλμυρες επιφάνειες νερού και για κάποια υπόγεια ύδατα. Η παρακολούθηση προγραμμάτων πρέπει να περιλαμβάνει ελέγχους για την παρουσία χημικών που χρησιμοποιούνται στις αγωγές όπως και έλεγχο για ασβέστιο, μαγνήσιο και άλλα μεταλλικά άλατα. Εκτός και αν εφαρμοστεί μια συγκεκριμένη αγωγή (στίλβωμα), οι συγκεντρώσεις βορίου στο αφαλατωμένο θαλασσινό νερό με αντίστροφη όσμωση είναι πιθανόν να υπερβούν την τρέχουσα κατευθυντήρια γραμμή λόγω της περιορισμένης αποτελεσματικότητας που έχει η απομάκρυνση των φυσικών συμπυκνωμάτων που δημιουργούνται. (2)

Λόγω της πιθανής επιθετικής συμπεριφοράς του αφαλατωμένου νερού, ο έλεγχος της επαλήθευσης από τον πάροχο νερού μπορεί να περιλαμβάνει και έλεγχο για διαβρωμένα προϊόντα από το σύστημα διανομής. Αυτός ο έλεγχος πρέπει να συμπεριλαμβάνει και διαβρωμένα προϊόντα που προκύπτουν από τα υδραυλικά συστήματα των νοικοκυριών όπως νικέλιο, μόλυβδο, χρώμιο (από κομμάτια πλακών και εξαρτημάτων) και χαλκού. Περαιτέρω καθοδήγηση για τον προσδιορισμό των προτεραιοτήτων για τον χημικό έλεγχο, είναι η παροχή του συνοδευτικού κειμένου Chemical Safety of Drinking-water :Assesing Priorites for Risk Management (Thompson, 2004)

Η αποδοχή είναι μία άλλη όψη των παροχών του αφαλατωμένου νερού με ειδικά μέτρα που λαμβάνονται μετά την αφαλάτωση για την βελτίωση της γεύσης. Η επαλήθευση πρέπει να περιλαμβάνει και μια εκτίμηση της αποδοχής από τους καταναλωτές.

Επιπλέον, ο έλεγχος για ασβέστιο και μαγνήσιο μπορεί να περιλαμβάνει τακτικούς ελέγχους για παραμέτρους όπως το TDS και pH και επίσης να ελέγχει και τα παράπονα των καταναλωτών και τα σχόλια. (2)

Οι αλλαγές από τον κανόνα γίνονται αμέσως αντιληπτές από τους καταναλωτές οι οποίοι μπορεί να ερμηνεύσουν αισθητά προβλήματα ως ενδείξεις κινδύνου για την υγεία τους, ενώ η αποδοχή είναι στην υποκειμενικά κρίση του καθενός, τα παράπονα μπορούν μερικές φορές να μας δώσουν πολύτιμες πληροφορίες και να οδηγήσουν στο να εντοπιστεί το πρόβλημα που ίσως δεν έχει γίνει αντιληπτό από την παρακολούθηση ρουτίνας.(2)

6.11 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Ο έλεγχος ποιότητας για χημικά, η συντήρηση του εξοπλισμού παρακολούθησης, ο έλεγχος της απόδοσης του εργαστηρίου και η επιλογή της μεθόδου ελέγχου, είναι σημαντικά στοιχεία για την παρακολούθηση των προγραμμάτων. Χημικά και πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία αφαλάτωσης πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας και να μην περιέχουν ανεπιθύμητα συμπεκνώματα προσμείξεων ή να μην είναι τοξικά. Η ποιότητα ελέγχου των δραστηριοτήτων που σχετίζεται με την παραγωγή στοιχείων-πληροφοριών απαιτείται για να εξασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα είναι ακριβή και έχουν σημασία.(2)

6.11.1 Πρόσθετα και χημικά

Μερική ή ολική αντίδραση κατά την χημική κατασκευή, παραγωγή και αποθήκευση μπορεί να δημιουργήσει ανεπιθύμητα υποπροϊόντα σε χημικές πρώτες ύλες. Σε μερικές περιπτώσεις αυτό μπορεί να παρουσιάσει κινδύνους για την δημόσια υγεία. Για παράδειγμα, χλωρικό άλας και βρωμικό αλάτι περιέχονται σε κάποια διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου που μπορεί να βλάψουν την υγεία. Συμπεκνώματα χλωρικού άλατος πρέπει να ελέγχονται τακτικά ως συμπεκνώματα που αναπτύσσονται στη διάρκεια αποθήκευσης. Το επίπεδο αύξησης είναι υψηλότερο σε αυξημένες θερμοκρασίες που επικρατούν σε τροπικές χώρες και τα διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου είναι προτιμότερο να αποθηκεύονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και όχι για μεγάλες περιόδους. Το βρωμικό άλας επίσης, εισάγεται συνήθως στην παραγωγή υποχλωριώδους νατρίου από διαλύματα χλωριούχου νατρίου ή θαλασσινού νερού. (2)

Η συμπύκνωση θα ποικίλει σύμφωνα με την συγκέντρωση βρωμιδίου στην αρχική ύλη και σχετική συμπύκνωση μπορεί να αυξηθεί όπως η αποσύνθεση διαλυμάτων χλωρίου σε ισχύ κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Έτσι λοιπόν, όπως οι συμβατικές μονάδες διαχείρισης νερού, οι μονάδες αφαλάτωσης πρέπει να διαθέτουν τις κατάλληλες εγκαταστάσεις για την αποθήκευση χημικών, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ο σχηματισμός των προϊόντων διάσπασης. Δεξαμενές κατάλληλης χωρητικότητας και έλεγχος θερμοκρασίας, είναι στοιχεία στα οποία πρέπει να ανατρέχουμε κατά την διάρκεια του προγραμματισμού και σχεδιασμού. Η σωστή χρήση αυτών των εγκαταστάσεων, η συντήρηση των χημικών αποθεμάτων και ο έλεγχος της θερμοκρασίας πρέπει να ελέγχεται τακτικά από τους χειριστές των μονάδων αφαλάτωσης.(2)

Ένας τρόπος για να εξασφαλιστεί η καθαρότητα των χημικών πρώτων υλών που παραδίδονται είναι να χρησιμοποιούνται μόνο πιστοποιημένα χημικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πόσιμου νερού. Τα πιστοποιημένα προγράμματα παρέχουν εμπιστοσύνη στην ποιότητα των προϊόντων. Τα προγράμματα πιστοποίησης παρέχουν λεπτομέρειες σκευάσματος, αναλυτικά στοιχεία και περιλαμβάνουν και τα μολυσματικά συμπυκνώματα και πληροφορίες σχετικά με τα ανώτατα όρια χρήσης για να αποφευχθεί η εισαγωγή επιβλαβών επιπέδων μολυσματικών ιών μέσα στο νερό που έχει ήδη επεξεργαστεί. Τα προγράμματα μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν ετήσιο έλεγχο των μονάδων παραγωγής όπως και έλεγχο και πιστοποίηση της αποθήκευσης και των συστημάτων μεταφοράς που χρησιμοποιούνται για την παράδοση χημικών. Αυτό σημαίνει ότι οι μονάδες αποθήκευσης στις μονάδες παραγωγής, οι αποθήκες και οι σταθμοί μεταφοράς ελέγχονται, ότι τα χημικά μπορούν να αποθηκευτούν και να μεταφερθούν καταλλήλως. Οι αποθήκες και οι σταθμοί μεταφοράς πρέπει να προστατεύονται από έντομα και άλλα μικρά ζώα, ακόμα και από πτηνά.(2)

Η επίσημη πιστοποίηση από χημικούς κατασκευαστές στα διεθνή πρότυπα, παρέχει επίσης εμπιστοσύνη στην καθαρότητα των προϊόντων. Οι προμηθευτές χημικών πρέπει να αξιολογούνται και να επιλέγονται από την ικανότητά τους να παρέχουν προϊόντα που θα ακολουθούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Τεκμηριωμένες διαδικασίες για τον έλεγχο χημικών, ακόμα και για αγορά, πιστοποίηση, παράδοση, χειρισμό, αποθήκευση και συντήρηση πρέπει να τίθενται και να τηρούνται με αυτές τις διαδικασίες και να παρακολουθούνται. Οι τεχνικοί προσδιορισμοί πρέπει να περιλαμβάνονται στα συμβόλαια αγορών. Οι όροι του συμβολαίου πρέπει να προσδιορίζουν τις ελάχιστες

απαιτήσεις ποιότητας όπως και να προσδιορίζουν τις απαιτήσεις πιστοποίησης για κάθε φορείο χημικών κατά την παράδοση. Οι ευθύνες για τον έλεγχο και την επιβεβαίωση της ποιότητας των χημικών (προμηθευτής, αγοραστής ή και οι δύο) πρέπει να ορίζεται ξεκάθαρα στα συμβόλαια αγοράς. Αν οι χειριστές πρόκειται να αναλάβουν την διαβεβαίωση της ποιότητας με περιοδικούς ελέγχους της καθαρότητας των χημικών που έχουν παραδοθεί, θα ζητηθεί αναλυτική πρόσβαση σε όλες τις υπηρεσίες, είτε σε δικό τους είτε σε εξωτερικό πιστοποιημένο εργαστήριο.(2)

6.11.2 Εξοπλισμός παρακολούθησης ,δειγματοληψία, εργαστήρια και μέθοδοι ανάλυσης

Η παρακολούθηση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας on-line εργαλεία, kits αντίστοιχου πεδίου και εργαστηριακές αναλύσεις ανάλογα με την εφαρμογή των στοιχείων και την ακρίβεια και ορθότητα των απαιτήσεων. Σε όλες τις περιπτώσεις, η αποτελεσματικότητα και η αξία των προγραμμάτων παρακολούθησης εξαρτάται από την ακρίβεια. Αυτό απαιτεί την εφαρμογή του ελέγχου ποιότητας και την διαδικασία διασφάλισης. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Συντήρηση και τακτική βαθμονόμηση των on-line εργαλείων και των εργαλείων πεδίου (kits). Τα χημικά που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα εργαλεία και τα kits πρέπει να αποθηκεύονται υπό κατάλληλες συνθήκες και τα αποτελέσματα που θα λαμβάνονται θα πρέπει να ελέγχονται τακτικά σε σύγκριση με τις αναλύσεις του εργαστηρίου.
- Η διασφάλιση της ακρίβειας και της αντιπροσωπευτικής φύσης των δειγμάτων νερού. Η καθοδήγηση για την συλλογή δειγμάτων παρέχεται στο International Organization for Standardization (ISO) Standard 5667 (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης)
- Τακτική αξιολόγηση της επάρκειας και της ακρίβειας των εργαστηριακών δοκιμών. Γενική καθοδήγηση για την διασφάλιση της ποιότητας για αναλυτικά εργαστήρια παρέχεται στο Water Quality Monitoring (Bartram, 1996)

Ένα σημαντικό θέμα για τις μονάδες αφαλάτωσης είναι η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού και των μεθόδων ελέγχου. Εξοπλισμός και μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των πηγών γλυκού νερού, του πόσιμου νερού μπορεί να μην είναι

κατάλληλο ή να μην παρέχει ακριβή αποτελέσματα όταν χρησιμοποιείται με νερό υψηλής αλατότητας.(2)

6.12 ΣΧΕΔΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η τεκμηρίωση είναι σημαντικό συστατικό του WSPs και της επιχειρησιακής παρακολούθησης και τα προγράμματα επαλήθευσης πρέπει να τεκμηριώνονται σε ένα ενοποιημένο σχέδιο. Το σχέδιο θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Παραμέτρους που πρέπει να παρακολουθούνται
- Τοποθεσίες δειγματοληψίας και συχνότητες
- Μεθόδους δειγματοληψίας και εξοπλισμό
- Πρόγραμμα δειγματοληψίας
- Μεθόδους για διασφάλιση ποιότητας και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της δειγματοληψίας
- Προϋποθέσεις για έλεγχο και ερμηνεία των αποτελεσμάτων
- Ευθύνες και αναγκαίες προϋποθέσεις του προσωπικού
- Προϋποθέσεις για την τεκμηρίωση και διαχείριση των αρχείων, συμπεριλαμβανομένων και των αποτελεσμάτων παρακολούθησης, θα πρέπει να καταγράφονται και να αποθηκεύονται
- Προϋποθέσεις για αναφορά και ανακοίνωση των αποτελεσμάτων

6.13 ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ

Η επιτήρηση των προμηθευτών αφαλατωμένου νερού πρέπει να ακολουθεί τις ίδιες αρχές που εφαρμόζονται σε όλους τους προμηθευτές πόσιμου νερού. Ο σκοπός της επιτήρησης είναι να αξιολογηθεί η ασφάλεια και η αποδοχή των προμηθευτών νερού. Στις περισσότερες χώρες, το γραφείο που είναι υπεύθυνο για την επιτήρηση είναι ο κύριος υπεύθυνος για την δημόσια υγεία ή το περιβάλλον. Σε μερικές περιπτώσεις οι ευθύνες μπορούν να μοιραστούν κατ' εξουσιοδότηση στα επαρχιακά ή κρατικά γραφεία ή στα τμήματα περιβαντολλογικής υγείας, ανάμεσα στα οποία ανήκει η τοπική αυτοδιοίκηση.(2)

Σε άλλες χώρες το γραφείο περιβαντολλογικής προστασίας μπορεί να είναι ευθύνη που έχει ανατεθεί. Για τα συστήματα αφαλάτωσης, τα γραφεία περιβαντολλογικής προστασίας είναι πιθανό να ρυθμίζουν την απόδοση και να αναλαμβάνουν την επιτήρηση σχετικά με τις απορρίψεις και την πρόληψη των περιβαντολλογικών επιπτώσεων. (2)

Η επιτήρηση πρέπει να περιλαμβάνει δραστηριότητες που βασίζονται σε έλεγχο αλλά και άμεσο έλεγχο. Ο άμεσος έλεγχος απαιτεί να έχει το γραφείο επιτήρησης πρόσβαση στις αναλυτικές εγκαταστάσεις όπως να έχει και την δυνατότητα να συλλέγει δείγματα και να ερμηνεύει αποτελέσματα. Όπου εφαρμόζεται ο άμεσος έλεγχος θα πρέπει να συμπληρώνει άλλους ελέγχους όσον αφορά την τοποθεσία και τις παραμέτρους. (2)

Ωστόσο, η συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να είναι χαμηλότερη από αυτές που χρησιμοποιούνται στην επαλήθευση που γίνεται από τους προμηθευτές νερού.

Ο έλεγχος περιλαμβάνει εξέταση και εκτίμηση:

- Του σχεδιασμού και την υλοποίηση του WSPs
- Των αρχείων που διασφαλίζουν ότι το σύστημα διαχείρισης περιλαμβάνει επιχειρησιακή παρακολούθηση και ότι η επαλήθευση διεξάγεται όπως περιγράφεται στο WSP
- Αποτελέσματα της επιχειρησιακής παρακολούθησης, συμπεριλαμβάνονται η συμμόρφωση με τα κριτήρια στόχου και τα λειτουργικά όρια
- Αποτελέσματα της επαλήθευσης παρακολούθησης, συμπεριλαμβάνονται με την συμμόρφωση με τα πρότυπα ποιότητας νερού και τις κατευθυντήριες τιμές
- Αντιμετώπιση συμβάντων, συμπεριλαμβάνονται της υλοποίησης των απαιτήσεων στις εκθέσεις που υποβάλλονται αλλά και τις διορθωτικές ενέργειες
- Υποστηρικτικά προγράμματα
- Στρατηγικές για βελτίωση και ενημέρωση του WSPs

Ο έλεγχος μπορεί επίσης να περιλαμβάνει και επιθεωρήσεις υγιεινής. (2)

6.14 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ

Η κατάλληλη νομοθεσία, οι κανονισμοί και τα πρότυπα υποστηρίζουν την παροχή ασφαλούς νερού και αποδεκτού πόσιμου νερού. Αυτά παρέχουν ένα πλαίσιο για βοήθεια και καθοδήγηση των παρόχων νερού, στην αναγνώριση των αναγκών και των ευθυνών που πρέπει να πληρούνται στο σχεδιασμό, στην εγκατάσταση και διαχείριση πόσιμου νερού από τους παρόχους. Επίσης παρέχουν σημεία αναφοράς από τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν οι δραστηριότητες των πάροχων και η ποιότητα του νερού που παρέχεται στους καταναλωτές. Παράλληλα η νομοθεσία και οι κανονισμοί πρέπει να περιλαμβάνουν και ποινές για την μη συμμόρφωση και θα πρέπει να θεωρούνται μηχανισμοί ύστατης λύσης.(2)

Η νομοθεσία πρέπει να περιλαμβάνει διατάξεις που αφορούν σε:

- Διαχείριση των παρόχων του πόσιμου νερού.
- Πρότυπα για το πόσιμο νερό και καθοδήγηση
- Τις ευθύνες των παρόχων νερού, συμπεριλαμβάνονται η κοινοποίηση των απαιτήσεων στην περίπτωση που υπάρξει ένα περιστατικό που ίσως απειλήσει την δημόσια υγεία.
- Επιτήρηση των παρόχων πόσιμου νερού μαζί με:
 - την ταυτότητα, την λειτουργία και τις ευθύνες του γραφείου επιτήρησης
 - την εξουσιοδότηση για την ανάληψη της επιτήρησης
 - την εξουσία για να επιβάλλονται οι κανονισμοί και τα πρότυπα και να απαιτήσουν διορθωτικά μέτρα στην περίπτωση που δεν υπάρχει συμμόρφωση.
 - Την ευθύνη και την αρμοδιότητα να εκδίδει δημόσιες συμβουλές σε περιπτώσεις όπου κριθεί ότι ο πόσιμο νερό των παρόχων αποτελεί κίνδυνο για την δημόσια υγεία.
- Προστασία των πηγών του πόσιμου νερού, συμπεριλαμβάνονται και η προστασία περιοχών γύρω από τα θαλάσσια ή υφάλμυρα ύδατα από όπου γίνονται οι προσλήψεις για τις μονάδες αφαλάτωσης ή γύρω από τα υπόγεια ύδατα που χρησιμοποιούνται ως πηγές για τις μονάδες αφαλάτωσης.(2)

Άλλα θέματα που πρέπει να περιλαμβάνονται είτε στην νομοθεσία ή να σχετίζονται με τους κώδικες των πρακτικών και τεχνικών κανονισμών, περιλαμβάνουν και την

ποιότητα και τον τύπο των υλικών και χημικών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή και παροχή πόσιμου νερού όσο και στην κατασκευή και τα πρότυπα των υδραυλικών συστημάτων και να συμπεριλαμβάνεται επίσης η πρόβλεψη αντίστροφης ροής και ο έλεγχος των διακλαδώσεων. Ακολουθεί μία περίπτωση μελέτης που περιλαμβάνει ένα αρκετά μεγάλο αριθμό από αυτές τις ρυθμιστικές λειτουργίες.(2)

Κανονισμοί:

Ο ισχύων νόμος απαιτεί διαχειριστικό σύστημα, όπως επίσης απαιτεί και οι παραγωγοί νερού να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς σχετικά με την παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού, αλλά και την απόδοση των μονάδων και την διατήρηση του νερού.

Οι κανονισμοί απαιτούν:

- Άδεια για την διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα πρότυπα της ποιότητας νερού.
- Ότι το νερό στους κύριους αγωγούς και στο κυρίως δίκτυο δεν είναι μολυσμένο και είναι τέτοιας ποιότητας ώστε να είναι πόσιμο
- Ότι το νερό που παρέχεται στις εγκαταστάσεις είναι ασφαλές και αποδεκτό
- Διατήρηση και αποδοτική χρήση του νερού
- Μείωση αποβλήτων και υπέρ κατανάλωση
- Δημοσίευση των πληροφοριών για την ποιότητα του νερού
- Ότι τα προϊόντα και οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται είναι εγκεκριμένα για την παραγωγή πόσιμου νερού
- Παρακολούθηση νερού
- Κοινοποίηση των ατυχημάτων ή μη ομαλών συμβάντων (2)

Τρεις κανονισμοί θεσμοθετήθηκαν για να αποδώσουν αυτά τα αποτελέσματα.

6.14.1 Κανονισμοί για την ποιότητα του νερού.

Οι κανονισμοί για την ποιότητα του νερού έχουν να κάνουν με την ασφάλεια και την αποδεκτικότητα, την χρήση των προϊόντων, τον έλεγχο ποιότητας, την παροχή πληροφοριών, τα πρότυπα και τη συχνότητα δειγματοληψίας. Η δειγματοληψία και ο έλεγχος των απαιτήσεων στηρίζονται σε χαρακτηριστικά του συστήματος νερού

συμπεριλαμβάνονται η πηγή νερού, η διαδικασία αγωγής, ο όγκος του παραγόμενου νερού, οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης και το δίκτυο διανομής. Οι απαιτήσεις δειγματοληψίας απεικονίζονται σε διάγραμμα μαζί με τις παραμέτρους και χωρίζονται σε έξι ομάδες (A-F) . οι παράμετροι που υπάρχουν σε αυτές τις ομάδες φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα. (2)

Group	Classification	Parameters
A	Physical	Colour, turbidity, odour, taste, TDS, calcium hardness, total hardness, chlorine, pH
B	Chemical	Sulphate, magnesium, sodium, potassium, chlorides, nitrate, nitrite, ammonium, total organic carbon, dissolved or emulsified hydrocarbons mineral oil, aluminium, iron, manganese, copper, zinc, phosphorus, fluoride
C	Trace elements	Arsenic, cadmium, cyanides, chromium, mercury, nickel, lead, antimony, selenium, barium, boron
D	Toxicants	Endrine, lindane, methoxychlor, 2, 4 dichlorophenoxyacetic acid, 2,4,5 trichlorophenoxypropionic acid, phenols, heptachlor, aldrin, DDT, chlordane, dieldrin, heptachlor epoxide
E	Organics	Trichloroethene, tetrachloromethane, tetrachloroethene, chloroform, polycyclic aromatic hydrocarbons, trihalomethanes, 1, 2 dichloroethane, benzene, benzo(a)pyrene, bromoform, dichloromethane, bromodichloromethane, chlorobenzene
F	Microbial	Total coliforms, E. coli or thermotolerant coliforms, enterococci, HPC

Πίνακας 6.3 : Απαιτήσεις και παράμετροι δειγματοληψίας. (WHO, 2007)

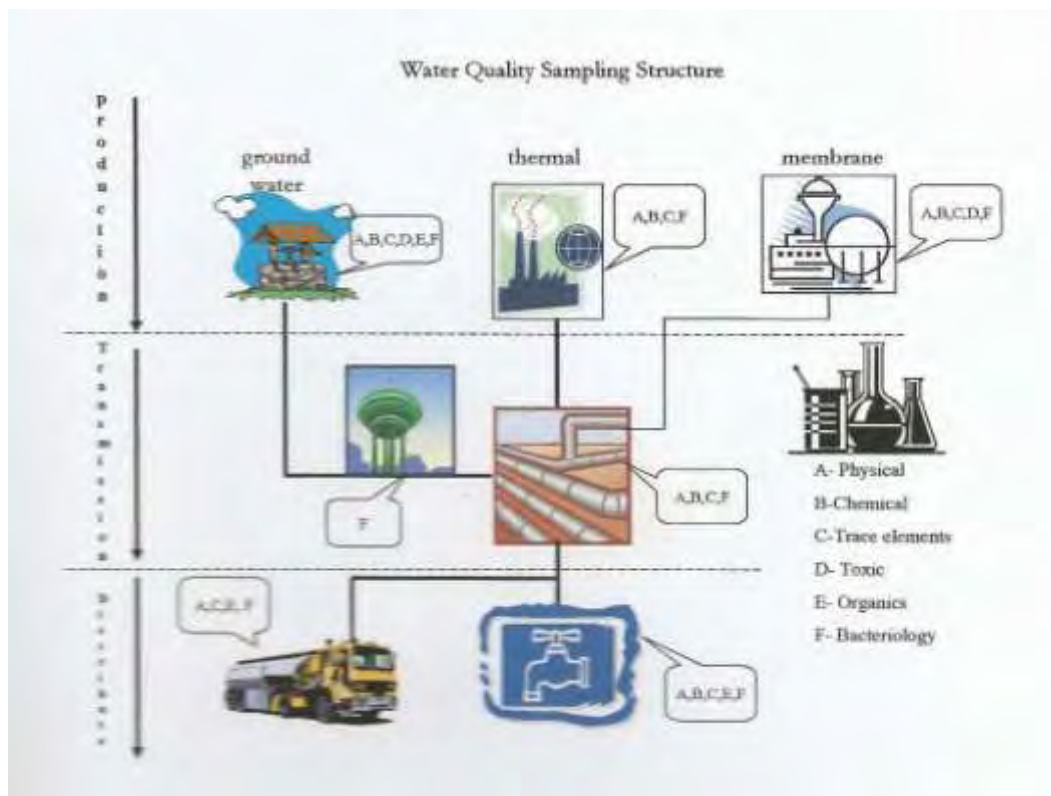
Η MSF είναι η κυρίαρχη θερμική διαδικασία που χρησιμοποιείται στην περιοχή με λιγότερο από 15% που χρησιμοποιούν MED. Μικρή ποσότητα υπογείων υδάτων διαχειρίζεται με την μέθοδο της χρήσης μεμβράνης και αυτή η τεχνολογία είναι πιο πιθανό να εφαρμοστεί στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Σε αυτή την περίπτωση έλεγχος για την ομάδα D παραμέτρων, ίσως να μην χρειαστεί.

Κατευθυντήριες οδηγίες παρέχονται για την επιλογή των τοποθεσιών δειγματοληψίας και την συλλογή δειγμάτων. Για παράδειγμα, συνίσταται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας να ενσωματώνουν με δεξαμενή αποθήκευσης με 24ωρη χρονική κράτηση, για την διασφάλιση ότι η μίξη και η ανάμειξη έχει επιτευχθεί πριν από την παράδοση. Συνίσταται επίσης τα δείγματα για την ποιότητα του νερού να συλλέγονται από αυτή την δεξαμενή.(2)

Παράδειγμα συχνότητας δειγματοληψίας για MSF μονάδα που παράγει περίπου 45 MGD (1,8 εκατομμύρια κυβικά μέτρα/ ημέρα):

Ομάδα A (φυσική)	360 δείγματα τον χρόνο
Ομάδα B (χημική)	12 δείγματα τον χρόνο
Ομάδα C (εντοπισμός στοιχείων)	12 δείγματα τον χρόνο
Ομάδα F (микροβιολογική)	48 δείγματα τον χρόνο

Εκτός από τις παραμέτρους και τα πρότυπα που έχουν εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό της ποιότητας νερού υπάρχουν επίσης και κάποιες απαιτήσεις που σχετίζονται με την ελαχιστοποίηση της διάβρωσης.



Εικόνα 6.2 : Πλάνο δειγματοληψίας ασφαλούς πόσιμου νερού.(WHO, 2007)

Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι οι χειριστές της μονάδας της θερμικής διαδικασίας πρέπει να παρέχουν μείγμα μετα-επεξεργασίας ή με την προσθήκη ιχνοστοιχείων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει μείγμα με φιλτραρισμένο νερό ή με την προσθήκη εγκεκριμένων χημικών. Η απόσταξη είναι ελαφρώς όξινη και το pH πρέπει να αυξηθεί με την προσθήκη ασβεστίου ή υδροξειδίου του νατρίου, αντιδιαβρωτικά μπορούν επίσης να προστεθούν. Τέλος η απόσταξη απαιτεί απολύμανση για να διατηρήσει την μικροβιολογική ποιότητα.(2)

Με την αφαλάτωση μέσω μεμβρανών η απαιτούμενη μετα-επεξεργασία ίσως περιοριστεί την προσαρμογή του pH και την απολύμανση. Ωστόσο αν ο δείκτης LSI δείξει ότι υπάρχει διάβρωση στο νερό, η σκληρότητα του ασβεστίου και της αλκαλικότητας ίσως πρέπει να προσαρμοστούν.(2)

Οι κανονισμοί ενσωματώνουν ένα αριθμό κριτηρίων που σχετίζονται με την ποιότητα του ελέγχου και περιλαμβάνουν:

- Συντήρηση των μονάδων και πρόληψη της μόλυνσης κατά την διάρκεια αλλά και μετά την ολοκλήρωση των επισκευών
- Χρήση χημικών διαδικασιών και έλεγχό τους
- Πιστοποίηση του εξοπλισμού των εργαστηρίων και της μεθοδολογίας ελέγχου
- Επιπλέον έλεγχος της ποιότητας του νερού πριν την παροχή μετά από επανεκκίνηση των μονάδων θερμικής αφαλάτωσης μετά από μεγάλες παύσεις ή σημαντικές επισκευές από διαβρωτικά προϊόντα όπως σίδηρο, χαλκό, νικέλιο και κάδμιο και άλλα ιχνοστοιχεία.(2)

6.14.2 Κανονισμοί της παροχής πόσιμου νερού

Ο κανονισμός της παροχής πόσιμου νερού αντιμετωπίζει θέματα που σχετίζονται με την αποθήκευση και τα υδραυλικά μέρη. Οι κανονισμοί περιλαμβάνουν κριτήρια που σχετίζονται με τα υλικά κατασκευής, εξαρτήματα δεξαμενών, καθαρισμό δεξαμενών, απολύμανση και διατάξεις ελέγχου. Οι κανονισμοί επίσης απαιτούν προσαρμογή των μετρητών νερού και αυτόματο έλεγχο των συσκευών για να προληφθεί η υπερχειλίση των δεξαμενών και η μόλυνση. (2)

6.14.3 Αναφορά συμβάντων και έλεγχος κανονισμών

Ζητείται από τους χειριστές του συστήματος να διατηρήσουν σχέδια επείγουσας επέμβασης για βακτηριολογική μόλυνση και για μόλυνση από υδρογονάνθρακα και η αναφορά τέτοιων ειδών συμβάντων στο γραφείο.(2)

6.15 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Η παρακολούθηση πρέπει να διεξάγεται σύμφωνα με τις αρχές του Water Safety Plan και να περιλαμβάνει επιχειρησιακή παρακολούθηση, επαλήθευση και επίβλεψη.

- Η επιχειρησιακή παρακολούθηση πρέπει να είναι ο στόχος των προγραμμάτων ελέγχου και ζητείται να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα των μέτρων ελέγχου που χρησιμοποιούνται για να διασφαλίσουν ότι ασφαλές πόσιμο νερό παράγεται από φυσικό και υφάλμυρο νερό.
- Μια περίληψη προτεινόμενων απαιτήσεων για παρακολούθηση για τον έλεγχο των μέτρων που προσδιορίζονται στον πίνακα , ενδεικτικές συχνότητες

παρουσιάζονται για μεγάλες μονάδες ($\geq 10\text{MGD}$) και για μικρές μονάδες ($< 1\text{MGD}$).

- Το εύρος των παραμέτρων και η επέκταση της επιχειρησιακής παρακολούθησης εξαρτάται από την εκτίμηση του κινδύνου:
 - Το είδος της διαδικασίας αφαλάτωσης που χρησιμοποιήθηκε
 - Η φύση, η σταθερότητα και η ποιότητα της πηγής νερού
 - Το μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης
- όπου απαιτείται η επιχειρησιακή παρακολούθηση θα πρέπει να έχει προτεραιότητα ανάλογα με τον κίνδυνο
- η ποιότητα της επιχειρησιακής παρακολούθησης εξαρτάται από την δυνατότητα του ελέγχου των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού και την εφαρμογή της διασφάλισης της ποιότητας / ποιότητα στην διαδικασία ελέγχου
- η επαλήθευση πρέπει να ακολουθεί τις ίδιες αρχές με αυτές που εφαρμόζονται σε άλλα είδη συστημάτων για το πόσιμο νερό. ωστόσο μεγαλύτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην εμφάνιση υποπροϊόντων από την βρωμική απολύμανση ιδιαίτερα όπου η πηγή είναι το θαλασσινό νερό. επιπλέον επειδή η φύση του αφαλατωμένου νερού είναι επιθετική, ο έλεγχος για την επαλήθευση θα πρέπει να περιλαμβάνει και τα στοιχεία διάβρωσης που προκύπτουν από τα συστήματα διανομής και τις οικιακές υδραυλικές εγκαταστάσεις
- η επαλήθευση θα πρέπει να εξασφαλίζει την παροχή ασφαλούς και αποδεκτού νερού στον καταναλωτή. Εκτός από τον έλεγχο του νερού από το σύστημα διανομής για παραμέτρους σχετικές με την υγεία, η επαλήθευση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μία εκτίμηση για την αποδεκτικότητα. Αυτό μπορεί να είναι τόσο ο έλεγχος για TDS και pH όσο και παρακολούθηση των παραπόνων των καταναλωτών
- η επίβλεψη πρέπει να ακολουθεί τις ίδιες αρχές με αυτές που εφαρμόζονται σε άλλα είδη συστημάτων πόσιμου νερού. Μπορεί να περιλαμβάνει έλεγχο των δραστηριοτήτων αλλά και άμεσο έλεγχο. Την επίβλεψη είναι προτιμότερο να την αναλαμβάνει ένα γραφείο ή άλλη υπηρεσία που να είναι ανεξάρτητη από τον πάροχο νερού.
- Κατάλληλη νομοθεσία, κανονισμοί, κώδικες άσκησης και τεχνικά έγγραφα υποστηρίζουν την παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού και παρέχουν ένα πλαίσιο ως οδηγό παροχών νερού ως προς την αναγνώριση αναγκών και ευθυνών.

Component	Control measures	Operational parameters	Monitoring frequency	
			Large plant	Small plant
Source water	Detect and prevent contamination by sewage (pathogenic protozoa, viruses, bacteria) (likelihood of presence based on sanitary inspection)	Enterococci and/or E.coli	D or W	W
	Detect and prevent impacts of storm events	Turbidity (used as on-line measurement for process control)	Preferably on- line	Preferably on-line
	Detect and prevent impacts of microalgae/ cyanobacteria	Algal species, including cyanobacteria, dinoflagellates or chlorophyll as a surrogate	W or M	M
	Detect and prevent impacts by industrial discharges (based on an assessment of local conditions)	TOC (if concentrations change investigate sources)	W	M
		Petroleum oil hydrocarbons/grease including volatile compounds	W	Y
		Industrial chemicals	W	M
		Radioactivity	Y	Y
	Monitoring associated with downstream control measures (pre-treatment and treatment)	Salinity	D	D
		Chloride	D	D
		Sodium	W	W
		Boron	M	Y
		Bromide	M	Y
		Silica	D	D
		Iron	D	W
		Manganese	M	Y
		Turbidity	On-line	On-line
		Alkalinity	D	D
		pH	On-line	On-line
		Temperature	On-line	On-line
		Heavy metals	W	M
		Low solubility chemicals e.g. Ca, F, Ba, Sr, Mg, fluoride, sulfate	W	M
		Hydrogen sulphide and metal sulphides	W	M
		Ammonia	W	M
		Total dissolved solids (TDS)	D	D

Pre-treatment	Membranes			
	Detection and prevention of biofouling/ scaling/ precipitation	SDI Flow rates Conductivity Conductivity/TDS ratios Turbidity after pre-treatment, particle counts pH (if acidification or alkalisation)	On-line On-line On-line D On-line	On-line On-line On-line D D
	Use of additives e.g. antiscalant	Flow and dose rate monitoring	On-line	On-line
	Quality control on additives and materials	Test additives and materials, check records	D	D
	Prevention of microbial fouling	Disinfectant residual or ORP	On-line	On-line
Pre-treatment	Thermal Process			
	Use of additives e.g. antiscalant, antifoaming	Flow and dose rate monitoring pH (if acidification used)	On-line On-line	On-line On-line
	Quality control on additives and materials	Test additives and materials, check records	D	D
	Prevention of microbial fouling	Disinfectant residuals	On-line	On-line
Process Management	Membranes	Recovery ratio (calculated from flow rates) Chemical balance from conductivities and flow rates (calculated) Trans-membrane pressure Flow meters on permeate and brine Conductivity in permeate and brine TOC (particular where source water contains elevated microbial contamination)		

	Thermal Process	In-coming steam pressure and temperature Make-up and flow rate Distillate and conductivity Top brine temperature (MSF/MED) Copper, iron and nickel (corrosion) Hydrazine and other boiler treatment chemicals (MED-TC) (depending on design)	On-line On-line On-line On-line W W	On-line On-line On-line On-line Q M
Blending	Preventing microbial contamination (only use pretreated water or protected groundwater. Untreated surface water not to be used	E. Coli/ enterococci in blending water Appropriate parameters for processes used to treat blending water e.g. turbidity for filtration, disinfectant dose/ concentration	D On-line	W On-line
	Providing chemical stability, maintaining minimum calcium and magnesium concentrations	LSI/ CCPP where mortar linings used Larson Ratio Index where steel or carbon/ steel used Calcium and magnesium pH Conductivity	D D D On-line On-line	D D D On-line On-line
Remineralisation	Providing chemical stability, maintaining minimum calcium and magnesium concentrations Quality control on additives and materials	LSI/CCPP where mortar linings used Larson Ratio Index where steel or carbon/ steel used Calcium and magnesium Alkalinity pH Conductivity Test additives and materials, check records	D D D D On-line On-line D	D D D D On-line On-line D
Disinfection	Removal of microbial contaminants	Disinfectant dose monitoring Calculate Ct HPC Disinfection byproducts (including brominated compounds) relevant to the method of disinfection	On-line D M W	On-line W Y M
Corrosion Inhibition	Reduction of corrosion in distribution systems using inhibitors such as phosphates and silicates	Flow and dose rate monitoring	On-line	On-line

	Quality control on additives and materials	Test additives and materials, check records	D	D
Storage Distribution	Preventing microbial and chemical contamination by controlling intrusion through cross connections/ backflow or faults in main or other infrastructure	E. Coli	D	W
		HPC	D	M
		Turbidity	D	D
		Inspect for system integrity, monitor burst main frequency and repairs	W	M
		Monitor system leakage	M	Y
	Control of free living microorganisms	HPC	D	W
		Disinfectant residual (consider persistent disinfectant where Legionella/ Naegleria potential considered unacceptable)	D	D
	Prevention of corrosion in storage tanks, long pipes, domestic plumbing	pH	D	D
		Iron	M	M
		Zinc	M	Y
		Nickel	M	Y
		Copper	M	Y
		lead (if problem)	M	M
Concentrate discharges	In marine or brackish lake environments select discharge points to minimize impacts. Discharge into areas with high levels of mixing or use diffusers to promote mixing	Zinc and phosphate (if corrosion inhibitors are used)	W	W
		Maintain chemical stability after mixing different sources (desalinated/ non-desalinated water) or after disinfection	D	D
		Disinfection	W	M
		Disinfection by-products (including brominated compounds)		
Concentrate discharges	In marine or brackish lake environments select discharge points to minimize impacts. Discharge into areas with high levels of mixing or use diffusers to promote mixing	Temperature and DO (thermal processes)	On-line	On-line
		pH	On-line	On-line
		Salinity	On-line	On-line
		Heavy metals/ salts	M	Q
		Additives	M	Q
		Phosphates and nitrates	M	Q

	For brackish aquifer apply discharge requirements set by environment protection agencies	Temperature (thermal processes) pH Salinity Heavy metals/ salts Additives Phosphates and nitrates	On-line On-line On-line M M M	On-line On-line On-line Q Q Q
Cooling water discharges	Inn marine or brackish lake environment select discharge points to minimize impacts. Discharge into areas with high levels of mixing or use diffusers to promote mixing. For brackish aquifer apply discharge requirements set by environment protection authorities	Temperature Dissolved oxygen Corrosion products(Cu,Iron, Ni) Disinfectant residuals Temperature Dissolved oxygen Corrosion products(Cu,Iron, Ni) Disinfectant residuals	On-line On-line W D On-line On-line W D	On-line On-line Q W On-line On-line Q W
Wastewater effluents from pre-treatment facilities or from membrane cleaning	Collect discharges and treat or discharge in accord with requirements set by environment protection agencies	pH Turbidity Suspended solids (SS) Residual disinfectants Iron or aluminium- based on the type of coagulant used Membrane cleaning agents	On-line On-line D D W On discharge	On-line On-line D D M On discharge

Πίνακας 6.4 : Προτεινόμενοι παράμετροι παρακολούθησης και συχνότητα για τις μονάδες αφαλάτωσης.

Note 1) monitoring frequency D:daily, W:weekly, M: monthly, Q:quarterly and Y: yearly. In some cases monitoring requirements will be based on the source of water (seawater, estuarine od groundwater) and sanitary surveys for example the frequency of petroleum hydrocarbon monitoring will be influenced by the likelihood of potential sources of contamination, 2) the capacity of a “large” or “small” plant is assumed to be more than 10 MGD or 1 MGD, respectively.

**7. ΟΡΟΙ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΚΡΟΥΣΜΑΤΑ ΥΔΑΤΟΓΕΝΩΝ
ΝΟΣΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ**

Μέθοδος αφαλάτωσης	Τύπος εκδήλωσης	Αριθμός άρθρων
		Pubmed
desalination dezalination reverse osmosis electrodialysis multistage flash distillation (MSF) multistage effect distillation (MED) thermal desalination processes thermal desalination system multieffect evaporation membrane separation technologies membrane desalination evaporator evaporation distillation evaporative condenser solar distillation water desalting system	waterborne disease water disease outbreak waterborne disease illness sickness case infection infectious	1
(desalination OR reverse osmosis OR electrodialysis OR distillation OR membrane separation technologies OR thermal desalination system OR evaporation) and (waterborne OR disease OR water disease OR illness OR outbreak OR case OR infection OR sickness OR infectious)		

Ύστερα από βιβλιογραφική ανασκόπηση ανευρέθηκαν ένα περιστατικό που προκάλεσαν κρούσματα υδατογενών νοσημάτων σε ανθρώπους ύστερα από κατανάλωση πόσιμου νερού από αφαλάτωση. Το περιστατικό αναφέρεται στην πόλη Tabuk της Σαουδικής Αραβίας τον Μάιο του 1992 όταν επιβεβαιώθηκαν 81 περιστατικά τυφοειδούς πυρετού. Τα επιβεβαιωμένα κρούσματα ήταν 9 εργαζόμενοι του τοπικού νοσοκομείου, 2 άτομα του ιατρικού προσωπικού, 57 άτομα της περιοχής και 13 άτομα της τοπικής στρατιωτικής μονάδας. Το νερό προς αφαλάτωση ήταν μολυσμένο με *Salmonella typhi*. Η μόλυνση του νερού προήλθε ύστερα από διαρροή αστικών λυμάτων καθώς ο υδροφόρος ορίζοντας βρισκόταν κάτω από τον χώρο διάθεσης λυμάτων της πόλης. Το νερό πριν την εισαγωγή στο σύστημα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση δεν υπέστη καμία χλωρίωση με αποτέλεσμα την μόλυνση των μεμβρανών του συστήματος. Τα μέτρα ελέγχου που πάρθηκαν ήταν το νερό που προορίζεται για αφαλάτωση πρέπει πρώτα να χλωριώνεται για να αποφευχθεί η μικροβιολογική ρύπανση των μεμβρανών. Επίσης πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα επιτήρησης ώστε να διατηρείται σταθερό το επίπεδο δράσης του υπολειμματικού χλωρίου και να ελέγχεται η βακτηριολογική ποιότητα του πόσιμου νερού. Η πίεση του νερού στο δίκτυο διανομής πρέπει να διατηρείται σταθερή καθώς είναι επιτακτική η δημιουργία συστήματος αποχέτευσης.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εισαγωγή στην τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης, Σταμάτης Α. Αυλωνίτης, Εκδότης: Εκδόσεις ΙΩΝ, 2006.
2. World Health Organization (2007). Desalination for Safe Water Supply, Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination. Public Health and the Environment World Health Organization Geneva 2007.
3. Μήτρακας, Μ. (2001): Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
4. Perlman, H., Χ. Μακρόπουλος, και Δ. Κουτσογιάννης, (2005). Ο υδρολογικός κύκλος, United States Geological Survey.
5. Υγιεινή – Ασφάλεια Εργασίας και Προστασία Περιβάλλοντος, Π. Χ. Θεοδωράτος, Ν.Γ. Καρακασίδης, Εκδότης: Εκδόσεις ΙΩΝ, 3η έκδοση, 2005.
6. Μήτρακας, Μ. (2001): Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
7. Τζεν, Ε. (2010). Αφαλάτωση η λύση στη λειψυδρία. Ημερίδα : Αειφόρος ανάπτυξη των νήσων του Αιγαίου, βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων, 19-6-2010, Σύρος.
8. Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος, Θ. Κουϊμτζή, Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Εκδότης: Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 1994.
9. Αφαλάτωση – Βικιπαίδεια
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7>
10. Δρ. Δαγκαλίδης Αθανάσιος, Κλαδική μελέτη 12, Αφαλάτωση Νερού, Ιανουάριος 2009.
11. World Health Organization (2011). Safe Drinking – water from desalination.
12. Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου. Ε., Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001 .
13. Akili D. Khawaji, Ibrahim K. Kutubkhanah, Jong – Mihn Wie, Advances in seawater desalination technologies, Desalination 221 (2008) 47 -69.
14. Gemma Raluy, Luis Serra, Javier Uche, Life Cycle assesement of MSF, MED and RO desalination technologies, Energy 31 (2006) 2361 – 2372, Elsevier.

15. A. Perez – Gonzalez, A.M. Urtiaga, R. Ibanez, I. Ortiz, State of the art and review on the treatment of water R.O concentrates, water research 46 (2012) 267-283.
16. Lauren F. Greenlee, Desmond F. Lawler, Benny D. Freeman, Benoit, Philippe Moulin, Reverse osmosis desalination: water sources, technology and today challenges, water research 43 (2009) 2317 – 2348.
17. Talal K. Osta, Pretreatment System in Reverse Osmosis Plants, Desalination, 63 (1987) 71-80, Elsevier.
18. Noka Prihasto, Qi – Feng Liu, Seung – Hyun Kim, Pre – treatment strategies desalination by reverse osmosis system, Desalination 249 (2009) 308 – 316, Elsevier.
19. Nikolay Voutchkov, Considerations for selection of seawater filtration pretreatment system, Desalination 261 (2010) 354 – 364, Elsevier.
20. Abdullah Alkhudhiri, Naif Darwish, Nidal Hilal, Membrane distillation: A comprehensive review, Desalination 387 (2012) 2 -18 , Elsevier.
21. Παππά Γεωργία, 2001. Υγειονομική σημασία των χημικών παραμέτρων στο πόσιμο νερό. Αθήνα.
22. Νταρακάς, Ε. (2014): Ποιοτικά χαρακτηριστικά και Διεργασίες επεξεργασίας νερού. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος.
23. Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, σε συμμόρφωση προς την Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998 (Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001), Αρ. Φύλλου 892, τεύχος δεύτερο.
24. A.H. Galama, M. Saakes, H. Bruning, H.H.M. Rijnaarts, J.W. Post, Seawater predesalination with electrodialysis, Desalination 342 (2014) 61 – 69, Elsevier.
25. Διαιτητική του Ανθρώπου, Σταύρου Τ. Πλέσσα, Εκδότης: Εκδόσεις ΦΑΡΜΑΚΟΝ ΤΥΠΟΣ, 3^η έκδοση, Αθήνα 1998.
26. Στοιχεία Υγιεινής Περιβάλλοντος και Υγειονομικής Μηχανικής, Γρηγ. Π. Μαρκαντωνάτος, Ε΄ επανατύπωση, 1994.
27. E.G. Darton, A.G. Turner, Operating experiences in a sea water reverse osmosis plant in Gibraltar. (1987-1990), Desalination 82 (1991) 51 – 69, Elsevier.

28. M.S. El – Bourawi, Z. Ding, R. Ma, M. Khayet, A framework for better understanding membrane distillation separation process, *Journal of Membrane Science* 285 (2006) 4 -29, Elsevier.
29. S.Ebrahim, M. Abdel – Jawad, S. Bou – Hamad, M. Safar, Fifteen years of R & D program in seawater desalination at KISR. Part I. Pretreatment technologies for RO systems, *Desalination* 135 (2001) 141 -153, Elsevier.
30. I. Damikouka, A. Katsiri, C. Tzia, Application of HACCP principles in drinking water treatment, *Desalination* 210 (2007) 138 -145, Elsevier.