



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

***ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ
ΟΣΜΩΣΗ***

ΧΟΥΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

(ΑΡ. ΜΗΤΡΩΟΥ: 02102041)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι παγκόσμιες ανάγκες σε νερό δεν μπορούν πλέον να καλυφθούν λόγω της συνεχούς μείωσης των διαθέσιμων υπόγειων και επιφανειακών υδάτων σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη ρύπανσή τους σε ανεπανόρθωτο βαθμό. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με 2 τρόπους.

Η πρώτη και φθηνότερη επιλογή είναι η επεξεργασία των διαθέσιμων ρυπασμένων ή/και υφάλμυρων υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.

Η δεύτερη και ακριβότερη επιλογή είναι η παραγωγή καθαρού νερού μέσω επεξεργασίας του νερού της θάλασσας, το οποίο και είναι απεριόριστο.

Η πιο αποτελεσματική τεχνολογία που εφαρμόζεται και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις είναι η αντίστροφη όσμωση.

Προτού κάποιος μηχανικός ασχοληθεί με την χρήση, την εγκατάσταση, την κατασκευή και τον σχεδιασμό ενός συστήματος επεξεργασίας νερού, θα πρέπει πρώτα να γνωρίζει ποιο είναι το πρόβλημα του νερού, ποιο είναι το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα, ποιες είναι όλες οι πιθανές τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ποια τα χαρακτηριστικά της καθεμίας.

Αφού καλύψει τα παραπάνω ζητήματα, κατόπιν καταλήγει στο βέλτιστο συνδυασμό μεθόδων για την εκάστοτε περίπτωση προβλήματος.

Η εργασία αναλύει όλα τα ζητήματα που σχετίζονται με μονάδες επεξεργασίας νερού με αντίστροφη όσμωση.

Αρχικά αναλύονται λεπτομερώς όλα τα επί μέρους τμήματα μιας τέτοιας εγκατάστασης που είναι τα εξής: υδροληψία, προ-επεξεργασία υδάτων, τμήμα αντίστροφης όσμωσης, μετα-επεξεργασία υδάτων.

Σκοπός της εργασίας είναι η περιγραφή των βημάτων που πρέπει να ακολουθηθούν για την ορθή εκπόνηση μιας μελέτης σχεδιασμού και κατασκευής μιας μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση.

ABSTRACT

The global demand for water can no longer be met due to the constant reduction of the available groundwater and surface water sources and their simultaneous contamination to an irreversible degree. The problem is solved by 2 ways.

The first and cheapest option is to treat the available polluted and / or brackish groundwater and surface water.

The second and most expensive option is to produce clear freshwater by treating seawater, given that seawater is unlimited.

The reverse osmosis is the most effective technology which is applied in both cases.

When an engineer has to deal with the design, the construction, the installation and the operation of a water treatment system, first of all he has to be able to answer the following questions:

- What is the problem of the water?
- What is the desired quality and quantity of the product water?
- Which are all the possible technologies that can be applied effectively and what are the characteristics of each one?

After answering these questions, the engineer decides which the best combination of methods for each case of problem is.

This dissertation analyzes all the parameters related to reverse osmosis desalination plants.

There is a full analysis of every unit of such facilities: water intakes, water pre-treatment unit, reverse osmosis unit and water post-treatment unit.

The purpose of this dissertation is firstly to describe the steps that must be followed for the proper preparation of a design and construction study of a reverse osmosis desalination plant and.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το νερό αδιαμφισβήτητα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κοινωνικά αγαθά. Είναι ζωτικής σημασίας για τον ανθρώπινο οργανισμό και εκτός από την οικιακή κατανάλωση χρησιμοποιείται επίσης για άρδευση και για βιομηχανική χρήση.

Το πόσιμο νερό είναι νερό αρκετά υψηλής ποιότητας που μπορεί να καταναλωθεί ή να χρησιμοποιηθεί χωρίς κίνδυνο άμεσης ή μακροπρόθεσμης βλάβης στην ανθρώπινη υγεία.

Στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες, το νερό που παρέχεται από τα κατά τόπους δίκτυα ύδρευσης τηρεί όλα τα θεσμοθετημένα πρότυπα (standards) για το πόσιμο νερό. Δυστυχώς όμως τα όρια για το πόσιμο νερό καθορίζονται βάσει μιας σειράς κριτηρίων και όχι με μοναδικό κριτήριο την υγεία του καταναλωτή. Το αποτέλεσμα είναι να φτάνει στη βρύση του καταναλωτή νερό νόμιμο το οποίο όμως πολλές φορές είναι ακατάλληλο και μη πόσιμο. Η πόση ή η χρήση τέτοιου νερού στο μαγείρεμα οδηγεί σε εκτεταμένες, οξείες και χρόνιες ασθένειες και είναι μια κύρια αιτία θανάτου σε πολλές υποανάπτυκτες χώρες όπου η πρόσβαση σε πόσιμο νερό είναι περιορισμένη.

Οι διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι αποτελούνται από επιφανειακά (λίμνες, ποτάμια) και υπόγεια (γεωτρήσεις) ύδατα. Η ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού επιφέρει τη μείωση των υδάτινων αποθεμάτων οδηγώντας πολλές περιοχές σε λειψυδρία. Ταυτόχρονα όμως τα διαθέσιμα ύδατα ρυπαίνονται ανεπανόρθωτα καθώς γίνονται αποδέκτες βιομηχανικών και αστικών λυμάτων και αγροτικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Όσον αφορά συγκεκριμένα τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες παρατηρείται επίσης υφαλμύριση λόγω της υπέρμετρης διάνοιξης γεωτρήσεων που φτάνουν σε μεγάλο βάθος.

Λόγω των ανωτέρω, το νερό μολύνεται από χημικούς (βαρέα μέταλλα, καρκινογόνες ουσίες, αυξημένα άλατα) και μικροβιολογικούς παράγοντες (βακτηρίδια, ιοί, πρωτόζωα).

Επιπροσθέτως ελλοχεύουν κίνδυνοι και από το δίκτυο διανομής του νερού. Η συντήρηση των δικτύων ύδρευσης είναι ελλιπής με αποτέλεσμα βρώμικες και διαβρωμένες σωληνώσεις οι οποίες πολλές φορές είναι κατασκευασμένες από επικίνδυνα μέταλλα όπως ο αμιάντος που είναι αποδεδειγμένα καρκινογόνος. Τελικά, το νερό που κυκλοφορεί μέσα στο δίκτυο μπορεί να επιβαρυνθεί με λάσπες, σκουριά, χρώμα, αιωρούμενα σωματίδια κ.ά. Φυσικά, το νερό του δικτύου είναι επίσης (για λόγους ισχυρής απολύμανσης) επιβαρυνμένο με μεγάλες ποσότητες χλωρίου και παραπροϊόντων χλωρίωσης.

Τελικά η πλειοψηφία των καταναλωτών στρέφεται στα εμφιαλωμένα νερά τα οποία όμως κρύβουν μικροβιολογικούς κινδύνους καθώς σπάνια συντηρούνται σε δροσερό (έως 18 °C) και σκιερό μέρος όπως ορίζουν οι προδιαγραφές τους.

Συνέπεια των παραπάνω είναι η συνεχής αναζήτηση της παγκόσμιας κοινότητας για εναλλακτικές μεθόδους παροχής νερού. Έτσι άρχισαν να αναπτύσσονται διάφορες μέθοδοι αφαλάτωσης υφάλμυρων και θαλάσσιων υδάτων. Η πιο προσιτή και διαδεδομένη τεχνολογία αφαλάτωσης τα τελευταία 40 χρόνια είναι η αντίστροφη όσμωση.

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στα συστήματα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση και σκοπός της είναι να αναδείξει όλες τις πτυχές που υπάρχουν στο σχεδιασμό και την κατασκευή τέτοιων εγκαταστάσεων.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αρχικά μια καταγραφή της κατάστασης των υδάτινων πόρων παγκοσμίως και μια πρόβλεψη για τη μελλοντική τους διαθεσιμότητα.

Στα κεφάλαια 2 έως 6 αναλύονται με τη σειρά το καθένα από τα επιμέρους τμήματα μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση.

Το δεύτερο κεφάλαιο επικεντρώνεται στα συστήματα υδροληψίας, τα οποία και αποτελούν την είσοδο για κάθε μονάδα αφαλάτωσης. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε επιφανειακά και υπόγεια και τα χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας αναλύονται εκτενώς.

Στο τρίτο κεφάλαιο αρχικά επεξηγούνται οι βασικές παράμετροι της χημείας του νερού που είναι σημαντικές για τη μελέτη μιας μονάδας αφαλάτωσης. Έπειτα γίνεται αναφορά στα συστήματα προ-επεξεργασίας και την εξειδικευμένη προ-επεξεργασία που απαιτεί ο κάθε τύπος νερού, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του. Προ-επεξεργασία είναι η επεξεργασία του νερού πριν εισέλθει στο σύστημα των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης.

Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στο σύστημα των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης και αναλύονται εκτενώς όλες οι πιθανές παραλλαγές που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στα επιμέρους εξαρτήματα που περιλαμβάνονται σε μια μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση. Αναλύονται με τη σειρά όλοι οι πιθανοί τύποι χρησιμοποιούμενων αντλιών, ενδεικτικών οργάνων, βαλβίδων, πιεστικών δοχείων και δεξαμενών. Επίσης γίνεται αναφορά στα υλικά κατασκευής της μονάδας.

Στο έκτο κεφάλαιο καταγράφονται οι διάφορες μέθοδοι μετα-επεξεργασίας του νερού, δηλαδή επεξεργασίας του νερού αφού εξέλθει από ένα σύστημα μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Ακολουθεί περιγραφή των δεικτών διαβρωτικότητας των υδάτων και ανάλυση της διαδικασίας απολύμανσης του τελικού νερού με χρήση λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ – ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

1.1. Παγκόσμια Κατάσταση των Υδάτινων Πόρων	σελ.1
1.1.1. Η Σημερινή Πραγματικότητα	σελ.1
1.1.2. Προβλεπόμενη Κατάσταση των Υδάτινων Πόρων στο Μέλλον	σελ.2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ

2.1. Εισαγωγή στο Σχεδιασμό Συστημάτων Αφαλάτωσης	σελ.3
2.2. Συστήματα Υδροληψίας	σελ.4
2.2.1. Εισαγωγή στα Συστήματα Πρόσληψης Ακατέργαστων Υδάτων	σελ.4
2.2.2. Επιφανειακά (Ανοιχτά) Συστήματα Υδροληψίας	σελ.5
2.2.3. Υπόγεια Συστήματα Υδροληψίας	σελ.13
2.3. Βιβλιογραφία	σελ.14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΧΗΜΕΙΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

3.1. Χημεία Νερού - Επεξήγηση Βασικών Όρων και Παραμέτρων	σελ.17
3.2. Συστήματα Προ-Επεξεργασίας	σελ.19
3.2.1. Εισαγωγή	σελ.19
3.2.2. Τύποι και Ανάλυση του Νερού Τροφοδοσίας των Μεμβρανών	σελ.21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ

4.1. Εισαγωγή	σελ.27
4.2. Συνεχής ή Διακοπτόμενη Λειτουργία του Συστήματος RO	σελ.29
4.3. Σύστημα Ενός Μοδέλου	σελ.30
4.4. Συστοιχία Πιεστικών Δοχείων - Σύστημα Ενός Σταδίου (Μονοβάθμιο Σύστημα)	σελ.32
4.5. Σύστημα Πολλαπλών Σταδίων (Πολυβάθμιο Σύστημα)	σελ.32
4.6. Σύγκριση μεταξύ Συστήματος με Κλειστή Ροή και Συστήματος με Ανακυκλοφορία της Άλμης	σελ.33
4.7. Σύστημα Διπλής Διήθησης RO	σελ.36
4.8. Εξισώσεις και Παράμετροι	σελ.38
4.8.1. Χαρακτηριστικά Μεγέθη - Επεξήγηση Συμβόλων	σελ.38
4.11.2. Βασικές Εξισώσεις	σελ.40

4.11.3. Αναλυτικές Εξισώσεις για Υπολογισμό της Απόδοσης ενός Συστήματος	σελ.50
--	--------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1. Αντλίες - Κατανάλωση Ενέργειας	σελ. 53
5.2. Προειδοποιητικά Σήματα και Διακόπτες Παύσης Λειτουργίας του Συστήματος	σελ.57
5.3. Ενδεικτικά Όργανα και Βαλβίδες (Βάνες)	σελ.57
5.3.1. Ενδεικτικά Όργανα	σελ. 57
5.3.2. Βαλβίδες	σελ.57
5.3.3. Προαιρετικός Εξοπλισμός	σελ.58
5.4. Δεξαμενές	σελ.59
5.5. Πιεστικά Δοχεία	σελ.61
5.6. Υλικά Κατασκευής – Αποτροπή της Διάβρωσης	σελ.62
5.7. Βιβλιογραφία	σελ.66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

6.1. Εισαγωγή	σελ.67
6.2. Ανάμειξη του Διηθήματος με Προεπεξεργασμένο Νερό Τροφοδοσίας	σελ.68
6.3. Προσθήκη Χημικών - Σταθεροποίηση Υδάτων	σελ.71
6.4. Αύξηση της Σκληρότητας του Νερού	σελ.72
6.4.1 Εισαγωγή	σελ.72
6.4.2. Πρόσθεση Μεταλλικών Στοιχείων (Σκλήρυνση) σε Φυσικώς Μαλακό ή σε Αφαλατωμένο Νερό με Διάλυση Ασβεστόλιθου	σελ. 73
6.4.3. Διήθηση με Φίλτρο Μαρμάρου	σελ. 74
6.5. Δείκτες Διαβρωτικότητας των Υδάτων	σελ.74
6.5.1. Εισαγωγή	σελ.74
6.5.2. Παρανοήσεις	σελ.75
6.5.3. Συνάφεια	σελ.75
6.5.4. Δείκτης Κορεσμού Langlier (LSI)	σελ.77
6.5.5. Δείκτης Κορεσμού Stiff Davis (SDSI)	σελ.79
6.5.6. Συμπεράσματα	σελ.79
6.6. Απολύμανση του Τελικού Νερού Χρήσης	σελ.80
6.6.1. Εισαγωγή	σελ.80
6.6.2. Χρήση Λαμπτήρων Υπεριώδους Ακτινοβολίας για την Απολύμανση του Νερού	σελ.81
6.7. Βιβλιογραφία	σελ.87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

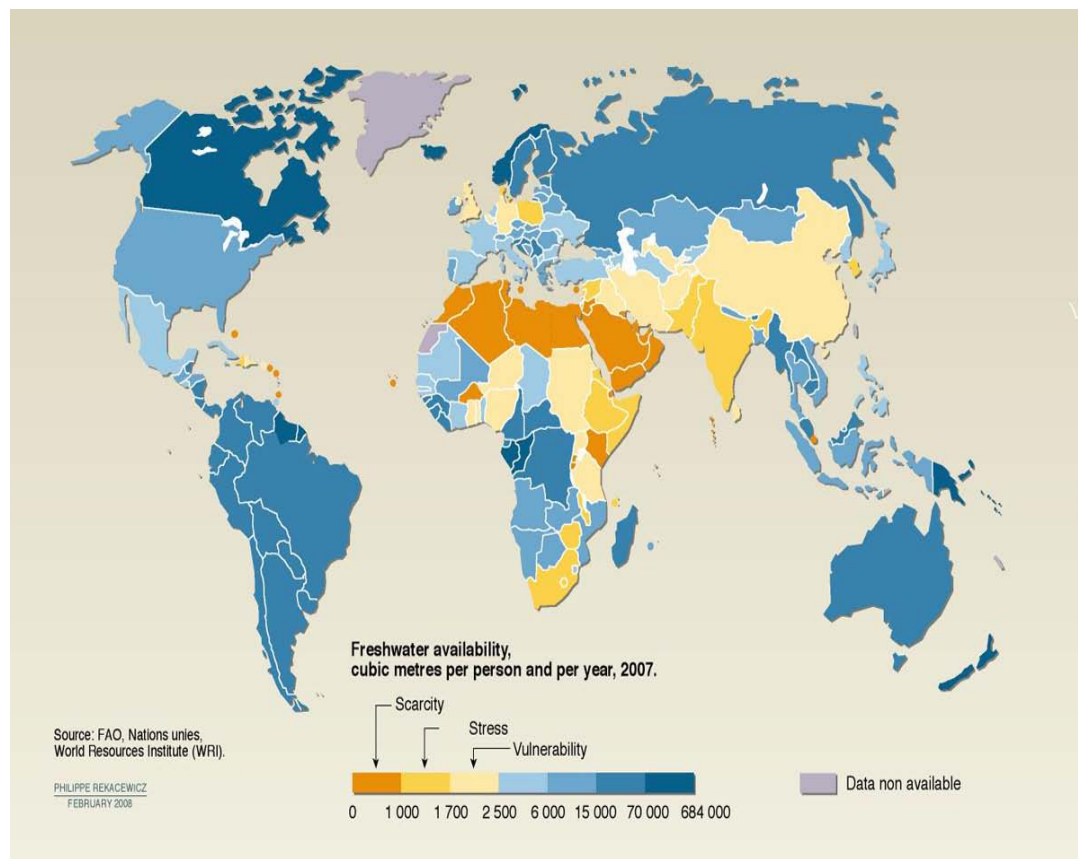
ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ – ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

1.1. Παγκόσμια Κατάσταση των Υδάτινων Πόρων

1.1.1. Η Σημερινή Πραγματικότητα

Το πόσιμο νερό είναι ένα όλο και πιο σπάνιο φυσικό αγαθό. Η αύξηση του πληθυσμού, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η κλιματική αλλαγή μειώνουν συνεχώς τη διαθεσιμότητα νερού ανά άτομο. Η κατάσταση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη στις αναπτυσσόμενες χώρες της Βορείου Αφρικής και της Μέσης Ανατολής (βλ. κίτρινες και πορτοκαλί περιοχές).

Σχήμα 1.1: Διαθεσιμότητα γλυκού νερού το 2007 (m^3 /έτος ανά άτομο)
(πηγή: <http://www.un.org/waterforlifedecade/>) /5/



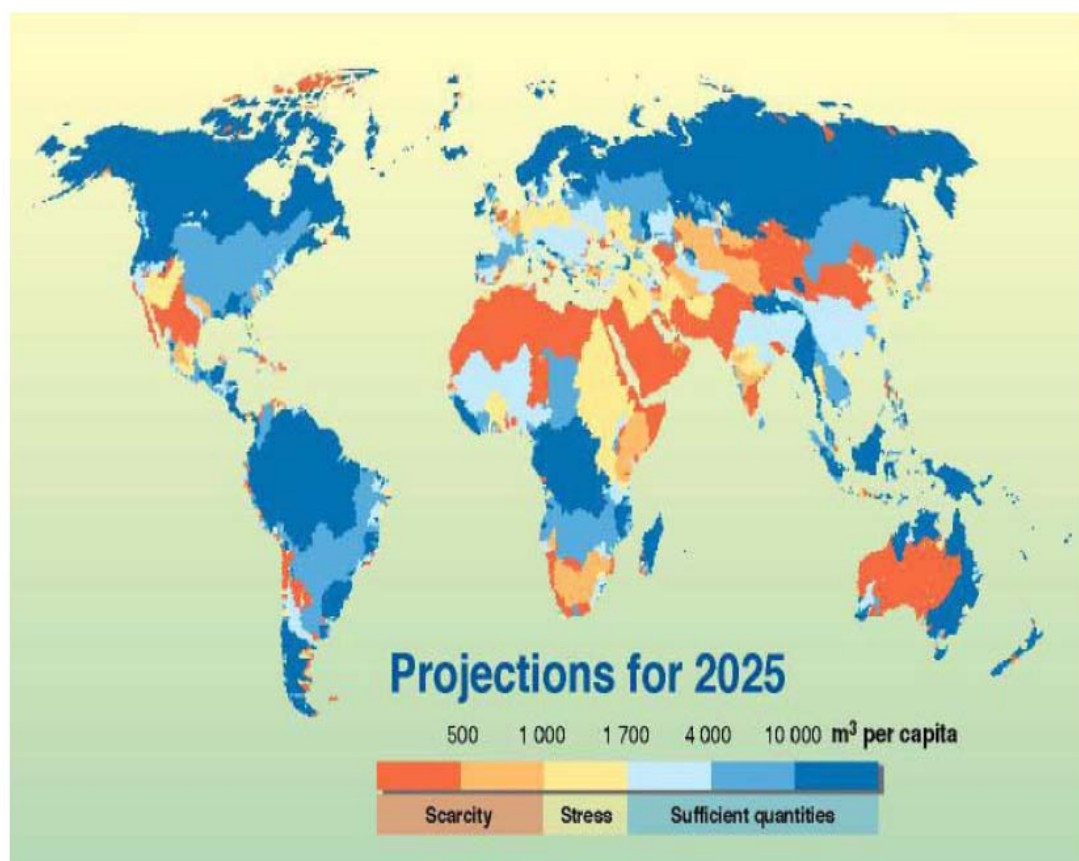
1.1.2. Προβλεπόμενη κατάσταση των υδάτινων πόρων στο μέλλον

Τα Ηνωμένα Έθνη έχουν εκτιμήσει ότι 1,1 δισεκατομμύρια ανθρώπων δεν έχουν ασφαλή πρόσβαση σε πόσιμο νερό. Επιπλέον, η αναμενόμενη μελλοντική κατάσταση είναι ακόμη πιο δραματική: μέχρι το 2025, 1.8 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα ζουν σε περιοχές με απόλυτη έλλειψη πόσιμου νερού.

Ο συνημμένος χάρτης (πηγή: Ο.Η.Ε. /5/) παρουσιάζει την πρόβλεψη της παγκόσμιας κατάστασης για το 2025, επισημαίνοντας τις αντιθέσεις μεταξύ πορτοκαλί (υψηλή έλλειψη γλυκού* νερού) και μπλε (υψηλή διαθεσιμότητα γλυκού νερού) περιοχών.

* γλυκό νερό: νερό με σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα (TDS < 500 ppm).

Σχήμα 1.2: Πρόβλεψη για τη διαθεσιμότητα γλυκού νερού παγκοσμίως, το 2025



Για περισσότερες πληροφορίες: <http://www.un.org/waterforlifedecade/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ

2.1. Εισαγωγή στο Σχεδιασμό Συστημάτων Αφαλάτωσης /21/

Οι διάφορες τεχνολογίες αφαλάτωσης και η εφαρμογή τους έχουν εξελιχθεί σημαντικά κατά τα τελευταία 50 χρόνια. Τα πέντε βασικά στοιχεία ενός συστήματος αφαλάτωσης (βλέπε σχήμα 2.1), είτε υφάλμυρου είτε θαλασσινού νερού, είναι τα εξής:

1. Συστήματα Υδροληψίας (Intakes): οι δομές που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των ακατέργαστων υδάτων από την υπόγεια ή επιφανειακή πηγή τους και τη μεταφορά τους στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υδάτων.
2. Προ-επεξεργασία (Pretreatment): απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και καταπολέμηση της βιολογικής ανάπτυξης, ώστε να προετοιμαστεί το αρχικό ακατέργαστο νερό για περαιτέρω επεξεργασία.
3. Αφαλάτωση (Desalination): η διαδικασία που αφαιρεί διαλυμένα στερεά, κατά κύριο λόγο άλατα και άλλα ανόργανα συστατικά, που εμπεριέχονται στα αρχικά ακατέργαστα ύδατα.
4. Μετα-επεξεργασία (Post-treatment): η προσθήκη χημικών ουσιών στο νερό που παράγεται από τη μονάδα αφαλάτωσης για την αποτροπή της διάβρωσης των σωληνώσεων του συστήματος διανομής (δίκτυο ύδρευσης) που θα διοχετευτεί το παραγόμενο νερό αλλά και προκειμένου το παραγόμενο νερό να είναι υγιεινό και εύγευστο ώστε να είναι πόσιμο. Στην περίπτωση της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, η μετα-επεξεργασία περιλαμβάνει ρύθμιση του pH, επανασκλήρυνση και απολύμανση του νερού.
5. Διαχείριση της Άλμης: ο χειρισμός και η απόρριψη (εναπόθεση) ή επαναχρησιμοποίηση των απόβλητων υπολειμμάτων που εξάγονται από το σύστημα αφαλάτωσης

Ανάλογα με το είδος της πηγής του ακατέργαστου νερού και της τεχνολογίας αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται, συγκεκριμένα στοιχεία μπορεί να διαφέρουν όσον αφορά τη σημασία τους μέσα στο συνολικό σύστημα. Για παράδειγμα, οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης υφάλμυρων υπόγειων υδάτων που βρίσκονται στην ενδοχώρα, χρησιμοποιούν γεωτρήσεις και αντλίες για να φέρουν το ακατέργαστο νερό της γεώτρησης στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, και αυτά τα συστήματα μπορεί να χρειάζονται ελάχιστη ή καμία προ-επεξεργασία. Αντίθετα, κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση (RO) μπορεί να χρησιμοποιούνται πιο περίπλοκες δομές όσον αφορά τα συστήματα υδροληψίας,

ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες της τοποθεσίας απ' όπου γίνεται η πρόσληψη, και μπορεί να απαιτείται εκτεταμένη προ-επεξεργασία.

2.2. Συστήματα Υδροληψίας

2.2.1. Εισαγωγή στα Συστήματα Πρόσληψης Ακατέργαστων Υδάτων /21/

Οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης απαιτούν μια αξιόπιστη παροχή υδάτων τροφοδοσίας. Η ποσότητα και η ποιότητα των υδάτων τροφοδοσίας διαφέρουν ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της τοποθεσίας πρόσληψης και συχνά καθορίζουν τη βιωσιμότητα της χωροθέτησης μιας μονάδας αφαλάτωσης σε μια δεδομένη τοποθεσία. Ο σχεδιασμός του συστήματος υδροληψίας μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα των υδάτων τροφοδοσίας και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας μονάδας αφαλάτωσης σε μια δεδομένη τοποθεσία. Στην παρούσα ενότητα εξετάζονται οι τρέχουσες τεχνολογίες και τα θέματα που έχουν να κάνουν με τα συστήματα υδροληψίας των μονάδων αφαλάτωσης.

Οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης υφάλμυρων υδάτων μπορούν να αξιοποιήσουν ως νερό τροφοδοσίας τα ύδατα από πηγές επιφανειακών υδάτων (λίμνες, ποτάμια, πηγές τρεχούμενου νερού) ή από γεωτρήσεις. Οι μονάδες αφαλάτωσης που βρίσκονται στην ενδοχώρα χρησιμοποιούν τεχνολογία υδροληψίας που δεν διαφέρει από τις παραδοσιακές μονάδες επεξεργασίας νερού που χρησιμοποιούν επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα, και αυτή η τεχνολογία είναι πολύ καλά ανεπτυγμένη.

Τα συστήματα υδροληψίας των μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού συνήθως ανήκουν σε μία από τις δύο μεγάλες κατηγορίες, επιφανειακά συστήματα υδροληψίας που βρίσκονται πάνω από τον πυθμένα της θάλασσας και υπόγεια συστήματα υδροληψίας που βρίσκονται κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας ή κάτω από αμμώδεις παραλίες.

Τα επιφανειακά συστήματα υδροληψίας, που συχνά αποκαλούνται ανοιχτά συστήματα υδροληψίας (open intakes), επικοινωνούν άμεσα με τον ωκεανό ή τη θάλασσα, όπου το νερό τροφοδοσίας μπορεί να ληφθεί άμεσα από την επιφάνεια των υδάτων ή κάτω από την επιφάνεια των υδάτων μέσω καταδυόμενων αγωγών υδροληψίας.

Τα υπόγεια συστήματα υδροληψίας αντλούν το νερό τροφοδοσίας κάτω από τον βυθό του ωκεανού χρησιμοποιώντας τη φυσική άμμο και τους γεωλογικούς σχηματισμούς για τη φυσική διήθηση των υδάτων. Τα υπόγεια συστήματα υδροληψίας μπορεί να έχουν διανοιχτεί οριζόντια από κεντρικές γεωτρήσεις, μπορεί να έχουν διανοιχτεί με κάποια κλίση από παράκτιες παραλίες, ή να έχουν εκσκαφτεί ώστε να δημιουργούν στρώματα διήθησης. Τα υπόγεια συστήματα υδροληψίας μπορούν να παράγουν υψηλότερης ποιότητας ύδατα τροφοδοσίας για τις μονάδες αφαλάτωσης, μειώνοντας

έτσι τις διεργασίες προ-επεξεργασίας που απαιτούνται για τα συστήματα αφαλάτωσης μέσω μεμβρανών (RO/NF).

Σε αντίθεση, τα συστήματα θερμικής αφαλάτωσης θαλασσινού νερού απαιτούν λιγότερη προ-επεξεργασία από την αντίστροφη όσμωση (RO) και απαιτούν μόνο κοσκίνισμα από σχάρες με σχετικά μεγάλες οπές (coarse screens) για την προστασία του εξοπλισμού των διεργασιών τους. Οι εγκαταστάσεις θερμικής αφαλάτωσης συνήθως χρησιμοποιούν επιφανειακά (ανοιχτά) συστήματα υδροληψίας.

Ο τεχνικός σχεδιασμός, η προμήθεια του εξοπλισμού, και οι δαπάνες κατασκευής για συστήματα υδροληψίας και εκβολής υπολογίζεται σε συνολικά 5 - 7 % του κόστους κεφαλαίου για μονάδες αντίστροφης όσμωσης και μονάδες θερμικής αφαλάτωσης (GWI, 2006a /23/). Λοιπά έξοδα, όπως η παρακολούθηση και οι διάφορες άδειες που χρειάζονται για το έργο, μπορεί να επιβαρύνουν το συνολικό κόστος ενός συστήματος υδροληψίας. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό κόστος για την κατασκευή και τη λειτουργία ενός συστήματος υδροληψίας. Μεταξύ αυτών είναι το είδος του συστήματος υδροληψίας που χρησιμοποιείται, το είδος των παράκτιων συνθηκών, και η απόσταση από το σημείο υδροληψίας μέχρι τη μονάδα αφαλάτωσης.

2.2.2. Επιφανειακά (Ανοιχτά) Συστήματα Υδροληψίας

2.2.2.1. Εισαγωγή /21/

Οι μονάδες θερμικής αφαλάτωσης θαλασσινού νερού και οι μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση (RO) (δηλ. > 38.000 m³/ημέρα ή αλλιώς > 10 εκατομμύρια γαλόνια ανά ημέρα [MGD]) χρησιμοποιούν κυρίως ανοιχτά συστήματα υδροληψίας. Στις δομές της λήψης προστίθενται σχάρες (screens) για να μειωθεί ο αριθμός των θαλάσσιων οργανισμών που προσλαμβάνονται μαζί με το ακατέργαστο νερό της θάλασσας ή του ωκεανού. Η εφαρμογή της τεχνολογίας των σχαρών υπάρχει ήδη από τις αρχές του εικοστού αιώνα στη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας. Οι παλαιότερες σχάρες περιελάμβαναν στο μπροστινό τους άκρο μια σχάρα για τα μπάζα (front-end "rack trash") που αποτελούταν από σταθερές μπάρες που είχαν σκοπό να εμποδίζουν τα μεγάλα μπάζα (debris) από την είσοδο τους στο σύστημα πρόσληψης υδάτων. Οι μετακινούμενες σχάρες (travelling screens) περιστρέφονται και ξεπλένονται περιοδικά με πλύσιμο υψηλής πίεσης. Η εναλλακτική τεχνολογία σχαρών περιλαμβάνει τροποποιημένες μετακινούμενες σχάρες με συστήματα διαχείρισης των ψαριών, σχάρες με πολύ λεπτές οπές (fine-mesh screens), κυλινδρικές σχάρες από σφηνοειδές σύρμα (cylindrical wedge wire screens), φράγματα από δίχτυα για τα ψάρια, περσίδες (louvers), γωνιακές μετακινούμενες σχάρες και κάλυπτρα ταχύτητας (velocity caps) (πηγή: California Water Desalination Task Force, 2003 /24/).

Η ‘πρόσκρουση’ (impingement), που ορίζεται ως η αγκίστρωση και η παγίδευση των ψαριών ή άλλων μεγαλύτερων οργανισμών στα τοιχώματα των σχαρών των συστημάτων υδροληψίας, μπορεί να προκαλέσει σοβαρό τραυματισμό και θάνατο για πολλούς θαλάσσιους οργανισμούς.

Γι’ αυτό έχουν αναπτυχθεί σύγχρονα συστήματα υδροληψίας που μειώνουν σημαντικά το φαινόμενο της ‘πρόσκρουσης’. Για παράδειγμα, ορισμένες σχάρες υδροληψίας μπορούν να υποστούν αντίστροφη πλύση με πεπιεσμένο αέρα. Αυτές οι σχάρες δεν έχουν κινούμενα μέρη, λειτουργούν με πολύ χαμηλή ταχύτητα (για την άμβλυση της ‘πρόσκρουσης’), και γενικά αναφέρονται ως ‘παθητικές σχάρες’.

Μία σχάρα ‘Ristroph’ είναι μια τροποποιημένη μετακινούμενη σχάρα με γεμάτους νερό ανυψούμενους κάδους, οι οποίοι συλλέγουν οργανισμούς που έχουν χτυπηθεί και τους μεταφέρει σε κάποια παράκαμψη, σε κάποια γούρνα, ή σε άλλη προστατευμένη περιοχή. Ομοίως, οι κάδοι ψαριών, που αποτελούνται από επιφάνειες σχάρας μέσα σε πλαίσιο, μπορούν να προσκολληθούν πάνω στις κατακόρυφες μετακινούμενες σχάρες. Τα ψάρια που αφαιρούνται από τη σχάρα συνήθως επιστρέφονται στο νερό μέσω αυλάκων εκροής ή αγωγών.

Οι σχάρες πολύ λεπτών οπών (fine-mesh screens) έχουν οπές διαστάσεων (mesh size) 5 mm ή λιγότερο και έχουν σχεδιαστεί για να αποκλείσουν μεγαλύτερα αυγά, προνύμφες, και πολύ νεαρά ψάρια από το σύστημα υδροληψίας.

Οι κυλινδρικές σχάρες από σφηνοειδές σύρμα (cylindrical wedge wire screens) θα αποκλείσουν οργανισμούς μεγαλύτερους από το ονομαστικό άνοιγμα της σχάρας που είναι από 0,5 έως 10 mm. Το κυλινδρικό τους σχήμα διαχέει την ταχύτητα, επιτρέποντας στους οργανισμούς να ξεφύγουν από το πεδίο ροής, αν και είναι απαραίτητη επαρκής ροή αντίθετης κατεύθυνσης για τη μεταφορά των οργανισμών μακριά από την σχάρα (πηγή: California Water Desalination Task Force, 2003 /24/).

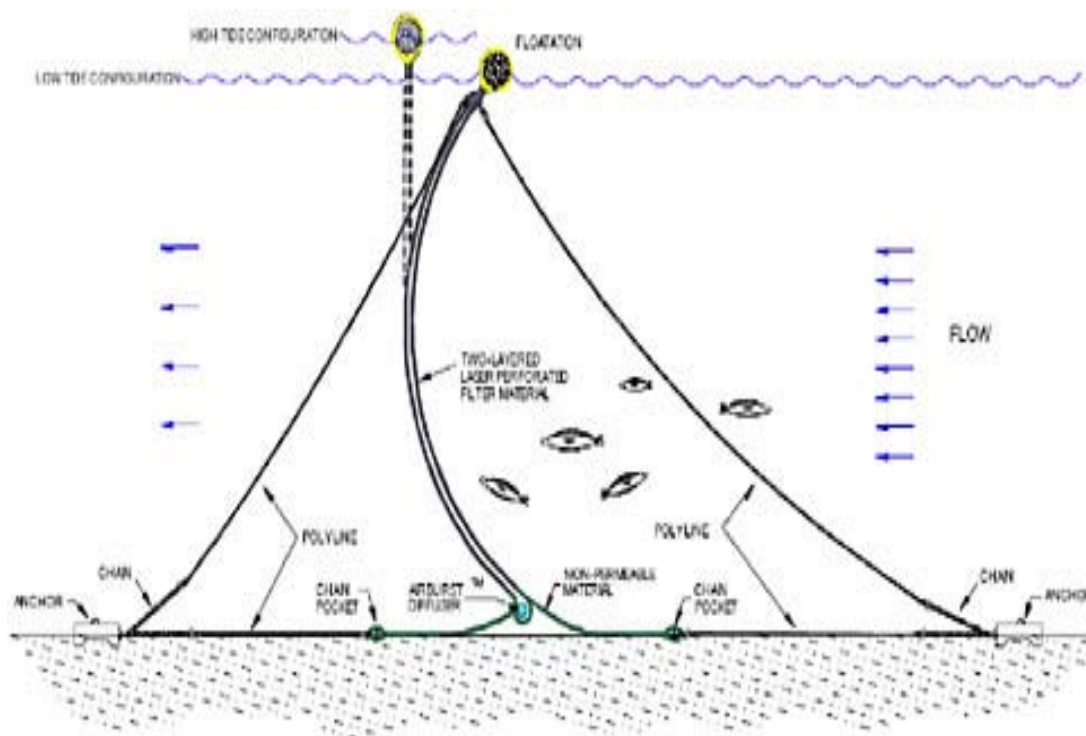
Παρακάτω αναλύεται μια νέα τεχνολογία σχάρας που είναι σήμερα σε εξέλιξη για την αντιμετώπιση του φαινομένου της ‘πρόσκρουσης’ και της ‘συμπαρασύρευσης’ ψαριών και άλλων θαλάσσιων οργανισμών.

Προστατευτικό Φράγμα - Κουρτίνα

Έχει σχεδιαστεί ένα σύστημα αποκλεισμού των ψαριών και γενικά των θαλάσσιων φυτικών και ζωικών οργανισμών για να μειώσει το φαινόμενο της ‘πρόσκρουσης’, καθώς και της ‘συμπαρασύρευσης’. Αυτό το φράγμα που είναι διαπερατό από το νερό (βλέπε σχήμα 2.2) απλώνεται γύρω από τις δομές του συστήματος υδροληψίας, εμποδίζοντας τους υδρόβιους οργανισμούς να πλησιάσουν το σημείο υδροληψίας. Η κουρτίνα είτε αιωρείται από μικρές μεταλλικές ράβδους (billets) επίπλευσης και είναι αγκυροβολημένη στο σημείο υδροληψίας, είτε είναι ενσωματωμένη σε

υφιστάμενες δομές των συστημάτων υδροληψίας της ακτογραμμής. Σφραγισμένη έναντι του θαλάσσιου πυθμένα και των δομών της ακτογραμμής, η κουρτίνα-φράγμα περιβάλλει πλήρως τη δομή του συστήματος υδροληψίας, εμποδίζοντας έτσι στοχευμένους πλαγκτονικούς και βενθικούς οργανισμούς να εισέλθουν στο σύστημα υδροληψίας. Επειδή η επιφάνεια της κουρτίνας είναι μεγάλη σε σύγκριση με με ένα κόσκινο υδροληψίας, η ταχύτητα του νερού καθώς περνάει μέσα από την κουρτίνα είναι έως και 98 τοις εκατό μικρότερη από την ταχύτητα κοντά στην δομή της υδροληψίας. Η χαμηλή ταχύτητα του νερού δίνει τη δυνατότητα να απομακρυνθούν από το φράγμα ακόμη και μικρές προνύμφες των ψαριών. Η τεχνολογία αυτή έχει κατά κύριο λόγο χρησιμοποιηθεί σε παραποτάμια περιβάλλοντα, ενώ συγχρόνως γίνονται δοκιμές σε θαλάσσιες συνθήκες για να εξεταστεί η αντοχή της, η ευαισθησία της σε ρύπανση (έμφραξη) από σχηματισμό επικαθήσεων, και οι απαιτήσεις της για καθαρισμό (πηγή: McCusker και άλλοι, 2007 - Mirant Lovett, 2006 - San Francisco Bay Conservation and Development Commission, 2005 /25, 26, 27/).

Σχήμα 2.2: Κουρτίνα σχεδιασμένη ώστε να μειώνονται οι ταχύτητες υδροληψίας και τα ελαχιστοποιούνται τα φαινόμενα ‘πρόσκρουσης’ και ‘συμπαρασύρευσης’. (πηγή: McCusker και άλλοι., 2007 /25/)



Περσίδες

Οι περσίδες είναι μια σειρά κάθετων πάνελ (πλαισίων), που τοποθετούνται κάθετα προς τη ροή που υπάρχει πλησίον του σημείου υδροληψίας. Δημιουργούν ένα νέο πεδίο ταχύτητας που μεταφέρει τα ψάρια μακριά από το σημείο υδροληψίας και τα οδηγεί σε μια παρακαμπτήρια διαδρομή. Οι περσίδες στηρίζονται κυρίως στην ικανότητα των ψαριών να αναγνωρίσουν το νέο πεδίο ροής και να κολυμπήσουν μακριά. Έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία όσον αφορά τη μείωση του φαινομένου της ‘πρόσκρουσης’, αλλά δεν είναι αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση της ‘συμπαρασύρευσης’ των αυγών και των προνυμφών (πηγή: California Water Desalination Task Force, 2003 /24/).

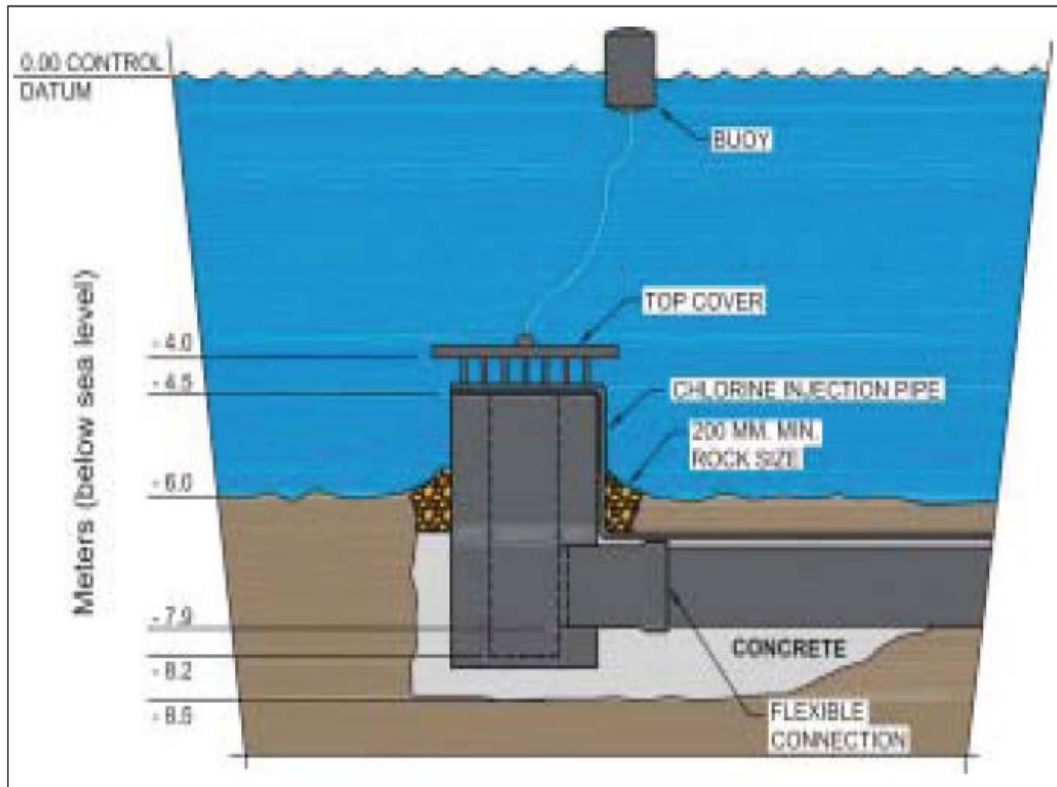
Υπεράκτια Συστήματα Υδροληψίας

Στις περιπτώσεις αφαλάτωσης θαλασσινού νερού από πλατφόρμες που βρίσκονται στα ανοιχτά μέσα σε θάλασσες και ωκεανούς, παρουσιάζεται επίσης μείωση στα φαινόμενα της ‘πρόσκρουσης’ και της ‘συμπαρασύρευσης’. Σ’ αυτές τις υπεράκτιες μονάδες, η εγκατάσταση επεξεργασίας νερού τοποθετείται σε ύδατα με μεγάλα βάθη μακριά από περιβαλλοντικά ευαίσθητες παράκτιες περιοχές. Μια πρόσφατη προσέγγιση χρησιμοποιεί τηλεσκοπικά συστήματα υδροληψίας για την παράκαμψη της φωτικής ζώνης, όπου ζει το μεγαλύτερο μέρος των θαλάσσιων οργανισμών. Αυτά τα βαθύτερα ύδατα περιέχουν επίσης λιγότερα αιωρούμενα στερεά, μειώνοντας έτσι την απαιτούμενη προ-επεξεργασία.

2.2.2.2. Κάλυπτρο Ταχύτητας – Παθητικές Σγάρες

Κάλυπτρο Ταχύτητας (Velocity Cap)

Οι περισσότερες μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση (SWRO) χρησιμοποιούν τα καθιερωμένα υπεράκτια συστήματα υδροληψίας (offshore intakes) για την τροφοδοσία τους με θαλασσινό νερό /1/. Τα συστήματα αυτά συνήθως χρησιμοποιούν κάποιο τύπο του σχεδιασμού ‘κάλυπτρο ταχύτητας’ (velocity-cap), ο οποίος περιλαμβάνει φαρδιές μπάρες (ράβδους) στην είσοδο του νερού και πολύ αργές ταχύτητες εισόδου για τη μείωση του φαινομένου της συμπαρασύρευσης θαλάσσιων οργανισμών και της εισαγωγής τους στη μονάδα προ-επεξεργασίας του νερού (Σχήμα 2.3).



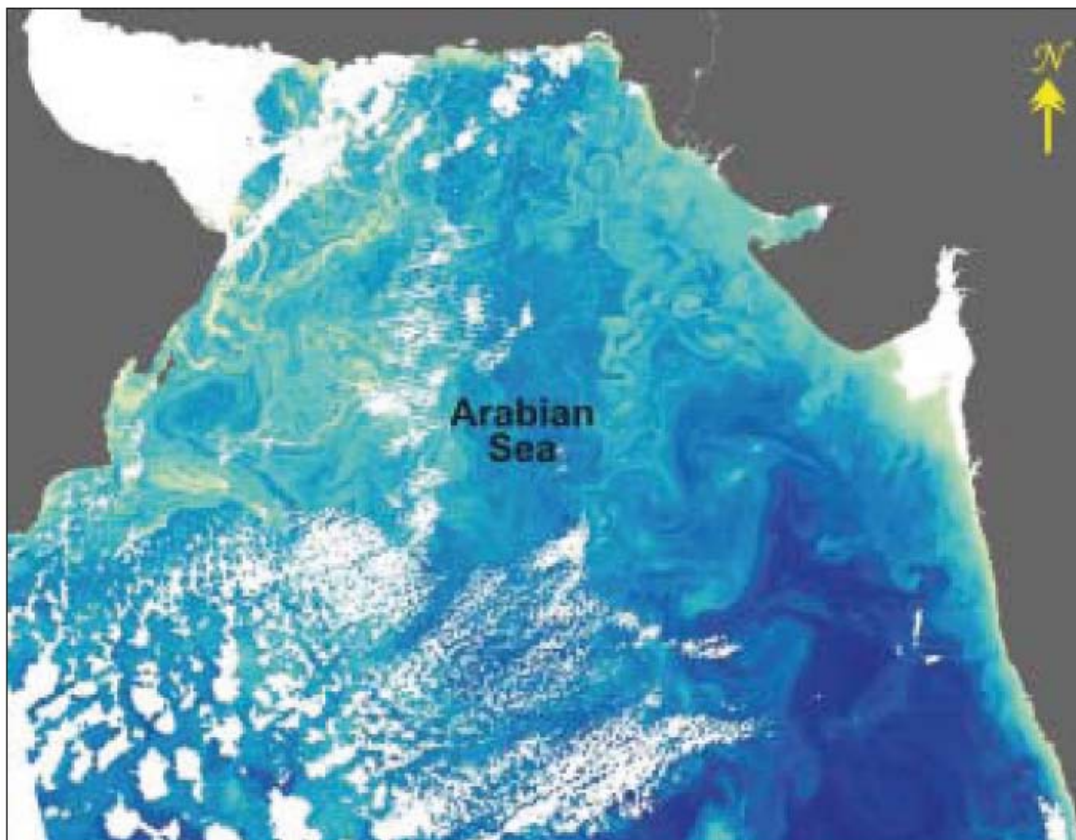
Σχήμα 2.3: Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος υδροληψίας θαλασσινού νερού με ‘καπάκι (κάλυπτρο) ταχύτητας’ (velocity-cap), στο Sir Bani Yas, στο Αμπού Ντάμπι στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (πηγή: Missimer, 2009, Schlumberger Water Services (SWS) /1/).

Συνήθως, οι θαλάσσιοι οργανισμοί θα τείνουν να αναπτύσσονται ταχύτατα πάνω στο σύστημα υδροληψίας θαλασσινού νερού και απαιτείται απομάκρυνση με φυσικό τρόπο (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4: Το σύστημα υδροληψίας θαλασσινού νερού με ‘καπάκι ταχύτητας’ (velocity-cap), σε μονάδα αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού στο Περθ της Αυστραλίας μετά από 18 μήνες λειτουργίας. Σημειώνεται η βαριά ανάπτυξη θαλάσσιων οργανισμών μέσα στις σχισμές εισαγωγής του νερού, η οποία απαιτεί καθαρισμό με το χέρι.
(πηγή: Water Corporation and Tom Pankratz).

Αν και ένα σύστημα υδροληψίας θαλασσινού νερού με ‘κάλυπτρο ταχύτητας’ μπορεί να παρέχει πολύ μεγάλες ποσότητες ακατέργαστου θαλασσινού νερού ώστε να εισέλθει αποτελεσματικά στις μονάδες αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού (SWRO), επιτρέπει επίσης το να συμπαρασύρονται μπάζα/θραύσματα (debris) και θαλάσσιοι οργανισμοί, με μεγάλη διακύμανση στο μέγεθος τους, και να εισέρχονται μέσα στις εγκαταστάσεις όπου πραγματοποιείται η προ-επεξεργασία του νερού πριν αυτό εισέλθει στις μεμβράνες (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Ανάπτυξη πράσινης άλγης μέσα στην Αραβική Θάλασσα από μια φωτογραφία της NASA. Η ίδια αυτή περιοχή υπόκειται σε άνθηση κόκκινης παλιρροιακής άλγης με έναν επαναληπτικό ρυθμό κάθε περίπου 3 χρόνια. Η μεγάλη συγκέντρωση άλγης (φύκια) σε μια κόκκινη παλιρροιακή άνθιση κατά την περίοδο 2007-2008 είχε ως αποτέλεσμα να κλείσουν πολλές μονάδες αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού στην Αραβική Θάλασσα και τον Περσικό Κόλπο.

Ως εκ τούτου, η πολυπλοκότητα του συστήματος προ-επεξεργασίας πρέπει να μεγιστοποιηθεί, γεγονός που οδηγεί σε υψηλότερα κόστη της συνολικής επεξεργασίας του θαλασσινού νερού. Κάθε μεμονωμένη διεργασία προ-επεξεργασίας που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την αποφυγή του σχηματισμού φυσικών και βιολογικών επικαθήσεων (fouling) στις μεμβράνες του 1^{ου} σταδίου του συνολικού συστήματος της αντίστροφης όσμωσης (σε σύστημα πολλαπλών σταδίων) ανεβάζει τόσο το αρχικό κόστος κεφαλαίου όσο και το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης.

Παθητικές Σχάρες

Μία βελτίωση σε ένα σύστημα πρόσληψης θαλασσινού νερού με ‘κάλυπτρο ταχύτητας’ (velocity-cap), είναι η τοποθέτηση παθητικών σχαρών (screens) πάνω στο σημείο εισαγωγής του υπεράκτιου συστήματος υδροληψίας ή του αγωγού του συστήματος υδροληψίας (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Παθητική σχάρα που καθαρίζεται με ριπές αέρα (πηγή: Johnson Screens and Tom Pankratz, τροποποιήθηκε από Missimer το 2009 /1/).

Η παθητική σχάρα αποτρέπει την είσοδο μεγαλύτερων μάζων/θραυσμάτων (debris) μέσα στις εγκαταστάσεις προ-επεξεργασίας. Ως εκ τούτου, το κόστος κεφαλαίου για την κατασκευή των σχαρών μπορεί κατά κανόνα να εξαιρεθεί, όπως συμβαίνει και με το κόστος λειτουργίας για τη διάθεση των μεγάλων ποσοτήτων από θαλάσσια μάζα (debris). Οι παθητικές σχάρες απαιτούν συντήρηση, αλλά όταν είναι εφοδιασμένες με συστήματα καθαρισμού (όπως καθαρισμός με ριπές αέρα ή άλλο ισοδύναμο σύστημα), τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης είναι γενικά αρκετά χαμηλά. Επίσης, αυτές οι σχάρες μπορούν να κατασκευάζονται από ειδικά κράματα χαλκού / νικελίου που είναι ανθεκτικά ως προς τη διάβρωσή τους και περιορίζουν την ανάπτυξη θαλάσσιων οργανισμών.

Το κόστος κεφαλαίου των εξειδικευμένων ανοιχτών συστημάτων υδροληψίας από ωκεανούς (openocean intakes) (δηλαδή, σήραγγες) μπορεί να είναι μέχρι και το 50% του συνολικού κόστους όλης της εγκατάστασης όπως αποδεικνύεται από πρόσφατα, μεγάλα έργα αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού (SWRO) που κατασκευάζονται ή είναι υπό σχεδιασμό στην Αυστραλία.

Πολλά συστήματα αντίστροφης όσμωσης θαλασσιών υδάτων (SWRO) σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν εδώ και δεκαετίες διηθητικού τύπου συστήματα υδροληψίας

/1/. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές τις εγκαταστάσεις SWRO έχουν γενικά χαμηλής έως μέτριας δυναμικότητας, όσον αφορά την ημερήσια παραγωγικότητά τους.

Επιπλέον, τα τυπικά διηθητικού τύπου συστήματα υδροληψίας είναι συμβατικά, κάθετα συστήματα γεωτρήσεων, που συνήθως αναφέρονται ως παραλιακές γεωτρήσεις. Οι πιο πρόσφατες σχεδιαστικές καινοτομίες, που επιτρέπουν την σχετικά οικονομική παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων υδάτων που προέρχονται από φυσική επεξεργασία των ακατέργαστων υδάτων, δεν έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν.

2.2.3. Υπόγεια Συστήματα Υδροληψίας

2.2.3.1. Εισαγωγή

Τα συστήματα υδροληψίας τύπου διήθησης ονομάζονται έτσι επειδή το αρχικό ακατέργαστο θαλασσινό νερό πριν εισέλθει στις εγκαταστάσεις της προ-επεξεργασίας πρέπει πρώτα να περάσει μέσα από φυσικά πετρώματα και ιζήματα ή από τεχνητά φίλτρα που είναι κατασκευασμένα πάνω στην παραλία ή μέσα στον υπεράκτιο θαλάσσιο πυθμένα. Με την αξιοποίηση αυτής της φυσικής (ή τεχνητής) διήθησης, τα υπόγεια συστήματα υδροληψίας μπορούν να μειώσουν την ποσότητα του Συνολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) και των Συνολικών Αιωρούμενων Στερεών (TSS), μειώνοντας έτσι την προ-επεξεργασία που απαιτείται για τα συστήματα αφαλάτωσης με μεμβράνες με αποτέλεσμα να μειώνονται παράλληλα και οι σχετικές δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης.

Επιπροσθέτως, η άντληση υδάτων από υπόγεια συστήματα υδροληψίας ενδέχεται υπό ορισμένους όρους, να αραιώσει το θαλασσινό νερό με υπόγειο νερό χαμηλότερης αλατότητας από το θαλασσινό, μειώνοντας έτσι τα Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS), δηλαδή την αλατότητα, στο νερό που λαμβάνεται από το σύστημα υδροληψίας.

Υπάρχουν 5 κύριες κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα παράκτια υπόγεια συστήματα υδροληψίας. Αυτές περιλαμβάνουν τις κάθετες (ή παραλιακές) γεωτρήσεις, τις γεωτρήσεις συλλέκτη (ή αλλιώς γεωτρήσεις Ranney), τις οριζόντιες γεωτρήσεις (ή αλλιώς γεωτρήσεις με κατεύθυνση ή γεωτρήσεις με κλίση), τις παραλιακές στοές και τα φίλτρα του θαλάσσιου πυθμένα.

Η επιλογή του τύπου του υπόγειου συστήματος υδροληψίας που θα χρησιμοποιηθεί για κάποια συγκεκριμένη μονάδα αφαλάτωσης γίνεται με βάση τις τοπικές φυσικές συνθήκες της τοποθεσίας της μονάδας, τη γεωλογία και υδρογεωλογία, και την ποσότητα του ακατέργαστου νερού που απαιτείται για την τροφοδοσία της μονάδας.

2.3. Βιβλιογραφία

1. Water supply development, aquifer storage, and concentrate disposal for membrane water treatment facilities (Second Addition), Missimer TM, Schlumberger Water Services, Methods in Water Resources Evaluation Series No 1, (2009)
2. Initial evaluation of the subfloor water intake structure (SWISS) vs conventional multi-media pretreatment techniques, Lovo R, Desalination Research and Development Program Report No. 66, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, (2001)
3. Use of advanced tools for monitoring performance of seawater pretreatment Processes, Leparc J, Schotter JC, Rapenne S, Crouse JP, Labaron P, Lafon D, Gaid K, Proceedings of the International Desalination Association World Conference on Desalination and Water Reuse, Maspalomas, Gran Canaria, Spain, IDAWC/MP07-124, (2007)
4. Beach wells for large-scale reverse osmosis plant: The Sur case study, David B, Pinot J, Morillon M, Proceedings of the International Desalination Association World Congress on Desalination and Water Reuse, Dubai, UAE, DB09-16, (2009)
5. New and innovative sea water intake system for the desalination plant at San Pedro del Pinatar, Farinas M, Lopez LA, Desalination, v. 249, Issue 3, (2006)
6. Technical evaluation of Ranney collectors for raw water supply to seawater reverse osmosis treatment facilities, Missimer TM, Proceedings of the International Desalination Association World Congress on Desalination and Water Reuse, Madrid, Spain, v. 1, (1997)
7. Thorough study is key to large beach-well intakes, Voutchkov N, Desalination & Water Reuse Quarterly, (2004)
8. Self-cleaning beach gallery design for seawater desalination plants, Maliva RG, Missimer TM, Desalination and Water Treatment, doi: 10.5004/dwt.3010.1053. (2010)
9. Developing a protocol to evaluate new generation membranes for desalting brackish groundwater, Kumar M, Adham S, Pearce W, Journal of the American Water Works Association, v. 98, no 4, (2006)
10. Evaluating seawater energy recovery, Moch I, Proceedings of the American Membrane Technology Association Annual Conference, Las Vegas, Nevada, (2007)

11. Desalination and advanced water treatment, economics and financing, Sommariva C, Balaban Desalination Publications, Hopkinton, MA, (2010)
12. Desalination in Spain, a run for lower power consumption, Medina San Juan JA, Torres Correl M, Proceedings of the World Conference on Desalination and Water Reuse, San Diego, California, (1999)
13. Pretreatment cost evaluation of surface-water versus alternative intake systems for seawater membrane water treatment plants, Wright RR, Missimer TM, Proceedings of the International Desalination Association World Congress on Desalination & Water Reuse, Madrid, Spain, v 3, (1997)
14. Aquifer storage and recovery and managed aquifer recharge using wells: Planning, hydrogeology, design, and operation., Maliva RG, Missimer TM, Schlumberger Water Services, Methods in Water Resources Evaluation No 2, (2010)
15. Efficiency improvement of co-located electric power and seawater desalination plants using aquifer storage and recovery technology, Missimer TM, Maliva RG, Proceedings of Singapore Water Week 2010, Singapore, (2010)
16. Alternative designs to replace conventional surface-water intakes for membrane treatment facilities, Missimer TM, Horvath LE, Proceedings of the International Desalination Association World Congress on Desalination and Water Reuse, Washington, D.C., (1991)
17. Innovations perform well in first year of operation, Hamano T, Tsuge H, Goto T, International Desalination & Water Reuse Quarterly, v. 16, no. 1, (2006)
18. Seawater reverse osmosis with isobaric energy recovery devices, Stover RL, Desalination, v 203, (2007)
19. Power-desalination and the importance of hybrid ideas, Awerbuch L, Proceedings of the International Desalination Association World Congress on Desalination and Water Reuse, Madrid, Spain, v. IV, (1997)
20. Water supply development for membrane water treatment facilities, Missimer TM, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, (1994)
21. Desalination: A National Perspective, Chapter 4: State of the Technology, Committee on Advancing Desalination Technology, Water Science and Technology Board, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National

Academies, The National Academies Press, Washington, D.C., USA, (2008)
www.nap.edu

22. The USAID Desalination Manual. Englewood Cliffs, Buross O. K., R. B. Cox, I. Nusbaum, A. M. El-Nashar, and R. Bakish, NJ: IDEA Publications. (1980)

23. Management Practices for Feedwater Intakes and Concentrate Disposal for Seawater Desalination - Synthesis Paper, California Water Desalination Task Force, (2003).

Available online at:

http://www.owue.water.ca.gov/recycle/desal/Docs/ManagementPracticesIntake_Disposal.doc. Accessed November 16, 2007.

24. Desalination Markets 2007: A Global Forecast, GWI (Global Water Intelligence). 2006a, Oxford, UK: Media Analytics Ltd.

25. Intake Arrangement to Mitigate the Environmental Effects of Surface Water Withdrawal. McCusker A. J., B. G. Dove, H. B. Dreyer, S. J. Fletcher, M. A. Hamlin, and K. M. Nordfors. 2007. Presentation at IDA World Congress, Gran Canaria, (2007)

26. Gunderboom MLES Evaluation Study at the Lovett Generating Station, Mirant Lovett LLC. Tomkins, New York, Results of 2005 biological monitoring. Prepared by ASA Analysis & Communication, Inc., Washingtonville, NY, January. (2006)

27. Desalination and San Francisco Bay, San Francisco Bay Conservation and Development Commission, San Francisco, CA: San Francisco Bay Conservation and Development Commission. (2005)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΧΗΜΕΙΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

3.1. Χημεία Νερού - Επεξήγηση Βασικών Όρων και Παραμέτρων /10, 13/

ppm (μέρη ανά εκατομμύριο): Μια μέθοδος για να εκθέσει τη συγκέντρωση ενός ιόντος ή μιας ουσίας σε ένα νερό. Οι ακόλουθες μετατροπές ισχύουν για τα αραιά νερά με μια συγκεκριμένη πυκνότητα 1.0:

Ένα ppm είναι ίσο με ένα mg/L.

1 grain per U.S. Gallon = 17.1 ppm.

1 Pound per 1,000 U.S. Gallons = 120 ppm.

Ένα διάλυμα ενός τοις εκατό είναι ίσο με 10.000 ppm.

Ένα ppm είναι ίσο με 1.000 ppb.

ppb (μέρη ανά δισεκατομμύριο): Μια μέθοδος για να εκθέσει τη συγκέντρωση ενός ιόντος ή μιας ουσίας σε ένα νερό. Οι ακόλουθες μετατροπές ισχύουν για τα αραιά νερά με μια συγκεκριμένη πυκνότητα 1.0:

Ένα ppb είναι ίσο με ένα μικρογραμμάριο ανά λίτρο (ug/L ή μg/L).

Ένα ppm είναι ίσο με 1.000 ppb.

Κατιόντα και Ανιόντα: Τα κατιόντα είναι ιόντα με μια θετική κατάσταση σθένους (είναι πρόθυμα να δεχτούν ηλεκτρόνια) και έχουν τη δυνατότητα να αντιδράσουν με τα ανιόντα που είναι ιόντα με μια αρνητική κατάσταση σθένους (έχουν πρόσθετα ηλεκτρόνια για να δώσουν). Η διανομή των ηλεκτρονίων μεταξύ ανιόντων και κατιόντων δημιουργεί το φαινόμενο της ηλεκτρικής ουδετερότητας. Παραδείγματος χάριν, το ιόν ασβεστίου είναι ένα δισθενές κατιόν και θα συνδυαστεί με δύο μονοσθενή χλωριούχα ιόντα για να διαμορφώσει το ηλεκτρικά ουδέτερο άλας γνωστό ως χλωριούχο ασβέστιο.

Μια ισορροπημένη ανάλυση νερού θα έχει την ίδια συγκέντρωση κατιόντων και ανιόντων όταν αυτά εκφράζονται ως 'ppm ως ανθρακικό ασβέστιο' ή ως meq/L. Δηλαδή όταν αθροίζουμε τις συγκεντρώσεις των κατιόντων εκπεφρασμένες σε mg/L ως CaCO₃, θα πρέπει το άθροισμα να ισούται με το αντίστοιχο άθροισμα των ανιόντων. Στην πράξη, γενικά μια ανάλυση νερού θεωρείται ισορροπημένη αν η απόκλιση του αθροίσματος των κατιόντων σε σχέση με το άθροισμα των ανιόντων είναι έως και 5%.

Το διοξείδιο του πυριτίου (πυριτία-SiO₂), ένα πολύ αδύνατο ανιόν, δεν χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την ιοντική ισορροπία των κατιόντων και των ανιόντων (αν και χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των TDS (Συνολικά Διαλυμένα Στερεά)).

Ιοντική Ισχύς: η διαλυτότητα των μετρίως διαλυτών αλάτων αυξάνεται με την αύξηση της αγωγιμότητας του παρεχόμενου προς επεξεργασία νερού. Για να λάβουμε υπόψη το παραπάνω κατά τον υπολογισμό της διαλυτότητας ενός άλατος (π.χ. θειικό ασβέστιο, θειικό βάριο, θειικό στρόντιο ή του SDSI), υπολογίζεται η ιοντική ισχύς του νερού. Η ιοντική ισχύς του κάθε ιόντος προέρχεται από τη λήψη της συγκέντρωσης κάθε ιόντος σε ppm (ως ανθρακικό ασβέστιο) και πολλαπλασιάζοντας κάθε μονοθενές ιόν επί 1×10^{-5} και κάθε δισθενές ιόν επί 2×10^{-5} . Αθροίζοντας την ιοντική ισχύ όλων των ιόντων τότε προκύπτει η συνολική Ιοντική Ισχύς του νερού.

meq/L: Μια μέθοδος αναφοράς της συγκέντρωσης ή του 'ισοδύναμου' βάρους των ιόντων ή ουσιών σε ένα δεδομένο όγκο νερού ως χιλιοστο-ισοδύναμα ανά λίτρο (milli-equivalents per liter). Τα meq/L υπολογίζονται διαιρώντας τα mg/L δια του 'ισοδύναμου' βάρους των ιόντων ή ουσιών. Η αναφορά της συγκέντρωσης των ιόντων ως meq/L είναι δημοφιλής στους χημικούς που ασχολούνται με την αντίστροφη όσμωση προκειμένου να καθοριστεί εάν μια ανάλυση νερού είναι 'ισορροπημένη', δηλαδή εάν το άθροισμα των κατιόντων ισούται με το άθροισμα των ανιόντων.

Επίσης τα meq/L, είναι ίσα ίση με τα millimoles ανά λίτρο (mM^+/L ή mM^-/L , ανάλογα με το σθένος). Ένα mole περιέχει $6,022 \times 10^{23}$ μόρια. Πχ, ένα μόριο ασβεστίου περιέχει $6,022 \times 10^{23}$ άτομα ασβεστίου. Ένα millimole είναι το 1/1000 του mole.

mg/L: Μια μέθοδος αναφοράς του 'πραγματικού' βάρους (mg) ιόντων ή ουσιών σε ένα συγκεκριμένο όγκο νερού (liters). Για αραιά διαλύματα, mg/l και ppm είναι ισοδύναμα. Για παράδειγμα, 1.000 mg/L (ppm) διαλύματος χλωριούχου νατρίου θα αφήσουν υπόλειμμα 1.000 mg NaCl μετά την εξάτμιση ενός λίτρου νερού. Οι χημικοί που ασχολούνται με την αντίστροφη όσμωση (RO) χρησιμοποιούν τα mg/L συχνά κατά τον υπολογισμό των TDS.

3.2. Συστήματα Προ-Επεξεργασίας

3.2.1. Εισαγωγή

Για να αυξηθεί η αποδοτικότητα και η διάρκεια ζωής των συστημάτων αντίστροφης όσμωσης και νανοδιήθησης (RO / NF), είναι απαραίτητη η αποτελεσματική προ-επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας των μεμβρανών. Η επιλογή της κατάλληλης προ-επεξεργασίας θα μεγιστοποιήσει την αποτελεσματικότητα και τη διάρκεια ζωής της μεμβράνης με την ελαχιστοποίηση:

- του σχηματισμού και της εναπόθεσης φλοιού από δυσδιάλυτα άλατα (πουρί), όπως π.χ. από ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου (scaling) και γενικά του σχηματισμού στρώματος ανεπιθύμητου υλικού (fouling) πάνω στις επιφάνειες της μεμβράνης.
- της αποδόμησης, σταδιακής αποσύνθεσης, ποιοτικής υποβάθμισης της μεμβράνης.

και παράλληλα τη βελτιστοποίηση:

- του ρυθμού ροής του παραγόμενου νερού.
- της ποιότητας του παραγόμενου νερού (καλύτερη απόρριψη αλάτων).
- της ανάκτησης του παραγόμενου νερού (δηλαδή τον λόγο παραγόμενου προς παρεχόμενου νερού)
- του κόστους λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος των μεμβρανών.

Σχηματισμός επικαθήσεων στη μεμβράνη (fouling) είναι η συσσώρευση ξένων υλικών που εμπεριέχονται στο νερό τροφοδοσίας πάνω στην ενεργή επιφάνεια της μεμβράνης ή / και πάνω στον αποστάτη του νερού της παροχής (feed spacer), σε σημείο που να προκαλούνται λειτουργικά προβλήματα. Ο όρος fouling περιλαμβάνει τη συσσώρευση από στρώματα όλων των ειδών πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης και του αποστάτη του νερού της παροχής, συμπεριλαμβανομένων των καθαλατώσεων (scaling). Πιο συγκεκριμένα, οι κολλοειδείς επικαθήσεις (colloidal fouling) αναφέρονται στην παγίδευση σωματιδιακής ή κολλοειδούς ύλης, όπως συσσωματώματα σιδήρου ή ιλύς, βιοεπικαθήσεις (biofouling) είναι η ανάπτυξη ενός λεπτού στρώματος βιολογικού υλικού (biofilm) από φυτικούς και ζωικούς μικροοργανισμούς, και οργανικές επικαθήσεις (organic fouling) είναι η προσρόφηση συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων, όπως χουμικές ουσίες και λάδι, πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης. Ο σχηματισμός καθαλατώσεων (scaling) αναφέρεται στην κατακρήμιση (καθίζηση) και εναπόθεση στο εσωτερικό του συστήματος μεμβρανών κάποιων ελάχιστα διαλυτών αλάτων, συμπεριλαμβανομένων του ανθρακικού ασβεστίου, του θειικού βαρίου, του θειικού ασβεστίου, του θειικού στροντίου και του φθοριούχου ασβεστίου.

Η προ-επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας πρέπει να περιλαμβάνει μια συνολική προσέγγιση του συστήματος για συνεχή και αξιόπιστη λειτουργία. Για παράδειγμα, ένας ακατάλληλα σχεδιασμένος ή με λάθος τρόπο λειτουργίας διαυγαστήρας (clarifier) θα έχει ως αποτέλεσμα την υπερφόρτωση του φίλτρου άμμου ή του πολυστρωματικού φίλτρου πέρα από τα όρια λειτουργίας τους. Μια τέτοια ανεπαρκής προ-επεξεργασία συνήθως απαιτεί συχνό καθαρισμό των μεμβρανών για την αποκατάσταση της παραγωγικότητας και της απόρριψης αλάτων που παρουσιάζουν κανονικά. Το κόστος του καθαρισμού, του χρόνου διακοπής λειτουργίας του συστήματος και της απολεσθείσας απόδοσης του συστήματος μπορεί να είναι σημαντικό.

Η σωστή προ-επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας των μεμβρανών εξαρτάται από:

- Την προέλευση του παρεχόμενου νερού (επεξεργασμένο ή ανεπεξεργαστο νερό από γεώτρηση, επιφανειακά νερά - λίμνη, ποτάμι, θαλασσινό νερό, δημοτικό δίκτυο ύδρευσης).
- Την σύνθεση του παρεχόμενου νερού, δηλαδή την ακριβή περιεκτικότητά του σε διάφορες ουσίες και άλατα.
- Το είδος της εφαρμογής (αν είναι π.χ. για οικιακή, εργαστηριακή, βιομηχανική, αρδευτική, νοσοκομειακή χρήση)

Το είδος του συστήματος προ-επεξεργασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πηγή του νερού τροφοδοσίας (δηλαδή, νερό γεώτρησης, επιφανειακά ύδατα, καθώς και αστικά λύματα). Σε γενικές γραμμές, το νερό γεώτρησης είναι μια συνεπής πηγή παροχής (σταθερή σε σύνθεση) που έχει χαμηλό δυναμικό για σχηματισμό επικαθήσεων στις μεμβράνες (fouling potential). Το νερό γεώτρησης συνήθως απαιτεί ένα πολύ απλό σύστημα προ-επεξεργασίας, όπως η οξίνιση (acidification) και / ή η χορήγηση αντικαθαλατωτικού (antiscalant) με δοσομετρική αντλία καθώς και ένα φίλτρο φυσιγγίου (cartridge filter) με πόρους διαμέτρου 5 μm (αυτό σημαίνει ότι όσα σωματίδια έχουν διάμετρο πάνω από 5 μm συγκρατούνται από το φίλτρο, το οποίο όταν στομώσει χρειάζεται αντικατάσταση).

Από την άλλη πλευρά, τα επιφανειακά νερά είναι μια μεταβλητή πηγή παροχής που επηρεάζεται από εποχικούς παράγοντες. Έχει υψηλό δυναμικό για σχηματισμό τόσο μικροβιολογικών όσο και κολλοειδών επικαθήσεων στις μεμβράνες (fouling potential). Η προ-επεξεργασία για τα επιφανειακά ύδατα είναι πιο περίπλοκη και λεπτομερής από ό, τι η προ-επεξεργασία για το νερό γεώτρησης. Τα πρόσθετα στάδια προ-επεξεργασίας περιλαμβάνουν συχνά χλωρίωση, κροκίδωση / θρόμβωση, διαύγαση (ραφινάρισμα), διήθηση πολλαπλών μέσων (πολυστρωματικό φίλτρο, πολλαπλό στρώμα διύλισης), αποχλωρίωση, οξίνιση και / ή χορήγηση αντικαθαλατωτικού με δοσομετρική αντλία.

Τα βιομηχανικά και αστικά λύματα έχουν μια μεγάλη ποικιλία από οργανικά και ανόργανα συστατικά. Ορισμένοι τύποι των οργανικών συστατικών μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης / νανοδιήθησης, προκαλώντας σοβαρή απώλεια της ροής και / ή αποδόμηση, σταδιακή αποσύνθεση της μεμβράνης (οργανική ρύπανση - organic fouling), κάνοντας επιτακτικό ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα προ-επεξεργασίας.

Αφού καθοριστεί η πηγή του νερού τροφοδοσίας των μεμβρανών έχει, θα πρέπει να γίνει μια πλήρης και ακριβής ανάλυση αυτού του νερού.

Η σημασία της ανάλυσης του νερού τροφοδοσίας των μεμβρανών δεν μπορεί να υπερτονισθεί. Είναι ζωτικής σημασίας για τον καθορισμό του κατάλληλου σχεδιασμού του συστήματος προ-επεξεργασίας και του συστήματος των μεμβρανών RO / NF.

Τέλος, το είδος της εφαρμογής (και άρα οι προδιαγραφές για τη σύνθεση και την ποιότητα του παραγόμενου νερού) συχνά προσδιορίζει τον τύπο ή την έκταση της απαιτούμενης προ-επεξεργασίας του νερού τροφοδοσίας ενός συστήματος μεμβρανών RO / NF. Για παράδειγμα, η προ-επεξεργασία σε μια εφαρμογή ηλεκτρονικών μπορεί να είναι πολύ πιο περίπλοκη από ό, τι για ένα δημοτικό δίκτυο ύδρευσης, λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων της ποιότητας του παραγόμενου νερού.

Η προ-επεξεργασία είναι μια αδιάκοπη διαδικασία επεξεργασίας του νερού πριν από μια συνεχή επεξεργασία του νερού μέσω μεμβρανών. Τα χημικά που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του νερού μπορούν να χορηγούνται συνεχώς ή περιοδικά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος RO / NF.

3.2.2. Τύποι και Ανάλυση του Νερού Τροφοδοσίας των Μεμβρανών

Οι σημαντικότεροι τύποι υδάτων που υφίστανται επεξεργασία από συστήματα RO / NF μπορούν γενικά να χαρακτηριστούν από την περιεκτικότητά τους σε Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS) και το οργανικό τους φορτίο (Συνολικός Οργανικός Άνθρακας, TOC), βλέπε σχήμα 3.1.

Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, υπάρχουν οι εξής τύποι υδάτων:

- Πολύ χαμηλής αλατότητας*, υψηλής καθαρότητας ύδατα (HPW – High Purity Waters) που προέρχονται από σύστημα RO που αποτελεί το πρώτο στάδιο επεξεργασίας σε συστήματα διπλής διήθησης RO (δηλαδή νερό που είναι το διήθημα του 1^{ου} σταδίου και συγχρόνως η παροχή του 2^{ου} σταδίου) ή από το τελευταίο στάδιο του καθαρισμού (polishing stage) σε συστήματα υπερκάθαρου νερού σε (UPW – Ultra Pure Water), με TDS έως και 50 mg/L (ppm).

- Χαμηλής αλατότητας νερά βρύσης (δηλ. δημοτικού δικτύου) με TDS έως 500 mg/L.
- Μέσης αλατότητας υπόγεια ύδατα με υψηλή φυσική οργανική ύλη (NOM – Natural Organic Matter) και TDS έως 5.000 mg/L.
- Μέσης αλατότητας υφάλμυρα ύδατα, με TDS έως 5.000 mg/L.
- Μέσης αλατότητας τριτογενή λύματα (προϊόντα τριτογενούς επεξεργασίας λυμάτων) με υψηλά επίπεδα TOC και Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD) και TDS έως 5.000 mg/L.
- Υψηλής αλατότητας υφάλμυρα ύδατα με TDS στο εύρος από 5.000-15.000 mg/L.
- Θαλασσινό νερό με TDS της τάξης των 35.000 mg/L.

* αλατότητα: η περιεκτικότητα του νερού σε Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS), ή αλλιώς η περιεκτικότητα του νερού σε συνολικά άλατα.

Θαλάσσια Ύδατα

Το θαλασσινό νερό με TDS της τάξης των 35.000 mg/L θεωρείται το σύνηθες (πρότυπο) θαλασσινό νερό που αποτελεί, με διαφορά, τη μεγαλύτερη ποσότητα του νερού σε όλο τον κόσμο. Η σύνθεσή του είναι σχεδόν η ίδια σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο η ακριβής περιεκτικότητά του σε TDS (Συνολικά Διαλυμένα Στερεά) μπορεί να ποικίλει στο πλαίσιο ενός ευρέος φάσματος, από 7.000 mg/L στη Βαλτική Θάλασσα έως 45.000 mg/L στην Ερυθρά Θάλασσα και τον Περσικό Κόλπο. Η ακριβής σύνθεση μπορεί κατ'αναλογία να υπολογίζεται από τη συνήθη (πρότυπη) σύνθεση του θαλασσινού νερού. Ωστόσο, το νερό που αντλείται από παραλιακές γεωτρήσεις, ανάλογα με το έδαφος, την εισροή από τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα της ενδοχώρας κλπ., μπορεί συχνά να έχει αλατότητα* και σύνθεση αρκετά διαφορετική από το νερό που αντλείται κατευθείαν μέσα από τη θάλασσα.

* αλατότητα: η περιεκτικότητα του νερού σε Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS), ή αλλιώς η περιεκτικότητα του νερού σε συνολικά άλατα.

Τα συνολικά άλατα αποτελούν το 3,5 % του θαλασσινού νερού. Το υπόλοιπο 96,5 % είναι καθαρό νερό. Από το σύνολο των αλάτων, το 55 % είναι χλωριόντα και το 30,6 % είναι νάτριο. Αυτά τα στοιχεία είναι λογικό να κυριαρχούν στη σύνθεση των αλάτων του θαλασσινού νερού καθώς και τα 2 μαζί συνθέτουν το χλωριούχο νάτριο, το κοινό σε όλους αλάτι, που είναι και η ένωση με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση μέσα στο θαλασσινό νερό.

Τα χαρακτηριστικά του νερού της θάλασσας πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων προ-επεξεργασίας και αντίστροφης όσμωσης. Η υψηλή αλατότητα του νερού της θάλασσας συνεπάγεται υψηλή οσμωτική πίεση, με αποτέλεσμα η ανάκτηση του συστήματος να περιορίζεται

συνήθως σε 40 - 50%, προκειμένου να μην υπάρχει υπέρβαση στα φυσικά όρια της πίεσης που μπορούν να δεχτούν οι μεμβράνες (elements), είτε προκειμένου να περιορίζεται η κατανάλωση ενέργειας που συνδέεται με υψηλότερες πιέσεις τροφοδοσίας του νερού που παρέχεται στις μεμβράνες σε υψηλότερα ποσοστά ανάκτησης, είτε προκειμένου να περιορίζεται η αλατότητα ή / και η περιεκτικότητα σε βόριο του παραγόμενου νερού. Τα ανοικτά συστήματα πρόσληψης (open intakes) θαλασσιών υδάτων ενδέχεται να προκαλέσουν βιοεπικαθήσεις (biofouling) πάνω στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης εάν δεν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα πρόληψης ενάντια στην απόθεση ζωικών και φυτικών μικροοργανισμών.

Υφάλμυρα Ύδατα

Η σύνθεση των υφάλμυρων υδάτων κυμαίνεται σε ένα μεγάλο εύρος και διαφορετικές πηγές μπορεί να παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους. Γι' αυτό, σε περιπτώσεις επεξεργασίας υφάλμυρων υδάτων μια ανάλυση του νερού είναι άκρως απαραίτητη για τον σωστό σχεδιασμό του συστήματος επεξεργασίας.

Κατά την επεξεργασία υφάλμυρων υδάτων, ο παράγοντας του περιορισμού της ανάκτησης είναι κυρίως χημικής φύσης, δηλαδή, η κατακρήμνιση (καθίζηση) και ο σχηματισμός καθυαλώσεων από ουσίες (ενώσεις), όπως το ανθρακικό ασβέστιο ή το θειικό ασβέστιο. Το δυναμικό για βιοεπικαθήσεις (biofouling) είναι επίσης ένας άλλος περιοριστικός παράγοντας στην επεξεργασία υφάλμυρου νερού. Υπάρχουν ορισμένες μέθοδοι για την εκτίμηση του δυναμικού για επικαθήσεις βιολογικών ρύπων.

Στην επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, μπορεί να υπάρχει παρουσία μιας μεγάλης ποικιλίας από οργανικά και ανόργανα συστατικά. Έτσι, οι περιοριστικοί παράγοντες ενίοτε διέπονται από πρόσθετα χαρακτηριστικά των προς επεξεργασία υδάτων, όπως για παράδειγμα, η οργανική ύλη ή το δυναμικό για φωσφορικές καθυαλώσεις.

Με μια τέτοια μεγάλη ποικιλία ως προς την ποιότητα των υφάλμυρων υδάτων, το πρώτο βήμα είναι να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του νερού που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία. Πριν από την εκτέλεση της προσομοίωσης του σχεδιασμού ενός συστήματος αντίστροφης όσμωσης ή νανοδιήθησης, πρέπει να παρέχεται μια πλήρης και ακριβής ανάλυση του νερού. Πρέπει να συμπληρώνεται ένα έντυπο ανάλυσης του νερού (Πίνακας 3.8) και η ανάλυση να είναι ισορροπημένη ως προς την ηλεκτρική της ουδετερότητα (electroneutrality). Αυτό σημαίνει ότι το άθροισμα των συγκεντρώσεων των ανιόντων και πρέπει να ισούται ακριβώς με το άθροισμα των συγκεντρώσεων των κατιόντων όταν ανιόντα και κατιόντα εκφράζονται ως mg/L ως CaCO_3 , δηλαδή ως ανθρακικό ασβέστιο. Εάν η ανάλυση του νερού δεν είναι ισορροπημένη, συνιστάται η προσθήκη είτε Na^+ (Νάτριο) είτε Cl^- (χλωριόντα) για την επίτευξη ηλεκτρικής ουδετερότητας.

Πίνακας 3.8: Έντυπο ανάλυσης νερού που πρόκειται να επεξεργαστεί με αντίστροφη όσμωση / νανοδιήθηση

Sample identification:		
Feed source:		
Conductivity:	pH:	Temperature (°C):
Feed water analysis:		
<i>Please give units (mg/L as ion or ppm as CaCO₃ or meq/L)</i>		
NH ₄ ⁺	CO ₂	
K ⁺	CO ₃ ²⁻	
Na ⁺	HCO ₃ ⁻	
Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	
Ca ²⁺	Cl ⁻	
Ba ²⁺	F ⁻	
Sr ²⁺	SO ₄ ²⁻	
Fe ²⁺	PO ₄ ²⁻	
Fe (tot)	S ²⁻	
Mn ²⁺	SiO ₂ (colloidal)	
Boron	SiO ₂ (soluble)	
Al ³⁺		
Other ions:		
TDS (by method):		
TOC:		
BOD:		
COD:		
AOC:		
BDOC:		
Total alkalinity (m-value):		
Carbonate alkalinity (p-value):		
Total hardness:		
Turbidity (NTU):		
Silt density index (SDI):		
Bacteria (count/ml):		
Free chlorine:		
Remarks:		
(odor, smell, color, biological activity, etc.)		
.....		
.....		
Analysis by:		
Date:		

Παρατηρούμε ότι στην αριστερή στήλη εμφανίζονται τα συνηθέστερα κατιόντα και στη δεξιά στήλη τα πιο συνήθη ανιόντα.

Το βάριο (Ba²⁺) και το στρόντιο (Sr²⁺) πρέπει να αναλυθούν στην κλίμακα του 1 µg/L (ppb) και του 1 mg/L (ppm), αντίστοιχα. Είναι επίσης σημαντικό η θερμοκρασία να δοθεί ως κυμαινόμενη τιμή μέσα σε ένα εύρος και όχι ως μια απόλυτη τιμή. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσουν το δυναμικό σχηματισμού καθυστερήσεων σε ένα σύστημα αντίστροφης όσμωσης, ειδικά όταν τα επίπεδα διοξειδίου του πυριτίου (πυριτία, SiO₂) και όξινων ανθρακικών (HCO₃⁻) του προς επεξεργασία ύδατος είναι υψηλά.

Αφού το σύστημα των μεμβρανών τεθεί σε λειτουργία, το νερό τροφοδοσίας του συστήματος θα πρέπει να αναλύεται σε τακτική βάση, έτσι ώστε να μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα η προ-επεξεργασία και η λειτουργία της μονάδας. Υπάρχουν διαθέσιμα πολλά πρότυπα (standards) για τεχνικές ανάλυσης του νερού. Συνιστάται η χρήση των προτύπων του ASTM International (www.astm.org) ή η τελευταία έκδοση του 'Πρότυπες Μέθοδοι για την Εξέταση Υδάτων και Λυμάτων' (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, as published jointly by the American Public Health Association, the American Water Works Association, and the Water Pollution Control Federation).

Ένας οδηγός για την ανάλυση του νερού για εφαρμογές αντίστροφης όσμωσης (που μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για εφαρμογές νανοδιήθησης) δίδεται στο πρότυπο ASTM D 4195 (ASTM D 4195 – 88 (Reapproved 2003): Standard Guide for Water Analysis for Reverse Osmosis Application).

Στον πίνακα 3.9 δίνεται μια λίστα των σχετικών διαδικασιών και Πρότυπων Μεθόδων του ASTM για την Εξέταση Υδάτων και Λυμάτων. (πηγή: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, as published jointly by the American Public Health Association, the American Water Works Association, and the Water Pollution Control Federation)

Πίνακας 3.9: Πρότυπες Διαδικασίες σχετικές με την ανάλυση νερού για εφαρμογές αντίστροφης όσμωσης και νανοδιήθησης

	ASTM	Standard Methods /1/
Calcium and magnesium	D 511	3500-Ca, Mg
Chloride	D 512	4500-Chloride
Carbon dioxide, bicarbonate, carbonate	D 513	4500-Carbon dioxide, 2320
Phosphorus	D 515	4500-P
Sulfate	D 516	4500-Sulfate
Aluminum	D 857	3500-Al
Manganese	D 858	3500-Mn
Silica	D 859	4500-Silica
Dissolved oxygen	D 888	4500-O
Iron	D 1068	3500-Fe
Fluoride	D 1179	4500-Fluoride
COD	D 1252, D 6697	5220
Residual chlorine	D 1253	4500-Cl
pH	D 1293	4500-pH value
Lithium, potassium, sodium	D 1428, D 3561	3500-Li, Na, K
Ammonia nitrogen	D 1426	45--NH ₃
Particulate and dissolved matter	D 1888	2560
Turbidity	D 1889	2130
Total organic carbon (TOC)	D 2579, D 4129, D 4839, D 5904	5310
Arsenic	D 2972	3500-As
Boron	D 3082	4500-B
Strontium	D 3352	3500-Sr
Practices for sampling water	D 3370	1060
Nitrite - nitrate	D 3867	4500-Nitrogen
Silt density index	D 4189	—
Barium	D 4382	3500-Ba
Microbiological contaminants in water	F 60	—
Oxidation-reduction potential (ORP)	D 1498	2580
BOD	—	5210
AOC	—	9217

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ

4.1. Εισαγωγή

Μετά την προεπεξεργασία των αρχικών ακατέργαστων υδάτων, το επεξεργασμένο πλέον νερό τροφοδοσίας εισέρχεται σε ένα σύστημα αφαλάτωσης του νερού με μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης.

Το σύστημα των μεμβρανών RO περιλαμβάνει ένα σύνολο μεμβρανών (elements), οι οποίες είναι τοποθετημένες μέσα σε δοχεία πίεσης που παρατάσσονται με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Μια αντλία υψηλής πίεσης χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των υδάτων τροφοδοσίας μέσα στα δοχεία πίεσης. Επίσης απαιτούνται διάφορα ενδεικτικά όργανα, ανταλλακτικά και εξαρτήματα σύνδεσης των στοιχείων του συστήματος. Ένα σύστημα επιτόπιου ξεπλύματος (CIP – Clean-In-Place) διευκολύνει τον καθαρισμό των μεμβρανών.

Το σύστημα των μεμβρανών είναι μια πλήρης μονάδα που έχει μία είσοδο, για το νερό τροφοδοσίας, και δύο εξόδους, τη μία για το διηθήμα και την άλλη για την απόρριψη. Η απόδοση ενός συστήματος αντίστροφης όσμωσης/νανοδιήθησης (RO/NF) συνήθως χαρακτηρίζεται από 2 παραμέτρους, το ρυθμό ροής και την ποιότητα του διηθήματος (καθαρό παραγόμενο νερό). Αυτές οι παράμετροι θα πρέπει πάντα να αναφέρονται σε μια δεδομένη ανάλυση νερού (του νερού τροφοδοσίας), πίεση τροφοδοσίας και ανάκτηση του συστήματος.

Ο στόχος ενός αποτελεσματικού συστήματος αντίστροφης όσμωσης (σύστημα RO) για ένα συγκεκριμένο απαιτούμενο ρυθμό ροής του διηθήματος, δηλαδή του καθαρού παραγόμενου από τις μεμβράνες νερού, είναι η ελαχιστοποίηση της πίεσης με την οποία το νερό τροφοδοσίας εισέρχεται στις μεμβράνες (πίεση τροφοδοσίας) και του κόστους των μεμβρανών (αριθμός μεμβρανών), ενώ παράλληλα επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της απόρριψης των αλάτων (και άρα της ποιότητας του διηθήματος) και της ανάκτησης του συστήματος.

Ο βέλτιστος σχεδιασμός του συστήματος επηρεάζεται από το με ποια ιεραρχία σημαντικότητας ταξινομούνται τα παραπάνω μεγέθη (π.χ. ο σχεδιαστής ρίχνει το βάρος περισσότερο στο κόστος των μεμβρανών ή στην ανάκτηση συστήματος) που σχετίζονται με τις παραμέτρους λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης. Η επιθυμητή απόρριψη αλάτων είναι συνήθως εφικτή, αλλά η ανάκτηση που καθορίζεται από έναν ορισμένο ρυθμό ροής του διηθήματος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος RO ξεκινά με την αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ του επιθυμητού ρυθμού ροής του διηθήματος και των λειτουργικών παραμέτρων του

συστήματος και ακολουθείται από τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων εντός των φυσικών ορίων που επιβάλλονται από τις μεμβράνες RO και το νερό τροφοδοσίας, το οποίο διαθέτει κάποιο δυναμικό για σχηματισμό καθυαλατώσεων και διαφόρων ειδών επικαθήσεων πάνω στις μεμβράνες.

Για παράδειγμα, το ποσοστό ανάκτησης ενός συστήματος επεξεργασίας υφάλμυρου νερού περιορίζεται από τη διαλυτότητα των μετρίως διαλυτών αλάτων* και το δυναμικό του νερού τροφοδοσίας για σχηματισμό κολλοειδών επικαθήσεων και έτσι μπορεί να φτάσει έως 90 % (ποσοστό που μπορεί να επιτευχθεί μόνο με πολυβάθμιο σύστημα (multi-stage)). Η μέγιστη επιτρεπόμενη ανάκτηση από μία μόνο μεμβράνη υφάλμυρου νερού περιορίζεται στο 20 % από το δυναμικό που έχει ένα υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας, με SDI από 3 έως 5, για σχηματισμό καθυαλατώσεων και διαφόρων ειδών επικαθήσεων πάνω στις μεμβράνες.

Στην αφάλατωση θαλασσινού νερού, η μέγιστη επιτρεπόμενη ανάκτηση είναι περίπου 50% (ποσοστό που μπορεί να επιτευχθεί μόνο με πολλές μεμβράνες εν σειρά) και υπαγορεύεται από την οσμωτική πίεση της ροής της απόρριψης, η οποία προσεγγίζει το φυσικό όριο πίεσης μιας μεμβράνης θαλασσινού νερού. Μια συνήθης μεμβράνη θαλασσινού νερού αντέχει πίεση έως και 69 bar (1000 psi). Η μέγιστη επιτρεπόμενη ανάκτηση από μία μόνο μεμβράνη θαλασσινού νερού περιορίζεται στο 10 % για ένα θαλασσινό νερό τροφοδοσίας με $SDI < 5$.

Η επίτευξη της απαιτούμενης απόρριψης αλάτων είναι κυρίως ένα θέμα της επιλογής μεμβράνης.

Για δεδομένες συνθήκες λειτουργίας, μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά η ποιότητα του παραγόμενου διηθήματος.

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος μεμβρανών για ένα συγκεκριμένο νερό τροφοδοσίας, είναι επωφελές να είναι γνωστή και να ληφθεί υπόψη η απόδοση άλλων συστημάτων μεμβρανών που λειτουργούν με το ίδιο νερό. Ωστόσο, αρκετά συχνά δεν υπάρχουν άλλα συστήματα μεμβρανών για σύγκριση.

* sparingly soluble salts: μετρίως διαλυτά άλατα (δηλαδή ουσίες που απαιτούν 30-100 mL νερού για τη διαλυτοποίηση 1 g της ουσίας)

4.2. Συνεχής ή Διακοπτόμενη Λειτουργία του Συστήματος RO

Ένα σύστημα RO / NF είναι συνήθως σχεδιασμένο για συνεχή λειτουργία.

Οι συνθήκες λειτουργίας της κάθε μεμβράνης (membrane element) της μονάδας RO είναι σταθερές κατά την πάροδο του χρόνου.

Σε ορισμένες εφαρμογές, όταν σχετικά μικρές ποσότητες (παρτίδες) ειδικών υδάτων τροφοδοσίας παρέχονται στη μονάδα ασυνεχώς, π.χ., εφαρμογές επεξεργασίας λυμάτων ή βιομηχανικών εφαρμογές επεξεργασίας με RO, ο διακοπτόμενος τρόπος λειτουργίας της μονάδας RO (επεξεργασία κατά παρτίδες υδάτων) είναι προτιμότερος.

Το νερό τροφοδοσίας συλλέγεται σε μια δεξαμενή και στη συνέχεια υπόκειται σε επεξεργασία. Το διήθημα αφαιρείται προς χρήση και η απόρριψη ανακυκλώνεται πίσω στη δεξαμενή. Στο τέλος της διαδικασίας, παραμένει στη δεξαμενή τροφοδοσίας μια μικρή ποσότητα απορριπτόμενου νερού. Αφού πρώτα αυτή η ποσότητα απορριπτόμενου νερού διοχετευτεί στην αποχέτευση κι αδειάσει η δεξαμενή τροφοδοσίας, οι μεμβράνες συνήθως καθαρίζονται πριν η δεξαμενή γεμίσει και πάλι με μια νέα παρτίδα υδάτων. Το σχήμα 4.2 παρουσιάζει τον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος RO που επεξεργάζεται ύδατα κατά παρτίδες και έχει διακοπτόμενη λειτουργία.

Η ημι-διακοπτόμενη λειτουργία είναι μια τροποποίηση του διακοπτόμενου τρόπου λειτουργίας κατά παρτίδες. Σε περίπτωση ημι-διακοπτόμενης λειτουργίας ενός συστήματος RO, η δεξαμενή τροφοδοσίας ξαναγεμίζει με νερό τροφοδοσίας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος. Αφού επεξεργαστεί όλη η παρτίδα υδάτων τότε η λειτουργία σταματάει με τη δεξαμενή τροφοδοσίας να είναι γεμάτη με απορριπτόμενο νερό. Αυτό επιτρέπει να χρησιμοποιείται μια μικρότερη δεξαμενή τροφοδοσίας.

Τα συστήματα διακοπτόμενης λειτουργίας με επεξεργασία υδάτων κατά παρτίδες συνήθως σχεδιάζονται με σταθερή πίεση τροφοδοσίας και μειούμενο ρυθμό ροής του διηθήματος καθώς το νερό τροφοδοσίας αποκτά όλο και υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων (TDS).

Η διακοπτόμενη λειτουργία ενός συστήματος RO έχει τα εξής πλεονεκτήματα σε σχέση με τη συνεχή λειτουργία:

- Ευελιξία όταν αλλάζει η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας.
- Η ανάκτηση του συστήματος μπορεί να μεγιστοποιηθεί από παρτίδα σε παρτίδα.
- Εφαρμόζεται εύκολα καθαρισμός των μεμβρανών.
- Η λειτουργία ελέγχεται από απλούς αυτοματισμούς.

- Η ποιότητα του διηθήματος μπορεί να ελεγχθεί κατά τη διακοπή της λειτουργίας.
- Η ποιότητα του διηθήματος μπορεί να βελτιωθεί αν ολόκληρο το διήθημα ή ένα μέρος του υποστεί και πάλι επεξεργασία από ένα δεύτερο υποσύστημα αντίστροφης όσμωσης, στην περίπτωση ενός συστήματος διπλής διήθησης RO.
- Ευνοϊκές συνθήκες λειτουργίας για σύστημα που αποτελείται από 1 ή από σχετικά λίγες μεμβράνες, γιατί οι μεμβράνες έρχονται σε επαφή με το τελικό συμπύκνωμα (απορριπτόμενο νερό) μόνο για ένα μικρό χρονικό διάστημα.
- Η επέκταση του συστήματος RO είναι μάλλον εύκολη.
- Το κόστος της αρχικής επένδυσης είναι χαμηλότερο.

Τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Δεν υπάρχει συνεχής παραγωγή διηθήματος.
- Δεν υπάρχει σταθερή ποιότητα του διηθήματος.
- Απαιτείται μεγάλη δεξαμενή τροφοδοσίας.
- Απαιτείται μεγαλύτερη αντλία τροφοδοσίας (υψηλής πίεσης).
- Υπάρχει μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.
- Είναι μεγαλύτερος ο χρόνος παραμονής για το νερό τροφοδοσίας και το απορριπτόμενο.
- Το συνολικό κόστος λειτουργίας είναι υψηλότερο.

Η πλειοψηφία των συστημάτων RO είναι σχεδιασμένα για συνεχή λειτουργία με σταθερό ρυθμό ροής του διηθήματος και σταθερή ανάκτηση του συστήματος. Οι διακυμάνσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού τροφοδοσίας όσον αφορά τη θερμοκρασία και το δυναμικό για σχηματισμό καθυαλατώσεων και γενικά επικαθήσεων πάνω στις μεμβράνες αντισταθμίζεται με την ανάλογη ρύθμιση της πίεσης τροφοδοσίας.

4.3. Σύστημα Ενός Μοδέλου

Ένα μοντέλο (module) αποτελείται από ένα δοχείο πίεσης που περιέχει έως και οκτώ μεμβράνες (elements), οι οποίες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους εν σειρά. Το νερό που απορρίπτεται από την πρώτη μεμβράνη γίνεται το νερό τροφοδοσίας για τη δεύτερη, και ούτω καθεξής. Τα διηθήματα (καθαρό νερό) που παράγουν όλες οι μεμβράνες διοχετεύονται σε σωλήνες που συνδέονται μεταξύ τους και φυσικά συνδέονται με την έξοδο διηθήματος του μοντέλου. Η έξοδος διηθήματος του μοντέλου μπορεί να βρίσκεται στην πλευρά του πιεστικού δοχείου από την οποία εισέρχεται το νερό τροφοδοσίας ή στην άλλη πλευρά του πιεστικού δοχείου από την οποία εξέρχεται το απορριπτόμενο νερό.

Τα συστήματα ενός μοντέλου επιλέγονται, μόνο όταν ο επιθυμητός ρυθμός ροής του διηθήματος, και άρα η παραγωγικότητα, ενός συστήματος RO απαιτεί τη χρήση μόνο μίας ή σχετικά λίγων μεμβρανών.

Το νερό τροφοδοσίας εισέρχεται στο σύστημα μέσω της βαλβίδας τροφοδοσίας και αφού πρώτα διέλθει μέσα από φίλτρο φυσιγγίου (βλέπε 3.5.7) το νερό εισέρχεται στην αντλία υψηλής πίεσης η οποία το τροφοδοτεί στις μεμβράνες.

Πίεση Τροφοδοσίας – Πίεση Διηθήματος

Από την αντλία υψηλής πίεσης, το νερό τροφοδοσίας ρέει προς την είσοδο του νερού τροφοδοσίας του δοχείου. Το παραγόμενο διήθημα θα πρέπει να εξέρχεται από το δοχείο σε πίεση όχι περισσότερο από 5 psi (0,3 bar) πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση.

Ωστόσο, μερικές φορές απαιτείται υψηλότερη πίεση εξόδου του διηθήματος, π.χ., για την τροφοδοσία του συστήματος μετα-επεργασίας (βλέπε 2.1) του νερού ή για τη διανομή του παραγόμενου νερού χωρίς επιπλέον αντλία. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η πίεση τροφοδοσίας πρέπει να αυξηθεί ανάλογα με την απαιτούμενη πίεση εξόδου του διηθήματος, όμως ταυτόχρονα θα πρέπει να τηρείται η καθορισμένη (σύμφωνα με τις προδιαγραφές των μεμβρανών και του δοχείου) ανώτατη τιμή της μέγιστης πίεσης τροφοδοσίας (βλέπε ενότητα 4.1). Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε ανά πάσα στιγμή, ιδίως σε εκτάκτου ανάγκης διακοπές λειτουργίας του συστήματος, η πίεση εξόδου του διηθήματος να μην υπερβαίνει την πίεση τροφοδοσίας κατά περισσότερο από 5 psi (0,3 bar). Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση του διηθήματος είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του πιεστικού δοχείου.

Πίεση & Ρυθμός Ροής της Απόρριψης

Το απορριπτόμενο νερό εξέρχεται από την έξοδο της απόρριψης του δοχείου ουσιαστικά με πίεση σχεδόν ίση με την πίεση τροφοδοσίας. Η πτώση πίεσης από την είσοδο της τροφοδοσίας μέχρι την έξοδο της απόρριψης του δοχείου συνήθως ανέρχεται σε 5-30 psi (0,3 - 2 bar), ανάλογα με τον αριθμό των μεμβρανών που εμπεριέχονται στο δοχείο, την ταχύτητα ροής της τροφοδοσίας και τη θερμοκρασία.

Ο ρυθμός ροής της απόρριψης ελέγχεται από τη βαλβίδα ρύθμισης της ροής της απόρριψης. Η ανάκτηση του συστήματος ελέγχεται από αυτήν την βαλβίδα και δεν πρέπει ποτέ να υπερβαίνει την τιμή που καθορίζεται κατά το σχεδιασμό του συστήματος.

Ανακύκλωση της Απόρριψης (Ανακυκλώση της Άλμης)

Σε συστήματα ενός πιεστικού δοχείου ή αλλιώς ενός μοντέλου, απαιτείται συνήθως ανακύκλωση της απόρριψης ώστε να τηρούνται τα όρια που τίθενται από τις

προδιαγραφές των μεμβρανών για τη μέγιστη ανάκτηση ανά μεμβράνη. Για να επιτευχθεί ανάκτηση του συστήματος μεγαλύτερη από 50%, ένα μέρος του απορριπτόμενου νερού καθώς βγαίνει από το πιεστικό δοχείο κατευθύνεται στην αποχέτευση, ενώ το υπόλοιπο μέρος της απόρριψης ανακυκλώνεται και προστίθεται στην πλευρά αναρρόφησης της αντλία υψηλής πίεσης, αυξάνοντας έτσι τη ροή τροφοδοσίας προς την είσοδο του πιεστικού δοχείου. Όταν ανακυκλώνεται ένα υψηλό ποσοστό της απόρριψης, αυτό βοηθά στη μείωση της ανάκτησης της κάθε μεμβράνης και κατά συνέπεια τη μείωση του κινδύνου έμφραξης των μεμβρανών από επικαθήσεις.

Ο απαιτούμενος χρόνος για το ξέπλυμα των μεμβρανών κατά την εκκίνηση του συστήματος μετά από καθαρισμό ή συντήρηση των μεμβρανών μπορεί να είναι πολύ μεγάλος. Κατά προτίμηση, δεν πρέπει να ανακυκλώνεται καθόλου απορριπτόμενο νερό για όσο διάστημα λαμβάνει χώρα το ξέβγαλμα των μεμβρανών.

4.4. Συστοιχία Πιεστικών Δοχείων - Σύστημα Ενός Σταδίου (Μονοβάθμιο Σύστημα

Σε ένα σύστημα ενός σταδίου (μονοβάθμιο σύστημα RO), υπάρχουν δύο ή περισσότερα πιεστικά δοχεία (μοδέλα) τοποθετημένα και συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους. Οι γραμμές των υδάτων τροφοδοσίας, των παραγόμενων διηθημάτων και των απορρίψεων συνδέονται αντίστοιχα με τον κεντρικό αγωγό τροφοδοσίας, τον κεντρικό αγωγό συλλογής παραγόμενου διηθήματος και τον αγωγό συλλογής των απορρίψεων. Οι υπόλοιπες πτυχές του συστήματος είναι οι ίδιες όπως στην περίπτωση συστήματος ενός πιεστικού δοχείου (βλέπε 4.3).

Τα μονοβάθμια συστήματα χρησιμοποιούνται συνήθως σε περιπτώσεις όπου η ανάκτηση του συστήματος είναι μικρότερη από 50%, όπως για παράδειγμα, στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

4.5. Σύστημα Πολλαπλών Σταδίων (Πολυβάθμιο Σύστημα)

Σύστημα πολλαπλών σταδίων σημαίνει ότι το απορριπτόμενο νερό του 1^{ου} σταδίου γίνεται νερό τροφοδοσίας του 2^{ου} σταδίου και ούτω καθεξής.

Τα συστήματα με περισσότερα από ένα στάδια RO χρησιμοποιούνται για την επίτευξη υψηλότερων ποσοστών ανάκτησης του συστήματος χωρίς να γίνεται υπέρβαση των ορίων για τη μέγιστη επιτρεπόμενη ανάκτηση ανά μεμβράνη.

Συνήθως δύο στάδια RO θα είναι αρκετά για συνολική ανάκτηση έως 75%, και αν απαιτείται υψηλότερη ανάκτηση (87,5 %) τότε πρέπει να χρησιμοποιούνται 3 στάδια RO. Οι αριθμοί αυτοί βασίζονται στην προϋπόθεση ότι χρησιμοποιούνται τυποποιημένα δοχεία πίεσης με έξι μεμβράνες. Εάν χρησιμοποιούνται μικρότερα δοχεία πίεσης, για παράδειγμα αν το κάθε δοχείο χωράει μόνο τρεις μεμβράνες, τότε

ο αριθμός των απαιτούμενων σταδίων RO πρέπει να διπλασιαστεί για να επιτευχθούν τα ποσοστά ανάκτησης που αναφέρονται παραπάνω.

Σε γενικές γραμμές, όσο υψηλότερη είναι η απαιτούμενη ανάκτηση του συστήματος, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μεμβρανών που πρέπει να συνδέονται αναμεταξύ τους εν σειρά. Για να αντισταθμιστεί το διήθημα που αφαιρείται και να διατηρηθεί μια ομοιόμορφη ροή της τροφοδοσίας σε κάθε στάδιο RO, ο αριθμός των δοχείων ανά στάδιο μειώνεται κατά τη μετάβαση σε επόμενο στάδιο.

4.6. Σύγκριση μεταξύ Συστήματος με Κλειστή Ροή και Συστήματος με Ανακυκλοφορία της Άλμης

Ο πιο συνηθισμένος σχεδιασμός ενός συστήματος RO για εφαρμογές αφαλάτωσης νερού είναι ο σχεδιασμός για λειτουργία με κλειστή ροή. Σε ένα σύστημα κλειστής ροής, ο όγκος του νερού τροφοδοσίας περνάει μόνο μία φορά μέσα από το σύστημα. Ένα ορισμένο ποσοστό του νερού τροφοδοσίας περνάει μέσα από τη μεμβράνη και παράγει το διήθημα. Το νερό τροφοδοσίας σταδιακά αποκτά μεγαλύτερη αλατότητα (TDS) και εγκαταλείπει το σύστημα έχοντας τελικά μια υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων.

Η ανακυκλοφορία της άλμης εφαρμόζεται όταν ο αριθμός των μεμβρανών του συστήματος είναι πολύ μικρός για να επιτευχθεί επαρκώς υψηλή ανάκτηση του συστήματος με σχεδιασμό κλειστής ροής. Συστήματα με ανακυκλοφορία της άλμης μπορούν επίσης να βρεθούν σε ειδικές εφαρμογές, όπως η επεξεργασία λυμάτων. Σε συστήματα με εσωτερική ανακυκλοφορία του απορριπτόμενου νερού, ένα μέρος του νερού που απορρίπτεται από ένα πιεστικό δοχείο ή μια ολόκληρη συστοιχία δοχείων (βλέπε μονοβάθμιο σύστημα) επανατροφοδοτείται πίσω στην πλευρά της τροφοδοσίας του δοχείου (ή ολόκληρης της συστοιχίας) και αναμιγνύεται με το νερό της τροφοδοσίας.

Τα πολυβάθμια συστήματα μπορούν επίσης να σχεδιαστούν με εσωτερική ανακυκλοφορία για κάθε συστοιχία δοχείων (δηλ. για κάθε στάδιο), χρησιμοποιώντας μια ξεχωριστή αντλία ανακυκλοφορίας.

Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης της ανακυκλοφορίας της άλμης είναι ότι ο ρυθμός ροής του νερού τροφοδοσίας προς τα πιεστικά δοχεία είναι καθορισμένος ανεξάρτητα από το βαθμό έμφραξης από επικαθήσεις των δοχείων που προηγούνται και τις αλλαγές στη σύνθεση του νερού τροφοδοσίας. Μια συγκριτική περίληψη των χαρακτηριστικών ενός συστήματος με ανακυκλοφορία απόρριψης κι ενός συστήματος χωρίς ανακυκλοφορία (κλειστή ροή) παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα 4.1.

Δίοδος Αλάτων

Το πέρασμα (δίοδος) αλάτων (salt passage) ενός συστήματος έχει να κάνει με τα άλατα που τελικά περνούν μέσα από τις μεμβράνες του συστήματος και καταλήγουν στο διήθημα του συστήματος.

Η δίοδος (πέραςμα) αλάτων ενός συστήματος RO, συμβολίζεται ως SP_s και ορίζεται ως η συγκέντρωση μιας ένωσης (μπορεί να είναι ένα συγκεκριμένο ιόν, μια οργανική ένωση ή τα Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS) δηλαδή η αλατότητα) στο διήθημα (C_p) σε σχέση με τη συγκέντρωσή της στο νερό τροφοδοσίας (C_f). Ουσιαστικά, η δίοδος αλάτων έχει ακριβώς την αντίθετη σημασία με την απόρριψη αλάτων.

Για τη δίοδο αλάτων του συστήματος, SP_s , ισχύει ότι:

$$SP_s = \frac{C_p}{C_f} \quad (\text{Εξ. 1})$$

Σε συστήματα κλειστής ροής, το SP_s είναι συνάρτηση της ανάκτησης του συστήματος Y και της δίοδου αλάτων των μεμβρανών SP_M . Ισχύει ότι:

$$SP_s = \frac{1 - (1 - Y)^{SP_M}}{Y} \quad (\text{Εξ. 2})$$

όπου: η δίοδος αλάτων της μεμβράνης (SP_M) ορίζεται ως η συγκέντρωση μιας ένωσης μέσα στο διήθημα (C_p) σε σχέση με τη μέση συγκέντρωσή της στην πλευρά (στο κανάλι) τροφοδοσίας - απόρριψης (C_{fc}). Ισχύει ότι:

$$SP_M = \frac{C_p}{C_{fc}} \quad (\text{Εξ. 3})$$

Ωστόσο, σε συστήματα με εσωτερική ανακυκλοφορία της άλμης, υπάρχει μια επιπλέον παράμετρος, ο αριθμός β , ο οποίος ορίζεται ως:

β = ρυθμός ροής του διηθήματος που εξέρχεται από το πιεστικό δοχείο / ρυθμός ροής της απόρριψης που εξέρχεται από το πιεστικό δοχείο

(Εξ. 4)

Έτσι λοιπόν, για συστήματα όπου ένα μέρος της άλμης ανακυκλώνεται στην τροφοδοσία του συστήματος, η δίοδος αλάτων του συστήματος είναι:

$$SP_s = \frac{(1+\beta)^{SP_M} - 1}{Y(1+\beta)^{SP_M} - Y(1+\beta) + \beta} \quad (\text{Εξ. 5})$$

Για υψηλά ποσοστά ανάκτησης του συστήματος, η δίοδος αλάτων του συστήματος σε ένα σύστημα με ανακυκλοφορία της άλμης είναι πολύ υψηλότερη από τη δίοδο αλάτων ενός συστήματος κλειστής ροής. Αυτό αποδεικνύεται από τον υπολογισμό για ένα δείγμα, βλ. Σχήμα 4.7.

Ωστόσο, η παραπάνω διαφορά είναι αρκετά μικρότερη, για πολυβάθμια συστήματα που έχουν ξεχωριστό κύκλο ανακυκλοφορίας για κάθε συστοιχία (στάδιο). Η δίοδος αλάτων ένα τέτοιου συστήματος (για παράδειγμα, βλ. σχήμα 4.6) υπολογίζεται με εφαρμογή της εξίσωσης 5, σε κάθε στάδιο (συστοιχία δοχείων).

Όταν η ανακύκλωση της άλμης πλησιάζει το μηδέν, ο αριθμός β προσεγγίζει την τιμή $1/[(1/Y) - 1]$, και το σύστημα ανακυκλοφορίας γίνεται ένα σύστημα κλειστής ροής.

Ένας συμβιβασμός μεταξύ συστήματος κλειστής ροής και συστήματος με ανακυκλοφορία της άλμης είναι το πολυβάθμιο σύστημα ανακυκλοφορίας όπου υπάρχει μείωση του αριθμού των παράλληλων πιεστικών δοχείων ανά στάδιο κατά την κατεύθυνση της ροής των τροφοδοσίας (βλ. Σχήμα 4.8).

Οι αντλίες ανακυκλοφορίας μπορούν να ρυθμιστούν με τέτοιο τρόπο ώστε μόνο ένα μικρό μέρος της άλμης που εξέρχεται από ένα στάδιο (συστοιχία δοχείων) να ανακυκλώνεται, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της να ρέει στο επόμενο στάδιο (ή στην έξοδο της απόρριψης, όταν πρόκειται για το τελευταίο στάδιο). Σε μια τέτοια περίπτωση, υπάρχουν σχεδόν συνθήκες κλειστής ροής, ενώ ταυτόχρονα εξακολουθούν να υπάρχουν τα πλεονεκτήματα της λειτουργίας της ανακύκλωσης.

4.7. Σύστημα Διπλής Διήθησης RO

Ένα σύστημα διπλής διήθησης RO είναι ο συνδυασμός των δύο συστημάτων RO όπου το παραγόμενο διήθημα του πρώτου συστήματος (πρώτη διήθηση) γίνεται το νερό τροφοδοσίας για το δεύτερο σύστημα (δεύτερη διήθηση). Και τα δύο συστήματα RO μπορεί να είναι μονοβάθμια ή πολυβάθμια, είτε με κλειστή ροή είτε με ανακυκλοφορία της απόρριψης.

Με αυτή την εφαρμογή ενός συστήματος διπλής διήθησης, μπορεί να επιτευχθεί στο τελικό παραγόμενο διήθημα μια αγωγιμότητα $< 1 \mu\text{S/cm}$ (υπερκάθαρο νερό, σχεδόν απιονισμένο) χωρίς καμία επιμόλυνση από οργανική ύλη και πυρετογόνες ουσίες συμπεριλαμβανομένων των βακτηριδίων.

Ένα σύστημα διπλής διήθησης RO μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους ακόλουθους λόγους:

- Η ποιότητα του διηθήματος μονής διήθησης RO δεν είναι επαρκής.
- Δεν επιτρέπεται η μετα-επεξεργασία του διηθήματος με τεχνολογία ανταλλαγής ιόντων (λόγω των χημικών που χρησιμοποιούνται για την αναγέννηση των ρητινών).
- Είναι υψίστης σημασίας η απόρριψη των βακτηριδίων, των πυρετογόνων ουσιών και της οργανικής ύλης.
- Υψηλή αξιοπιστία

Έτσι οι εφαρμογές των συστημάτων διπλής διήθησης RO μπορούν να βρεθούν στην παραγωγή υπερκάθαρου νερού για φαρμακευτική και ιατρική χρήση καθώς και σε βιομηχανίες ημιαγωγών.

Το σχήμα 4.10 δείχνει ένα σχηματικό διάγραμμα ροής ενός συστήματος διπλής διήθησης RO.

Η απόρριψη του επιμέρους συστήματος RO II θα μπορεί να ανακυκλωθεί πίσω στην τροφοδοσία του επιμέρους συστήματος RO I, δεδομένου ότι η ποιότητα της συνήθως είναι καλύτερη από το νερό τροφοδοσίας του συνολικού συστήματος. Η απόρριψη του RO II είναι υψηλής ποιότητας, ανάλογης με την ποιότητα του διηθήματος ενός απλού συστήματος RO. Το επιμέρους σύστημα RO II μπορεί να σχεδιαστεί για υψηλότερο ποσοστό ανάκτησης από ό, τι το σύστημα RO I και με συνολικά λιγότερες μεμβράνες.

Αντί να υπάρχει μια ξεχωριστή αντλία υψηλής πίεσης για το σύστημα RO II, το συνολικό σύστημα μπορεί επίσης να λειτουργήσει με μία μόνο αντλία υψηλής πίεσης, υπό τον όρο να μην γίνεται υπέρβαση της μέγιστη επιτρεπόμενης πίεσης τροφοδοσίας που να μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε μεμβράνη (41 bar (600psi) για μεμβράνες υφάλμυρου νερού).

Στην περίπτωση χρήσης 1 μόνο αντλίας για το συνολικό σύστημα, το επιμέρους σύστημα RO II λειτουργεί με την αντίθλιψη* (back pressure) του διηθήματος του συστήματος RO I. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε ανά πάσα στιγμή, ιδίως σε εκτάκτου ανάγκης διακοπές λειτουργίας του συστήματος, η πίεση εξόδου του διηθήματος να μην υπερβαίνει την πίεση τροφοδοσίας κατά περισσότερο από 5 psi (0,3 bar).

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια δεξαμενή για τη συλλογή των διηθήματος από το πρώτο σύστημα (RO I). Η δεξαμενή αυτή πρέπει να προστατεύεται προσεκτικά από τη σκόνη και κάθε μικροβιολογική μόλυνση.

Η αγωγιμότητα είναι σε πολλές περιπτώσεις η πιο σημαντική παράμετρος της ποιότητας του παραγόμενου νερού, καθώς συνεπάγεται και την περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένα στερεά (TDS) και άρα την αλατότητά του.

Δεδομένου ότι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) δεν μπορεί να απορριφθεί από μια μεμβράνη RO, υπάρχει μέσα στο παραγόμενο νερό, όπου και αντιδρά σχηματίζοντας ανθρακικό οξύ με αποτέλεσμα την αύξηση της αγωγιμότητας του παραγόμενου νερού. Το πέραςμα του διοξειδίου του άνθρακα μέσω της μεμβράνης στο διήθημα μπορεί να προληφθεί με ρύθμιση του pH του νερού τροφοδοσίας του σταδίου RO I σε μια τιμή περίπου 8.2. Σε αυτήν την τιμή pH, το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) μετατρέπεται σε όξινα ανθρακικά (HCO_3), τα οποία μπορούν και απορρίπτονται από τη μεμβράνη.

Για την αύξηση του pH μπορεί να εγχυθεί καυστική σόδα (υδροξείδιο του νατρίου, NaOH) ή άλλα χημικά [υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ανθρακικό νάτριο (σόδα - Na_2CO_3), υδροξείδιο του καλίου (καυστική ποτάσα ή καυστικό κάλιο - KOH), διττανθρακικό νάτριο (μαγειρική σόδα (baking soda)] είτε μέσα στο διήθημα του RO I είτε μέσα στην τροφοδοσία του RO I.

Η καλύτερη αγωγιμότητα του παραγόμενου νερού μπορεί να επιτευχθεί εάν το βελτιστοποιηθεί το pH του νερού τροφοδοσίας του υποσυστήματος RO I. Αυτό σημαίνει, ωστόσο, ότι ελέγχεται πρώτα το δυναμικό του νερού για σχηματισμό καθαλατώσεων ανθρακικού ασβεστίου ενός του εύρους του απαιτούμενου pH 8.2 - 8.5.

Με μια διάταξη σαν την παραπάνω, μπορεί να επιτευχθεί στο τελικό παραγόμενο διήθημα μια αγωγιμότητα $< 1 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Η ανάκτηση του υποσυστήματος RO I συνήθως περιορίζεται από το δυναμικό για σχηματισμό καθαλατώσεων του νερού τροφοδοσίας, όμως η ανάκτηση του υποσυστήματος RO II μπορεί να είναι πάρα πολύ υψηλή, σε επίπεδα 90 - 95%, προκειμένου να μειωθούν οι δαπάνες του συνολικού συστήματος. Από την άλλη πλευρά, μια πιο μέτρια ανάκτηση του υποσυστήματος RO II συμβάλλει στη μεγιστοποίηση της ποιότητας του παραγόμενου νερού των προϊόντων σε βάρος ενός μεγαλύτερου πρώτου υποσυστήματος RO I (το οποίο σε τέτοια περίπτωση θα πρέπει

να επεξεργαστεί μια αυξημένη απόρριψη από το RO II, εφόσον υπάρχει ανακυκλοφορία της απόρριψης του RO II στην τροφοδοσία του RO I).

* αντίθλιψη: η πίεση ενός ρευστού, η οποία δρα αντίθετα προς την επιδιωκόμενη κίνηση μιας μηχανής, αντλίας, βαλβίδας σωλήνωσης και η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της χωρητικότητας αυτής, σε περίπτωση εκκένωσής της.

4.8. Εξισώσεις και Παράμετροι

4.8.1. Χαρακτηριστικά Μεγέθη - Επεξήγηση Συμβόλων

Q_i : ρυθμός ροής του διηθήματος της μεμβράνης i (gpd)

Q : ρυθμός ροής του συνολικού διηθήματος ενός συστήματος (gpd)

\bar{Q}_i : μέσος ρυθμός ροής διηθήματος ανά μεμβράνη σε ένα σύστημα (gpd) = Q/N_E

\bar{q}_{fc} : αριθμητικός μέσος όρος του ρυθμού ροής στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης (gpm) [= (ρυθμός ροής τροφοδοσίας (q_f) + ρυθμός ροής απόρριψης (q_c)) / 2]

$A_{i\pi}$: διαπερατότητα σε νερό της μεμβράνης i στους 25°C συναρτήσει της μέσης οσμωτικής πίεσης στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης (gfd/psi)

\bar{A}_π : μέση διαπερατότητα σε νερό ανά μεμβράνη, σε ένα σύστημα, στους 25°C συναρτήσει της μέσης οσμωτικής πίεσης στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης (gfd/psi)

S_E : εμβαδόν επιφανείας για κάθε μεμβράνη (ft^2)

TCF: συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας για τη διαπερατότητα της μεμβράνης

FF: συντελεστής ρύπανσης (στομώματος) της μεμβράνης από επικαθήσεις

P_{fi} : πίεση τροφοδοσίας για την μεμβράνη I (psi)

ΔP_{fc_i} : πτώση πίεσης στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης για την μεμβράνη i (psi)

$\Delta \bar{P}_{fc}$: μέση πτώση πίεσης στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης (psi)

P_{p_i} : πίεση του διηθήματος για την μεμβράνη i (psi)

$\bar{\pi}_i$: μέση οσμωτική πίεση στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης για την μεμβράνη i (psi)

π_{fi} : οσμωτική πίεση στην τροφοδοσία για την μεμβράνη i (psi)

π_f : οσμωτική πίεση του νερού τροφοδοσίας (psi)

π_{pi} : οσμωτική πίεση στο κανάλι του διηθήματος για την μεμβράνη i (psi)

$\bar{\pi}$: μέση οσμωτική πίεση στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης για ένα σύστημα (psi)

ρf_i : συντελεστής πόλωσης της συγκέντρωσης αλάτων για την μεμβράνη i

$\overline{\rho f}$: μέσος συντελεστής πόλωσης της συγκέντρωσης αλάτων

R_i : κλάσμα (δεκαδικός) απόρριψης αλάτων για την μεμβράνη i

\bar{R} : μέση απόρριψη αλάτων για ένα σύστημα (εκπεφρασμένη ως δεκαδικός)

C_{fc_i} : μέση συγκέντρωση αλάτων στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης για την μεμβράνη i (ppm)

\bar{C}_{fc} : μέση συγκέντρωση αλάτων στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης για ένα σύστημα (ppm)

C_{fi} : συγκέντρωση αλάτων στην τροφοδοσία για την μεμβράνη i (ppm)

C_{ci} : συγκέντρωση αλάτων στην απόρριψη για την μεμβράνη i (ppm)

Y_i : κλάσμα (δεκαδικός) ανάκτησης για την μεμβράνη i

Y : ανάκτηση συστήματος (εκπεφρασμένη ως δεκαδικός)

Y_L : οριακή (μέγιστη) ανάκτηση του συστήματος (εκπεφρασμένη ως δεκαδικός)

\bar{Y}_i : μέση ανάκτηση ανά μεμβράνη σε ένα σύστημα (εκπεφρασμένη ως δεκαδικός)

T : θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας ($^{\circ}\text{C}$)

m_j : μολαλική (γραμμομοριακή κατά μάζα) συγκέντρωση αλάτων των ιοντικών στοιχείων j

\sum_j : άθροιση όλων των ιοντικών στοιχείων

$\prod_{i=1}^n$: πολλαπλασιασμός n διαδοχικών όρων

n : αριθμός εν σειρά μεμβρανών

N_E : αριθμός των συνολικών μεμβρανών ενός συστήματος

N_V : αριθμός πιεστικών δοχείων των 6 μεμβρανών σε ένα σύστημα (ισούται περίπου με $N_E / 6$)

N_{V1} : αριθμός πιεστικών δοχείων των 6 μεμβρανών στο πρώτο στάδιο ενός διβάθμιου συστήματος (ισούται περίπου με $2 N_V / 3$)

N_{V2} : αριθμός πιεστικών δοχείων των 6 μεμβρανών στο δεύτερο στάδιο ενός διβάθμιου συστήματος (ισούται περίπου με $N_V / 3$)

N_{VR} : αναλογία σταδίων (staging ratio) ενός διβάθμιου συστήματος ($= N_{V1} / N_{V2}$)

4.11.2. Βασικές Εξισώσεις

4.11.2.1. Οσμωτική Πίεση /9/

Η οσμωτική πίεση (π) ενός διαλύματος μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά με τη μέτρηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων μέσα στο διάλυμα. Ισχύει ότι:

$$\pi = 1.12 (T + 273) * \Sigma(m_j) \text{ (Εξ. 13)}$$

όπου: π = οσμωτική πίεση (psi), T =θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$), Σm_j = άθροισμα των μολαλικών (γραμμομοριακών κατά μάζα) συγκεντρώσεων όλων των συστατικών μέσα σε ένα διάλυμα

Μια προσέγγιση για την οσμωτική πίεση (π) μπορεί να γίνει με την παραδοχή ότι συγκέντρωση αλάτων (TDS - Συνολικά Διαλυμένα Στερεά) της τάξης των 1000 ppm (1000 mg/L) ισούται με περίπου 11 psi (0,76 bar) οσμωτικής πίεσης. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται αναλυτικότερα η οσμωτική πίεση για διάφορες κλίμακες αλατότητας θαλασσινού νερού. Για την αλατότητα ισχύει ότι 5g/L = 5000mg/L (ppm) και ούτω καθεξής.

Όσον αφορά το θαλασσινό νερό της Μεσογείου (αλατότητα περίπου 35.000 ppm), η οσμωτική πίεση (σε κατάσταση ισορροπίας με γλυκό νερό) είναι γύρω στα 28 bar. Παρ' όλα αυτά, στις μονάδες αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού της Μεσογείου ασκούνται συνήθως (από την αντλία υψηλής πίεσης) πιέσεις υψηλότερες από 60 bar.

Σε περιπτώσεις αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού, απαιτούνται χαμηλότερες πιέσεις, μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος παραγωγής του νερού.

Οι λόγοι για τους οποίους οι πιέσεις που ασκούνται στα συστήματα αντίστροφης όσμωσης είναι τόσο υψηλότερες από την οσμωτική πίεση, είναι κυρίως δύο /17/:

- Σε περιπτώσεις συστημάτων συνεχούς λειτουργίας, η συγκέντρωση των αλάτων κατά μήκος της μεμβράνης αυξάνεται σε τιμές σχεδόν διπλάσιες από την τιμή της εισόδου, με αποτέλεσμα η μέση περιεκτικότητα σε άλατα στην μεμβράνη να είναι υψηλότερη από την συγκέντρωση αλάτων στο θαλασσινό νερό της τροφοδοσίας.
- Πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης κατακάθεται ένα στρώμα καθαλατώσεων, λόγω των διαλυμένων αλάτων που εμποδίζει η μεμβράνη να περάσουν. Έτσι η μέσα στο στρώμα των καθαλατώσεων η συγκέντρωση αλάτων υπερβαίνει τη συγκέντρωση αλάτων μέσα στο υπόλοιπο διάλυμα. Αυτή η αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων ονομάζεται πόλωση της συγκέντρωσης αλάτων (αναλύεται παρακάτω).

Ο μηχανισμός του διαχωρισμού του νερού από τα άλατα με αντίστροφη όσμωση δεν είναι πλήρως κατανοητός. Οι τρέχουσες επιστημονικές μελέτες προτείνουν δύο μοντέλα μεταφοράς μάζας: το πορώδες* και τη διάχυση*. Δηλαδή, η μεταφορά του νερού μέσω της μεμβράνης μπορεί να γίνεται είτε μέσω των φυσικών πόρων που υπάρχουν μέσα στην μεμβράνη (πορώδες), είτε με διάχυση από μία θέση δεσμών (bonding site) σε άλλη μέσα στο εσωτερικό της μεμβράνης.

Η θεωρία δείχνει ότι η χημική φύση της μεμβράνης είναι τέτοια που θα απορροφήσει και θα αφήσει να περάσει κατά προτίμηση το νερό και όχι τα διαλυμένα άλατα στην διάμεση επιφάνεια (επιφάνεια επαφής δύο φάσεων (στερεή / υγρή)). Αυτό μπορεί να συμβεί είτε από ασθενή χημική δέσμευση του νερού στην επιφάνεια της μεμβράνης είτε από τη διάλυση του νερού στο εσωτερικό της δομής της μεμβράνης. Είτε έτσι είτε αλλιώς, σχηματίζεται μια αυξανόμενη συγκέντρωση αλάτων στην διάμεση επιφάνεια (επιφάνεια επαφής δύο φάσεων (στερεή / υγρή)).

Τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά της μεμβράνης καθορίζουν την ικανότητά της να επιτρέψει το πέρασμα του διαλύτη (νερού) και όχι των διαλυμένων ουσιών (ιόντα αλάτων).

* πορώδες, (ουσιαστικό), (porosity (p)): Ο λόγος του κενού όγκου ενός πορώδους υλικού ως προς το συνολικό όγκο. Υπολογίζεται από τη σχέση $p = (\rho_0 - \rho) / \rho$, όπου ρ

η πυκνότητα του εξεταζόμενου πορώδους υλικού και ρ_0 η πυκνότητα του ίδιου υλικού χωρίς πόρους.

* διάχυση (diffusion): Μεταφορά μάζας μιας ουσίας υπό την επίδραση διαφοράς συγκέντρωσής της (της διαφοράς χημικού δυναμικού) σε περιοχές της ίδιας φάσης.

4.11.2.2. Καθαρή Κινητήρια Πίεση (NDP - Net Driving Pressure)

Καθαρή Κινητήρια Πίεση = $\Delta P - \Delta \pi$ (Εξ. 14)

ΔP : είναι η διαφορά πίεσης ανάμεσα στην πλευρά της τροφοδοσίας και την πλευρά του διηθήματος σε μία μεμβράνη (βλέπε ενότητα 1.3.3 σχήμα 1.17 και ενότητα 1.3.6 σχήμα 1.25). Η πίεση τροφοδοσίας εισόδου μειώνεται από μεμβράνη σε μεμβράνη κατά μήκος ενός πιεστικού δοχείου. Αυτό συμβαίνει λόγω απωλειών της πίεσης ανάντη του καναλιού τροφοδοσίας-απόρριψης στο εσωτερικό κάθε μεμβράνης.

$\Delta \pi$: είναι η διαφορά της οσμωτικής πίεσης ανάμεσα στην πλευρά της τροφοδοσίας και την πλευρά του διηθήματος σε μία μεμβράνη (βλέπε ενότητα 1.3.3 σχήμα 1.17 και ενότητα 1.3.6 σχήμα 1.25). Η οσμωτική πίεση εισόδου αυξάνεται από μεμβράνη σε μεμβράνη κατά μήκος ενός πιεστικού δοχείου. Αυτό γίνεται γιατί κάθε μεμβράνη αφαιρεί από το νερό ένα μέρος διηθήματος αφήνοντας πίσω άλατα. Έτσι η αλατότητα της τροφοδοσίας και της απόρριψης σταδιακά αυξάνεται από μεμβράνη σε μεμβράνη.

Μεταβολή της Καθαρής Κινητήριας Πίεσης λόγω Επικαθήσεων σε μία Μεμβράνη /19/

Κατά την λειτουργία μιας μεμβράνης RO, με την πάροδο του χρόνου, σταδιακά σχηματίζονται επικαθήσεις πάνω στην μεμβράνη με αποτέλεσμα να μειώνεται η πίεση στην απόρριψη (reject) της μεμβράνης. Αν υποθέσουμε ότι η πίεση τροφοδοσίας (feed) της μεμβράνης παραμένει αμετάβλητη καθώς καθορίζεται από την σταθερή λειτουργία της αντλίας υψηλής πίεσης και δεν μεσολαβούν άλλες μεμβράνες ώστε να υπάρξουν απώλειες, η μείωση της πίεσης της απόρριψης έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της μέσης πίεσης στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης (average). Υποθέτοντας ότι η αλατότητα της τροφοδοσίας της μεμβράνης παραμένει σταθερή, το ίδιο σταθερή θα παραμένει και η οσμωτική πίεση (osmotic). Έτσι τελικά, το σταδιακό στόμωμα της μεμβράνης έχει σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της καθαρής κινητήριας πίεσης (Net).

4.11.2.3. Ρυθμός Ροής του Παραγόμενου Νερού (Διηθήματος) Μέσα από μια Μεμβράνη RO (Q) /9/

Η απόδοση ενός προσδιορισμένου συστήματος RO καθορίζεται από την πίεση τροφοδοσίας του συστήματος (ή το ρυθμό ροής του διηθήματος, αν η πίεση

τροφοδοσίας έχει προσδιοριστεί) και την δίοδο των αλάτων μέσα από το σύστημα (κάτι που υποδεικνύει πόση απόρριψη αλάτων επιτυγχάνει το σύστημα).

Ο ρυθμός ροής (Q) του διηθήματος μέσω μιας μεμβράνης RO είναι ευθέως ανάλογος με την καθαρή κινητήρια πίεση ($\Delta P - \Delta \pi$) πολλαπλασιασμένη επί το εμβαδό της συνολικής επιφάνειας που βρέχεται από το νερό (που ισούται με S/d , όπου S είναι εμβαδό της μεμβράνης και d είναι το πάχος της). Η σταθερά της αναλογικότητας είναι ο συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης σε νερό (K_w) που αποτελεί μια συνάρτηση αντίστροφη με την συγκέντρωση αλάτων (μειώνεται σε υψηλότερη αλατότητα και αυξάνεται σε χαμηλότερη αλατότητα).

Ως εκ τούτου, η εξίσωση του ρυθμού ροής του νερού μέσα από μια μεμβράνη RO έχει τη μορφή:

$$Q = (K_w) * (S/d) * (\Delta P - \Delta \pi) \quad (\text{Εξ. 15α})$$

Συχνά η εξίσωση 15α απλοποιείται στη μορφή:

$$Q = (A) * (NDP) \quad (\text{Εξ. 15β})$$

όπου: (NDP) είναι η καθαρή κινητήρια πίεση για τη μεταφορά του νερού μέσα από την μεμβράνη και η τιμή (A) αντιπροσωπεύει μία μοναδική σταθερά για κάθε είδος υλικού μεμβράνης.

Ο ρυθμός ροής του παραγόμενου νερού μέσα από μια μεμβράνη (Q) είναι ουσιαστικά ο ρυθμός ροής του διηθήματος της μεμβράνης (Q_p). Οπότε ισχύει ότι:

$$Q = Q_p \quad (\text{Εξ. 15γ})$$

4.11.2.4. Ρυθμός Ροής του Διαλύτη (ή Ρυθμός Ροής των Αλάτων) Μέσα από μια Μεμβράνη RO (Q_s) /9/

Το πέρασμα των αλάτων μέσα από την μεμβράνη γίνεται με διασπορά, ως εκ τούτου, ο ρυθμός ροής των αλάτων (Q_s) είναι ανάλογος με τη διαφορά συγκέντρωσης αλάτων μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης (κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης και κανάλι διηθήματος) πολλαπλασιασμένη επί το εμβαδό της συνολικής επιφάνειας που βρέχεται από το νερό (που ισούται με S/d , όπου S είναι εμβαδό της μεμβράνης και d είναι το πάχος της). Η σταθερά αυτής της αναλογικότητας είναι ο συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης σε άλατα (K_s).

Ως εκ τούτου, η εξίσωση του ρυθμού ροής των αλάτων μέσα από μια μεμβράνη RO έχει τη μορφή:

$$Q_s = (K_s) * (S/d) * (C_{fc} - C_p) \quad (\text{Εξ. 16α})$$

όπου:

C_{fc} = ο μέσος όρος της συγκέντρωσης αλάτων (ppm) στο κανάλι τροφοδοσίας - απόρριψης

C_p = η συγκέντρωση αλάτων (ppm) στο διήθημα

Συχνά η εξίσωση 16α απλοποιείται στη μορφή:

$$Q_s = (B) (\Delta C) \quad (\text{Εξ. 16}\beta)$$

όπου: (ΔC) είναι η κινητήρια δύναμη (driving force) για τη μεταφορά των αλάτων μέσα από την μεμβράνη και η τιμή (B) αντιπροσωπεύει μία μοναδική σταθερά για κάθε τύπο μεμβράνης.

Από τις εξισώσεις (15) και (16) συμπεραίνουμε τα εξής:

- Ο ρυθμός ροής (Q) του διηθήματος μέσω μιας μεμβράνης RO είναι ανάλογος με την καθαρή κινητήρια πίεση ($\Delta P - \Delta \pi$) για τη μεταφορά του νερού μέσα από την μεμβράνη.
- Ο ρυθμός ροής των αλάτων (Q_s) μέσω μιας μεμβράνης RO είναι ανάλογος με τη διαφορά συγκέντρωσης αλάτων μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης και είναι ανεξάρτητος από την ασκούμενη πίεση.

4.11.2.5. Αλατότητα Διηθήματος (C_p) /9/

Η αλατότητα του διηθήματος (C_p), εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ των ρυθμών ροής της μεταφοράς του νερού και των αλάτων μέσα από μια μεμβράνη αντίστροφης όσμωσης (RO). Έτσι, για την αλατότητα του διηθήματος (C_p), ισχύει:

$$C_p = Q_s / Q \quad (\text{Εξ. 17})$$

Το γεγονός ότι το νερό και τα άλατα έχουν διαφορετικούς ρυθμούς ροής μεταφοράς μάζας μέσα από μια δεδομένη μεμβράνη δημιουργεί το φαινόμενο της απόρριψης αλάτων. Καμία μεμβράνη δεν είναι ιδανική με την έννοια ότι απορρίπτει απολύτως τα άλατα αλλά στην πραγματικότητα οι διαφορετικοί ρυθμοί ροής μεταφοράς δημιουργούν μια φαινομενική απόρριψη. Οι εξισώσεις (15) και (16) εξηγούν σημαντικές εκτιμήσεις κατά τον σχεδιασμό συστημάτων RO.

Για παράδειγμα, η αύξηση της πίεσης λειτουργίας θα αυξήσει τη ροή του νερού χωρίς να αλλάξει τη ροή των αλάτων, με αποτέλεσμα χαμηλότερη αλατότητα του διηθήματος.

4.11.2.6. Δίοδος (Πέρασμα) Αλάτων (SP) /9/

Πέρασμα αλάτων (SP – Salt Passage) ορίζεται ως ο λόγος της συγκέντρωσης αλάτων στο διήθημα (C_p) προς τη συγκέντρωση αλάτων στην τροφοδοσία (C_f). Από

μαθηματική άποψη, αυτό εκφράζεται ποσοστιαία ως εξής:

$$SP = 100\% * (C_p / C_f) \text{ (Εξ. 18)}$$

Εφαρμόζοντας τις θεμελιώδεις εξισώσεις της ροής του νερού και της ροής των αλάτων φαίνονται μερικές από τις βασικές αρχές των μεμβρανών RO.

Για παράδειγμα, το πέρασμα (δίόδος) των αλάτων είναι μια αντίστροφη συνάρτηση της πίεσης, δηλαδή, το πέρασμα των αλάτων αυξάνεται όσο μειώνεται η πίεση που εφαρμόζεται στις μεμβράνες. Αυτό συμβαίνει διότι η μειωμένη πίεση μειώνει τον ρυθμό ροής του διηθήματος, και ως εκ τούτου, συμβαίνει αραίωση του διαλύματος τροφοδοσίας και συμπύκνωση του διηθήματος (τα άλατα ρέουν με σταθερό ρυθμό μέσα από τη μεμβράνη, καθώς ο ρυθμός της ροής τους είναι ανεξάρτητος από την πίεση).

4.11.2.7. Απόρριψη Αλάτων (R) /9/

R (εκπεφρασμένη ως δεκαδικός) = [συγκέντρωση αλάτων (ppm) στην τροφοδοσία (C_f) - συγκέντρωση αλάτων (ppm) στο διήθημα (C_p)] / συγκέντρωση αλάτων (ppm) στην τροφοδοσία (C_f)

$$R = (C_f - C_p) / C_f \text{ (Εξ. 19α)}$$

Η απόρριψη αλάτων εκφράζεται και ποσοστιαία ως εξής:

$$R = 100\% * [(C_f - C_p) / C_f] \text{ (Εξ. 19β)}$$

Η απόρριψη αλάτων (R) είναι ακριβώς το αντίθετο της διόδου αλάτων (SP) κι έτσι μπορεί να εκφραστεί ποσοστιαία και ως εξής:

$$R = 100\% - SP \text{ (Εξ. 19γ)}$$

4.11.2.8. Ανάκτηση διηθήματος (Y) /6/

Η ανάκτηση του διηθήματος (Y) αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο για το σχεδιασμό και τη λειτουργία συστημάτων RO.

$$Y = \text{ρυθμός ροής διηθήματος (gpm ή m}^3\text{/h)} / \text{ρυθμός ροής τροφοδοσίας (gpm ή m}^3\text{/h)}$$

$$\text{εκπεφρασμένη ως δεκαδικός: } Y = Q_p / Q_f \text{ (Εξ. 20α)}$$

εκπεφρασμένη ποσοστιαία: $Y = 100\% * (Q_p / Q_f)$ (Εξ. 20β)

Το ποσοστό της ανάκτησης επηρεάζει τη δίοδο των αλάτων (SP) και τον ρυθμό ροής του διηθήματος (Q_p).

Όσο αυξάνεται το ποσοστό ανάκτησης, η συγκέντρωση αλάτων στην πλευρά (στο κανάλι) τροφοδοσίας-απόρριψης της μεμβράνης αυξάνεται, κάτι το οποίο προκαλεί την αύξηση του ρυθμού ροής των αλάτων μέσα από τη μεμβράνη, όπως υποδεικνύεται από την εξίσωση 16.

Επίσης, μια υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων μέσα στο διάλυμα τροφοδοσίας-απόρριψης αυξάνει την οσμωτική πίεση, μειώνοντας έτσι την καθαρή κινητήρια πίεση και, κατά συνέπεια, μειώνεται ο ρυθμός ροής του διηθήματος σύμφωνα με την εξίσωση 15.

4.11.2.9. Συντελεστής Πόλωσης Συγκέντρωσης Αλάτων (pf) /9/

Καθώς το νερό ρέει μέσω της μεμβράνης και τα άλατα απορρίπτονται από την μεμβράνη, κοντά στην επιφάνεια της μεμβράνης σχηματίζεται ένα στρώμα μέσα στο οποίο η συγκέντρωση αλάτων υπερβαίνει τη συγκέντρωση αλάτων μέσα στο υπόλοιπο διάλυμα. Αυτή η αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων ονομάζεται πόλωση της συγκέντρωσης αλάτων. Το αποτέλεσμα της πόλωσης της συγκέντρωσης αλάτων είναι η μείωση του πραγματικού ρυθμού ροής του παραγόμενου νερού (διήθημα) και η μείωση της απόρριψης αλάτων σε σχέση με τις θεωρητικές εκτιμήσεις. Οι επιπτώσεις της πόλωσης συγκέντρωσης αλάτων έχουν ως εξής:

1. Μεγαλύτερη οσμωτική πίεση στην επιφάνεια της μεμβράνης σε σχέση με το υπόλοιπο μέρος του διαλύματος τροφοδοσίας, ($\Delta\pi$), και μείωση της καθαρής κινητήριας πίεσης, ($\Delta P - \Delta\pi$), για τη μεταφορά του νερού μέσα από την μεμβράνη.
2. Μειωμένη ροή του νερού μέσα από την μεμβράνη (Q).
3. Αυξημένη ροή των αλάτων μέσα από την μεμβράνη (Q_s).
4. Αυξημένη πιθανότητα υπέρβασης του ορίου διαλυτότητας (όριο συγκέντρωσης μέχρι το οποίο παραμένουν διαλυτά) των μετρίως διαλυτών αλάτων (δηλαδή ουσίες που απαιτούν 30-100 mL νερού για τη διαλυτοποίηση 1 g της ουσίας) στην επιφάνεια της μεμβράνης, και ως εκ τούτου αυξημένη πιθανότητα για ιζηματοποίηση και κατακρήμνιση αλάτων που προκαλεί σχηματισμό καθαλατώσεων πάνω στην μεμβράνη, κάτι που τελικά οδηγεί στην έμφραξη (στόμωμα) της μεμβράνης.

Ο συντελεστής πόλωσης της συγκέντρωσης αλάτων (pf) μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της συγκέντρωσης αλάτων στην επιφάνεια της μεμβράνης (C_s) προς τη συγκέντρωση αλάτων στο υπόλοιπο διάλυμα (C_b).

$$pf = C_s / C_b \quad (\text{Εξ. 21})$$

Μια αύξηση του ρυθμού ροής του διηθήματος θα αυξήσει το ρυθμό ροής των ιόντων (αλάτων) προς την επιφάνεια της μεμβράνης με αποτέλεσμα την αύξηση της C_s .

Μια αύξηση του ρυθμού ροής της τροφοδοσίας αυξάνει τον στροβιλισμό (turbulence) του νερού και μειώνει το πάχος του στρώματος υψηλής συγκέντρωσης αλάτων κοντά στην επιφάνεια της μεμβράνης.

Ως εκ τούτου, ο συντελεστής πόλωσης της συγκέντρωσης αλάτων (pf) είναι ευθέως ανάλογος προς τον ρυθμό ροής του διηθήματος (Q_p), και αντιστρόφως ανάλογος προς τον αριθμητικό μέσο όρο του ρυθμού ροής στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης (q_{fc}).

\bar{q}_{fc} : αριθμητικός μέσος όρος του ρυθμού ροής στο κανάλι τροφοδοσίας-απόρριψης (gpm) [= (ρυθμός ροής τροφοδοσίας (q_f) + ρυθμός ροής απόρριψης (q_c)) / 2] (Εξ. 22)

Έτσι ισχύει ότι:

$$pf = K_p * \exp(Q_p / q_{fc}) \quad (\text{Εξ. 23})$$

όπου: K_p είναι μια σταθερά της αναλογικότητας που εξαρτάται από τη γεωμετρία του συστήματος.

Χρησιμοποιώντας τον αριθμητικό μέσο όρο του ρυθμού ροής στο κανάλι τροφοδοσίας – απόρριψης ως μέσο ρυθμό ροής της τροφοδοσίας, ο συντελεστής πόλωσης της συγκέντρωσης αλάτων (pf) σε μια μεμβράνη i (pf_i) μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της ανάκτησης διηθήματος (Y , ως κλάσμα) μιας μεμβράνης i (Y_i).

$$pf = K_p * \exp(2Y_i / (2 - Y_i)) \quad (\text{Εξ. 24})$$

Μια τιμή του συντελεστή πόλωσης της συγκέντρωσης αλάτων (pf) ίση με 1,20, που είναι το συνιστώμενο όριο από τις κατασκευάστριες εταιρίες μεμβρανών, αντιστοιχεί σε ανάκτηση διηθήματος 18% (0,18) για μεμβράνες με μήκος 40”.

4.11.2.10. Θερμοκρασία /18/

Η θερμοκρασία είναι μια κρίσιμη παράμετρος του σχεδιασμού ενός συστήματος RO. Έχει σημαντικές συνέπειες όσον αφορά:

- τις απαιτήσεις πίεσης της αντλίας τροφοδοσίας των μεμβρανών (αντλία υψηλής πίεσης),
- την υδραυλική ισορροπία της επιφανειακής ροής του διηθήματος (ρυθμός ροής ανά μονάδα επιφανείας μεμβράνης) μεταξύ των σταδίων ενός πολυβάθμιου συστήματος RO (βλέπε 4.5),

- την ποιότητα του παραγόμενου διηθήματος και
- τη διαλυτότητα των μετρίως διαλυτών αλάτων*.

Ως πρόχειρος κανόνας, κάθε μείωση της θερμοκρασίας του νερού τροφοδοσίας κατά 5 °C (9 °F) αυξάνει τις απαιτήσεις πίεσης της αντλίας τροφοδοσίας των μεμβρανών κατά 15%.

Η υδραυλική ισορροπία της επιφανειακής ροής του διηθήματος μεταξύ των σταδίων πολυβάθμιου συστήματος (ή με άλλα λόγια η ποσότητα διηθήματος που παράγεται από κάθε στάδιο) επηρεάζεται από τη θερμοκρασία.

Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού, οι μεμβράνες που βρίσκονται στο εμπρόσθιο άκρο του συστήματος, και προηγούνται των υπολοίπων, παράγουν περισσότερο διήθημα το οποίο οδηγεί σε μειωμένη ροή διηθήματος από τις μεμβράνες που ακολουθούν και βρίσκονται στο πίσω άκρο του συστήματος. Αντίθετα, σε πιο ψυχρές θερμοκρασίες εμφανίζεται μια καλύτερη υδραυλική ισορροπία της επιφανειακής ροής του διηθήματος μεταξύ των διαφόρων σταδίων ενός πολυβάθμιου συστήματος RO.

Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, η διάδοση των αλάτων μέσα από τις μεμβράνες αυξάνεται (άρα μειώνεται η απόρριψη αλάτων και η ποιότητα του παραγόμενου διηθήματος) λόγω της αυξημένης κινητικότητας των ιόντων μέσω των μεμβρανών.

Επίσης οι υψηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν την διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου και οι ψυχρότερες θερμοκρασίες μειώνουν την διαλυτότητα του θεικού ασβεστίου, του θεικού βαρίου, του θεικού στροντίου, και του διοξειδίου του πυριτίου (silica).

* sparingly soluble salts: μετρίως διαλυτά άλατα (δηλαδή ουσίες που απαιτούν 30-100 mL νερού για τη διαλυτοποίηση 1 g της ουσίας)

4.11.2.11 Συντελεστής Διόρθωσης της Θερμοκρασίας (TCF) /20/

Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός ροής του παραγόμενου διηθήματος και αντίστροφα. Όλες οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης του εμπορίου βαθμονομούνται (συνθήκες αναφοράς) για λειτουργία με νερό τροφοδοσίας στους 25 °C (77 °F). Για να βρεθεί ο ρυθμός ροής του παραγόμενου διηθήματος στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Με βάση τη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας στις συνθήκες λειτουργίας της μεμβράνης (Top), υπολογίζεται ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας (TCF) από τον παρακάτω πίνακα 4.12 ή για μεγαλύτερη ακρίβεια από την εξίσωση (31).

2. Διαιρείται ο ρυθμός ροής του διηθήματος (Q_r) για τη θερμοκρασία στις συνθήκες αναφοράς ($T_r = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) δια του συντελεστή διόρθωσης της θερμοκρασίας (TCF). Το αποτέλεσμα είναι ο πραγματικός αναμενόμενος ρυθμός ροής του διηθήματος (Q_{orT}) στη θερμοκρασία λειτουργίας της μεμβράνης (T_{op}).

4.11.2.12. Υπολογισμός της Πραγματικής Απόδοσης μιας Μεμβράνης με βάση τις Συνθήκες Αναφοράς των Προδιαγραφών της /21/

Η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας και η καθαρή κινητήρια πίεση που οδηγεί το νερό μέσα από μια μεμβράνη είναι οι δύο κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση μιας μεμβράνης και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εκτίμηση της απόδοσης μιας μεμβράνης ή ενός συστήματος RO, με βάση τις προδιαγραφές της μεμβράνης.

Κάθε μεμβράνη του εμπορίου έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές που αναφέρουν κάτω από ποιες συνθήκες πίεσης τροφοδοσίας, αλατότητας και θερμοκρασίας του νερού τροφοδοσίας μετρήθηκε ο ονομαστικός ρυθμός ροής του διηθήματος της μεμβράνης.

Για να υπολογίσει κάποιος την απόδοση της μεμβράνης στις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας, οι οποίες διαφέρουν από τις συνθήκες αναφοράς, πρέπει να προβεί στους εξής υπολογισμούς (η οσμωτική πίεση μπορεί πρόχειρα να υπολογιστεί βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας είτε από τον γενικό κανόνα ότι $\pi \text{ (psi)} = \text{TDS (ppm)} / 90,91$ είτε από τον πίνακα 4.10) :

1. Υπολογισμός του αναμενόμενου ρυθμού ροής του διηθήματος (Q_{orT}) στη θερμοκρασία λειτουργίας της μεμβράνης (T_{op}) όπως περιγράφεται στην ενότητα 4.11.2.11
2. Υπολογισμός της καθαρής πίεσης ($NDPr$) για την οποία έγινε η βαθμονόμηση της παραγωγικότητας της μεμβράνης (Q_r).

$$NDPr = \text{Πίεση Αναφοράς (Pr)} - \text{Οσμωτική Πίεση του διαλύματος Αναφοράς (}\pi\text{)}$$

$$NDPr = Pr - \pi$$

3. Υπολογισμός της καθαρής πίεσης ($NDPop$) κάτω από τις συνθήκες λειτουργίας της μεμβράνης.

$NDP_{op} = [(Πίεση \text{ Τροφοδοσίας} - Πίεση \text{ απόρριψης}) (P_{op})] - \text{Μέση Οσμωτική Πίεση του Νερού Τροφοδοσίας} (\pi_{op})$

$$NDP_{op} = P_{op} - \pi_{op}$$

4. Αναμενόμενος ρυθμός ροής (Q_{op}) του διηθήματος στις συνθήκες λειτουργίας:

$$Q_{op} = Q_{opT} * (NDP_{op} / NDP_r)$$

4.11.3. Αναλυτικές Εξισώσεις για Υπολογισμό της Απόδοσης ενός Συστήματος /1,3,5,6,9,23/

Υπάρχουν 2 τρόποι για τον υπολογισμό της απόδοσης ενός προσδιορισμένου συστήματος: υπολογισμοί ανά μεμβράνη ή υπολογισμοί για ολόκληρο το σύστημα.

4.11.3.1. Εξισώσεις για Υπολογισμό της Απόδοσης Κάθε Μεμβράνης Ξεχωριστά

Ρυθμός ροής του διηθήματος:

$$Q_i = A_i \bar{\pi}_i S_E (TCF) (FF) \left(P_{\bar{f}} - \frac{\Delta P_{fci}}{2} - P_{\rho i} - \bar{\pi} + \pi_{\rho i} \right) \quad (\text{Εξ. 25})$$

Μέση οσμωτική πίεση στο κανάλι τροφοδοσίας - απόρριψης:

$$\bar{\pi}_i = \pi_{\bar{f}} \left(\frac{C_{fci}}{C_{fi}} \right) (\rho f_i) \quad (\text{Εξ. 26})$$

Μέση οσμωτική πίεση στο κανάλι του διηθήματος:

$$\bar{\pi}_{\rho i} = \pi_{\bar{f}} (1 - R_i) \quad (\text{Εξ. 27})$$

Λόγος του αριθμητικού μέσου όρου της συγκέντρωσης αλάτων (ρ_{pm}) στο κανάλι τροφοδοσίας - απόρριψης (C_{fc}) προς τη συγκέντρωση αλάτων της τροφοδοσίας (C_f) για την μεμβράνη (i):

$$\frac{C_{fci}}{C_{fi}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{C_{ci}}{C_{fi}} \right) \quad (\text{Εξ. 28})$$

Λόγος της συγκέντρωσης αλάτων (ρ_{pm}) στην απόρριψη (C_c) προς τη συγκέντρωση αλάτων στην τροφοδοσία (C_f) για την μεμβράνη (i):

$$\frac{C_{ci}}{C_{fi}} = \frac{1 - Y_i (1 - R_i)}{(1 - Y_i)} \quad (\text{Εξ. 29})$$

Οσμωτική πίεση νερού τροφοδοσίας:

$$\pi_f = 1.12(273 + T) \sum m_j \quad (\text{Εξ. 30}) = (\text{Εξ. 13})$$

Συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας για μεμβράνη RO/NF:

$$\text{TCF} = \text{EXP} \left[2640 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right]; T \geq 25^\circ\text{C} \quad (\text{Εξ. 31}\alpha)$$

$$\text{TCF} = \text{EXP} \left[3020 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right]; T \leq 25^\circ\text{C} \quad (\text{Εξ. 31}\beta)$$

Ανάκτηση συστήματος:

$$Y = 1 - [(1 - Y_1)(1 - Y_2) \dots (1 - Y_n)] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Y_i) \quad (\text{Εξ. 32})$$

Συγκέντρωση αλάτων στο διήθημα:

$$C_{pj} = B(C_{fcj})(pf_i)(\text{TCF}) \frac{S_E}{Q_i} \quad (\text{Εξ. 33})$$

Συντελεστής πόλωσης της συγκέντρωσης αλάτων για μεμβράνες 8 ιντσών:

$$pf_i = \text{EXP}[0.7Y_i] \quad (\text{Εξ. 34})$$

4.11.3.2. Εξισώσεις για Υπολογισμό της Μέσης Απόδοσης Ολόκληρου του Συστήματος

Ρυθμός ροής του συνολικού διηθήματος:

$$Q = N_E S_E \bar{A} \bar{\pi} (\text{TCF})(\text{FF}) P_f - \frac{\Delta P_{fc}}{2} P_p - \pi_f \left[\frac{\bar{C}_{fc}}{C_f} p_f - (1 - \bar{R}) \right] \quad (\text{Εξ. 35})$$

Λόγος του αριθμητικού μέσου όρου της συγκέντρωσης αλάτων (TDS) στο κανάλι τροφοδοσίας - απόρριψης (C_{fc}) προς τη συγκέντρωση αλάτων της τροφοδοσίας (C_f) για όλο το σύστημα:

$$\frac{C_{fc}}{C_f} = \frac{-\bar{R} \ln(1 - Y/Y_L)}{Y - (1 - Y_L) \ln(1 - Y/Y_L)} + (1 - \bar{R}) \quad (\text{Εξ. 36})$$

Οριακή (μέγιστη) ανάκτηση του συστήματος:

$$Y_L = 1 - \frac{\pi_f(\overline{pf})(\overline{R})}{P_f - \Delta P_{fc} - P_p} \quad (\text{Εξ. 37})$$

Μέση ανάκτηση ανά μεμβράνη:

$$Y_i = 1 - (1 - Y)^{1/n} \quad (\text{Εξ. 38})$$

Μέσος συντελεστής πόλωσης:

$$\overline{pf} = \text{EXP}[0.7\overline{Y}_i] \quad (\text{Εξ. 39})$$

Μέση οσμωτική πίεση στο κανάλι τροφοδοσίας - απόρριψης για όλο το σύστημα:

$$\overline{\pi} = \pi_i \left(\frac{\overline{C}_{fc}}{C_f} \right) \overline{pf} \quad (\text{Εξ. 40})$$

Μέση πτώση της πίεσης στο κανάλι τροφοδοσίας - απόρριψης για όλο το σύστημα (για διβάθμιο σύστημα με μεμβράνες 8 ιντσών):

$$\overline{\Delta P}_{fc} = 0.04 \overline{q}_{fc}^2 \quad (\text{Εξ. 41})$$

Πτώση της πίεσης στο κανάλι τροφοδοσίας – απόρριψης για μια μεμβράνη 8 ιντσών ή για ένα μονοβάθμιο σύστημα:

$$\Delta P_{fc} = \left[\frac{0.1(Q/1440)}{YN_{V2}} \right] \left(\frac{1}{N_{VR}} + 1 - Y \right) \quad (\text{Εξ. 42})$$

$$\Delta P_{fc} = 0.01 n \overline{q}_{fc}^{1.7} \quad (\text{Εξ. 43})$$

Διαπερατότητα της μεμβράνης σε νερό ως συνάρτηση της μέσης οσμωτικής πίεσης στο κανάλι τροφοδοσίας - απόρριψης:

$$\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.125; \overline{\pi} \leq 25 \quad (\text{Εξ. 44α})$$

$$\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.125 - 0.011 \left(\frac{\overline{\pi} - 25}{35} \right); 25 \leq \overline{\pi} \leq 200 \quad (\text{Εξ. 44β})$$

$$\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.070 - 0.0001(\overline{\pi} - 200); 200 \leq \overline{\pi} \leq 400 \quad (\text{Εξ. 44γ})$$

Συγκέντρωση αλάτων στο διήθημα:

$$C_p = BC_{fc} \overline{pf}(\text{TCF}) \left(\frac{N_E S_E}{Q} \right) \quad (\text{Εξ. 45})$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1 Αντλίες - Κατανάλωση Ενέργειας

5.1.1. Εισαγωγή /15,16, 31/

5.1.1.1. Ορισμός των Αντλιών /31/

Αντλίες ονομάζονται τα μηχανικά μέσα με τα οποία προσδίδεται ενέργεια σε ένα ρευστό προκειμένου να επιτευχθεί η διακίνησή του σε μικρή ή μεγάλη απόσταση, από μία δεξαμενή σε μία άλλη που βρίσκεται υψηλότερη πίεση ή σε υψηλότερη υψομετρική στάθμη. Ως δεξαμενή μπορεί να θεωρηθεί μία λίμνη, ένας ποταμός, μία γεώτρηση, η θάλασσα, ένα δοχείο πίεσης κλπ.

Στη γενική περίπτωση η διακίνηση του υγρού μεταξύ των δύο δεξαμενών γίνεται μέσω σωλήνωσης στην οποία παρεμβάλλεται η αντλία: η διατομή εισόδου (αναρρόφησης) συνδέεται προς την πλευρά της δεξαμενής από την οποία γίνεται η αναρρόφηση και η διατομή εξόδου (κατάθλιψη) με την δεξαμενή προς την οποία καταθλίβεται το υγρό. Η αντλία προσδίδει ενέργεια στο υγρό η οποία αντιστοιχεί στην ενεργειακή αναβάθμιση του υγρού μεταξύ δεξαμενής κατάθλιψης και δεξαμενής αναρρόφησης (λόγω διαφοράς στάθμης και διαφορά στατικής πίεσης) και στην ενέργεια που δαπανάται λόγω των υδραυλικών απωλειών που αναπτύσσονται στην σωλήνωση μέσω της οποίας γίνεται η διακίνηση του υγρού.

Η κίνηση στο κινούμενο στοιχείο δίνεται από εξωτερική πηγή (ηλεκτροκινητήρα ή μηχανή εσωτερικής καύσης) με κατάλληλη σύνδεση.

Βασικοί όροι κι ορισμοί

Αντλητική εγκατάσταση ονομάζεται το υδροδυναμικό σύστημα το οποίο αποτελείται από την αντλία και τις σωληνώσεις μεταφοράς του ρευστού.

Σωλήνωση αναρρόφησης ονομάζεται η σωλήνωση που βρίσκεται πριν από την αντλία και μέσω της οποίας γίνεται η εισροή του υγρού σε αυτή.

Σωλήνωση κατάθλιψης ονομάζεται η σωλήνωση που βρίσκεται μετά από την αντλία και μέσω της οποίας γίνεται η εκροή του υγρού από αυτή.

5.1.1.2. Κατηγοριοποίηση Αντλιών /16/

Με βάση τον μηχανισμό πρόσδοσης ενέργειας στο ρευστό διακρίνονται δύο βασικοί τύποι αντλιών:

- Δυναμικές αντλίες ονομάζονται αυτές στις οποίες το διακινούμενο ρευστό υφίσταται μεταβολή της κινητικής του κατάστασης, λόγω πρόσδοσης ορμής σε αυτό από το κινούμενο στοιχείο της αντλίας. Το αποτέλεσμα της δράσης αυτής είναι η αύξηση της κινητικής του ενέργειας, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε στατική πίεση. Η κινητική ενέργεια προσδίδεται στο υγρό με φυγοκεντρικές δυνάμεις, ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, μεταφορά ορμής ή μηχανική ώθηση.
Οι δυναμικές αντλίες κατανέμονται στις παρακάτω κατηγορίες:

α) Φυγοκεντρικές:

1. Ακτινικής ροής
2. Αξονικής ροής
3. Μικτής ροής
4. Στροβιλαντλίες

β) Περιφερικές

- Στις αντλίες θετικής εκτόπισης (ή αλλιώς ογκομετρικές αντλίες) το υγρό εκτοπίζεται από ένα χώρο και προωθείται προς έναν άλλο είτε με ένα μηχανικό μέσο (έμβολο, παλλόμενο διάφραγμα, περιστρεφόμενος μηχανισμός), είτε με ένα άλλο ρευστό (πχ αέρα). Η πίεση σε αυτή την περίπτωση ασκείται άμεσα στο υγρό μέσω του παλινδρομικού εμβόλου, ή άλλων περιστρεφόμενων μελών, τα οποία σχηματίζουν θαλάμους που εναλλακτικά γεμίζουν με υγρό κι αδειάζουν.

Οι αντλίες θετικής εκτόπισης κατανέμονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Παλινδρομικές (reciprocating)
2. Περιστροφικές (rotary)
3. Πιεστικού θαλάμου

5.1.1.3. Φυγοκεντρικές Αντλίες /16/

Με τον όρο φυγοκεντρικές αντλίες συνήθως εννοούνται οι φυγόκεντρες αντλίες ακτινικής ροής. Στη χημική βιομηχανία με φυγοκεντρικές αντλίες ακτινικής ροής διακινείται μεγαλύτερος όγκος υγρών από ότι με όλους τους άλλους τύπους αντλιών μαζί (90% εγκατεστημένων).

Σε αυτόν τον τύπο αντλιών η κινητική ενέργεια προσδίδεται στο υγρό με φυγόκεντρες δυνάμεις. Ο μηχανισμός κίνησης της αντλίας προσδίδει ορμή στο διακινούμενο υγρό με αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικής του ενέργειας, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε στατική πίεση. Βασικά στοιχεία μίας μονοβάθμιας φυγοκεντρικής αντλίας αποτελούν:

- η περωτή
- ο άξονας περιστροφής
- το κέλυφος και
- ο κινητήρας.

Ανάλογα με το είδος της περωτής και τον τρόπο κίνησης του διακινούμενου υγρού εντός αυτής οι φυγοκεντρικές αντλίες διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες: ακτινικής ροής, μικτής ροής, αξονικής ροής, στροβιλαντλίες.

5.1.1.4. Αντλίες Θετικής Εκτόπισης /17, 30/

Οι αντλίες θετικής εκτόπισης (ογκομετρικές αντλίες) συνήθως χρησιμοποιούνται για την έγχυση χημικών ουσιών μέσα στο νερό ή για τη μετακίνηση βαρέων αιωρημάτων, όπως η ιλύς.

Παλινδρομικές Αντλίες /17/

Εμβολοφόρες Αντλίες

Ένας τύπος αντλιών θετικής εκτόπισης είναι οι εμβολοφόρες αντλίες που αποτελούνται από ένα έμβολο που κινείται παλινδρομικά (μπρος-πίσω) μέσα σε έναν κύλινδρο. Χρησιμοποιούνται κυρίως για να μετακινήσουν υλικά που εμπεριέχουν μεγάλες ποσότητες αιωρούμενης ύλης, όπως είναι η ιλύς και τα απόβλητα. Ο κύλινδρος έχει δύο βαλβίδες ελέγχου (check valves) (βαλβίδα αναρρόφησης και βαλβίδα κατάθλιψης (discharge valve)) που λειτουργούν απέναντι η μία στην άλλη, ανάλογα με την κίνηση του εμβόλου. Η μία βαλβίδα ελέγχου (check valve) βρίσκεται στην πλευρά αναρρόφησης του εμβόλου και ανοίγει, καθώς το έμβολο κινείται προς τα πίσω, δημιουργώντας έτσι μεγαλύτερο όγκο κυλίνδρου. Αφού το έμβολο φτάσει την ακραία θέση της διαδρομής του, η κίνησή του μετά αντιστρέφεται. Η δράση αυτή ανοίγει την βαλβίδα κατάθλιψης και κλείνει την βαλβίδα αναρρόφησης. Τότε, το περιεχόμενο υγρό του εμβόλου απορρίπτεται στη σωλήνωση κατάθλιψης. Μετά την κατάθλιψη, η κίνηση του εμβόλου αντιστρέφεται και ξεκινάει η αναρρόφηση.

Επειδή η υψηλή πίεση μπορεί να δημιουργήσει βλάβες στα μέρη της αντλίας ή να προκαλέσει αστοχίες στο υλικό των σωληνώσεων, μια παλινδρομική αντλία δεν πρέπει ποτέ να στραγγαλίζεται από την πλευρά της κατάθλιψης του εμβόλου.

Αντλίες Διαφράγματος

Ένας άλλος τύπος αντλίας θετικής εκτόπισης που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία νερού είναι η αντλία διαφράγματος. Αυτή η αντλία λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με την εμβολοφόρο αντλία εκτός από το ότι, αντί για ένα έμβολο που κινείται μέσα σε

έναν κύλινδρο, υπάρχει ένα εύκαμπτο διάφραγμα που κινείται μπρος-πίσω μέσα σε κλειστό χώρο. Οι βαλβίδες ελέγχου λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο, καθώς τροφοδοτούν ή να μετακινούν υγρό μέσα στην αντλία. Αυτός ο τύπος αντλίας χρησιμοποιείται όταν απαιτείται υψηλή ακρίβεια. Οι περισσότερες από αυτές τις αντλίες λειτουργούν με τη χρήση ενός πηνίου πάλλεται έναν καθορισμένο αριθμό φορών ανά λεπτό (παλμοί/χτύποι ανά λεπτό). Αυτός ο αριθμός παλμών, ο οποίος ονομάζεται συχνότητα, είναι μεταβλητός και μπορεί να ρυθμιστεί από τον χειριστή ή από ένα ηλεκτρονικό σήμα ελέγχου. Το μήκος (length) του κάθε παλμού μπορεί επίσης να ρυθμιστεί έτσι ώστε να μεταβάλλεται το μέγεθος της δεξαμενής που γεμίζει με υγρό.

Περιστροφικές Αντλίες /30/

Οι περιστροφικές αντλίες θετικής εκτόπισης είναι αντλίες που διακινούν ρευστά χρησιμοποιώντας τις αρχές της περιστροφής. Το κενό που δημιουργείται από την περιστροφή της αντλίας αιχμαλωτίζει μέσα του το διακινούμενο υγρό.

Πλεονεκτήματα: Οι περιστροφικές αντλίες είναι πολύ αποτελεσματικές, διότι απομακρύνουν με φυσικό τρόπο τον αέρα από τις γραμμές, εξαλείφοντας την ανάγκη εξαγωγής του αέρα από τις γραμμές χειροκίνητα.

Μειονεκτήματα: Οι περιστροφικές αντλίες θετικής εκτόπισης έχουν και τις αδυναμίες τους. Λόγω της φύσης της αντλίας, το διάκενο ανάμεσα στην περιστρεφόμενη αντλία και την εξωτερική πλευρά πρέπει να είναι πολύ μικρό και προκειμένου να ισχύει κάτι τέτοιο οι αντλίες πρέπει να περιστρέφονται με μια αργή, σταθερή ταχύτητα. Εάν μια περιστροφική αντλία λειτουργεί σε υψηλές ταχύτητες, τα διακινούμενο ρευστό θα προκαλέσει τη σπηλαιώδη μηχανική διάβρωση της αντλίας. Στις περιστροφικές αντλίες που συμβαίνει τέτοια διάβρωση παρατηρείται τελικά διευρυμένο διάκενο ανάμεσα στην αντλία και την εξωτερική της πλευρά, το οποίο επιτρέπει στο διακινούμενο υγρό να διαφεύγει, μειώνοντας έτσι την απόδοση της αντλίας. Σε υψηλές πιέσεις μπορεί να εμφανιστούν απώλειες της ροής της τάξης του 10 %.

Οι περιστροφικές ογκομετρικές αντλίες μπορούν κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικούς τύπους:

- Αντλίες με οδοντωτούς τροχούς (gear pumps): ένας απλός τύπος περιστροφικής αντλία, όπου το υγρό ωθείται ανάμεσα στους οδοντωτούς τροχούς (γρανάζια).
- Αντλίες κοχλιών (screw pumps): σε αυτές της αντλίες συνήθως το υγρό αντλείται από δύο κοχλίες που ο ένας περιστρέφεται ενάντια στον άλλον.
- Περιστροφικές αντλίες με περύγια ρύθμισης (rotary vane pumps): αποτελούνται από έναν κυλινδρικό ρότορα που περιβάλλεται από ένα κέλυφος. Καθώς ο ρότορας στρέφεται, τα περύγια παγιδεύουν το υγρό

ανάμεσα στον ρότορα και το περίβλημα και το υγρό ωθείται να περάσει μέσα από την αντλία.

5.2. Προειδοποιητικά Σήματα και Διακόπτες Παύσης Λειτουργίας του Συστήματος /18, 19/

Σε μια μονάδα αφαλάτωσης, υπάρχει πάντα η πιθανότητα δυσλειτουργίας στο σύστημα της αντίστροφης όσμωσης (μεμβράνες, αντλίες) ή στο στάδιο της προεπεξεργασίας. Οι μεμβράνες RO πρέπει να προστατεύονται από την οποιαδήποτε δυσλειτουργία. Γι' αυτό συνιστάται η χρήση ενδεικτικών οργάνων για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού τροφοδοσίας των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης (RO), καθώς και για την απόδοση του συστήματος RO. Ενδεικτικά όργανα όπως ροόμετρα, μανόμετρα, pH-μετρα και αγωγιμόμετρα μπορούν να συνδεθούν με ηχητικό (ή και οπτικό) προειδοποιητικό σήμα που θα ενεργοποιείται αν κάποια παράμετρος δεν είναι εντός των προδιαγραφών σχεδιασμού. Επιπλέον, εάν η παράμετρος ξεφεύγει κατά πολύ από τις σχεδιαστικές προδιαγραφές, οπότε υπάρχει κίνδυνος βλάβης για τις αντλίες υψηλής πίεσης και τις μεμβράνες RO ή αλλοιώνεται σε απαράδεκτο βαθμό η ποιότητα του παραγόμενου διηθήματος, τότε θα πρέπει να ενεργοποιείται διακόπτης αυτόματης παύσης της λειτουργίας του συστήματος RO.

5.3. Ενδεικτικά Όργανα και Βαλβίδες (Βάνες)

Όπως προαναφέρθηκε, ενδεικτικά όργανα και βαλβίδες (βάνες) είναι απαραίτητος εξοπλισμός σε ένα σύστημα RO, όχι μόνο για την ανίχνευση μιας δυσλειτουργίας στο σύστημα, αλλά και για να διασφαλιστεί και να ελέγχεται η ορθή καθημερινή λειτουργία του συστήματος. Τα ενδεικτικά όργανα και οι βαλβίδες που χρησιμοποιούνται συνήθως, αναφέρονται παρακάτω με περισσότερες λεπτομέρειες.

5.3.1. Ενδεικτικά Όργανα /20, 22/

Για να εξασφαλιστεί η ορθή λειτουργία ενός συστήματος RO ή NF, είναι απαραίτητα ορισμένα ενδεικτικά όργανα. Η ακρίβεια όλων των οργάνων είναι ζωτικής σημασίας. Πρέπει να εγκαθίστανται και να βαθμονομούνται σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών τους.

Τα μανόμετρα υγρού (μανόμετρα που είναι γεμάτα υγρό) πρέπει να περιέχουν υγρά που είναι συμβατά με τις μεμβράνες, όπως νερό ή γλυκερίνη, αντί για έλαια ή άλλα μη αναμίξιμα υγρά.

5.3.2. Βαλβίδες /20, 21/

Σε ένα σύστημα μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης (RO) συνήθως περιλαμβάνονται οι ακόλουθες βαλβίδες (βάνες):

- Βαλβίδα εισαγωγής του νερού τροφοδοσίας (feed inlet valve
- Βαλβίδα πάνω στην γραμμή κατάθλιψης της αντλίας υψηλής πίεσης ή στην γραμμή bypass (Βαλβίδα ελέγχου (check valve) πάνω στην γραμμή κατάθλιψης της αντλίας υψηλής πίεσης.
- Βαλβίδα ελέγχου (check valve) και βαλβίδα ατμοσφαιρικής εκροής (atmospheric drain valve) πάνω στην γραμμή του διηθήματος
- Βαλβίδα απόρριψης στη γραμμή του διηθήματος ώστε να εκκενώνεται από παραμένον νερό κατά τη διάρκεια καθαρισμού των μεμβρανών και κατά την εκκίνηση της λειτουργίας του συστήματος.
- Βαλβίδες στη γραμμή τροφοδοσίας και στη γραμμή της απορριπτόμενης άλμης (και ανάμεσα σε συστοιχίες δοχείων (στάδια) σε πολυβάθμια συστήματα) ώστε να υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης κυκλώματος καθαρισμού των μεμβρανών (σύστημα επιτόπιου καθαρισμού).

5.3.3. Προαιρετικός Εξοπλισμός

Θύρες Εξαγωγής Δείγματος /24/

Συνιστάται να υπάρχουν θύρες εξαγωγής δείγματος νερού στη γραμμή του νερού τροφοδοσίας, στη γραμμή της απορριπτόμενης άλμης και στη γραμμή του παραγόμενου διηθήματος ενός συστήματος RO. Κάνοντας χημική ανάλυση στα δείγματα, ο χρήστης μπορεί να αξιολογήσει την απόδοση του συστήματος. Επίσης συνιστάται να υπάρχει μια θύρα εξαγωγής δείγματος πάνω στην έξοδο του παραγόμενου διηθήματος σε κάθε πιεστικό δοχείο ξεχωριστά ώστε να διευκολύνεται η αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων που μπορεί να εντοπίζονται μεμονωμένα σε κάποιο πιεστικό δοχείο.

Καταγραφείς Δεδομένων Λειτουργίας /23/

Σε μεγάλα συστήματα RO, συνιστάται να γίνεται συνεχής καταγραφή των ακόλουθων δεδομένων λειτουργίας του συστήματος:

- Θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας.
- pH του νερού τροφοδοσίας.
- Αγωγιμότητα του νερού τροφοδοσίας και του παραγόμενου διηθήματος.

- Δείκτης Πυκνότητας Ιλύος (SDI) του νερού τροφοδοσίας.
- Δυναμικό οξειδοαναγωγής του νερού τροφοδοσίας.
- Πίεση στην γραμμή τροφοδοσίας, στη γραμμή της απορριπτόμενης άλμης και στη γραμμή του παραγόμενου διηθήματος.
- Ρυθμός ροής του διηθήματος και της απορριπτόμενης άλμης.

5.4. Δεξαμενές /25/

Η αποθήκευση νερού σε δεξαμενές θα πρέπει να διατηρείται στο ελάχιστο δυνατόν. Όταν χρησιμοποιούνται δεξαμενές, η είσοδος και η έξοδος θα πρέπει να είναι τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιτρέπεται ο σχηματισμός στάσιμων ζωνών. Οι δεξαμενές πρέπει να προστατεύονται από τη σκόνη και τη μικροβιολογική μόλυνση. Σε κρίσιμες εφαρμογές οι δεξαμενές είναι κλειστές και εξαερίζονται μέσω φίλτρου (HEPA-filter).

Δεξαμενή Τροφοδοσίας

Μια δεξαμενή τροφοδοσίας είναι αναγκαία για να υπάρχει χρόνος αντίδρασης (20-30 λεπτά), όταν χρησιμοποιείται χλώριο κατά την προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας. Για το σκοπό αυτό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ο ελεύθερος χώρος που δεν χρησιμοποιείται μέσα στα φίλτρα διήθησης (φίλτρα άμμου κτλ.) Επίσης, οι δεξαμενές τροφοδοσίας χρησιμοποιούνται συχνά ως προσωρινή αποθήκευση για να καταστεί δυνατή η συνεχής λειτουργία ενός συστήματος RO ή NF (π.χ., κατά τη διάρκεια της έκπλυσης των φίλτρων). Τέλος, τα συστήματα διακοπτόμενης ή ημι-διακοπτόμενης λειτουργίας (βλέπε ενότητα 4.2) απαιτούν μια δεξαμενή τροφοδοσίας.

Δεξαμενή Διηθήματος

Μια δεξαμενή διηθήματος χρησιμοποιείται κατά κανόνα, όταν το διήθημα είναι το τελικό προϊόν, συνήθως σε μικρά συστήματα RO διακοπτόμενης λειτουργίας. Οι εκκινήσεις και οι παύσεις της λειτουργίας του συστήματος ενεργοποιούνται από σήματα χαμηλού και υψηλού επιπέδου της στάθμης στη δεξαμενή του διηθήματος. Η παρακολούθηση της στάθμης γίνεται μέσω φλοτέρ μέσα στη δεξαμενή. Η παραγωγικότητα του συστήματος RO και το μέγεθος (χωρητικότητα) της δεξαμενής πρέπει να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε η μονάδα RO να επιτρέπεται να λειτουργεί για αρκετές ώρες χωρίς διακοπή. Όσο λιγότερο συχνά σταματάει η λειτουργία του συστήματος τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του συστήματος. Από την άλλη, το τελικό παραγόμενο νερό δεν πρέπει να μένει για πολύ χρόνο μέσα στη δεξαμενή γιατί η μακροχρόνια παραμονή του έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μικροοργανισμών μέσα στο νερό. Η διαστασιολόγηση του συστήματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε το νερό να μην παραμένει στη δεξαμενή διηθήματος πάνω από 24 ώρες.

Αεροφυλάκιο (Δοχείο/Δεξαμενή Ανάπαλσης) του Διηθήματος (draw-back tank)

Ένα αεροφυλάκιο διηθήματος (για μεγάλες εγκαταστάσεις ονομάζεται δοχείο/δεξαμενή ανάπαλσης) είναι ένα μικρό δοχείο τοποθετημένο στη γραμμή του διηθήματος το οποίο παρέχει αρκετό όγκο για την αντίστροφη ροή του νερού (ροή του νερού προς τα πίσω) λόγω φυσικής όσμωσης, όταν ένα σύστημα RO σταματάει να λειτουργεί. Συνήθως χρησιμοποιείται στα συστήματα θαλασσινού νερού, αλλά όχι σε συστήματα υφάλμυρου νερού. Ένα άδειο αεροφυλάκιο μπορεί να προκαλέσει την απορρόφηση αέρα πίσω στις μεμβράνες. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει τα παρακάτω προβλήματα:

- Μόλυνση του καναλιού του διηθήματος των μεμβρανών από αιωρούμενα μικρόβια και μύκητες που μεταφέρονται μέσω του αέρα.
- Υδραυλικό πλήγμα και ριπές αέρα που αναστατώνουν τα ενδεικτικά όργανα και τους μετρητές του συστήματος όταν ο αέρας βγαίνει από το σύστημα κατά την επόμενη εκκίνηση του συστήματος.
- Ξήρανση των μεμβρανών (απώλεια επιφανειακής ροής, δηλ. απώλεια ροής ανά μονάδα επιφανείας της μεμβράνης).
- Αν το νερό τροφοδοσίας είναι σε ανηγμένη κατάσταση και περιέχει υδρόθειο (H_2S), δισθενή σίδηρο (Fe^{2+}), δισθενές μαγγάνιο (Mn^{2+}), κλπ., η διεϊσδυση του αέρα μπορεί να προκαλέσει σχηματισμό επικαθήσεων από οξειδωμένη και ιζηματοποιημένη κολλοειδή ύλη πάνω στην μεμβράνη.

Αν το νερό που παράγεται από ένα σύστημα RO χλωριώνεται, πρέπει να επιδεικνύεται προσοχή ώστε να διασφαλιστεί ότι το χλώριο δεν μεταφέρεται πίσω στις μεμβράνες. Θα πρέπει να εφαρμόζονται καταλλήλως κενά αέρα.

Αν χρησιμοποιείται δοχείο ανάπαλσης, το επίπεδο του νερού μέσα στο δοχείο θα πρέπει να είναι πιο ψηλά από το υψηλότερο πιεστικό δοχείο μεμβρανών, αλλά σε ύψος που να μην υπερβαίνει τα 3 m (9,8 ft) από το χαμηλότερο δοχείο μεμβρανών. Για να αποτρέπεται πιθανή μόλυνση, το νερό εισέρχεται από το κάτω μέρος της δεξαμενής ανάπαλσης και εξέρχεται από την κορυφή της, ενώ η δεξαμενή πρέπει να είναι καλυμμένη. Αν πραγματοποιείται χλωρίωση κατά την μεταεπεξεργασία του παραγόμενου νερού, τότε αυτή θα πρέπει να γίνεται μετά (κατάντη) από την δεξαμενή ανάπαλσης.

Ο απαιτούμενη χωρητικότητα μιας δεξαμενής ανάπαλσης υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{DBT} = (25 T_E) - V_{PP} \quad (\text{Εξ. 7})$$

όπου:

V_{DBT} : χωρητικότητα της δεξαμενής ανάπαλσης (σε λίτρα)

T_E : αριθμός εγκατεστημένων μεμβρανών

V_{PP} : όγκος των σωληνώσεων διηθήματος ανάμεσα στα πιεστικά δοχεία μεμβρανών και στη δεξαμενή ανάπαλσης (σε λίτρα)

Δεξαμενές Χορήγησης Χημικών

Οι δεξαμενές χορήγησης χημικών απαιτούνται όταν στο νερό της τροφοδοσίας προστίθενται χημικές ουσίες μέσω δοσομετρικής αντλίας. Μέσα σ' αυτές τις δεξαμενές φτιάχνεται το χορηγούμενο διάλυμα ύστερα από ανάμιξη ενός μικρού ποσοστού της εκάστοτε χημικής ουσίας μέσα σε ποσότητα παραχθέντος διηθήματος. Η πιο συνήθης χρήση τέτοιας δεξαμενής είναι για την χορήγηση αντικαθαλατωτικού. Σε μεγάλα συστήματα RO, οι δεξαμενές χορήγησης χημικών θα πρέπει να έχουν τέτοιες διαστάσεις ώστε συνήθως να ξαναγεμίζουν καθημερινά. Στα μικρά συστήματα, η συχνότητα πλήρωσης των δοχείων χορήγησης χημικών (κυρίως αντικαθαλατωτικών) μπορεί να είναι και κάθε 15 μέρες.

Δεξαμενή Καθαρισμού

Μια δεξαμενή καθαρισμού είναι μέρος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται κατά τον καθαρισμό ενός συστήματος RO και των μεμβρανών του.

5.5. Πιεστικά Δοχεία /26, 27/

Τα πιεστικά δοχεία που εμπεριέχουν τις μεμβράνες σχεδιάζονται για εφαρμογές συγκεκριμένης πίεσης. Όταν επιλέγεται ένα πιεστικό δοχείο, η επιλεγμένη ονομαστική τιμή της πίεσης πρέπει να είναι αρκετά υψηλή ώστε να είναι δυνατή στο μέλλον η αύξηση της αρχικής πίεσης λειτουργίας του συστήματος για την αντιστάθμιση μη αναστρέψιμου στομώματος των μεμβρανών από επικαθίσεις και για την αντιμετώπιση πιθανής επιδείνωσης της ποιότητας του νερού τροφοδοσίας. Έτσι, για λόγους ασφαλείας, συνήθως επιλέγεται ένα πιεστικό δοχείο που να αντέχει 50% περισσότερο από την αρχική απαιτούμενη πίεση λειτουργίας.

Τα πιεστικά δοχεία διατίθενται στο εμπόριο σε διάφορα μεγέθη (διαμέτρους και μήκη) και διάφορες ονομαστικές τιμές της πίεσης (τιμές όσον αφορά την μέγιστη δυναμική αντίθλιψη* του διηθήματος (dynamic permeate backpressure)).

Τα μικρότερα δοχεία, με διάμετρο από 1,5 έως 2,5 ιντσών, συνήθως προμηθεύονται από την εταιρία Payne. Όλα τα άλλα πιεστικά δοχεία με διάμετρο από 2,5 έως 8 ιντσών και ονομαστική τιμή της πίεσης έως και 1000psig (68.9 bar) κατασκευάζονται από την εταιρία Advanced Structures Inc.

Τα πιεστικά δοχεία συνήθως κατασκευάζονται από πλαστικό ενισχυμένο με fiberglass (FPR – fiberglass reinforced plastic) και μερικές φορές από ανοξείδωτο χάλυβα (316L) για ειδικές εφαρμογές, όπως εφαρμογές πολύ υψηλής πίεσης (> 800psig, > 55,2 bar).

Όταν, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας μιας μονάδας RO παρουσιάζεται δυναμική αντίθλιψη (backpressure) του διηθήματος, για μερικά πιεστικά δοχεία το περιοριστικό τμήμα του δοχείου είναι η θύρα εξαγωγής του διηθήματος. Σε πολλά πιεστικά δοχεία, για τη θύρα εξαγωγής του διηθήματος χρησιμοποιούνται υλικά όπως το PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο). Η ονομαστική πίεση του διηθήματος είναι μια ισχυρή συνάρτηση της θερμοκρασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε στατικές συνθήκες, δηλαδή, με την αντλία υψηλής πίεσης κλειστή, η αντίθλιψη (backpressure) του διηθήματος δεν πρέπει ποτέ να υπερβαίνει τα 5 psi (0,3 bar).

* αντίθλιψη: η πίεση ενός ρευστού, η οποία δρα αντίθετα προς την επιδιωκόμενη κίνηση μιας μηχανής, αντλίας, βαλβίδας σωλήνωσης και η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της χωρητικότητας αυτής, σε περίπτωση εκκένωσής της.

5.6. Υλικά για την Κατασκευή του Συστήματος - Αποτροπή της Διάβρωσης /29/

Μέσα σε μια μονάδα αφαλάτωσης νερού με αντίστροφη όσμωση (RO), από άποψη διάβρωσης, επικρατεί ένα πολύ σκληρό περιβάλλον. Ως εκ τούτου, τα υλικά κατασκευής πρέπει να διαθέτουν έναν ορισμένο βαθμό ανθεκτικότητας στη διάβρωση. Αυτό ισχύει και για τις δύο κατηγορίες εξαρτημάτων μιας μονάδας RO, τα εξωτερικά εξαρτήματα που εκτίθενται σε διαρροές υγρών από την μονάδα και σε υγρή και αλμυρή ατμόσφαιρα, καθώς και για το εσωτερικό του συστήματος που εκτίθεται σε μεγάλη ποικιλία ακατέργαστων υδάτων τροφοδοσίας που υπόκεινται σε επεξεργασία.

Αν και δεν πρέπει να υποτιμάται, η εξωτερική διάβρωση μπορεί συνήθως να ξεπεραστεί με τη χρήση μιας επίστρωσης (μπογιά, γαλβανισμός, κλπ) πάνω στα υλικά που ενδέχεται να διαβρωθούν (μαλακός χάλυβας, χυτοσίδηρος (μαντέμι), κ.λπ.) και με την εφαρμογή ενός προγράμματος συντήρησης που περιλαμβάνει περιοδικό ξέπλυμα και καθαρισμό, επισκευή των διαρροών, κλπ.

Η επιλογή υλικών κατασκευής για το εσωτερικό σύστημα (μεμβράνες, πιεστικά δοχεία, αντλίες, σωληνώσεις, βαλβίδες, ενδεικτικά όργανα) που βρέχεται από τα προς επεξεργασία ύδατα τροφοδοσίας είναι ένα πολύ πιο σύνθετο έργο. Εκτός από το ότι πρέπει να είναι συμβατά με τις πιέσεις, τις δονήσεις, τις θερμοκρασίες, κλπ., που υπάρχουν μέσα σε ένα σύστημα RO, τα υλικά πρέπει επίσης να είναι σε θέση να αντέξουν τις πιθανές διαβρωτικές προσβολές που προκαλούνται από:

- την υψηλή περιεκτικότητα του νερού τροφοδοσίας και της απορριπτόμενης άλμης σε χλωριόντα,
- το παραγόμενο διήθημα που είναι ‘επιθετικό’ (επειδή είναι σχεδόν απιονισμένο) και
- τα χημικά που χορηγούνται στο σύστημα για διάφορους λόγους και εφαρμογές όπως είναι ο καθαρισμός των μεμβρανών.

Η χρήση μη μεταλλικών υλικών όπως πλαστικά, fiberglass, κλπ., είναι ευρέως διαδεδομένη για την αποτροπή φαινομένων διάβρωσης και χημικής προσβολής σε μια μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση, τόσο στο τμήμα της μονάδας όπου ασκείται χαμηλή πίεση (<145 psi/10 bar), όσο και στις μεμβράνες RO και στα πιεστικά δοχεία που τις εμπεριέχουν.

Ωστόσο, συνήθως είναι απαραίτητη η χρήση μετάλλων για τα εξαρτήματα του συστήματος όπου ασκούνται υψηλές πιέσεις (145-1,000 psi/10-70 bar), όπως αντλίες, σωληνώσεις και βαλβίδες. Οι ανθρακοχάλυβες (carbon steels) και χάλυβες χαμηλού κράματος (low alloy steels) δεν έχουν επαρκή αντοχή ενάντια στη διάβρωση, και τα παραπροϊόντα της διάβρωσής τους μπορούν να σχηματίσουν επικαθήσεις πάνω στις μεμβράνες, απειλώντας τις με έμφραξη (στόμωμα).

Η χρήση σωληνώσεων με επένδυση (lined piping) συνήθως δεν αποτελεί ρεαλιστική εναλλακτική λύση λόγω του ότι το σχέδιο των σωληνώσεων είναι συνήθως πολύ compact και του ότι απαιτούνται σχετικά μεγάλες ποσότητες εξαρτημάτων σύνδεσης.

Τα κρατερώματα αλουμινίου (Al-bronze) μπορεί να είναι μια εναλλακτική λύση για τις αντλίες κλπ., αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ο κίνδυνος σπηλαιώδους μηχανικής διάβρωσης (erosion corrosion) και των χημικών προσβολών (chemical attacks).

Το πιο κατάλληλο υλικό κατασκευής για τα εξαρτήματα υψηλής πίεσης είναι ο ανοξειδωτος χάλυβας (stainless steel).

Το βασικό πλεονέκτημα του ανοξειδωτου χάλυβα είναι ότι είναι πολύ ανθεκτικός σε ομοιόμορφη, γενική διάβρωση (general corrosion) και σε σπηλαιώδη μηχανική διάβρωση (erosion corrosion). Ο ανοξειδωτος χάλυβας σπάνια προσβάλλεται από γαλβανική διάβρωση, αλλά αυτό επηρεάζει την προσβολή πάνω στο άλλο μέταλλο, μέσα σε ένα ζεύγος δύο μετάλλων (π.χ. χαλκός, ορείχαλκος, κ.λπ.). Τέλος, διάβρωση του ανοξειδωτου χάλυβα με μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε ψαθυρή θραύση (stress corrosion cracking), όταν ο ανοξειδωτος χάλυβας εκτίθεται σε υγρά με υψηλή περιεκτικότητα χλωριόντων σε θερμοκρασίες κάτω από 158 ° F (70 ° C), εμφανίζεται πολύ σπάνια, γι 'αυτό δεν χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη σε μια μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση (RO).

Δυστυχώς, μερικοί τύποι ανοξειδωτου χάλυβα είναι επιρρεπείς σε τρηματική και ρωγμώδη διάβρωση (pitting and crevice corrosion) από τα ύδατα που εισέρχονται σε

μια μονάδα RO. Τρηματική διάβρωση (pitting) σημαίνει σημειακές διαβρώσεις που έχουν ως αποτέλεσμα τρύπες μέσα στο μέταλλο. Η τρηματική διάβρωση εμφανίζεται όπου το παθητικό λεπτό στρώμα επικάλυψης (film) που σχηματίζεται από οξειδία χρωμίου σπάει κι έτσι τα χλωριόντα μπορούν να προσβάλουν το γυμνό μέταλλο. Η ρωγμώδης διάβρωση (crevice corrosion) είναι τρηματική διάβρωση συνδυασμένη με μικρούς όγκους λιμναζόντων υδάτων που προκαλούνται από τρύπες του μετάλλου, επιφάνειες στεγανοποιητικών παρεμβυσμάτων (φλάτζα, gasket), διάφορα προϊόντα απόθεσης (επικαθήσεις), ρωγμές κάτω από βίδες, κλπ. Για να αποφευχθεί η τρηματική και η ρωγμώδης διάβρωση μέσα σε μια μονάδα αφαλάτωσης νερού με αντίστροφη όσμωση (RO) μπορούν να δοθούν οι ακόλουθες συστάσεις, ταξινομώντας τα ύδατα ανάλογα με την αλατότητα της απορριπτόμενης άλμης:

- **Μονάδες RO με αλατότητα (TDS) απορριπτόμενης άλμης < 7.000 ppm**

Η χρήση ανοξείδωτου χάλυβα τύπου AISI 316 L, με περιεκτικότητα άνθρακα (C) < 0,03% είναι η ελάχιστη απαίτηση για το σύστημα των σωληνώσεων επειδή ανοξείδωτοι χάλυβες χαμηλότερης ποιότητας με υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα θα υποστούν τρηματική διάβρωση στις ζώνες συγκόλλησης των μετάλλων (περικρυσταλλική διάβρωση). Για τα εξαρτήματα μια μονάδας RO που δεν εμπεριέχουν συγκολλήσεις, συνήθως ένας ανοξείδωτος χάλυβας τύπου AISI 316 είναι αποδεκτός.

- **Μονάδες RO με αλατότητα (TDS) απορριπτόμενης άλμης > 7.000 ppm**

Σε σωληνώσεις, σε γωνίες (καμπές, καμπύλες), σε ζώνες συγκόλλησης και σε άλλα παρόμοια τμήματα/εξαρτήματα μιας μονάδας RO όπου δεν υπάρχουν ρωγμές, συνιστάται η χρήση ανοξείδωτου χάλυβα τύπου 904 L. Σε εξαρτήματα όπου εμφανίζονται ρωγμές, όπως σε συνδέσεις με στεφάνη (φλάντζα), σε βαλβίδες, σε αντλίες, κλπ., συνιστάται η χρήση ανοξείδωτου χάλυβα τύπου 254 SMO ή παρόμοιου τύπου με περιεκτικότητα σε μολυβδαίνιο (Mo) \geq 6%. Αυτοί οι δύο τύποι ανοξείδωτου χάλυβα υψηλότερου κράματος (higher alloy stainless steels) μπορούν να συγκολληθούν μεταξύ τους χωρίς τον κίνδυνο γαλβανικής διάβρωσης. Οι αισθητήρες των μετρητικών οργάνων της μονάδας μπορούν να έχουν επίστρωση ή επένδυση.

Εκτός από τις ανωτέρω συστάσεις, πρέπει να λαμβάνονται γενικές προφυλάξεις κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της κατασκευής μιας μονάδας RO, όπως:

- Σχεδιασμός με ελάχιστες ρωγμές και αδιέξοδα.
- Σχεδιασμός των σωληνώσεων, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η ταχύτητα ροής να είναι πάνω από 1,5 m/s (5 ft /s). Αυτό προωθεί τη διαμόρφωση και τη διατήρηση ενός παθητικού λεπτού στρώματος επικάλυψης (film).
- Χρήση ενισχυτικού αερίου (backing gas) κατά την συγκόλληση, προκειμένου να αποφευχθεί το film οξειδίων της συγκόλλησης που σχηματίζει μια βάση για ρωγμώδη διάβρωση.
- Συντήρηση και παθητικοποίηση του συστήματος των σωληνώσεων, καθώς αυτό δίνει την καλύτερη δυνατή ασφάλεια ενάντια στην προσβολή από χλωριόντα.
- Ξέπλυμα της μονάδας RO με νερό χαμηλής αλατότητας πριν από μια περίοδο διακοπής της λειτουργίας της μονάδας.

Λεξιλόγιο

* Χάλυβας (Steel): κράμα σιδήρου με μικρή περιεκτικότητα (0,05 έως 1,5 %) σε άνθρακα, πολύ σκληρό και ελαστικό, που χρησιμοποιείται κυρίως στη βαριά βιομηχανία· ατσάλι: Ανοξειδωτος χάλυβας (stainless steel), που περιέχει χρώμιο ή νικέλιο. Βαφή και ανόπτηση του χάλυβα. Ο χυτοσίδηρος αποτελεί την πρώτη ύλη για την παρασκευή του χάλυβα.

* Χυτοσίδηρος (Cast iron): κράμα σιδήρου και άνθρακα, με σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα. Λέγεται και μαντέμι.

* Ανθρακοχάλυβες (carbon steels): Χάλυβες που περιέχουν μόνον άνθρακα. Η ύπαρξη τυχόν μικροποσοτήτων από άλλα στοιχεία δεν επηρεάζει τη διαμόρφωση της δομής τους.

* Μπρούτζος αλουμινίου (Al – bronze): Εκτός από το κοινό κρατέρωμα (κοινός μπρούτζος ή μπρούντζος) που είναι κράμα χαλκού-κασσίτερου (Cu–Sn), υπάρχουν και τα κρατερώματα αλουμινίου. Τα κρατερώματα αλουμινίου περιέχουν 9–12% κ.β. Al, και Fe και Ni έως 6% κ.β. συνολικά. Δεν περιέχουν κασσίτερο, αλλά μοιάζουν στο χρώμα με το κοινό κρατέρωμα.

* Γαλβανική διάβρωση: Εμφανίζεται όταν δύο διαφορετικά μέταλλα βρίσκονται σε επαφή παρουσία ενός ηλεκτρολύτη (π.χ. θαλασσινό νερό). Ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από το δραστικότερο (που δρα ως άνοδος) προς το λιγότερο δραστικό (που δρα ως κάθοδος) με αποτέλεσμα το πρώτο να διαβρώνεται και το δεύτερο να προστατεύεται.

5.7. Βιβλιογραφία

7. AWWARF, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commission of South Africa. 1996. Water Treatment Membrane Processes. J. Mallevalle, P. E. Odendaal, and M. R., Wiesner, eds. New York: McGraw-Hill Publishers.
8. Reduction of the Energy Demand for Seawater RO with the Pressure Exchange System PES, Geisler P., W. Krumm and T. A. Peters, Desalination 135:205-210, (2001)
9. Importance of Energy Recovery Devices in Reverse Osmosis Desalination, Lieberman B, Austin, TX: Texas Water Development Board. (2003)
10. West Coast Researchers Seek to Demonstrate SWRO Affordability, McHarg J. and R. Truby, Desalination and Water Reuse Quarterly 14:10-18. (2004)
11. Operating Experience of the Dhekelia Seawater Desalination Plant Using an Innovative Energy Recovery System, Sallangos O. L. V., Morocco: European Desalination Society. (2004)
12. Operating Experience of the Dhekelia Seawater Desalination Plant Using an Innovative Energy Recovery System, Sallangos O. L. V., and E. A. Kantilaftis, Presentation at the European Desalination Society Conference, Morocco, (2003).
13. Affordable Desalination Collaboration 2005, Seacord T. F. 2006a, Presentation at AMTA Bi-Annual Conference, Anaheim, CA, July (2006)
16. Φυγόκεντρος Αντλία, Μηχανική Φυσικών Διεργασιών I & II, Εργαστήριο Σχεδιασμού & Ανάλυσης Διεργασιών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
<http://lpad.chemeng.ntua.gr/LAB/Pdfs/Pump.pdf>
30. Pump, Wikipedia – The Free Encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Pumps>
31. Η Αντλητική Εγκατάσταση, Υδροδυναμικές Μηχανές (Αντλίες-Υδροστροβίλοι), Δημήτριος Παπαντώνης, Καθηγητής Ε.Μ.Π., Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 2002

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

6.1. Εισαγωγή /1, 2, 15, 16, 17, 18 ,19, 20, 21, 22/

Το αφαλατωμένο νερό, που παράγεται από μια διεργασία αντίστροφης όσμωσης, παρουσιάζει μια πολύ μεγάλη έλλειψη από διαλυμένα στερεά (άλατα), η οποία οδηγεί σε μια ποιότητα νερού που έχει χαμηλή σκληρότητα και αλκαλικότητα. Ως εκ τούτου, χωρίς την κατάλληλη μετά-επεξεργασία, αυτό το νερό θα είναι διαβρωτικό για τα υλικά των αγωγών, συμπεριλαμβανομένων των μετάλλων και του σκυροδέματος (μπετόν), και μπορεί να εισάγει τα μέταλλα στο πόσιμο νερό και να μειώσει τη διάρκεια ζωής των υποδομών του δικτύου ύδρευσης και γενικά όλων των υδραυλικών σωληνώσεων και εγκαταστάσεων.

Εκτός της διαβρωτικότητας, ένα πολύ μαλακό νερό με ελάχιστη αλατότητα (TDS) και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο και μαγνήσιο (δηλ. πολύ χαμηλή σκληρότητα) δεν έχει αποδεκτή γεύση από τους καταναλωτές ενώ είναι επικίνδυνο και για την υγεία τους καθώς η συστηματική χρήση πολύ μαλακού νερού συνδέεται με καρδιαγγειακές νόσους.

Για να εξασφαλισθεί η σταθερότητα (ισορροπία) του παραγόμενου διηθήματος έτσι ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση των αγωγών ύδρευσης και των οικιακών υδραυλικών συσκευών και εγκαταστάσεων, μετά την επεξεργασία του νερού με αντίστροφη όσμωση, είναι απαραίτητη η μετα-επεξεργασία του για να επιστραφεί στο αφαλατωμένο νερό κάποια ποσότητα σκληρότητας ασβεστίου (Ca^{2+}) και αλκαλικότητας διττανθρακικών (όξινα ανθρακικά, HCO_3^-).

Σε πολλές περιπτώσεις, η μετα-επεξεργασία περιλαμβάνει επίσης αερισμό (απαέρωση ή απανθράκωση) για την απομάκρυνση του αερίου διοξειδίου του άνθρακα (για την αύξηση του pH) και αερισμό μαζί με οξείδωση για την απομάκρυνση του αερίου υδρόθειου όταν αυτά τα αέρια παρουσιάζονται στο διήθημα, και την προσθήκη φθορίου το οποίο αφαιρείται κατά τη διάρκεια της διεργασίας της αντίστροφης όσμωσης.

Επιπλέον, πολύ συχνά, προστίθενται χημικοί αναστολείς της διάβρωσης (αντιδιαβρωτικά χημικά) για να μειωθεί κι άλλο το δυναμικό του τελικού νερού για διάβρωση των σωληνώσεων.

Τέλος, όπως και στις συμβατικές μονάδες επεξεργασίας νερού, είναι απαραίτητη η απολύμανση του τελικού νερού, όμως η απαίτηση σε χλώριο μειώνεται σε σημαντικό βαθμό από την διεργασία της αφαλάτωσης, με αποτέλεσμα τον ελάχιστο σχηματισμό παραπροϊόντων της απολύμανσης.

Η μετα-επεξεργασία περιλαμβάνει:

- είτε ανάμειξη του διηθήματος με προεπεξεργασμένο νερό τροφοδοσίας,
- είτε προσθήκη χημικών στην γραμμή του διηθήματος,
- είτε επεξεργασία του διηθήματος με εκχυλιστές ασβεστόλιθου (φίλτρα ασβεστίτη, δολομίτη),
- είτε αερισμό του διηθήματος,
- είτε συνδυασμό των παραπάνω.

Παρακάτω φαίνεται ένα γενικό διάγραμμα ροής μιας μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση / νανοδιήθηση όπου απεικονίζονται κάποιες από τις συνήθεις διεργασίες προ-επεξεργασίας και μετα-επεξεργασίας.

6.2. Ανάμειξη του Διηθήματος με Προεπεξεργασμένο Νερό Τροφοδοσίας /7/

Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να γίνει **ανάμειξη** αφαλατωμένου νερού (προϊόν της αντίστροφης όσμωσης) με προεπεξεργασμένο νερό που ακόμα δεν έχει εισαχθεί στις μεμβράνες RO ώστε να αφαλατωθεί, δηλαδή νερό που έχει περάσει μόνο από τις διεργασίες προεπεξεργασίας και τα φίλτρα αιωρημάτων (σακόφιλτρα, φίλτρα φυσιγγίου), έχουν παρακρατηθεί τα αιωρούμενα σωματίδια που πιθανώς περιείχε, όμως δεν έχει γίνει αλλοίωση της χημικής του σύστασης και της περιεκτικότητάς του σε φυσικά μεταλλικά στοιχεία.

Σε μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης, η μίξη γίνεται με τη χρήση ενός παρακαμπτηρίου αγωγού (bypass) που ενώνει την γραμμή αναρρόφησης της αντλίας υψηλής πίεσης με την γραμμή του διηθήματος. Το ποσοστό της μίξης ελέγχεται από μία βάνα (βαλβίδα).

Η χρήση σωλήνωσης bypass για μίξη, μειώνει την απαραίτητη δυναμικότητα του συστήματος των μεμβρανών RO, βελτιώνει την σταθερότητα (χημική ισορροπία) του τελικού νερού και ελαττώνει το κόστος κεφαλαίου και τις λειτουργικές δαπάνες. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό ανάμειξης καθορίζεται ανάλογα με την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας και του διηθήματος.

Στην περίπτωση του θαλασσινού νερού η ανάμειξη γίνεται σε ποσοστό 1% γιατί όταν τα επίπεδα ανάμειξης υπερβαίνουν το 1 %, εμφανίζονται ζητήματα που έχουν να κάνουν την διαβρωτικότητα και την γεύση του τελικού νερού.

Η ανάμειξη του διηθήματος των μεμβρανών με θαλασσινό νερό έχει ως αποτέλεσμα την προσθήκη νατρίου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου μέσα στο τελικό πόσιμο νερό όμως επίσης θα προσθέσει στο τελικό νερό βρωμιόντα και ιόντα ιωδίου, τα οποία είναι πρόδρομες ουσίες για τον σχηματισμό DBP (παραπροϊόντα απολύμανσης), και έτσι λόγω των σημαντικών συγκεντρώσεων αυτών των στοιχείων

περιορίζεται η ποσότητα του θαλασσινού νερού που μπορεί να διοχετευτεί με bypass στην γραμμή του διηθήματος.

Για νερό γεώτρησης μπορεί να φτάσει σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό ανάλογα με την αρχική σύσταση του νερού. Το βασικό στοιχείο που μας ενδιαφέρει στην αρχική σύσταση είναι η αναλογία νάτριο / σκληρότητα (ασβέστιο-μαγνήσιο). Όσο μικρότερη είναι αυτή η αναλογία τόσο μεγαλύτερο ποσοστό ανάμειξης μπορεί να επιτευχθεί, αφού στο τελικό προϊόν είναι επιθυμητά κάποια ικανοποιητικά επίπεδα ασβεστίου και μαγνησίου (τα οποία έχουν αναπτυχθεί παραπάνω) αλλά σχετικά πολύ μικρά επίπεδα νατρίου. Ακόμα όμως κι αν η αναλογία νάτριο / σκληρότητα αφήνει περιθώρια για μεγάλη ανάμειξη, αυτό δεν μπορεί να γίνει πράξη εάν στην αρχική σύστασή του το νερό περιέχει μεγάλες περιεκτικότητες σε επικίνδυνες ουσίες (π.χ. εξασθενές χρώμιο). Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα επεξεργασίας νερού που ενώ έχει πολύ καλό δείκτη νάτριο / σκληρότητα, ταυτόχρονα περιέχει πολύ μεγάλες ποσότητες εξασθενούς χρωμίου.

Παράδειγμα

Αφαλάτωση νερού γεώτρησης με τη μέθοδο της Αντίστροφης Όσμωσης

Οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης κατακρατούν περίπου τα εξής ποσοστά αλάτων (εξαρτάται από την εταιρία, τα υλικά, την μέθοδο κατασκευής και τον τύπο της μεμβράνης. Στην προκειμένη περίπτωση μελετώνται μεμβράνες της εταιρίας Filmtec για νερό με αγωγιμότητα έως 2500 μS):

Ασβέστιο	97 %
Μαγνήσιο	97 %
Νάτριο	90 %
Χρώμιο	97%

Έστω ότι η αρχική σύσταση του νερού είναι η εξής :

Ασβέστιο	200 mg / L
Μαγνήσιο	100 mg / L
Νάτριο	50 mg / L
Χρώμιο Εξασθενές	50 μg / L

Μετά το πέρασμα του νερού από τις μεμβράνες Αντίστροφης Όσμωσης, η σύστασή του θα είναι :

Ασβέστιο	(= 200 * 0.03)	6 mg / L
Μαγνήσιο	(= 100 * 0.03)	3 mg / L
Νάτριο	(= 50 * 0.1)	5 mg / L
Χρώμιο Εξασθενές	(= 40 * 0.03)	1.2 μg / L

Προκειμένου να προσθέσουμε ασβέστιο και μαγνήσιο στο τελικό προϊόν, κάνουμε μίξη με το αρχικό νερό. Ας δούμε τα αποτελέσματα ανάλογα με το ποσοστό της μίξης.

Πίνακας 6.2: Τελική σύνθεση νερού ανάλογα με το ποσοστό της μίξης

Ουσία	Ασβέστιο	Μαγνήσιο	Νάτριο	Εξ.Χρώμιο
Διάλυμα	mg /L	mg /L	mg /L	μg /L
Αρχικό	200	100	50	50
RO	6	3	1,5	1,5
Μίξη				
1%	7,94	3,97	1,985	1,985
5 %	15,7	7,85	3,925	3,925
10 %	25,4	12,7	6,35	6,35
15 %	35,1	17,55	8,775	8,775

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό μίξης, επιτυγχάνονται ικανοποιητικές περιεκτικότητες σε ασβέστιο, μαγνήσιο και νάτριο (βοηθάει το γεγονός ότι ο δείκτης νάτριο / σκληρότητα είναι χαμηλός). Παρά ταύτα, η αύξηση του ποσοστού της μίξης αυξάνει παράλληλα και την περιεκτικότητα του νερού σε μια πολύ επικίνδυνη ουσία όπως είναι το εξασθενές χρώμιο. Αυτό καθιστά απαγορευτικά τα μεγάλα ποσοστά μίξης και αναγκαστικά πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλες μέθοδοι για την πρόσθεση ασβεστίου και μαγνησίου στο τελικό προϊόν.

Το ίδιο πρόβλημα υπάρχει όταν στο αρχικό νερό παρουσιάζεται μεγάλη περιεκτικότητα νατρίου σε σχέση με το ασβέστιο και το μαγνήσιο όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.3: Σύνθεση νερού με μεγάλη περιεκτικότητα νατρίου σε σχέση με το ασβέστιο και το μαγνήσιο

Ουσία	Ασβέστιο	Μαγνήσιο	Νάτριο
Διάλυμα	mg /L	mg /L	mg /L
Αρχικό	200	100	400
RO	6	3	12
Μίξη			
1%	7,94	3,97	15,88

5 %	15,7	7,85	31,4
10 %	25,4	12,7	50,8
15 %	35,1	17,55	70,2

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό μίξης, παρόλο που επιτυγχάνονται ικανοποιητικές περιεκτικότητες σε ασβέστιο, μαγνήσιο ταυτόχρονα αυξάνεται η περιεκτικότητα του νατρίου σε ανεπιθύμητα επίπεδα.

Στην περίπτωση της **Ανάμειξης** λοιπόν του αφαλατωμένου νερού με φυσικό σκληρό νερό (είτε θαλασσινό, είτε υπόγειο, είτε επιφανειακό), εκτός από ασβέστιο και μαγνήσιο προστίθενται κι άλλα συστατικά στο νερό (νάτριο, χλωρίοντα, νιτρικά κ.ά.) τα οποία αναλόγως την περιεκτικότητά τους μπορεί να είναι ευεργετικά, αδιάφορα ή βλαβερά όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία, τη γεύση του νερού και την συμπεριφορά του μέσα στις σωληνώσεις. Γι' αυτό πριν γίνει ανάμειξη χρειάζεται προσεκτική μελέτη της αναλυτικής χημικής σύστασης του σκληρού νερού που θα αναμειχθεί με το αφαλατωμένο. Επίσης πρέπει να ληφθούν υπόψη τα υλικά των σωληνώσεων (χαλκός, μόλυβδος, πλαστικό) αλλά και για τι είδους χρήση προορίζεται το παραγόμενο νερό. Άλλες είναι οι απαιτήσεις για πόσιμο νερό, άλλες για βιομηχανική χρήση, άλλες για εργαστηριακή χρήση και άλλες για άρδευση.

6.3. Προσθήκη Χημικών - Σταθεροποίηση Υδάτων /9, 11/

Μετά την επεξεργασία του νερού με αντίστροφη όσμωση και την απολύμανση του με χλώριο, το νερό μπορεί να γίνει επιθετικό.

Για να αποφευχθεί αυτό, γίνονται προσπάθειες σταθεροποίησης του νερού, δηλαδή τελικός στόχος είναι η παραγωγή ισορροπημένων, σταθερών υδάτων που σημαίνει νερό που ούτε να σχηματίζει καθυαλατώσεις ούτε να είναι διαβρωτικό.

Για να προσδιοριστεί τι συμβαίνει όταν προστίθενται διάφορες χημικές ουσίες στο νερό και να διαπιστωθεί εάν το νερό είναι διαβρωτικό ή σταθερό, πρέπει πρώτα να γίνουν κατανοητοί κάποιοι σημαντικοί κανόνες:

1) Όταν προστίθεται στο νερό ένα οξύ τότε καταναλώνεται αλκαλικότητα. Σε αυτήν την περίπτωση, το 'οξύ' μπορεί να είναι ένα οξύ με τη συνήθη έννοια, όπως το θειικό οξύ, ενώ κάποιες φορές 'οξύ' μπορεί να σημαίνει ένα μεταλλικό κατιόν. Ως εκ τούτου, όταν προστίθεται ένα κατιόν σε νερό, όπως π.χ. το αργίλιο που περιέχει η στυπτηρία, τότε καταναλώνεται αλκαλικότητα. Το ίδιο ισχύει όταν προστίθεται στο νερό αέριο χλώριο.

2) Η αλκαλικότητα αυξάνεται όταν προστίθεται στο νερό ένα αλκάλιο, δηλαδή μια βασική ουσία με $pH > 7$.

3) Όταν καταναλώνεται (μειώνεται) η αλκαλικότητα των υδάτων τότε παράγεται διοξείδιο του άνθρακα μέσα στο νερό.

4) Το διοξείδιο του άνθρακα μειώνεται όταν προστίθεται στο νερό μια αλκαλική ουσία .

5) Το pH του νερού πέφτει όταν σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα και αυξάνεται πάλι μόνο όταν το CO_2 εξαλειφθεί.

Γνωρίζοντας τις επιπτώσεις που έχουν διάφορες χημικές ουσίες στην αλκαλικότητα και στα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα των υδάτων, γίνεται δυνατή η πρόβλεψη του pH του νερού, ως αποτέλεσμα διαφορετικών συστημάτων επεξεργασίας.

6.4. Αύξηση της Σκληρότητας του Νερού /3, 4, 5, 6, 7, 8/

6.4.1 Εισαγωγή

Όταν η ανάμειξη, η οποία δεν έχει επιπλέον κόστος καθώς δεν απαιτεί αναλώσιμα, δεν είναι εφικτή ή αποτελεσματική, καθώς επίσης και στις περιπτώσεις επεξεργασίας φυσικού μαλακού νερού (επιφανειακού, υπόγειου ή βρόχινου) τότε προστίθεται σκληρότητα στο νερό με την προσθήκη ασβεστούχων ή / και μαγνησιούχων χημικών ουσιών όπως:

- ο **Ασβέστης** [**lime - οξείδιο του ασβεστίου** (άσβηστος / καμμένος ασβέστης - CaO) ή **υδροξείδιο του ασβεστίου** (χωρύγι / ένυδρος ασβέστης - $Ca(OH)_2$)] (προηγείται συνήθως προσθήκη CO_2), διεργασία έγχυσης χημικού στο νερό,
- το **Χλωριούχο Ασβέστιο** ($CaCl_2$), διεργασία έγχυσης χημικού στο νερό
- ροκανίδια **μαρμάρου** [**marble chips** ($CaCO_3$) – συχνή χρήση σε δεξαμενές συλλογής βρόχινου νερού],
- το **Ασβεστόνερο** (lime milk), διεργασία έγχυσης στο νερό,
- ο **Ασβεστόλιθος Ασβεστίτη** [**Calcite Limestone** ($CaCO_3$, MgO)] (προηγείται πάντα προσθήκη CO_2), διεργασία διήθησης του νερού από ειδικό φίλτρο,

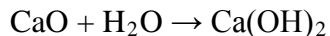
- ο **Ασβεστόλιθος Δολομίτη** [Dolomite Limestone (CaCO_3 , MgCO_3)] (προηγείται πάντα προσθήκη CO_2), διεργασία διήθησης του νερού από ειδικό φίλτρο.

Προηγείται προσθήκη CO_2 καθώς η διαλυτότητα των μεταλλικών στοιχείων (αλάτων) στο νερό μπορεί να βελτιωθεί εάν το νερό είναι ανθρακούχο, καθώς το χαμηλότερο pH αυξάνει συνήθως τη διαλυτότητα.

Επίσης το διοξείδιο του άνθρακα αναμειγνύεται με τον ασβέστη έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαβρωτικότητας του νερού.

Πληροφορίες σχετικά με το ασβεστόνερο

Το **ασβεστόνερο (lime milk – milk of lime)** είναι νερό μέσα στο οποίο αιωρούνται σωματίδια υδροξειδίου του ασβεστίου (χωρύγι / ένυδρος ασβέστης – slaked lime - $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Αυτά τα σωματίδια δίνουν στο νερό τη γαλακτώδη όψη. Το ασβεστόνερο συνήθως παράγεται με αντίδραση άσβεστου / καμένου ασβέστη (quicklime - οξείδιο του ασβεστίου - CaO) με περίσσεια του νερού – συνήθως με αναλογία από 4 προς 1 έως 8 προς 1 (ποσότητα νερού προς ποσότητα άσβεστου ασβέστη). Η αντίδραση του νερού με τον άσβεστο ασβέστη μερικές φορές αναφέρεται ως "σβήσιμο" του ασβέστη. Το οξείδιο του ασβεστίου θα μετατραπεί σε υδροξείδιό του, σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:



Αυτή η αντίδραση είναι έντονα εξώθερμη και θα παράγει αρκετή θερμότητα ώστε να φέρει το εναπομείναν αιώρημα σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Σε αναλογία 2 μέρη νερό προς 1 μέρος ασβέστη (κατά βάρος), η παραγόμενη θερμότητα είναι αρκετή για να φέρει το εναπομείναν αιώρημα, δηλαδή το νερό μέσα σε αυτό, σε κατάσταση βρασμού.

Το ασβεστόνερο είναι ένα αλκαλικό/βασικό διάλυμα με pH 12,3. Συνήθως χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία και ως παράγοντας εξουδετέρωσης στην επεξεργασία αστικών λυμάτων. Ενώ έχει μια πληθώρα άλλων χρήσεων, είναι περισσότερο γνωστό για την (ιστορική) χρήση του ως μπογιά.

6.4.2. Πρόσθεση Μεταλλικών Στοιχείων (Σκλήρυνση) σε Φυσικώς Μαλακό ή σε Αφαλατωμένο (προϊόν τεχνητής αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση) Νερό με Διάλυση Ασβεστόλιθου /4, 5, 6/

Η διεργασία επηρεάζεται από το pH, το μέγεθος του ασβεστόλιθου και του ύψους πλήρωσης της στήλης επαφής (του νερού με τον ασβεστόλιθο), την ποσότητα και ταχύτητα της ροής του αφαλατωμένου νερού και την θερμοκρασία της αντίδρασης.

Διαπιστώνεται ότι η μεταβολή του pH επηρεάζει την προσθήκη μεταλλικών στοιχείων στο νερό (σκλήρυνση-mineralization) με τον πιο προφανή τρόπο. Το φαινόμενο της σκλήρυνσης, μειώνεται αισθητά με την αύξηση της τιμής του pH για ένα συγκεκριμένο εύρος ύψους πλήρωσης, αυξάνεται με την άνοδο του ύψους πλήρωσης, μειώνεται με την αύξηση της παροχής του αφαλατωμένου νερού και βελτιώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Όταν το pH = 2, η συγκέντρωση ασβεστίου υπερβαίνει τα 300 mg/L μετά από τη διαδικασία της Σκλήρυνσης.

6.4.3. Διήθηση με Φίλτρο Μαρμάρου (Ολλανδία) /4, 5, 6/

Στην Ολλανδία τα φυσικά μαλακά νερά συχνά υπόκεινται κάποια επεξεργασία προκειμένου να προστεθεί σ' αυτά σκληρότητα και αλκαλικότητα ανθρακικού ασβεστίου. Για το λόγο αυτό, τα νερά περνούν από φίλτρα μαρμάρου. Η διήθηση με φίλτρο μαρμάρου σε μεγάλη κλίμακα είναι σχετικά φθηνή: εκτιμάται σε 0,04 ευρώ ανά κυβικό μέτρο. Σε μικρότερη κλίμακα, το κόστος αυξάνεται περίπου σε 0,10 ευρώ ανά κυβικό μέτρο.

6.5. Δείκτες Διαβρωτικότητας των Υδάτων /4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 22/

6.5.1. Εισαγωγή

Οι μηχανισμοί που εμπλέκονται στη διάβρωση λόγω υδάτων μπορεί να είναι εξαιρετικά πολύπλοκοι και σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι απολύτως κατανοητοί. Η υδατική διάβρωση είναι συχνά υλική και τοπικά εντοπισμένη. Η διαβρωτικότητα των υδάτων διαφέρει από υλικό σε υλικό αλλά και για το ίδιο υλικό όταν διαφοροποιείται η χημεία του νερού.

Η χρήση διάφορων δεικτών για την αξιολόγηση της διάβρωσης διάφορων υλικών, κυρίως μετάλλων, μέσα σε δίκτυα ύδρευσης, είναι προβληματική για τη βιομηχανία ελέγχου της διάβρωσης.

Οι περισσότεροι από τους δείκτες που έχουν αναπτυχθεί για να χαρακτηρίσουν το δυναμικό διάβρωσης των υδάτων βασίζονται στην υπόθεση ότι το νερό που έχει τάση να σχηματίζει καθαλατώσεις ανθρακικού ασβεστίου πάνω σε μεταλλικές επιφάνειες θα είναι λιγότερο διαβρωτικό.

Δεν υπάρχει κανένας δείκτης διάβρωσης που να ισχύει για όλα τα υλικά, και οι δείκτες διάβρωσης, ιδίως εκείνοι που σχετίζονται με τον κορεσμό του ανθρακικού ασβεστίου, έχουν δώσει ανάμεικτα αποτελέσματα ως προς την εγκυρότητα τους. Οι παράμετροι που σχετίζονται με την κατάσταση κορεσμού του ανθρακικού ασβεστίου είναι, στην κυριολεξία, δείκτες της τάσης των υδάτων να κατακρημνίσουν ή να διαλύσουν καθαλατώσεις ανθρακικού ασβεστίου (ασβεστίτης) και

όχι δείκτες της ‘διαβρωτικότητας’ των υδάτων. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλά νερά με αρνητικές τιμές LSI που είναι μη διαβρωτικά και πολλά με θετικό LSI που είναι διαβρωτικά.

Οι δείκτες κορεσμού είναι θερμοδυναμικές εξισώσεις που δίνουν ένα μέτρο της πιθανότητας να συμβεί διάλυση ή κατακρήμνιση ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) από το νερό που έχει μια δεδομένη σύνθεση υπό συνθήκες ισορροπίας. Στην πράξη, διαπιστώνεται συχνά ότι στα ύδατα με θετικές τιμές των δεικτών κορεσμού δεν συμβαίνει κατακρήμνιση του ανθρακικού ασβεστίου καθώς και το αντίστροφο, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επιπλέον, οι δείκτες υπολογίζονται βάσει ενός περιορισμένου συνόλου χημικών δεδομένων ενώ είναι γνωστό ότι και άλλα, συχνά ήσσονος σημασίας συστατικά, όπως οι οργανικές ενώσεις, μπορούν να επηρεάσουν το σχηματισμό καθυαλατώσεων ανθρακικού ασβεστίου. Συχνά, τα καθιζήματα του ανθρακικού ασβεστίου είναι ‘άμορφα’ αντί να σχηματίζουν ‘κελύφη’, που παρέχουν προστασία.

Κατακρήμνιση ανθρακικού ασβεστίου μπορεί να συμβεί σε υψηλές θερμοκρασίες, που εντοπίζονται μέσα σε εγκαταστάσεις και σωληνώσεις θερμαινόμενου νερού καθώς και μέσα σε υπέργειες σωληνώσεις που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικά υπέργειες μαύρες πλαστικές σωληνώσεις όπως οι σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE pipe) αυξάνουν τις πιθανότητες για κατακρήμνιση ανθρακικού ασβεστίου.

6.5.2. Παρανοήσεις

Η πρώτη παρανόηση όσον αφορά τη χρήση των δεικτών κορεσμού για την πρόβλεψη πιθανής διάβρωσης είναι ότι οι δείκτες κορεσμού στην πραγματικότητα δεν είναι καθόλου ‘δείκτες διάβρωσης’.

Η δεύτερη παρανόηση είναι ότι οι δείκτες αυτοί παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το σε ποιο βαθμό συμβαίνει η διάλυση/κατακρήμνιση, κάτι το οποίο δεν κάνουν.

6.5.3. Συνάφεια

ΗΠΑ – Μεγ. Βρετανία

Οι δείκτες κορεσμού αναπτύχθηκαν κυρίως σε χώρες όπως οι ΗΠΑ και το Ηνωμένο Βασίλειο, όπου για την ύδρευση χρησιμοποιούνταν μεγάλες ποσότητες σωληνώσεων από μη επενδεδυμένο χυτοσίδηρο και χάλυβα και η ιδέα του σχηματισμού καθυαλατώσεων ανθρακικού ασβεστίου ως εμπόδιο για τον περιορισμό της διάβρωσης ήταν αρχικά ελκυστική.

Αυστραλία

Στην Αυστραλία, οι τυποποιημένοι σωλήνες επενδεδυμένοι με τσιμεντοκονίαμα (CML pipe) ήταν διαθέσιμοι από τα τέλη του 1920 και στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μη επενδεδυμένες σωληνώσεις επενδύονταν 'επί τόπου', με επένδυση από τσιμεντοκονίαμα κατά την περίοδο αμέσως μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Επιπλέον, οι περισσότερες οικιακές σωληνώσεις υδραυλικών εγκαταστάσεων είναι τώρα, είτε από χαλκό ή από πλαστικά υλικά, που αντικαθιστούν εντελώς τους παλαιότερα εγκατεστημένους γαλβανισμένους χαλύβδινους σωλήνες που ευθύνονταν για την εσωτερική διάβρωση των σωληνώσεων.

Βέλτιστοι δείκτες

Το νερό θα πρέπει να είναι σε ισορροπία ασβεστίου-ανθρακικού οξέος. Αυτό σημαίνει ότι ο εκάστοτε Δείκτης Κορεσμού (SI – Saturation Index) πρέπει να είναι κοντά στο 0.

Το προτιμώμενο εύρος τιμών για δείκτες κορεσμού (SI) είναι $-0.2 < SI < 0,3$. Συγκεκριμένα για την περίπτωση σωληνώσεων τσιμέντου, σε αυτό το εύρος τιμών, η διάβρωση των σωληνώσεων θα είναι ελάχιστη, ενώ την ίδια στιγμή τα φαινόμενα καθαλατώσεων θα είναι επίσης χαμηλά.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχει μικρή ανάγκη για ένα θετικό δείκτη κορεσμού των υδάτων της παροχής μας. Αντίστροφα, όμως, υπάρχει ανάγκη να αποφευχθούν παροχές νερού που έχουν είτε έντονα θετικούς είτε έντονα αρνητικούς δείκτες, καθώς και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν ανεπιθύμητες συνέπειες.

Εξαιρετικά θετικοί δείκτες

Εξαιρετικά θετικοί δείκτες ενέχουν τον κίνδυνο να προκαλέσουν δυσκολίες σε εγκαταστάσεις, συσκευές και σωληνώσεις θερμαινόμενου νερού καθώς επίσης να προκαλέσουν φραγή σε σωληνώσεις μικρής διαμέτρου.

Εξαιρετικά αρνητικοί δείκτες

Νερά με εξαιρετικά αρνητικούς δείκτες μπορεί να προκαλέσουν απόπλυση ('φάγωμα') των προστατευτικών επενδύσεων από τσιμεντοκονίαμα σε δίκτυα ύδρευσης από χυτοσίδηρο και όλκιμο σίδηρο και, δεδομένου ότι ενδέχεται να έχουν χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα και οπότε ενδεχομένως αστάθεια όσον αφορά το pH τους, μπορούν να περιορίσουν την διατήρηση των υπολειμματικών απολυμαντικών μέσα στο δίκτυο και μπορεί να επηρεάσουν τις υδραυλικές εγκαταστάσεις από χαλκό και κράματα χαλκού.

Έτσι, η κύρια χρήση των δεικτών κορεσμού είναι στον καθορισμό των στόχων που τίθενται για την ποιότητα των υδάτων από τις μονάδες επεξεργασίας υδάτων, σε συνδυασμό με άλλα χαρακτηριστικά, όπως η αλκαλικότητα και το pH, ώστε να παρέχουν νερό με ισορροπία και σταθερότητα στη σύνθεσή του.

Αν και υπάρχει μια σειρά από δείκτες, αυτοί που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι ο Δείκτης Κορεσμού Langlier (**LSI**) και το Δυναμικό Κατακρήμισης Ανθρακικού Ασβεστίου (**CCPP**).

6.5.4. Δείκτης Κορεσμού Langlier (LSI)

Διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1936 από τον W. Langlier και είναι ο παλαιότερος και πιο γνωστός δείκτης κορεσμού.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει τη σταθερότητα του ανθρακικού ασβεστίου μέσα στο νερό, δηλαδή, αν το νερό θα διαλύσει, θα ιζηματοποιήσει (κατακρημνίσει) ή θα είναι σε ισορροπία με το ανθρακικό ασβέστιο.

Ουσιαστικά ο δείκτης LSI είναι μια μέθοδος αναφοράς του δυναμικού διαβρωτικότητας ή σχηματισμού καθαλατώσεων για επιφανειακά ή για υφάλμυρα ύδατα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα (δηλαδή χαμηλό TDS). Η μέθοδος βασίζεται στο επίπεδο κορεσμού του ανθρακικού ασβεστίου.

Ο δείκτης LSI υπολογίζεται με την αφαίρεση του pH κορεσμού (pH_s) από το πραγματικό pH του συστήματος.

$$LSI = pH - pH_s \quad (1)$$

Το pH κορεσμού (pH_s) είναι το επίπεδο pH κατά το οποίο ένα νερό ίδιας (σε σχέση με τα πραγματικά μεγέθη του συστήματος) αλκαλικότητας και σκληρότητας ασβεστίου θα ήταν σε ισορροπία με το στέρεο ανθρακικό ασβέστιο.

A) $LSI < 0$: δεν υπάρχει πιθανότητα καθαλατώσεων και το ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$) θα διαλυθεί μέσα στο νερό. Το νερό είναι υποκορεσμένο και ενδεχομένως διαβρωτικό.

B) $LSI > 0$: μπορούν να σχηματιστούν καθαλατώσεις και μπορεί να συμβεί κατακρήμιση (καθίζηση) ανθρακικού ασβεστίου. Το νερό είναι υπερκορεσμένο και ενδεχομένως μη διαβρωτικό.

Γ) $LSI = 0$: το νερό είναι κορεσμένο καθώς είναι σε ισορροπία με το $CaCO_3$.

Στην πράξη, ένα νερό θεωρείται να είναι ενδεχομένως 'επιθετικό' εάν έχει LSI < -1,5.

Οπότε, όταν ένα νερό έχει $LSI = - 1.8$, θεωρείται να είναι ενδεχομένως ηπίως διαβρωτικό.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το LSI απλώς δηλώνει την παρουσία μιας κινητήριας δύναμης. Δεν εγγυάται ότι η τάση για σχηματισμό καθαλατώσεων θα συμβεί και στην πράξη.

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις υδάτων με αρνητικό LSI που όμως είναι μη διαβρωτικά και πολλά με θετικό LSI που είναι διαβρωτικά. Παρ'όλα αυτά, υπάρχουν πολλές τεκμηριωμένες περιπτώσεις της χρήσης των δεικτών κορεσμού για τον έλεγχο της διάβρωσης και οι οποίες βασίζονται στο φαινόμενο του σχηματισμού ενός προστατευτικού "κελύφους" καθαλάτωσης ασβεστίτη μέσα σε σιδηροσωλήνες. Σε γενικές γραμμές, νερά με υψηλό pH, ασβέστιο και αλκαλικότητα είναι λιγότερο διαβρωτικά, και αυτό τείνει να συσχετίζεται με μια θετική τιμή του LSI.

Ιδανικό εύρος τιμών δείκτη LSI

-0,1 < LSI < 0.3 (KIWA standard – UK Water Regulations)

Δείκτης LSI και Αντίστροφη Όσμωση

Ο δείκτης LSI είναι σημαντικός στην Αντίστροφη Όσμωση (RO) ως μέτρηση της δυνατότητας του νερού για σχηματισμό καθαλατώσεων ανθρακικού ασβεστίου. Η διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (όπως αποδεικνύεται από το σχηματισμό ασβεστωδών καθαλατώσεων πάνω σε επιφάνειες τσαγιέρων), την αύξηση του pH, της συγκέντρωσης ασβεστίου, και της αλκαλικότητας.

Η τιμή του LSI μπορεί να μειωθεί με τη μείωση του pH μέσω της χορήγησης ενός οξέος (συνήθως θειικό ή υδροχλωρικό) μέσα στο νερό παροχής μιας μονάδας RO.

Μια συνιστώμενη τιμή LSI για το απορριπτόμενο νερό (συμπύκνωμα) μιας μονάδας RO είναι - 0,2 (κάτι που δείχνει ότι το pH στην απόρριψη της μονάδας είναι κατά 0,2 μονάδες κάτω από το σημείο κορεσμού του ανθρακικού ασβεστίου). Μια τιμή - 0,2 του LSI επιτρέπει μεταβολές (excursions) του pH κατά την πραγματική λειτουργία της RO μονάδας.

Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί κάποιο αντικαθαλατωτικό, που έχει ως βάση πολυμερή, για να εμποδίσει την κατακρήμνιση του ανθρακικού ασβεστίου. Ορισμένοι προμηθευτές αντικαθαλατωτικών υποστηρίζουν την αποτελεσματικότητα του προϊόντος τους για τιμή του LSI μέσα στο απορριπτόμενο νερό μέχρι +2,5 (αν και ένας πιο συντηρητικός σχεδιασμός για επίπεδο του LSI είναι μια τιμή +1,8).

Τα πρώτα χρόνια της εφαρμογής των μονάδων RO, χρησιμοποιούταν Εξαμεταφωσφορικό Νάτριο, που είναι ένα ανόργανο αντικαθαλατωτικό. Όμως η μέγιστη τιμή LSI στο νερό της απόρριψης ήταν + 0,5 και επίσης έπρεπε το χημικό να παράγεται σε παρτίδες μικρής διάρκειας καθώς οξειδώνεται εύκολα από τον αέρα.

6.5.5. Δείκτης Κορεσμού Stiff Davis (SDSI)

Ο δείκτης SDSI, με παρόμοιο τρόπο όπως και ο LSI, είναι μια μέθοδος αναφοράς της δυνατότητας για σχηματισμό καθυαλατώσεων ή των διαβρωτικών ιδιοτήτων για θαλασσινό νερό με υψηλή συγκέντρωση αλάτων (υψηλό TDS). Η μέθοδος βασίζεται στο επίπεδο κορεσμού του ανθρακικού ασβεστίου.

Η κύρια διαφορά μεταξύ του δείκτη SDSI για θαλασσινό νερό υψηλού TDS και του δείκτη LSI για υφάλμυρο νερό χαμηλού TDS, είναι η επίδραση που έχει η αύξηση της ιοντικής ισχύος πάνω στην αύξηση της διαλυτότητας. Η διαλυτότητα των πολύ λίγο διαλυτών αλάτων αυξάνεται με την αύξηση του TDS και της ιοντικής ισχύος, με βάση την θεωρία ότι ο πληθυσμός πυκνότερων ιόντων παρεμβαίνει στο σχηματισμό ή / και την καθίζηση των ελάχιστα διαλυτών αλάτων.

6.5.6. Συμπεράσματα

Τα ακόλουθα δεδομένα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση της διαβρωτικότητας του πόσιμου νερού που παρέχεται από λεκάνες απορροής επιφανειακών υδάτων, δεξαμενές συλλογής όμβριων υδάτων και μονάδες αφαλάτωσης:

A) Υλικά όπως ο γαλβανισμένος χάλυβας, ο χαλκός, ο ορείχαλκος (μπρούντζος), ο ανοξείδωτος χάλυβας και το σκυρόδεμα (μετόν) έχουν όλα αρκετά διαφορετικούς μηχανισμούς διάβρωσης ή φθοράς και γι' αυτό μια καθολική εφαρμογή της 'διαβρωτικότητας' ενός νερού για όλα τα πιθανά υλικά μπορεί να είναι αρκετά παραπλανητική. Σχεδόν το σύνολο των κοινών μεταλλικών υλικών διαβρώνονται συνήθως με κάποιο μηχανισμό τοπικής και όχι γενικής διάβρωσης, δηλαδή υπάρχει μια τάση για τοπικές ρωγμές (σκασίματα).

B) Η χρήση των διαφόρων δεικτών κορεσμού, όπως το LSI και το CCPP μπορεί να είναι ιδιαίτερα παραπλανητική. Αυτοί οι δείκτες δεν είναι δείκτες διάβρωσης και δεν είναι ικανοί να προβλέπουν τα ποσοστά διάβρωσης μεταλλικών υλικών. Ωστόσο, έχουν κάποια χρήση ως στόχοι που τίθενται κατά την επεξεργασία των υδάτων προκειμένου να εξασφαλιστεί σε λογικά πλαίσια μια σταθεροποιημένη και με επαρκή ρυθμιστική ικανότητα παροχή ύδρευσης, που να μην προκαλεί αδικαιολόγητες επιπτώσεις στις επενδύσεις τσιμεντοκονιάματος πάνω σε σωλήνες από χάλυβα και χυτοσίδηρο.

6.6. Απολύμανση του Τελικού Νερού Χρήσης

6.6.1. Εισαγωγή /23/

Τα χημικά και οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση του τελικού νερού περιλαμβάνουν: χλώριο, χλωραμίνες, διοξείδιο χλωρίου, όζον και λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας (UV).

Ένα ιδανικό απολυμαντικό πρέπει να:

- απομακρύνει αποτελεσματικά τα παθογόνα για ένα ευρύ φάσμα φυσικών και χημικών συνθηκών.
- παράγει ένα απολυμαντικό κατάλοιπο που είναι σταθερό και μετριέται εύκολα.
- μην παράγει απαράδεκτα παραπροϊόντα.
- κατασκευάζεται εύκολα, να είναι ασφαλές κατά τη διαχείρισή του και να είναι κατάλληλο για ευρεία χρήση.
- συμφέρει από οικονομική άποψη.

Καμία από τις μεθόδους απολύμανσης που χρησιμοποιούνται σήμερα δεν πληροί όλα τα αυτά κριτήρια. Η επιλογή της απολυμαντικής μεθόδου εξαρτάται από την ποιότητα του ακατέργαστου νερού τροφοδοσίας, την προέλευση των μολυσματικών μικροοργανισμών, το μήκος και την πολυπλοκότητά των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υδάτων και το μέγεθος του εξυπηρετούμενου πληθυσμού.

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης εξαρτάται από:

- τη φύση και τη συγκέντρωση της απολυμαντικής ουσίας.
- το είδος των μικροοργανισμών που εμφανίζονται στο νερό.
- τον χρόνο επαφής (το χρονικό διάστημα που το απολυμαντικό είναι διαθέσιμο για αδρανοποίηση του μικροβιακού φορτίου)
- την ικανοποιητική ανάμειξη των απολυμαντικών με τους μικροοργανισμούς που καταπολεμούν
- τον βαθμό στον οποίο οι μικροοργανισμοί προστατεύονται από:
 - προσρόφηση, ή ένταξη σε, στερεά σωματίδια,
 - προσκόλληση σε επιφάνειες σωληνώσεων ή εξαρτημάτων,
- το επίπεδο των ανταγωνιστικών ανόργανων και οργανικών αντιδρώντων
- τη θολότητα, τη θερμοκρασία και το pH του νερού.

Κάθε ένας από τους διάφορους τρόπους απολύμανσης του πόσιμου νερού έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η πλέον κατάλληλη μέθοδος απολύμανσης εξαρτάται από τις κατά τόπους συνθήκες και η επιλογή γενικά περιλαμβάνει κάποιους συμβιβασμούς.

6.6.2. Χρήση Λαμπτήρων Υπεριώδους Ακτινοβολίας για την Απολύμανση του Νερού /5, 23/

Η χλωρίωση, η χλωραμίνωση και το όζον έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. (κεφάλαιο 3. 'προ-επεξεργασία', ενότητα 3.6. 'αποτροπή σχηματισμού βιοεπικαθήσεων'). Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθεί η μέθοδος των λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας (UV).

6.6.2.1. Εισαγωγή

Γενικά περί Λαμπτήρων /24, 25, 26/

Ο λαμπτήρας, λυχνία ή λάμπα είναι τεχνητή πηγή φωτός τροφοδοτούμενη από στερεά, υγρά, ή αέρια καύσιμα ή από ηλεκτρική ενέργεια. Οι λάμπες φωταερίου, όπως η λάμπα Άουερ, εκμεταλλεύονται το φως που εκπέμπεται από ένα μικρό δίχτυ υφαντικής ίνας, επενδυμένο με οξειδίο του θορίου, που πυρακτώνεται από τη φλόγα ενός αερίου. Οι ηλεκτρικές λάμπες διακρίνονται, με κριτήριο τη λειτουργία τους, σε λάμπες πυράκτωσης, λάμπες τόξου και LED.

Λαμπτήρες Τόξου /24, 25, 26/

Είναι ειδικοί λαμπτήρες που περιέχουν κυρίως ατμούς μετάλλων και ίσως βοηθητικά κάποιο ευγενές αέριο. Τα ηλεκτροδία του εργάζονται "εν θερμώ". Η θέρμανση αρχικά πραγματοποιείται με ιδιαίτερο κύκλωμα που διακόπτεται αυτόματα μόλις ξεκινήσει η ακτινοβολία του λαμπτήρα, οπότε και η θέρμανση διατηρείται από το ρεύμα του τόξου ή οι λαμπτήρες θερμαίνονται από το ίδιο το τόξο που ξεκινάει υπό μορφή αίγλης και η οποία σχηματίζεται εξαιτίας του αερίου που περιέχει ο σωλήνας. Η θέρμανση αυτών των λαμπτήρων, αν και είναι χαμηλότερη εκείνης των λαμπτήρων πυράκτωσης, καθίσταται απαραίτητη τόσο για την εξάτμιση του μετάλλου που περιέχουν, και που συνήθως είναι υδράργυρος, ή νάτριο, όσο και για την περιορισμένη επιφάνεια των ηλεκτροδίων προκειμένου να εκπέμπουν εύκολα ηλεκτρόνια.

Οι λαμπτήρες τόξου διακρίνονται στους επιμέρους τρεις τύπους λαμπτήρων πίεσης:
α) Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου ή υψηλής πίεσης υδραργύρου, β) Λαμπτήρες ατμών νατρίου και γ) Λαμπτήρες χαμηλής πίεσης υδραργύρου (λαμπτήρες φθορισμού)

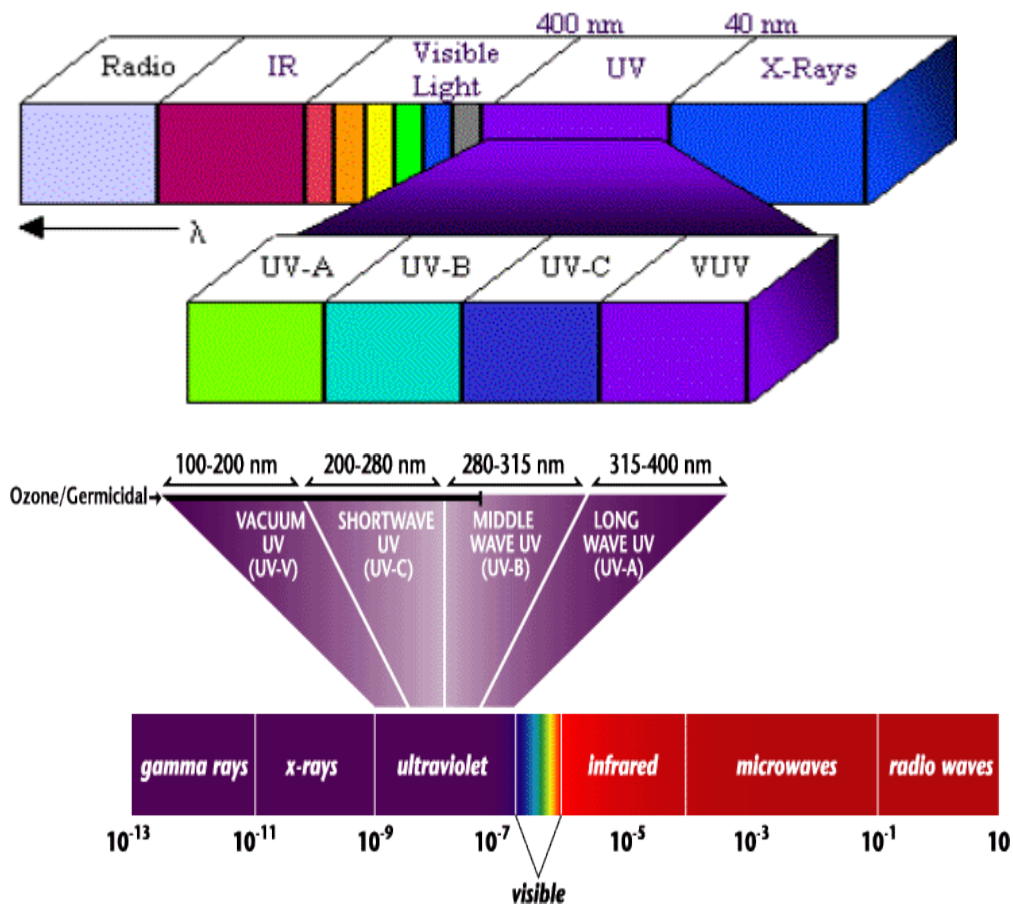
Και οι τρεις παραπάνω τύποι λαμπτήρων τόξου ανήκουν στη κατηγορία των ψυχρών φωτεινών πηγών.

6.6.2.2. Λαμπτήρες Τόξου στην Επεξεργασία Νερού /5, 23, 27/

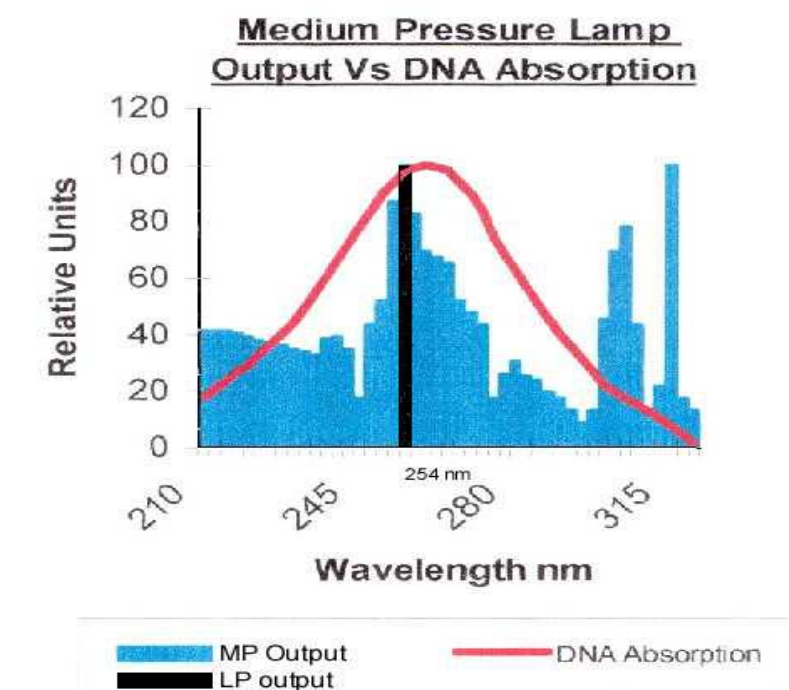
Τα τελευταία 100 χρόνια η επιστήμη έχει αναγνωρίσει τη βακτηριοκτόνο δράση της υπεριώδους περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Τα συγκεκριμένα μήκη κύματος που είναι υπεύθυνα για αυτή την αντίδραση βρίσκονται μεταξύ 240 έως 280 νανόμετρα (αναφέρονται ως nm), με κορυφαίο μήκος κύματος στα 265 nm. Αυτά τα μήκη κύματος είναι γνωστά ως ακτινοβολία UV-C.

Σχήμα 6.2: Η ακτινοβολία UV-C μέσα στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας /27, 28/



Σχήμα 6.3: Καμπύλη κατανομής φασματικής ενέργειας για μικροβιοκτόνο δράση και κατανομή φασματικής ισχύος για χαμηλής και μεσαίας πίεσης λάμπες UV /27/



Μια σειρά από τεχνολογίες επεξεργασίας πόσιμου νερού χρησιμοποιούν υπεριώδη (UV) ακτινοβολία από λάμπες UV για την αδρανοποίηση μικροβίων. Σε περιπτώσεις οικιακών συστημάτων ή μικρής κλίμακας μονάδων επεξεργασίας νερού, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο λαμπτήρες χαμηλής πίεσης υδραργύρου που παράγουν μονοχρωματική ακτινοβολία UV σε ένα μικροβιοκτόνο μήκος κύματος 254 nm. Συνήθως, κατά τη χρήση λαμπτήρων UV, το νερό περνάει μέσα από ένα δοχείο (κέλυφος) ή μέσα από αντιδραστήρες συνεχούς ροής και εκτίθεται στην υπεριώδη ακτινοβολία από τις λάμπες UV σε επαρκή δόση (πυκνότητα ροής φωτονίων*) ώστε να γίνει αδρανοποίηση παθογόνων που υπάρχουν μέσα στο νερό.

Η υπεριώδης (UV) ακτινοβολία διαταράσσει τους χημικούς δεσμούς πολλών οργανικών μορίων και ως εκ τούτου, είναι ένα ισχυρό απολυμαντικό. Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει ελάχιστη επίδραση στην χημική σύνθεση ή τη γεύση του νερού. Η υπερδοσολογία δεν παρουσιάζει κανένα κίνδυνο και είναι μερικές φορές εσκεμμένη ως παράγοντας ασφάλειας.

Παραγωγή Ακτινοβολίας UV-C /27/

Στις λάμπες UV, η πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας είναι ουσιαστικά μία πυρακτωμένη (τηγμένη – fused) λυχνία χαλαζία (πυριτία - SiO₂) (γυάλινο περίβλημα από χαλαζία), συνήθως με διάμετρο 15 – 25 mm και μήκος που κυμαίνεται στο εύρος 10-120 cm. Το αδρανές αέριο με το οποίο είναι γεμάτη η λυχνία, παρέχει την αρχική εκκένωση και την αναγκαία δράση για την διέγερση και την εξάτμιση του μικροσκοπικών αποθεμάτων (προϊόντων απόθεσης) υδραργύρου μέσα στη λυχνία.

Η λάμπα UV χαμηλής πίεσης (low pressure) μπορεί να παράγει δέσμες μόνο στα 185 nm και στα 254 nm. Μια αύξηση του παρεχόμενου ρεύματος προκαλεί ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας της λάμπας UV με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του υδραργύρου για την παραγωγή της τυπικής φασματικής εξόδου μεσαίας πίεσης (medium pressure) που φαίνεται στο σχήμα 6.3

Δόση Υπεριώδους Ακτινοβολίας /15, 27/

Η δόση της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) είναι το γινόμενο της έντασης (I) της υπεριώδους ακτινοβολίας (εκφρασμένη ως ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας) επί τον χρόνο παραμονής (T).

Ως εκ τούτου: Δόση = I x T

Αυτό συνήθως εκφράζεται ως $1 \text{ mJ/cm}^2 = 1000 \text{ micro Watt second/cm}^2$

Η κατάλληλη δόση UV για κάθε εφαρμογή, καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα του νερού, την γήρανση της λυχνίας τόξου, τις βιομηχανικές προδιαγραφές καθώς και τα θεσμοθετημένα όρια για τους μικροβιολογικούς μολυντές.

Η ένταση και η δόση της ακτινοβολίας UV που απαιτείται για την αφαίρεση διαφορετικών μικροοργανισμών ποικίλει, με τη συνιστώμενη δόση να είναι της τάξης των 16-46 mW-sec/cm². Η υψηλότερη δόση είναι περίπου ισοδύναμη με γλώριο σε αποτελεσματικότητα ακαριαίας απολύμανσης. Το Τμήμα Ανθρώπινων Υπηρεσιών και Υπηρεσιών Υγείας στις Η.Π.Α. (U.S. Department of Health and Human Services) έχει θεσπίσει μια έκθεση της τάξης των 16 mW-sec/cm² ως την ελάχιστη απαιτούμενη δόση για τα συστήματα απολύμανσης με UV. Οι περισσότεροι κατασκευαστές λαμπτήρων UV παρέχουν μια δόση της τάξης των 30-50 mW-sec/cm². Γενικά, τα κολοβακτηρίδια για παράδειγμα, καταστρέφονται σε έκθεση 7 mW-sec/cm².

Αποτελεσματικότητα Εναντίον Μικροοργανισμών /5, 15, 23, 27/

Η υπεριώδης ακτινοβολία δρα αποτελεσματικά κατά βακτηριδίων και ιών. Προκαλεί συγκεκριμένες επιβλαβείς (καταστροφικές) αλλαγές στο νουκλεϊνικό οξύ

(DNA) των κυττάρων τους, με αποτέλεσμα είτε τον θάνατο είτε τη μετάλλαξη των κυττάρων, λόγω φωτολυτικών διεργασιών. Το αποτέλεσμα της μετάλλαξης είναι ότι τα κύτταρα δεν είναι πλέον σε θέση να διαιρεθούν κι έτσι αποτρέπεται ο πολλαπλασιασμός τους.

Οι μικροοργανισμοί μπορούν, ωστόσο, να καταστούν και πάλι βιώσιμοι υπό την παρουσία του ορατού φωτός (φωτοεπανενεργοποίηση - photoreactivation), αν η απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) είναι ανεπαρκής. Επίσης, η επιδιόρθωση της βλάβης που προκαλεί η ακτινοβολία UV στο DNA των μικροοργανισμών και άρα η επανενεργοποίηση των μικροοργανισμών μπορεί να συμβεί και από κυτταρικούς ενζυματικούς μηχανισμούς που είναι ανεξάρτητοι από το φως (dark repair). Προκειμένου λοιπόν να επιτευχθεί η βέλτιστη απολύμανση του νερού με ακτινοβολία UV, πρέπει να παρέχεται επαρκής δόση UV ώστε να δημιουργούνται υψηλότερα επίπεδα βλάβης στο νουκλεϊνικό οξύ (DNA) και να υπερνικούνται οι κυτταρικοί ενζυματικοί μηχανισμοί επιδιόρθωσης του DNA.

Η ακτινοβολία UV κατά κύριο λόγο δεν σκοτώνει τους μικροοργανισμούς όπως κάνει το χλώριο αλλά τους αδρανοποιεί. Το υπεριώδες φως σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος 254 nm απορροφάται εύκολα από το γενετικό υλικό των μικροοργανισμών. Η έλικα (κλώνος) του DNA είναι κωδικοποιημένη με μια συγκεκριμένη ακολουθία από ζεύγη βάσεων. Η ακολουθία των ζευγών βάσεων κωδικοποιεί ορισμένα χαρακτηριστικά. Το υπεριώδες φως στα 254 nm απορροφάται εύκολα στο σημείο της έλικας του DNA του μικροοργανισμού, το οποίο κωδικοποιεί την αναπαραγωγή του μικροοργανισμού. Ένας μικροοργανισμός που δεν μπορεί να αναπαραχθεί, δεν μπορεί να κάνει αποικίες και ως εκ τούτου δεν μπορεί να μολύνει όταν καταναλώνεται. Με άλλα λόγια, οι μικροοργανισμοί αποστειρώνονται ή στεριώνονται. Κατόπιν, σταδιακά εξαφανίζονται τελείως.

Σχέση Δόσης UV – Αδρανοποίησης Μικροοργανισμών /15, 27/

Η σχέση μεταξύ της δόσης UV και της μείωσης του πληθυσμού ενός συγκεκριμένου μικροοργανισμού μετά την διεργασία UV μπορεί να συνοψιστεί με την εξής εξίσωση:

$$N/N_0 = e^{-KD}$$

όπου:

N = Αρχικός αριθμός του πληθυσμού του στοχευμένου οργανισμού

N₀ = Αριθμός του πληθυσμού του στοχευμένου οργανισμού μετά την επεξεργασία του νερού με UV

K = Σταθερά που συνδέεται με τον στοχευμένο μικροοργανισμό

D = Δόση

Από την ανωτέρω εξίσωση προκύπτει ότι ο διπλασιασμός της εφαρμοζόμενης δόσης θα αυξήσει την καταστροφή των μικροοργανισμών σε σχέση με την καταστροφή που συμβαίνει με την αρχική δόση. Συνεπώς, ο διπλασιασμός της δόσης που απαιτείται για μείωση του πληθυσμού του μικροοργανισμού κατά 90 % θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού του πληθυσμού του οργανισμού κατά 99 % (αύξηση κατά 10 % επί της απόδοσης της μονής δόσης), ο τριπλασιασμός της δόσης θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού του πληθυσμού του οργανισμού κατά 99,9 % (σχέση με την διπλή δόση, αύξηση 10 % επί της διαφοράς της απόδοσης της διπλής δόσης μείον της μονής δόσης), και ούτω καθεξής.

Η αδρανοποίηση των μικροοργανισμών σε λογαριθμική κλίμακα ονομάζεται λογαριθμική αδρανοποίηση (log inactivation). Οι μικροοργανισμοί πρέπει να μελετώνται σε λογαριθμική κλίμακα εξαιτίας των πολύ υψηλών αριθμών τους.

Κάποιες δοσολογίες για μείωση του αριθμού του πληθυσμού των συνηθέστερων μικροοργανισμών κατά 90% παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Σε αρκετά υψηλές δόσεις ακτινοβολίας UV, όλα τα εντερικά παθογόνα που υπάρχουν μέσα στο νερό αδρανοποιούνται από την υπεριώδη ακτινοβολία. Η γενική κατάταξη των μικροβίων ως προς την ανθεκτικότητά τους (από τη χαμηλότερη στην υψηλότερη) σε ακτινοβολία UV και οι αντίστοιχες δόσεις UV για μεγάλη (>99,9%) αδρανοποίηση, είναι η ακόλουθη:

- τα αγενή (φυτοζωικά) βακτηρίδια (vegetative bacteria) και τα πρωτοζωικά παράσιτα (protozoan parasites) Κρυπτοσπορίδιο (*Cryptosporidium parvum*) και *Giardia lamblia* που έχουν μικρή ανθεκτικότητα και χρειάζονται χαμηλές δόσεις UV (1-10 mJ/cm²) και
- οι εντερικοί ιοί (enteric viruses) και τα βακτηριδιακά σπόρια (bacterial spores) που έχουν υψηλότερη ανθεκτικότητα και χρειάζονται υψηλές δόσεις UV (30 - 150 mJ/cm²).

Τα περισσότερα συστήματα απολύμανσης με ακτινοβολία UV, που χρησιμοποιούν λαμπτήρες υδραργύρου χαμηλής πίεσης, μπορούν να πετύχουν εύκολα δόσεις ακτινοβολίας UV της τάξης των 50-150 mJ/cm² για νερό υψηλής ποιότητας, και ως εκ τούτου προσφέρουν αποτελεσματική απολύμανση ουσιαστικά για όλα τα παθογόνα που μπορεί να υπάρχουν μέσα στο νερό.

Αδρανοποίηση για Κρυπτοσπορίδιο και Giardia

Τα πρωτοζωικά παράσιτα Κρυπτοσπορίδιο και Giardia είναι πιο ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία από ότι τα βακτηρίδια και οι ιοί είναι πιο ανθεκτικοί από τα βακτηρίδια. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν ληφθεί χρησιμοποιώντας χαμηλής πίεσης, μέσης πίεσης και παλμική ακτινοβολία UV. Συνιστάται να χρησιμοποιείται ένα απολυμαντικό σύστημα UV κλάσης (κατηγορίας) A.

Γενικά για την Χρήση της UV /23/

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την υπεριώδη ακτινοβολία είναι αρκετά αξιόπιστος και η απαιτούμενη τεχνολογία είναι σχετικά απλή. Τα υψηλά επίπεδα χρώματος και θολότητας και η παρουσία μετάλλων και οργανικής ύλης μέσα στο νερό που υπόκειται επεξεργασία μειώνουν το ποσό της υπεριώδους ακτινοβολίας που φθάνει στους μικροοργανισμούς και σε τέτοια περίπτωση απαιτούνται υψηλότερες δόσεις ακτινοβολίας για να επιτευχθεί αποτελεσματική απολύμανση. Οι μονάδες UV απαιτούν τακτικό καθαρισμό και συντήρηση για να παραμένουν αποτελεσματικές.

6.7. Βιβλιογραφία

24. Κώστας Γιαννουλέας - 3ο Γυμνάσιο Σπάρτης - 2ο Γυμνάσιο Σπάρτης,
users.sch.gr/giannouleask/
25. http://en.wikipedia.org/wiki/Arc_lamp
26. http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury-vapor_lamp