

Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καλαμάτας
Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας
Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών & Ανθοκομίας

Πτυχιακή Εργασία με τίτλο:

*«Η μονάδα αφαλάτωσης της Κακής Λαγκάδας στους Παξούς –
Η χρήση του για άρδευση»*



Σπουδάστρια:
ΠΕΡΛΟΡΕΝΤΖΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

Εισηγητής – Επιβλέπων Καθηγητής:
ΜΟΥΡΟΥΤΟΓΛΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ

Καλαμάτα 2010

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ & ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ

*Η ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΚΗΣ ΛΑΓΚΑΔΑΣ ΣΤΟΥΣ
ΠΑΞΟΥΣ – Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ*

Πτυχιακή εργασία
της σπουδάστριας *Περλορέντζου Γεωργίας*

Επιβλέπων Καθηγητής:
Μουρούτογλου Χρήστος

Καλαμάτα, Απρίλιος 2010

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	5
2. Γενικά.....	7
2.1. Υδρολογικός κύκλος και μονάδα αφαλάτωσης.....	9
3.1 Η ιστορία της αφαλάτωσης.....	12
4. Παρουσίαση των βασικών τρόπων αφαλάτωσης.....	15
4.1 Μέθοδοι αφαλάτωσης.....	15
4.2. Η αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση.....	20
5. Ποιότητα του νερού άρδευσης.....	39
5.1.Μεταφερόμενα υλικά και συστατικά του αρδευτικού νερού.....	40
5.1.1. Μεταφερόμενα στερεά.....	40
5.1.2. Κύρια συστατικά.....	41
5.1.3. Συγκέντρωση των κυριότερων κατιόντων στο νερό άρδευσης.....	41
5.1.4. Συγκέντρωση των κυριότερων ανιόντων στο νερό άρδευσης.....	42
5.1.5. Συγκέντρωση των κυριότερων ιχνοστοιχείων στο νερό άρδευσης.....	43
5.1.6. Άλλα συστατικά.....	44
5.1.7. Ανθρωπογενείς ρύποι.....	44
5.2. Κριτήρια ποιότητας αρδευτικού νερού.....	44
5.2.1. Αλατότητα.....	45
5.2.2. Περιεκτικότητα σε Νάτριο.....	46
5.2.3. Περιεκτικότητα, σε Ανθρακικά Ανιόντα, Χλώριο και Βάριο.....	51
5.2.4. Η περιεκτικότητα σε αιωρούμενα.....	53
5.2.5. Η περιεκτικότητα σε βιοκτόνα.....	54
5.3. Συστήματα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού.....	55
5.3.1.Νεώτερες Απόψεις.....	57
6. Η κατάσταση στην Ελλάδα – Μονάδες αφαλάτωσης.....	61

7. Παρουσίαση της μονάδας αφαλάτωσης στους Παξούς	63
7.1. Γενικά.....	64
7.2. Υδροληψία θαλασσινού νερού	65
7.2.1. Παραμονή σε δεξαμενή.....	66
7.2.2. Απολύμανση.....	66
7.2.3. Άντληση θαλασσινού νερού από την δεξαμενή.....	67
7.2.4. Προσθήκη κροκιδωτικού	67
7.2.5. Φίλτραση σε πολλαπλά στρώματα άμμου.....	67
7.2.6. Φίλτραση με ενεργό άνθρακα	69
7.2.7. Διόρθωση του pH.....	70
7.2.8. Τροφοδοσία αντικαθαλατωτικού.....	71
7.2.9. Φίλτραση μέσω φυσιγγίων	71
7.2.10. Άντληση σε υψηλή πίεση.....	72
7.2.11. Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση	73
7.2.12. Αύξηση της σκληρότητας, αλκαλικότητας και διόρθωση του pH.....	74
7.2.13. Μεταχλωρίωση.....	74
7.3. Η ποιότητα του νερού στους Παξούς.....	75
7.4. Κόστος λειτουργίας της μονάδας.....	79
7.4.1. Κόστος λειτουργίας.....	79
7.4.2. Κόστος ενέργειας	79
7.4.3. Κόστος χημικών	79
7.4.4. Κόστος προσωπικού	82
7.4.5. Κόστος συντήρησης	83
7.4.6. Ολικό κόστος	83
7.4.7. Κόστος εγκατάστασης της μονάδας.....	84
7.4.8. Χρέωση καταναλωτή	84
8. Σκοπιμότητα της μονάδας αφαλάτωσης στους Παξούς – προμελέτη	85

8.1. Υφιστάμενα και προγραμματισμένα έργα συλλογής νερού.....	85
8.2. Υφιστάμενη κατάσταση ρύπανσης.....	86
8.2.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	86
8.2.2. Ρύπανση ακουστικού περιβάλλοντος	86
8.2.3. Ρύπανση από απορρίμματα, στερεά και υγρά απόβλητα	87
8.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μονάδας αφαλάτωσης – εκτίμηση και αξιολόγηση	88
8.3.1. Διαθέσιμες τεχνικές διαχείρισης της άλμης	88
8.3.2. Απόρριψη στη θάλασσα	88
8.3.4. Απόρριψη στο έδαφος.....	89
8.3.5. Ανάμιξη σε εργοστάσια κατεργασίας λυμάτων	90
8.3.6. Αφυδάτωση και διάθεση της άλμης ως στερεό απόβλητο.....	91
8.3.7. Βιομηχανική αξιοποίηση της άλμης.....	91
8.4. Εφαρμοσιμότητα των τεχνικών στην άλμη της μονάδας Παξών	93
8.4.1. Διάθεση στη θάλασσα	93
8.4.2. Εισπίεση σε γεώτρηση.....	93
8.4.3. Ανάμιξη στη μονάδα κατεργασίας λυμάτων.....	93
8.4.4. Ανάμιξη στο δίκτυο άρδευσης.....	93
8.4.5. Ξήρανση της άλμης	93
8.5. Συνοπτική καταγραφή των επιπτώσεων	94
9. Συμπεράσματα - Προτάσεις για την εξέλιξη της μονάδας αφαλάτωσης στους Παξούς	98
10. Βιβλιογραφία.....	101

1. Εισαγωγή

Αφαλάτωση είναι η διαδικασία αφαίρεσης των αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Έτσι, κατ' επέκταση, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. (Διαδίκτυο 11) Η αφαλάτωση γενικά είναι μια μέθοδος που μπορεί να προσφέρει ικανοποιητική ποιότητα και ποσότητα πόσιμου νερού, ανεξάρτητα από το κλίμα της περιοχής και επιβάλλεται να επιδιωχθεί ως λύση καθώς χρησιμοποιούμε πολύ περισσότερο νερό από ότι έχουμε διαθέσιμο. Η βραχυπρόθεσμη λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας ήταν μέχρι σήμερα η άντληση ακόμη μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού από τα επιφανειακά και υπόγεια υδάτινα αποθέματα. Η υπερεκμετάλλευση δεν αποτελεί όμως βιώσιμη λύση. Έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα και στην ποσότητα των εναπομενόντων υδάτων καθώς και στα οικοσυστήματα, τα οποία εξαρτώνται από το νερό. (Διαδίκτυο 12)

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αφαλάτωση είναι πραγματικά μια λύση στο αδιέξοδο του υδατικού προβλήματος. Είναι μια λύση με την οποία αποφεύγονται σημαντικές επιπτώσεις από την έλλειψη του νερού.

Ο λόγος που πρωτοοδήγησε τον άνθρωπο στην αφαλάτωση ήταν ο φόβος του μην πεθάνει από έλλειψη νερού ενώ ήταν στη θάλασσα. Το 1791 στις Ηνωμένες Πολιτείες γίνεται η πρώτη τεχνική αναφορά, όπου περιέγραφε τα βήματα μιας απλής διαδικασίας εμφιάλωσης. Η πληροφορία αυτή έπρεπε να τυπωθεί στο πίσω μέρος όλων των εγγράφων που υπήρχαν πάνω στα πλοία έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει μία πηγή καθαρού και φρέσκου νερού σε περίπτωση ανάγκης. (Διαδίκτυο 2) Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής αναφορά στην ιστορία και την εξελικτική πορεία της αφαλάτωσης.

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης είναι πολλοί. Λόγω της εξέλιξης των μεθόδων, υπάρχει μεγάλη εξειδίκευση στον τρόπο λειτουργίας της εκάστοτε μεθόδου. Στο 3^ο κεφάλαιο της παρούσας γίνεται αναφορά στις μεθόδους αφαλάτωσης και δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στη λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση. Στο 4^ο στο σήμερα ο άνθρωπος και έχοντας εξελίξει την διαδικασία αφαλάτωσης, εφαρμόζει πλέον την τεχνική αυτή σε πολλά σημεία. Η αφαλάτωση χρησιμοποιείται όχι μόνο για την παραγωγή πόσιμου νερού αλλά και για τις ανάγκες της γεωργίας. Οι περιπτώσεις παραγωγών που έχουν στη διάθεσή τους κακής ποιότητας νερό είναι μεγάλες, όπως είναι μεγάλες και οι περιπτώσεις κακής ποιότητας νερού σε θερμοκηπιακές υδροπονικές καλλιέργειες. Είναι γνωστό πως τα τελευταία χρόνια οι υδροπονικές καλλιέργειες ολοένα και αυξάνουν. Η διαθεσιμότητα καθώς και η ποιότητα του νερού άρδευσης αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για την αριστοποίηση της ποιότητας και των αποδόσεων μιας υδροπονικής καλλιέργειας (Κώτσιρας Α., 2009). Φυσικά, η δυναμικότητα μιας μονάδας αφαλάτωσης ποικίλει ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε περίπτωσης. Μπορεί μία μονάδα μικρής δυναμικότητας να

εξυπηρετεί τοπικές ανάγκες όπως για παράδειγμα τις ανάγκες μιας υδροπονικής θερμοκηπιακής μονάδας και μία μεγάλης δυναμικότητας να εξυπηρετεί τις όποιες ανάγκες ενός ολόκληρου χωριού. Η διαδικασία της αφαλάτωσης είναι μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος όχι μόνο για την επίλυση του προβλήματος της λειψυδρίας και της μείωσης των υπόγειων υδάτων αλλά και για τη γεωργία η οποία έχει όλο και μεγαλύτερες απαιτήσεις λόγω της αυξημένης ζήτησης των προϊόντων.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των μεθόδων αφαλάτωσης και πιο συγκεκριμένα, η μελέτη της διαδικασίας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση η οποία και εφαρμόζεται στη μονάδα της Κακής Λαγκάδας στους Παξούς. Διερευνήθηκαν τα εξής: α) η ποιότητα του παραγόμενου νερού που προορίζεται για άρδευση, β) η καταλληλότητα του παραγόμενου νερού για άρδευση γ) το κόστος παραγωγής νερού από την εν λόγω μονάδα, δ) οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση και λειτουργία της μονάδας και ε) διερεύνηση πιθανών εναλλακτικών ως προς την ηλεκτροδότηση της μονάδας.

2. Γενικά

Το νερό είναι βασικό στοιχείο όλων των περιβαλλοντικών και κοινωνικών διαδικασιών, είναι κύριο συστατικό του οικολογικού κύκλου, είναι απαραίτητο για την αγροτική, την βιομηχανική παραγωγή και την παραγωγή ενέργειας. Για να καλυφθεί λοιπόν η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση εκμεταλλεύονται όλο και περισσότερο τα υπόγεια νερά, κατασκευάζονται όλο και περισσότερα φράγματα για να ελέγξουν τις πλημμύρες και να ταμιεύσουν το νερό, όλο και μεγαλύτερα υδραγωγεία για να μεταφέρουν το νερό, πολλές φορές σε εκατοντάδες χιλιόμετρα απόσταση, και τελευταία εργοστάσια αφαλάτωσης, για να υδροδοτήσουν παραδοσιακά ερημικές η ημιορημικές περιοχές. (Karavitis C. A. and P. Kerkides, 2002)

Με την είσοδο στον 21ο αιώνα τα προβλήματα δυστυχώς αυξάνονται καθώς στην έλλειψη του νερού έρχεται να προστεθεί και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Για να δοθεί μία διάσταση του προβλήματος τονίζεται ότι περίπου το 97% από όλο το νερό της Γης είναι αλμυρό και μόνο 3% είναι γλυκό, με ένα συνολικό όγκο 35 δισεκατομμυρίων km^3 . Λιγότερο από 100.000 km^3 περίπου 0.3% των συνολικών αποθεμάτων σε γλυκό νερό - ευρίσκεται στα ποτάμια και τις λίμνες και αποτελεί την κύρια πηγή εφοδιασμού. Το νερό βέβαια στην φύση ανακυκλώνεται και ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει αυτή την ανακύκλωση. Σε ετήσια βάση περίπου 45.000 km^3 νερού κατ' έτος επιστρέφουν στον παγκόσμιο ωκεανό σαν απορροή των ποταμών και των υπόγειων σχηματισμών. Αλλά αυτοί οι υδατικοί πόροι δεν κατανέμονται εξ' ίσου σε όλη την γήινη επιφάνεια. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και η απορροή διαφέρουν σημαντικότερα στην κατανομή τους τόσο στον χώρο όσο και στον χρόνο. Για παράδειγμα 20% της μέσης ετήσιας παγκόσμιας απορροής παρατηρείται στην λεκάνη του Αμαζονίου, 7% στην Ευρώπη και 1% στην Αυστραλία.

Τα επιφανειακά νερά που περιέχονται στα ποτάμια, στις λίμνες και στην ακόρεστη σε νερό ανώτερη εδαφική ζώνη, αποτελούν περίπου ένα ποσοστό 2%, τα υπόγεια νερά αποτελούν το 23% και τα νερά με τη μορφή των πολικών πάγων το 75% του συνόλου των γλυκών νερών σε παγκόσμια κλίμακα. Το μικρό αυτό ποσοστό του επιφανειακού γλυκού νερού (2%) έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και στην ιστορία του ανθρώπου, αφού οι πρώτοι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν στις όχθες ποταμών και λιμνών (Νείλος, Τίγρης, Ευφράτης, Ινδός κλπ.) και οι περισσότερες των

σημερινών πόλεων ευρίσκονται πλησίον ενός σημαντικού υδατινού σώματος. Η ανάγκη χρησιμοποίησης του νερού (αρχικά για ύδρευση, άρδευση και ναυσιπλοΐα) συνέτεινε στην προτίμηση αυτή. Αργότερα το νερό χρησιμοποιήθηκε και για ευρύτερους αστικούς σκοπούς, στη βιομηχανία ως πηγή ενέργειας και για ψυχαγωγία – αναψυχή . (Karavitis C. A. and P. Kerkides, 2002)

Από πολύ παλιά ο άνθρωπος αντιλήφθηκε ότι έπρεπε να διαχειριστεί κατάλληλα το νερό, ώστε να εξασφαλίσει την επιβίωσή του. Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι πλημμύρες αλλά και οι ξηρασίες επιδρούν καταστροφικά και επιφέρουν δεινά όχι μόνο στον άνθρωπο και το σύνολο των κοινωνικών και οικονομικών δραστηριοτήτων αλλά, και σε ολόκληρο το βιοτικό και αβιοτικό περιβάλλον γενικότερα. Αναρίθμητες προσπάθειες έχουν γίνει για να τιθασευτούν ή να ελεγχθούν ή ακόμα και να προβλεφθούν τα ανεπιθύμητα επακόλουθα αυτών των φαινομένων. Χαρακτηριστικό πρώιμο παράδειγμα υπήρξε ο έλεγχος και η διαχείριση των νερών του Νείλου πριν από 5000 χρόνια όπου κατασκευάστηκαν τεράστια έργα διευθέτησης και διανομής των νερών για τις ανάγκες άρδευσης, όπως επίσης και μελέτη των ετήσιων διακυμάνσεων της στάθμης του ποταμού για πρόγνωση της ποσότητας του νερού άρα και της γεωργικής παραγωγής.(διαδίκτυο 3)

Η αγροτική παραγωγή σήμερα λόγω των αυξανόμενων ανησυχιών του κόσμου σχετικά με την αυξημένη κατανάλωση νερού, επιβάλλεται περισσότερο από ποτέ να διαχειριστεί το νερό και να βρει και νέους τρόπους στην κάλυψη προσφοράς και ζήτησης. Η τεχνική της αφαλάτωσης είναι μια επιλογή που μπορεί να εφαρμοστεί για την αύξηση του διαθέσιμου νερού είτε σε παράκτιες περιοχές, είτε σε περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού. Το νερό αφαλάτωσης είναι δε κρίσιμο και αποτελεσματικό σε περιπτώσεις όπου έχουν ρυπανθεί οι διαθέσιμες ποσότητες νερού από εισχώρηση της θάλασσας στον υδροφορέα. Σε παγκόσμια βάση το παραγόμενο νερό από αφαλάτωση εκτιμάται ότι είναι περίπου 7.500 εκ m³/έτος, που ισοδυναμεί με το 0,2 % της συνολικής χρήσης του νερού. Η αφαλάτωση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται κατά κόρον για την παραγωγή πόσιμου νερού σε περιοχές με έλλειψη νερού όπως η Μέση Ανατολή.

Παρά το γεγονός ότι η γεωργία, στην οποία αναλογεί το 69% των συνολικών αφαιρούμενων ποσοτήτων νερού σε σχέση με το 10% που αφορά την οικιακή χρήση και το 21% στη βιομηχανία, η μέθοδος αυτή παραμένει η κύρια πηγή του νερού στις χώρες του Περσικού Κόλπου αλλά και σε πολλά νησιά σε ολόκληρο τον κόσμο. Χρησιμοποιείται δε σε καλλιέργειες υψηλής αξίας (π.χ. καλλιέργειες εκτός εδάφους).

Παρόλα αυτά, έχει αποδειχθεί ακριβότερη μέθοδος για γεωργική χρήση απ' ότι η επαναχρησιμοποίηση υδάτων από επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, ακόμη και σε περιπτώσεις όπου έχουν μειωθεί τα κόστη λειτουργίας των εν λόγω εργοστασίων αφαλάτωσης. (Διαδίκτυο 13)

2.1. Υδρολογικός κύκλος και μονάδα αφαλάτωσης

Ο υδρολογικός κύκλος, ή αλλιώς ο κύκλος του νερού, περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, καθώς και κάτω και πάνω απ' αυτή. Το νερό της Γης είναι πάντα σε κίνηση και πάντα σε αλλαγή, από την υγρή μορφή στην αέρια ή σε πάγο ξανά και αντίστροφα. Ο κύκλος του νερού λειτουργεί εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια. Η ζωή στη Γη εξαρτάται απ' αυτόν. Η Γη θα ήταν πολύ αφιλόξενο μέρος για τη ζωή χωρίς τον υδρολογικό κύκλο.



Εικόνα 1: Ο υδρολογικός κύκλος (διαδίκτυο 7)

Σαν κύκλος που είναι, ο υδρολογικός κύκλος δεν έχει αρχή, αλλά είναι βολικό να ξεκινήσει κανείς απ' τη θάλασσα. Ο ήλιος, που κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς) το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και

ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Σ' αυτό το στάδιο μπορούμε να πούμε πως η αφαλάτωση "απομακρύνει" μέρος του θαλασσινού νερού. Αφού πάρει το νερό από τη θάλασσα, με τη βοήθεια της τεχνολογίας παράγει καθαρό νερό το οποίο φτάνει σε μας. Όπως παρουσιάζεται και στο κεφάλαιο 8, η λειτουργία της μονάδας εκμεταλλεύεται το θαλασσινό νερό με μια σχετική επιβάρυνση του τελικού αποδέκτη (θάλασσα), επιδρώντας όμως ελάχιστα έως καθόλου στο υδρολογικό ισοζύγιο.

Νερό εξατμίζεται ακόμα από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για εξατμισοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή.

Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί πια να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν απ' τον ουρανό ως κατακρημνίσματα, η συχνότερη μορφή των οποίων είναι η βροχή. Στην περίπτωση της αφαλάτωσης βέβαια υπάρχει το δίκτυο που μας προμηθεύει το νερό και όχι οι απορροές των κατακρημνισμάτων από τα βουνά για παράδειγμα. Παρόλα αυτά το νερό είναι ίσης αξίας και ποιότητας με αυτό της βροχής. Μια μορφή κατακρημνίσματος είναι το χιόνι, το οποίο όταν συσσωρεύεται σχηματίζει πάγους και παγετώνες. Σε σχετικά θερμότερα κλίματα, όταν έρχεται η άνοιξη, το χιόνι λιώνει και το ξεπαγωμένο νερό ρέει, σχηματίζοντας την απορροή από λιώσιμο του χιονιού. Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς. Το τελικό προϊόν που θα μπορούσε να εκρέει στη θάλασσα από μια μονάδα αφαλάτωσης είναι η άλμη. Ανάλογα με τη δυναμικότητα και τις άλλες εναλλακτικές που συντρέχουν στην εκάστοτε περίπτωση αφαλάτωσης, η λύση της διάθεσης της άλμης επιλέγεται σε μονάδες μικρής δυναμικότητας.

Από την ποσότητα του νερού που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής

μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί ακόμη να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού. Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς της επιφάνεια της γης εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπαίνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" ... και "ξεκινάει".(Διαδίκτυο 6)

3. Ιστορικά στοιχεία

3.1 Η ιστορία της αφαλάτωσης

Η πρώτη αναφορά στην προσπάθεια της αφαλάτωσης εντοπίζεται στη βίβλο; Ίσως να ήταν αλήθεια. Η αναφορά γίνεται στο πως ο Μωυσής και ο λαός του Ισραήλ βρήκαν τα πικρά νερά της Μάραθ. Το απόσπασμα λέει: «και αυτός έκλαψε στο Θεό, και ο Θεός του έστειλε ένα δέντρο το οποίο όταν το πέταξε στα νερά, αυτά έγιναν γλυκά. Κάποιος μπορεί να σκεφτεί πως αυτό θα μπορούσε να είναι η αφαλάτωση...

Η πρώτη μονάδα μετατροπής νερού φτιάχτηκε το 1791 στις Ηνωμένες Πολιτείες ώστε τα ατμόπλοια να έχουν καθαρό νερό στους λέβητές τους. Η νέα εφεύρεση (αφαλάτωση) έκανε τα ατμόπλοια πιο οικονομικά. Αυτό συνέβαινε καθώς τα αμπάρια μπορούσαν να είναι συνεχώς γεμάτα με καθαρό νερό και έτσι τα ατμόπλοια συνέχιζαν τα ταξίδια τους χωρίς ανεφοδιασμό. Επίσης, κατά το Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο, εκατοντάδες κινητές μονάδες αφαλάτωσης χρησιμοποιούνταν από μεγάλα πλοία.

Υπήρξε μία κρίση νερού μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο. Αυτό ώθησε την κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών να βρει έναν οικονομικό τρόπο να παράγει πόσιμο νερό από αλμυρά νερά. Το 1952 το κόστος αποτέλεσε τον κρίσιμο παράγοντα. Το νερό έπρεπε να μπορεί να χρησιμοποιείται στη γεωργία, στη βιομηχανία αλλά και για τοπικές χρήσεις. Υπήρχε η νομοθεσία όπου όριζε τα χρήματα που θα πήγαιναν στην έρευνα για νέες μεθόδους με μεγαλύτερη παραγωγή και λιγότερα έξοδα. Αυτή ήταν μία μεγάλη πρόκληση για τους επιστήμονες της εποχής επειδή το Κογκρέσο ζητούσε να αυξήσουν το μέγεθος των μονάδων τουλάχιστον εκατό φορές και να μειώσουν το κόστος κατά 95%.

Υπήρξε ένα πρόγραμμα που θεσπίστηκε από τον υπουργό εσωτερικών, Τμήμα Υφάλμυρου Νερού. Το πρόγραμμα έδινε μία αρχική χρηματοδότηση, που γρήγορα βρέθηκε ανεπαρκής, ύψους 2 εκατ.\$. Η νομοθεσία τροποποιήθηκε και τελικά η χρηματοδότηση ανήλθε στα 160 εκατ.\$. Από τότε έχει σημειωθεί τεράστια πρόοδος μέσω της έρευνας της κυβέρνησης και από ιδιωτικές μελέτες. (διαδίκτυο 1)

Μία από τις πρώτες μονάδες αφαλάτωσης που κατασκευάστηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν στο Freeport του Τέξας το 1961. Το Τμήμα Διαχείρισης Νερού σε συνεργασία με το αμερικανικό υπουργείο εσωτερικού έχτισε ένα εργοστάσιο απόσταξης με παραγωγή 1 εκατ. γαλόνια νερού ημερησίως με κόστος

1,2 εκατ.\$ το οποίο παρήγαγε νερό για την πόλη της Freeport. Κατά τη διάρκεια της τελετής για τον εορτασμό της έναρξης λειτουργίας την μονάδας αυτής ο Πρόεδρος Kennedy είπε: «Σε μία εποχή όπου το νερό λιγοστεύει, αυτή η κίνηση παραγωγής νερού αποτελεί τη σημαντικότερη λύση. Αποτελεί τη σημαντικότερη προσπάθεια μετατροπής του νερού από το μεγαλύτερο και φθηνότερο πόρο του κόσμου, τους ωκεανούς μας, σε καταλληλότερο νερό για τα σπίτια μας και τη βιομηχανία. Μία τέτοια επιτυχία θα μπορούσε να φέρει το τέλος σε αγώνες και διαμάχες μεταξύ γειτόνων, κρατών και εθνών. (διαδίκτυο 2)

Από τη δεκαετία του '60 μέχρι σήμερα η εξέλιξη στον τομέα της αφαλάτωσης είναι ραγδαία. Νέες τεχνικές και μέθοδοι έχουν εφευρεθεί και πέραν του κόστους εγκατάστασης, η αφαλάτωση έχει γίνει προσιτή ακόμα και για μικρά παραθαλάσσια χωριά παγκοσμίως. Αποτελεί μία από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις της επιστημονικής κοινότητας μιας και το νερό είναι συνώνυμο με τη ζωή για κάθε ζωντανό οργανισμό πάνω σ' αυτόν τον πλανήτη και ακόμα περισσότερο για τα χρόνια που ακολουθούν που μάλλον τείνουν να είναι δυσοίωνα.

3.2. Το χρονικό της Αφαλάτωσης

350 πχ Ο Αριστοτέλης πειραματίζεται με τον διαχωρισμό νερού και αλατιού.

200μχ Ναυτικοί μεταφέρουν μικρές πρωτόγονες μονάδες αφαλάτωσης στα πλοία τους.

16ος αιώνας Τα πλοία που εξερευνούν τους ωκεανούς μεταφέρουν μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν μόνο σε περίπτωση ανάγκης.

1850 Ο Αμερικανός μηχανικός Norbert Rillieux κατοχυρώνει πατέντες για μεθόδους απόσταξης της ζάχαρης που ελαττώνουν τις απαιτήσεις ενέργειας κατά 80%.

1890 Στην Δυτική Αυστραλία λόγω του ξηρού κλίματος και κατασκευάζονται μονάδες αφαλάτωσης (πάντα με την θερμαντική μέθοδο). Το νερό ήταν ακριβό. Τα 4.5 λίτρα νερού κόστιζαν όσο το ένα τρίτο του μισθού του ανειδίκευτου εργάτη.

Τέλη 19ου αιώνα Η μέθοδος απόσταξης του Rillieux αρχίζει και εφαρμόζεται και στην αφαλάτωση.

1950 Η Αμερικανική κυβέρνηση ιδρύει το Τμήμα Αλμυρού Νερού με σκοπό να

υποστηρίζει την έρευνα για την αφαλάτωση.

1950 Ξεκινά μια νέα μέθοδος θερμαντικής αφαλάτωσης και εφαρμόζεται σε χώρες της Μέσης Ανατολής.

1960 Ξεκινούν στο πανεπιστήμιο UCLA της Καλιφόρνια τα πειράματα πάνω στην ανάστροφη όσμωση με την κατασκευή των πρώτων μεμβρανών από δύο ερευνητές, τους Sydney Loeb και Shrinivasa Sourirajan.

1965 Η πρώτη πειραματική μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με την μέθοδο της ανάστροφης όσμωσης.

τέλος δεκαετίας '70 Ο John Cadotte του America's Midwest Research Institute και του Film Tec Corporation εφεύρει μια πολύ βελτιωμένη μεμβράνη που θα χρησιμοποιηθεί καθολικά στα επόμενα χρόνια.

1980 Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης που εξυπηρετεί τον Δήμο, ξεκινά την λειτουργία της στην Jeda της Σαουδικής Αραβίας.

1990-2003 Το κόστος της αφαλάτωσης πέφτει στο 1 τρίτο.

2006 Μελέτη που δημοσιεύεται στο επιστημονικό περιοδικό Science αναφέρει ότι η χρήση νανοσωλήνων άνθρακα μπορεί να βελτιώσει πολύ την παραγωγή καθαρού νερού.

2006 Μελέτη στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αφαλάτωσης από το Pacific Institute (όχι απαγορευτικές αλλά ούτε και αμελητέες). (διαδίκτυο5)

4. Παρουσίαση των βασικών τρόπων αφαλάτωσης

4.1 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα κατατάσσονται κυρίως σε δύο κατηγορίες: στις μεθόδους εξάτμισης και στις μεθόδους μεμβρανών. Υπάρχουν επίσης άλλες μέθοδοι οι οποίες βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο ή δεν είναι συμφέρουσες από οικονομική άποψη. Οι μέθοδοι εξάτμισης χρησιμοποιούνται σήμερα μόνο στις πετρελαιοπαραγωγούς χώρες της Μέσης Ανατολής που διαθέτουν άφθονους ενεργειακούς πόρους ενώ στις υπόλοιπες χώρες χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος της Αντίστροφης Όσμωσης που είναι πιο οικονομική.

Μέθοδοι Εξάτμισης ή Θερμικές

- Πολυβάθμια εξάτμιση (Multi-Effect Evaporation ή Distillation – ME ή MED)
- Πολυβάθμια εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF)
- Εξάτμιση με επανασυμπύεση ατμών (Mechanical Vapor Compression - MVC ή VC)
- Θερμική συμπίεση ατμών (Thermal Vapor Compression – TVC)

Μέθοδοι Μεμβρανών

- Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis - RO)
- Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis – ED)
- Αντίστροφη Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis Reversal – EDR)

Λοιπές μέθοδοι(σε πειραματικό στάδιο ή οικονομικά ασύμφωρες)

- Ιοντοανταλλαγή
- Πάγωμα
- Απόσταξη με μεμβράνες
- Ηλιακή αεριοποίηση
- Κρυσταλλοποίηση με υδρικό αιθάνιο
- Νανόφιλτρα (carbon-nanotube membrane)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία των σημαντικότερων μεθόδων με ιδιαίτερη έμφαση όμως στη μέθοδο της Αντίστροφης Όσμωσης η οποία είναι και η πιο ενδεδειγμένη για τις Ελληνικές συνθήκες.

4.1.1 Μέθοδοι Εξάτμισης ή Θερμικές

Πολυβάθμια εξάτμιση (Multi-Effect Evaporation ή Distillation – ME ή MED)

Τα απλά(αλλά ενεργοβόρα) συστήματα αφαλάτωσης μίας βαθμίδας, αποτελούνται από ένα λέβητα θέρμανσης, αποστακτήρα, συμπυκνωτή ατμών και διαχωριστή που παγιδεύει τις λεπτές σταγόνες της άλμης και τις αποχωρίζει από τον ατμό. Τα συστήματα Πολυβάθμιας εκτόνωσης (Multi-Effect Evaporation ή Distillation – ME ή MED) αποτελούνται από περισσότερες βαθμίδες, δηλαδή πολλά εξατμιστήρια στην σειρά, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας του όλου συστήματος. Ο ατμός θέρμανσης εισάγεται μόνο στην πρώτη βαθμίδα, όπου θερμαίνει το αλμυρό νερό μέχρι την θερμοκρασία βρασμού (100°C). Οι ατμοί που σχηματίζονται στην πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιούνται ως ατμός θέρμανσης στην δεύτερη βαθμίδα, η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση από την πρώτη ώστε το διάλυμα της άλμης να βράζει σε χαμηλότερη θερμοκρασία κ.ο.κ.

Πολυβάθμια εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF)

Στην πολυβάθμια εκτόνωση (MSF), μία ποσότητα θαλασσινού νερού θερμαίνεται υπό μια ορισμένη πίεση, σε θερμοκρασία ελάχιστα χαμηλότερη από αυτή του σημείου βρασμού του και στην συνέχεια εισάγεται σε ένα θάλαμο ο οποίος βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση από αυτή του διαλύματος, όπου προκαλείται απότομος(εκρηκτικός) βρασμός του διαλύματος. Σε όλη την μάζα του υγρού σχηματίζονται στιγμιαία φυσαλίδες και το νερό εξατμίζεται μέχρι του σημείου όπου επέρχεται ισορροπία του διαλύματος με τους σχηματιζόμενους ατμούς(υπό συγκεκριμένη πίεση). Ο εκρηκτικός αυτός βρασμός με τον σχηματισμό ατμών έχει σαν αποτέλεσμα την ψύξη του διαλύματος. Η ψύξη αυτή είναι σημαντική π.χ. για την εξάτμιση περίπου του 7% μίας ποσότητας θαλασσινού νερού αρχικής θερμοκρασίας 100 οC, η θερμοκρασία του φθάνει μετά την εξάτμιση περίπου τους 60 οC. Για να είναι δυνατή μία νέα εκρηκτική εξάτμιση στην επόμενη βαθμίδα πρέπει η πίεση στο

θάλαμο να είναι χαμηλότερη από αυτή που αντιστοιχεί στο σημείο βρασμού του διαλύματος στην προηγούμενη βαθμίδα.

Εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Mechanical Vapor Compression - MVC ή VC)

Είναι μέθοδος εξάτμισης που αξιοποιεί μία ιδιότητα του νερού(ύπαρξη διαφορετικών σημείων βρασμού ανάλογα με την ατμοσφαιρική πίεση). Η διαδικασία περιλαμβάνει τη μηχανική συμπίεση του ατμού και την αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας της εξάτμισης μέσω του συμπιεστή-εναλλάκτη θερμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την μηχανική συμπίεση των ατμών σε υψηλότερη πίεση, και την επαναθέρμανση των ατμών σε κατάλληλη πίεση και θερμοκρασία ώστε η ενέργεια που προστίθεται στο σύστημα να αντισταθμίζει τις απώλειες πίεσης και να κρατά το διάλυμα στο σημείο βρασμού. Θερμότητα από εξωτερική πηγή παρέχεται στο σύστημα, μόνο κατά την έναρξη της λειτουργίας της εγκατάστασης και για το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να φτάσει το διάλυμα τροφοδότησης στο σημείο βρασμού. Με τη διακοπή παροχής ενέργειας το σύστημα διατηρείται σε λειτουργία μόνο από την προσφερόμενη ενέργεια του συμπιεστή και από πιθανή συμπλήρωση των απωλειών θερμότητας. Η υπόλοιπη εξωτερική ενέργεια που απαιτείται για την εγκατάσταση είναι αυτή για την κίνηση των αντλιών κυκλοφορίας των διαλυμάτων.

Θερμική συμπίεση ατμών (Thermal Vapor Compression – TVC)

Είναι παρόμοια μέθοδος με την προηγούμενη με τη διαφορά ότι η συμπίεση του ατμού δεν πραγματοποιείται μηχανικά αλλά θερμικά.

4.1.2. Μέθοδοι Μεμβρανών

Αντίστροφη Ωσμωση (Reverse Osmosis - RO): Περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.

Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis – ED)

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μία ηλεκτροχημική μέθοδος διαχωρισμού στην οποία τα ιόντα μεταφέρονται μέσα από μεμβράνες, από την πλευρά όπου το διάλυμα έχει την μικρότερη συγκέντρωση ιόντων σε αυτή με την μεγαλύτερη συγκέντρωση και με την εφαρμογή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος.

4.1.3. Λοιπές μέθοδοι (σε πειραματικό στάδιο ή οικονομικά ασύμφορες)

Ιοντοανταλλαγή

Η μέθοδος εναλλαγής ιόντων, χρησιμοποιεί ρητίνες ανιόντων και κατιόντων, οι οποίες προσροφούν τα ιόντα του διαλύματος και τα ανταλλάσσουν με τα κινητά ιόντα που βρίσκονται στο πλέγμα της ρητίνης.

Πάγωμα

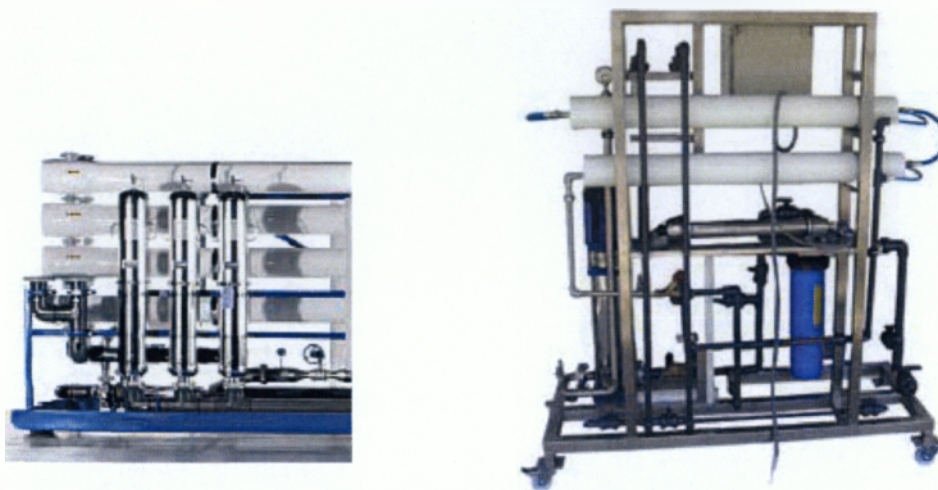
Η αφαλάτωση με ψύξη παρά την απλότητα της δεν είναι ακόμη βιομηχανικά εκμεταλλεύσιμη και η μοναδική μονάδα που λειτούργησε στη Σαουδική Αραβία εγκαταλείφθηκε λόγω ανυπέρβλητων προβλημάτων. Όπως είναι γνωστό, ο πάγος ο οποίος σχηματίζεται κατά την ψύξη του θαλάσσιου νερού αποτελείται από γλυκό νερό ενώ τα άλατα συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του πάγου. Η μέθοδος ψύξης απέτυχε κυρίως διότι δεν έγινε δυνατόν να σχηματισθούν μεγάλοι κρύσταλλοι πάγου. Οι λεπτοί κρύσταλλοι συγκρατούσαν στην επιφάνεια τους τα άλατα για την απομάκρυνση των οποίων έπρεπε να χρησιμοποιείται σχεδόν η μισή ποσότητα του νερού. Έτσι η μέθοδος κρίθηκε αντιοικονομική.

Άλλες μέθοδοι: Απόσταξη με μεμβράνες, Ηλιακή αεριοποίηση, Κρυσταλλοποίηση με υδρικό αιθάνιο, Νανόφιλτρα (carbon-nanotube membrane).

Η επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης βασίζεται σε συνδυασμό παραγόντων, όπως η ποιότητα του θαλασσινού ή του υφάλμυρου νερού, η απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού (πόσιμο, αρδευτικό ή βιομηχανικό), το μέγεθος της μονάδας, η διαθεσιμότητα και το κόστος ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας, τα χαρακτηριστικά του χερσαίου και θαλάσσιου περιβάλλοντα χώρου, οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί, κ.τ.λ.. Με δεδομένους τους παράγοντες αυτούς και το σημερινό τεχνολογικό επίπεδο κάθε

μεθόδου, οι σημαντικότερες εφαρμογές σε παγκόσμιο επίπεδο βασίζονται κυρίως στην Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis - RO) και σε μικρότερο βαθμό στην Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF). Οι λόγοι της επικράτησης της Αντίστροφης Όσμωσης είναι η αξιοπιστία της σε όλο το εύρος μεγεθών (από μερικά λίτρα μέχρι χιλιάδες κυβικά μέτρα την ημέρα), την συμπαγή και modular κατασκευή των μονάδων (πχ. μέσα σε κοντέϊνερς), την σχετικά μικρή κατασκευαστική περίοδο και κυρίως την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι σε μεγάλες μονάδες αντίστροφης ώσμωσης με χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας (Energy Recovery Devices) επιτυγχάνεται ενεργειακή κατανάλωση περίπου 2,5 kWh/m³ θαλασσινού νερού (4,5-8 χωρίς ERD), έναντι 15 kWh/m³ των μονάδων VC και 20 kWh/m³ περίπου των μονάδων MSF. Επίσης η συνεχής εξέλιξη των μεμβρανών, η βελτίωση της απόδοσης των αντλιών, η χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας, η σωστή σχεδίαση των μονάδων και η επίτευξη οικονομιών κλίμακας σε χαμηλότερα επίπεδα, έχουν μειώσει δραστικά το κόστος του παραγόμενου νερού σε 0,46-1,17 \$/m³ για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού και σε λιγότερο από 0,45 \$/m³ για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. (Διαδίκτυο 9)

4.2. Η αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση



Εικόνα 2: Μονάδες αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση. (Διαδίκτυο 15)

4.3. Η αρχή λειτουργίας της Αντίστροφης Όσμωσης

Η αντίστροφη όσμωση είναι μία διαδικασία αφαλάτωσης με την οποία ο διαλύτης ενός διαλύματος, συνήθως το νερό, μεταφέρεται και διαχωρίζεται μέσω μεμβράνης, από τα συστατικά του διαλύματος με την άσκηση πίεσης.

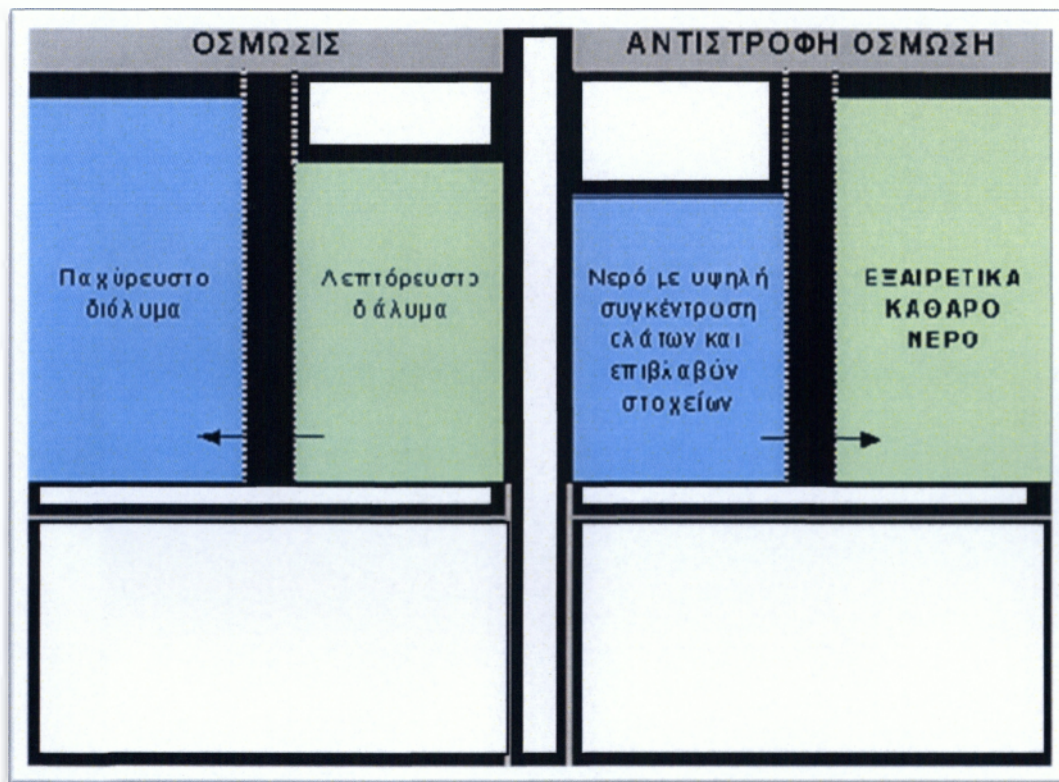
Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής, στηρίζεται στο φαινόμενο της όσμωσης.

Η διάχυση είναι η μετακίνηση των μορίων από μια περιοχή της χαμηλότερης συγκέντρωσης σε μια περιοχή της υψηλότερης συγκέντρωσης. Η όσμωση είναι μια ειδική περίπτωση της διάχυσης στην οποία τα μόρια είναι νερό και η κλίση συγκέντρωσης εμφανίζεται πέρα από μια ημιπερατή μεμβράνη. Η ημιπερατή μεμβράνη επιτρέπει τη μετάβαση του νερού, αλλά όχι των ιόντων (π.χ. NA^+ , Ca^{2+} , CL^-) ή των μεγαλύτερων μορίων (π.χ. γλυκόζη, ουρία, βακτηρίδια). Η διάχυση και η όσμωση είναι θερμοδυναμικά ευνοϊκές και θα συνεχιστούν έως ότου επιτυγχάνεται η ισορροπία. Η όσμωση μπορεί να επιβραδυνθεί, να σταματήσει, ή ακόμα και να αντιστραφεί εάν ικανοποιητική πίεση εφαρμόζεται στη μεμβράνη από τη "συγκεντρωμένη" πλευρά της μεμβράνης.

Η αντίστροφη όσμωση εμφανίζεται όταν κινείται το νερό πέρα από τη μεμβράνη ενάντια στην κλίση συγκέντρωσης, από τη υψηλότερη συγκέντρωση στην χαμηλότερη συγκέντρωση. Για να γίνει κατανοητό, φανταστείτε μια ημιπερατή

μεμβράνη με το γλυκό νερό σε μια πλευρά και ένα συγκεντρωμένο διάλυμα νερού από την άλλη πλευρά. Εάν η κανονική όσμωση πραγματοποιηθεί, το γλυκό νερό θα διασχίσει τη μεμβράνη για να αραιώσει το συγκεντρωμένο διάλυμα. Στην αντίστροφη όσμωση, η πίεση ασκείται στην πλευρά με το συγκεντρωμένο διάλυμα για να αναγκάσει τα μόρια νερού να μεταφερθούν από τη μεμβράνη στην πλευρά γλυκού νερού. (Σαχτούρη Κ., 2008)

Η διαδικασία της όσμωσης και της αντίστροφης όσμωσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3: Η διαδικασία της όσμωσης και της αντίστροφης όσμωσης. (Διαδίκτυο 16)

4.4. Τα χαρακτηριστικά της αντίστροφης όσμωσης

Συγκεντρωτικά, η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- ✓ Απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων

Η αντίστροφη όσμωση μπορεί να απομακρύνει σταθερά και αποτελεσματικά τα διαλυμένα άλατα, τις διαλυμένες οργανικές ουσίες, τα μικροσκοπικά σωματίδια (ζωντανά και νεκρά μικρόβια και πολλά άλλα μικροσκοπικά σωματίδια) από το νερό.

Συνεπώς, είναι ιδανική για ένα μεγάλο τομέα εφαρμογών από την παραγωγή πεντακάθολου νερού έως την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

✓ Τεχνική διαχωρισμού για εξοικονόμηση ενέργειας

Η αντίστροφη όσμωση προφυλάσσει το νερό από την εξάτμιση, αποτελώντας μία ενεργειακά οικονομική τεχνική διαχωρισμού που απαιτεί λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.

✓ Εύχρηστη ως μέθοδος συγκέντρωσης και αποκατάστασης

Η αντίστροφη όσμωση δεν χρειάζεται θέρμανση, μπορεί να συγκεντρώσει και να μετατρέψει πολύτιμα υλικά της διαδικασίας σε διαλυτή μορφή χωρίς τον εκφυλισμό που θα μπορούσε να είχαν υποστεί τέτοια υλικά κάτω από άλλες συνθήκες.

✓ Συμπαγής εξοπλισμός

Οι μονάδες μπορούν να κατανεμηθούν σε μία τρισδιάστατη διάθρωση, που να παρέχει εξαιρετική αποτελεσματικότητα χώρου, έτσι ώστε ο χώρος που χρειάζεται για την εγκατάσταση να ελαχιστοποιηθεί.

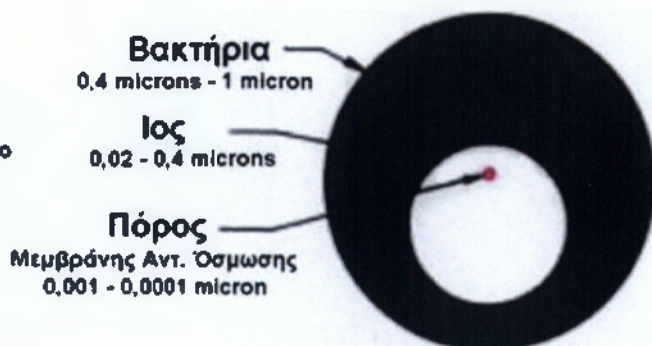
✓ Απλός χειρισμός και έλεγχος

Η αντίστροφη όσμωση είναι απλή διαδικασία, χωρίς περίπλοκο χειρισμό και έλεγχο, ενώ η συντήρηση γίνεται εύκολα και χωρίς προβλήματα. (Σαχτούρη Κ., 2008)

4.5. Οι απορρίψεις στοιχείων από τις μεμβράνες

Μια εικόνα του μεγέθους των πόρων της μεμβράνης, των βακτηριδίων (bacteria) και ιών (virus) παρουσιάζεται παρακάτω όπου το κόκκινο μικρό σημείο είναι το μέγεθος του πόρου της μεμβράνης.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ
Μεγεθών
Επιβλαβών
στοιχείων που
απορρίπτονται από
την μεμβράνη



Εικόνα 4: Εικόνα του μεγέθους των πόρων της μεμβράνης. (Διαδίκτυο 16)

Ένα σύστημα φίλτρανσης χωρίς την τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης δεν μπορεί να φιλτράρει σε υψηλό επίπεδο. Για να κατανοήσουμε την διαφορά, παρατηρούμε την παρακάτω εικόνα. Αριστερά είναι μια μεμβράνη αντίστροφης όσμωσης (0,001 – 0,0001 micron) όπου δεν μπορείτε να ξεχωρίσετε τους πόρους που περνά το νερό. Δεξιά είναι μια εικόνα φίλτρου μικροφίλτρανσης (τα μικροφίλτρα κυμαίνονται από 0,1 μικρά – 0,5 micron). (Διαδίκτυο 16)



Εικόνα 5: Σύγκριση πόρων αντίστροφης όσμωσης και μικροφίλτρου. (Διαδίκτυο 16)

Το πιο σημαντικό για την αντίστροφη όσμωση είναι ότι τα ανεπιθύμητα στοιχεία αυτομάτως φεύγουν μέσω της αποχέτευσης και έτσι δεν “χτίζουν - επικαλύπτουν” την μεμβράνη όπως συμβαίνει με τα κοινά συστήματα φίλτρανσης. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μέρος του νερού παροχής το οποίο ξεπλένει την μεμβράνη και την κρατάει καθαρή. Δηλαδή υπάρχει μια είσοδος νερού που τροφοδοτεί το σύστημα και από την άλλη πλευρά υπάρχουν δυο έξοδοι. Η μια έξοδος τροφοδοτεί “πλήρως καθαρό νερό” και η άλλη βγάζει νερό μαζί με τα ανεπιθύμητα στοιχεία. Αυτός είναι και ο λόγος που οι μεμβράνες μπορούν να διαρκέσουν πολύ περισσότερο και λειτουργούν με μια μικρή συντήρηση, σαν να είναι καινούργιες ακόμα και μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας.

Το σύστημα αντίστροφης όσμωσης πέρασε τα τελευταία χρόνια από διάφορες βελτιώσεις για την λειτουργία του και εδώ και αρκετά χρόνια είναι πλήρως έτοιμο να ανταποκριθεί στις ανάγκες για καθαρό και φρέσκο νερό. (Σαχτούρη Κ., 2008)

Συγκεντρωτικά, οι τυπικές απορρίψεις στοιχείων από τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης είναι περίπου αυτές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΟΝΟΜΑ	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΑΠΟΡΡΙΨΗ (%)	ΟΝΟΜΑ	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΑΠΟΡΡΙΨΗ (%)
Νάτριο	95-97	Χλώριο	95-97
Ασβέστιο	96-98	Βρόμιο	94-96
Μαγνήσιο	96-98	Κυάνιο	90-95
Κάλιο	95-97	Βάριο	95-98
Σίδηρο	98-99	Ράδιο	95-98
Μαγγάνιο	98-99	Σελήνιο	95-98
Αλουμίνιο	99+	Στρόντιο	95-98
Αμμωνία	88-95	Φθορίδιο	90-95
Χαλκός	98-99	Μόλυβδος	95-98
Νικέλιο	98-99	Θειικό άλας	95-98
Ψευδάργυρος	98-99	Χρωμικό άλας	90-95
Βόριο	95-98	Απορρυπαντικά	95-98
Κάδμιο	96-98	Εντομοκτόνα	95-98
Άργυρος	94-96		

Πίνακας 1.: Τυπικές απορρίψεις στοιχείων από τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. (Διαδίκτυο 17) Παρατηρείται απόρριψη των στοιχείων κατά μέσο όρο 96,2%, πολύ μεγάλο ποσοστό και έτσι αποφεύγεται το 'φράξιμο' των μεμβρανών της αντίστροφης όσμωσης.

4.6. Οι μεμβράνες της Αντίστροφης Όσμωσης

Μία μεμβράνη για να είναι κατάλληλη για τη διεργασία της αντίστροφης όσμωσης, θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- ❖ Μεγάλη απόρριψη αλάτων με υψηλή διαπερατότητα διαλύτη.
- ❖ Ικανότητα να σχηματίζει λεπτά διαχωριστικά στρώματα μεγάλης αντοχής.
- ❖ Μεγάλο εύρος λειτουργικών παραμέτρων, πίεσης, θερμοκρασίας και είδους διαλύματος τροφοδοσίας.

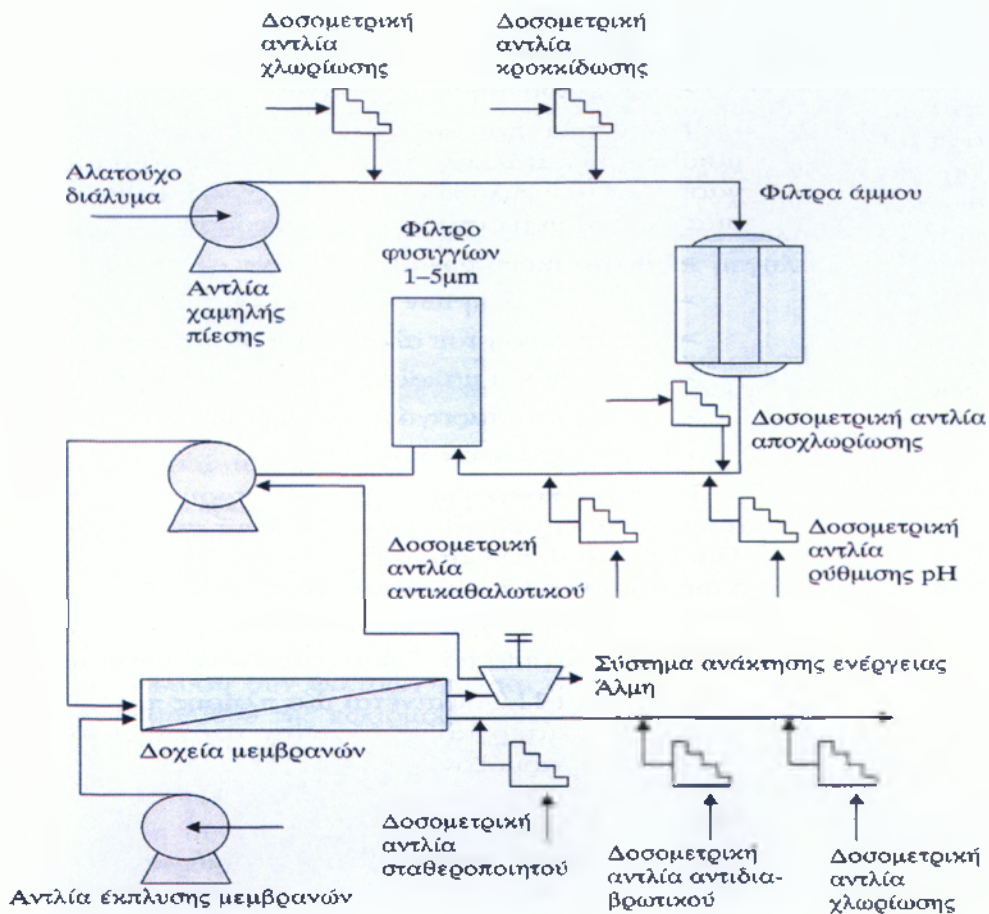
- ❖ Μεγάλη διάρκεια ζωής. Η διάρκεια ζωής κυμαίνεται από 3-5 χρόνια, εξαρτώμενη από την ποιότητα του νερού προς επεξεργασία και τον τρόπο χρήσης και καθαρισμού.
- ❖ Μεγάλη αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια και βιολογικές επιθέσεις.
- ❖ Ικανότητα λειτουργίας σε μεγάλο εύρος pH.
- ❖ Χαμηλό κόστος.
- ❖ Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης:
 - Οι ασύμμετρες μεμβράνες
 - Οι σύνθετες μεμβράνες. (Σαχτούρη Κ., 2008)

4.7. Ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων της Αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση

Ένα σύστημα παραγωγής αφαλατωμένου νερού με αντίστροφη όσμωση, αποτελείται από τρία κυρίως μέρη:

- ❖ Το σύστημα προ-κατεργασίας του νερού
- ❖ Το κυρίως σύστημα της αφαλάτωσης
- ❖ Το σύστημα μετεπεξεργασίας του νερού

Το μονογραμμικό διάγραμμα μιας πλήρους εγκατάστασης αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 6: Διάγραμμα μονάδας διεργασίας αντίστροφης όσμωσης. (Σαχτούρη Κ., 2008)

4.8. Η Προ-κατεργασία του θαλασσινού νερού

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

- ❖ Επικαθίσεις αλάτων
- ❖ Μόλυνση μεμβρανών
- ❖ Αποικοδόμηση μεμβρανών

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

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

Το σύστημα προ-κατεργασίας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Χλωρίωση: Για την πρόληψη δημιουργίας επιστρώματος μόλυνσης οργανικής κυρίως προέλευσης το νερό προς αφαλάτωση χλωριώνεται, είτε με αέριο χλώριο, είτε συνήθως με υπό-χλωριώδες νάτριο ή λιγότερο συχνά υπό-χλωριώδες ασβέστιο. Η χλωρίωση γίνεται με δοσομετρικές αντλίες συνεχώς ώστε στο νερό τροφοδοσίας η συγκέντρωση σε ενεργό χλώριο να φτάνει μέχρι 10 ppm.

2. Θρόμβωση – Κροκίδωση: Για χρησιμοποιούμενο νερό με υψηλό ποσοστό αιωρούμενων στερεών, χρησιμοποιούνται ουσίες που προκαλούν τη συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών και τελικά τον διαχωρισμό τους από το νερό προς επεξεργασία σε επόμενο στάδιο.

3. Φίλτραση: Τα συσσωματώματα ή γενικώς τα αιωρούμενα στερεά διέρχονται από δύο είδη φίλτρων. Τα φίλτρα άμμου, που περιλαμβάνουν στρώσεις από αδρανή υλικά διαφορετικού μεγέθους και από τα φίλτρα φυσιγγίων όπου συγκρατούνται όλα τα αιωρούμενα στερεά μεγέθους μεγαλύτερου των 1 – 5 μm. Τα φίλτρα φυσιγγίων είναι φίλτρα σπόγγου ημιπερατότητας 1-2 μm και λειτουργούν περίπου όπως οι μεμβράνες όσμωσης μόνο που η κίνηση του νερού μέσα σε αυτά είναι διαφορετική. Το νερό κινείται περιμετρικά του κυλίνδρου και από το κέντρο παίρνουμε το απόσταγμα.

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

- ❖ Χαλαζιακά μικρά χαλίκια
- ❖ Αδρανή πυριτική άμμο
- ❖ Ανθρακίτη

Η πυκνότητα αυτών των υλικών είναι τέτοια ώστε διατηρείται η διαστρωμάτωσή τους ακόμα και σε ισχυρές αναδεύσεις λόγω μεγάλης ταχύτητας του διερχόμενου θαλασσινού νερού.

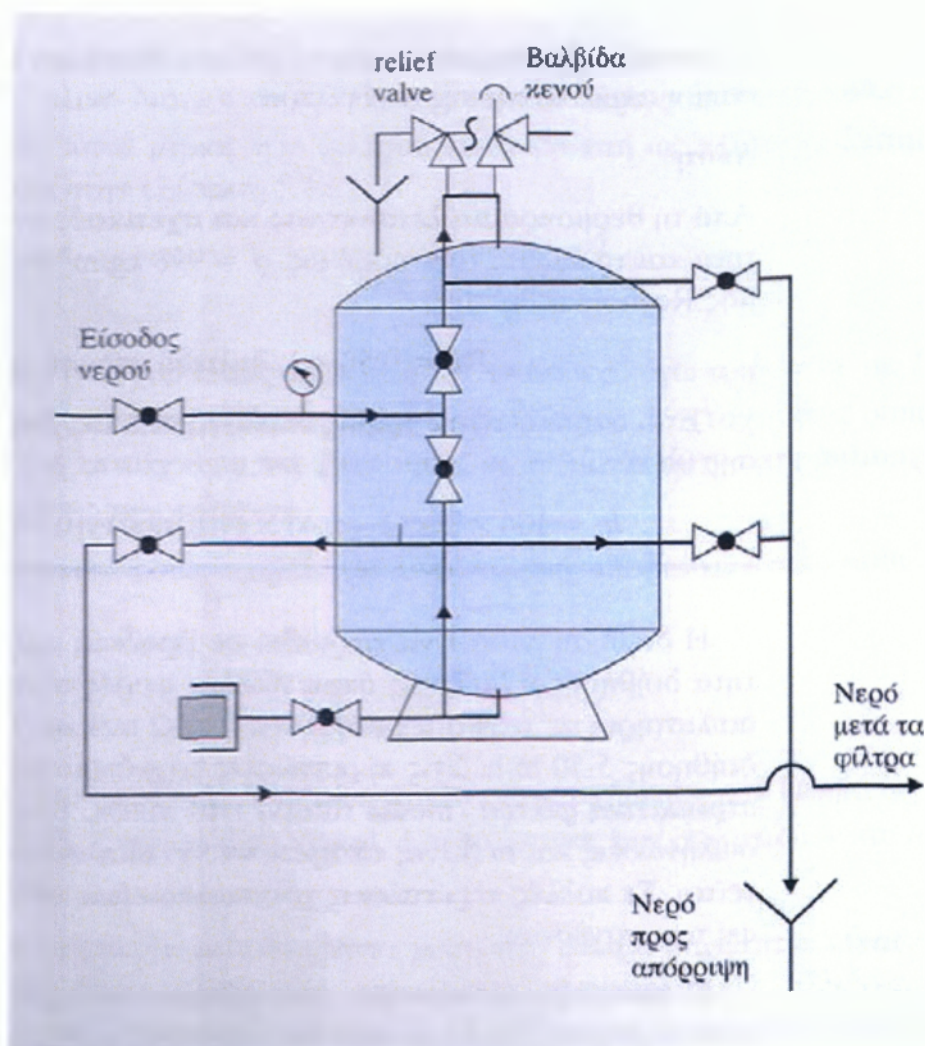
Ο καθαρισμός του νερού επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

A. Με τη μη δυνατότητα των αιωρούμενων σωματιδίων να διαπεράσουν το ανώτατο στρώμα λόγω μεγέθους

B. Με την καθίζησή τους λόγω βάρους στα κατώτερα στρώματα

Τα φίλτρα περιλαμβάνουν τις κατάλληλες σωληνώσεις και βάνες ώστε να είναι δυνατή η έκπλυσή τους. (Σαχτούρη Κ., 2008)

Η μορφή και η συνδεσμολογία ενός τέτοιου φίλτρου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



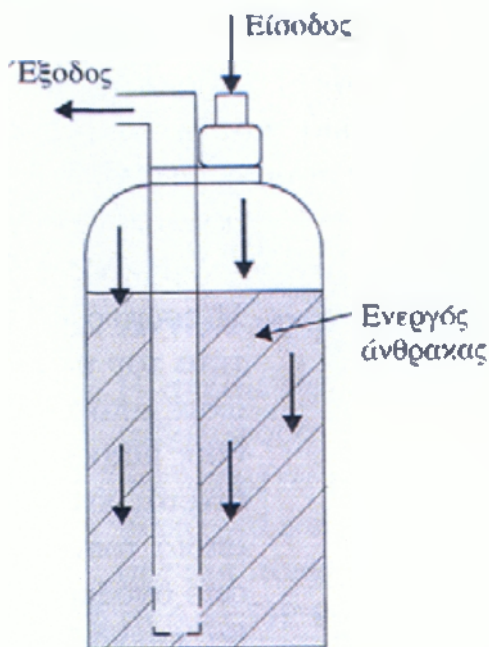
Εικόνα 7: Πολυστρωματικά φίλτρα. (Σαχτούρη Κ., 2008)

4. Αποχλωρίωση: Το υπολειπόμενο χλώριο που έχει χρησιμοποιηθεί εάν φτάσει στις μεμβράνες θα τις καταστρέψει. Έτσι θα πρέπει να υπάρχει στάδιο αποχλωρίωσης.

A. Με δοσομετρική αντλία τροφοδοτούμε το νερό με αναγωγικά μέσα κατάλληλης δοσολογίας ώστε να μην υπάρχει καμία περίπτωση να παραμείνει χλώριο στο διάλυμα.

B. Η αποχλωρίωση μπορεί να γίνει και με φίλτρα ενεργού άνθρακα. Τα φίλτρα αυτά συγκρατούν επίσης αιωρούμενη οργανική ύλη και χλωραμίνες που είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες ουσίες.

Η λειτουργία ενός απλού φίλτρου άνθρακα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

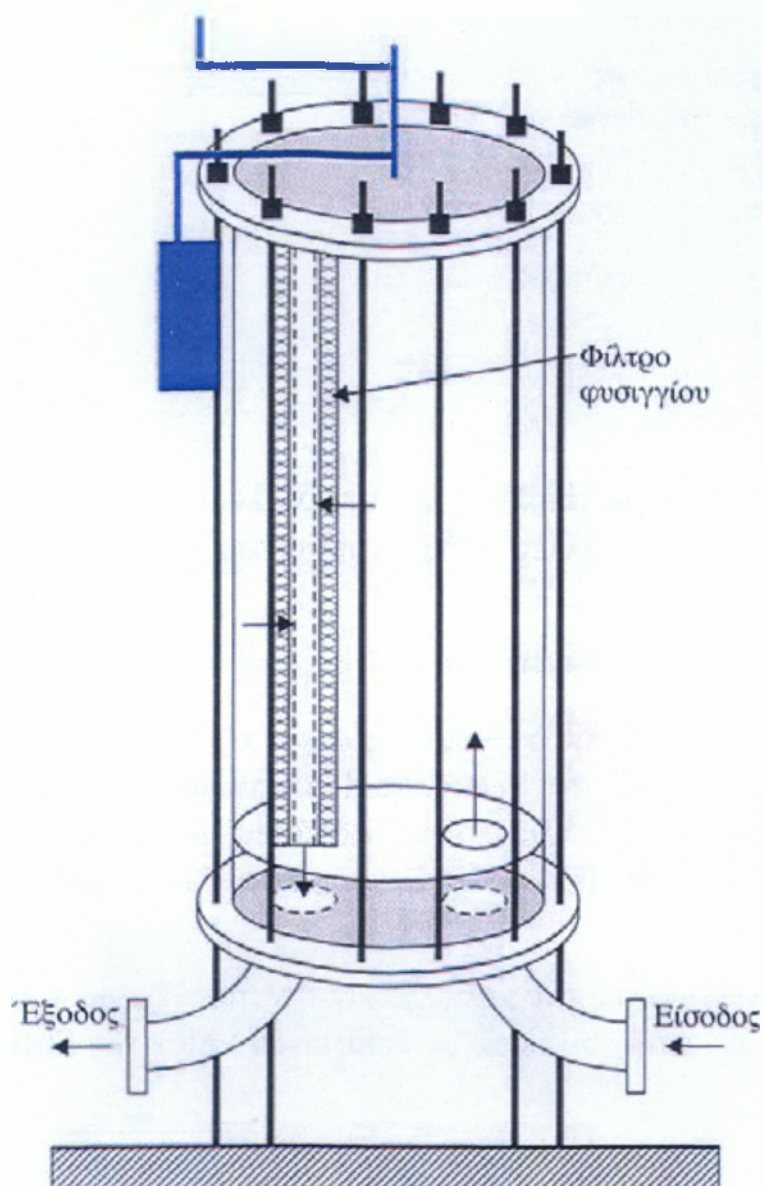


Εικόνα 8: Φίλτρο ενεργού άνθρακα. (Σαχτούρη Κ., 2008)

5. Ρύθμιση pH: Για την αποφυγή επικαθίσεων αλάτων χρησιμοποιούμε οξέα για τη μείωση του pH του διαλύματος. Τα οξέα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το υδροχλωρικό και το θειικό οξύ. Η δοσολογία τους καθορίζεται από τη σύσταση του κατεργαζόμενου νερού.

6. Προσθήκη αντικαθαλωτικού: Η παρεμπόδιση των επικαθίσεων αλάτων γίνεται με την προσθήκη ειδικών αντικαθαλωτικών ουσιών που παρεμποδίζουν την επικάλυψη αλάτων. Απαιτούνται μικρές ποσότητες αντικαθαλωτικού. Η δράση τους οφείλεται στο γεγονός ότι προσροφούνται επιφανειακά στο αρχικό στάδιο σχηματισμού των αλάτων, έτσι ώστε δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη των κρυστάλλων και συνεπώς το σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων.

7. Φίλτρο φυσιγγίων: Για την ολοκλήρωση της προ-κατεργασίας, η θάλασσα διέρχεται από τα φίλτρα φυσιγγίων. Ο αριθμός και οι διαστάσεις των φυσιγγίων που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από την παροχή της θάλασσας. Γενικά χρησιμοποιούνται φίλτρα από πολυμερές υλικό. Το δοχείο στο οποίο τοποθετούνται τα φυσιγγία θα πρέπει να είναι από ανοξείδωτο υλικό ή κατάλληλο πολυμερές ή χάλυβα επενδυμένο εσωτερικά με κατάλληλη επίστρωση ανθεκτική στη διάβρωση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα τέτοιο φίλτρο φυσιγγίων. (Σαχτούρη Κ., 2008)



Εικόνα 9: Φίλτρο φυσιγγίων. (Σαχτούρη Κ., 2008)

4.9. Το κυρίως σύστημα της αφαλάτωσης

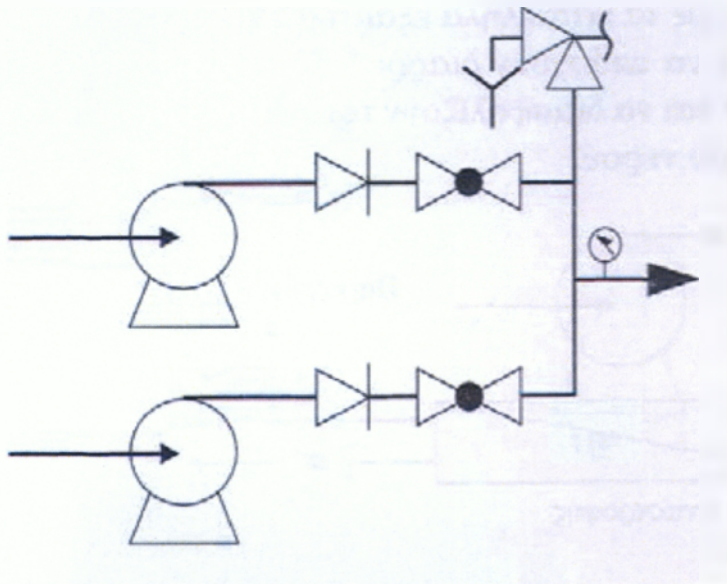
Το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης περιλαμβάνει τα εξής τμήματα:

Αντλία χαμηλής πίεσης: Η αντλία χαμηλής πίεσης είναι συνήθως περιστροφική αντλία κατάλληλης ισχύος για την τροφοδοσία των φίλτρων και της αντλίας υψηλής πίεσης. Είναι κατασκευασμένη από υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση.

Λαμβάνει το αλατούχο διάλυμα, θάλασσα ή υφάλμυρο νερό, απευθείας από την πηγή τροφοδοσίας ή από δεξαμενή εξισορρόπησης.

Γενικά εγκαθίστανται δύο παράλληλες αντλίες χαμηλής πίεσης, μία σε λειτουργία και μία εφεδρική.

Η συνδεσμολογία των αντλιών χαμηλής πίεσης και τα εξαρτήματα που απαιτούνται φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 10: Αντλίες χαμηλής πίεσης. (Σαχτούρη Κ., 2008)

Αντλία υψηλής πίεσης: Η αντλία υψηλής πίεσης είναι εμβολοφόρα αντλία με τρία ή περισσότερα έμβολα, κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα και ειδικό κεραμικό υλικό για μείωση του βάρους της. Χρησιμοποιούνται επίσης και πολυβάθμιες περιστροφικές αντλίες στη σειρά από κατάλληλο υλικό.

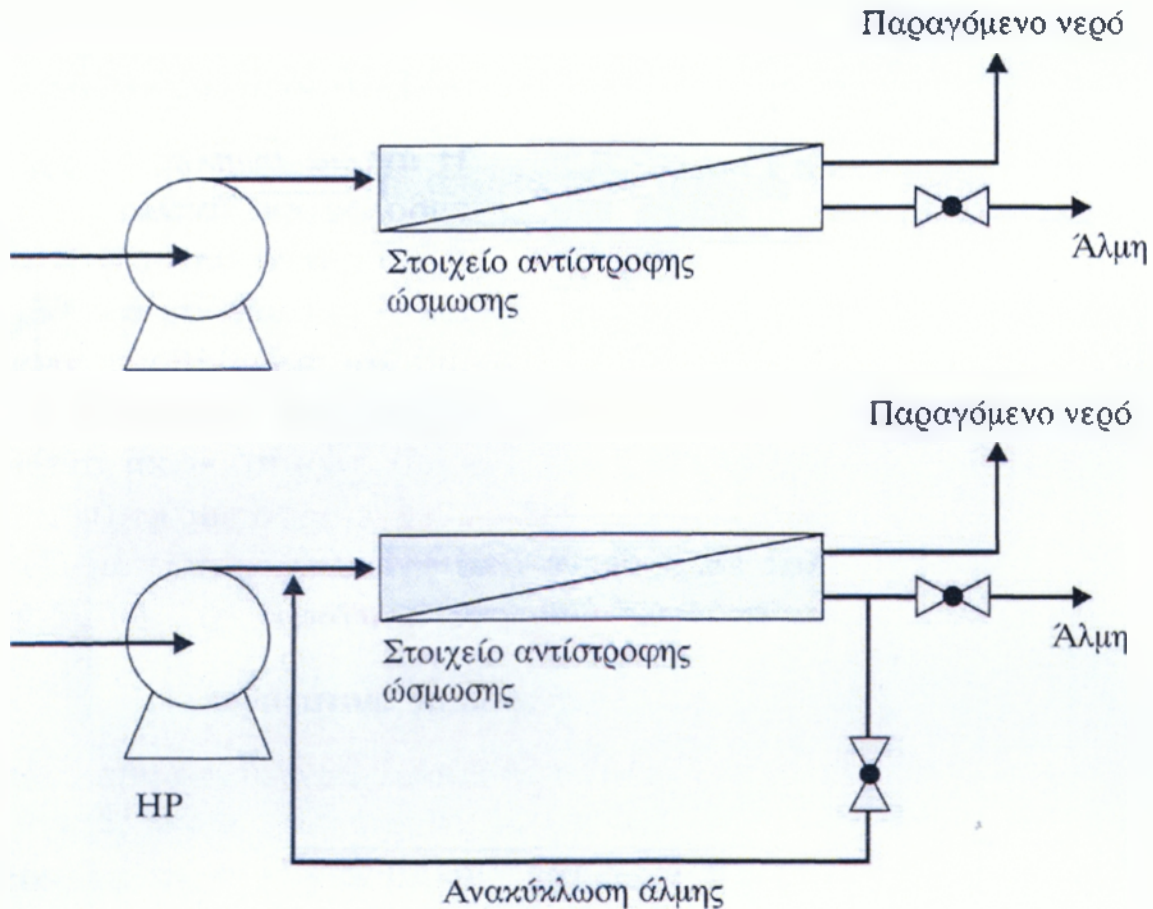
Το νερό τροφοδοσίας εξερχόμενο από την αντλία υψηλής πίεσης διοχετεύεται στα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης που βρίσκονται στα δοχεία πίεσης.

Στοιχεία αντίστροφης όσμωσης: Αποτελούνται από ειδικά δοχεία πίεσης εντός των οποίων τοποθετούνται σε σειρά 1 – 7 στοιχεία μεμβρανών. Ο έλεγχος της ποιότητας παραγωγής κάθε μεμβράνης γίνεται με ειδικό σωλήνα που τοποθετείται εσωτερικά των μεμβρανών στο σωλήνα παραγόμενου νερού.

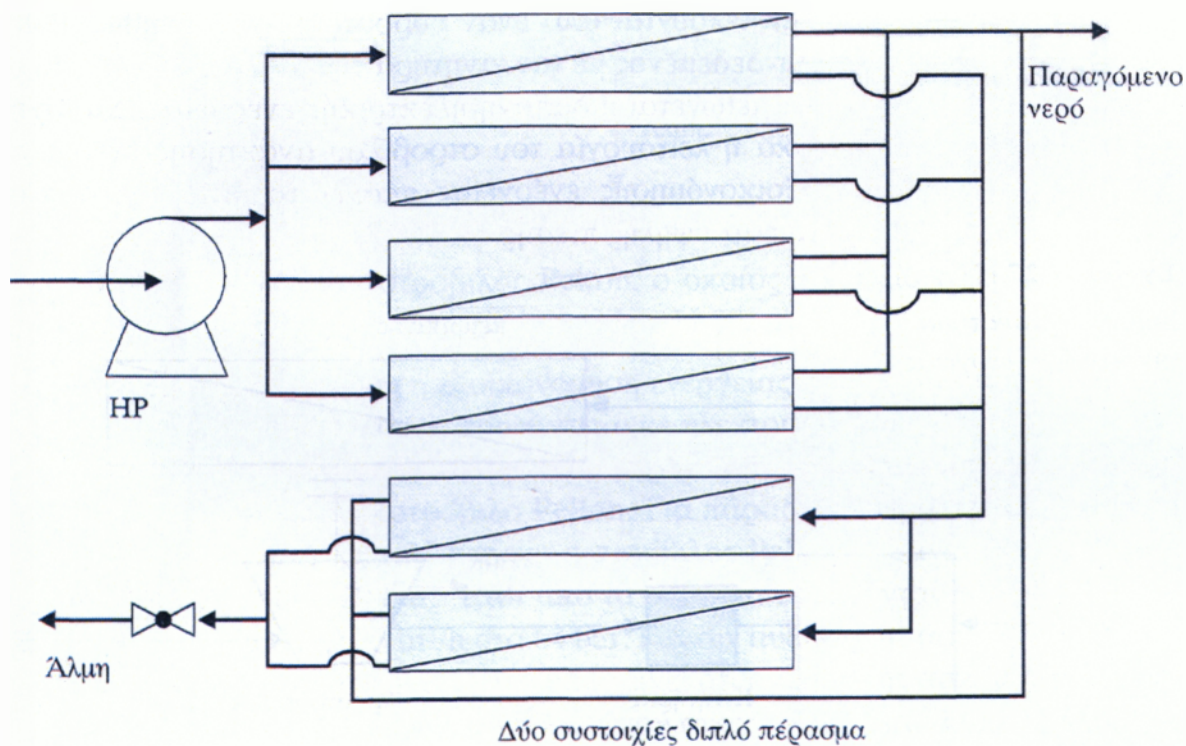
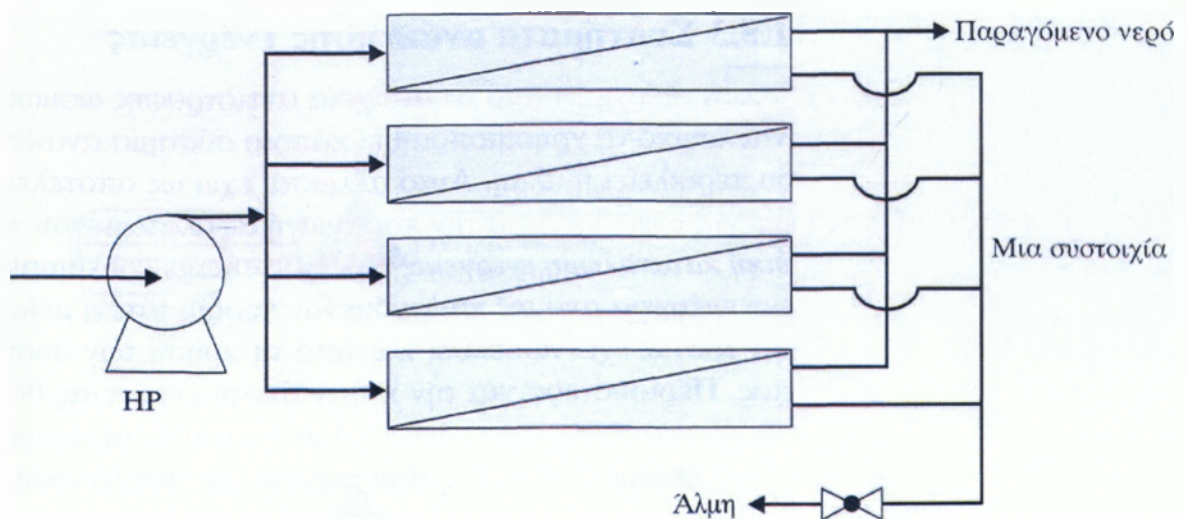
Κάθε σύστημα αφαλάτωσης μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης (δοχείο πίεσης και στοιχεία μεμβρανών) διαταγμένα παράλληλα σχηματίζοντας μία ή περισσότερες συστοιχίες. Το νερό προς κατεργασία εισέρχεται σε κάθε στοιχείο αντίστροφης όσμωσης από το ένα άκρο, ενώ από το άλλο άκρο εξέρχονται το καθαρό νερό και η άλμη. Εάν επιθυμούμε μεγαλύτερη ανάκτηση η άλμη μπορεί να ανακυκλώνεται ή να χρησιμοποιηθεί δεύτερο πέρασμα

σε άλλη συστοιχία στοιχείων αντίστροφης όσμωσης. Η πίεση λειτουργίας μπορεί να καθορίζεται από βάννα που υπάρχει στην έξοδο της άλμης.

Διάφορες διαμορφώσεις του κυρίως συστήματος αφαλάτωσης με διάφορους λόγους ανάκτησης και ποιότητας παραγόμενου νερού, φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 11: Σύστημα αφαλάτωσης με ένα στοιχείο αντίστροφης όσμωσης.(Σαχτούρη Κ., 2008)



Εικόνα 12: Απλό και διπλό πέρασμα συστήματος αφαλάτωσης. (Σαχτούρη Κ., 2008)

Τα δοχεία πίεσης είναι κατασκευασμένα έτσι, ώστε να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις, εφόσον το διάλυμα τροφοδοσίας είναι θαλασσινό, και φέρουν ειδικές πλάκες στα άκρα τους με τα κατάλληλα εξαρτήματα ώστε να είναι δυνατή η συναρμολόγησή τους χωρίς να υπάρχουν διαρροές θάλασσας ή παραγόμενου νερού στο περιβάλλον, αλλά και να διασφαλίζουν τη στεγανότητα μεταξύ της θάλασσας και του παραγόμενου νερού. (Σαχτούρη Κ., 2008)

4.10. Η Μετεπεξεργασία

Το παραγόμενο νερό της αφαλάτωσης παρουσιάζει γενικά πολύ μικρή σκληρότητα και σχετικά χαμηλό pH. Έτσι, πριν διατεθεί στην κατανάλωση θα πρέπει να προστεθούν κάποια χημικά που θα το κάνουν κατάλληλο για κατανάλωση. Ακόμα, το αφαλατωμένο νερό, στη μορφή που παράγεται παρουσιάζει ισχυρά διαβρωτικές ιδιότητες καθώς μετά την αφαλάτωσή του το νερό εξέρχεται από τη μονάδα απιονισμένο. Έτσι είναι ιδιαίτερα επιθετικό σε σωληνώσεις που αποτελούνται από απλό, γαλβανισμένο ή ακόμα και ανοξείδωτο χάλυβα.

Το σύστημα μετεπεξεργασίας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

Ρύθμιση pH: Το pH ρυθμίζεται, αυξάνεται, με προσθήκη υδροξειδίου του νατρίου ή όξινου ανθρακικού νατρίου. Η δοσολογία ρυθμίζεται ανάλογα με το pH του παραγόμενου νερού και την επιθυμητή τιμή. Για να μειωθούν οι διαβρωτικές ιδιότητες του αφαλατωμένου νερού, προστίθεται αντιδιαβρωτικό όπως είναι διάφορες πολυφωσφορικές ενώσεις.

Ρύθμιση σκληρότητας: Η αύξηση της σκληρότητας μπορεί να γίνει με προσθήκη μέσω δοσομετρικής αντλίας CaCl_2 και MgCl_2 ή διαβίβαση του νερού μέσα από ειδικές στήλες που περιέχουν ορυκτό Calcite, που περιλαμβάνει άλατα μαγνησίου και ασβεστίου. Η δεύτερη λύση κρίνεται πλέον ικανοποιητική διότι με την αύξηση της σκληρότητας δεν αυξάνεται η συγκέντρωση ιόντων χλωρίου.

Χλωρίωση: Η χλωρίωση του νερού γίνεται με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου. (Σαχτούρη Κ., 2008)

4.11. Η σύγκριση των μεθόδων της Αφαλάτωσης

Συγκρίνοντας τις μεθόδους αφαλάτωσης, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Μέθοδος	Επένδυση €/m ³ μέρα	Ενέργεια €/ m ³	Αναλώσιμα €/ m ³	Εργατικά €/ m ³	Συντήρηση €/ m ³	Σύνολο €/ m ³
MSF	1000-2000	0.6-1.8	0.03-0.09	0.03-0.2	0.02-0.06	0.68-2.15
MED	900-1800	0.38-1.12	0.02-0.15	0.03-0.2	0.02-0.06	0.45-1.53
VC	900-2500	0.56-2.4	0.02-0.15	0.03-0.2	0.02-0.08	0.63-2.83

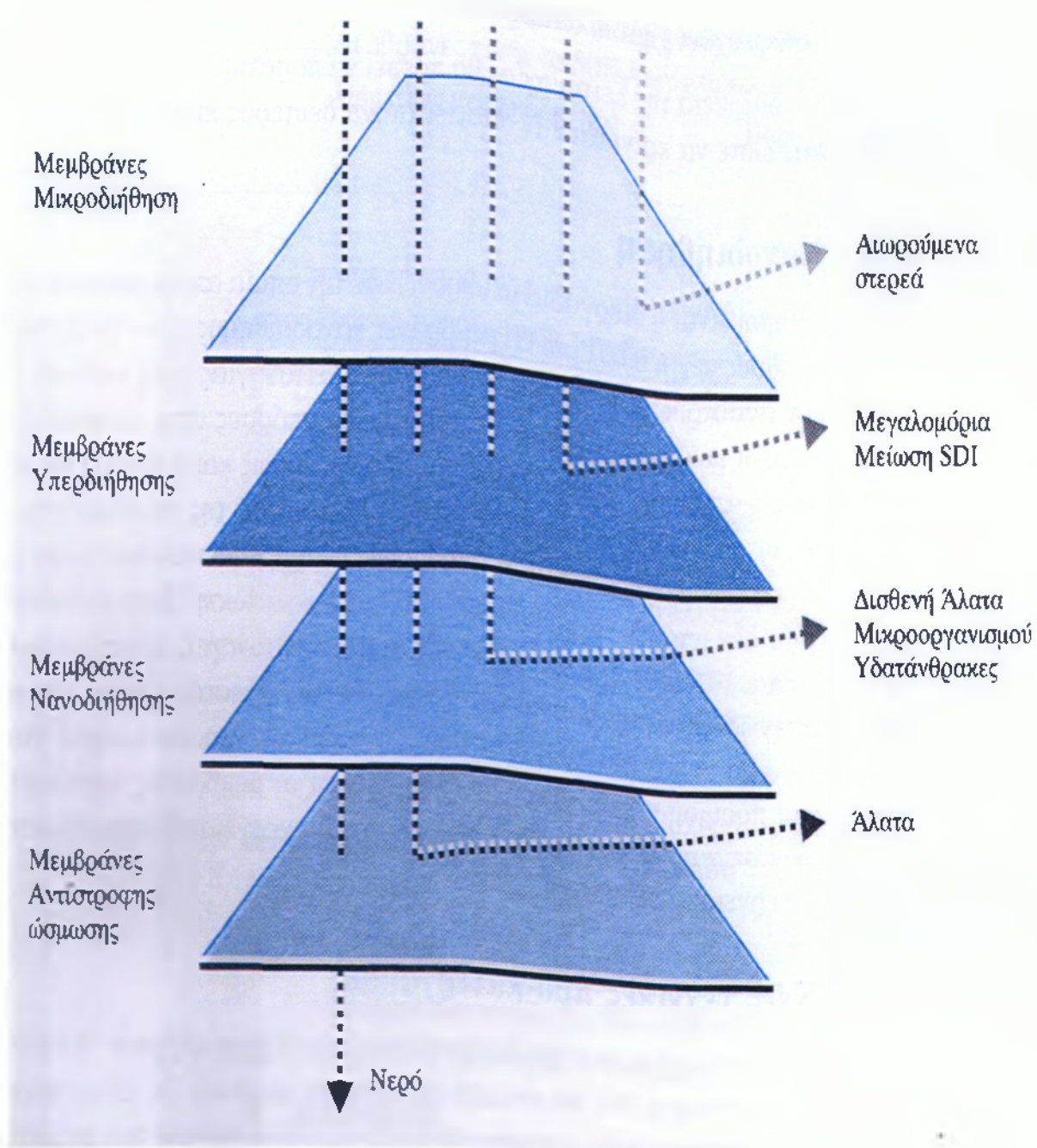
Πίνακας 2.: Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης. (Σαχτούρη Κ., 2008)

Συγκρίνοντας ως προς το μέγεθος των απορριπτόμενων στοιχείων, τις μεθόδους αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν μεμβράνες, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Κατηγορία	Μέγεθος απορριπτόμενων
Μικροδιήθηση (microfiltration)	1-0,1 μm
Υπερδιήθηση (ultrafiltration)	0,3-0,01 μm
Νανοδιήθηση (nanofiltration)	0,01-0,001 μm
Αντίστροφη ώσμωση (reverse osmosis)	0,001-0,0001 μm

Πίνακας 3.: Μέγεθος απορριπτόμενων ουσιών ανά κατηγορία μεμβρανών. (Σαχτούρη Κ., 2008)

Τέλος, συγκρίνοντας ως προς το είδος των απορριπτόμενων στοιχείων, τις μεθόδους αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν μεμβράνες, προκύπτει το παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 13: Είδος απορριπτόμενων ουσιών ανά κατηγορία μεμβρανών. (Σαχτούρη Κ., 2008)

4.12. Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα αντίστροφης όσμωσης

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου της αντίστροφης όσμωσης είναι ότι γενικά δεν χρειάζεται θέρμανση του τροφοδοτικού νερού, με αποτέλεσμα οι θερμικές απώλειες να είναι χαμηλές. Έχει χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια σε σχέση με τις θερμικές μεθόδους, υψηλότερο βαθμό απόδοσης και μπορεί να απομακρύνει εκτός από αλάτι και άλλα ανεπιθύμητα συστατικά όπως βακτήρια, ενώ για την ίδια

ποσότητα παραγόμενου νερού οι εγκαταστάσεις είναι πολύ μικρότερες σε όγκο σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Στον αντίποδα, οι μονάδες αντίστροφης όσμωσης χρειάζεται να διακόπτουν τη λειτουργία τους αρκετά συχνά για τον καθαρισμό και τη συντήρηση του εξοπλισμού τους. Οι ανάγκες προετοιμασίας του τροφοδοτικού νερού είναι μεγάλες, κυρίως στο στάδιο προ της εισόδου στις μεμβράνες. Τέλος, παράγουν απόβλητα (κυρίως άλμη) που μπορεί να διαταράξουν την ισορροπία του οικοσυστήματος όπου είναι εγκατεστημένη η εν λόγω μονάδα. (Παλιεράκης Γ., 2007)

5. Ποιότητα του νερού άρδευσης

ΓΕΝΙΚΑ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μόνο μια πολύ μικρή ποσότητα του νερού που υπάρχει στη γη είναι γλυκό και κατάλληλο για γεωργική χρήση. Επομένως ο ακριβής προσδιορισμός της ποσότητας νερού που είναι διαθέσιμη από κάθε πηγή είναι επιτακτικός πράγμα που γίνεται ακόμα σπουδαιότερο για περιοχές με ξηρό ή ημίξηρο κλίμα όπως η Ελλάδα. Όμως η περιορισμένη διαθέσιμη ποσότητα νερού δεν αποτελεί τον μόνο περιοριστικό παράγοντα για την γεωργική ανάπτυξη μιας περιοχής. Το πρόβλημα της ποιότητας (και επομένως της καταλληλότητας του νερού για αρδεύσεις) αποτελεί παράγοντα επίσης πολύ σημαντικά για την γεωργική ανάπτυξη. (διαδίκτυο 4)

Η συγκέντρωση διαλυτών αλάτων στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους είναι φαινόμενο στενά συνδεδεμένο με την εξάτμιση και επομένως με την ξηρότητα των περιοχών. Η χρήση του νερού για άρδευση εάν περιέχει άλατα μπορεί να προκαλέσει εξαλατώσεις ή να χειροτερεύσει τυχόν ελαφρές παθογενείς καταστάσεις.

Συνεπώς η κακή ποιότητα του νερού ενδέχεται να συνιστά κίνδυνο:

- ❖ Εξαλάτωσης του εδάφους
- ❖ Αλκαλίωσης του εδάφους

Το πρόβλημα που μπορεί να προκύψει σε τελική ανάλυση δεν εξαρτάται μόνο από την ποιότητα του νερού. Τα είδη φυτών που καλλιεργούνται, σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες και εδαφικές συνθήκες που ευνοούν ή όχι τη συσσώρευση των αλάτων στα εδάφη της περιοχής, διαμορφώνουν το τελικό αποτέλεσμα μιας συγκεκριμένης διαχείρισης του αρδευτικού νερού (Πανώρας και συν., 1994).

Ανεξάρτητα από την πηγή προελεύσεως το νερό περιέχει υλικά σε μορφή διαλυμένων ή εν αιωρήσει στερεών. Η ποσότητα και η φύση αυτών των υλικών με δεδομένες περιβαλλοντικές, κλιματικές συνθήκες και καλλιέργειες καθορίζουν την χρησιμότητα και την ποιότητα του νερού. Καλοί δείκτες, που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό της ποιότητας νερού, είναι η αρχική περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα, το ποσό των αιωρούμενων στερεών και το ποσό των ρύπων από πηγές ανθρώπινης δραστηριότητας. Η αρχική περιεκτικότητα του νερού σε διαλυτά άλατα μπορεί βέβαια να μεταβληθεί κυρίως λόγω της περιεκτικότητας των εδαφών - πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το αρδευτικό νερό κατά την μεταφορά του στην αρδευόμενη έκταση.

Τα αιωρούμενα υλικά που βρίσκονται στο νερό προέρχονται από διάβρωση περιοχών και επομένως βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα των υλικών αυτών είναι η σύνθεση των υλικών (πετρωμάτων- εδάφους) και η αιτία της διαβρώσεως (π.χ. βροχή). Τέλος οι ρύποι που φθάνουν στο αρδευτικό νερό προέρχονται από υπολείμματα αγροχημικών ουσιών όπως τα ανόργανα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα.

Προφανώς η ποσότητα και η φύση των υλικών που μεταφέρονται με το αρδευτικό νερό δεν μπορούν από μόνα τους να καθορίσουν απόλυτα την ποιότητα και την καταλληλότητα του αρδευτικού νερού. Βασικοί συντελεστές για τέτοιους χαρακτηρισμούς είναι εκτός από τα παραπάνω και η αντοχή των φυτών, οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους, το βιολογικό ισοζύγιο στο έδαφος, η υπάρχουσα τεχνολογία των αρδεύσεων (μέθοδος εφαρμογής) και η δυνατότητα για στράγγιση. Για παράδειγμα τα διαλυτά άλατα μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών και συνεπώς να έχουν αρνητική επίπτωση στην παραγωγή, τα εν αιωρήσει υλικά μπορούν να έχουν αρνητική επίπτωση στην τεχνολογία της μεταφοράς νερού και των αρδεύσεων και τα αγροχημικά υπολείμματα μπορούν να καταστρέφουν τη βιολογική ισορροπία του εδάφους. Συνεπώς για την καταλληλότητα του νερού για άρδευση εκτός από τα χαρακτηριστικά του νερού θα πρέπει να εξετάζονται και όλοι οι παραπάνω παράγοντες. (Πανώρας και συν., 1994)

5.1.Μεταφερόμενα υλικά και συστατικά του αρδευτικού νερού

5.1.1. Μεταφερόμενα στερεά

Το νερό που χρησιμοποιείται, για άρδευση μεταφέρει υλικά εν αιωρήσει. Η αποδοτικότητα της αρδευόμενης γεωργίας εξαρτάται εκτός των άλλων και από τα μεταφερόμενα οργανικά και ανόργανα υλικά. Περιοχές όπως του Νείλου ή του Δούναβη θεωρούνται εύφορες λόγω των μεταφερόμενων από το νερό υλικών. Σε αντίθεση με την πιθανή θετική επίδραση των στερεών υλικών του νερού στις αρδευόμενες εκτάσεις τα μεταφερόμενα υλικά (αιωρούμενα ή φορτίο κοίτης) πρέπει να εξετάζονται σε σχέση με την υπάρχουσα τεχνολογία. Είναι χαρακτηριστικό ότι τόσο στα δίκτυα αρδεύσεως (π.χ. αρδευτικά δίκτυα με σταγόνες) όσο και στα δίκτυα

μεταφοράς (π.χ. διάβρωση και εναπόθεση) και αποθήκευσης (π.χ. μείωση του ωφέλιμου όγκου ταμιευτήρων) τα μεταφερόμενα υλικά έχουν αρνητικές συνέπειες.

5.1.2. Κύρια συστατικά

Η μελέτη των συστατικών του νερού για άρδευση πρέπει να γίνει σε σχέση με την πηγή νερού που χρησιμοποιείται. Για τα επιφανειακά ρέοντα νερά (π.χ. ποταμοί) τα πιο συνηθισμένα ανιόντα είναι τα Διπτανθρακικά (HCO^3) και τα θειικά (SO^4) και τα κύρια κατιόντα είναι το Ασβέστιο (Ca^{++}) και το Νάτριο (Na^+). Για τα στάσιμα επιφανειακά νερά (π.χ. λίμνες) η περιεκτικότητα σε άλατα μεταβάλλεται ανάλογα με το χρόνο (π.χ. περίοδος βροχοπτώσεων - μικρότερη αλατότητα). Έτσι σε μεγάλες περιόδους χωρίς βροχοπτώσεις και με μεγάλη εξάτμιση η περιεκτικότητα σε άλατα του νερού μιας λίμνης μπορεί να διπλασιασθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τα νερά όλων των τύπων το νερό της βροχής περιέχει τα λιγότερα άλατα. Το νερό της βροχής περιέχει διαλυμένα αέρια ($\text{N}^2, \text{O}^2, \text{CO}^2$) διαλυμένα άλατα που προέρχονται από τη γήινη επιφάνεια ή τη θάλασσα. Έχει αποδειχθεί ότι η περιεκτικότητα σε Cl και Na του νερού της βροχής ποικίλλει σε σχέση και με την απόσταση από τη θάλασσα. Γενικά η περιεκτικότητα του νερού της βροχής σε άλατα στις περιοχές ξηρού και ημίξηρου κλίματος επηρεάζει σημαντικά την περιεκτικότητα σε άλατα επιφανειακών και υπόγειων νερών.

5.1.3. Συγκέντρωση των κυριότερων κατιόντων στο νερό άρδευσης

Ασβέστιο (Ca)

Η παρουσία του στο νερό άρδευσης δεν δημιουργεί κανένα πρόβλημα στα φυτά. Όμως, κάτω από ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, καθώς και σε συνδυασμό με την παρουσία διπτανθρακικών, ανθρακικών και θειικών ιόντων, μπορεί να δημιουργήσει εσωτερική κρούστα στο δίκτυο άρδευσης (φράξιμο σωλήνων και μπεκ).

Η συγκέντρωση του νερού άρδευσης σε Ca κυμαίνεται από 15 – 600 ppm. Συνήθως όμως συναντώνται συγκεντρώσεις <200 ppm.

Μαγνήσιο (Mg)

Το Mg στο νερό άρδευσης συναντάται σε συγκεντρώσεις από 1- 200 ppm. Συνήθως όμως είναι κάτω από τα 50 ppm. Τιμές >50 ppm χαρακτηρίζουν το νερό ως μεταλλικό.

Τιμές >160 ppm στο νερό άρδευσης και σε συνδυασμό με τα άλλα κατιόντα, ανεβάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα σε σχετικά επικίνδυνα επίπεδα.

Νάτριο (Na)

Η παρουσία του σε υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό άρδευσης, μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στα φυτά.

Το Na στο νερό άρδευσης συναντάται σε συγκεντρώσεις <200 ppm.

Νερά όμως επηρεασμένα από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, εμφανίζουν συγκεντρώσεις έως και 1000 ppm.

Στο αρδευτικό νερό, η αξιολόγηση του νατρίου γίνεται με βάση το κριτήριο του SAR.

Κάλιο (K)

Το K στο νερό άρδευσης συναντάται σε συγκεντρώσεις <10 ppm.

Περίσσεια K στο νερό, προϋποθέτει ρύπανση από λιπάσματα, απόβλητα κλπ.

Αμμωνιακά (NH₄)

Βρίσκονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις με αποτέλεσμα να μη δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα.

Τα NH₄ στο νερό άρδευσης συναντώνται σε συγκεντρώσεις 0 – 0,5 ppm. (Κώτσιρας Α., 2009)

5.1.4. Συγκέντρωση των κυριότερων ανιόντων στο νερό άρδευσης

Χλώριο (Cl)

Η παρουσία του σε υψηλές συγκεντρώσεις δημιουργεί σοβαρά προβλήματα κυρίως σε ευαίσθητα φυτά όπως τα περισσότερα κηπευτικά. Τα συμπτώματα της τοξικότητας του χλωρίου εμφανίζονται στα ευαίσθητα φυτά όταν η συγκέντρωσή του στα φύλλα πλησιάζει το 0,5% (επί της ξηράς ουσίας).

Η συγκέντρωσή του στο αρδευτικό νερό έχει μεγάλο εύρος. Στις υγρές περιοχές είναι συνήθως <50 ppm ενώ στις ξηρές > 1000 ppm.

Οι ανεκτές τιμές στο νερό άρδευσης είναι από 30 - 100 ppm.

Διττανθρακικά (HCO_3)

Αποτελούν τα επικρατέστερα από τα ανιόντα του νερού. Η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 90 – 500 ppm περίπου. Οι υψηλές συγκεντρώσεις προκαλούν προβλήματα εμφράξεων στο δίκτυο άρδευσης (λευκός χρωματισμός).

Θειικά (SO_4)

Συνήθεις συγκεντρώσεις < 250 ppm.

Η παρουσία τους δεν δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα. Σε συνδυασμό με Ca και HCO_3 σχηματίζεται εσωτερική κρούστα στο δίκτυο άρδευσης. (Κώτσιρας Α., 2009)

5.1.5. Συγκέντρωση των κυριότερων ιχνοστοιχείων στο νερό άρδευσης

Σίδηρος (Fe)

Συνήθεις συγκεντρώσεις 0 – 0,2 mg/l.

Σε συγκεντρώσεις > 0,1 ppm και μετά από έκθεση στον αέρα, προκαλεί φράξιμο στους σωλήνες άρδευσης και στα μπεκ.

Υψηλές συγκεντρώσεις προκαλούν θολότητα αφήνοντας έγχρωμες κηλίδες.

Μαγγάνιο (Mn)

Συνήθεις συγκεντρώσεις 0 – 0,1 mg/l.

Σε συγκεντρώσεις > 0,2 ppm, καθιζάνει με τη βοήθεια του O_2 , ενώ σε συγκεντρώσεις >0,5 ppm, είναι τοξικό.

Βόριο (B)

Συνήθεις συγκεντρώσεις 0 – 0,5

Η συγκέντρωσή του θα πρέπει να προσδιορίζεται σε κάθε ανάλυση νερού που προορίζεται για χρήση καθώς αποτελεί ένα από τα πλέον κρίσιμα ιχνοστοιχεία λόγω του ότι η διαφορά μεταξύ τροφοπενίας και τοξικότητας είναι πολύ μικρή. (Κώτσιρας Α., 2009)

5.1.6. Άλλα συστατικά

Πολλές άλλες ουσίες μπορεί να βρεθούν σε νερό για άρδευση σε πολύ μικρές συχνά ποσότητες ώστε συνήθως να μην χρησιμοποιούνται ως δείκτες για την κατάταξη των νερών σε κατηγορίες, Στο νερό μπορούν να βρεθούν Φθόριο, Βρώμιο, Ιώδιο ως και Li, Rb, Cs, Be, Sr και άλλα, Ακόμα τα ιχνοστοιχεία As, Se, Sb, Bi και τα Cu, Co, Ni, Zn, Tl, κ.ά.

5.1.7. Ανθρωπογενείς ρύποι

Οι ανθρωπογενείς ρύποι που υπάρχουν στο αρδευτικό νερό προέρχονται κυρίως από αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα και εκπλύσεις γεωργικών εκτάσεων. Μεταξύ των ουσιών (που δεν διασπώνται σε ιόντα) αναφέρονται: λιπαρές ουσίες, Φαινόλες, σύνθετα απορρυπαντικά, διαλυμένα αέρια, εντομοκτόνα και ζιζανιοκτόνα. Συστατικά με μορφή ιόντων είναι τα νιτρικά και ο διαλυτός φωσφόρος. Γενικά οι ανθρωπογενείς ρύποι βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες όταν για άρδευση χρησιμοποιείται νερό με οικιακά ή άλλα λύματα. Σ' αυτή την περίπτωση χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου περί καλλιεργειών που τα προϊόντα τους τρώγονται ωμά. (διαδίκτυο 4)

5.2. Κριτήρια ποιότητας αρδευτικού νερού

Μεταξύ των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται ως κριτήρια για τη καταλληλότητα του νερού για αρδεύσεις είναι

- η αλατότητα
- η περιεκτικότητα σε νάτριο
- η περιεκτικότητα σε ανθρακικά ανιόντα, και σε στοιχεία όπως Χλώριο και Βόριο
- η περιεκτικότητα σε αιωρούμενα υλικά και
- η περιεκτικότητα σε βιοκτόνα

Προφανώς όλες οι παραπάνω ποσότητες δεν χρησιμοποιούνται μαζί για την ταξινόμηση του αρδευτικού νερού σε κατηγορίες ούτε υπάρχει ένα κοινά παραδεκτό

σύστημα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού. Τα βασικά κριτήρια ποιότητας του αρδευτικού νερού παρουσιάζονται πιο κάτω:

5.2.1. Αλατότητα

Η αλατότητα, μετρούμενη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση. Συνδέεται άμεσα με τη συνολική συγκέντρωση των αλάτων στο νερό και με τα πιθανά προβλήματα που προκαλούν τα άλατα του νερού άρδευσης στα εδάφη και τα φυτά. Οι ζημιές που προκαλούνται στα φυτά, τόσο από το συνολικό ποσό των διαλυμένων αλάτων στο νερό όσο και από συγκεκριμένα ιόντα, συνδέονται στενά με την αυξημένη αλατότητα.

Τα άλατα συσσωρεύονται στο έδαφος με την εφαρμογή του αρδευτικού νερού και τα προβλήματα παρουσιάζονται όταν οι συγκεντρώσεις των αλάτων φτάσουν σε επίπεδα που είναι βλαπτικά για το έδαφος ή/και για τα φυτά. Ο ρυθμός συσσώρευσης των αλάτων εξαρτάται από το ρυθμό απόθεσής τους στο έδαφος με το αρδευτικό νερό και από το ρυθμό απομάκρυνσής τους με έκπλυση. Για μακρές χρονικές περιόδους, η ποσότητα των αλάτων που εισέρχεται στο έδαφος πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα που απομακρύνεται. Τα περισσότερα άλατα είναι διαλυτά και μετακινούνται εύκολα με το εφαρμοζόμενο νερό. Η μόνη διαδικασία που μπορεί να διατηρήσει την αλατότητα του εδάφους στα επιθυμητά επίπεδα είναι η έκπλυση που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή περισσότερου νερού από αυτό που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και να καταναλώσουν τα φυτά. Για την εφαρμογή της έκπλυσης είναι απαραίτητη η καλή έως άριστη στράγγιση του εδάφους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνεχής ροή του νερού από τη ζώνη του ριζοστρώματος προς τα κάτω. (Πανώρας Α. και συν., 1999)

Η ολική συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων που παρέχει ενδείξεις για τον κίνδυνο αλατώσεως του εδάφους μετράται με την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα που εκφράζεται σε hmho/cm στους 25°C . Το αρδευτικό νερό με βάση την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) κατατάσσεται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες ποιότητας (US Salini Laboratory, 1954):

Κατηγορία C1. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μικρότερη των $250 \text{ } \mu\text{hmho/cm}$ στους 25°C , περιεκτικότητα σε άλατα μικρότερη των 160 ppm , κίνδυνος αλατώσεως μικρός

Κατηγορία C2. EC μεταξύ 250-750 $\mu\text{mho/cm}$ στους 25°C , περιεκτικότητα σε άλατα μεταξύ 160 έως 480 ppm, κίνδυνος αλατώσεως μέσος

Κατηγορία C3. EC μεταξύ 750-2250 $\mu\text{mho/cm}$ στους 25°C , περιεκτικότητα σε άλατα 480 έως 1470 ppm, κίνδυνος αλατώσεως μεγάλος

Κατηγορία C4. $\text{EC} > 2250$ $\mu\text{mho/cm}$ στους 25°C , περιεκτικότητα σε άλατα > 1470 ppm, κίνδυνος αλατώσεως πολύ μεγάλος.

Η ίδια ταξινόμηση έγινε επίσης από τον Wilcox (1948). Άλλοι ερευνητές για τον προσδιορισμό της αλατότητας χρησιμοποίησαν άλλους δείκτες όπως:

- το σύνολο των διαλυμένων στερεών (Total dissolved solids, TDS) που εκφράζεται σε mg/l ή ppm.

- η ενεργός αλατότητα (effective salinity, ES) που εκφράζεται σε meq/l ή ppm. Το σύνολο των διαλυμένων στερεών TDS που μπορεί να προσδιορισθεί με την εξάτμιση ορισμένου όγκου νερού συσχετίζεται με την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα με την ακόλουθη εξίσωση:

$\text{TDS (ppm)} = 640 \cdot \text{EC}(\mu\text{mho/cm})$ για τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας μέχρι 10 $\mu\text{mho/cm}$ (Shainberg και Oster, 1978). Όπως απέδειξε η έρευνα η αλατότητα του εδαφικού διαλύματος (πολύ περισσότερο από την αλατότητα του νερού που χρησιμοποιείται) επηρεάζει δυσμενώς την παραγωγή. Είναι γεγονός ότι με την εξατμισοδιαπνοή η αλατότητα του εδαφικού διαλύματος μεγαλώνει.

5.2.2. Περιεκτικότητα σε Νάτριο

Η περιεκτικότητα σε Νάτριο χρησιμοποιείται ως δείκτης της ποιότητας του αρδευτικού νερού κυρίως λόγω της επίδρασης του Νατρίου στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως η διαπερατότητα, η διηθητικότητα και η καταλληλότητα για γεωργική χρήση. Επειδή η επίδραση του νατρίου τόσο στο έδαφος όσο και στις καλλιέργειες είναι σημαντική, διάφορες ποσότητες έχουν προταθεί ως βάσεις για την ταξινόμηση του νερού ως προς τον κίνδυνο που προέρχεται από τη συγκέντρωση διαλυτού νατρίου.

Η σχέση μεταξύ διαλυτού Νατρίου (Na^+) και των άλλων διαλυτών επίσης κατιόντων Ασβεστίου και Μαγνησίου (Ca^{++} και Mg^{++}) δίνεται από το "Λόγο Προσροφήσεως Νατρίου" (Sodium Absorption Ratio) γνωστό ως S.A.R που

προτάθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας των Η. Π. Α. (U.S Salinity Laboratory - 1954):

$$S.A.R. = \frac{Na}{\sqrt{Ca + Mg}}$$

όπου οι συγκεντρώσεις Na, Ca και Mg αναφέρονται σε meq/lt. Ο προσδιορισμός του S.A.R.

γίνεται γραφικά με το νομογράφημα του σχήματος 1.

Η τιμή του S.A.R. εκφράζει την ενεργητικότητα των ιόντων νατρίου και καθορίζει την ικανότητα εναλλαγής τους με κατιόντα όπως Ca και Mg που έχουν προσροφηθεί από τα

κολλοειδή του εδάφους. Με βάση την τιμή του S.A.R. διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες

σύμφωνα με την ταξινόμηση του Υπουργείου Γεωργίας των Η. Π. Α. Οι κατηγορίες αυτές

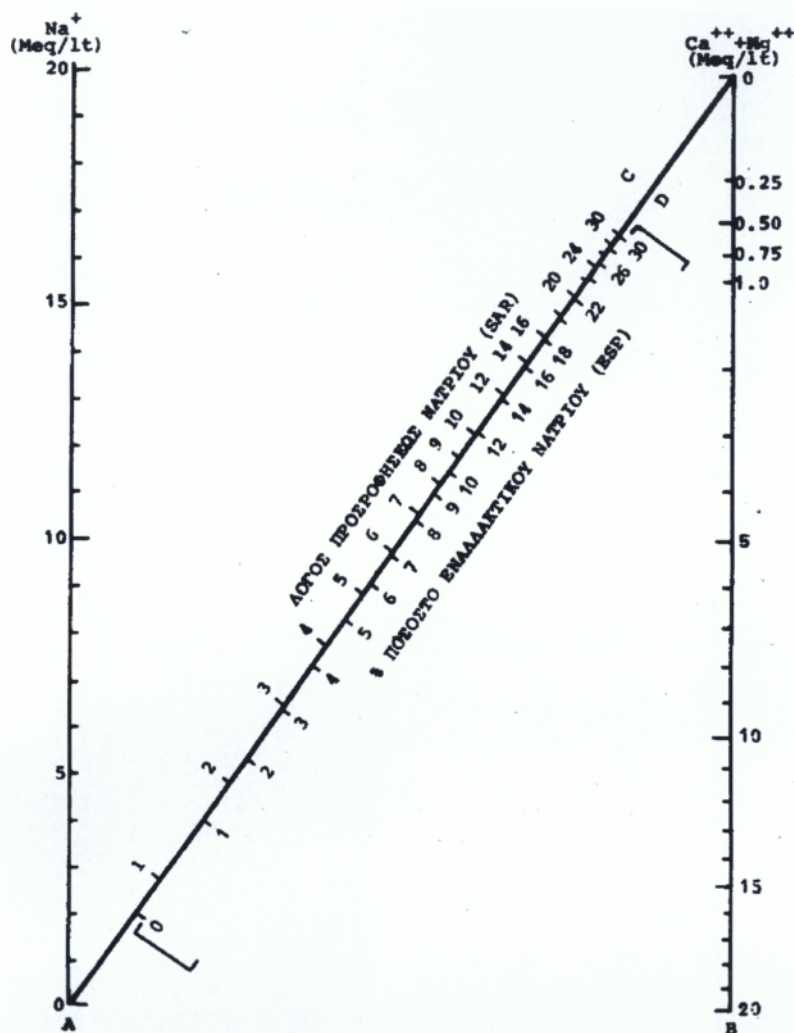
για ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα 100μmho/cm είναι οι ακόλουθες:

Κατηγορία 1: S.A.R <10, κίνδυνος νατρίου μικρός

Κατηγορία 2: S.A.R από 10 έως 18, κίνδυνος νατρίου μέσος

Κατηγορία 3: S.A.R από 18 έως 26, κίνδυνος νατρίου μεγάλος

Κατηγορία 4: S.A.R >26, κίνδυνος νατρίου πολύ μεγάλος



Σχήμα 1. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό της, τιμής S.A.R. νερού αρδεύσεως καθώς και για τον προσδιορισμό της τιμής του E.S.P. ενός εδάφους που βρίσκεται σε ισορροπία με το νερό αρδεύσεως (U.S. Salinity Lab., 1954)

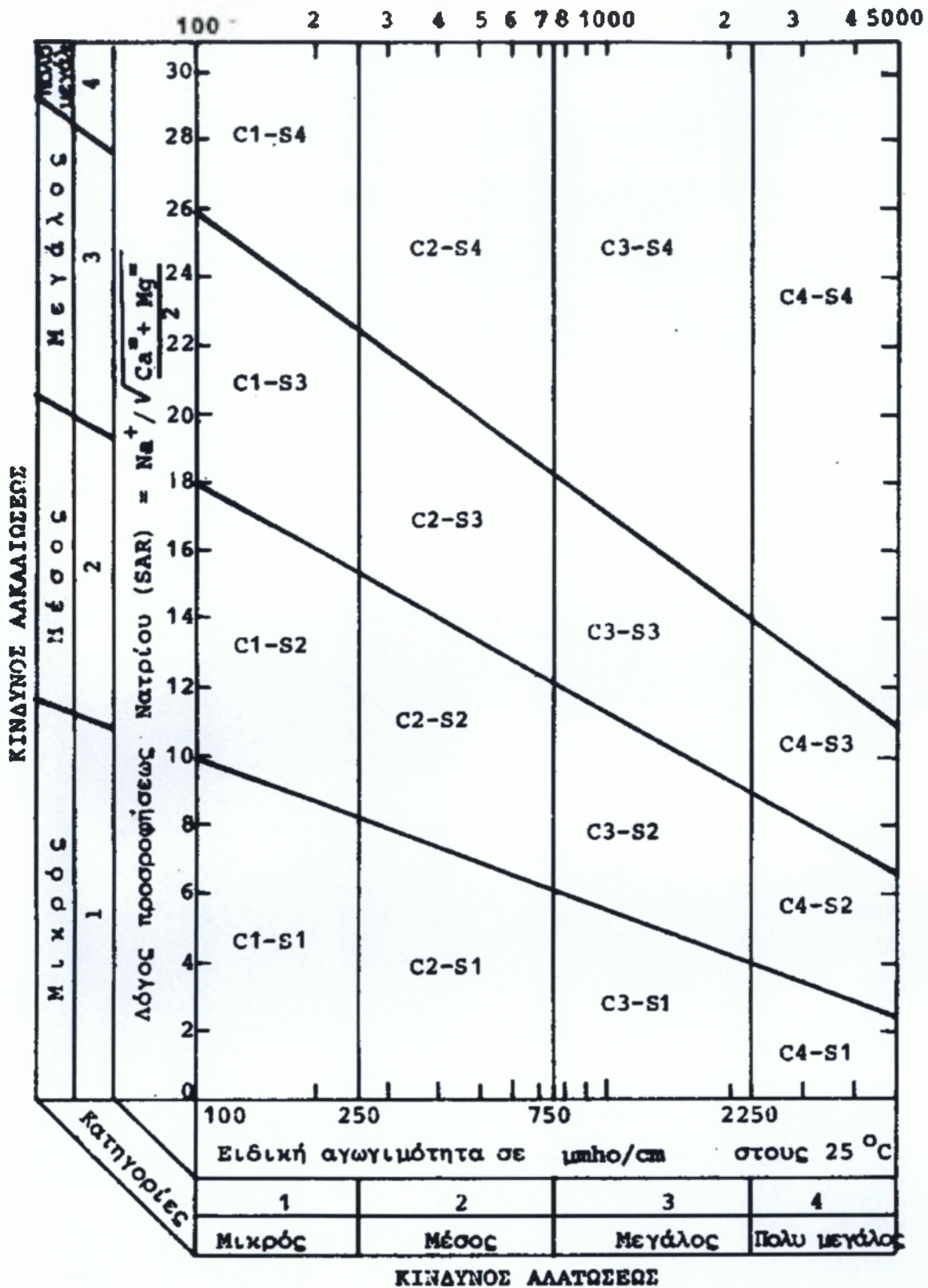
Οι παραπάνω τέσσερις κατηγορίες μεταβάλλονται ως συνάρτηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού. Έτσι για ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα $E = 2250$ μμho/cm οι παραπάνω τέσσερις κατηγορίες γίνονται S.A.R. < 4, 4, από 4.4 έως 9, από 9 έως 14 και >14 αντίστοιχα (Σχέδιο 2.) .

Όπως έχει αποδειχθεί υπάρχει μια ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των τιμών S.A.R και του βαθμού αλκαλιώσεως του εδάφους (ή εναλλακτικού Na ή ποσοστού εναλλακτικού Νατρίου-Exchangeable Sodium Percentage-E.S.P. Τα ορυκτά της αργίλου και η οργανική ουσία, δηλαδή τα ανόργανα και οργανικά κολλοειδή προσροφούν ανιόντα και κατιόντα και τα συγκρατούν με μορφή εναλλακτικών. Το

ποσοστό εναλλακτικού Νατρίου-E.S.P ορίζεται ως το ποσοστό (%) του προσροφημένου Na από τα κολλοειδή του εδάφους, προς την ολική σε κατίοντα εναλλακτική ικανότητα σε meq/100gr εδάφους:

$$E.S.P. = \frac{Na}{Na + K + Ca + Mg}$$

Στο νομογράφημα του σχήματος 1 φαίνεται ο γραφικός προσδιορισμός της τιμής E.S.P. από την τιμή του λόγου προσροφήσεως νατρίου S.A.R ενός εδάφους σε ισορροπία με το νερό αρδεύσεως.



Σχήμα 2. Διάγραμμα για την ταξινόμηση του νερού αρδεύσεως σε κατηγορίες κατά το U.S Salinity Laboratory (1954)

5.2.3. Περιεκτικότητα, σε Ανθρακικά Ανιόντα, Χλώριο και Βάριο

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-) έχουν την τάση να σχηματίζουν δυσδιάλυτες ενώσεις με ιόντα Ca^{++} και Mg^{++} με αποτέλεσμα την σχετική αύξηση της συγκεντρώσεως του Na^+ . Εκτός των όξινων ανθρακικών στο νερό υπάρχουν και ουδέτερα ανθρακικά (H_2CO_3) σε αμελητέες όμως συγκεντρώσεις. Η επίδραση, των ανθρακικών ιόντων (όξινων και ουδέτερων) στην ποιότητα του αρδευτικού νερού εκφράζεται ως Υπολειμματικό Ανθρακικό Νάτριο (Residual Sodium Carbonate, RSC) που υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$RSC = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

όπου όλες οι ποσότητες αναφέρονται σε συγκεντρώσεις Meq/lit.

Στον πίνακα 4. δίνεται η ταξινόμηση του αρδευτικού νερού συναρτήσει της τιμής του Υπολειμματικού Νατρίου (R.S.C. Στην περίπτωση χρήσης νερού της δεύτερης κατηγορίας με R.S.C μεταξύ 1.25 και 2.50 πρέπει να γίνεται σημαντική έκπλυση ώστε η συγκέντρωση των ανθρακικών να συγκρατείται σε χαμηλά επίπεδα και να προστίθενται ποσότητες γύψου ή άλλου διαλυτού άλατος του ασβεστίου ώστε ο λόγος ασβεστίου / νατρίου να παραμένει ευνοϊκός. Στην περίπτωση που το R.S.C. υπερβαίνει τα 2.50 meq/lit το νερό είναι ακατάλληλο για αρδευτική.

Ποιότητα Νερού	Υπολειμματικό Na_2CO_3 meq/lit
Άριστη - Καλή	< 1,25
Μέτρια	1,25 - 2,50
Κακή	> 2,50

Πίνακας 4.: Ταξινόμηση του αρδευτικού νερού ως προς το Ανθρακικό Νάτριο (Wilcox, 1958)

Κατά άλλους ερευνητές για την εκτίμηση της επίδρασης του R.S.C. πρέπει να εξετάζεται, ο τύπος του εδάφους. Νερό με δεδομένο R.S.C. μπορεί να είναι επικίνδυνο για το έδαφος με αλκαλικό pH αλλά μπορεί να έχει βελτιωτική επίδραση σε εδάφη με όξινο pH.

Τα ιόντα Χλωρίου δεν έχουν σημαντική, επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και δεν απορροφούνται από το έδαφος. Αυτός είναι ο λόγος που τα ιόντα

Χλωρίου δεν χρησιμοποιήθηκαν αρκετά για την ταξινόμηση του αρδευτικού νερού σε κατηγορίες.

Ο Scofield (1935) χρησιμοποίησε πέντε κατηγορίες (ποιότητες) νερού, από άριστη μέχρι κατάλληλη με όρια στα 4,7,12 και 20 meq/lit Αργότερα επικράτησε η άποψη ότι η επίδραση του Χλωρίου μπορεί να αντιμετωπίζεται για ειδικό έδαφος και καλλιέργειες. Μια τέτοια ταξινόμηση προτάθηκε από τον Kovda et al (1967) και παρουσιάζεται στον πίνακα 5.

Το βόριο ακόμα και σε μικρή συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα είναι τοξικό για τα φυτά και επιδρά αρνητικά στην παραγωγή. Το βόριο του εδαφικού διαλύματος προέρχεται κατά κύριο λόγο από το νερό αρδύσεως και συνεπώς απαιτείται η γνώση της περιεκτικότητας σε βόριο του αρδευτικού νερού. Στον πίνακα 6. φαίνεται η ταξινόμηση του νερού ως συνάρτηση της περιεκτικότητας σε βόριο και σε σχέση με την αντοχή της αρδευόμενης καλλιέργειας (Scofield,1935), Τέλος τα όρια αντοχής των διαφόρων καλλιεργειών στις συγκεντρώσεις του βορίου παρουσιάζονται στον πίνακα 7.

EC (μmho/cm)	Cl (meq/lit)	Τύπος Εδάφους		
		Αμμώδες	Πηλώδες	Αργιλώδες
<1200	6	A	A	A
1200-1500	6-7,5	A	A	B
1500-1750	7,5-9	A	A	C
1750-2250	<15	A	B	D

Πίνακας 5.: Η ταξινόμηση του αρδευτικού νερού σε σχέση με την συγκέντρωση Χλωρίου για συγκεκριμένη καλλιέργεια (citrus) και περιοχή (παραθαλάσσια πεδιάδα του Ισραήλ)

Όπου A= ακίνδυνο, B= με μικρή επικινδυνότητα, C= με μέτρια επικινδυνότητα και D= επικίνδυνο

Ποιότητα Νερού	Ομάδες Φυτών		
	Ευπαθή (ppm)	Μετρίως Ανθεκτικά (ppm)	Ανθεκτικά (ppm)
Άριστη	<0,33	<0,67	<1,00
Πολύ Καλή	0,33-0,67	0,67-1,33	1,00-2,00
Καλή	0,67-1,00	1,33-2,00	2,00-3,00
Κακή	1,00-1,25	2,00-2,50	3,00-3,75
Χείριστη	>1,25	>2,50	>3,75

Πίνακας 6.: Κατηγορίες αρδευτικού νερού σε σχέση με την περιεκτικότητα σε Βόριο και την αντοχή των καλλιεργειών σ' αυτό.

Ευπαθή Φυτά	Μετρίως Ανθεκτικά Φυτά	Ανθεκτικά Φυτά
Αχλαδιά	Ηλίανθος	Αρμυρίκι
Μηλιά	Πατάτα	Σπαράγγι
Αμπέλι	Βαμβάκι	Τεύτλα
Κερασιά	Ντομάτα	Μηδική
Ροδακινιά	Ελιά	Κρεμμύδι
Βερικοκιά	Κριθάρι	Λάχανο
Πορτοκαλιά	Καλαμπόκι	Μαρούλι
Λεμονιά	Βρώμη	Καρότο

Πίνακας 7.: Ταξινόμηση των καλλιεργειών από πλευράς αντοχής στη συγκέντρωση Βορίου

5.2.4. Η περιεκτικότητα σε αιωρούμενα

Όπως αναφέρθηκε ήδη σημαντικές ποσότητες αιωρούμενων υλικών στο αρδευτικό νερό έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην τεχνολογία των αρδεύσεων και στην διαπερατότητα του εδάφους. Στα αρδευτικά δίκτυα καταιονισμού τα μεταφερόμενα υλικά μπορούν να προξενήσουν βιολογική διαταραχή με την συγκέντρωσή τους στα φύλλα των καλλιεργειών ενώ στα συστήματα αρδεύσεως με σταγόνες υπάρχει κίνδυνος εμφράξεως των σταλλακτηρών με αποτέλεσμα την κακή λειτουργία του συστήματος και την ανομοιομορφία της κατανομής του αρδευτικού νερού.

Επίσης στις μεθόδους επιφανειακής αρδεύσεως, νερό με σημαντική περιεκτικότητα σε στερεά έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της διαπερατότητας των εδαφών. Το πρόβλημα της διαπερατότητας γίνεται εντονότερο όταν τα αρδευόμενα εδάφη είναι λεπτόκοκκα.

Σαν αποτέλεσμα δημιουργείται κρούστα στην επιφάνεια του εδάφους με σταδιακή έμφραξη των πόρων του εδάφους που εκτός της μείωσης της διηθητικότητας δημιουργεί προβλήματα στο φύτρωμα των σπόρων.

5.2.5. Η περιεκτικότητα σε βιοκτόνα

Τα βιοκτόνα είναι ισχυρά δηλητήρια που χρησιμοποιούνται στη γεωργία για την προστασία της παραγωγής από ανεπιθύμητα φυτά (ζιζάνια), διάφορους μικροοργανισμούς και ασθένειες.

Η χρησιμοποίηση βιοκτόνων στη γεωργία τα τελευταία 30 χρόνια αποτελεί, ως γνωστό, μια δυσάρεστη εξέλιξη για την ποιότητα των επιφανειακών αλλά και των υπόγειων νερών.

Τα βιοκτόνα είναι επικίνδυνα κυρίως για τον μεγάλο χρόνο βιοαποδομήσεως τους με αποτέλεσμα την βιολογική μεγέθυνση στους διάφορους οργανισμούς και τελικά στον άνθρωπο. Τα κυριότερα βιοκτόνα είναι τα: Aldrin, Captan, DDT, Dieldrin, Endosulfan, Endrin, Lindan, Marathion, MCPA, Parathion.

Επιτρεπόμενα όρια αυτών των ουσιών καθορίστηκαν από την Διοίκηση για την Μόλυνση των Νερών του Υπουργείου Γεωργίας των Η. Π. Α. μαζί με πληροφορίες για τη διαχείριση του νερού, την ένταση εφαρμογής σε σχέση με τον αγρό και την καλλιέργεια και περιλαμβάνονται στα κυριότερα συγγράμματα που είναι σχετικά με τη μόλυνση του νερού.

5.3. Συστήματα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού

Πολλά συστήματα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού έχουν προταθεί από ερευνητές και οργανισμούς χωρίς κανένα να θεωρείται γενικά αποδεκτό. Εντούτοις το σύστημα ταξινόμησης του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα πλησιάζοντας την γενική αναγνώριση. Τα κυριότερα συστήματα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού είναι:

1. Ο Scofield (1936) πρότεινε το ακόλουθο σύστημα (πίνακας 8.) που περιλαμβάνει τους

δείκτες: αλατότητα, Νάτριο, Χλώριο, και Θειικά.

2. Σύστημα των Wilcox και Magistad (1943)

Οι Wilcox και Magistad πρότειναν την ταξινόμηση που φαίνεται στον πίνακα 9. χρησιμοποιώντας ως δείκτες την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, το περιεχόμενο Νάτριο (%), και τη συγκέντρωση του Χλωρίου και του Βορίου.

Κατηγορία	Ομάδες Φυτών		Συγκέντρωση		
	EC (μmho/cm)	Κατά Βάρος (ppm)	Na (%)	Cl(meq/lt)	SO4 (meq/lt)
Άριστη	250	175	20	4	4
Καλή	250-750	175-525	20-40	4,0-7,0	4,0-7,0
Επιτρεπόμενη	750-2000	525-1400	40-60	7,0-12,0	7,0-12,0
Αμφίβολη	2000-3000	1400-2100	60-80	12,0-20,0	12,0-20,0
Ακατάλληλη	3000	2100	80	20	20

Πίνακας 8.: Σύστημα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού κατά Scofield (1936)

Μια παραλλαγή του συστήματος προτάθηκε από τον Wilcox (1948) που χρησιμοποίησε ως δείκτες την αλατότητα και το Νάτριο ως εκατοστιαίο ποσοστό των καπόντων. Τέλος μια περισσότερο βελτιωμένη πρόταση για την ταξινόμηση των νερών για άρδευση έγινε από τον Wilcox (1958).

3. Σύστημα ταξινόμησης του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ (1954) Το σύστημα αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Σύμφωνα με το Σχήμα 2 διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες: C1, C2, C3, και C4 για την ολική συγκέντρωση αλάτων και S1, S2, S3, S4, για τις αντίστοιχες τιμές του S.A.R.

Κατηγορία	I	II	III
Δείκτες	Άριστη μέχρι Καλή	Καλή μέχρι Επιζήμια	Επιζήμια μέχρι Ακατάλληλη
Ειδική Ηλεκτρική Αγωγιμότητα, EC, στους 25°C (μmho/cm)	<1000	1000-3000	>3000
Νάτριο (%)	<60	60-70	>75
Χλώριο (meq/lit)	<5	5-10	>10
Βόριο (ppm)	<0,5	0,5-2	>2

Πίνακας 9.: Σύστημα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού κατά Wilcox και Magistad

4. Σύστημα Doneen

Κατά το σύστημα Doneen (1958) ο κίνδυνος αλατώσεως εκτιμάται όχι με την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα αλλά με μια ποσότητα που ονομάζεται "ενεργός αλατότητα" (effective salinity, ES) και εκφράζεται συνήθως σε meq/lit.. Κατά την θεωρία της "ενεργού αλατότητας" το ανθρακικό ασβέστιο, το ανθρακικό μαγνήσιο και το θειικό ασβέστιο δεν πρέπει να περιλαμβάνονται στον προσδιορισμό της ολικής αλατότητας λόγω της μικρής των διαλυτότητας. Συνεπώς αυτά αφαιρούνται από το σύνολο των αλάτων με αποτέλεσμα να προσδιορίζεται η ενεργός αλατότητα.

Σύμφωνα με το σύστημα Doneen οι δείκτες για την κατάταξη του αρδευτικού νερού είναι η ενεργός αλατότητα και οι συνθήκες στράγγισης του εδάφους Η προτεινόμενη κατάταξη φαίνεται στον πίνακα 10 όπου δίνονται τρεις εκφράσεις της ενεργού αλατότητας.

5.3.1.Νεώτερες Απόψεις

Παρά τη χρησιμότητα της ταξινόμησης του αρδευτικού νερού χρησιμοποιώντας 1,2 ή περισσότερα κριτήρια εντούτοις δεν είναι εύκολο πάντα να αποφανθεί κανείς για την καταλληλότητα του αρδευτικού νερού χωρίς να λάβει υπόψη του τις καλλιέργειες, το κλίμα, το έδαφος, τις συνθήκες στραγγίσεως, την διαχείριση του αρδευτικού νερού την υπάρχουσα τεχνολογία μεταφοράς νερού και αρδεύσεων ως και τους σχετικούς οικονομικούς παράγοντες. Γενικά η καταλληλότητα του νερού για άρδευση είναι ένα σύνθετο πρόβλημα που δεν μπορεί πάντα να λύνεται απ' ευθείας και μονοσήμαντα. Αν για παράδειγμα οι ανάγκες αρδεύσεως είναι μεγάλες και το διαθέσιμο νερό κρίνεται ακατάλληλο για ένα υπό μελέτη έργο σύμφωνα με τα κριτήρια ενός συστήματος ταξινομήσεως, δεν σημαίνει ότι γι' αυτό τον λόγο η αγροτική ανάπτυξη της περιοχής θα διακοπεί.

Συνθήκες Στραγγίσεως Εδάφους	Ενεργός Αλατότητα	Κατηγορίες		
		I	II	III
Ελάχιστη Απόπλυση Εδάφους	meq/lt	<3	3-5	>5
	ppm	165	165-275	275
	kg/m ³ νερού	0,165	0,165-0,275	0,275
Μικρή έως Περιορισμένη Απόπλυση	meq/lt	<5	5-10	>10
	ppm	275	275-550	550
Στράγγιση Βραδεία	kg/m ³ νερού	0,275	0,275-0,550	0,55
Εδάφη Διαπερατά	meq/lt	<7	7-15	>15
Στράγγιση Καλή	ppm	385	385-825	815
	kg/m ³ νερού	0,385	0,385-0,825	0,815

Πίνακας 10.: Σύστημα ταξινομήσεως κατά Doneen

Σ' αυτήν την περίπτωση εξετάζονται άλλες εναλλακτικές λύσεις όπως π.χ. η υιοθέτηση διαφορετικής διαχείρισης του νερού ή ακόμα και η αλλαγή των καλλιεργειών και η υιοθέτηση άλλων ανθεκτικότερων στη παρουσία του συστατικού που δημιουργεί το πρόβλημα. Αν προς την κατεύθυνση αυτή δεν υπάρχει πρόσφορη λύση μπορεί να μελετηθεί και η βελτίωση του νερού με διάφορες μεθόδους εφόσον κρίνεται οικονομικά εφικτό. Σχετικά με την χημική ανάλυση που εξακολουθεί κατά κύριο λόγο να χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας του αρδευτικού νερού έχει επικρατήσει η άποψη να υπολογίζονται οι ακόλουθες επτά ποσότητες (Christiansen et al, 1977):

- Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, EC
- Εκατοστιαίο ποσοστό Νατρίου, Na(%)
- Λόγος προσροφήσεως Νατρίου, SAR
- Na_2CO_3
- Χλώριο, Cl^-
- Ενεργός αλατότητα, ES
- Βόριο

Έξι κατηγορίες αρδευτικού νερού προτείνονται σε σχέση με τους παραπάνω δείκτες που εφαρμόζονται χωριστά. Τα άνω όρια κάθε κατηγορίας που προέρχονται από πολλές βιβλιογραφικές πηγές παρουσιάζονται στον πίνακα 11.

Κατηγορία	EC (mmho/cm)	Na ⁺ (%)	SAR	NaCO ₃ (meq/lit)	Cl ⁻ (meq/lit)	ES (meq/lit)	B (ppm)
1	0,5	40	3	0,5	3	4	0,5
2	1	60	6	1	6	8	1
3	2	70	9	2	10	16	2
4	3	80	12	3	15	24	3
5	4	90	15	4	20	32	4
6	>4	>90	>15	>4	>20	>32	>4

Πίνακας 11.: Κατηγορίες ποιότητας νερού (Christiansen et al, 1977)

Τέλος κατά τον χαρακτηρισμό της ποσότητας του νερού δεν πρέπει να παραβλέπονται και άλλα κριτήρια όπως η περιεκτικότητα σε αιωρούμενα υλικά καθώς και η επίδραση των βιοκτόνων.

Παράδειγμα

Στον πίνακα 12 φαίνεται, η ανάλυση νερού για άρδευση που χρησιμοποιήθηκε για πειραματικούς σκοπούς στο Εργαστήριο Υδραυλικής του Δ.Π.Θ. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και την ταξινόμηση του Υπουργείου Γεωργίας των Η.Π.Α. το νερό χαρακτηρίστηκε μέσης αλατότητας (C2) και μικρής αλκαλικότητας (S1) και επομένως κατάλληλο για αρδευτική χρήση χωρίς δυσμενείς συνέπειες στο έδαφος ή τις αρδευόμενες καλλιέργειες.

Παράμετρος	Μέγεθος	Μονάδα
EC	581	μmho/cm
Ca + Mg	4.34	meq/l
Na	1.06	meq/l
K	0.05	meq/l
Σύνολο κατιόντων	5.45	meq/l
CO ₃	3.50	meq/l
Cl	1.15	meq/l
SO ₄	1.50	meq/l
NO ₃	0	meq/l
B	0	ppm
pH	7.7	%
Na	19.4	
SAR	0.72	
ES	1.11	meq/l

Πίνακας 12.: Παράδειγμα αναλύσεως νερού άρδευσεως

Σύμφωνα με τα άλλα συστήματα ταξινόμησης το χρησιμοποιηθέν δείγμα κατατάσσεται.

- Κατά Scofield: EC : 2 (Καλή)
Na%: 1 (Άριστη)
Cl : 1 (Άριστη)
SAR: 1 (Άριστη)

- Κατά Wilcox και Magistad (1943):

EC : 1
Na : 1
Cl : 1
B : 1

} (Άριστη μέχρι καλή)

3. Κατά Doney: Κατηγορία I για όλες τις συνθήκες στραγγίσεως του εδάφους.

6. Η κατάσταση στην Ελλάδα – Μονάδες αφαλάτωσης

Περίπου 12 εκατομμύρια ευρώ κάθε χρόνο κοστίζει στο Ελληνικό Δημόσιο η μεταφορά νερού στα νησιά της Ελλάδας καθώς το νερό μεταφέρεται όλα αυτά τα χρόνια με «νερουλάδες» και υδροφόρες σε Μήλο, Σύμη, Παξούς, Πάτμο και σε δεκάδες άλλα μικρά και μεγάλα νησιά.

Η οικονομικά ιδανικότερη λύση στο πρόβλημα είναι φυσικά η αφαλάτωση, αλλά προς το παρόν λίγα νησιά την έχουν υιοθετήσει, αφού τα έξοδα μεταφοράς του νερού δεν επιβαρύνουν τον κάθε δήμο ή κοινότητα, αλλά καλύπτονται από τον κρατικό προϋπολογισμό. Είναι πολύ σημαντικό να πούμε πως κάθε δήμος θα πρέπει να επιχειρήσει μία τέτοια κίνηση (αφαλάτωση) έστω και με δανεισμό αφού η απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου γίνεται πολύ γρήγορα (βλέπε πίνακα 15, κεφ.7) όπως έγινε και στην περίπτωση των Παξών.

Το νερό που φτάνει στα νησιά κοστίζει από 8 έως 12 €/m³, ανάλογα με το σημείο στο οποίο πρέπει να μεταφερθεί. Για παράδειγμα, το νερό στις παραλιακές περιοχές ενός νησιού κοστίζει λιγότερο απ' ότι αν πρέπει να μεταφερθεί σε ορεινές περιοχές.

Την τελευταία επταετία οι υδρευτικές ανάγκες των νησιών έχουν αυξηθεί κατακόρυφα όχι μόνο από την αύξηση του τουρισμού αλλά και από την αύξηση των καλλιεργειών σε αυτά. Παρά τη συνεχή δημιουργία νέων έργων υδροληψίας (γεωτρήσεις, ταμιευτήρες, αφαλατώσεις, μεταφερόμενες ποσότητες), δεν υπάρχει διαχειριστική πολιτική μείωσης της κατανάλωσης, όπως ο περιορισμός των απωλειών, η ευαισθητοποίηση των πολιτών, η τιμολογιακή πολιτική, ο σχεδιασμός έργων κ.α.. Μεγάλη είναι και η ζήτηση για άρδευση, η οποία υπολογίζεται σε περισσότερο από το 50% των σημερινών αναγκών στα νησιά. Ακόμα, το πρόβλημα εντείνουν οι συνήθως περιορισμένες βροχοπτώσεις στις περιοχές αυτές και ο μεγάλος όγκος τουριστών τους καλοκαιρινούς μήνες.

Στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή υπάρχουν περίπου 20 μονάδες αφαλάτωσης, κυρίως σε νησιά. Τέτοιες εγκαταστάσεις υπάρχουν στη Σύρο, τη Μύκονο, στην Κέρκυρα, στους Παξούς, στη Χάλκη, στην Ηρακλεία, στην Ίο κ.α.. Το νερό που παράγεται κοστίζει από 0,50 έως 1,80 €/m³. (Realnews, 2009)

Η αφαλάτωση στην Ελλάδα, αν και θα μπορούσε να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση για το πρόβλημα της λειψυδρίας στα νησιά, όπου το κόστος του μεταφερόμενου νερού είναι πολύ υψηλό, δεν χρησιμοποιείται ευρέως.

Τα δεδομένα όμως χρόνο με το χρόνο γίνονται όλο και πιο αισιόδοξα. Η τεχνολογία συναντά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και νέα δεδομένα επικρατούν.

Με δεδομένη την σημαντική ηλιοφάνεια και την έντονη παρουσία των ανέμων στα ελληνικά νησιά, Έλληνες και ξένοι επιστήμονες οδηγήθηκαν στη σχεδίαση και την δημιουργία της πρώτης στον κόσμο πλωτής μονάδας αφαλάτωσης, η οποία χρησιμοποιεί για τη λειτουργία της μονάχα ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: τον άνεμο για την κυρίως λειτουργία του «πλωτού εργοστασίου» και επικουρικά τον ήλιο για την ηλεκτροδότηση των συστημάτων ελέγχου και τηλεχειρισμού της. Η πρώτη αυτή μονάδα που ονομάστηκε Υδριάδα, παρμένο από την ελληνική μυθολογία, κόστισε 2,8 εκατ. €, όμως, το κόστος για τις επόμενες αντίστοιχες υπολογίζεται ότι δεν πρόκειται να ξεπεράσει τα 700.000€. Τόσο η σχεδίαση όσο και τα αποτελέσματα από τη λειτουργία της πλατφόρμας αφαλάτωσης έχουν κερδίσει τις εντυπώσεις σε εθνικό αλλά και σε διεθνές επίπεδο. (Διαδίκτυο 14)

Η κατάσταση στην Ελλάδα λοιπόν αρχίζει να μεταβάλλεται όχι μόνο ως προς τις νέες εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης αλλά και ως προς τις ήδη υπάρχουσες μονάδες με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

7. Παρουσίαση της μονάδας αφαλάτωσης στους Παξούς



Εικόνα 14: Το εσωτερικό της μονάδας αφαλάτωσης της Κακίας Λαγκάδας στους Παξούς.

7.1. Γενικά

Πριν υποστεί την διαδικασία αφαλάτωσης το θαλασσινό νερό πρέπει να υποστεί κατάλληλη προκατεργασία, ώστε να γίνει από χημική και φυσική άποψη κατάλληλο για τη διεργασία της αφαλάτωσης.

Η αντίστροφη όσμωση απαιτεί το νερό το οποίο φθάνει στις μεμβράνες να έχει SDI θολότητα, pH, οργανικές ουσίες και σίδηρο σε τιμές μικρότερες από τα όρια που θέτει ο κατασκευαστής των μεμβρανών, ώστε να εξασφαλίζεται η ποιότητα και η ποσότητα του παραγόμενου νερού.

Η πλήρης εγκατάσταση αφαλάτωσης θα αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- ❖ Υδροληψία θαλασσινού νερού
- ❖ Παραμονή του θαλασσινού νερού σε δεξαμενή
- ❖ Απολύμανση
- ❖ Άντληση του θαλασσινού νερού από την δεξαμενή
- ❖ Προσθήκη κροκιδωτικού
- ❖ Φίλτραση σε πολλαπλά στρώματα άμμου
- ❖ Φίλτραση με ενεργό άνθρακα
- ❖ Διόρθωση του pH
- ❖ Τροφοδοσία αντικαθαλατωτικού
- ❖ Φίλτραση μέσω φυσιγγίων
- ❖ Άντληση σε υψηλή πίεση
- ❖ Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση
- ❖ Αύξηση της σκληρότητας, αλκαλικότητας και διόρθωση του pH
- ❖ Μεταχλωρίωση

Αναλυτικά κάθε τμήμα έχει ως εξής:

7.2. Υδροληψία θαλασσινού νερού

Η υδροληψία του θαλασσινού νερού στις μονάδες αφαλάτωσης γενικά γίνεται με κατασκευή πηγαδιών ή γεωτρήσεις ή υποθαλάσσιου αγωγού. Η επιλογή κατά σειρά των τρόπων αυτών υδροληψίας είναι ορθή γιατί είναι γνωστό εκ της εμπειρίας ότι τα παράκτια πηγάδια δίνουν συνήθως χαμηλό δείκτη ρυπαρότητας του νερού (SDI, Silt Density Index). Τούτο δεν σημαίνει βεβαίως ότι το νερό θα είναι απαλλαγμένο από τα επιβαρυντικά για το σύστημα στοιχεία. Απλώς αναμένεται τα στοιχεία αυτά να ευρίσκονται σε μικρότερες ποσότητες και συνεπώς η επιβάρυνση της απαραίτητης οπλωσθήποτε προκατεργασίας, να είναι ελαττωμένη.

Η υδροληψία στη μονάδα γίνεται, όπως προβλέπεται στις τεχνικές προδιαγραφές, από το υφιστάμενο πηγάδι στην θέση εγκατάστασης, το οποίο έχει επιτυχώς δοκιμαστεί με υπεράντληση. Η διαμόρφωσή του είναι τέτοια ώστε λειτουργεί σαν υπόγεια δεξαμενή καθίζησης η οποία γεμίζει με υφάλμυρο νερό μάλλον παρά θαλασσινό με φυσικό τρόπο. Η πλήρωση αυτή επιτυγχάνει καλή ποιότητα νερού από άποψη αιωρημάτων και καθιστά περιττή άλλη δεξαμενή καθίζησης. Πρόκειται για τρία πηγάδια κοντά στην παραλία χωρητικότητας περίπου 10m^3 το κάθε ένα όπου με ισάριθμες αντλίες στέλνουν το νερό στις αφαλατώσεις, η καθίζηση γίνεται μέσα στα πηγάδια αλλά η χλωρίωση γίνεται πριν το νερό μπει στα φίλτρα θολότητας, είναι το ίδιο για να αποφύγουμε τα χημικά κοντά στην παραλία. (Culligan 1,2005)



Εικόνα 15: Η παραλία της Κακής Λαγκάδας απ' όπου γίνεται η υδροληψία του θαλασσινού νερού για την μονάδα αφαλάτωσης.

7.2.1. Παραμονή σε δεξαμενή

Για να γίνει με επάρκεια η απολύμανση του θαλασσινού νερού πρέπει να διατεθεί χρόνος για την αντίδραση του υποχλωριώδους νατρίου. Αυτό επιτυγχάνεται με το υφιστάμενο πηγάδι που λειτουργεί σαν υπόγεια δεξαμενή καθίζησης. (Culligan 1,2005)

7.2.2. Απολύμανση

Το ακατέργαστο θαλασσινό νερό, ακόμα κι αν είναι διαυγές και άχρωμο, είναι δυνατό να περιέχει βλαβερές για τον άνθρωπό και για τις καλλιέργειες ουσίες. Τέτοιες ουσίες ως επί το πλείστον αντιπροσωπεύονται από οργανική ύλη, βακτηριολογική μόλυνση, σίδηρο, αμμωνία κ.α.. Οι ουσίες αυτές παράλληλα είναι επιβαρυντικές για τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης και προκαλούν την πρόωρη γήρανση και φθορά τους. Για να αδρανοποιήσουμε τις ουσίες αυτές ή τουλάχιστον να τις καταστήσουμε ικανές να κατακρατηθούν εύκολα στο επόμενο στάδιο που είναι η φίλτρανση, πρέπει να τις οξειδώσουμε. Η οξειδωση αυτή που έχει σαν αποτέλεσμα την απολύμανση του νερού επιτυγχάνεται με έκχυση κατάλληλης δόσης Υποχλωριώδους Νατρίου στο θαλασσινό νερό με την βοήθεια δύο κατάλληλων αυτόματων τροφοδοτικών αντλιών, τύπου μεμβράνης, πλήρως εγκατεστημένων (η μία εφεδρική που τίθεται αυτόματα σε λειτουργία σε περίπτωση βλάβης ή δυσλειτουργίας της πρώτης). Τα διαβρεχόμενα υλικά τους είναι συνθετικά και αποδεδειγμένα ανθεκτικά στο χλώριο.

Ο έλεγχος της λειτουργίας των αντλιών αυτών γίνεται μέσω μέτρησης του ελεύθερου χλωρίου μετά τα φίλτρα πολλαπλών στρώσεων. Εάν η τιμή του ελεύθερου χλωρίου, ευρίσκεται εκτός των επιθυμητών ορίων, δηλαδή προστίθεται είτε λιγότερο είτε περισσότερο χλώριο από το επιθυμητό, τίθεται αυτόματα σε λειτουργία η εφεδρική δοσομετρική αντλία και δίδεται αλάρμ. Δεν υπάρχει αναδευτήρας διότι το υποχλωριώδες νάτριο είναι ομογενές υγρό, δεν αραιώνεται και δεν απαιτεί ανάδευση. Το δοχείο είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα με πλαστική επικάλυψη. (Culligan 1,2005)

7.2.3. Αντληση θαλασσινού νερού από την δεξαμενή

Από την δεξαμενή τρεις εμβαπτισμένες αντλίες κατασκευασμένες εξ' ολοκλήρου από ανοξείδωτο χάλυβα (AISI 904L) εκ των οποίων η μία ενεργοποιείται κατά την πλύση των φίλτρων και η άλλη είναι εφεδρική, καταθλίπτουν το θαλασσινό νερό προς την κατεργασία. Στην κατάθλιψη των αντλιών υπάρχει ενσωματωμένη βαλβίδα αντεπιστροφής. Από κάθε αντλία ξεκινά ένας αγωγός από PVC εξωτερικής διαμέτρου Φ90 και μετά από βάνες απομόνωσης οι δύο αγωγοί συνενούνται σε κολλεκτέρ από το οποίο αναχωρεί ένας αγωγός PVC εξωτερικής διαμέτρου Φ90, ο οποίος καταλήγει στα φίλτρα πολλαπλών στρώσεων άμμου της προκατεργασίας. (Culligan 1,2005)

7.2.4. Προσθήκη κροκιδωτικού

Για την υποβοήθηση της φίλτρανσης που ακολουθεί, στον αγωγό προ της εισόδου στα φίλτρα εγχύεται μικρή δόση κροκιδωτικού διαλύματος με την βοήθεια δύο κατάλληλων αυτόματων πλήρως εγκατεστημένων τροφοδοτικών αντλιών τύπου μεμβράνης (η μία εφεδρική που τίθεται αυτόματα σε λειτουργία σε περίπτωση βλάβης ή δυσλειτουργίας της πρώτης). Τα διαβρεχόμενα υλικά τους είναι συνθετικά ανθεκτικά στον τριχλωριούχο σίδηρο. Ο έλεγχος της λειτουργίας των αντλιών αυτών γίνεται μέσω μέτρησης της θολότητας του θαλασσινού νερού μετά τα φίλτρα. Εάν η θολότητα είναι μεγαλύτερη από μία επιθυμητή τιμή, γεγονός που σημαίνει ότι προστίθεται λιγότερος ή περισσότερος τριχλωριούχος σίδηρος από το επιθυμητό, τίθεται αυτόματα σε λειτουργία η εφεδρική δοσομετρική αντλία και δίδεται αλάρμ. Ο αναδευτήρας διαλύματος έχει άξονα και έλικα από ανοξείδωτο χάλυβα με πλαστική επικάλυψη, διότι ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι ακατάλληλος για επαφή με τον τριχλωριούχο σίδηρο. (Culligan 1,2005)

7.2.5. Φίλτρανση σε πολλαπλά στρώματα άμμου

Στη συνέχεια το νερό οδηγείται σε τρία παράλληλα φίλτρα για να φιλτραριστεί. Η φίλτρανση επιτυγχάνεται με την βοήθεια του συστήματος FILTR CLEER της CULLIGAN. Το εξειδικευμένο και αποκλειστικό αυτό σύστημα φίλτρανσης καθιστά δυνατό να περιοριστεί η τιμή του δείκτη ρυπαρότητας του θαλασσινού νερού (SDI) εντός των μεγίστων ορίων που είναι αποδεκτά από τις μεμβράνες της αντίστροφης

όσμωσης, ακόμα και στην περίπτωση που χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό κακής ποιότητας.

Το σύστημα φίλτρανσης εξασφαλίζει επίσης μία εξαιρετική φίλτρανση του θαλασσινού νερού, καθώς το κροκιδωτικό που προστίθεται στην είσοδο του συστήματος υποβοηθά το φίλτρο να κατακρατήσει εύκολα τα αιωρούμενα σωματίδια. Πράγματι το σύστημα φίλτρανσης επιτείνει κατά πολύ τις κροκιδωτικές ιδιότητες του χημικού προϊόντος διότι ένας ειδικός ηλεκτρο-χημικός μηχανισμός επιτρέπει στο υλικό φίλτρανσης να λάβει ενεργό μέρος στην κροκιδωτική διεργασία.

Τρία υλικά φίλτρανσης διαφορετικής κοκκομετρίας τοποθετούνται σε κλίνες έτσι ώστε το υλικό με το μεγαλύτερο μέγεθος κόκκου να βρίσκεται στο άνω μέρος του φίλτρου. Το αφιλτράριστο νερό διέρχεται μέσα από τις κλίνες φίλτρανσης με ροή από πάνω προς τα κάτω και βαθμιαία αφήνει την θολότητά του στην μάζα των υλικών φίλτρανσης.

Η διαδικασία FLTR CLEER της CULLIGAN βασίζεται σε ένα φυσικό και χημικό φαινόμενο κροκιδωσης επαφής που δημιουργείται από έναν ηλεκτροχημικό μηχανισμό εμπλέκοντας το υλικό φίλτρανσης για την αποσταθεροποίηση των απωθητικών δυνάμεων που εμποδίζουν τα αιωρούμενα σωματίδια από το να συσσωματωθούν σε σωματίδια ικανά να φιλτραριστούν. (Culligan 1,2005)



Εικόνα 16: Πολυστρωματικό φίλτρο.

Τα πολυστρωματικά φίλτρα (MULTIMEDIA) FILTRCLEER περιέχουν μελετημένα με ακρίβεια υλικά φίλτρασης διαφορετικά στην κοκκομετρία και το ειδικό τους βάρος, έτσι ώστε το νερό να αλλάζει ταχύτητα διερχόμενο από μικρά σε μεγάλα διάκενα και αντιστρόφως και έτσι με τις αλληπάλληλες επιταχύνσεις (κροκίδωση) και επιβραδύνσεις (συσφάιρωση), με την συνδυασμένη δράση των αναπτυσσόμενων δυνάμεων αυξάνεται το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων και βελτιστοποιείται το φιλτράρισμα. Επίσης, το χλώριο που χρησιμοποιείται στην προχλωρίωση για απολύμανση συνεισφέρει θετικά στην διαδικασία της αποσταθεροποίησης των αιωρούμενων σωματιδίων βελτιώνοντας έτσι ακόμα πιο πολύ την διαδικασία φίλτρασης.

Βάσει των ανωτέρω η τεχνική φίλτρασης FILTRCLEER είναι επίσης ικανή να απομακρύνει το σίδηρο και άλλες ουσίες που αν και αρχικά είναι σε διάλυση στο νερό, μετατρέπονται σε αδιάλυτες μέσω αντιδράσεων που προκαλούνται από τα οξειδωτικά χημικά που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση.

Με την μελετημένη διάταξη των υλικών φίλτρασης, το ύψος των κλινών φίλτρασης και το υπόστρωμα, καθώς και το εσωτερικό σύστημα διανομής, τα φίλτρα FILTRCLEER εξασφαλίζουν άριστης αποδοτικότητας αντίστροφο ξέπλυμα που απομακρύνει τελείως τη συγκρατημένη θολότητα από τις κλίνες φίλτρασης. Επίσης επειδή η ενεργοποίηση των κόκκων αντισταθμίζει ή ελαττώνει την φυσική έλλειψη ομοιογένειας των υλικών που προκαλούν τη θολότητα, περιορίζει πάρα πολύ την διαρροή θολότητας από το φίλτρο. Έτσι η επιτυγχανόμενη ποιότητα του φιλτραρισμένου νερού σε συνδυασμό με τα στάδια της προκατεργασίας που ακολουθούν, υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις του κατασκευαστή μεμβρανών.

Στη φάση αυτή απομακρύνεται η θολότητα του νερού, ο σίδηρος, τα κολλοειδή και μεγάλος μέρος της οργανικής ουσίας.

7.2.6. Φίλτραση με ενεργό άνθρακα

Το ελεύθερο χλώριο που υπάρχει στο νερό που εξέρχεται από το σύστημα φίλτρασης πολλαπλών στρώσεων άμμου πρέπει να εξουδετερωθεί πριν φτάσει στον αφαλατωτή. Προς τούτο το νερό διέρχεται μέσα από τρία παράλληλα φίλτρα ενεργού άνθρακα, ο οποίος απορροφά το ελεύθερο χλώριο και τα χλωροπαράγωγα της αντίδρασης αυτού με το θαλασσινό νερό, όπως χλωραμίνες, τριαλομεθάνια κλπ..

Ο ενεργός άνθρακας κατακρατά και ουσίες που βρίσκονται σε ελάχιστη ποσότητα στο νερό και προκαλούν οσμή, γεύση, χρώμα κλπ.. Επίσης είναι ικανός και για την κατακράτηση υψηλού ποσοστού λαδιών και πετρελαιοειδών από το νερό. Η κλίση του ενεργού άνθρακα σε τακτά διαστήματα αναταράσσεται με αντίστροφο ξέπλυμα των φίλτρων, τα οποία, όπως και για τα φίλτρα πολλαπλών στρώσεων, γίνεται αυτόματα.

Η χρήση φίλτρων ενεργού άνθρακα στην προκατεργασία του συστήματος αντίστροφης όσμωσης προσδίδει στην μονάδα σημαντικά πλεονεκτήματα διότι:

1. Δεν εξουδετερώνει απλώς το χλώριο, αλλά το κατακρατά, όπως και τα χλωροπαράγωγα.
2. Κατακρατά λάδια, πετρελαιοειδή κλπ. που σε άλλη περίπτωση θα έφταναν στην μεμβράνη προκαλώντας ανεπανόρθωτη ζημιά. Τέτοιες ουσίες είναι πολύ πιθανό να βρεθούν στο νερό σε μικρές συγκεντρώσεις από διερχόμενα σκάφη, σκάφη αναψυχής, κλπ. ανάλογα και με τον τρόπο υδροληψίας.
3. Αποτελεί ασφαλιστική δικλείδα του συστήματος έναντι οξειδωτικών δράσεων επί των μεμβρανών, τόσο του χλωρίου, όσο και άλλων τυχόν ουσιών, διότι η ικανότητά του για κατακράτηση τέτοιων ουσιών είναι πολύ μεγάλη και πρακτικά απουσιάζει ο κίνδυνος καταστροφής των μεμβρανών εξ' αυτού του λόγου απολύτως.
4. Το ίδιο φίλτρο έχει σημαντική ικανότητα για κατακράτηση θολότητας και συνεπώς λειτουργεί επιπλέον σαν δεύτερη βαθμίδα φυσικής φίλτρανσης ή ενδεχομένως σε περιπτώσεις βλάβης του φίλτρου πολλαπλών στρώσεων άμμου, λειτουργεί μερικώς και σαν φίλτρο θολότητας. (Culligan 1,2005)

7.2.7. Διόρθωση του pH

Με σκοπό την μέγιστη δυνατή απόδοση των μεμβρανών της αντίστροφης όσμωσης και προς αποφυγή καθαλάτωσης ανθρακικού ασβεστίου, το pH του θαλασσινού νερού πρέπει να ελαττωθεί διότι το πολύ αλκαλικό pH ευνοεί την απόθεση ανθρακικού ασβεστίου μέσα στην μεμβράνη προκαλώντας την έμφραξη της. Καθώς το pH του θαλασσινού νερού είναι αλκαλικό, είναι απαραίτητο να ελαττωθεί η τιμή του. Μέσω pH-μέτρου ελέγχεται αυτόματα η έγχυση θειικού οξέος στο θαλασσινό νερό, η οποία έγχυση πραγματοποιείται μέσω δύο αυτόματων

πλήρως εγκατεστημένων τροφοδοτικών αντλιών τύπου μεμβράνης (η μία εφεδρική). Το pH-μετρο έχει δύο επιλογές επιθυμητών σημείων, υψηλού και χαμηλού pH. Αν η δόση είναι χαμηλή ή υψηλή, οπότε το pH θα είναι υψηλό ή χαμηλό, θα δοθεί οπτικό σήμα αλάρμ στον πίνακα και θα τεθεί αυτόματα σε λειτουργία η εφεδρική. Αν το πρόβλημα συνεχίζεται μετά από πάροδο ορισμένου χρόνου η λειτουργία θα διακοπεί και θα απαιτείται πάτημα του RESET για επανεκκίνηση.

Τα υλικά κατασκευής των τμημάτων των δοσομετρικών αντλιών που έρχονται σε επαφή με το θειικό οξύ είναι αποδεδειγμένα ανθεκτικά στην ουσία αυτή. Δεν απαιτείται αναδευτήρας διότι το θειικό οξύ δεν αραιώνεται και χρησιμοποιείται όπως παρέχεται από το εμπόριο με πυκνότητα 98%.(Culligan 1,2005)

7.2.8. Τροφοδοσία αντικαθαλατωτικού

Με σκοπό την εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής απόδοσης των μεμβρανών της αντίστροφης όσμωσης δηλαδή προς αποφυγή κάθε είδους καθαλάτωσης, πέραν αυτών του ανθρακικού ασβεστίου, δηλαδή φθοριούχου ασβεστίου και τυχόν θειικού βαρίου και θειικού στροντίου είναι απαραίτητη η τροφοδότηση μικρής δόσης αντικαθαλατωτικού χημικού.

Η έγχυση πραγματοποιείται μέσω δύο αυτόματων τροφοδοτικών αντλιών τύπου μεμβράνης (η μία εφεδρική), πλήρως εγκατεστημένων, που περιέχουν ενσωματωμένο η κάθε μία σύστημα ελέγχου της ακριβούς δοσομέτρησης. Έτσι αν η δόση είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη, δίδεται οπτικό σήμα στον πίνακα, γίνεται εναλλαγή της λειτουργούσας με την εφεδρική και μετά την πάροδο ορισμένου χρόνου (ρυθμίσιμου) η λειτουργία διακόπτεται και απαιτείται πάτημα του RESET για επανεκκίνηση. (Culligan 1,2005)

7.2.9. Φίλτραση μέσω φυσιγγίων

Σωματίδια ή κάθε υλικό το οποίο πιθανόν να διέφυγε από το σύστημα της φίλτρασης ή να προσετέθη λόγω έγχυσης των χημικών διαλυμάτων πρέπει να κατακρατηθεί πριν από τη μονάδα της αντίστροφης όσμωσης, ώστε να προληφθεί κάθε ζημιά στις μεμβράνες και στις αντλίες υψηλής πίεσης.

Προς τον σκοπό αυτό το θαλασσινό νερό διέρχεται μέσω δύο παράλληλων φίλτρων κατασκευασμένων από ανοξείδωτο χάλυβα, με αντικαθιστώμενα φυσιγγία, διπλής πλέξης, τα οποία κατακρατούν όλα τα σωματίδια που είναι μεγαλύτερα από 1 μικρόν.

Στην έξοδο των φίλτρων, όπως και στην έξοδο των φίλτρων ενεργού άνθρακα, στην έξοδο και στην είσοδο των φίλτρων θολότητας, είναι διαμορφωμένες κατάλληλες αναμονές για την σύνδεση του οργάνου για τη μέτρηση του SDI.



Εικόνα 17: Φίλτραση με Φυσιγγες(2)

7.2.10. Αντληση σε υψηλή πίεση

Για να υπερνικηθεί τόσο η οσμωτική πίεση, όσο και η πτώση πίεσης στις μεμβράνες και σωληνώσεις είναι απαραίτητο να αντληθεί το νερό σε υψηλή πίεση. Γι' αυτό χρησιμοποιείται ένα αντλητικό συγκρότημα αποτελούμενο από δύο εν σειρά αντλίες, πολυβάθμιες, φυγοκεντρικές, κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα, εφοδιασμένο επιπλέον με υδροστρόβιλο ανάκτησης ενέργειας. (Culligan 1,2005)

7.2.11. Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση

Η αφαλάτωση διεξάγεται σε έναν αφαλατωτή μέσω μεμβρανών υψηλής απόρριψης και χαμηλής ενέργειας καθώς και έξτρα χαμηλής ενέργειας, οι οποίες έχουν ικανότητα κατακρατήσεως αλάτων μεγαλύτερη του 99%. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται στην μεμβράνη όπου γίνεται ο διαχωρισμός του προϊόντος (αφαλατωμένου νερού) από το απόρριμμα (αλατούχο).

Το απόρριμμα με μεγάλη συγκέντρωση αλάτων απορρίπτεται στην αποχέτευση, ενώ το προϊόν καθαρό νερό οδηγείται προς το δοχείο συλλογής αφαλατωμένου νερού της συσκευής που βρίσκεται στο πάνω μέρος αυτής και από κει στην δεξαμενή καθαρού νερού μέσω φίλτρου πρόσδοσης σκληρότητας.



Εικόνα 17: Μεμβρανοδοχεία (3).

Οι μεμβράνες είναι διατεταγμένες σε τέσσερα παράλληλα δοχεία πίεσεως που περιέχουν από τρεις μεμβράνες έκαστο. Σε κάθε δοχείο πίεσεως οι μεμβράνες είναι τοποθετημένες σε σειρά, δηλαδή το απόρριμμα της πρώτης αποτελεί την τροφοδοσία της δεύτερης κλπ.. (Culligan 1,2005)

7.2.12. Αύξηση της σκληρότητας, αλκαλικότητας και διόρθωση του pH

Για να καταστεί το αφαλατωμένο νερό πόσιμο σύμφωνα με την ισχύουσα υγειονομική διάταξη του Ελληνικού Κράτους, είναι απαραίτητο πλην της εξουδετέρωσης του pH, το οποίο έχει το αφαλατωμένο νερό και η οποία ούτως ή άλλως θα εγίνετο, να γίνει και αύξηση της σκληρότητάς του καθώς επίσης και ανάλογη αύξηση της αλκαλικότητας, ώστε να φθάσουν σε επίπεδο τέτοιο, που το νερό δεν θα είναι διαβρωτικό.

Οι δύο αυτές διεργασίες επιτυγχάνονται διά της διελεύσεως του αφαλατωμένου νερού μέσω ενός κλειστού δοχείου, το οποίο περιέχει CaCO_3 , το οποίο προοδευτικά διαλύεται καθώς περνά το νερό, αντιδρώντας με το περιεχόμενο σ' αυτό CO_2 , με συνέπεια την αύξηση της σκληρότητάς του και του pH. Επειδή όμως η αύξηση της σκληρότητας μ' αυτόν τον τρόπο δεν φτάνει στα επιθυμητά επίπεδα, γίνεται πριν την είσοδο στο δοχείο έγχυση ποσότητας θειικού οξέος μέσω δύο αυτόματων πλήρως εγκατεστημένων δοσομετρικών αντλιών (η μία εφεδρική) τύπου μεμβράνης. Το θειικό οξύ αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο και έτσι το νερό εξέρχεται από το φίλτρο με διορθωμένα στα προβλεπόμενα επίπεδα τα ως άνω χαρακτηριστικά.

Οι δοσομετρικές αντλίες ελέγχονται αυτόματα μέσω pH-μέτρου για τυχόν υψηλή ή χαμηλή δοσομέτρηση και αυτόματη εναλλαγή κλπ., όπως οι αντίστοιχες της προκατεργασίας. (Culligan 1,2005)

7.2.13. Μεταχλωρίωση

Το πόσιμο νερό, πριν οδηγηθεί στην δεξαμενή αποθήκευσης της εγκατάστασης, εφοδιάζεται με την απαραίτητη ποσότητα ελεύθερου χλωρίου με έγχυση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου μέσω δύο τροφοδοτικών αντλιών τύπου μεμβράνης (η μία εφεδρική), πλήρως εγκατεστημένων και αυτόματης εναλλαγής μέσω ενσωματωμένου αυτόματου συστήματος ελέγχου ακριβούς δοσομέτρησης, όπως η τροφοδοσία αντικαθαλατωτικού. (Culligan 1,2005)

7.3. Η ποιότητα του νερού στους Παξούς

Για τεκμηριωμένα αποτελέσματα όσον αφορά την ποιότητα του νερού στους Παξούς πάρθηκαν 3 δείγματα τα οποία και αναλύθηκαν. Ένα δείγμα απευθείας από την αφαλάτωση, ένα δείγμα από τη θαλάσσια περιοχή που τροφοδοτεί τη μονάδα και ένα δείγμα από μία βρύση του δικτύου όπως φτάνει στα σπίτια. Οι αναλύσεις των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στο Αγροτικό Ινστιτούτο Καλαμάτας και παραθέτονται παρακάτω.

Καλαμάτα 15/9/2009

ΕΚΘΕΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΣ ΝΕΡΟΥ

Πρός : κ. Περλορέντζου
Διεύθυνση : Παξοί
Τηλ :

Καλλιέργεια :
Περιοχή δειγματοληψίας :
Ημ/νία δειγματοληψίας :
Προέλευση νερού :
Κωδικός : N 1

Αγωγιμότητα ($\mu\text{s}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$)	381	Σκληρότητα (ppm CaCO_3)	
Ολικά διαλυτά άλατα (ppm)	243,84	Ολική	43
pH	7,84	Παροδική	30
		Μόνιμη	13

Κατιόντα	ppm	meq/l	Ανιόντα	ppm	meq/l
Ασβέστιο (Ca^{2+})	11,10	0,56	Χλωριόντα (Cl^-)	115,00	3,24
Μαγνήσιο (Mg^{2+})	3,60	0,30	Διπτανθρακικά (HCO_3^-)	36,60	0,60
Κάλιο (K^+)	2,90	0,07	Θειικά (SO_4^{2-})	12,29	0,26
Νάτριο (Na^+)	49,90	2,17	Φωσφορικά ($\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$)	0,00	0,00
Αμμωνιακά (NH_4^+)	0,01	0,00	Νιτρικά (NO_3^-)	0,00	0,00
Σύνολο		3,10	Σύνολο		4,10

Ιχνοστοιχεία	ppm	$\mu\text{mol}/\text{l}$	Αναλ. Προσρόφ. Νο (SAR)	3,32
Σίδηρος (Fe)	0,100	1,79	Χαρακτηρισμός :	
Μαγγάνιο (Mn)	0,050	0,91		
Ψευδάργυρος (Zn)	0,030	0,46		
Χαλκός (Cu)	0,000	0,00		
Βόριο (B)	0,110	10,19		

Δείγμα 1° : Νερό απευθείας από τη μονάδα αφαλάτωσης.

Διεύθυνση : Παξοί
Τηλ :

Περιοχή δειγματοληψίας :
Ημ/νία δειγματοληψίας :
Προέλευση νερού :
Κωδικός : N 2

Αγωγιμότητα ($\mu\text{s}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$)	50.800	Σκληρότητα (ppm CaCO_3)	
Ολικά διαλυτά άλατα (ppm)	32512	Ολική	6847
pH	8,03	Παροδική	170
		Μόνιμη	6677
Κατιόντα	ppm	meq/l	
Ασβέστιο (Ca^{2+})	457,60	22,88	
Μαγνήσιο (Mg^{2+})	1368,60	114,05	
Κάλιο (K^+)	459,90	11,79	
Νάτριο (Na^+)	11000,00	478,26	
Αμμωνιακά (NH_4^+)	0,00	0,00	
Σύνολο		626,98	
Ανιόντα	ppm	meq/l	
Χλωριόντα (Cl^-)	23700,00	667,61	
Διττανθρακικά (HCO_3^-)	207,40	3,40	
Θειικά (SO_4^{2-})	3126,60	65,14	
Φωσφορικά ($\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$)	0,00	0,00	
Νιτρικά (NO_3^-)	0,00	0,00	
Σύνολο		736,14	
Ιχνοστοιχεία	ppm	$\mu\text{mol/l}$	
Σίδηρος (Fe)	0,000	0,00	
Μαγγάνιο (Mn)	0,070	1,28	
Ψευδάργυρος (Zn)	0,020	0,31	
Χαλκός (Cu)	0,000	0,00	
Βόριο (B)	4,570	423,15	
			Αναλ. Προσρόφ. Na (SAR) 57,79
			Χαρακτηρισμός :

Δείγμα 2° : Θαλασσινό νερό.

Πρός : κ. Περλορέντζου
 Διεύθυνση : Παξοί
 Τηλ :

Καλλιέργεια :
 Περιοχή δειγματοληψίας :
 Ημ/νία δειγματοληψίας :
 Προέλευση νερού :
 Κωδικός : N 3

Αγωγιμότητα ($\mu\text{s}/\text{cm}/25^\circ\text{C}$)			Σκληρότητα (ppm CaCO_3)		
	254				
Ολικά διαλυτά άλατα (ppm)	162,56		Ολική	33	
pH	7,86		Παροδική	60	
			Μόνιμη	-27	
Κατιόντα			Ανιόντα		
	ppm	meq/l		ppm	meq/l
Ασβέστιο (Ca^{2+})	9,20	0,46	Χλωριόντα (Cl^-)	90,00	2,54
Μαγνήσιο (Mg^{2+})	2,40	0,20	Διττανθρακικά (HCO_3^-)	73,20	1,20
Κάλιο (K^+)	2,00	0,05	Θειικά (SO_4^{2-})	8,32	0,17
Νάτριο (Na^+)	28,80	1,25	Φωσφορικά ($\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$)	0,00	0,00
Αμμωνιακά (NH_4^+)	0,00	0,00	Νιτρικά (NO_3^-)	0,00	0,00
Σύνολο		1,96	Σύνολο		3,91
Ιχνοστοιχεία			Αναλ. Προσρόφ. Na (SAR)		
	ppm	$\mu\text{mol}/\text{l}$			2,18
Σίδηρος (Fe)	0,000	0,00	Χαρακτηρισμός :		
Μαγγάνιο (Mn)	0,050	0,91			
Ψευδάργυρος (Zn)	0,080	1,22			
Χαλκός (Cu)	0,000	0,00			
Βόριο (B)	0,140	12,96			

Δείγμα 3^ο : Νερό από τη βρύση του δικτύου.

Μετά τις παραπάνω αναλύσεις μπορούμε με σιγουριά να πούμε πως και το νερό απευθείας από την μονάδα αφαλάτωσης αλλά και το νερό από το δίκτυο είναι άριστης ποιότητας από αρδευτικής πλευράς. Πιο συγκεκριμένα, οι αναλύσεις δείχνουν χαμηλή αλατότητα, μέτριο επίπεδο χλωριόντων, μικρό κίνδυνο νατρίου, γεγονός που δεν δημιουργεί προβλήματα στη σταθερότητα της δομής και στη διαπερατότητα του εδάφους. Όλα αυτά δείχνουν πως το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα καλλιεργούμενα είδη. Η ποιότητά του είναι άριστη. Για το δεύτερο δείγμα δεν υπάρχουν σχόλια καθώς πρόκειται για θαλασσινό νερό. Θα ήταν όμως πολύ ενδιαφέρον να δούμε με βάση την ανάλυση του θαλασσινού νερού και

των άλλων δειγμάτων τις απορρίψεις των στοιχείων κατά τη διαδρομή του νερού από τη θάλασσα ως τη βρύση. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στα τρία δείγματα.

	Θαλασσινό νερό	Νερό αφαλάτωσης	Νερό δικτύου
Αγωγιμότητα	50800(μs/cm/25°C)	381(μs/cm/25°C)	254(μs/cm/25°C)
Ολικά διαλυτά άλατα	32512(ppm)	243,84(ppm)	162,56(ppm)
pH	8,03	7,84	7,86
Ασβέστιο	457,60(ppm)	11,10(ppm)	9,20(ppm)
Μαγνήσιο	1368,60(ppm)	3,60(ppm)	2,40(ppm)
Κάλιο	459,90(ppm)	2,90(ppm)	2,00(ppm)
Νάτριο	11000,00(ppm)	49,90(ppm)	28,80(ppm)
Αμμωνιακά	0,00(ppm)	0,01(ppm)	0,00(ppm)
Σίδηρος	0,000(ppm)	0,100(ppm)	0,000(ppm)
Μαγγάνιο	0,070(ppm)	0,050(ppm)	0,050(ppm)
Ψευδάργυρος	0,020(ppm)	0,030(ppm)	0,080(ppm)
Χαλκός	0,000(ppm)	0,000(ppm)	0,000(ppm)
Βόριο	4,570(ppm)	0,110(ppm)	0,140(ppm)
Χλωριόντα	23700,00(ppm)	115,00(ppm)	90,00(ppm)
Διττανθρακικά	207,40(ppm)	36,60(ppm)	73,20(ppm)
Θειικά	3126,60(ppm)	12,29(ppm)	8,32(ppm)
Φωσφορικά	0,00(ppm)	0,00(ppm)	0,00(ppm)
Νιτρικά	0,00(ppm)	0,00(ppm)	0,00(ppm)

Πίνακας 14.: Απορρίψεις των στοιχείων κατά τη διαδρομή του νερού από τη θάλασσα ως τη βρύση. Κατακόρυφη μείωση των στοιχείων.

7.4. Κόστος λειτουργίας της μονάδας

7.4.1. Κόστος λειτουργίας

Αυτό απαρτίζεται από:

- ✓ Κόστος ενέργειας
- ✓ Κόστος χημικών
- ✓ Κόστος προσωπικού
- ✓ Κόστος αναλώσιμων

7.4.2. Κόστος ενέργειας

Όπως υπολογίστηκε, η αναλίσκόμενη ισχύς P1 που είναι η ισχύς που καταγράφει ο μετρητής της ΔΕΗ, είναι 35,21 KW, δηλαδή ωριαία καταναλώνονται 35,21 KWH και παράγονται 6,36 m³, οπότε η κατανάλωση ενέργειας είναι 5,536 KWH/m³ παραγόμενου νερού.

Με 0,08859 €/KWH που είναι ένα ενδεικτικό τιμολόγιο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ, το κόστος ενέργειας είναι 0,4904 €/m³. (Culligan 2,2005)

7.4.3. Κόστος χημικών

A. Υποχλωριώδες νάτριο

Η δόση υποχλωριώδους νατρίου 14% για την προχλωρίωση κατά μέσο όρο είναι 10 ppm (mg/l) και τούτο διότι το θαλασσινό νερό έχει μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα και απαιτεί μεγάλη δόση για την οξειδωση των συστατικών του και την απολύμανσή του.

Σε μία ώρα χλωριώνονται 15 m³ με δόση 10 mg/l (gr/m³), συνεπώς αναλώνονται 150 gr, ενώ παράγονται 6,36 m³.

Άρα καταναλώνονται 23,6 gr NaOCL 14% ανά m³.

Η δόση της μεταχλωρίωσης κατά μέσο όρο είναι 0,2 ppm, διότι το νερό είναι καθαρό και ως προερχόμενο από αντίστροφη όσμωση είναι απαλλαγμένο οργανικού φορτίου.

Σε μία ώρα χλωριώνονται $6,36 \text{ m}^3$ με δόση $0,2 \text{ mg/l}$ και πυκνότητα διαλύματος 14% . Συνεπώς αναλώνονται $9,1 \text{ gr}$ και παράγονται $6,36 \text{ m}^3$. Άρα καταναλώνονται $1,4 \text{ gr NaOCl } 14\%$ ανά m^3 .

Συνεπώς η ολική κατανάλωση υποχλωριώδους νατρίου 14% είναι 25gr ανά m^3 .

Τιμή υποχλωριώδους νατρίου 14% (ΝΕΟΧΗΜΙΚΗ Α.Ε.) = $0,19 \text{ €/kg}$, συνεπώς το κόστος είναι $0,00475 \text{ €/m}^3$.



Εικόνα 19: Χημικά.

B. Θειικό οξύ

Η δόση θειικού οξέος για την ταπείνωση του pH του θαλασσινού νερού στα $7,37$ όπως καθορίζεται στο φύλλο υπολογισμού της FILMTEC είναι $19,51 \text{ ppm}$. Σε μία ώρα τροφοδοτούνται στην συσκευή αντίστροφης όσμωσης 15 m^3 νερό με δόση οξίνισης $19,51 \text{ mg/l}$ και πυκνότητα διαλύματος 98% . Συνεπώς αναλώνονται $298,6 \text{ gr}$ οξέος ενώ παράγονται $6,36 \text{ m}^3$ πόσιμο νερό.

Άρα καταναλώνονται $47\text{gr H}_2\text{SO}_4$ 98% ανά m^3 .

Η δόση θειικού οξέος για την ταπείνωση του pH του αφαλατωμένου νερού είναι, όπως προκύπτει από τους αντίστοιχους υπολογισμούς $69,6 \text{ ppm}$.

Σε μία ώρα οξινίζονται $6,36 \text{ m}^3$ νερό με δόση $69,6 \text{ mg/l}$ οξέος πυκνότητας 98% . Συνεπώς αναλώνονται $442,7 \text{ gr}$ οξέος και παράγονται $6,36 \text{ m}^3$.

Άρα καταναλώνονται 71gr H_2SO_4 98% ανά m^3 .

Συνεπώς η ολική κατανάλωση θειικού οξέος 98% είναι : 118 gr/m^3 .

Τιμή θειικού οξέος 98% (ΝΕΟΧΗΜΙΚΗ Α.Ε.) = 0,12 €/kg, συνεπώς το κόστος είναι 0,01416 €/m³.

Αντίστοιχα υπολογίζεται ότι αν χρησιμοποιηθεί αντικαθαλατωτικό με την υπολογισθείσα δοσολογία 1,16 ppm η κατανάλωση είναι 2,73 gr/m^3 παραγόμενου νερού και για τιμή 7,5 €/kg το κόστος είναι 0,02052 €/m³, που είναι μεγαλύτερο από το οξύ.



Εικόνα 20: Χημικά αποθηκευμένα σε μικρές δεξαμενές.

Γ. Κροκιδωτικό

Αντίστοιχα υπολογίζεται ότι για μέση δοσολογία τριχλωριούχου σιδήρου 1,5 ppm η κατανάλωση είναι 3,5 gr/m^3 παραγόμενου νερού και για τιμή κροκιδωτικού 0,75 €/kg το κόστος είναι 0,0026 €/m³.

Δ. Ανθρακικό Ασβέστιο

Η ανάλωση ανθρακικού ασβεστίου για την αύξηση της σκληρότητας και της αλκαλικότητας του αφαλατωμένου νερού, όπως προκύπτει από τους αντίστοιχους υπολογισμούς είναι 142 gr/m^3 . Συνεπώς καταναλώνονται 142 gr ανθρακικού ασβεστίου ανά m^3 . Κόστος ανθρακικού ασβεστίου (ΝΕΟΧΗΜΙΚΗ Α.Ε.) = $0,18 \text{ €/kg}$, συνεπώς το κόστος είναι $0,02556 \text{ €/m}^3$. (Culligan 2,2005)

Ολικό κόστος χημικών: $0,04707 \text{ €/m}^3$.

7.4.4. Κόστος προσωπικού

Όπως προκύπτει σαφώς από την περιγραφή της μονάδας, αυτή λειτουργεί εντελώς αυτόματα. Ακόμη περιλαμβάνει στον αυτοματισμό της κάθε όργανο απαραίτητο για την προστασία της από κάθε προβλεπτό συμβάν που θα δημιουργούσε ζημιά ή βλάβη. Ακόμα περιλαμβάνει πληρέστατη προεπεξεργασία του θαλασσινού νερού, ώστε οι θεωρητικοί κίνδυνοι για την μονάδα να είναι ελάχιστοι.

Οι απαιτήσεις σε προσωπικό περιορίζονται σε απλή παρακολούθηση, καταγραφή των δεδομένων λειτουργίας σε τακτά διαστήματα, όπως ορίζουν τα εγχειρίδια λειτουργίας της μονάδας και αποστολή στην εταιρεία, τυχόν ρυθμίσεις απορρυθμισμένων δοσομετρητών, βαλβίδων κλπ., συμπλήρωση των κάδων με χημικά και εκτέλεση τυχόν χημικών καθαρισμών. Το προσωπικό που θα διατεθεί από τον Δήμο για την λειτουργία της μονάδας θα πρέπει να είναι ειδικότητας υδραυλικού – ηλεκτρολόγου. Η ειδικότερη εκπαίδευσή του, γίνεται στο διάστημα της αρχικής λειτουργίας της μονάδας από την εταιρεία (Culligan).

Ο Δήμος Παξών έχει αναθέσει τις παραπάνω εργασίες στον κ. Σπύρο Μάστορα, ο οποίος είναι γνώστης αυτοματισμών μηχανολογίας, computer, αντλιών και υδραυλικών συστημάτων. (Culligan 2,2005)

Τα παραπάνω αντιστοιχούν σε εργασία περίπου μίας ώρας ημερησίως.

7.4.5. Κόστος συντήρησης

A. Αντικατάσταση φυσιγγίων προφίλτρων

Η αντικατάσταση των φυσιγγίων προβλέπεται να γίνεται ανά 4 μήνες λειτουργίας. Σε 4 μήνες έχουν παραχθεί κατά μέσο όρο:

$$4 \cdot 30 \cdot 150 = 18000 \text{ m}^3 \text{ πόσιμου νερού.}$$

Τα προφίλτρα περιέχουν 14 φυσιγγία, που η αντικατάστασή τους κοστίζει $14 \cdot 13 = 182 \text{ €}$. Συνεπώς η κατανάλωση φυσιγγίων είναι $0,01 \text{ €}$ ανά m^3 .

B. Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης

Το προσφερόμενο σύστημα έχει υπολογιστεί για 3 χρόνια λειτουργίας των μεμβρανών και στην χειρότερη περίπτωση τότε θα χρειαστούν αντικατάσταση οι μισές μεμβράνες.

Σε τρία χρόνια θα έχουν παραχθεί 164250 m^3 νερού.

Η τιμή μίας μεμβράνης (εσωτερικό στοιχείο μόνο, διότι το κέλυφος δεν θα αντικατασταθεί) είναι 1150 € και χρησιμοποιούνται 12 μεμβράνες οπότε το κόστος αντικατάστασης θα είναι (για 6) 6900 € . (Culligan 2,2005)

Άρα το κόστος ανά είναι m^3 $0,042 \text{ €}$.

Συνεπώς το ολικό κόστος συντήρησης είναι $0,052 \text{ €}$ ανά m^3 παραγόμενου πόσιμου νερού.

7.4.6. Ολικό κόστος

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το ολικό κόστος είναι:

$$0,4904 + 0,04707 + 0,052 = 0,5895 \text{ €/m}^3$$

Όπως δίδεται, η τιμή του νερού στην πόλη είναι 3 €/m^3 , οπότε προκύπτει κέρδος $3,0 - 0,5895 \text{ €/m}^3 = 2,41 \text{ €/m}^3$, ή ετησίως 131947 € . Η αποπληρωμή συνεπώς του αρχικού κόστους της μονάδας γίνεται σε 1,9 έτη. Η απόσβεση προκύπτει ως ακολούθως:

Χρόνος	Αρχική αξία (€)	Όφελος (€)	Απόσβεση (%)
1 έτος	245000 €	131947 €	53,8 %
1,9 έτη	113053 €	113053 €	100 %

Πίνακας 15.: Απόσβεση ολικού κόστους(Culligan 2,2005)

7.4.7. Κόστος εγκατάστασης της μονάδας

Το κόστος δεν μπορεί να προσδιοριστεί επακριβώς καθώς εξαρτάται από την δυναμικότητα, τα συμπληρωματικά έργα, έργα πρόσβασης, αγωγοί μεταφοράς νερού κλπ.. υπολογίζουμε λοιπόν περίπου 200.000 € για την μονάδα των 150 m³.

7.4.8.Χρέωση καταναλωτή

Παρόλο που το ολικό κόστος παραγωγής, όπως είδαμε παραπάνω, φτάνει στα 0,5895 €/m³ ο καταναλωτής πληρώνει 1,80 €/m³. Σαφέστατα η διαφορά είναι μεγάλη, δεν θα πρέπει να ξεχνάμε όμως το κόστος της εγκατάστασης της μονάδας και το δίκτυο μέσα από το οποίο γίνεται η διανομή στα σπίτια.

8. Σκοπιμότητα της μονάδας αφαλάτωσης στους Παξούς – προμελέτη

Γενικά

Σκοπός της μονάδας αφαλάτωσης είναι η κάλυψη των σημερινών και μελλοντικών αναγκών υδροδότησης και βελτίωση της ποιότητας του πόσιμου και αρδεύσιμου νερού της περιοχής δικαιοδοσίας του Δήμου Παξών. Η σημερινή τροφοδοσία με πόσιμο νερό στο νησί γίνεται από γεωτρήσεις, από επιφανειακές απορροές που συγκεντρώνονται σε δύο λιμνοδεξαμενές και από ιδιωτικές ομβροδεξαμενές. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου οι ανάγκες είναι ιδιαίτερα αυξημένες, προστίθεται και η μεταφορά νερού από την ηπειρωτική Ελλάδα με βυτιοφόρα πλοία.

8.1. Υφιστάμενα και προγραμματισμένα έργα συλλογής νερού

Τα υφιστάμενα έργα συλλογής νερού των Παξών είναι τα εξής:

- ✓ Δύο εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές, μία στην Κακή Λαγκάδα και μία στην Λάκκα, χωρητικότητας 138000 μ³ και 68000 μ³ αντίστοιχα. Κατασκευάστηκαν από το Υπουργείο Γεωργίας και λειτουργούν από το 2000. Η λιμνοδεξαμενή Κακιάς Λαγκάδας τροφοδοτείται από επιφανειακά νερά των δύο ανάντη αυτής ρεμάτων. Σε μία προσπάθεια αύξησης των απορροών η κοίτη του ρέματος στεγανοποιήθηκε τον Μάρτιο του 2003 με επένδυση από σκυρόδεμα. Παρόλα αυτά οι λιμνοδεξαμενές δεν συλλέγουν την ποσότητα του νερού για την οποία μελετήθηκαν. Τον Ιούνιο του 2003, μετά από χειμώνα με πολύ υψηλές βροχοπτώσεις, στην λιμνοδεξαμενή Κακιάς Λαγκάδας είχαν συλλέγει 27000 μ³ νερού περίπου. Την ίδια χρονιά η λιμνοδεξαμενή Λάκκας συνέλεξε περίπου 25000 μ³ νερού.
- ✓ Ιδιωτικές ομβροδεξαμενές με εκτιμώμενο ωφέλιμο όγκο 70000 μ³ περίπου.
- ✓ Δύο τεχνικά συλλογής επιφανειακού βρόχινου νερού (τεχνικό Μαγαζιών και τεχνικό Πηγαδουλίου). Το νερό που συλλέγεται καταλήγει στην λιμνοδεξαμενή Κακιάς Λαγκάδας.

- ✓ Δύο δημοτικές δεξαμενές στο δημοτικό διαμέρισμα Λογγού που τροφοδοτούνται από το πηγάδι Μυρτιάς και από επιφανειακά νερά.
- ✓ Τρεις δημοτικές δεξαμενές στο δημοτικό διαμέρισμα των Μαγαζιών που τροφοδοτούνται από γεωτρήσεις. Συνολικά το νησί διαθέτει 3230 μ³ δημοτικών δεξαμενών.

Το νερό των γεωτρήσεων αποτελεί σήμερα την κύρια πηγή υδροδότησης, μαζί με τις ομβροδεξαμενές. Η ποιότητά του όμως, δεν καλύπτει τις προδιαγραφές του πόσιμου αλλά και του αρδεύσιμου νερού πολλές φορές. Πρόκειται για υφάλμυρο νερό που αντλείται από τη ζώνη ανάμιξης με το θαλάσσιο (εξ' αυτού του λόγου και η κοινή ονομασία «γλύφα» που αποδίδεται στις γεωτρήσεις του νησιού). (Δήμος Παξών, 2005)

8.2. Υφιστάμενη κατάσταση ρύπανσης

8.2.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η μικρή συμμετοχή της μεταποίησης στην παραγωγική δομή του νομού, αλλά και ο μη κατεξοχήν ρυπογόνος χαρακτήρας όσων μονάδων λειτουργούν, συντελούν στην πολύ μικρή επιβάρυνση του αέρα με ρύπους. Η γειτνίαση με τη θάλασσα και η ημιορεινή διαμόρφωση της ενδοχώρας έχουν, προφανώς, σημαντική συμβολή στη διατήρηση του αέρα καθαρού. Αυξημένη κυκλοφορία στο νησί δεν εντοπίζεται εξαιτίας της μικρής έκτασής του, ενώ η ατμόσφαιρα στην περιοχή της μονάδας μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά απαλλαγμένη από ρύπανση. Οι δυνητικές πηγές ρύπων είναι μικρές, περιορισμένες σε πλήθος και εν πολλοίς απομακρυσμένες από το χώρο του έργου. Η πυκνότητα κατοικίας είναι πολύ χαμηλή, και αντίστοιχα οι εκπομπές από καυστήρες.

8.2.2. Ρύπανση ακουστικού περιβάλλοντος

Η στάθμη θορύβου στην περιοχή της μονάδας αξιολογείται αντίστοιχη με την ένταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η γύρω έκταση διατηρεί τον αγροτικό χαρακτήρα της ενώ οι θόρυβοι είναι αντίστοιχα περιορισμένοι τόσο χωρικά, όσο και κατά την έντασή τους. Σχετικά αυξημένη (αλλά όχι υψηλή) στάθμη θορύβου απαντάται μόνο στην πρωτεύουσα του νησιού και περί το λιμάνι, καθώς εκεί

συγκεντρώνεται η κύρια δραστηριότητα. Στην ύπαιθρο απαντώνται κυρίως οι φυσιολογικά αναμενόμενοι θόρυβοι. Η κυκλοφορία οχημάτων είναι πολύ μικρή για να δημιουργήσει οποιοδήποτε πρόβλημα στην περιοχή του έργου.

8.2.3. Ρύπανση από απορρίμματα, στερεά και υγρά απόβλητα

Κύρια πηγή ρύπανσης του υδάτινου αποδέκτη είναι η διάχυση φωσφόρου ως παράγωγου της σταβλισμένης κτηνοτροφίας και δευτερευόντως τα αστικά λύματα. Η μικρή βιομηχανική δραστηριότητα του νησιού και ο αγροτικός χαρακτήρας των λιγυστών μεταποιητικών μονάδων κυρίως ελαιουργείων που συνιστούν και την κύρια ενασχόληση όχι μόνο του νομού αλλά και όλης της περιφέρειας, προσδιορίζουν και την έκταση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από βιομηχανικά απόβλητα. Σχετικές καταγραφές δεν υπάρχουν, σύμφωνα όμως με την μελέτη για το Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου, ο νομός Κέρκυρας εμφανίζει τα χαμηλότερα επίπεδα ρυπαντικών φορτίων με αξιοσημείωτα χαμηλές τιμές αζώτου (N) και φωσφόρου (P). (Δήμος Παξών, 2005)

8.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μονάδας αφαλάτωσης – εκτίμηση και αξιολόγηση

Εισαγωγή

Οι μονάδες αφαλάτωσης δυναμικότητας ανάλογης της μονάδας Κακής Λαγκάδας, θεωρούνται κατά κανόνα ως μικρού μεγέθους και ενεργειακής στάθμης εγκαταστάσεις, με πολύ περιορισμένη παρέμβαση στο περιβάλλον καθαυτές.

Η βασική περιβαλλοντική εμπλοκή συνδέεται με την παραγωγή άλμης. Η περιβαλλοντική αξιολόγηση, επομένως, οφείλει να επικεντρωθεί κατ' εξοχήν στα απόβλητα της μονάδας και τη διάθεσή τους.

8.3.1. Διαθέσιμες τεχνικές διαχείρισης της άλμης

8.3.2. Απόρριψη στη θάλασσα

Η απόρριψη με τελικό αποδέκτη τη θάλασσα ως τρόπος διάθεσης της άλμης, βρίσκει ευρεία εφαρμογή κυρίως στις χώρες του Αραβικού Κόλπου, αλλά και στις ΗΠΑ.

Υλοποιείται με πέντε συναφείς τρόπους:

1. Απ' ευθείας απόχυση στο θαλάσσιο νερό σε απόσταση από την ακτή. Η μεταφορά της άλμης γίνεται με σωλήνες στο προβλεπόμενο βάθος. Λόγω του ότι η άλμη είναι βαρύτερο από το θαλάσσιο νερό και τείνει να λιμνάσει, χρησιμοποιούνται πρόσθετα που επιταχύνουν τη διάχυση.
2. Απόχυση στην παράκτια ζώνη μίξης. Χρησιμοποιείται κυρίως από μικρές μονάδες και αξιοποιεί την τυρβώδη κίνηση του νερού στη ζώνη κυματισμού για να επιταχύνει τη διάχυση της άλμης.
3. Απόχυση σε παράκτια φρέατα. Η ανάμιξη γίνεται στο εσωτερικό της ζώνης ισορροπίας θαλάσσιου και γλυκού νερού και, εν μέρει, στο παράκτιο τμήμα του θαλάσσιου νερού. Προϋποθέτει την ύπαρξη σχηματισμών υψηλής περατότητας σε επαφή με την ακτή.
4. Ανάμιξη με τα απόβλητα σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Εφαρμόζεται κυρίως στις ΗΠΑ, όπου υπάρχουν παραθαλάσσιοι σταθμοί με σημαντικές αποβολές νερού ψύξης προς τη θάλασσα. Η άλμη προστίθεται σταδιακά στο αποβαλλόμενο νερό και εφεξής διαχέεται στο θαλάσσιο υδροφόρο.

Παραλλαγή της αποτελεί συχνά η ανάμιξη σε εργοστάσια κατεργασίας λυμάτων με τελικό αποδέκτη τη θάλασσα.

Η «επιστροφή στην πηγή», που υλοποιείται με την απόρριψη της άλμης στη θάλασσα, θεωρείται καταρχήν ως μία από τις πλέον αποδεκτές και βιώσιμες τεχνικές περιβαλλοντικής διαχείρισης. Λαμβανομένης δε υπόψη της σχέσης του απορριπτόμενου όγκου προς τον ολικό όγκο του θαλάσσιου νερού, η τελική αλλοίωση της σύστασης του τελευταίου είναι απολύτως μηδενική. Η κριτική που υφίσταται ως μέθοδος περιορίζεται στο ότι το συμπύκνωμα, ως ειδικώς βαρύτερο, επικάθεται στον πυθμένα της θάλασσας και παρεμποδίζει την οξυγόνωσή του. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί επηρεάζονται στη διαδικασία της οσμωτικής μεταφοράς του νερού προς τον οργανισμό τους, καθώς η κυτταρική μεμβράνη τους είναι περατή στο καθαρό νερό, όχι όμως στα πυκνά διαλύματά του. Έτσι, η παρατεινόμενη τοπική αύξηση της αλατότητας αποδιώχνει τη θαλάσσια πανίδα προς περιοχές χαμηλής πυκνότητας νερού. Το πρόβλημα είναι καθαρά χρονικό και διαρκεί μέχρις ότου η αλατότητα αποκατασταθεί σε τιμές αποδεκτές για τους οργανισμούς, ή καθαρά τοπικό, εφόσον η αυξημένη πυκνότητα διατηρείται στην ίδια θέση επί μακρόν. Είναι δε προφανές ότι ελαχιστοποιείται τους χειμερινούς μήνες όπου ο κυματισμός και οι ισχυροί άνεμοι διευκολύνουν την ανάμιξη και διάχυση της άλμης.

8.3.4. Απόρριψη στο έδαφος

Υλοποιείται με τρεις βασικά τρόπους:

1. Εισπίεση σε βαθιές γεωτρήσεις. Η τεχνική της εισπίεσης χρησιμοποιείται κυρίως για την απόθεση τοξικών αποβλήτων, έχει δε πρόσφατα επεκταθεί στη διάθεση της άλμης, ως η προσφορότερη λύση για μονάδες αφαλάτωσης εγκατεστημένες στην ενδοχώρα. Η άλμη διοχετεύεται υπό πίεση μέσω γεώτρησης κατάλληλου βάθους σε υδροπερατό εδαφικό ορίζοντα, όπου αναμιγνύεται με το υπόγειο νερό. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή δαπάνη αρχικής επένδυσης και σημαντικό λειτουργικό κόστος χωρίς, ωστόσο, να είναι και η ακριβότερη από τις αντίστοιχες τεχνικές. Προϋπόθεση για την εφαρμογή της είναι ο αποκλεισμός του ενδεχομένου να μολυνθούν γειτονικοί υδροφορείς οι οποίοι χρησιμοποιούνται ή ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν για άντληση. Λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους της άλμης, η ανάμιξη συντελείται (σε

βάθος χρόνου) με τα κατώτερα από τη στάθμη εισπίεσης στρώματα του υπεδαφικού νερού. Παρά ταύτα, και επειδή η άλμη διοχετεύεται υπό υψηλή πίεση, επιδιώκεται ο χώρος διοχέτευσης να περιορίζεται προς τα άνω μέσω κάποιου στεγανού γεωλογικού σχηματισμού. Η ύπαρξη της κατάλληλης γεωλογίας και η καλή γνώση της είναι απαραίτητα στοιχεία για τη διάγνωση της καταλληλότητας της μεθόδου.

2. Διήθηση στο έδαφος μέσω ανάμιξης σε αρδευτικά δίκτυα. Η τεχνική είναι εφαρμόσιμη μόνο στις περιπτώσεις όπου δεν διαπιστώνεται κίνδυνος βλάβης των καλλιεργειών και της ενδημούσας βλάστησης από την αλμύριση, ή ο κίνδυνος μόλυνσης παραεπιφανειακού υδροφόρου υπό δυνητική εκμετάλλευση. Τα εν διαλύσει άλατα συσσωρεύονται σταδιακά στο επιφανειακό στρώμα εδάφους, γεγονός που οριοθετεί τη δυνατότητα διάθεσης σε μεγάλες ποσότητες ή σε διάρκεια χρόνου. Ακόμη και αν η περιοχή όπου τα αλμυρισμένα αρδευτικά νερά θα διοχετευθούν κριθεί κατάλληλη, το υδρολογικό και υδραυλικό καθεστώς της πρέπει να είναι ελεγχόμενο, καθώς η απόπλυση του εδάφους με τη βροχή μπορεί να μεταφέρει ανεξέλεγκτα την αλατότητα σε επιφανειακούς υδροφορείς και εφεξής σε ανεπιθύμητες θέσεις.

8.3.5. Ανάμιξη σε εργοστάσια κατεργασίας λυμάτων

Η διοχέτευση της άλμης σε εγκαταστάσεις κατεργασίας λυμάτων υπόκειται σε περιορισμούς που προκύπτουν από τη σύστασή της. Η υψηλή αναλογία διαλυμένων στερεών της άλμης είναι δυνατό να παρεμποδίζει την καθίζηση των λυμάτων, να περιορίζει τις βιολογικές διεργασίες, και να επηρεάζει τους ελέγχους τοξικότητας της υγρής φάσης. Οι παρεμβολές αυτές στο σύνολό τους συχνά περιορίζουν τις δυνατότητες διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης του νερού που παράγεται στις εγκαταστάσεις. Τα εν διαλύσει στερεά, επίσης, επιτείνουν τη διάβρωση των μηχανικών μερών και των σωληνώσεων του εργοστασίου, γεγονός που αποθαρρύνει τις εγκαταστάσεις λυμάτων στο να δέχονται εισροές άλμης.

8.3.6. Αφυδάτωση και διάθεση της άλμης ως στερεό απόβλητο

Η μέθοδος είναι πρακτικά ταυτόσημη με την τεχνική των αλυκών, προϋποθέτει τη μερική ή ολική ξήρανση των παραγομένων αλάτων και εφαρμόζεται ευρύτατα από πολλές δεκαετίες στις χώρες της Μέσης Ανατολής, όπου το κλίμα την ευνοεί, για μονάδες δυναμικότητας μέχρι 20000 m³/ημ. Η άλμη αποτίθεται σε υδατοστεγανές ή τεχνητά στεγανοποιημένες με φύλλα πολυαιθυλενίου λεκάνες και αφήνεται να συμπυκνωθεί με φυσική εξάτμιση. Το συμπύκνωμα απομακρύνεται περιοδικά από τον πυθμένα, αφυδατώνεται (με φυσικό επίσης τρόπο, ή και τεχνητά, σε περιοχές με όχι επαρκώς ξηρό κλίμα) και αποτίθεται σε χώρους διάθεσης απορριμμάτων. Η εφαρμογή της μεθόδου συναντά δύο μόνο περιοριστικούς παράγοντες: την ύπαρξη ξηρού και θερμού κλίματος και τη διαθεσιμότητα γης. Η απαιτούμενη επιφάνεια λεκάνης είναι συνάρτηση της πυκνότητας της άλμης, και του γενικού ετήσιου συντελεστή επιφανειακής εξάτμισης (συνεκτιμώμενων και των βροχερών περιόδων).

Παραφυάδα της μεθόδου με εμφανή περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα αποτελεί η τεχνική των ηλιακών λεκανών (solar ponds). Αξιοποιεί τη θερμοσυσσωρευτική λειτουργία της λεκάνης για την παραγωγή ενέργειας, έχει ήδη εκφύγει από το πειραματικό στάδιο και εφαρμόζεται εδώ και τρεις τουλάχιστον δεκαετίες στο Ισραήλ, αλλά σε κλίμακα επίδειξης και στις ΗΠΑ, σε μικρής δυναμικότητας μονάδες αφαλάτωσης. Η διαστρωμάτωση της άλμης κατά βάθος της λεκάνης, με τα πυκνότερα στρώματα στον πυθμένα και ένα στρώμα πολύ αραιής άλμης έως και καθαρού νερού στην επιφάνεια, επιτρέπει στο πυθμενικό στρώμα να δρα ως ταμιευτήρας ηλιακής ενέργειας, δημιουργώντας μια θερμοκρασιακή διαφορά με την επιφάνειά του, ανάλογα με την εποχή του έτους, φθάνει και τους 70 οC. Το θερμοκρασιακό δυναμικό αξιοποιείται ως ανανεώσιμη πηγή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που, είτε χρησιμοποιείται για την κίνηση της μονάδας ή τη θερμική ξήρανση του συμπυκνώματος, είτε διατίθεται σε τρίτους.

8.3.7. Βιομηχανική αξιοποίηση της άλμης

Απόπειρες σε πειραματικό στάδιο έχουν γίνει για την απόληψη χρήσιμων συστατικών (αλάτων) από την άλμη. Η οικονομικότητά τους δεν έχει επιβεβαιωθεί, εξετάζεται πάντως για μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, όπου η άλμη παράγεται σε αξιόλογες ποσότητες. Περισσότερα υποσχόμενη είναι η χρήση της άλμης από

μονάδες αντίστροφης όσμωσης για την παραγωγή υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl) το οποίο χρησιμοποιείται για τη χλωρίωση του νερού. Η παραγωγή του βασίζεται σήμερα στην ηλεκτρόλυση τεχνητής άλμης από μαγειρικό αλάτι. Η αντικατάστασή της από άλμη μονάδων αφαλάτωσης, εκτός από το να παρέχει έναν ασφαλή τρόπο διάθεσης της τελευταίας, πιστεύεται ότι θα μειώσει πολύ σημαντικά το κόστος λειτουργίας των μονάδων κατεργασίας λυμάτων. (Δήμος Παξών, 2005)

8.4. Εφαρμοσιμότητα των τεχνικών στην άλμη της μονάδας Παξών

8.4.1. Διάθεση στη θάλασσα

Η τεχνική αυτή έχει ήδη επιλεγεί και αδειοδοτηθεί περιβαλλοντικά για την προγραμματισμένη στα πλαίσια της «Μελέτης Ύδρευσης Ν.Κέρκυρας» εγκατάσταση αφαλάτωσης. Είναι ασφαλώς η απλούστερη και φθηνότερη λύση, με δεδομένη τη γειννίαση του έργου με την ακτή.

8.4.2. Εισπίεση σε γεώτρηση

Ο καρστικός υδροφόρος των ασβεστολίθων των Παξών βρίσκεται υπό εκμετάλλευση παρότι η ποιότητα του παραγόμενου νερού δεν είναι ικανοποιητική. Τυχόν εφαρμογή εισπίεσης, αν δεν γίνει σε επιμελώς επιλεγμένη θέση και βάθος, θα μπορούσε να επιβαρύνει ακόμη περισσότερο τις παραγωγικές γεωτρήσεις μέσω διάχυσης. Εξ' άλλου, εισπίεση κοντά στην περιοχή του έργου θα ισοδυναμούσε πρακτικά με απευθείας απόχυση στη θάλασσα, καθώς διαπιστώνονται αρκετές εκφορτίσεις του υδροφορέα κατά μήκος της ακτογραμμής στον όρμο της Κακιάς Λαγκάδας. Μεταφορά σε μεσόγεια θέση, εκτός από σημαντικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας, θα επέφερε πρόσθετες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Υπογραμμίζεται επίσης ότι η εισπίεση καθαυτή συνδέεται και με ένα σημαντικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.

8.4.3. Ανάμιξη στη μονάδα κατεργασίας λυμάτων

Τόσο η λύση 3 όσο και η λύση...

8.4.4. Ανάμιξη στο δίκτυο άρδευσης

...δεν μπορούν να έχουν εφαρμογή, καθώς δεν υπάρχει μονάδα κατεργασίας λυμάτων στο νησί, αλλά ούτε και εκτάσεις καλλιεργειών που θα μπορούσαν ν' απορροφήσουν τις ποσότητες άλμης που παράγονται.

8.4.5. Ξήρανση της άλμης

Το σχετικά υγρό κλίμα των Ιονίων εμφανίζεται καταρχήν απρόσφορο για την ξήρανση της άλμης σε λεκάνη. Ίσως, όμως, μεγαλύτερο πρόβλημα αποτελεί η εξεύρεση κατάλληλης έκτασης στο μικρό νησί των Παξών για τη δημιουργία της

λεκάνης εξάτμισης. Για την προβλεπόμενη ολική δυναμικότητα παραγωγής άλμης, η απαίτηση σε έκταση πιθανότατα υπερβαίνει τα 100 στρέμματα αβαθούς (<5μ) εδαφικής κοιλότητας, τα οποία δεν είναι δυνατό να εξασφαλιστούν στο ορεινό ανάγλυφο του νησιού, η δε τεχνητή διαμόρφωσή τους επισύρει ένα πρακτικά απαγορευτικό κόστος.

Συμπερασματικά : Η απόχυση στη θάλασσα εμφανίζεται ως η μόνη τεχνικά και οικονομικά εφικτή λύση για τα απόβλητα της μονάδας.

8.5. Συνοπτική καταγραφή των επιπτώσεων

Στα επόμενα καταγράφονται με τη μορφή απαντήσεων σε ερωτηματολόγιο οι αναμενόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μονάδας αυτής.

Οι απαντήσεις παρέχονται χωριστά για επιπτώσεις που εκδηλώνονται κατά την κατασκευή και κατά τη λειτουργία του έργου, τηρείται δε η παρακάτω σημειολογία:

√ = Επίπτωση κατά την διάρκεια της λειτουργίας του έργου

√ = Επίπτωση κατά την διάρκεια κατασκευής του έργου

(Δήμος Παξών, 2005)

A/A	ΕΡΩΤΗΣΗ	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΌΧΙ
1	ΕΔΑΦΟΣ: Το έργο θα προκαλέσει:			
	α) Ασταθείς καταστάσεις εδάφους ή αλλαγές στη γεωλογική διάταξη των πετρωμάτων;			✓ ✓
	β) Διασπάσεις, μεταποιήσεις, συμπίεσεις ή υπερκαλύψεις του επιφανειακού στρώματος του εδάφους;			✓ ✓
	γ) Αλλαγές στην τοπογραφία ή στα ανάγλυφα χαρακτηριστικά του εδάφους;			✓ ✓
	δ) Καταστροφή, επικάλυψη ή αλλαγή οποιουδήποτε μοναδικού γεωλογικού ή φυσικού χαρακτηριστικού;			✓ ✓
	ε) Οποιαδήποτε αύξηση της διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο ή το νερό, επί τόπου ή μακράν του τόπου αυτού;			✓ ✓
	στ) Αλλαγές στην εναπόθεση ή διάβρωση της άμμου των ακτών ή αλλαγές στην δημιουργία λάσπης, στην εναπόθεση ή διάβρωση που μπορούν ν' αλλάξουν την κοίτη ενός ποταμού ή ρυακίου ή τον πυθμένα της θάλασσας ή οποιουδήποτε κόλπου, ορμίσκου ή λίμνης;			✓ ✓
ζ) Κίνδυνο έκθεσης ανθρώπων ή περιουσιών σε γεωλογικές καταστροφές όπως σεισμοί, κατολισθήσεις εδαφών ή λάσπης, καθιζήσεις ή παρόμοιες καταστροφές;			✓ ✓	
2	ΑΕΡΑΣ: Το έργο θα προκαλέσει:			
	α) Σημαντικές εκπομπές στην ατμόσφαιρα ή υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας;			✓ ✓
	β) Δυσάρεστες οσμές;			✓ ✓
	γ) Αλλαγή των κινήσεων του αέρα, της υγρασίας ή της θερμοκρασίας ή οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα είτε τοπικά είτε σε μεγαλύτερη έκταση;			✓ ✓
3	ΝΕΡΑ: Το έργο θα προκαλέσει:			
	α) Αλλαγές στα ρεύματα, ή αλλαγές στην πορεία ή κατεύθυνση των κινήσεων των πάσης φύσεως επιφανειακών υγρών;			✓ ✓
	β) Αλλαγές στο ρυθμό απορρόφησης, στις οδούς αποστράγγισης ή στο ρυθμό και την ποσότητα απόπλυσης του εδάφους;			✓ ✓
	γ) Μεταβολές στην πορεία ροής των νερών από πλημμύρες;			✓ ✓
	δ) Αλλαγές στην ποσότητα του επιφανειακού νερού σε οποιονδήποτε υδάτινο όγκο;			✓ ✓
	ε) Απορρίψεις υγρών αποβλήτων σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά με μεταβολή της ποιότητάς τους;	✓		✓
	στ) Μεταβολή στην κατεύθυνση ή στην παροχή των υπόγειων υδάτων;			✓ ✓
	ζ) Αλλαγή στην ποσότητα των υπόγειων υδάτων είτε δι' απευθείας προσθήκης νερού ή απόληψης αυτού, είτε δια παρεμποδίσεως ενός υπόγειου τροφοδότη των υδάτων αυτών σε τομές ή ανασκαφές;			✓ ✓
	η) Σημαντική μείωση της ποσότητας του νερού, που θα ήταν κατά τα άλλα διαθέσιμη για το κοινό;			✓ ✓
θ) Κίνδυνο έκθεσης ανθρώπων ή περιουσιών σε καταστροφές από νερό, όπως πλημμύρες ή παλιρροιακά κύματα;			✓ ✓	

A/A	ΕΡΩΤΗΣΗ	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΌΧΙ
4	ΧΛΩΡΙΔΑ: Το έργο θα προκαλέσει:			
	α) Αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό οποιωνδήποτε ειδών φυτών (περιλαμβανομένων και δέντρων, θάμνων κλπ.);			✓ ✓
	β) Μείωση του αριθμού οποιωνδήποτε μοναδικών σπάνιων ή υπό εξαφάνιση ειδών φυτών;			✓ ✓
	γ) Εισαγωγή νέων ειδών φυτών σε κάποια περιοχή ή παρεμπόδιση της φυσιολογικής ανανέωσης των υπαρχόντων ειδών;			✓ ✓
	δ) Μείωση της έκτασης οποιασδήποτε αγροτικής καλλιέργειας;			✓ ✓
5	ΠΑΝΙΑ: Το έργο θα προκαλέσει:			
	α) Αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό οποιωνδήποτε ειδών ζώων (πηγών, ζώων περιλαμβανομένων των ερπετών, ψαριών και θαλασσινών, βενθικών οργανισμών ή εντόμων);			✓ ✓
	β) Μείωση του αριθμού οποιωνδήποτε μοναδικών σπάνιων ή υπό εξαφάνιση ειδών ζώων;			✓ ✓
	γ) Εισαγωγή νέων ειδών ζώων σε κάποια περιοχή ή παρεμπόδιση της αποδημίας ή των μετακινήσεων των υπαρχόντων ζώων;			✓ ✓
	δ) Χειροτέρευση του φυσικού περιβάλλοντος των υπαρχόντων ψαριών ή άγριων ζώων;	✓		✓
6	ΘΟΥΡΥΒΟΣ: Το έργο θα προκαλέσει:			✓ ✓
	α) Αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου;			✓ ✓
	β) Έκθεση ανθρώπων σε υψηλή στάθμη θορύβου;			✓ ✓
7	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ: Το έργο θα προκαλέσει σημαντική μεταβολή της παρούσας ή της προγραμματισμένης για το μέλλον χρήσης γης;			✓ ✓
8	ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ: Το έργο θα προκαλέσει:			✓ ✓
	α) Αύξηση του ρυθμού χρήσης/αξιοποίησης οποιουδήποτε φυσικού πόρου;			✓ ✓
	β) Σημαντική εξάντληση οποιουδήποτε μη ανανεώσιμου φυσικού πόρου;			✓ ✓
9	ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΑΝΟΜΑΛΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ: Το έργο ενέχει κίνδυνο έκρηξης ή διαφυγής επικίνδυνων ουσιών (περιλαμβανομένων, εκτός των άλλων και πετρελαίου, εντομοκτόνων, χημικών ουσιών ή ακτινοβολίας) σε περίπτωση ατυχήματος ή ανώμαλων συνθηκών;			✓ ✓
10	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ: Το έργο θα αλλάξει την εγκατάσταση, διασπορά, πυκνότητα ή ρυθμό αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού της περιοχής ίδρυσης του έργου;			✓ ✓
11	ΚΑΤΟΙΚΙΑ: Το έργο θα επηρεάσει την υπάρχουσα κατοικία ή θα δημιουργήσει ανάγκη για πρόσθετη κατοικία στην περιοχή ίδρυσης του έργου;			✓ ✓

A/A	ΕΡΩΤΗΣΗ	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΌΧΙ
12	ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ/ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ: Το έργο θα προκαλέσει:			
	α) Δημιουργία σημαντικής επιπρόσθετης κίνησης τροχοφόρων;			✓ ✓
	β) Επιπτώσεις στις υπάρχουσες θέσεις στάθμευσης ή στην ανάγκη για νέες θέσεις στάθμευσης;			✓ ✓
	γ) Σημαντική επίδραση στα υπάρχοντα συστήματα συγκοινωνίας;			✓ ✓
	δ) Μεταβολές στους σημερινούς τρόπους κυκλοφορίας ή κίνησης ανθρώπων και/ή αγαθών;			✓ ✓
	ε) Μεταβολές στη θαλάσσια κίνηση;			✓ ✓
	στ) Αύξηση των κυκλοφοριακών κινδύνων;			✓ ✓
13	ΕΝΕΡΓΕΙΑ: Το έργο θα προκαλέσει:		✓	✓
	α) Χρήση σημαντικών ποσοτήτων καυσίμου ή ενέργειας;			
	β) Σημαντική αύξηση της ζήτησης των υπάρχουσων πηγών ενέργειας ή απαίτηση για δημιουργία νέων πηγών ενέργειας;			✓ ✓
14	ΚΟΙΝΗ ΩΦΕΛΕΙΑ: Το έργο θα συντελέσει στην ανάγκη για σημαντικές αλλαγές στους εξής τομείς κοινής ωφέλειας;			✓ ✓
	α) Ηλεκτρισμο;			
	β) Συστήματα επικοινωνιών;			✓ ✓
	γ) Υδρευση;			✓ ✓
	δ) Υπονόμεους ή σπητικούς βόθρους;			✓ ✓
	ε) Αποχέτευση νερού βρόχινου;			✓ ✓
	στ) Στερεά απόβλητα και διάθεση αυτών;			✓ ✓
15	ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ: Το έργο θα προκαλέσει:			
	α) Δημιουργία οποιουδήποτε κινδύνου ή πιθανότητας κινδύνου για βλάβη της ανθρώπινης υγείας (μη συμπεριλαμβανομένης της ψυχικής υγείας);			✓ ✓
	β) Έκθεση ανθρώπων σε πιθανούς κινδύνους βλάβης της υγείας τους;			✓ ✓
16	ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ: Το έργο θα προκαλέσει παρεμπόδιση οποιασδήποτε θέας του ορίζοντα ή οποιασδήποτε κοινής θέας ή θα καταλήξει στη δημιουργία ενός μη αποδεκτού αισθητικά τοπίου, προσοτού στην κοινή θέα;			✓ ✓
17	ΑΝΑΨΥΧΗ: Το έργο θα έχει επιπτώσεις στην ποιότητα ή ποσότητα των υπάρχουσων δυνατοτήτων αναψυχής;			✓ ✓
18	ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ: Το έργο θα καταλήξει σε αλλαγή ή καταστροφή κάποιας αρχαιολογικής περιοχής;			✓ ✓
19	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ: Το έργο βρίσκεται σε προστατευτέα περιοχή σύμφωνα με το άρθρο 21 του ν. 1650/86;	✓ ✓		
20	ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΟΡΙΣΜΑΤΩΝ: Έχει το έργο τη δυνατότητα να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον;		✓	✓

9. Συμπεράσματα - Προτάσεις για την εξέλιξη της μονάδας αφαλάτωσης στους Παξούς

Η ήδη υπάρχουσα μονάδα αφαλάτωσης της Κακής Λαγκάδας όπως είδαμε εξυπηρετεί τους πολίτες των Παξών και καλύπτει πλήρως τις αρδευτικές τους ανάγκες καθώς παράγει άριστης ποιότητας νερό. Τα βασικά ζητούμενα της μονάδας δηλαδή είναι πλήρως καλυμμένα. Παρόλα αυτά υπάρχει ένα ζήτημα στο οποίο αξίζει να αναφερθούμε καθώς στην εποχή μας αποτελεί φλέγον ζήτημα. Το περιβάλλον.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο η μονάδα αφαλάτωσης απορρίπτει σημαντικές ποσότητες άλμης καθώς βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία. Παρόλα αυτά δεν προκαλεί ιδιαίτερες διαταραχές στη θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα στην περιοχή όπου αυτή εκχύνεται καθώς η μονάδα είναι μικρής δυναμικότητας και τα θαλάσσια ρεύματα της περιοχής είναι δυνατά με αποτέλεσμα να διαλύεται και να ισορροπεί γρήγορα η πυκνότητα των αλάτων. Ένα άλλο περιβαλλοντικό μελανό σημείο είναι η λειτουργία της μονάδας με ηλεκτρική ενέργεια η οποία είναι και ένας από τους παράγοντες που διαμορφώνει την τιμή του νερού στον καταναλωτή. Η συνεχής κατανάλωση ενέργειας από τη μονάδα προσθέτει ένα σημαντικό ποσοστό ρύπων στο νησί. Θα ήταν ιδανικό λοιπόν να τεθεί μία πρόταση για χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη λειτουργία της μονάδας αυτής.

Μετά από μελέτη των καιρικών συνθηκών της περιοχής των Παξών, ερχόμαστε στο συμπέρασμα πως η ιδανικότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορεί να εξασφαλίσει για τις περισσότερες μέρες του έτους συνεχή ροή ενέργειας είναι η ηλιακή. Ωστόσο, αποτελεί και ιδανική λύση και από οικονομικής πλευράς καθώς σε σχέση με άλλες εγκαταστάσεις για παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί οικονομικά την πιο προσιτή. Με τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να δοθεί λύση στην ηλεκτροδότηση της μονάδας και πέρα των μηδενικών ρύπων να μειωθεί και η τιμή του νερού στον καταναλωτή.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (πάνελ) ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ποσοστό 14% περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε



Εικόνα 21: Φωτοβολταϊκά πάνελ. (Διαδίκτυο 8)

ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. (Διαδίκτυο 8)

Θα ήταν ιδανικό αν ο Δήμος Παξών προχωρούσε στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ στη περίμετρο της λιμνοδεξαμενής έτσι ώστε να μην επέμβει στο τοπίο του νησιού.



Εικόνα 22: Λιμνοδεξαμενή. Σε αυτήν αποθηκεύεται το καθαρό νερό της αφαλάτωσης και τα όμβρια ύδατα που συλλέγονται τις βροχερές μέρες. Τα πάνελ θα μπορούσαν να τοποθετηθούν στην περίμετρο της λιμνοδεξαμενής αποφεύγοντας έτσι το χώρο που θα κατελάμβαναν τα πάνελ στο έδαφος.

Η ιδανικότερη και οικονομικότερη λύση θα ήταν αυτή του αυτοπαραγωγού. Σε αυτή την περίπτωση η ενέργεια που παράγουν τα πάνελ πάνε στη Δ.Ε.Η. και γίνεται ένας συμψηφισμός (όσες KWh παράγω τόσες παίρνω πίσω). Στην περίπτωση του

ανεξάρτητου παραγωγού όμως, η τιμή αγοράς και πώλησης είναι διαφορετική. Η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά είναι 0,45/ KWh και αυτή της αγοράς € 0.10 /KWh.

Κλείνοντας, θα μπορούσαμε να πούμε πως μετά από μία τέτοια αλλαγή η μονάδα της Κακής Λαγκάδας θα αποτελούσε πρότυπο. Όχι μόνο για τους μηδενικούς ενεργειακούς της ρύπους αλλά και για το άριστης ποιότητας νερό.

10. Βιβλιογραφία

- ✓ Christiansen, J., Olsen, E., Willardson, 1977. Irrigation water quality evaluation. Journal of the Irrigation Drainage Div., Proc. ASCE, 103 (IR2): 155-169.
- ✓ Culligan (1) ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε., 2005, Τεχνική περιγραφή της διεργασίας αφαλάτωσης. Αθήνα.
- ✓ Culligan (2) ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε., 2005, Τεύχος κόστους λειτουργίας. Αθήνα.
- ✓ Δήμος Παξών, 2005, Προμελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων, Τεχνική Έκθεση, Εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης στη θέση Κακή Λαγκάδα, Αθήνα.
- ✓ Dodeen, L., 1958. Studies of water quality criteria. Proc. of the conference on Quality for water irrigation. Water Resources Center, Univ. of California, Davis.
- ✓ Κώτσιρας Α.: 2009. Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος της λαχανοκομίας IV, Υδροπονικές Καλλιέργειες, Καλαμάτα, 98.
- ✓ Karavitis C. A. and P. Kerkides: 2002. Estimation of the Water Resources Potential in the Island System of the Aegean Archipelago, Greece, Water International, Vol. 27, No. 21, p. 243-254.
- ✓ Kovda, V., Yaron, B., Shalhevet, J., 1967. Quality of irrigation water. In: Int. Sourcebook on Irrigation and Drainage of Arid Lands in Relation to Salinity and Alkalinity. Ed. Kovda V. et al, FAO, 246-282.
- ✓ Πανώρας Α., Ηλίας Α.: 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη. 33- 79.

- ✓ Πανώρας Α., Ι. Μαυρουδής, Π. Βαφειάδης: 1994. Αξιολόγηση της καταλληλότητας του Αρδευτικού νερού για γεωργική χρήση. Γεωτεχνικά Επιστημονικά θέματα, Επισ. Περ. ΓΕΩΤΕΕ, τόμος 5, τεύχος 4, 22- 28.
- ✓ Παλιεράκης Γ., 2007, Διπλωματική Εργασία 'Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών', Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σ. 18.
- ✓ Realnews, 2009, Τεύχος Κυριακή 24 Μαΐου 2009, σ. 8-9
- ✓ Σαχτούρη Κ., 2008, Πτυχιακή εργασία 'Μελέτη σκοπιμότητας μονάδας αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια', Τ.Ε.Ι. Κρήτης Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, σ. 19-34
- ✓ Scofield, C., 1935. The salinity of irrigation water. Smithsonian Institute Annual Report, 275-287.
- ✓ Shainberg, I, xcu Oster, J., 1978. Quality of irrigation water. Int. Irrigation Information Center Publication, No2, 65 p.
- ✓ Wilcox, L., 1958. Water quality from the standpoint of irrigation. Journal of the American Waterworks Association, 5.
- ✓ Wilcox, L. and Magistad, O., 1943. Interpretation of Analysis of irrigation waters and the relative tolerance of crop >lants. U.S. Bureau of Plant Industry, Soils and Agr. Eng. Washington.

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις:

1. www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/Environmental/desal/history.html
2. www.scwd2desal.org/Page-About_History.php
3. www.aua.gr/gr/.../diaxirisi_perivalontos_poroi_filadio_09-10.pdf
4. www.waterinfo.gr/greek/pdf/irrigation_water_quality.pdf
5. www.ionianislands.greekliberals.net/0010000104
6. www.itia.ntua.gr/getfile/660/1/documents/2005watercyclegreek.pdf
7. www.water.usgs.gov/
8. www.cres.gr/.../energeia_politis_photovol.htm
9. www.aegean-energy.gr
10. www.piraeusbank.gr/Documents/internet/Economic_Research/Kladikes_Meletes/2010/afalatosi_nerou.pdf
11. <http://el.wikipedia.org>
12. www.itia.ntua.gr/el/docinfo/958/
13. ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lwdp5_e.pdf
14. www.itia.ntua.gr/getfile/958/1/documents/2010karachaliou.pdf
15. www.filtroemporiki.gr
16. www.interexperts.gr/Osmosis_questions.htm
17. www.genesiswatertech.com/desal-ge-osmonics