ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογή μονάδας αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στο νησί της Πάτμου

Καλλονιάτη Ανδρέα

ΧΑΝΙΑ 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι ο σχεδιασμός μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης με χρήση αιολικής ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της, στο άνυδρο νησί της Πάτμου. Ο σχεδιασμός έγινε με την βοήθεια του προγράμματος ROSA 6.0. Επιλέχτηκε το βέλτιστο σενάριο το οποίο είναι το κατάλληλο για τη λειτουργία της μονάδας στο νησί της Πάτμου. Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή Βασίλειο Γκέκα, για την ανάθεση και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης διπλωματικής εργασίας, όπως και τον καθηγητή Γεώργιο Καρατζά και Αφροδίτη Παπαδοπούλου για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Σελ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ
ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ……. 5

1.1. Γενικά στοιχεία…… 5
1.2. Πηγές νερού…… 5
1.3. Ποιότητα πόσιμου νερού…… 7
1.4. Χημική σύσταση θαλασσινού νερού …… 9
1.5. Το πρόβλημα της λειψυδρίας στον κόσμο…… 11
1.6. Το πρόβλημα έλλειψης νερού στην Ελλάδα…… 12
1.7. Τα άνυδρα νησιά…… 13
1.8. Αντιμετώπιση της λειψυδρίας…… 16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ…… 19

2.1. Τι είναι η αφαλάτωση…… 19
2.3. Εφαρμογή της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο…… 21
2.4. Εφαρμογή της αφαλάτωσης στην Ελλάδα…… 23
2.5. Μέθοδοι αφαλάτωσης…… 25
2.5.1. Θερμικές διεργασίες …… 26
2.5.1.1 Μέθοδος αφαλάτωσης με πολυβάθμια αστραπιαία εξαέρωση…… 27
2.5.1.2 Μέθοδος αφαλάτωσης πολυβάθμιων αποστακτήρων……. 28
2.5.1.3 Μέθοδος αφαλάτωσης με εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών …… ….. 29
2.5.1.4 Μέθοδος αφαλάτωσης με ηλιακή απόσταξη…… 30
2.5.2. Μέθοδοι με μεμβράνες…… 31
2.5.2.1. Μέθοδος αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση …… 33
2.5.2.2. Μέθοδος αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση…… 34
2.5.3. Άλλες μέθοδοι αφαλάτωσης…… 36
2.5.3.1. Μέθοδος διαχωρισμού με ψύξη……. 36
2.5.3.2. Μέθοδος ανταλλαγής ιόντων…… 37
2.6. Σύγκριση τεχνολογιών αφαλάτωσης…… 38
2.7. Κόστος…… 41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ……. 45

3.1. Αφαλάτωση με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας…… 45
3.2. Αφαλάτωση με χρήση αιολικής ενέργειας…… 47
3.3. Αιολική ενέργεια…… 50
3.4. Αιολική ενέργεια και τεχνικά αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό …… 52
3.5. Πραγματικό αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό…… 59
3.6. Περιγραφή μονάδας ανεμογεννήτριας…… 61
3.7. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των Α/Γ …… 63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΠΑΤΜΟΥ…… 64

4.1 Εισαγωγή……... 64
4.2 Υφιστάμενη κατάσταση ……... 67
4.3 Εκτίμηση μόνιμου πληθυσμού ……. 70
4.4 Εκτίμηση εποχιακού πληθυσμού…….. 71
4.5 Υδρευτικές ανάγκες μόνιμου πληθυσμού……. 73
4.6 Υδρευτικές ανάγκες εποχιακού πληθυσμού…….. 74
4.7 Αρδευτικές ανάγκες(γεωργικές και κτηνοτροφικές)……. 76
4.8 Υπολογισμός όγκου δεξαμενής……. 77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ……... 80

5.1 Βασική περιγραφή φαινομένου και διαδικασίας…….. 80
5.2 Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης……...…… 82
5.3 Θεωρητική μελέτη μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης…… 86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ROSA 6.0 … 94

6.1 Σχεδιασμός εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση…….…..……. 94
6.1.1. Προ-κατεργασία θαλασσινού νερού……... 94
6.1.1.2. Τα στάδια προ-κατεργασίας……... 95
6.1.2. Κυρίως σύστημα αφαλάτωσης…… 97
6.1.3. Μετεπεξεργασία……... 98
6.2 Σχεδιασμός συστήματος αντίστροφης όσμωσης……...…… 99
6.2.1. Εφαρμογή του προγράμματος ROSA 6.0……..... 105
6.3 Συμπεράσματα……...… 129
6.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την κατασκευή και λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης……..……..... 132

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ
ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

1.1 Γενικά στοιχεία

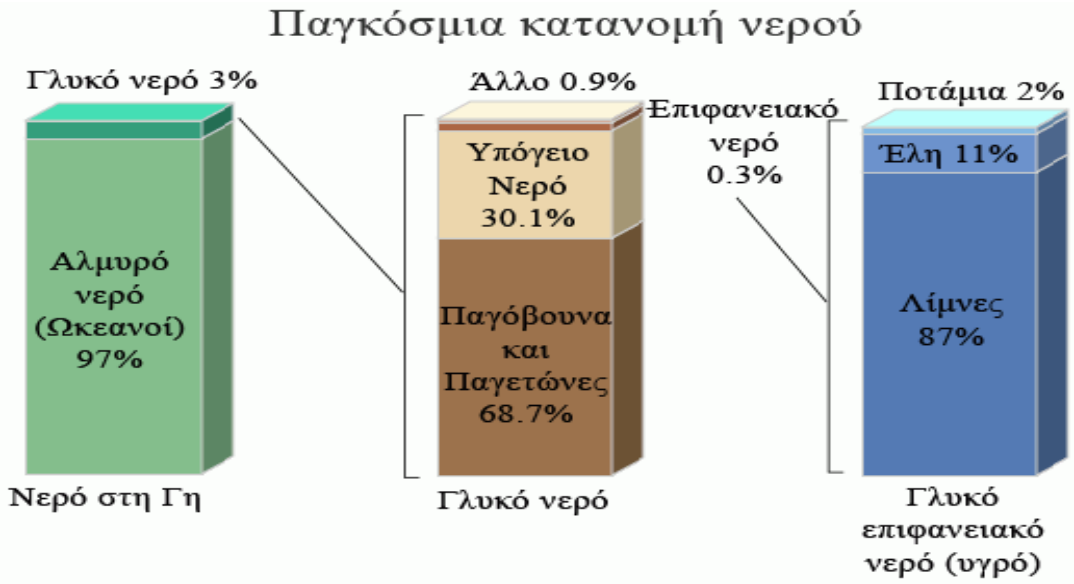
Η σημασία του νερού είναι πολύτιμη στη δημιουργία, διατήρηση και ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού. Η σημερινή ανάπτυξη του πολιτισμού, αλλαγές στις συνήθειες, αλλά και οι αυξημένες ανάγκες των κατοίκων των μικρών και μεγάλων αστικών κέντρων έχει δημιουργήσει τρομακτική ζήτηση βιομηχανικού και πόσιμου νερού. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης σε νερό κατάλληλης ποιότητας οφείλεται στους εξής λόγους :

- Αύξηση του μόνιμου πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου
- Μεγάλες μετακινήσεις πληθυσμών σε μικρές χρονικές περιόδους (τουρισμός)
- Ανάπτυξη των αρδευόμενων καλλιεργουμένων εκτάσεων
- Χρήση μεγάλων ποσοτήτων στη βιομηχανία χωρίς εφαρμογή τεχνικών ανακύκλωσης ή επαναχρησιμοποίησης

Έτσι οι υπάρχοντες υδατικοί πόροι σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι επαρκείς για την κάλυψη της κατανάλωσης. Ακόμη κι αν είναι το νερό διαθέσιμο σε επαρκείς ποσότητες, δεν έχει τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά για τη χρήση που επιθυμείται. Συνεπώς απαιτείται κατεργασία ακόμη και του γλυκού νερού. Λαμβάνοντας υπόψη την τεράστια ποσότητα του θαλασσινού νερού και των υφάλμυρων υδατικών πόρων είναι λογική η προσπάθεια παραγωγής νερού κατάλληλης ποιότητας για συγκεκριμένη χρήση από τα θαλασσινά ή υφάλμυρα νερά.

1.2 Πηγές νερού

Από τα συνολικά 1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα του νερού στη Γη, περισσότερο από 96% είναι αλμυρό. Επίσης, το 68% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες. Ακόμα ένα 30% του γλυκού νερού βρίσκεται στους υπόγειους υδροφορείς. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες, είναι συνολικά 93.100 κυβικά χιλιόμετρα και αντιπροσωπεύει περίπου το 1/150 του 1% του συνολικού νερού στη Γη. Παρά ταύτα, τα ποτάμια και οι λίμνες είναι οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.



Εικόνα 1: Παγκόσμια κατανομή υδάτινων πόρων

Στον παρακάτω πίνακα 1 παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα στοιχεία της εικόνας 1 :

Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού			
Μορφή Νερού	**Όγκος νερού σε κυβικά χιλιόμετρα**	**Ποσοστό γλυκού νερού**	**Ποσοστό συνολικού νερού**
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	--	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

Πηγή: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

Πίνακας 1: Παγκόσμια κατανομή υδατικών πόρων

Συνεπώς οι **πηγές νερού** που μπορεί να παρέχουν άμεσα χρησιμοποιήσιμο νερό είναι οι εξής:

- **Ποτάμια** : Όλα τα ποτάμια εκβάλουν σε λίμνες ή στη θάλασσα. Το νερό των ποταμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα με μικρή σχετικά κατεργασία εφόσον δεν δέχονται βιομηχανικά ή αστικά απόβλητα
- **Λίμνες** : Η ποιότητα του νερού των λιμνών εξαρτάται από την ποιότητα του νερού των ποταμών που εκβάλουν σε αυτές
- **Υπόγειο νερό** : Τα υπόγεια νερά περιλαμβάνουν κυρίως τα διάφορα φυσικά ή τεχνητά πηγάδια. Περίπου η μισή ποσότητα του νερού βροχόπτωσης ή χιονιού και χαλαζιού αποθηκεύεται εντός του εδάφους ενισχύοντας τον υδροφόρο ορίζοντα
- **Θαλάσσιο νερό** : Μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για βιομηχανική και οικιακή χρήση μετά από επεξεργασία αφαλάτωσης

Η πλέον **ανεξάντλητη πηγή νερού είναι προφανώς το θαλασσινό νερό** και σε αυτό εστιάζεται τα τελευταία χρόνια η προσπάθεια κατεργασίας του, μέσω διεργασιών αφαλάτωσης για την παραγωγή γλυκού νερού.

1.3 Ποιότητα πόσιμου νερού

Το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, δεν πρέπει να περιέχει χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς σε ποσότητες που μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην υγεία.
Πρέπει να είναι ασφαλές και ακίνδυνο για την υγεία, να μην είναι θολό και να μην έχει χρώμα και δυσάρεστη οσμή και γεύση. Σύμφωνα με την Υγειονομική Διάταξη (Α5/288/23-1-86 ΦΕΚ53/Τεύχος Β΄/20-2-86), **πόσιμο νερό** νοείται το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση, είτε με προηγούμενη επεξεργασία είτε όχι. Οποιαδήποτε και αν είναι η προέλευσή του, παγκοσμίως έχουν τεθεί κάποιες προδιαγραφές που αφορούν την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου νερού από τον άνθρωπο. Οι προδιαγραφές αυτές είναι ελαστικές όσον αφορά τη βιομηχανική και την κοινοτική χρήση, αλλά είναι ιδιαίτερα αυστηρές στην περίπτωση του πόσιμου νερού. Οι προδιαγραφές για το πόσιμο νερό από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας αναφέρονται σε ανώτερες συγκεντρώσεις συγκεκριμένων αλάτων και στην απουσία βακτηριδίων. Αν γίνει υπέρβαση των ορίων, το νερό παύει να θεωρείται πόσιμο. Για τα άλατα οι τιμές των προδιαγραφών παρουσιάζονται στους πίνακες 2,3 που ακολουθούν: Η Υγειονομική Διάταξη για το πόσιμο νερό, που ισχύει σήμερα (δηλ. η Α5/288/23-1-86 ΦΕΚ53/Τεύχος Β΄/20-2-86) είναι εναρμονισμένη με την 80/778/Οδηγία του Συμβουλίου της ΕΟΚ. Στους παρακάτω πίνακες 2,3,4

παρουσιάζονται οι ανώτερες συγκεντρώσεις όλων των παραμέτρων για να θεωρείται πόσιμο το νερό (TDS<500).

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Ακρυλαμίδιο	0,10	μg/l
Αντιμόνιο	5,0	μg/l
Αρσενικό	10	μg/l
Βενζόλιο	1,0	μg/l
Βενζο-α-πυρένιο	0,010	μg/l
Βόριο	1,0	mg/l
Βρωμικά άλατα	10	μg/l
Κάδμιο	5,0	μg/l
Χρώμιο	50	μg/l
Χαλκός	2,0	mg/l
Κυανιούχα άλατα	50	μg/l
1,2-διχλωροαιθάνιο	3,0	μg/l
Επιχλωρυδρίνη	0,10	μg/l
Φθοριούχα άλατα	1,5	mg/l
Μόλυβδος	10	μg/l
Υδράργυρος	1,0	μg/l
Νικέλιο	20	μg/l
Νιτρικά άλατα	50	mg/l
Νιτρώδη άλατα	0,50	mg/l
Παρασιτοκτόνα	0,10	μg/l
Σύνολο παρασιτοκτόνων	0,50	μg/l
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	0,10	μg/l
Σελήνιο	10	μg/l
Τετραχλωροαιθένιο και Τριχλωροαιθένιο	10	μg/l
Ολικά τριαλογονομεθάνια	100	μg/l
Βινυλοχλωρίδιο	0,50	μg/l

Πίνακας 2

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Αργίλιο	200	μg/l
Αμμώνιο	0,50	mg/l
Χλωριούχα άλατα	250	mg/l
Clostridium perfringens (συμπεριλαμβανομένων των σπορίων)	0	αριθμός/100 ml
Χρώμα	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Αγωγιμότητα	2 500	μS cm^{-1} στους 20 °C
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	≥ 6,5 και ≤ 9,5	μονάδες pH
Σίδηρος	200	μg/l
Μαγγάνιο	50	μg/l
Οσμή	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Οξειδωσιμότητα	5,0	mg/l O_2
Θειικά άλατα	250	mg/l
Νάτριο	200	mg/l
Γεύση	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Αριθμός αποικιών σε 22°C	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Κολοβακτηριοειδή	0	αριθμός/100 ml
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Θολότητα	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	

Πίνακας 3

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή (αριθμός/100 ml)
Escherichia coli (E. coli)	0
Εντερόκοκκα	0

Πίνακας 4

1.4 Χημική σύσταση θαλασσινού νερού

Το θαλασσινό νερό περιέχει όλα σχεδόν τα γνωστά στοιχεία υπό μορφή ιόντων. Η πλειοψηφία όμως των στοιχείων αυτών είναι σε τόσο μικρές ποσότητες ώστε μπορούν να αγνοηθούν. Μια τυπική σύσταση θαλασσινού νερού από τη διεθνή βιβλιογραφία δίνεται στον πίνακα 5.

Είδος ιόντος	Περιεκτικότητα, ppm
Νάτριο, Na^{+}	10.561
Μαγνήσιο, Mg^{+}	1.272
Ασβέστιο, Ca^{++}	400
Κάλιο, K^{+}	380
Χλώριο, C^{l-}	18.980
Θειικά, SO_4^{--}	2.649
Όξινα ανθρακικά,HCO_3^{--}	142
Βρώμιο,Br^{-}	65
Άλλα στερεά	34
TDS	34.483

Πίνακας 5: Τυπική σύσταση θαλασσινού νερού

Τα κυριότερα στοιχεία στο θαλασσινό νερό είναι το χλώριο, νάτριο, μαγνήσιο, και το θείο. Ακολουθούν το ασβέστιο, κάλιο, βρώμιο, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία βρίσκονται σε ίχνη. Τα στοιχεία χλώριο, νάτριο, μαγνήσιο, θείο, ασβέστιο, κάλιο, βρώμιο, και άνθρακας αποτελούν το 99.9% όλων των διαλυμένων στοιχείων που βρίσκονται στο θαλασσινό νερό. Τα υπόλοιπα στοιχεία με ποσοστό περίπου 0.1% αντιπροσωπεύουν τα ιχνοστοιχεία, αλλά δεν παύουν να έχουν μεγάλη σπουδαιότητα για τη ζωή. Εξάλλου, τα στοιχεία άνθρακας, άζωτο, φώσφορος και πυρίτιο είναι βασικά για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών, δηλαδή των πρώτων παραγωγών τροφής. Η κυριότερη χημική ένωση του θαλασσινού νερού είναι το χλωριούχο νάτριο (NaCl) και εκφράζεται ως αλατότητα. Με τον όρο αλατότητα περιγράφουμε την περιεκτικότητα σε ολικά στερεά όταν όλα τα ανθρακικά άλατα έχουν μετατραπεί σε οξείδια, όλα τα βρωμιούχα και ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα και όλες οι οργανικές ενώσεις έχουν πλήρως οξειδωθεί. Η τιμή της αλατότητας συνήθως κυμαίνεται από 38-40 ‰. Τα ιόντα που

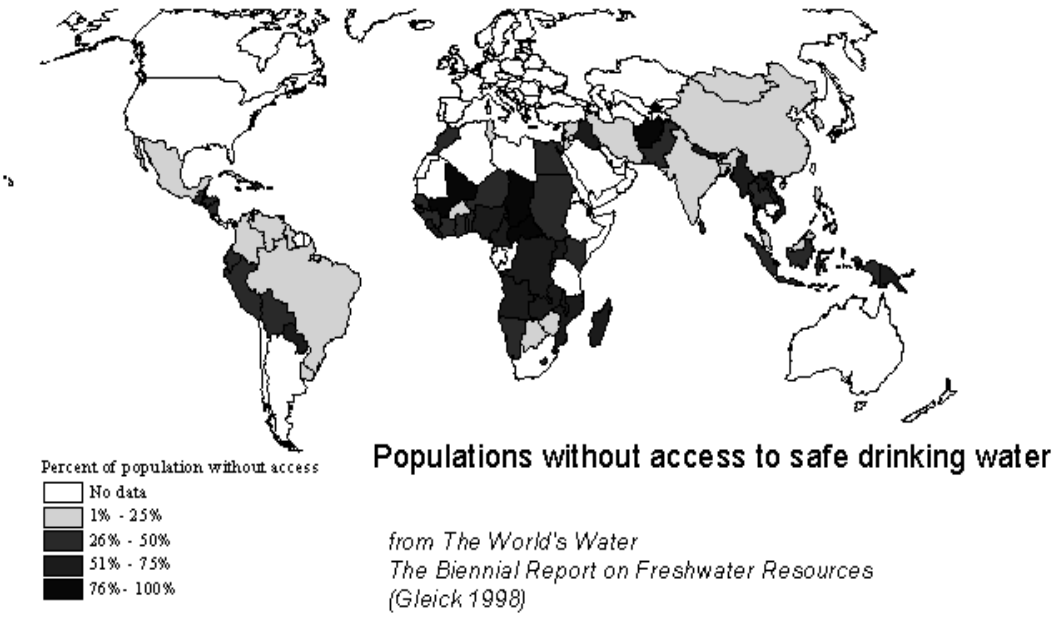
προκαλούν το μεγαλύτερο πρόβλημα κατά την διαδικασία της αφαλάτωσης είναι το μαγνήσιο και το ασβέστιο. Στον πίνακα 6 δίνεται πληρέστερη ανάλυση της σύστασης του θαλασσινού νερού για την περιοχή του Αιγαίου. Από τη σύγκριση των πινάκων 5 και 6 παρατηρείται ότι έχουμε μια αυξημένη συγκέντρωση αλάτων στην περιοχή του Αιγαίου, πράγμα που καθιστά τη διεργασία της αφαλάτωσης υψηλοτέρου κόστους.

Φυσικοχημικές παράμετροι		
Παράμετρος	**Αποτέλεσμα**	**Μονάδα**
pH	7,3	--
Αγωγιμότητα	56.300	μS/cm
Ολικά διαλυμένα στερεά,(TDS)	40.080	mg/l
Χημικές παράμετροι		
Ανθρακικά, (CO_3^{--})	56	mg/l
Όξινα ανθρακικά, (HCO_3^{--})	159	mg/l
Χλώριο, (Cl^-)	22.010	mg/l
Νιτρικά, (NO_3^-)	<5	mg/l
Νιτρώδη, (NO_2^-)	<0,05	mg/l
Αμμωνιακά, (NH_4^+)	<0,2	mg/l
Θειικά, (SO_4^{--})	2.800	mg/l
Πυριτικά, (SiO_2)	<1	mg/l
Ασβέστιο, (Ca^{++})	380	mg/l
Μαγνήσιο, (Mg^+)	1.500	mg/l
Κάλιο, (K^+)	55	mg/l
Νάτριο, (Na^+)	11.600	mg/l
Σίδηρος, (Fe^{++})	<0,04	mg/l
Χαλκός, (Cu^{++})	0,10	mg/l
Μαγγάνιο, (Mn^{++})	<0,04	mg/l
Ψευδάργυρος, (Zn^{--})	0,04	mg/l
Χρώμιο, (Cr^{+++})	0,11	mg/l

Πίνακας 6: Τυπική σύσταση θαλασσινού νερού για την περιοχή του Αιγαίου

1.5 Το πρόβλημα της λειψυδρίας στον κόσμο

Το πρόβλημα της λειψυδρίας αποτελεί ίσως την πιο σημαντική πρόκληση του 21ου αιώνα. Οι ανάγκες για νερό όλο και μεγαλώνουν. Ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει διπλασιαστεί από το 1950, ενώ στο ίδιο χρονικό διάστημα η κατανάλωση νερού έχει εξαπλασιαστεί. Εάν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις, μέχρι το 2025 η ζήτηση για πόσιμο νερό θα αυξηθεί κατά 56%. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, το 2025, ένας στους τρεις κατοίκους της Γης, δηλαδή 3,5 δισεκατομμύρια άνθρωποι σε 52 χώρες, είτε θα ζουν σε καθεστώς λειψυδρίας είτε θα κινδυνεύουν άμεσα από αυτή. Όλα αυτά εντείνουν τις ανησυχίες για επαρκή παροχή νερού και πιθανές διενέξεις σχετικές με την έλλειψη νερού ίσως γίνουν αναπόφευκτες. Η έλλειψη νερού δεν αφορά μόνο τις χώρες της Αφρικής. Έρευνες καταδεικνύουν το σημαντικό περιορισμό των αποθεμάτων παγκοσμίως, ακόμη και στις αναπτυγμένες χώρες λόγω κυρίως των κλιματικών αλλαγών αλλά και της υπερκατανάλωσης. Το θέμα της λειψυδρίας απασχολεί και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στην πρώτη ενδιάμεση έκθεσή της σχετικά με την κατάσταση που επικρατεί σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, διαπιστώνει ότι το φαινόμενο της λειψυδρίας είναι κοινό για ένα μεγάλο αριθμό κρατών μελών. Συμπερασματικά, η έκθεση αναφέρει ότι με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, η Κύπρος και η Μάλτα είναι οι δύο χώρες της Ευρώπης που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της λειψυδρίας και χαρακτηρίζονται ως οι «φτωχές σε νερό» χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



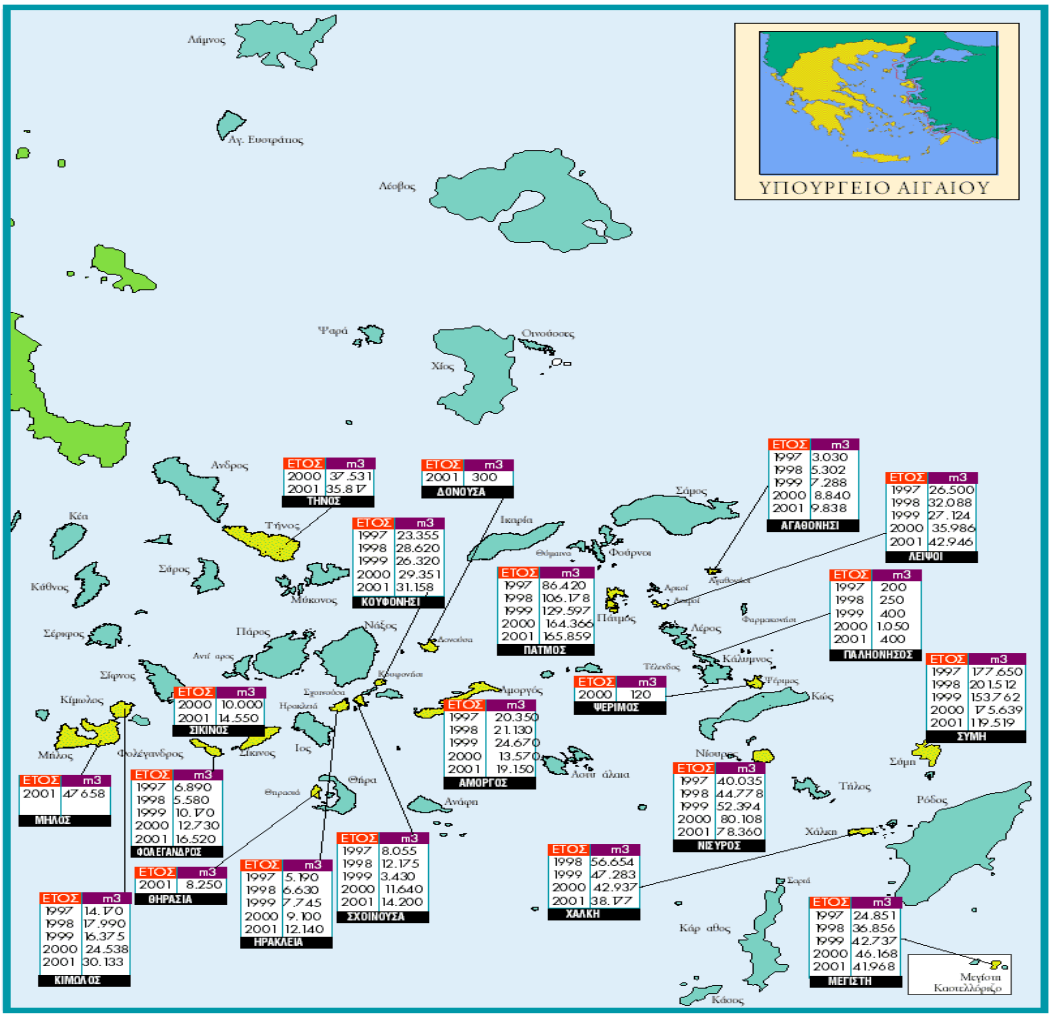
Εικόνα 2: Πληθυσμός χωρίς πρόσβαση σε πόσιμο νερό

1.6 Το πρόβλημα έλλειψης νερού στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, όπως εξάλλου και ολόκληρος ο πλανήτης, βρίσκεται τα τελευταία χρόνια αντιμέτωπη με το μείζον πρόβλημα της λειψυδρίας. Αν και διαθέτει το περισσότερο νερό από όλες τις χώρες της Μεσογείου, το πρόβλημα της λειψυδρίας εμφανίστηκε μετά από διαδοχικούς χειμώνες με ελάχιστες βροχές. Το 85% με 90% των υδατικών πόρων της χώρας είναι επιφανειακά νερά και το 10 με 15% υπόγεια νερά. Εμείς αξιοποιούμε κυρίως τα υπόγεια νερά με γεωτρήσεις. **Η κατάσταση της λειψυδρίας οφείλεται σε μια σειρά από αίτια όπως: η έλλειψη σχεδιασμού, η κακή διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων-πόρων, η καταστροφή των δασών και η μείωση των βροχοπτώσεων λόγω κλιματικών αλλαγών**. Έως το 2100 προβλέπεται, αύξηση της θερμοκρασίας έως και 2 βαθμούς Κελσίου και για τις βροχοπτώσεις σημαντική μείωση ιδιαιτέρα τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ θα υπάρχει αστάθεια στην ένταση και τη συχνότητά τους. Αυτό θα οδηγήσει σε μείωση της γεωργικής παραγωγής, αποδυνάμωση του αγροτικού πληθυσμού και διαμάχες για τη χρήση του νερού. Η γεωργία χρησιμοποιεί στην Ελλάδα το 86% του νερού (11% για βιομηχανική χρήση και 3% για οικιακή), γεγονός που επηρεάζει τόσο την ποιότητα όσο και την ποσότητα των αποθεμάτων. Περίπου 13 εκατομμύρια στρέμματα αρδεύονται στη χώρα μας. Στα 7 εκατομμύρια από αυτά οι καλλιεργητές έχουν απόλυτη ελευθερία να ξοδεύουν νερό κατά βούληση. Στα υπόλοιπα το νερό για άρδευση ελέγχεται από τις αρμόδιες κεντρικές υπηρεσίες, αλλά διοχετεύεται μέσω παλαιών αρδευτικών δικτύων με αποτέλεσμα οι απώλειες νερού να φτάνουν το 40%. Το μέλλον φαίνεται άνυδρο τουλάχιστον με τα μέχρι στιγμής δεδομένα. Από τις περιοχές που κινδυνεύουν περισσότερο είναι η Θεσσαλία, όπου καλλιεργούνται περίπου 5 εκατομμύρια στρέμματα και αρδεύονται τα μισά, το 70% των οποίων (περίπου 1.770.000 στρέμματα) από γεωτρήσεις, δηλαδή από τα υπόγεια νερά της. Ο υδροφόρος ορίζοντας της Θεσσαλίας έχει υποβαθμιστεί και η στάθμη του έχει πέσει δραματικά. Στον ταμιευτήρα Ταυρωπού υπάρχουν 175 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερό την ίδια στιγμή που πέρυσι υπήρχαν 200 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Η άρδευση των πεδιάδων στην Κεντρική Μακεδονία εξαρτάται από τα αποθέματα του ταμιευτήρα Πολυφύτου, που όμως είναι πολλαπλών χρήσεων: άρδευση των πεδιάδων Ημαθίας και Πέλλας, μέρους της πεδιάδας Θεσσαλονίκης, ύδρευση της Θεσσαλονίκης, για την ψύξη του λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή τη στιγμή τα αποθέματα στον ταμιευτήρα είναι 670 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, ενώ πέρυσι ήταν 760.

1.7 Τα άνυδρα νησιά

Τα λεγόμενα άνυδρα νησιά είναι αυτά όπου η μικρή τους έκταση και οι γεωμορφολογικές συνθήκες που επικρατούν, δεν δημιουργούν ευνοϊκές προϋποθέσεις για την ύπαρξη ικανού νερού ποιοτικά και ποσοτικά από τοπικές πηγές για την κάλυψη των αναγκών τους. Οι αιτίες της λειψυδρίας είναι: **τα μικρά ετήσια βροχομετρικά ύψη** (π.χ., η Αμοργός έχει περίπου 350 χιλιοστά νερού βροχής τον χρόνο), **οι υπόγειοι υδροφορείς δεν μπορούν εύκολα να συγκρατήσουν το νερό καθώς είναι μικροί και «ανοιχτοί» προς τη θάλασσα, μεγάλη εξάτμιση** που οφείλεται στους ισχυρούς ανέμους και στη μεγάλη ηλιοφάνεια (Γιώργος Τσακίρης, καθηγητής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων στο ΕΜΠ). Με την **εντατική άντληση νερού,** εισρέει η θάλασσα, αλλοιώνοντας την ποιότητα του νερού και καταστρέφοντας τον υδροφορέα. Τα νησιά δεν είναι επίπεδα, έχουν έντονο ανάγλυφο και επομένως μεγάλες κλίσεις οπότε **οι ροές είναι χειμαρρικές και το νερό φεύγει με μεγάλη ταχύτητα προς τη θάλασσα**. Δεν υπάρχει φυτοκάλυψη. Το νερό δεν συγκρατείται ψηλά, ρέει, χάνεται. Αποτέλεσμα είναι να υπάρχουν προβλήματα στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη των νησιών αυτών και η υδροτροφοδοσία τους να γίνεται με μεταφορά νερού από υδροφόρα πλοία. Η κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη ενός νησιού στηρίζεται κυρίως στους υδατικούς πόρους, οι οποίοι καθορίζουν και το βαθμό και την έκταση της ανάπτυξης, ενώ συγχρόνως αποτελούν στοιχείο επιβίωσης όλων των ζωντανών οργανισμών. Παράλληλα το νερό είναι ένας φυσικός ανανεώσιμος πόρος με πεπερασμένα όμως όρια αξιοποίησης και εκμετάλλευσης και επομένως πρέπει να υπάρχει μια σχετική ισορροπία μεταξύ της ζήτησης του νερού και της φυσικής υδατικής κυκλοφορίας, ώστε να μη δημιουργηθούν προβλήματα από την υπερβολική εκμετάλλευσή του. Η αποκλειστική σχεδόν χρήση των υπόγειων υδάτων για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών οδήγησαν στην υπερεκμετάλλευσή τους καθιστώντας το νερό στα περισσότερα νησιά ένα φυσικό πόρο σε ανεπάρκεια. Σε μια περίοδο που όλοι φαίνεται να συνειδητοποιούμε τη δραματική αλλαγή στις κλιματικές συνθήκες που κάνουν τα φυσικά φαινόμενα έντονα στα νησιά μας, εξακολουθούμε να απαιτούμε μεγαλύτερες ποσότητες νερού και η ζήτηση να είναι δυσανάλογα αυξανόμενη σε σχέση με την αύξηση του πληθυσμού αλλά και του τουρισμού (τα τελευταία 5 χρόνια σε πολλά νησιά σχεδόν τριπλασιάστηκε π.χ. Σύμη, Πάτμος, Λειψοί).



Εικόνα 3: Υδροδότηση άνυδρων νησιών

Συγκεκριμένα οι **πιστώσεις** που διατέθηκαν για την υδροδότηση στα **άνυδρα νησιά** το 2001 ήταν αρκετά αυξημένες σε σχέση με αυτές του 2000. Ειδικότερα, για τις **Κυκλάδες** το 2001 διατέθηκαν **1.821.335 ευρώ** ενώ για τα **Δωδεκάνησα** οι πιστώσεις ανήλθαν στα **2.863.139** ευρώ παρουσιάζοντας αντίστοιχα αύξηση 62% και 45,3% σε σχέση με το 2000.

Οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού στα νησιά, παρουσίασαν επίσης αύξηση και συγκεκριμένα:

- Σε 11 άνυδρα νησιά του Νομού Κυκλάδων μεταφέρθηκαν 229.876 m^3 νερού, παρουσιάζοντας αύξηση 55 % περίπου, σε σχέση με το 2000 όπου είχαν υδροδοτηθεί 8 άνυδρα νησιά.
- Σε 9 άνυδρα νησιά του Νομού Δωδεκανήσου μεταφέρθηκαν 611.263 m^3 νερού, παρουσιάζοντας αντίστοιχα αύξηση 10,1 %.

Εικόνα 4: Τάση ζήτησης και δαπανών αγοράς νερού στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου

Τη διετία 2004-2006 ξοδεύτηκαν 25,5 εκατομμύρια ευρώ για τη μεταφορά 4,1 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού με πλοία στα άνυδρα νησιά, χωρίς να έχει υπολογιστεί το κόστος της αγοράς του νερού (καθηγητής Θαλάσσιας Βιολογίας στο Πανεπιστήμιο του Έσσεξ κ. Θοδωρής Τσιμπίδη).

1.8 Αντιμετώπιση της λειψυδρίας

Από την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης στα άνυδρα νησιά, προκύπτουν οι ιδιαιτερότητες που διαφοροποιούν το κοινό πρόβλημα ως προς τις δυνατότητες επίλυσής του. Γενικά με τα υπάρχοντα στοιχεία, διαπιστώνεται η ανεπάρκεια της υπόγειας υδροφορίας για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης. Η αναζήτηση των δυνατών εναλλακτικών λύσεων έγινε με επιδίωξη να γίνει πλήρης εκμετάλλευση των προσφερόμενων τοπικών φυσικών δυνατοτήτων, προκειμένου να καταστεί κάθε νησί αυτάρκες σε νερό. Οι ενέργειες, με τις οποίες είναι δυνατόν να εξασφαλισθεί λύση στο βασικό πρόβλημα των άνυδρων νησιών είναι οι εξής:

Υδρογεωλογικές μελέτες

Λόγω της σημασίας της υπόγειας υδροφορίας για την υδροδότηση των νησιών με κατάλληλο νερό και παρά τις μέχρι σήμερα αρνητικές ενδείξεις, προτείνεται η πλήρης διερεύνηση των δυνατοτήτων ύπαρξης εκμεταλλεύσιμου υπόγειου νερού με ολοκληρωμένες υδρογεωλογικές μελέτες. Με τη μελέτη αυτή θα καταγραφούν και οι πηγές υφάλμυρου νερού προκειμένου να εξετασθεί η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους σε περίπτωση μελλοντικής εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης. Εφόσον με τις υδρογεωλογικές μελέτες προκύψουν θετικά στοιχεία για την υπόγεια υδροφορία τότε θα τροποποιηθεί ανάλογα ο προτεινόμενος σχεδιασμός για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας.

Λιμνοδεξαμενές

Η εκμετάλλευση των επιφανειακών απορροών είναι δυνατή σε περιπτώσεις που οι γεωμορφολογικές συνθήκες επιτρέπουν την ανάπτυξη υδρορευμάτων με αξιόλογη παροχή. Με τις υδρογεωλογικές μελέτες θα εξετασθούν οι δυνατότητες δημιουργίας λιμνοδεξαμενών.

Αφαλάτωση

Το θαλασσινό νερό μπορεί να γίνει πόσιμο με την αφαλάτωση. Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού έγκειται στην απομάκρυνση των διαλυμένων και αιωρούμενων ουσιών σε συγκέντρωση κάτω από 500ppm, ώστε να είναι χρησιμοποιήσιμο για τις καθημερινές χρήσεις του ανθρώπου. Υπάρχει ποικιλία μεθόδων όπως είναι οι μέθοδοι μεταβολής φάσεως (εξάτμιση και πήξη, ψύξη και στερεοποίηση), εναλλάκτες θερμότητας, κρυστάλλωση, μεμβράνες, αντίστροφη όσμωση, κ.ά. **Από τις πιο πάνω μεθόδους η αντίστροφη όσμωση έχει τα περισσότερα πλεονεκτήματα γιατί η αρχική επένδυση είναι μικρή, η κατανάλωση ενέργειας είναι σχετικά μικρή, τα προβλήματα διάβρωσης των εγκαταστάσεων είναι περιορισμένα εφόσον η όλη διεργασία επιτυγχάνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες**.

Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα είναι η συχνή αντικατάσταση των μεμβρανών (κάθε τρία χρόνια). Για τα ελληνικά νησιά το πρόβλημα του νερού και ειδικότερα του πόσιμου νερού και της άρδευσης είναι πρώτης προτεραιότητας για επίλυση. Η αφαλάτωση αποτελεί την έσχατη δυνατότητα εξασφάλισης νερού από ντόπιους πόρους. Η εγκατάσταση και λειτουργία της μονάδας σε κάθε περίπτωση προγραμματίζεται εγκαίρως, ανάλογα με την προδιαγραφόμενη εξέλιξη του ισοζυγίου νερού.

Μεταφορά νερού

Για τη μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία και προκειμένου να εξασφαλίζεται η ομαλή τροφοδοσία των νησιών με το μικρότερο δυνατό κόστος, είναι σκόπιμο να εκπονηθεί ειδική μελέτη που θα καθορίζει τα σημεία απόληψης και τον τρόπο μεταφοράς του νερού.

Έργα διανομής και αποθήκευσης νερού

Η στενότητα των υδατικών πόρων επιβάλλει την αντικατάσταση των παλιών φθαρμένων δικτύων, για τον περιορισμό των απωλειών. Είναι ευνόητο ότι η αντικατάσταση διαβρωμένων δικτύων επιβάλλεται πρώτιστα για λόγους δημόσιας υγείας.

Ποιοτικός - Ποσοτικός έλεγχος νερού

Η επιβαλλόμενη σε κάθε περίπτωση ορθή και συστηματική διαχείριση των υδατικών πόρων, αποκτά στην περίπτωση των άνυδρων νησιών ιδιαίτερη σημασία. Επισημαίνεται η ανάγκη για ποσοτικό και ποιοτικό έλεγχο της κατανάλωσης νερού. Η συστηματική παρακολούθηση της καταναλισκόμενης ποσότητας, επιτρέπει τον ασφαλή προγραμματισμό των απαιτούμενων έργων και ενεργειών και την πρόληψη προβλημάτων στην ομαλή τροφοδοσία νερού. Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις απολήψεων υπόγειου νερού είναι σημαντικό να εφαρμόζεται ειδικό πρόγραμμα αντλήσεων, αφενός για την μέγιστη εκμετάλλευση των παροχών και αφετέρου για τη διατήρηση της κατάλληλης ποιότητας στο αντλούμενο νερό.

Περιορισμός κατανάλωσης

Για τον περιορισμό της κατανάλωσης με μείωση των απωλειών είναι σκόπιμο να εφαρμοσθούν μέθοδοι νέας τεχνολογίας. Απαιτείται προς τούτο σχετική μελέτη η οποία θα καθορίζει μεθόδους και εξοπλισμό για τον περιορισμό της κατανάλωσης. Η ίδια μελέτη θα αποβλέπει στην **ανάπτυξη συνείδησης υπευθυνότητας** στους καταναλωτές νερού ώστε να διαφυλαχθεί το αγαθό αυτό έναντι σπατάλης και ποιοτικής υποβάθμισης.

Οργάνωση διαχείρισης υδατικών πόρων

Για μια ενιαία, ορθολογική και αποτελεσματική διαχείριση προτείνονται τα εξής:

Δημιουργία μονάδας με αντικείμενο την καταγραφή όλων των σημείων νερού, έλεγχο της ποιότητας των νερών, παρακολούθηση των μετεωρολογικών και σταθμηγραφικών σταθμών, συντήρηση και λειτουργία των έργων, έρευνα για την αξιοποίηση υδατικών και εδαφικών πόρων και γενικά ότι απαιτείται επί των θεμάτων νερού με τα οποία σήμερα ασχολούνται πολλές και διαφορετικές δημόσιες υπηρεσίες με αποτέλεσμα την αλληλοεπικάλυψη και την έλλειψη συντονισμού σε υπηρεσιακό επίπεδο. Θα είναι το κεντρικό συντονιστικό όργανο για όλα τα θέματα εδαφοϋδατικών πόρων, γιατί η ορθολογικότερη και επιστημονικότερη αντιμετώπιση όλων των θεμάτων που άπτονται του νερού απαιτεί διοικητική δομή και λειτουργία.

Εγκατάσταση σε κάθε νησί μετεωρολογικού σταθμού

Η συστηματική καταγραφή και ανάλυση των βροχομετρικών και άλλων κλιματολογικών στοιχείων, προσφέρει τη δυνατότητα της βέλτιστης αξιοποίησης των υδατικών πόρων και μακρόπνοου προγραμματισμού.

Ομβροδεξαμενές

Η συλλογή ομβρίων σε ιδιωτικές ομβροδεξαμενές, αποτελεί δόκιμο τρόπο εξασφάλισης νερού που πρέπει να αξιοποιηθεί εφόσον με τις προτεινόμενες λοιπές μεθόδους εξασφάλισης νερού δεν καλύπτεται το σύνολο των αναγκών. Είναι ανάγκη, να δοθούν κίνητρα σε νεοαναγειρόμενες οικοδομές αλλά και σε υφιστάμενες, για τη δημιουργία δεξαμενών μεγάλης χωρητικότητας ανάλογης με την επιφάνεια της οικοδομής. Είναι σκόπιμο, να μελετηθεί η εφαρμογή κατάλληλης και σύγχρονης τεχνολογίας στον τρόπο συλλογής και χρησιμοποίησης του νερού, προκειμένου αφενός να αυξηθεί κατά το δυνατόν η ποσότητα και αφετέρου να διασφαλίζεται η καλή ποιότητα του συλλεγόμενου νερού.

Δασοπονικός σχεδιασμός

Στην ενίσχυση του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων αλλά και των συνθηκών ροής των επιφανειακών απορροών, θα βοηθήσει τα μέγιστα και η αναβάθμιση της φυσικής χλωρίδας (δασικής και βοσκοτόπων), η οποία υποβαθμίσθηκε λόγω υπερβόσκησης από την ποιμενική κτηνοτροφία. Επομένως ο δασοπονικός σχεδιασμός για τη βελτίωση της χλωρίδας των βοσκοτόπων και η οργανωμένη αναδάσωση περιοχών των νησιών με τα κατάλληλα δασικά ή άλλα φυτικά είδη, πέρα από τους άλλους σκοπούς που θα εξυπηρετήσει, θα βελτιώσει τις συνθήκες απορροής και κατείσδυσης του νερού, με άμεσα θετικά αποτελέσματα στην υδροφορία τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

2.1 Τι είναι η αφαλάτωση

Η αφαλάτωση, είναι μια φυσική διεργασία διαχωρισμού αλάτων και νερού από υδατικά διαλύματα και χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα, ως καθαρά βιομηχανική μέθοδος, για την παραγωγή καθαρού νερού για κάθε χρήση. Είναι μια διεργασία κατά την οποία εφαρμόζεται, με διάφορες μεθόδους, είτε απομακρύνονται τα άλατα από το νερό είτε το νερό από τα άλατα. Επειδή είναι βιομηχανικό προϊόν, το κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι πάντοτε κατά πολύ υψηλότερο από το κόστος του φυσικού νερού, το οποίο μεταφέρεται από μια πηγή σε σχετικά μέτρια χιλιομετρική απόσταση. Ως πρώτη ύλη για την τροφοδοσία μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης χρησιμοποιείται θαλάσσιο ή αλμυρό νερό ή ακόμα και υφάλμυρα νερά που η περιεκτικότητά των σε άλατα είναι μεγαλύτερη από το επιτρεπτό όριο των προδιαγραφών για συγκεκριμένη χρήση. Το μεγαλύτερο ποσοστό του αφαλατωμένου νερού που παράγεται από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης ανά τον κόσμο, είναι για κοινοτική χρήση. Μεγάλες βιομηχανίες έχουν επίσης εγκαταστήσει συστήματα αφαλάτωσης, τόσο για την παραγωγή καθαρού νερού, όσο και για τον καθαρισμό λυμάτων.

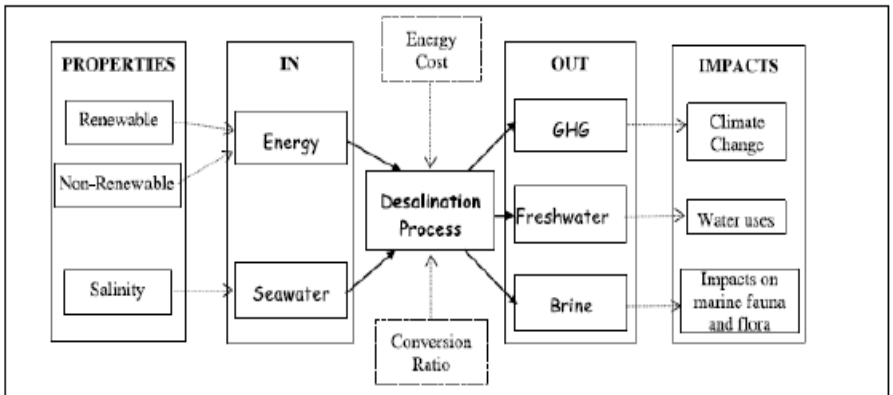


Fig. 1. Overall metabolism of the desalination process (own elaboration).

Εικόνα 5: Σχηματικό διάγραμμα των εισόδων και των παραμέτρων ενός συστήματος αφαλάτωσης. Εισόδους αποτελούν η ενέργεια (ανανεώσιμη ή μη) και το αλμυρό νερό και εξόδους το φρέσκο νερό, η άλμη (brine) και τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG).

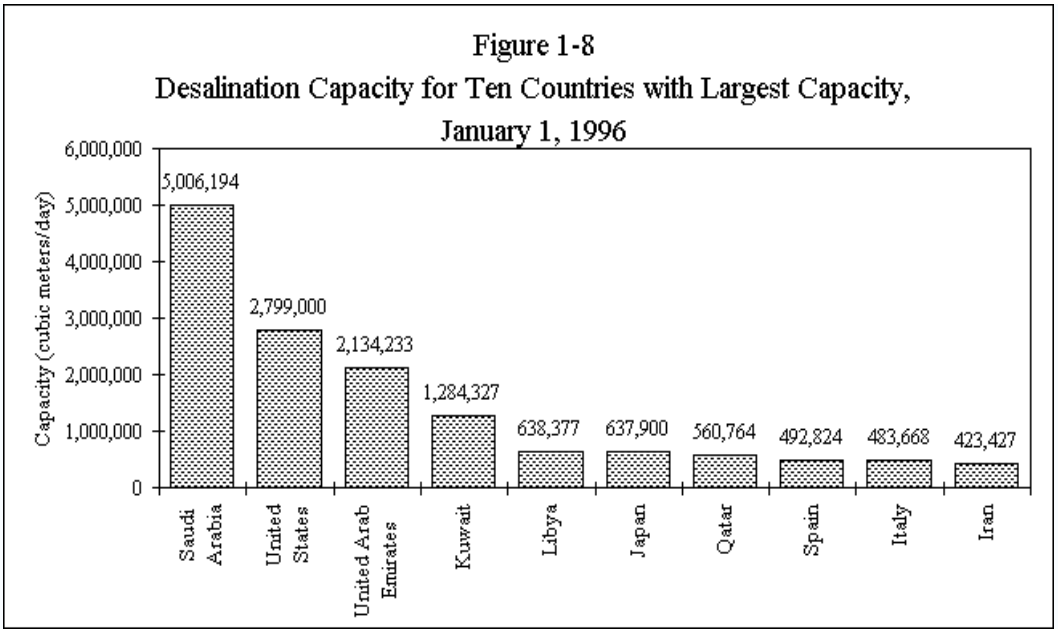
2.2 Ιστορία της αφαλάτωσης

Το νερό ως φυσική πηγή ζωής έχει απασχολήσει στο παρελθόν ήδη από τους αρχαίους χρόνους, πρωτοπόρους ερευνητές και κυρίως πολλούς φιλοσόφους, οι οποίοι διατύπωσαν τις φιλοσοφικές ιδέες τους, για τη φύση του νερού, τις ιδιότητές του και τη δυνατότητα παραγωγής γλυκού νερού από αλμυρά νερά, σε διάφορα συγγράμματα. Παρόλο όμως που υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία από την αρχαιότητα μέχρι τον μεσαίωνα πάνω σε θέματα σχετικά με το θαλασσινό νερό και τη δυνατότητα μετατροπής του σε γλυκό νερό, οι περιγραφές παρέμειναν σε θεωρητικό και φιλοσοφικό επίπεδο χωρίς καμία πρακτική εφαρμογή. Μεμονωμένες περιγραφές πρακτικής εφαρμογής φανερώνουν πολύ πρωτόγονους τρόπους μετατροπής του θαλασσινού νερού σε πόσιμο. Κατά τον μεσαίωνα ο Giovanni Battista della Porta, στο πολύτομο βιβλίο του "Magiae Naturalis" περίγραφε διάφορους τρόπους αφαλάτωσης και μια μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού από την υγρασία της ατμόσφαιρας. Από όλες τις περιγραφές του για αφαλάτωση, μεγαλύτερης σημασίας είναι εκείνη που αναφέρεται στη χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας, ως πηγή θερμότητας για την παραγωγή πόσιμου από θαλασσινό ή αλμυρό νερό. Το 1675 κατατίθεται το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μία συσκευή απόσταξης θαλασσινού νερού, για την παραγωγή πόσιμου νερού και αργότερα το 1683 ένα δεύτερο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας επίσης για την απόσταξη θαλασσινού νερού. Εγκαταστάθηκαν τρεις αποστακτήρες, οι πρώτοι σε έδαφος, δύο σε νησιά της Μάγχης και ένας στην Ηπειρωτική Αγγλία για να αποδειχθεί η καλή λειτουργία της νέας εφεύρεσης για την παραγωγή γλυκού νερού από τη θάλασσα. Η πρώτη αναφορά για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με πλήρη περιγραφή των επιτευγμάτων της εποχής του και ιδιαίτερα για την παραγωγή γλυκού νερού από θάλασσα σε ποντοπόρα πλοία, δόθηκε από τον Γάλλο ναύαρχο, A.F.B Deslanes το 1724. Αργότερα, το 1739 ο μεγάλος φυσιολόγος Stephan Hales εξέδωσε ένα βιβλίο, φημισμένο στην εποχή του, το οποίο περιείχε λεπτομερή περιγραφή όλων των προβλημάτων σχετικά με την αφαλάτωση. Το 1870 κατατίθεται στις ΗΠΑ το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια. Το δίπλωμα αυτό ευρεσιτεχνίας περιγράφει με λεπτομέρεια όλα όσα ακόμα και σήμερα εφαρμόζονται στη συμβατική αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια. Περιγράφεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η συμπύκνωση και επανεξάτμιση, η χρήση της μαύρης επιφάνειας για μεγαλύτερη απορροφητικότητα, τέλος γίνεται αναφορά στη διάβρωση των υλικών του αποστακτήρα. Αναφέρουν μεγάλες παροχές αφαλατωμένου νερού, περιστρέφοντας τον αποστακτήρα ώστε να ακολουθεί την ηλιακή πρόσπτωση. Δυο χρόνια αργότερα ο Σουηδός μηχανικός Carlos Wilson σχεδίασε και κατασκεύασε την πρώτη μεγάλη εγκατάσταση αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια, παροχής 22.5 m^3/d. Οι αποστακτήρες εγκαταστάθηκαν στο Chacabuco, Las Salinas της Χιλής, μια περιοχή με υψόμετρο 1200 μέτρα, όπου λειτουργούσαν διάφορα ορυχεία ορυκτών αλάτων και αργύρου. Η αφαλάτωση λειτούργησε το 1874, και ως τροφοδοσία χρησιμοποιούσε την άλμη της έκπλυσης των ορυκτών αλάτων, παρέχοντας πόσιμο νερό που κάλυπτε τις ανάγκες τόσο των εργαζομένων στα ορυχεία του νιτρικού αμμωνίου όσο και αυτών στο παρακείμενο ορυχείο αργύρου. Η εγκατάσταση λειτούργησε επί σαράντα συνεχή χρόνια έως ότου εξαντλήθηκαν τα κοιτάσματα των ορυχείων. Το

ενδιαφέρον για την αφαλάτωση αναζωπυρώθηκε στην Καλιφόρνια κατά το 1930, όταν η περιοχή πλήγηκε από πολύ μεγάλη ξηρασία, η οικονομική κρίση όμως της δεκαετίας 30 δεν επέτρεψε την έρευνα του θέματος. Μετά το τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου άρχισε να εκδηλώνεται τεράστιο ενδιαφέρον για την αφαλάτωση, το οποίο προήλθε από την ραγδαία αύξηση της ζήτησης καλής ποιότητας νερού, τόσο για τα αστικά κέντρα όσο και σε απόμακρες ή ημιέρημες περιοχές, όπου εγκαταστάθηκαν διάφορες ομάδες πληθυσμού. Η τεράστια αύξηση της βιομηχανίας συνέτεινε επίσης στην αναζήτηση νέων πηγών νερού. Η ζήτηση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την εντατική έρευνα για την ανεύρεση νέων υδατικών πόρων και την προώθηση της αφαλάτωσης για περιοχές όπου υπήρχαν μόνο αλμυρά ή υφάλμυρα νερά. Πρωτοπόρες χώρες στον τομέα της έρευνας της αφαλάτωσης είναι οι ΗΠΑ όπου με κυβερνητικά προγράμματα στην αρχή και στην συνέχεια με την ιδιωτική πρωτοβουλία κατασκευάστηκαν πιλοτικές ερευνητικές εγκαταστάσεις. Συγχρόνως όμως και άλλα κράτη προώθησαν την έρευνα για την αφαλάτωση με σημαντικά επιτεύγματα.

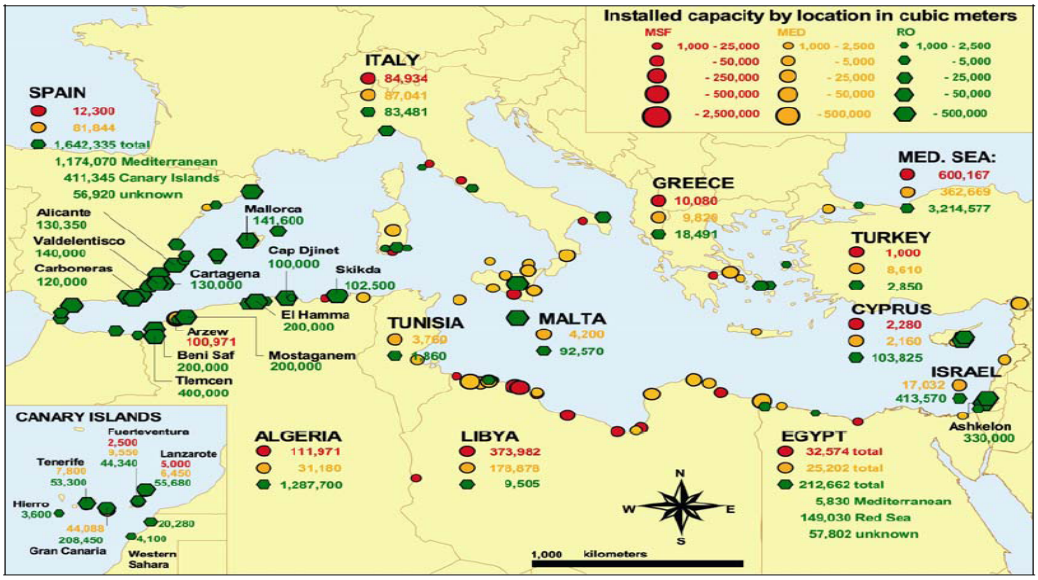
2.3 Εφαρμογή της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο

Κατά το έτος 2005, η παγκόσμια ικανότητα παραγωγής αφαλατωμένου νερού έφτανε τα 55 εκατομμύρια κυβικά μέτρα κάθε μέρα από τα περίπου 22,7 εκατομμύρια που ήταν το 1998. Το 2005 υπήρχαν συνολικά 10.597 εργοστάσια αφαλάτωσης στον κόσμο. Η αφαλάτωση θαλασσινού νερού είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στη Μέση Ανατολή (εξαιτίας της εκτεταμένης ερημοποίησης) και στην Καραϊβική. Επιπλέον τα τελευταία χρόνια βρίσκει εφαρμογή και σε περιοχές όπως η Βόρεια Αφρική, οι Ηνωμένες Πολιτείες ,η Σιγκαπούρη, η Ισπανία, η Αυστραλία και η Κίνα. Ορισμένες χώρες της Μέσης Ανατολής παράγουν αφαλατωμένο νερό και για άρδευση. Ενδεικτικά, οι μονάδες της Σαουδικής Αραβίας καλύπτουν το 24% της παγκόσμιας παραγωγής. Η μεγαλύτερη μονάδα βρίσκεται στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα όπου χρησιμοποιεί τη μέθοδο MSF (Multi-Stage Flashing) και παράγει 300 εκατομμύρια κυβικά μέτρα αφαλατωμένου νερού ετησίως. Στην παρακάτω εικόνα 6 παρουσιάζονται οι 10 χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή αφαλατωμένου νερού για το έτος 1996. Ξεχωρίζει η Σαουδική Αραβία με παραγωγική ικανότητα 5 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων αφαλατωμένου νερού ανά ημέρα.



Εικόνα 6: Χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή αφαλατωμένου νερού για το έτος 1996

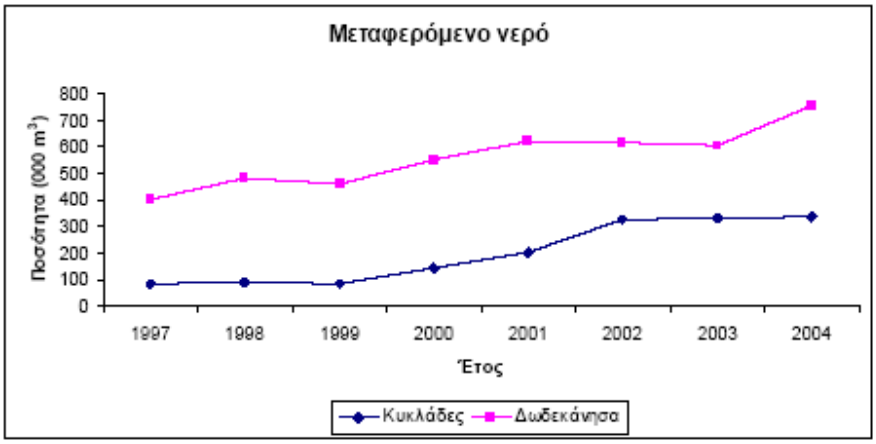
Στην παρακάτω εικόνα 7 παρουσιάζονται όλες οι χώρες γύρω από τη Μεσόγειο θάλασσα που παράγουν πόσιμο νερό μέσω της διαδικασία της αφαλάτωσης, το είδος και η δυναμικότητα των διαφόρων μονάδων για το έτος 2005.



Εικόνα 7: Εφαρμογή της αφαλάτωσης στη Μεσόγειου

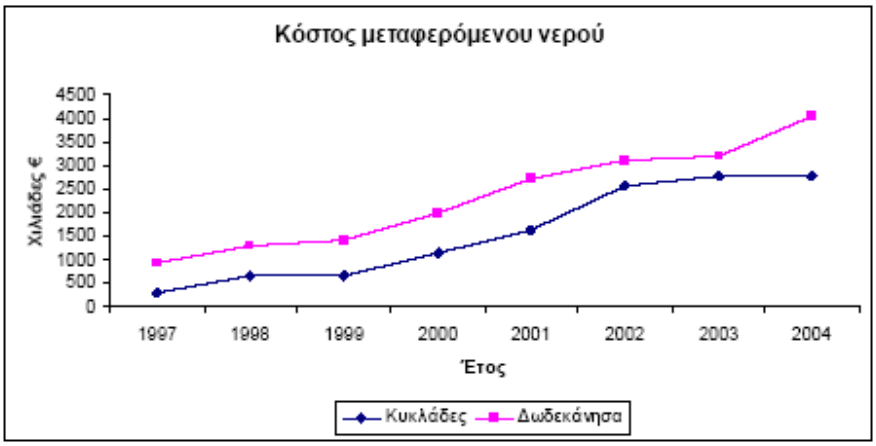
2.4 Εφαρμογή της αφαλάτωσης στην Ελλάδα

Στον Ελλαδικό χώρο έχουν εγκατασταθεί μονάδες αφαλάτωσης κυρίως στα νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων όπου οι ανάγκες για πόσιμο νερό δεν μπορούν να καλυφθούν από τις βροχοπτώσεις και από τα υπόγεια νερά των νησιών. **Το πρόβλημα γίνεται ακόμα μεγαλύτερο ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η μόνη λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι είτε η μεταφορά νερού από την ηπειρωτική ενδοχώρα, είτε η κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης** ώστε να υπάρχει αυτονομία όσον αφορά στον τομέα του νερού. Στον διάγραμμα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της μεταφερόμενης ποσότητας νερού στα νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων για τα έτη από το 1997 έως το 2004.



Διάγραμμα 1: Μεταφερόμενο νερό

Όπως φαίνεται από τη γραφική παράσταση του μεταφερόμενου νερού, οι ανάγκες των νομών άρα και των νησιών μεμονωμένα για πόσιμο νερό αυξάνονται με το πέρασμα των ετών. Είναι χαρακτηριστικό ότι **στον νομό Δωδεκανήσων η ποσότητα του μεταφερομένου νερού διπλασιάστηκε μέσα σε 8 χρόνια,** ενώ στις Κυκλάδες σχεδόν τριπλασιάστηκε.
Στο διάγραμμα 2 που ακολουθεί παρουσιάζεται το αντίστοιχο κόστος για τις Κυκλάδες και για τα Δωδεκάνησα.



Διάγραμμα 2: Κόστος μεταφερόμενου νερού

Από το διάγραμμα 2 συνάγεται ότι στις Κυκλάδες, αν και η ποσότητα νερού που μεταφέρθηκε τριπλασιάστηκε, το συνολικό κόστος σχεδόν πενταπλασιάστηκε. Αυτό οφείλεται στο ότι το μεταφερόμενο νερό προέρχεται από την εταιρεία ύδρευσης του νομού Αττικής, άρα και το μεταφορικό κόστος είναι μεγαλύτερο. **Στα Δωδεκάνησα αντίθετα, το νερό που μεταφέρεται με τα υδροφόρα πλοιάρια προέρχεται από το νησί της Ρόδου που είναι πιο κοντά στα υπόλοιπα νησιά άρα και το κόστος μεταφοράς θα είναι μικρότερο**. Σήμερα λειτουργούν αρκετές μονάδες αφαλάτωσης στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους. Στον πίνακα 7 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης σε κάθε νησί, ανεξαρτήτου μεθόδου αφαλάτωσης. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να προστεθεί ότι στα νησιά Σύρος και Σαντορίνη υπάρχουν παραπάνω από ένα εργοστάσια αφαλάτωσης.

Περιοχή	Ημ/νία Εγκατάστασης	Ημερ. Παραγωγή (m^3/day)	Νερό
Ορνός, Μύκονος	1989	1.200	θαλασσινό
Ερμούπολις, Σύρος	1989	1.200	θαλασσινό
Ερμούπολις, Σύρος	1993	800	θαλασσινό
Ερμούπολις, Σύρος	1998/99	960	θαλασσινό
Κίνι, Σύρος	1993	144	θαλασσινό
Οία, Σαντορίνη	1994	400	θαλασσινό
Οία, Σαντορίνη	1998	150	θαλασσινό
Ομηρούπολις, Χίος	2000	600	υφάλμυρο
Ιθάκη	1983	500	θαλασσινό

Πίνακας 7: Εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης σε νησιά της Ελλάδος

2.5 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Η διαδικασία της αφαλάτωσης βασικά διαχωρίζει το θαλασσινό νερό σε 2 μέρη: το ένα μέρος έχει χαμηλή συγκέντρωση αλατιού και το άλλο μέρος έχει πολύ υψηλότερη συγκέντρωση αλατιού σε σχέση με το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας.

Οι 2 βασικοί τύποι τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία της αφαλάτωσης είναι η **θερμική μέθοδος επεξεργασίας και η μέθοδος με μεμβράνες**. Και οι 2 τεχνολογίες χρειάζονται ενέργεια για να λειτουργήσουν και να παράγουν καθαρό νερό. Οι 2 μέθοδοι επεξεργασίας διαχωρίζονται σε υποκατηγορίες οι οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές. Οι κυριότερες μέθοδοι αφαλάτωσης παρουσιάζονται στην εικόνα 8.

Thermal Technology	Membrane Technology
Multi-Stage Flash Distillation (MSF)	Electrodialysis (ED)
Multi-Effect Distillation (MED)	Electrodialysis reversal (EDR)
Vapor Compression Distillation (VCD)	Reverse Osmosis (RO)

Εικόνα 8: Μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία της αφαλάτωσης

Θερμικές διεργασίες

- Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flashing, MSF)
- Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED)
- Εξάτμιση με Επανασυμπίεση Ατμών (Vapour Compression, VC)
- Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation)

Μέθοδοι με Μεμβράνες

- Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis, RO)
- Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED/EDR)

Άλλες μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες:

- Μέθοδος διαχωρισμού με ψύξη (Freeze Separation)
- Μέθοδος ανταλλαγής ιόντων (Ion Exchange)

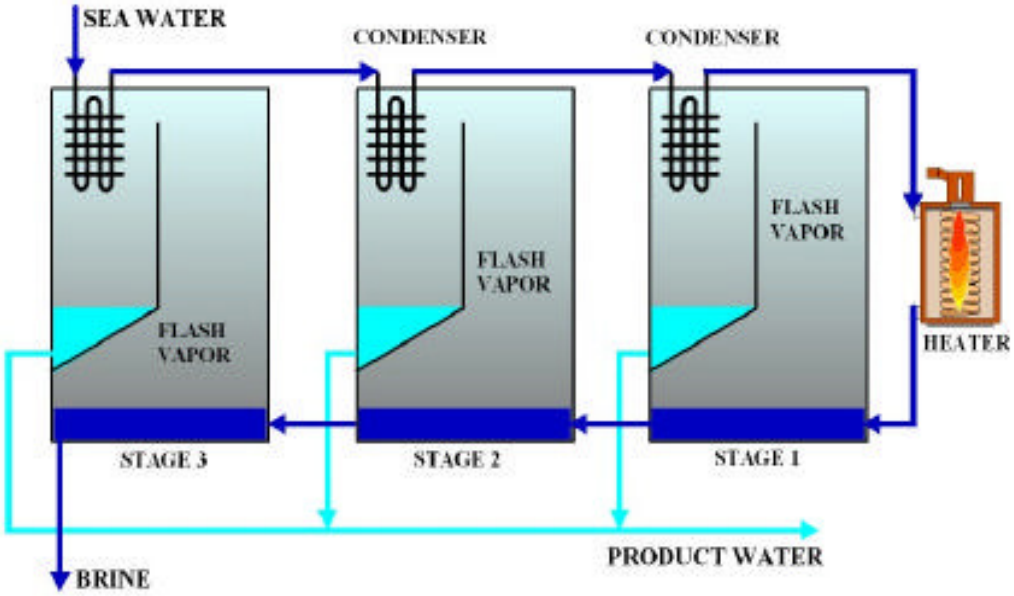
2.5.1 Θερμικές διεργασίες (Thermal processes)

Είναι προφανές ότι η διεργασία της αφαλάτωσης είναι μη αυθόρμητη διεργασία και η ενέργεια που απαιτείται μπορεί να χρησιμοποιείται με διαφορές μορφές θερμική, ηλεκτρική κλπ.

Περίπου το μισό από το παγκόσμιο αφαλατωμένο νερό παράγεται με θερμότητα και απόσταξη του πόσιμου νερού από το θαλασσινό. Η διαδικασία απόσταξης μιμείται το φυσικό κύκλο του ύδατος, δεδομένου ότι το αλμυρό νερό θερμαίνεται παράγοντας υδρατμούς που στη συνέχεια συμπυκνώνονται σε πόσιμο νερό.

2.5.1.1 Μέθοδος αφαλάτωσης με πολυβάθμια αστραπιαία εξαέρωση (Multi-Stage Flashing, MSF)

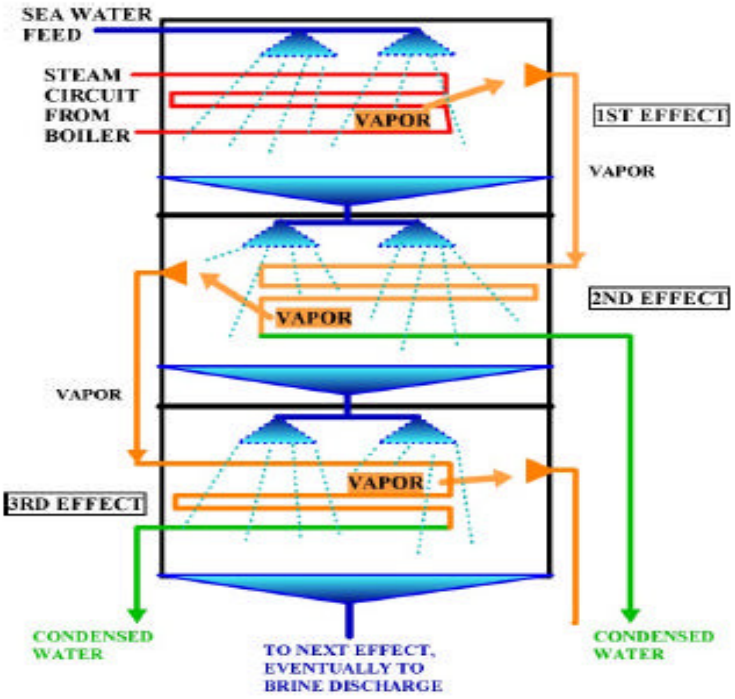
Η μέθοδος αφαλάτωσης με πολυβάθμια ταχεία εκτόνωση εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις μεγάλης παραγωγής αφαλατωμένου νερού. Το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιεί θερμούς ατμούς ως μέσο θέρμανσης, θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία. Το νερό τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας έχει προθερμαθεί από τους παραγομένους ατμούς. Στη συνεχεία το θερμό πλέον διάλυμα τροφοδοσίας εισέρχεται σε δοχείο όπου η επικρατούσα πίεση είναι μικρότερη από εκείνη του εναλλάκτη. Ακολουθεί αστραπιαία εξάτμιση του νερού μέχρι η πίεση να γίνει ίση με την τάση ατμών του διαλύματος. Κατά τη διάρκεια του βρασμού απαιτείται σημαντικό ποσό θερμότητας (λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης) η οποία προσφέρεται από το θερμό διάλυμα τροφοδοσίας, το οποίο και ψύχεται. Αποτέλεσμα της ψύξης του διαλύματος είναι η μείωση τελικά της τάσης_ατμών του έτσι ώστε τελικά να έχουμε παύση της εξάτμισης. Οι παραγόμενοι ατμοί υγροποιούνται στο συμπυκνωτήρα ο οποίος χρησιμοποιεί ως μέσο ψύξης το εισερχόμενο διάλυμα τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας στην κατανάλωση ενέργειας. Η παραγόμενη άλμη διοχετεύεται στο επόμενο στάδιο όπου και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.



Εικόνα 9: Απλουστευμένο διάγραμμα της πολυβάθμιας διαδικασίας στιγμιαίας εξάτμισης (MSF)

2.5.1.2 Μέθοδος αφαλάτωσης με χρησιμοποίηση πολυβάθμιων αποστα-κτήρων (Multiple Effect Distillation, MED)

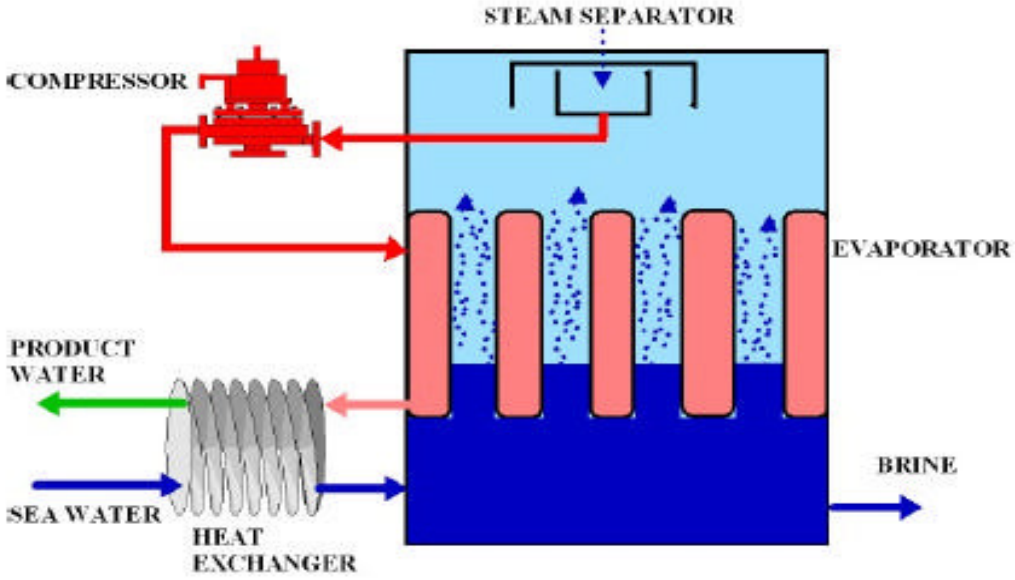
Η χρησιμοποίηση πολυβάθμιων αποστακτήρων έχει στόχο την ελάττωση του κόστους για την παραγωγή καθαρού νερού και τη μείωση της χρησιμοποιουμένης ενέργειας. Επίσης, δεν απορρίπτεται στο περιβάλλον άλμη και νερό ψύξης υψηλού θερμικού περιεχομένου, που αποτελεί θερμική μόλυνση για το περιβάλλον. Η βασική αρχή λειτουργίας των πολυβάθμιων αποστακτήρων είναι ότι μειούμενης της πίεσης λειτουργίας, μειώνεται και το σημείο βρασμού του αποσταζόμενου διαλύματος. Έτσι οι παραγόμενοι ατμοί από τον πρώτο αποστακτήρα ψύχονται στον δεύτερο αποστακτήρα και η θερμότητα που αποδίδεται κατά την ψύξη χρησιμοποιείται για τον βρασμό του θαλασσινού νερού στον δεύτερο αποστακτήρα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται και στις επόμενες βαθμίδες. Με αλλά λόγια ο δεύτερος εξατμιστήρας λειτουργεί ως συμπυκνωτής για τον πρώτο, ο τρίτος για τον δεύτερο κλπ. Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες θερμότητας είναι προφανές ότι η θερμοκρασία βρασμού και συνεπώς η πίεση του διαλύματος τροφοδοσίας θα μειώνεται συνεχώς. Η παραγόμενη άλμη από την πρώτη βαθμίδα που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία αποτελεί το διάλυμα τροφοδοσίας στη δεύτερη βαθμίδα κλπ. Έτσι δεν απαιτείται η θέρμανση του διαλύματος τροφοδοσίας μέχρι το σημείο ζέσεως του, διότι το σημείο ζέσεως σε κάθε επόμενη βαθμίδα είναι μικρότερο της προηγουμένης.



Εικόνα 10: Απλουστευμένο διάγραμμα της μεθόδου Multiple Effect Distillation (MED)

2.5.1.3 Μέθοδος αφαλάτωσης με εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Vapour Compression, VC)

Η διαδικασία απόσταξης συμπίεσης ατμού χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες διαδικασίες (όπως η MED) αλλά και από μόνη της για μικρής ή μέτριας κλίμακας εφαρμογές αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο ότι η συμπίεση του ατμού οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας αυτού. Σε αυτή τη διεργασία, η τροφοδοσία θερμαίνεται συνήθως με ατμό και μέρος αυτής ατμοποιείται. Ο παραγόμενος ατμός συμπιέζεται χρησιμοποιώντας έναν μηχανικό συμπιεστή και επιστρέφει μέσω ενός αγωγού στο θάλαμο όπου συμπυκνώνεται. Η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης αποδίδεται στην τροφοδοσία, ένα μέρος της οποίας ατμοποιείται και συμπιέζεται ξανά ακολουθώντας κυκλική διαδικασία. Στη μηχανική συμπίεση που είναι και η πιο συνηθισμένη, μια ξεχωριστή πηγή ατμού απαιτείται μόνο για την έναρξη, αφού στη συνεχεία η διαδικασία μετασχηματίζει τη μηχανική ενέργεια για να παράγει θερμότητα κάνοντας με αυτόν τον τρόπο περιττή την ύπαρξη ενός ατμοπαραγωγού.



Εικόνα 11: Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου Vapour Compression (VC)

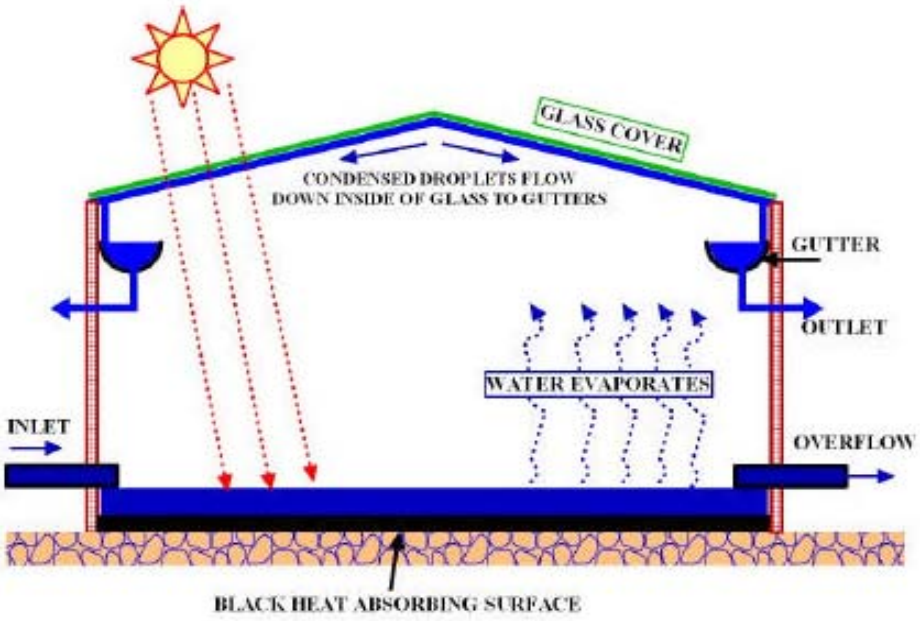
2.5.1.4 Μέθοδος αφαλάτωσης με ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)

Όλες οι μέθοδοι που απαριθμούνται παραπάνω έχουν ένα υψηλό κόστος για τη θερμική ενέργεια που απαιτείται για τη διαδικασία αφαλάτωσης. Η ηλιακή απόσταξη αφ' ενός δεν έχει κανένα ενεργειακό κόστος, επειδή συλλέγει την ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία. Εντούτοις φαίνεται να μην είναι τόσο αποτελεσματική σε σχέση με τις άλλες θερμικές μεθόδους. Η ηλιακή απόσταξη έχει επίσης περιορισμούς μεγέθους. Αυτή η μέθοδος της αφαλάτωσης μιμείται γενικά ένα μέρος του φυσικού υδρολογικού κύκλου, δεδομένου ότι οι ακτίνες του ηλίου θερμαίνουν το θαλασσινό νερό (υδρατμοποίηση) έτσι ώστε να αυξάνεται η παραγωγή υδρατμού. Ο υδρατμός στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε μια δροσερή επιφάνεια και το συμπύκνωμα συλλέγεται ως προϊόν (πόσιμο νερό). Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου της διαδικασίας είναι ο ηλιακός αποστακτήρας με θερμοκήπιο, στον οποίο το θαλασσινό νερό θερμαίνεται και ο υδρατμός συμπυκνώνεται στην κεκλιμένη στέγη από γυαλί που καλύπτει τη λεκάνη. Παραλλαγές αυτού του τύπου αποστακτήρα έχουν γίνει σε μια προσπάθεια να αυξηθεί η αποδοτικότητά του, αλλά όλες μοιράζονται τις **ακόλουθες δυσκολίες** οι οποίες περιορίζουν τη χρήση αυτής της τεχνικής για μεγάλης κλίμακας παραγωγή.

- **Μεγάλες απαιτήσεις σε επιφάνεια για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας**
- **Υψηλό κόστος κεφαλαίου**
- **Αξιοπιστία παραγωγής σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες**

Η γενική εμπειροτεχνική μέθοδος για τους ηλιακούς αποστακτήρες λέει ότι απαιτείται μια ηλιακή περιοχή συλλογής ύδατος ενός τετραγωνικού μέτρου για την παραγωγή 4 λίτρων ύδατος ανά ημέρα. Κατά συνεπεία για δυνατότητα παραγωγής 4.000 κυβικών μέτρων ανά ημέρα θα απαιτούνταν μια ελάχιστη έκταση εδάφους 1000 στρεμμάτων. Αυτή η μονάδα θα καταλάμβανε μια τεράστια περιοχή και θα μπορούσε να δημιουργήσει δυσκολίες εάν βρισκόταν κοντά σε πόλη όπου τα οικόπεδα είναι λιγοστά και ακριβά.

Αν και χρησιμοποιεί τη θερμική ενέργεια δωρεάν από την ακτινοβολία του ηλίου, απαιτείται πρόσθετη ενέργεια για τις αντλίες οι οποίες θα αντλούν το νερό από και προς την εγκατάσταση. Επιπρόσθετα, χρειάζεται αρκετή προσοχή στη λειτουργία και συνεχής συντήρηση για την εύρυθμη λειτουργία της μονάδας. Έτσι αποτρέπονται ο σχηματισμός πλάκας και ιζημάτων που προκαλούνται στις λεκάνες καθώς και οι διαρροές ατμού από το γυαλί ή τον αποστακτήρα. Μια εφαρμογή γι' αυτούς τους τύπους αποστακτήρα είναι η αφαλάτωση υφάλμυρου νερού σε μικρή κλίμακα όπως για μικρά χωριά. Ένας κατάλληλα κατασκευασμένος αποστακτήρας έχει αναφερθεί να λειτουργεί επιτυχώς περισσότερο από 20 έτη.



Εικόνα 12: Διάγραμμα ενός ηλιακού αποστακτήρα

2.5.2 Μέθοδοι με μεμβράνες

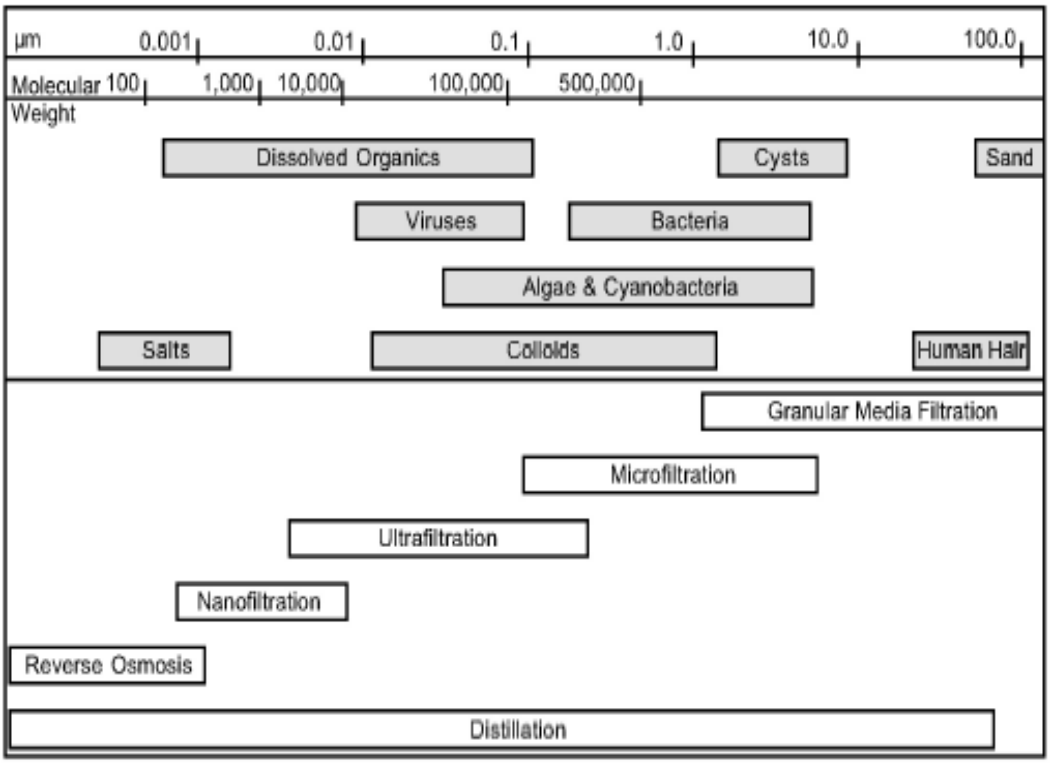
Οι ημιπερατές μεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτρέψουν επιλεκτικά ή να απαγορεύσουν τη μετάβαση ιόντων, επιτρέποντας την αφαλάτωση του νερού. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 ετών, έχει γίνει τεράστια πρόοδος στον τομέα της τεχνολογίας των μεμβρανών. Στην πραγματικότητα, η αντίστροφη όσμωση (RO) αντιπροσωπεύει την ταχύτερη αναπτυσσόμενη τεχνολογία στον τομέα της αφαλάτωσης νερού, και για αυτό τον λόγο το 2002 η RO αντιπροσώπευε το 43.5% της συνολικής παραγωγής νερού από τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης, με παραγωγή νερού μεγαλύτερη των 0.026 mgd, δηλαδή περίπου ίση με την παραγωγή από τις διάφορες θερμικές μεθόδους (Wangnick, 2002). Οι μεμβράνες στο μέλλον, αναμένεται να λύσουν το πρόβλημα σε πολλές άνυδρες περιοχές. Οι μεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αφαλάτωση και του νερού της θάλασσας και του υφάλμυρου νερού, αλλά χρησιμοποιούνται συχνότερα για την αφαλάτωση του υφάλμυρου νερού επειδή η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη με την περιεκτικότητα σε άλατα του προς επεξεργασία νερού. Επίσης οι μεμβράνες έχουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης ή και ανακύκλωσής των υποβιβασμένων νερών, μιας και η μεμβράνη μπορεί να αφαιρέσει ορισμένους μικροοργανισμούς και πολλούς οργανικούς μολυσματικούς παράγοντες από το νερό τροφοδοσίας. Έναντι των θερμικών διαδικασιών απόσταξης, οι μεμβράνες γενικά έχουν χαμηλότερο κόστος επένδυσης και απαιτούν λιγότερη ενέργεια που συμβάλλει σε χαμηλότερες λειτουργικές δαπάνες. Εντούτοις η αλατότητα του νερού που παράγεται, τείνει να είναι υψηλότερη μέσω της αφαλάτωσης με μεμβράνη (<500 ppm TDS) σε σχέση με τις θερμικές τεχνολογίες, όπου η περιεκτικότητα σε άλατα του παραγόμενου νερού είναι μικρότερη από 25 ppm.

- **Οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης (RO)** χρησιμοποιούνται για την **αφαίρεση αλάτων** από υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό. Οι μεμβράνες RO έχουν αποδειχθεί ότι μπορούν να **αφαιρέσουν ουσιαστικές ποσότητες μερικών μοριακών οργανικών μολυσματικών παραγόντων από το νερό** (Sedlak και Pinkston, 2001 Heberer, 2001). Οι μεμβράνες RO λειτουργούν κάτω από μια διαφορά πίεσης 5-8 MPa. **Μέγεθος απορριπτόμενων 0,001-0,0001μm.**

- **Οι μεμβράνες νανοδιήθησης (Nanofiltration, NF)** χρησιμοποιούνται για την **αφαίρεση των οργανικών ουσιών, αφαίρεση του θειικού άλατος και μερική αφαίρεση ιόντων**. Οι NF μεμβράνες λειτουργούν κάτω από μια διαφορά πίεσης της τάξης των 0.5-1.5 MPa. **Μέγεθος απορριπτόμενων 0,01-0,001μm.**

- **Οι μεμβράνες υπερδιήθησης (Ultrafiltration, UF)** χρησιμοποιούνται για την **αφαίρεση του χρώματος, μεγαλύτερου βάρους διαλυμένων οργανικών ενώσεων, βακτηριδίων και μερικών ιόντων**. Οι UF μεμβράνες λειτουργούν μέσω μιας διαφοράς πίεσης 50–500 kPa. **Μέγεθος απορριπτόμενων 0,3-0,01μm.**

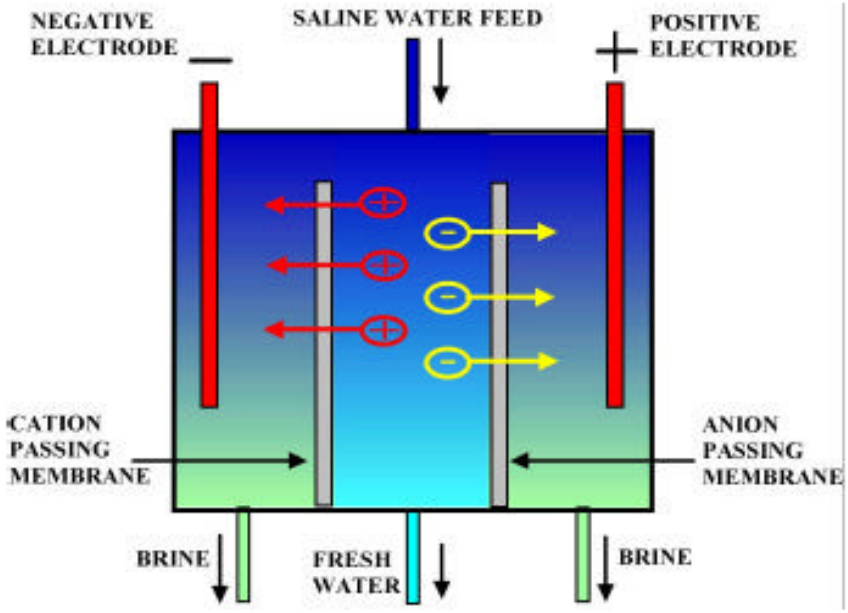
- **Οι μεμβράνες μικροδιήθησης (Microfiltration)** χρησιμοποιούνται για τη μείωση θολότητας, για την **αφαίρεση των αιρούμενων στερεών** και των βακτηριδίων. Οι μεμβράνες MF λειτουργούν μέσω μιας διαφοράς πίεσης 50–500 kPa. **Μέγεθος απορριπτόμενων 1-0,1μm.**



Εικόνα 13: Σειρές μεγέθους που αφαιρούνται από τους διάφορους τύπους μεμβρανών

2.5.2.1 Μέθοδος αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED)

Η ηλεκτροδιάλυση, είναι μια μέθοδος κατά την οποία τα άλατα υπό μορφή ιόντων απομακρύνονται από την κύρια μάζα του διαλύματος μέσω μεμβρανών και έτσι το παραμένον διάλυμα περιέχει άλατα μικρότερης συγκέντρωσης, δηλαδή πόσιμο νερό. Κινητήρια δύναμη που απομακρύνει τα ιόντα είναι η ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από συνεχές ρεύμα. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων στο αλατούχο διάλυμα. **Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και όχι θαλασσινού**. Χρησιμοποιεί ειδικές μεμβράνες και για αυτόν το λόγο κατατάσσεται στις μεθόδους μεμβρανών. Η εφαρμογή της σε μεγάλη κλίμακα αναπτύχθηκε τα τελευταία είκοσι πέντε χρόνια ειδικότερα με την εφαρμογή της αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης (Electrodialysis reversal, EDR) όπου έχουμε συνεχή εναλλαγή της πολικότητας του ηλεκτρικού πεδίου.

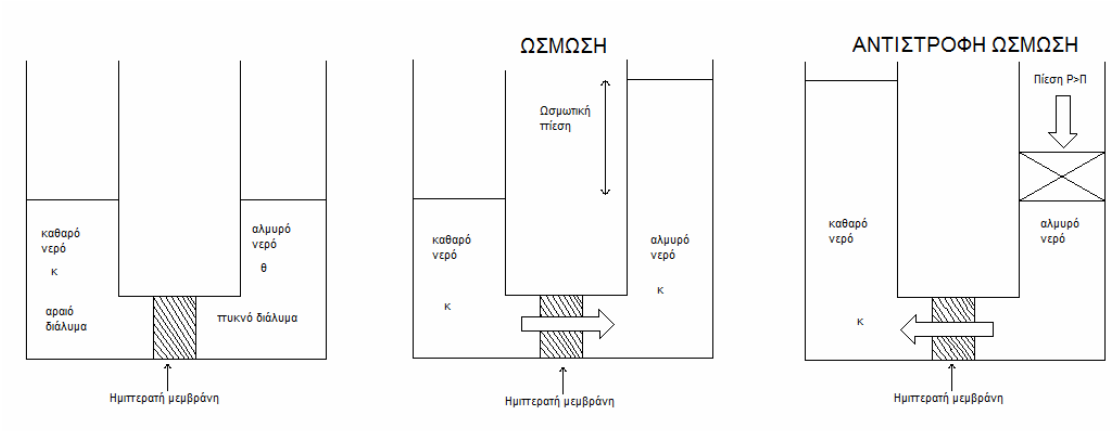


Εικόνα 14: Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου ηλεκτροδιάλυσης (Electrodialysis, ED)

2.5.2.2 Μέθοδος αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση (Reverse osmosis, RO)

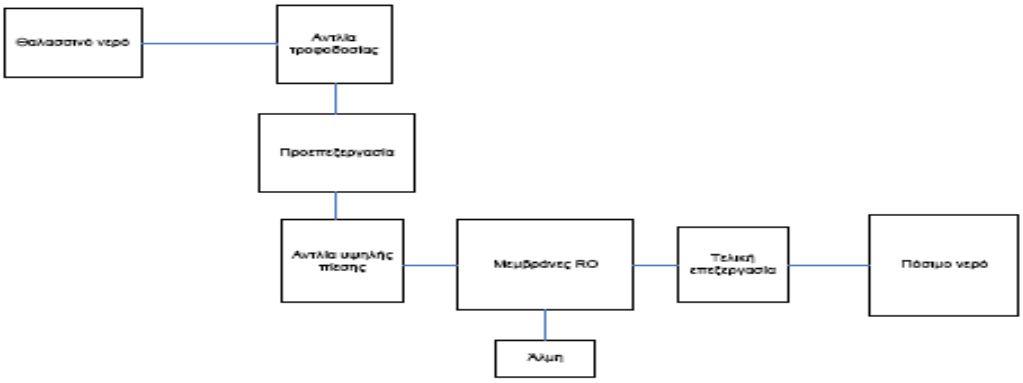
Η διεργασία της αντίστροφης όσμωσης είναι συνέπεια της εφαρμογής μιας εξωτερικής πίεσης P, μεγαλύτερης της οσμωτικής Π, σε ένα πυκνό διάλυμα το οποίο διαχωρίζεται από ένα αραιό διάλυμα με ένα ημιπερατό τοίχωμα ή μια ημιπερατή μεμβράνη. Στο σχήμα 1 που ακολουθεί διακρίνονται δύο θάλαμοι, ο *κ* και ο *θ*. Στον θάλαμο *κ* υπάρχει καθαρό νερό ενώ στον *θ*, θαλασσινό ή αλμυρό νερό. Τα δύο νερά χωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη M και βρίσκονται σε συνήθη ατμοσφαιρική πίεση. Λόγω της διαφοράς δυναμικού στις δύο πλευρές της μεμβράνης, παρατηρείται διάχυση νερού από τον θάλαμο *κ* προς τον θάλαμο *θ*, μέσω της μεμβράνης. Δεν είναι κανονική ροή δια των πόρων της μεμβράνης αλλά διάχυση των μορίων του νερού μέσα από τα κενά της μοριακής δομής του πλέγματος της μεμβράνης.
Η κινητικότητα των μορίων του νερού στη διεπιφάνεια νερού-μεμβράνης είναι μεγαλύτερη από αυτή των αλάτων με αποτέλεσμα τα άλατα να απορρίπτονται από τη μεμβράνη και να παραμείνουν στον θάλαμο *κ*. Το καθαρό νερό που διαχέεται

μέσα από τη μεμβράνη ελαττώνει την πίεση και αυξάνει τη συγκέντρωση των αλάτων του καθαρού νερού, ενώ συγχρόνως αραιώνει το θαλάσσιο νερό και αυξάνει την πίεση στον θάλαμο *θ*. Η αύξηση αυτή εμφανίζεται ως υδροστατική διαφορά της στάθμης των δύο διαλυμάτων. Αυτή η αύξηση της υδροστατικής πίεσης έχει ως συνέπεια τη βαθμιαία ελάττωση της ροής του νερού. Σε κάποιο σημείο της διαρκώς ελαττωμένης ποσότητας νερού που διαχέεται προς τον θάλαμο *θ*, η αύξηση της υδροστατικής πίεσης αντισταθμίζει τη ροή και αποκαθίσταται μια κινητική ισορροπία, όπου το νερό ρέει προς τις δύο κατευθύνσεις. Στο σημείο της ισορροπίας η υδροστατική διαφορά της πίεσης ονομάζεται οσμωτική πίεση. Εφόσον δεν επεμβαίνουν άλλοι εξωτερικοί παράγοντες παραμένει σταθερή στο σημείο ισορροπίας.
Εάν τώρα εφαρμοστεί μια εξωτερική πίεση στην επιφάνεια του θαλασσινού νερού μεγαλύτερη της οσμωτικής Ρ>>Π το φαινόμενο της όσμωσης αντιστρέφεται και τα μόρια του νερού διαχέονται από το θαλασσινό νερό προς το καθαρό, από τον θάλαμο *θ* προς τον θάλαμο *κ*. Η ταχύτητα ροής του νερού είναι ανάλογη με τη διαφορά της εφαρμοζόμενης πίεσης Ρ και της οσμωτικής Π. Στη διεργασία της αντίστροφης όσμωσης η ροή του νερού τροφοδοσίας είναι συνεχής, ενώ η ταχύτητά του ρυθμίζεται ώστε η συγκέντρωση άλμης να κρατείται σε ορισμένα όρια που να μην ελαττώνουν τη ροή του καθαρού νερού για την επικρατούσα πίεση.
Οι παραπάνω διαδικασίες φαίνονται σχηματικά στο σχήμα 1 που ακολουθεί:



Σχήμα 1: Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης

Στην εικόνα 15 που ακολουθεί, παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα λειτουργίας μιας μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση.



Εικόνα 15: Διάγραμμα λειτουργίας μονάδας αφαλάτωσης με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης

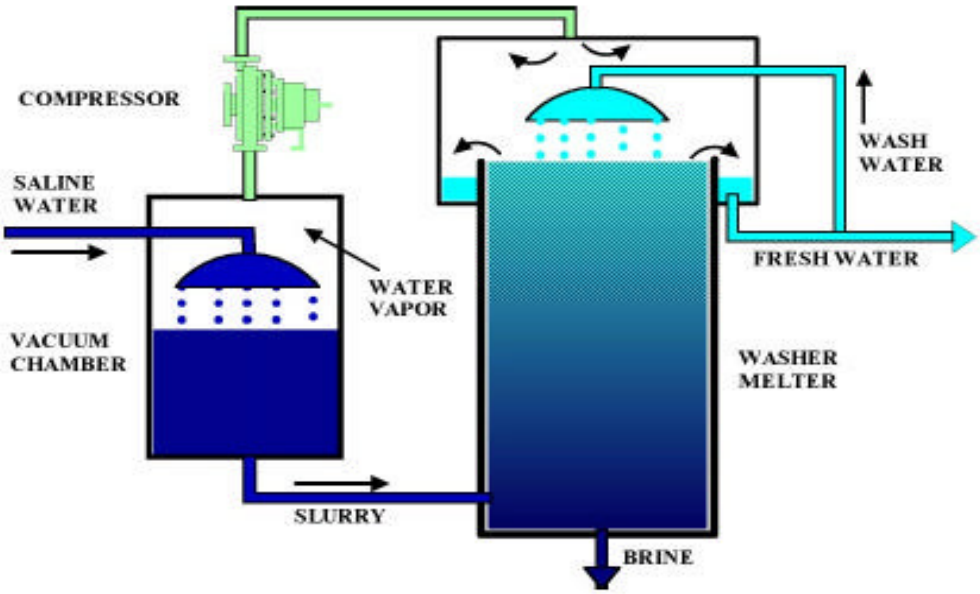
Αρχικά γίνεται άντληση του νερού από τη θάλασσα και στη συνέχεια γίνεται η προεπεξεργασία του. Αυτό γίνεται ώστε να απομακρυνθούν μεγάλα μόρια αλάτων που θα μπορούσαν να φράξουν τους πόρους των μεμβρανών και να αναπτύξουν μικροοργανισμούς στο νερό. Έπειτα, μέσω μιας αντλίας υψηλής πίεσης, το νερό περνάει μέσα από τις μεμβράνες όπου και γίνεται η αφαλάτωση του. Η πίεση της αντλίας ποικίλλει από 17-27 bar για το υφάλμυρο νερό και από 55-82 bar για το θαλασσινό νερό. Από τις μεμβράνες εξέρχεται το αφαλατωμένο νερό και το νερό με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα, η λεγόμενη άλμη. Τέλος, η τελική επεξεργασία αποτελείται από συστήματα αποστείρωσης, σταθεροποίησης και εμπλουτισμού του νερού με μεταλλικά στοιχεία ώστε να πληρούνται οι επιθυμητές προδιαγραφές για τη χρήση του.

2.5.3 Άλλες μέθοδοι αφαλάτωσης

Υπάρχουν και άλλοι διάφοροι μέθοδοι αφαλάτωσης για την αφαλάτωση νερού της θάλασσας. Μερικοί είναι ακόμα σε εργαστηριακό επίπεδο και άλλοι βρέθηκαν να είναι ανεπαρκείς για εμπορικού επιπέδου παραγωγή. Μερικές από αυτές τις τεχνολογίες αφαλάτωσης καλύπτονται παρακάτω.

2.5.3.1 Μέθοδος διαχωρισμού με ψύξη (Freeze Separation, FS)

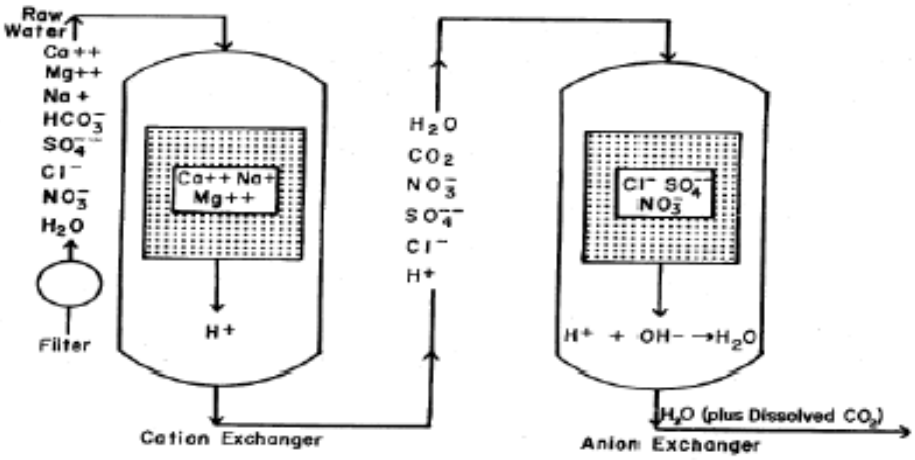
Η μέθοδος διαχωρισμού με ψύξη βασίζεται στην ιδιότητα του νερού που όταν παγώνει με την απαγωγή της θερμότητας του αλατούχου νερού, το γλυκό νερό σχηματίζει τον πάγο ενώ τα άλατα συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του πάγου. Στη συνέχεια, ο πάγος θερμαίνεται για να συλλεχθεί το γλυκό νερό. Η μέθοδος αυτή δεν έχει βρει εφαρμογή λόγω της δυσκολίας σχηματισμού μεγάλων κρυστάλλων πάγου. Ακόμα για να γίνει ο καθαρισμός του πάγου από τα άλατα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ποσότητα νερού ίση περίπου με το μισό του παραγόμενου. Αυτός είναι ο λόγος που η μέθοδος αυτή έχει κριθεί αντιοικονομική. Για να εμπορευματοποιήσουν αυτήν την διαδικασία σε μια μεγάλη κλίμακα, απαιτείται περισσότερη έρευνα.



Εικόνα 16: Απλουστευμένο διάγραμμα της μεθόδου διαχωρισμού με ψύξη

2.5.3.2 Μέθοδος ανταλλαγής ιόντων (Ion Exchange, IE)

Με την μέθοδο ανταλλαγής ιόντων, πραγματοποιείται η αφαίρεση των ανεπιθύμητων ιόντων από το νερό τροφοδοσίας και η αντικατάστασή τους με τα επιθυμητά ιόντα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συχνά για την αποσκλήρυνση του νερού (νερό υψηλό με ασβέστιο ή με μαγνήσιο). Στην IE διαδικασία, τα στρώματα όπως φαίνονται και στην εικόνα 17 είναι τοποθετημένα σε σειρά ώστε το μεταλλικό νερό να έρχεται πρώτα σε επαφή με τον ανταλλακτήρα κατιόντων και στη συνέχεια με τον ανταλλακτήρα ανιόντων. Στον ανταλλακτήρα κατιόντων, αφαιρούνται από το νερό κατιόντα και στη θέση τους τοποθετούνται κατιόντα υδρογόνου. Στον ανταλλακτήρα ανιόντων, αφαιρούνται από το νερό ανιόντα και στη θέση τους τοποθετούνται ιόντα υδροξυλίου. Έτσι οι προσμίξεις αφαιρούνται από το αλμυρό νερό αφήνοντας φρέσκο νερό, ενώ υδρογόνο και υδροξύλιο αντιδρούν μεταξύ τους δίνοντας επιπλέον φρέσκο νερό. Η IE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αφαλατώσει το νερό της θάλασσας, αλλά το κόστος για μεγάλες, εμπορικού επιπέδου, εγκαταστάσεις είναι πολύ υψηλό.



Εικόνα 17: Η μέθοδος της ανταλλαγής ιόντων

2.6 Σύγκριση τεχνολογιών αφαλάτωσης

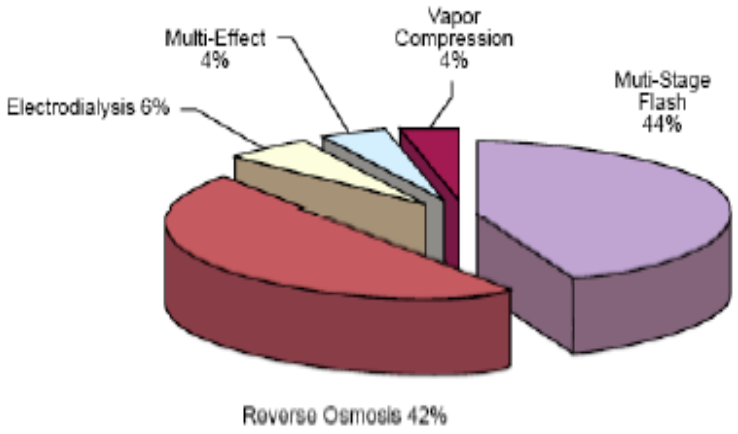
Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας αφαλάτωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: **το είδος του νερού τροφοδοσίας, η πηγή ενέργειας, η ποιότητα του επεξεργασμένου νερού και η δυναμικότητα της μονάδας**. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 8 στον οποίο φαίνονται οι κυριότερες τεχνολογίες αφαλάτωσης βασιζόμενες σε αυτές τις παραμέτρους.

Process	Feed Water Type	Energy Source	Product Water Quality (ppm TDS)	Typical Max Plant Capacities (m^3/day)	Typical Energy Requirements (kWh_{th}/m^3)
Multi-Stage Flash Distillation (MSF)	Seawater	Steam	~10	5,000-60,000	10-14.5
Multiple-Effect Distillation (MED)	Seawater	Steam	~10	5,000-20,000	6-9
Vapor Compression (VC)	Seawater	Electricity	~10	2,400	7-15
Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)	Seawater	Electricity	~350-500	128,000	4-6* 7-13**
Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO)	Brackish	Electricity	~350-500	98,000	.5-2.5
Electrodialysis (ED)	Brackish	Electricity	~350-500	45,000	.7-2.5

Note: *with energy recovery **without energy recovery

Πίνακας 8: Σύγκριση τεχνολογιών αφαλάτωσης

Όπως φαίνεται στον πίνακα 8, όλες οι τεχνολογίες εφαρμόζονται για το θαλασσινό νερό εκτός της μεθόδου της ηλεκτροδιάλυσης που χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Η RO χρησιμοποιείται εξίσου για την επεξεργασία του θαλασσινού και του υφάλμυρου νερού. Χρησιμοποιώντας υφάλμυρο νερό για επεξεργασία, η μέθοδος της RO καταναλώνει λιγότερη ηλεκτρική ενεργεία για τη λειτουργία της και επιτρέπει μεγαλύτερο ρυθμό ανάκτησης ενέργειας σε σχέση με το θαλασσινό. Οι πηγές ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τις τεχνολογίες, με την MSF και MED να στηρίζονται στη θερμική ενέργεια ενώ οι VC, RO, και ED απαιτούν ηλεκτρική. Οι θερμικές τεχνολογίες χρησιμοποιούν ατμό, ο οποίος προέρχεται από τη θέρμανση του νερού από πηγές θερμικής ενέργειας όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα, η πυρηνική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια ενώ οι τεχνολογίες που στηρίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια, θα μπορούσαν να συνδυαστούν με ανανεώσιμες πηγές όπως η αιολική ενέργεια και τα φωτοβολταικά συστήματα. Οι διάφορες διεργασίες αφαλάτωσης δεν παράγουν ιδίας ποιότητας νερό. Οι θερμικές διεργασίες παράγουν πόσιμο νερό συγκέντρωσης 10 ppm ολικών διαλυμένων στερεών (Total dissolved solids, TDS) σε αντίθεση με τις τεχνολογίες των μεμβρανών οι οποίες εμφανίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις διαλυμένων στερεών (TDS) 350-500 ppm, δηλαδή χαμηλότερης ποιότητας νερό. Επιπλέον στον πίνακα 8 φαίνονται τυπικά η μέγιστη δυναμικότητα παραγωγής για κάθε τεχνολογία, χωρίς αυτό να συνεπάγεται ότι είναι το όριο στο οποίο μπορεί κάθε τεχνολογία να εφαρμοστεί. Στην τεχνολογία RO μπορεί να προσθέσουν επιπλέον φίλτρα και να αυξηθεί η παραγωγή. Παρακάτω κατατίθεται η εικόνα 18 με αποτελέσματα του **1998** στα οποία φαίνεται ποιες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται ευρέως για αφαλάτωση (**42% RO**).



Εικόνα 18: Παγκόσμια κατανομή των μεθόδων αφαλάτωσης

Επιπρόσθετα, συγκρίνοντας τις τεχνικές απόσταξης με τις αντίστοιχες που κάνουν χρήση μεμβρανών και κυρίως της αντίστροφης όσμωσης, παρατηρούμε ότι οι μονάδες απόσταξης δεν χρειάζεται να διακόπτουν τη λειτουργία τους για το καθάρισμα και τη συντήρηση του εξοπλισμού όπως συμβαίνει με τις μονάδες RO, παρόλο που μπορούν και πρέπει να διακόπτουν την λειτουργία τους για καθαρισμό και αντικατάσταση των σωλήνων τους. Οι ανάγκες προετοιμασίας του τροφοδοτικού νερού είναι μεγαλύτερες στις μονάδες RO, κυρίως στο στάδιο προ της εισόδου στις μεμβράνες. Τέλος οι μονάδες απόσταξης δεν παράγουν απόβλητα από το πλύσιμο ή την προετοιμασία των μεμβρανών. **Στον αντίποδα, τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου RO είναι ότι γενικά δεν χρειάζεται θέρμανση του νερού τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα οι θερμικές απώλειες να είναι χαμηλότερες. Έχουν λιγότερα προβλήματα διάβρωσης, έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις ενέργειας και μπορούν να απομακρύνουν εκτός από το αλάτι και αλλά ανεπιθύμητα συστατικά όπως βακτήρια, ενώ για την ίδια ποσότητα παραγόμενου νερού οι εγκαταστάσεις είναι πολύ μικρότερες σε όγκο. Στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης, μπορούν να εγκατασταθούν συστήματα ενεργειακής ανάκτησης στην ροή της απορριπτόμενης άλμης που μπορούν να ανακτήσουν έως το 40% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας. Αυτό γίνεται σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπου η ενέργεια πίεσης της απορριπτόμενης άλμης ανακτάται από ένα στρόβιλο.**

2.7 Κόστος

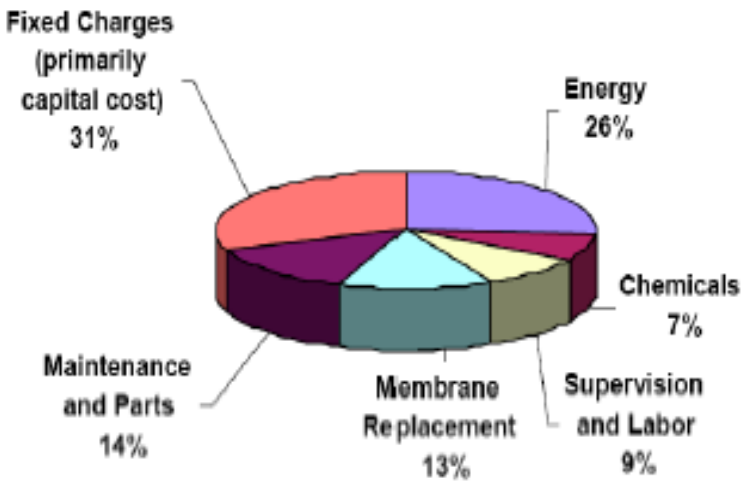
Το κόστος παραγωγής νερού σε μια μονάδα αφαλάτωσης **εξαρτάται κυρίως από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται, από την αλατότητα του νερού τροφοδοσίας, από τις απαιτήσεις ποιότητας του παραγόμενου νερού, από την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και από την παραγωγική ικανότητα της μονάδας κλπ.** Το συνολικό κόστος του παραγόμενου νερού μπορεί να χωριστεί σε τρεις συνιστώσες: **στο κόστος επένδυσης, στο λειτουργικό κόστος και στο κόστος συντήρησης.**
Το αρχικό κόστος επένδυσης περιλαμβάνει **το κόστος εγκατάστασης, το κόστος εξοπλισμού και το κόστος των συμπληρωματικών εργασιών**. Οι μέθοδοι με απόσταξη έχουν υψηλότερο κόστος επένδυσης αλλά χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα από τις μεθόδους μεμβρανών. Ακόμα είναι αναγκαία μεγαλύτερη έκταση για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με τις μεθόδους μεμβρανών. Στο **λειτουργικό κόστος** και στο κόστος συντήρησης περιλαμβάνονται **οι ενεργειακές ανάγκες, το κόστος προσωπικού και τα αναλώσιμα υλικά**. Η συντήρηση περιλαμβάνει τον καθαρισμό των συστημάτων και την αντικατάσταση του εγκατεστημένου εξοπλισμού, όταν υπάρχει πρόβλημα. **Στις μονάδες που χρησιμοποιούν μεμβράνες, η αντικατάσταση των μεμβρανών αποτελεί μεγάλο μέρος των λειτουργικών δαπανών.**

Το κόστος παραγωγής ήταν αρκετά υψηλό κατά την δεκαετία του 1960 όταν κατασκευαστήκαν οι πρώτες μονάδες αφαλάτωσης αλλά διάφορες βελτιώσεις έχουν μειώσει αρκετά το κόστος του παραγόμενου αφαλατωμένου νερού. Στον παρακάτω πίνακα 9 παρουσιάζεται αναλυτικά το κόστος ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση. Σύμφωνα με τον πίνακα 9 το κόστος του αφαλατωμένου νερού με την μέθοδο αντίστροφης όσμωσης (RO) ποικίλει από 0,90 cents per gallon δηλαδή (US$2.37/$m^3$) για μια εγκατάσταση των 0.03 million gallons per day (mgd), σε 0.21 cents/gallon (US$0.55/$m^3$) για μια εγκατάσταση των 30 mgd. Η τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης παραμένει η φτηνότερη λύση σε σύγκριση με τις άλλες τεχνολογίες.

Type of System: Capacity, in millions of gallons per day	Unit Product Cost, $ Cent/gallon
Novel Processes	
MEE-VS, 30effects,Aluminum alloy, Fluted tubes: 90.53	0.182
MEE-ABS, Absorption heat pump and gas turbine: 2.5	0.133
Mechanical Vapor Compression (MVC)	
0.03	1.894
0.13	1.220
1.06	0.939
1.20	0.920
5.28	0.174
Reverse Osmosis	
5.28 (single stage)	0.242
5.28 (two stage)	0.288
0.03	0.898
1.06	0.750
1.20	0.489
9.99	0.413
10.56	0.314
12.00	0.258
30.00	0.208
Multistage Flash Desalination (MSF)	
7.13 (Dual-purpose)[1]	0.292
7.13 (Single-purpose)	0.621
8.45 (Gas turbine, waste-heat boiler)	0.545
7.13	0.595
9.99	0.473
Multiple-Effect Evaporation (MEE)	
6 (Dual-purpose)	0.330
6 (Single-purpose)	0.739
6	0.529
6	0.470
9.99	0.409
9.99 (Gas turbine, waste-heat boiler)	0.496
MEE-TVC	
5.85 (Single-purpose)	0.886
5.85 (Dual-purpose)	0.496
5.85	0.587

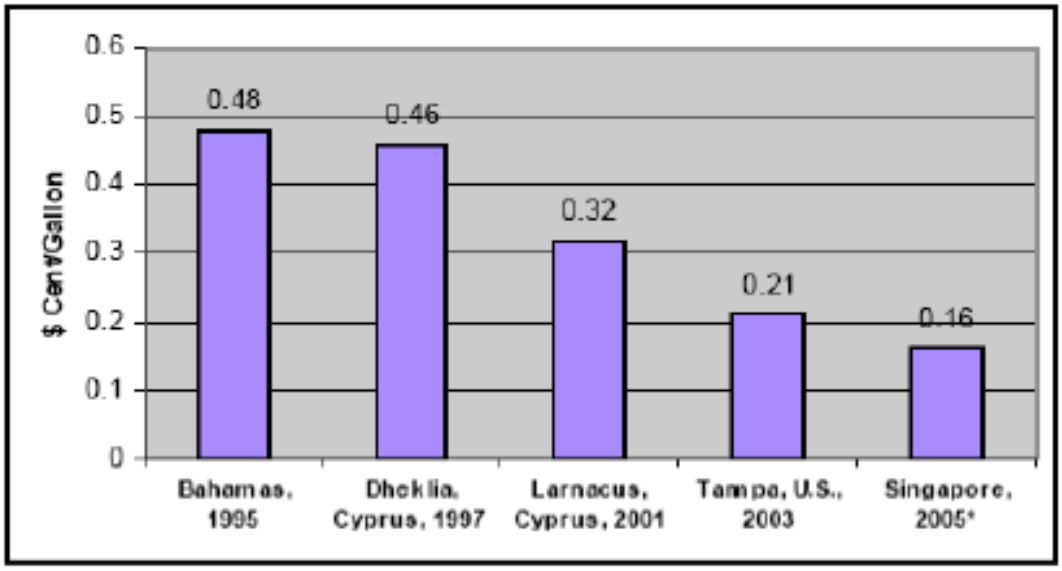
Πίνακας 9: Κόστος αφαλατωμένου νερού

Στην εικόνα 19 παρακάτω παρουσιάζεται η σύνθεση δαπανών για μια τυποποιημένη εγκατάσταση SWRO (Sea Water Reverse Osmosis). Παρατηρούμε ότι η ενέργεια αντιπροσωπεύει σαφώς ένα σημαντικό μερίδιο του συνολικού κόστους (26%).



Εικόνα 19: Σύνθεση δαπανών για μια τυποποιημένη εγκατάσταση SWRO

Η ανάπτυξη φτηνότερων και αποτελεσματικότερων μεμβρανών, η βελτίωση στα συστήματα αποδοτικότητας ενέργειας και άλλες τεχνολογικές πρόοδοι έχουν επιτρέψει στο κόστος του αφαλατωμένου θαλάσσιου νερού με αντίστροφη όσμωση (SWRO) να μειωθεί σημαντικά. Στην εικόνα 20, παρουσιάζεται η δραματική μείωση των δαπανών (μείωση 66%) από ένα σύνολο πραγματικών εγκαταστάσεων SWRO σε όλο τον κόσμο.



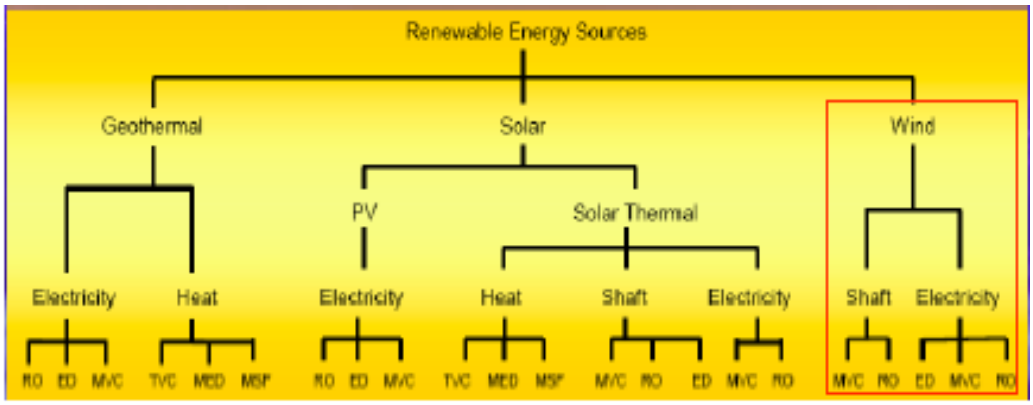
Εικόνα 20: Μείωση κόστους του αφαλατωμένου νερού με αντίστροφη όσμωση

Μέσω της εφαρμογής των επιχορηγήσεων για τα προγράμματα αφαλάτωσης, οι σχετικές δαπάνες δύναται να μειωθούν περαιτέρω. Οι επιχορηγήσεις μπορούν να αντιμετωπισθούν ως επενδύσεις στην έρευνα ή ως καταλύτης για να βοηθήσουν στην περαιτέρω εξοικονόμηση κόστους. Στις αναπτυσσόμενες χώρες οι δαπάνες εγκαταστάσεις της αφαλάτωσης μπορούν να μειωθούν περαιτέρω μέσω των βοηθητικών προγραμμάτων ανάπτυξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 Αφαλάτωση με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η σύζευξη συστημάτων αιολικής ενέργειας και μονάδων αφαλάτωσης, μπορεί να παρέχει οικονομικά πόσιμο νερό σε άνυδρες περιοχές. Βελτίωση αυτών των τεχνολογιών, θα επιτρέψει στις άνυδρες χώρες να αντιμετωπίσουν προβλήματα έλλειψης νερού με μια τοπική πηγή ενέργειας που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον με αέριους ρύπους όπως γίνεται με τις συμβατικές πηγές ενέργειας μέχρι τώρα και συμβάλλει στην επίλυση του πρόβληματος της αλλαγής κλίματος. Ενώ οι δαπάνες των συστημάτων αφαλάτωσης και ανανεώσιμης ενέργειας μειώνονται σταθερά, οι τιμές των καυσίμων ~~θα~~ αυξάνονται καθώς τα αποθέματα μειώνονται. Οι μονάδες αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται από συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας, μπορούν να παρέχουν πόσιμο νερό και ηλεκτρική ενέργεια στις απομονωμένες περιοχές όπου το νερό και η υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας λείπουν. Θεωρώντας ότι οι **ενεργειακές ανάγκες για την αφαλάτωση** συνεχίζουν να είναι ένας ιδιαίτερα ισχυρός παράγοντας στις δαπάνες των συστημάτων αφαλάτωσης, η βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας φαίνεται να είναι μονόδρομος για τη σύζευξη των τεχνολογιών ΑΠΕ και αφαλάτωσης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να τροφοδοτήσουν τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης μέσω τριών τύπων ενέργειας: θερμική (θερμότητα), μηχανική/αξονική (άξονας) και ηλεκτρική. Στην παρακάτω εικόνα 21 παρουσιάζονται οι συνδυασμοί για τους διάφορους τύπους τεχνολογιών αφαλάτωσης με πηγές ανανεώσιμης ενέργειας.



Εικόνα 21: Τεχνολογίες αφαλάτωσης διαθέσιμες με ανανεώσιμη ενέργεια (PV= φωτοβολταϊκά, RO=αντίστροφη όσμωση, ED=Ηλεκτοδιάλυση, MVC=μηχανική συμπίεση ατμού, MED= πολυβάθμια απόσταξη, TVC= θερμική συμπίεση ατμού)

Όπως είναι κατανοητό δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποδοτικοί για χρήση σε κάποια μονάδα αφαλάτωσης, καθώς μπορεί να μην είναι βιώσιμοι υπό ορισμένες συνθήκες. Η βέλτιστη επιλογή συνήθως προκύπτει από μελέτη των τοπικών παραμέτρων της τοποθεσίας που θα κατασκευαστεί η μονάδα όπως: **οι γεωγραφικές συνθήκες, η τοπογραφία της περιοχής, το είδος και η διαθεσιμότητα της ενέργειας που θα είναι διαθέσιμη μετά από την μετατροπή της από τις ανανεώσιμες πηγές με χαμηλό πάντα κόστος, οι τοπικές υποδομές (π.χ. δίκτυο ηλεκτρισμού, συγκοινωνίες), το μέγεθος της μονάδας, η αλατότητα του νερού και η διαθεσιμότητα εξειδικευμένου πρωσικού για τη λειτουργία και συντήρηση της εγκατάστασης.** Στον παρακάτω πίνακα 10 παρουσιάζονται τα διάφορα κριτήρια που αφορούν στη σύζευξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με αφαλάτωση. Αναλύοντας τον πίνακα 10 καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ενώ η αιολική ενέργεια ταιριάζει αρκετά με τη διαδικασία αφαλάτωσης που απαιτεί ηλεκτρική ενεργεία, εντούτοις η αιολική ενέργεια μπορεί να είναι προβληματική ως πηγή ενέργειας επειδή είναι εξαρτώμενη από την ένταση του ανέμου, οπότε υπάρχουν διακυμάνσεις στην παραγόμενη ενέργεια. Γι' αυτό τον λόγο πρέπει να γίνει μελέτη του χώρου που θα εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια, για να εξαχθούν σωστά και ασφαλή συμπεράσματα για το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής είναι δυνατό να προσδιοριστεί εφ' όσον υπάρχει ικανοποιητικό ιστορικό για την ένταση του ανέμου. Λαμβάνοντας υπόψη τριάντα έτη στοιχείων για την ταχύτητα του ανέμου, είναι λογικό να υποτεθεί μια μέση ετήσια ταχύτητα αέρα και επομένως να υπολογιστεί η πιθανή ετήσια ενεργειακή παραγωγή.

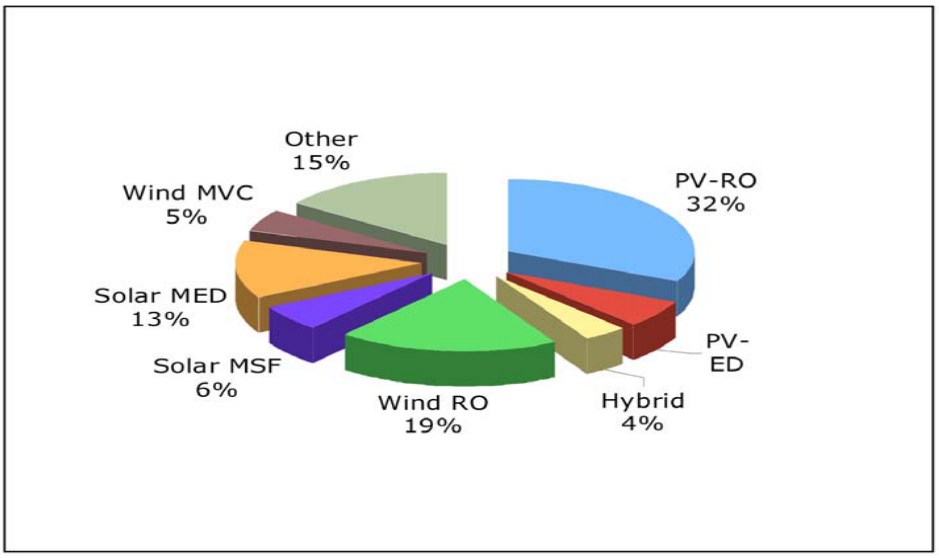
Criterion	PV	Solar thermal energy	Wind energy	Geothermal energy
Suitability for powering desalination plants	Well suited for desalination plants requiring electrical power (3)	Well suited for desalination plants requiring thermal power (3)	Well suited for desalination plants requiring electrical power (3)	Well suited for desalination plants requiring thermal power (3)
Site requirements and resource availability	Typically good match with need for desalination (3)	Typically good match with need for desalination (3)	Resource is location-dependent (2)	Resource is limited to certain locations (1)
Continuity of power output	Output is intermittent (energy storage required) (1)	Output is intermittent (energy storage required) (1)	Output is intermittent (energy storage required) (1)	Continuous power output (3)
Predictability of power output	Output is relatively unpredictable (2)	Output is relatively unpredictable (2)	Output is very unpredictable / fluctuates (1)	Output is predictable (3)

Πίνακας 10: Κριτήρια σύζευξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με αφαλάτωση

Σημείωση: 3= άριστη συμμόρφωση με το κριτήριο 2= καλή συμμόρφωση με το κριτήριο 1= φτωχή συμμόρφωση με το κριτήριο.

Από τον πίνακα 10 παρατηρούμε ότι αρκετά κριτήρια εμπλέκονται στον καθορισμό του καλύτερου συνδυασμού ανανεώσιμης πηγής ενέργειας με τη διαδικασία της αφαλάτωσης. Ήδη έχουν εγκατασταθεί σε διάφορες περιοχές, μονάδες αφαλάτωσης σε συνδυασμό με ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της. Όπως αποδεικνύεται από την εικόνα 22, ο συνδυασμός RO-αιολικής

ενέργειας αποτελεί περίπου το 19% των υπαρχόντων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο πιο δημοφιλής συνδυασμός είναι η χρήση PV-RO (32%).



Εικόνα 22: Διανομή των τροφοδοτημένων τεχνολογιών αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές

3.2 Αφαλάτωση με χρήση αιολικής ενέργειας

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό της μονάδας αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας είναι αν πρόκειται να είναι αυτόνομο σύστημα (off-grid), είτε συνδεδεμένο με το δίκτυο ηλεκτρισμού (grid-connected). Η παρούσα απόφαση θα βασιστεί στην τοπογραφία της περιοχής, έτσι ώστε οι μονάδες αφαλάτωσης που βρίσκονται κοντά στα μεγαλύτερα κέντρα πληθυσμών να μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου υποστηρικτικά προς την ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Εναλλακτικά, ένα αυτόνομο σύστημα θα ταίριαζε καλύτερα για τις μακρινές κοινότητες που δεν έχουν οποιαδήποτε ουσιαστική ηλεκτρική υποδομή. **Ένα πλεονέκτημα της σύνδεσης με το δίκτυο είναι ότι το σύστημα αφαλάτωσης μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί σε ανέμους με χαμηλή ταχύτητα, και γενικά να μπορεί να παρέχει έναν πιο αξιόπιστο ανεφοδιασμό της ενέργειας. Επιπλέον, το σύστημα θα μπορούσε να είναι οργανωμένο έτσι ώστε η περίσσεια ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται για τη διαδικασία της αφαλάτωσης, να μπορεί να πωληθεί πίσω στο δίκτυο χαμηλώνοντας τις λειτουργικές δαπάνες. Για μια αυτόνομη μονάδα**

αφαλάτωσης, είναι αναγκαία η αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας ή μια εφεδρική γεννήτρια για να μπορεί να συνεχίσει τη διαδικασία αφαλάτωσης σε περιόδους χαμηλής έντασης αέρα. Αυτό το πρόσθετο σύστημα απαιτείται, επειδή η αιολική ενέργεια είναι εξαρτώμενη από τους διαθέσιμους ανέμους. Τα περισσότερα συστήματα αφαλάτωσης αυτήν την περίοδο σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν με την περίσσεια ενέργεια που έχει αποθηκευτεί, σε ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες (συσσωρευτές). Είναι πιο επιθυμητό από μια εφεδρική γεννήτρια που απαιτεί ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο επειδή η αποθηκευμένη ενέργεια από την αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά. Σε μερικές περιπτώσεις, φωτοβολταϊκά έχουν αποφευχθεί να συνδυαστούν με ανεμογεννήτριες **χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας** και ο λόγος είναι ότι τα PV είναι επίσης σύστημα κυμαινόμενης παραγωγής ενέργειας. Με άλλα λόγια, στις περιόδους χαμηλής έντασης αέρα και χαμηλής διαθεσιμότητας ηλιακής ενέργειας (νύχτα), το σύστημα αφαλάτωσης θα στερούταν την ικανοποιητική εισαγωγή ενέργειας. Οι προοπτικές του συνδυασμού αιολική ενέργεια-αφαλάτωση οφείλονται κυρίως στο **χαμηλό κόστος της ενέργειας που παράγεται από τον αέρα.** Επίσης, το νερό μπορεί να υποβληθεί σε επεξεργασία και να αποθηκευτεί στις περιόδους ισχυρών ανέμων και το αποθηκευμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των περιόδων χαμηλών ανέμων. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα αποθήκευσης νερού λειτουργεί ως μπαταρία, αλλά με αποδοτικότητα σχεδόν 100%.

Ο πίνακας 11 παρακάτω δείχνει ότι οι εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης με ανεμογεννήτρια (RO-wind) συστήνονται για μικρές (1-50 m^3/d) και μεσαίου εφαρμογές (50-250 m^3/d) ενώ για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις (μεγαλύτερων των 250 m^3/d) προτείνονται εφαρμογές με VC. Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται οι προτεινόμενοι συνδυασμοί με συγκεκριμένες παραμέτρους εισόδου και με τη σημείωση ότι κι οι άλλοι συνδυασμοί είναι πιθανοί. Πραγματικά η χρήση φωτοβολταικών (PV), θεωρείται η καταλληλότερη μέθοδος **για μικρές εφαρμογές** και για περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια. **Αντίθετα για μεγαλύτερες μονάδες η αιολική ενέργεια είναι πιο ελκυστική, αφού έχει μικρότερες απαιτήσεις σε έκταση και επιφάνεια.**

Feed water available	Product water	RE resource available	System size			Suitable RE-Desalination combination
			Small ($1–50\ m^3 d^{-1}$)	Medium ($50–250\ m^3\ d^{-1}$)	Large ($>250\ m^3\ d^{-1}$)	
Brackish Water	Distillate	Solar	*			Solar distillation
	Potable	Solar	*			PV – RO
	Potable	Solar	*			PV – ED
	Potable	Wind	*	*		Wind – RO
	Potable	Wind	*	*		Wind – ED
Sea Water	Distillate	Solar	*			Solar distillation
	Distillate	Solar		*	*	Solar thermal – MED
	Distillate	Solar			*	Solar thermal – MSF
	Potable	Solar	*			PV – RO
	Potable	Solar	*			PV – ED
	Potable	Wind	*	*		Wind – RO
	Potable	Wind	*	*		Wind – ED
	Potable	Wind		*	*	Wind – VC
	Potable	Geothermal		*	*	Geothermal – MED
	Potable	Geothermal			*	Geothermal – MSF

Πίνακας 11: Προτεινόμενοι συνδυασμοί αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η γενικότερη κατεύθυνση είναι ο συνδυασμός τεχνολογιών θερμικής ενέργειας (ηλιακή και γεωθερμική) με θερμικές μεθόδους αφαλάτωσης. Για αυτό και οι παρακάτω συνδυασμοί είναι οι πιο συνηθισμένες επιλογές που χρησιμοποιούνται όταν η μονάδα αφαλάτωσης κάνει χρήση ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

- Αντίστροφη όσμωση(RO), ηλεκτρόλυση(EDR) ή συμπύκνωση ατμών(VC) με χρήση **PV ή αιολικής ενέργειας**
- Μέθοδοι απόσταξης με χρήση **ηλιακής ή γεωθερμικής ενέργειας**

3.3 Αιολική ενέργεια.

Η αιολική ενέργεια, ο άνεμος, υπήρξε μια από τις πρώτες πηγές ενέργειας που χρησιμοποίησε ιστορικά ο άνθρωπος. Ένα απλό παράδειγμα που δείχνει την ευρεία αξιοποίηση του ανέμου στις καθημερινές ανάγκες της ζωής, είναι τα ιστιοφόρα πλοία καθώς και οι γραφικοί ανεμόμυλοι των ελληνικών νησιών. Η γενίκευση της χρήσης του ηλεκτρισμού ανέκοψε αυτή την πανάρχαια σχέση ανθρώπου-ανέμου, χωρίς όμως να τη διακόψει οριστικά. Αντίθετα, πρόσφατα, άρχισε να υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για την εφαρμογή της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού, ως αποτέλεσμα των ενεργειακών κρίσεων της δεκαετίας του '70, των ατυχημάτων στους πυρηνικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρισμού, αλλά και της ευαισθητοποίησης της κοινής γνώμης σε θέματα προστασίας του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Οι άνεμοι δημιουργούνται από την άνιση ηλιακή θέρμανση των διαφόρων περιοχών της γης. Όπως είναι γνωστό η θάλασσα παρουσιάζει μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Κατά την διάρκεια της ημέρας ο αέρας πάνω από τις λίμνες, θάλασσες και τους ωκεανούς παραμένει σε χαμηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα της ξηράς. Η θέρμανση του αέρα της ξηράς έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της πυκνότητάς του και την ανύψωσή του. Έτσι ο σχετικά ψυχρότερος αέρας της θάλασσας κινείται προς τη θέση του θερμότερου αέρα της ξηράς με αποτέλεσμα την εμφάνιση των γνωστών ανέμων. Η συνολική ισχύς των ανέμων παγκοσμίως σύμφωνα με έγκυρες επιστημονικές μελέτες υπολογίζεται σε 1014 kW περίπου, ενώ η ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί ανέρχεται προσεγγιστικά στις 106 GWh

Η αιολική ενέργεια βρίσκει εφαρμογή κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μηχανές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική σε πρώτη φάση και σε ηλεκτρική ενέργεια τελικά, ονομάζονται Συστήματα Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας κατά αναλογία του Αγγλικού όρου Wind Energy Conversion Systems (WECS). Συνήθως, στην Ελληνική βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται διάφοροι όροι, -όπως ο επικρατέστερος ανεμογεννήτρια, ανεμοκινητήρας, ανεμομηχανή κ.λπ.-.

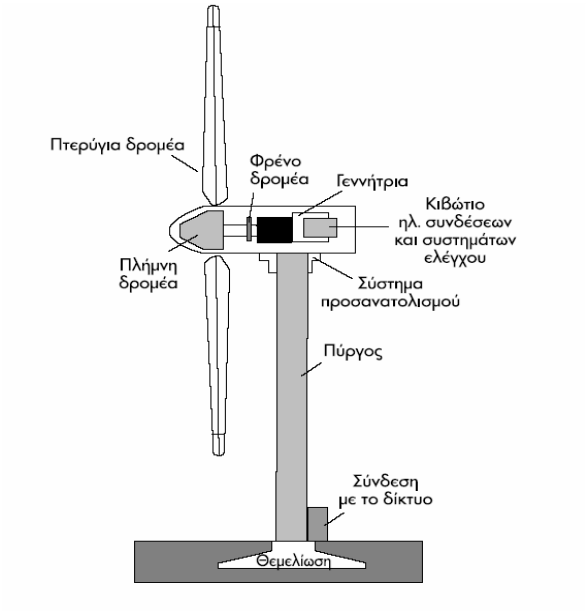
Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο περιστροφής του δρομέα των πτερυγίων τους σε δύο κατηγορίες:

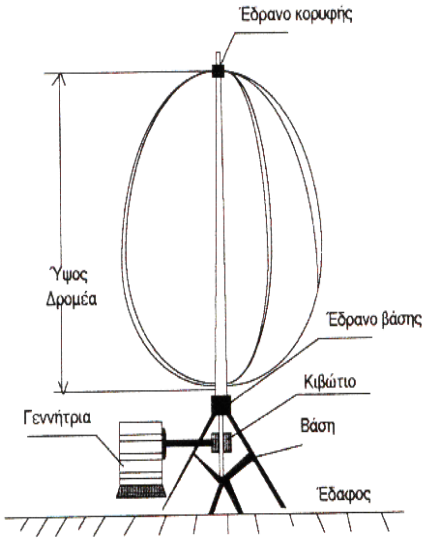
• **Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα**, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.

• **Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα**, των οποίων ο δρομέας παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους.

Ο επικρατέστερος τύπος ανεμογεννητριών στο εμπόριο είναι οριζοντίου άξονα με τρία πτερύγια, ώστε να επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας τόσο ως προς το βαθμό απόδοσης, όσο και ως προς το κόστος παραγωγής. Επίσης, υπάρχουν στο εμπόριο και ανεμογεννήτριες με δύο ή και ένα πτερύγια, αλλά με περιορισμένη διάδοση. Η ανάπτυξη των σύγχρονων ανεμογεννητριών έχει περάσει στη φάση ωριμότητας και αξιοποίησης της τεχνογνωσίας, με αποτέλεσμα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται συχνά

σε τιμές ανταγωνιστικές των συμβατικών πηγών. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, κυρίως η Δανία, η Γερμανία αλλά και η Ισπανία, είναι οι χώρες με την μεγαλύτερη διάδοση ανεμογεννητριών και την ισχυρότερη εγχώρια βιομηχανία. Είναι γεγονός ότι στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχει μια σημαντική κινητικότητα για έρευνα και ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.
Το αιολικό δυναμικό της χώρας μας είναι εξαιρετικά υψηλό. Συγκεκριμένα από μετρήσεις του αιολικού δυναμικού σε διάφορες περιοχές της χώρας, τις οποίες πραγματοποίησε το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), προκύπτει ότι στα νησιά του Αιγαίου η μέση τιμή του ανέμου σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος είναι της τάξης των **7 m/s,** χωρίς να αποκλείονται περιοχές με μέσες τιμές 8-11 m/s. Οι αντίστοιχες τιμές των παράκτιων ανατολικών περιοχών της χώρας είναι λίγο κατώτερες (περίπου 6 m/s), οι οποίες όμως εξακολουθούν να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμες.





Εικόνα 23,24: Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα - Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα,

3.4 Αιολική ενέργεια και τεχνικά αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό

Η εγκατάσταση ανεμογεννητριών (Α/Γ) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Η/Ε) γίνεται ολοένα πιο δημοφιλής και αποδεκτή σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Ο υπολογισμός του τεχνικά αξιοποιήσιμου αιολικού δυναμικού είναι μία αρκετά πολύπλοκη διαδικασία ακόμα και αν ληφθεί υπόψη μόνο η διαθεσιμότητα του ανέμου και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιούμε. Η μέση μηνιαία ή ετήσια ταχύτητα του ανέμου και ο βαθμός απόδοσης των ανεμογεννητριών δεν αρκούν για τον υπολογισμό. **Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε ακριβώς τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια του έτους.**

Πολλές φορές η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του χρόνου παριστάνεται με την βοήθεια της **κατανομής Weibull** η οποία εκφράζει την πιθανότητα p(x) να έχουμε ταχύτητα ανέμου x κατά την διάρκεια του έτους:

$$p(x) = \left(\frac{k}{C}\right)\left(\frac{x}{C}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{C}\right)^{k}\right] \quad \textbf{(1)}$$

Αυτή η σχέση ισχύει μόνο για: $k>1$, $x\geq 0$, & $C>0$

όπου:

k: shape factor (παράγοντας μορφής), ο οποίος προσδιορίζεται από τον χρήστη. Κυμαίνεται από 1 έως 3 για δεδομένη μέση ταχύτητα ανέμου. Ένας χαμηλός shape factor αποδεικνύει μία σχετικά ευρεία διασπορά της τιμής της ταχύτητας του ανέμου γύρω από τον μέσο όρο, ενώ ένας υψηλός shape factor αποδεικνύει μία σχετικά περιορισμένη διασπορά της ταχύτητας του ανέμου γύρω από τον μέσο όρο. **Ένας χαμηλός shape factor οδηγεί σε υψηλότερη παραγωγή ενέργειας**

C: είναι το scale factor (παράγοντας κλίμακας), που υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$C = \frac{\overline{x}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad \textbf{(2)}$$

όπου:

x : είναι η μέση ταχύτητα ανέμου
Γ: είναι η «σχέση γάμα»

Στο συγκεκριμένο σχήμα 1, δεχόμαστε μια μέση ταχύτητα ανέμου 7m/sec και χρησιμοποιείται **παράμετρος μορφής 2**. Για τα νησιά του Αιγαίου η παράμετρος μορφής κυμαίνεται από 1,4 έως 2 [ενώ σε ορισμένα νησιά παίρνει μικρότερες τιμές όπως 1,22 (Κρήτη-Ηράκλειο) και 1,33 (Άραξος)].**Όσο μικρότερη είναι η τιμή της παραμέτρου τόσο η κατανομή γίνεται πιο ομοιόμορφη και οι ταχύτητες κοντά στην μέση είναι συχνότερες**. Για να σχηματιστεί η καμπύλη του σχήματος 1 απαιτείται πειραματικός προσδιορισμός της συχνότητας των ταχυτήτων του ανέμου και γνώση της μορφολογίας της περιοχής (roughness class) έτσι ώστε οι ταχύτητες να αναχθούν από το ύψος των μετεωρολογικών μετρήσεων στο ύψος του ρότορα της Α/Γ. Αυτή η αναγωγή γίνεται με την βοήθεια της σχέσης 3:

$$\frac{\bar{V}}{\bar{V}_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{\alpha} \qquad \textbf{(3)}$$

Όπου:

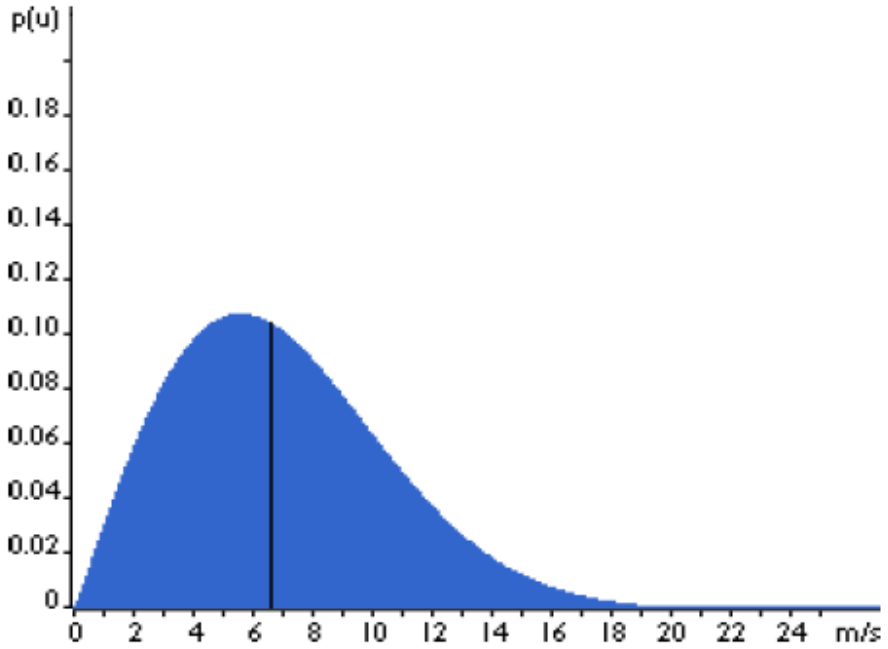
- **V** είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του δρομέα **H**
- $\mathbf{V_0}$ είναι η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του ανεμόμετρου $\mathbf{H_0}$
- **α** είναι η παράμετρος που αυξάνεται όσο πιο έντονη γίνεται η μορφολογία και η τραχύτητα του εδάφους

Η ισχύς του ανέμου ορισμένης ταχύτητας είναι:

$$\mathbf{P = 0{,}5 \cdot p \cdot A \cdot u^3} \qquad \textbf{(4)}$$

Όπου:

- **p** είναι η πυκνότητα του αέρα
- **A** είναι η επιφάνεια από όπου διέρχεται ο άνεμος
- **u** είναι η ταχύτητα του ανέμου



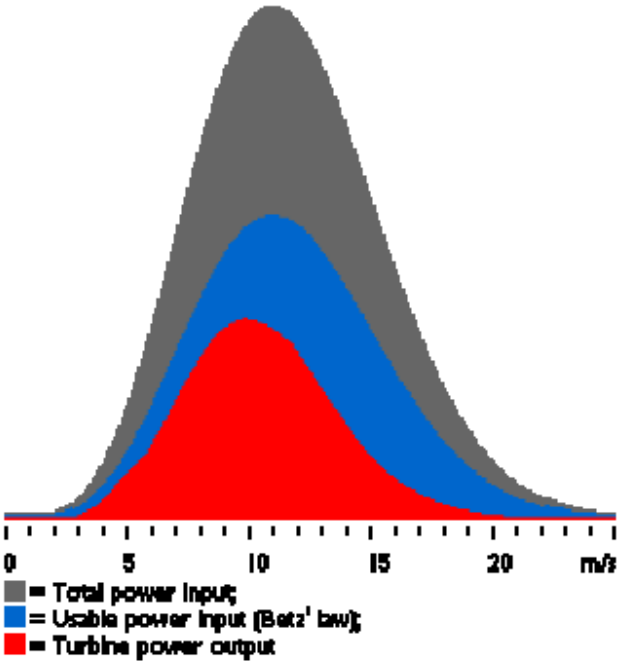
Σχήμα 2: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ταχυτήτων ανέμου

Από το σχήμα 2 φαίνεται ότι οι υψηλές ταχύτητες ανέμου σπανίζουν αλλά η συνεισφορά τους στην παραγομένη ενέργεια είναι πολύ μεγάλη (σχέση 4). Για τον υπολογισμό της αιολικής ισχύος δεν λαμβάνουμε υπόψη την μέση ταχύτητα αλλά πολλαπλασιάζουμε κάθε πιθανότητα μιας ορισμένης ταχύτητας ανέμου (από την Weibull) με την ισχύ που παράγεται σε αυτή την ταχύτητα. Έτσι σχηματίζεται η θεωρητική κατανομή της αιολικής ισχύος για κάθε ταχύτητα (σχήμα 3, γκρι καμπύλη). Μια Α/Γ δεν μπορεί να παραλάβει όλη αυτή την ισχύ γιατί τότε ο αέρας που θα περνούσε πίσω από την έλικα της ανεμογεννήτριας δεν θα απομακρύνονταν διότι θα είχε μηδενική κινητική ενέργεια στην έξοδο. Έτσι, δεν θα παραλάμβανε καθόλου ενέργεια επειδή ο στάσιμος αέρας στην έξοδο δεν θα επέτρεπε να εισαχθεί νέος. Στην αντίθετη περίπτωση θα διέρχονταν ο αέρας χωρίς καμία αντίσταση και δεν θα παράγονταν έργο. Έχει αποδειχτεί ότι μια ιδανική ανεμογεννήτρια θα πρέπει να μειώσει την αρχική ταχύτητα του αέρα κατά τα 2/3 της. Επιπλέον σύμφωνα με τον νόμο του Albert Betz (1919), η μέγιστη μηχανική ισχύς που μπορεί να παραχθεί από την αιολική ενέργεια είναί ίση με 59,3% αυτής (σχέση 5).

$$\mathbf{P_{max} = 0{,}593 \cdot P} \qquad \mathbf{(5)}$$

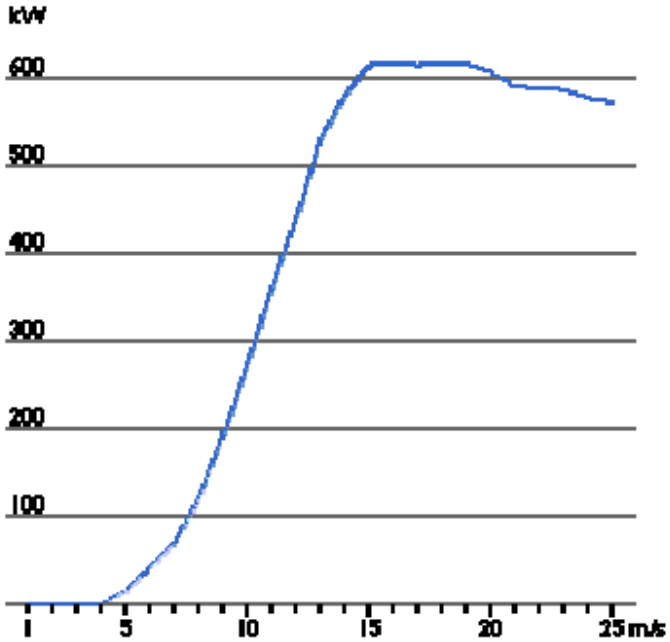
Η σταθερά 0,593 ονομάζεται σταθερά του Benz και εκφράζει το μέγιστο βαθμό απόδοσης μιας ιδανικής ανεμογεννήτριας. Στην πράξη ο βαθμός απόδοσης των ανεμογεννητριών έχουν τιμές από **0,35 έως 0,45**.

Όπως αναφέραμε, αν πολλαπλασιαστεί η ισχύς ανέμου για κάθε ταχύτητα (σχέση 4) με την αντίστοιχη πιθανότητα εμφάνισης αυτής της ταχύτητας (σχήμα 2) τότε προκύπτει η γκρι καμπύλη του σχήματος 3. Έτσι κάτω από την γκρι καμπύλη φαίνεται η θεωρητική ισχύς ανά m^2 ροής αέρα **(δεχόμενοι μια μέση ταχύτητα 7m/s και παράμετρο μορφής της Weibull 2)**. Η περιοχή κάτω από την γκρι καμπύλη αποτελεί το 59,3% της θεωρητικής ενώ η κόκκινη περιοχή εκφράζει την πραγματική ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από την Α/Γ. Συγκρίνοντας τη μορφή των σχημάτων 2 και 3 συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος της Η/Ε από Α/Γ κατά την διάρκεια ενός έτος παραλαμβάνεται σε ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες της μέσης (για αυτό άλλωστε δεν μπορούμε να υπολογίσουμε το αιολικό δυναμικό από την μέση ταχύτητα).



Σχήμα 3: Συνάρτηση πυκνότητας ισχύος ανέμου και Α/Γ

Για να γίνει ο προσδιορισμός της κόκκινης περιοχής πρέπει να λάβουμε υπόψη την καμπύλη ισχύος (power curve) της ανεμογεννήτριας. Η καμπύλη αυτή καθορίζει την απόδοση της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου και είναι διαφορετική για κάθε Α/Γ. Μια τυπική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 600 kW Δανικής κατασκευής(«Danish Wind Turbine Manufacturers Association web site» www.windpower.dk) φαίνεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4: Καμπύλη ισχύος Α/Γ

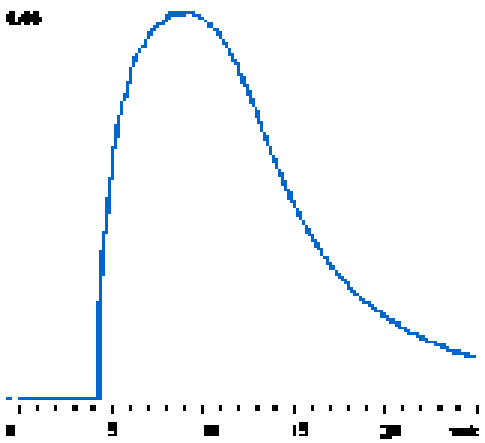
Για τον προσδιορισμό της μέσης ετήσιας ισχύος (σύμφωνα με την μέθοδο Cliff) πρέπει να πολλαπλασιαστούν οι αντίστοιχες τιμές των σχημάτων 2 και 4 που ισχύουν για κάθε ταχύτητα ανέμου και να αθροιστούν τα γινόμενα. Δηλαδή με το πολλαπλασιασμό της πιθανότητας εμφάνισης μιας ταχύτητας ανέμου (σχήμα 2) με την ισχύ που αποδίδει η ανεμογεννήτρια σε αυτή την ταχύτητα (σχήμα 4), προσδιορίζεται η συνεισφορά της κάθε ταχύτητας του ανέμου στην μέση ετήσια ισχύ της ανεμογεννήτριας. Στην συνέχεια το άθροισμα αυτών των γινομένων (μέση ετήσια ισχύς) πολλαπλασιάζεται με την διαθεσιμότητα της ανεμογεννήτριας και με τις 8760 ώρες του έτους. Η **διαθεσιμότητα** των σύγχρονων Α/Γ είναι τουλάχιστον **98%.** Επιπλέον πρέπει να λάβουμε υπόψη τη μέση θερμοκρασία της περιοχής που εξετάζουμε, διότι κάθε καμπύλη ισχύος Α/Γ έχει υπολογιστεί για 15ºC. Μια αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγούσε σε μείωση της πυκνότητας του αέρα άρα και της ισχύος της Α/Γ διότι τότε μετατοπίζεται η καμπύλη του σχήματος 4 προς τα κάτω σύμφωνα με τη σχέση ισχύος της Α/Γ:

$$\mathbf{P' = 0{,}5 \cdot \rho \cdot u^3 \cdot A \cdot C_f} \qquad \mathbf{(6)}$$

Όπου:

- C_f: Συντελεστής άνωσης (χαρακτηριστικός για κάθε Α/Γ)
- Τα υπόλοιπα μεγέθη όπως στην σχέση 4

Το διάγραμμα του σχήματος 4 είναι δεδομένο από τον κατασκευαστή. Από την σχέση 6 ή το σχήμα 4 φαίνεται ότι είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε με μεγάλη ακρίβεια την ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή εγκατάστασης των Α/Γ. Επιπλέον είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια μιας Α/Γ συναρτήσει της μέσης ταχύτητας του ανέμου για διάφορες τιμές της παραμέτρου μορφής. Η καμπύλη αυτή εξάγεται με βάση την μέθοδο Cliff και συνήθως δίνεται μαζί με τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά της Α/Γ.



Σχήμα 5: Βαθμός απόδοσης Α/Γ

Για να προσδιοριστεί ο βαθμός απόδοσης μιας Α/Γ συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου, πρέπει να διαιρεθεί κάθε ισχύ της αντίστοιχης καμπύλης 4 με τη θεωρητική ισχύ του ανέμου σε αυτή την ταχύτητα (σχέση 4). Έτσι προκύπτει ο βαθμός απόδοσης του σχήματος 5. Προκύπτει $\mathbf{P_{max} = 0{,}46 \cdot P}$

Ένα άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος μιας Α/Γ που εξαρτάται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου κατά την διάρκεια του έτους, τον τόπο εγκατάστασης της Α/Γ και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της Α/Γ είναι ο συντελεστής εκμετάλλευσής της. **Ο συντελεστής αυτός, εκφράζει το λόγο της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας προς αυτήν που θα παράγονταν αν η Α/Γ λειτουργούσε στην ονομαστική ισχύ της συνεχώς κατά την διάρκεια του έτους. Ο συντελεστής εκμετάλλευσης εκφράζει πόσο αξιοποιείται η Α/Γ στον τόπο εγκατάστασης της.**

Είναι προφανές ότι κάθε ανεμογεννήτρια μπορεί να είναι βελτιστοποιημένη ώστε να αποδίδει καλύτερα σε ένα εύρος ταχυτήτων. Μεταβάλλοντας μεγέθη όπως: **το ύψος της Α/Γ ή τη γωνία και τη γεωμετρία των πτερυγίων ή το μέγεθος των πτερυγίων ή το μέγεθος της γεννήτριας μεταβάλλεται η ενεργειακή συμπεριφορά της**. Αλλάζοντας τα δυο τελευταία μεγέθη μεταβάλλεται η καμπύλη ισχύος της Α/Γ, ενώ το ύψος της Α/Γ επηρεάζει μόνο την ταχύτητα του ανέμου. Γενικά οι Α/Γ πρέπει να έχουν τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης στις ταχύτητες ανέμου που παράγεται η περισσότερη ενέργεια ετησίως (δηλ στο εύρος των συχνότερων υψηλών ταχυτήτων). Για δεδομένο μέγεθος έλικα, όσο πιο μεγάλη είναι η γεννήτρια και όσο μεγαλύτερες οι ταχύτητες του ανέμου (αυτό επιτυγχάνεται αυξάνοντας το ύψος του ρότορα), τόσο πιο πολύ ενέργεια θα παράγεται, όμως συγχρόνως δεν θα αποδίδει ικανοποιητικά σε μικρές και μέσες ταχύτητες. Αντίθετα για την ίδια έλικα, όσο μικρότερη είναι η γεννήτρια τόσο καλύτερα θα αποδίδει σε αδύναμους ανέμους αλλά δεν θα αποδίδει ικανοποιητικά σε μεγάλες ταχύτητες. Οι μικρές Α/Γ παράγουν μικρά ποσά Η/Ε, όμως δεν απαιτούν ισχυρό δίκτυο Η/Ε, παράγουν σχετικά πιο σταθερή ισχύ (διότι αποδίδουν καλύτερα σε μικρότερες ταχύτητες), απαιτούν μικρότερο κόστος θεμελίωσης και είναι αισθητικά πιο αποδεκτές από τους κατοίκους. Τέλος τα αιολικά πάρκα (Α/Π) είναι προφανώς πιο αξιόπιστα όταν έχουν πολλές μικρές Α/Γ. Με βάση τα παραπάνω φαίνεται ότι μια μεγάλη Α/Γ δεν είναι πάντα η καλύτερη λύση, αλλά εξαρτάται από την ταχύτητα των ανέμων και τις ανάγκες μας σε Η/Ε. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι οι Α/Γ παραλαμβάνουν περίπου μέσα σε 2-3 μήνες λειτουργίας όλη την ενέργεια που απαιτήθηκε για να κατασκευαστούν, ενώ οι παραθαλάσσιες Α/Γ απαιτούν ακόμα λιγότερο χρόνο.

Η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα αιολικό πάρκο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\mathbf{E = N \cdot k \cdot A \cdot V_{\mu}^{3}} \qquad \mathbf{(7)}$$

αν $V_{\varepsilon} \leq V_{\mu} \leq V_{\alpha}$

ενώ είναι 0 όταν:

$V_{\mu} \geq V_{\varepsilon}$ ή $V\alpha \geq V_{\mu}$

Όπου:

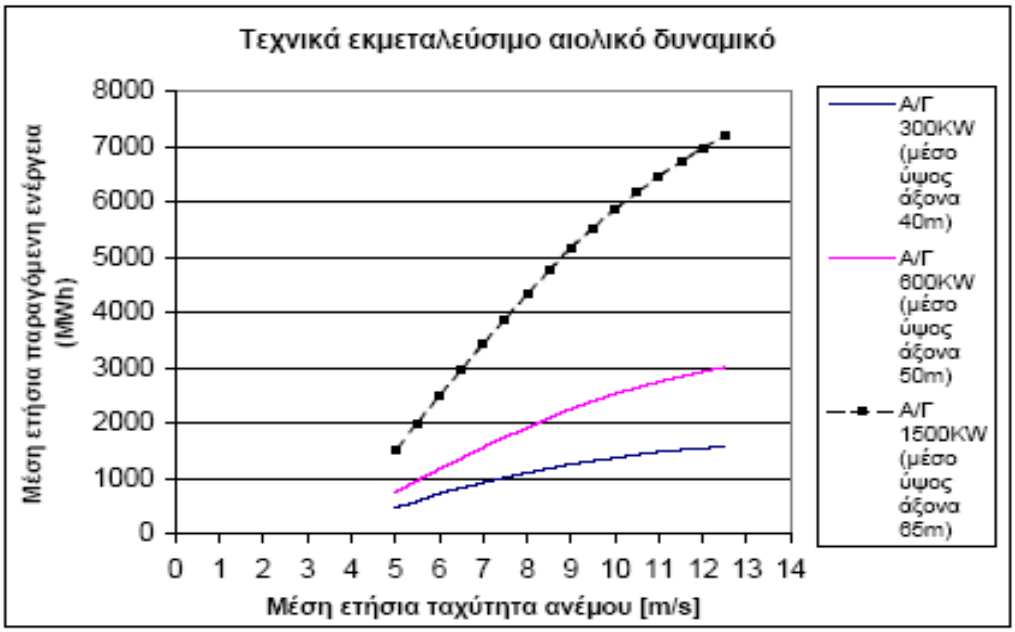
E: η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το αιολικό πάρκο (kWh/έτος)
N: ο αριθμός των ομοειδών ανεμογεννητριών που αποτελούν το αιολικό πάρκο
k: συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των ανεμογεννητριών, τη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου και την κατανομή συχνοτήτων του ανέμου στην τοποθεσία εγκατάστασης. Μια προσεγγιστική τιμή είναι k=2,5
$\mathbf{V_{\mu}}$: η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου (m/s)
A : η επιφάνεια σάρωσης των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας (m^2)
$\mathbf{V_{\varepsilon}}$: η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας της ανεμογεννήτρια, με τιμές συνήθως 4-5 m/s
$\mathbf{V_{\alpha}}$: η ταχύτητα αποκοπής λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, με τιμές συνήθως 25-30 m/s

3.5 Πραγματικό αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό

Μετά τον υπολογισμό του τεχνικά αξιοποιήσιμου αιολικού δυναμικού λαμβάνονται υπόψη κάποιες απώλειες της τάξεως του 10-15%. Αυτές οι απώλειες οφείλονται στη σκίαση των Α/Γ μεταξύ τους, σε επικαθίσεις σκόνης και αλάτων στα πτερύγια, στη διαθεσιμότητα του δικτύου, στις μικρές απώλειες μεταφοράς κλπ. Είναι πιθανό, λόγω των τοπικών ιδιαιτεροτήτων, να υπάρξει κάποια μικρή διαφορά ανάμεσα στα αποτελέσματα των υπολογισμών και στην πραγματικά παραγόμενη ενέργεια. Η κύρια παράμετρος που καθορίζει το αιολικό δυναμικό είναι η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου. Η μάρκα και ο τύπος της ανεμογεννήτριας της ίδιας ισχύος οδηγούν σε διαφορές της παραγόμενης Η/Ε το πολύ κατά ποσοστό 10%. Συγχρόνως, αν η μορφολογία της περιοχής εγκατάστασης των Α/Γ είναι ήπια, τότε η ταχύτητα αυξάνεται ελάχιστα με το ύψος. Θα αποτελούσε παράλειψη να μην αναφέρουμε κάποια αποτελέσματα από υπάρχουσες έρευνες πάνω στο προσδιορισμό του τεχνικά αξιοποιήσιμου αιολικού δυναμικού στα νησιά του Αιγαίου. Έτσι από την έρευνα «Αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στα νησιά του Νοτίου Αιγαίου» του Υπουργείου Ανάπτυξης, προκύπτουν ο πίνακας 12 και το διάγραμμα 3. **Σε αυτήν την έρευνα έχουν εξεταστεί 3 εναλλακτικά σενάρια εγκατάστασης Α/Π: με Α/Γ 300 kW που αποτελούν χαρακτηριστικό μέγεθος Α/Γ της προηγούμενης γενιάς, με Α/Γ 600 kW που είναι οι πιο αντιπροσωπευτικές της τωρινής αιολικής τεχνολογίας και με Α/Γ των 1500 kW που θα αποτελέσουν σύντομα το συνηθισμένο μέγεθος Α/Γ**. Επιπλέον η μέση απόδοση για κάθε Α/Γ που προέκυψε ως μέσος όρος των αποδόσεων των Α/Γ διαφόρων κατασκευαστών και η παράμετρος μορφής της κατανομής Weibull θεωρήθηκε ίση με 1,75. Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 12 και το διάγραμμα 3 μπορούμε να κάνουμε μια αρχική εκτίμηση του τεχνικά εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού. (Σύμφωνα με τον νόμο 2244/94, το ανώτερο όριο παραγωγής Η/Ε με χρήση ΑΠΕ σε ένα αυτόνομο δίκτυο είναι ίσο με 30% του μέγιστου φορτίου του).
Ένας εναλλακτικός και συντομότερος τρόπος υπολογισμού του αιολικού δυναμικού είναι η χρήση του Power calculator. Το Power Calculator είναι μια εφαρμογή, γραμμένη σε γλώσσα JAVA με σκοπό τον ακριβή υπολογισμό του αιολικού δυναμικού και μπορεί να βρεθεί στην ιστοσελίδα «Danish Wind Turbine Manufacturers Association web site www.windpower.dk.».

Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)	Α/Γ 300 kW (μέσο ύψος άξονα 40m), σε MWh	Α/Γ 600kW (μέσο ύψος άξονα 50m), σε MWh	Α/Γ 1500kW (μέσο ύψος άξονα 65m), σε MWh
5	465	744,6	1504,3
5,5	585	954,6	1997,2
6	721,4	1164,6	2490
6,5	824,5	1363,1	2963,2
7	924,8	1562,2	3436,3
7,5	1014,5	1741,1	3884,6
8	1101	1919,5	4332,9
8,5	1180,9	2089,7	4756,6
9	1255,4	2258	5180,3
9,5	1317,5	2396,7	5525,6
10	1372,4	2531,5	5870,8
10,5	1427,4	2640	6171,8
11	1476,6	2748,5	6472,5
11,5	1514,7	2839,2	6727,9
12	1545,9	2930	6983,2
12,5	1567	3010	7192,9

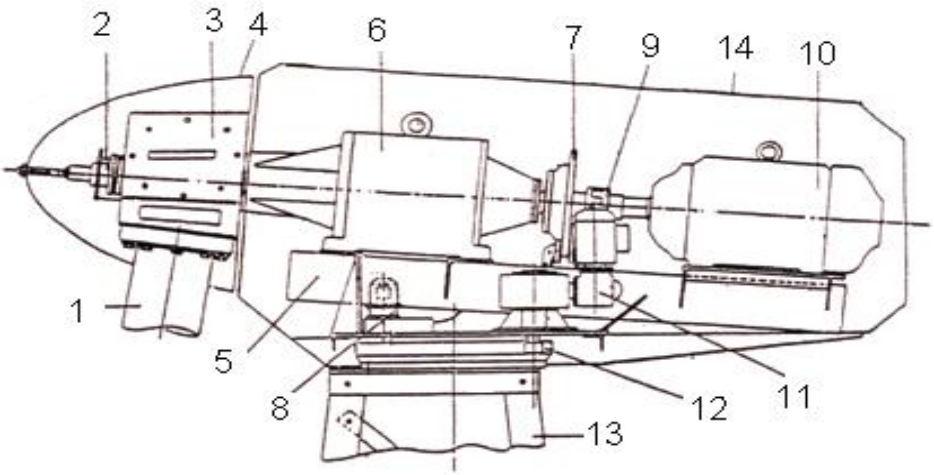
Πίνακας 12: Μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Διάγραμμα 3: Μέσο ετήσιο αιολικό δυναμικό συναρτήσει ταχύτητας ανέμου για διάφορων τύπων ανεμογεννητριών

3.6 Περιγραφή μονάδας ανεμογεννήτριας

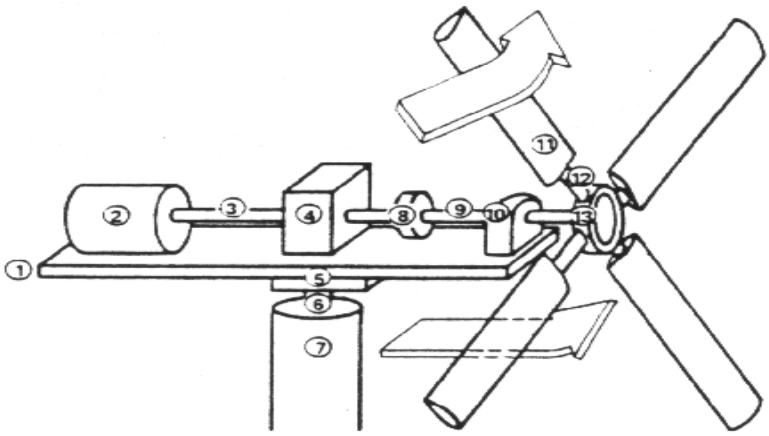
Η περιγραφή αντιστοιχεί σε μια Α/ Γ του τύπου «BW 10» η οποία είναι σχεδιασμένη για να παρέχει ρεύμα 220/150 Hz κυρίως για την εξυπηρέτηση εγκαταστάσεων που η σύνδεσή τους με το δίκτυο της ΔΕΗ δεν είναι δυνατόν να γίνει. Στο σχήμα 6 που ακολουθεί, φαίνεται η γενική μορφή της ατράκτου της Α/Γ, η οποία αποτελείται από τα εξής μέρη:



Σχήμα 6: Γενική μορφή ατράκτου ανεμογεννήτριας

(1) Πτερύγιο
(2) Φυγοκεντρικός μηχανισμός αεροδυναμικού φρένου
(3) Πλήμνη
(4) Κάλυμμα πλήμνης
(5) Πλαίσιο ατράκτου
(6) Κιβώτιο πολλαπλασιασμού
(7) Δισκόφρενο
(8) Υδραυλική μονάδα ελέγχου του φρένου
(9) Ελαστικός σύνδεσμος
(10) Γεννήτρια
(11) Μονάδα προσανεμισμού ατράκτου
(12) Τράπεζα ολίσθησης
(13) Πυλώνας
(14) Κάλυμμα ατράκτου

Στο σχήμα 7, το οποίο είναι πιο απλό, φαίνονται καλύτερα τα εξαρτήματα της ατράκτου μιας Α/Γ οριζόντιου άξονα τα οποία είναι :



Σχήμα 7: Απλή μορφή ατράκτου ανεμογεννήτριας

(1) Πλαίσιο ατράκτου
(2) Γεννήτρια
(3) Δευτερογενής κινητήριος άξονας
(4) Κιβώτιο πολλαπλασιασμού
(5) Έδρανο άξονα
(6) Προσκόλληση πυλώνα
(7) Πυλώνας
(8) Φρένο
(9) Κύριος άξονας
(10) Κύριο έδρανο άξονα
(11) Πτερύγιο
(12) Βάση πτερυγίου
(13) Πλήμνη

3.7 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των Α/Γ

Πέρα από τα ενεργειακά και οικονομικά χαρακτηριστικά των Α/Γ, πρέπει να αναφερθούμε και σε ορισμένα επιπλέον χαρακτηριστικά τους όπως: **η ηχορύπανση, η αισθητική υποβάθμιση των περιοχών και η φιλικότητα προς το περιβάλλον**. Τα τελευταία χρόνια, τα διάφορα εξαρτήματα των Α/Γ σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παράγουν όσο το δυνατόν λιγότερο θόρυβο. Ο **θόρυβος** ως γνωστόν ελαττώνεται εκθετικά με την απόσταση. Έτσι σε απόσταση μερικών διαμέτρων του στροφέα της Α/Γ, ο θόρυβος πλέον καλύπτεται από του υπόλοιπους ήχους του περιβάλλοντος. Κάθε φορά που διπλασιάζεται η απόσταση από μια Α/Γ, μειώνεται ο θόρυβος κατά 6 db δηλαδή ακούγεται 2 φορές πιο σιγά. Η ύπαρξη πολλών Α/Γ θα οδηγούσε σε πολύ μικρή αύξηση του θορύβου (2 ίδιες Α/Γ παράγουν 3 db περισσότερο θόρυβο, 4 ίδιες Α/Γ 6 db, 10 ίδιες Α/Γ 10 db περισσότερο θόρυβο). Γενικά ο πιο εύκολος υπολογισμός του θορύβου Α/Γ γίνεται με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή της Α/Γ, την απόσταση και το είδος του περιβάλλοντος της Α/Γ παρά με την πειραματική μέτρηση του θορύβου. Αυτό ισχύει διότι για να μετρηθεί σωστά ο θόρυβος της Α/Γ πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 db δυνατότερος από τους υπόλοιπους ήχους του περιβάλλοντος. Συνήθως σε αποστάσεις 300 m ο θόρυβος μιας υψηλής ποιότητας Α/Γ είναι μικρότερος από 45 db (όσο ένα ψιθύρισμα). Οι εγκαταστημένες Α/Γ αποτελούν ιδιαίτερα ορατά στοιχεία του περιβάλλοντος διότι διαφορετικά δεν θα ήταν σωστά εγκαταστημένες. **Η αισθητική επιβάρυνση του περιβάλλοντος** από τις Α/Γ είναι ένα ιδιαίτερα υποκειμενικό ζήτημα. Έτσι για παράδειγμα υπάρχουν αιολικά πάρκα τα οποία κατά γενική ομολογία ταιριάζουν με το γύρω περιβάλλον. Σε άλλες περιπτώσεις όμως μια μεμονωμένη Α/Γ δεν ταιριάζει και φαίνεται ακαλαίσθητα. Πέρα από την θέση και την κατανομή των Α/Γ, σημαντικό ρόλο από αισθητική σκοπιά παίζουν το μέγεθος τους, ο τύπος τους, το χρώμα τους και ο αριθμός ελίκων. Ορισμένα γκάλοπ που διεξήχθησαν στην Αγγλία σε περιοχή πριν την εγκατάσταση Α/Γ έδειξαν ότι το 17% των ερωτηθέντων κρίνει θετικά την ύπαρξη των Α/Γ, 32% αρνητικά και 51% δεν ήταν σίγουροι. Μετά την εγκατάσταση των Α/Γ στην ίδια περιοχή, το 85% έκριναν θετικά την ιδέα των Α/Π, το 11% δεν ήταν σίγουροι και μόνο το 4% διαφωνούσαν με την εγκατάσταση. Ακόμα είναι προφανές ότι η συντριπτική πλειοψηφία του πληθυσμού ανεξαρτήτως περιοχής προτιμά την παραγωγή Η/Ε με Α/Π παρά με συμβατικές μεθόδους. Τα θερμοηλεκτρικά και πυρηνικά εργοστάσια κατά γενική ομολογία προκαλούν μεγαλύτερες αντιδράσεις από τους κατοίκους. Επιπλέον προβλήματα από την λειτουργία των Α/Γ είναι οι **ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και ο κίνδυνος να σκοτωθούν πουλιά από τις έλικες των Α/Γ**. Οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές αντιμετωπίζονται επιτυχώς με κατάλληλη τοποθέτηση των πομπών και των Α/Γ, με κατάλληλη επιλογή των υλικών των ελίκων, με κατάλληλο σχήμα των πύργων των Α/Γ κτλ.

Κεφάλαιο 4
Εφαρμογή στο νησί της Πάτμου

4.1 Εισαγωγή

Η Πάτμος είναι σχετικά μικρό νησί μέγιστου μήκους 10 μιλίων και μέγιστου πλάτους 6 μιλιών και με συνολικό μήκος ακτών τα 18 μίλια. Η έκτασή της φθάνει περίπου τα 34,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα, με έδαφος βραχώδες και άγονο. Προσομοιάζει δε κατά διαμόρφωση και ακτογραφία με την Ιθάκη, με τη μόνη διαφορά ότι είναι τριπλάσιας έκτασης. Η Πάτμος είναι ελληνικό νησί του Αιγαίου Πελάγους υπαγόμενο κατά τους αρχαίους Έλληνες στις Νότιες Σποράδες, κατά δε τη σύγχρονη πολιτική διαίρεση της χώρας στη Δωδεκάνησο. Βρίσκεται δε, μεταξύ του 37° 20΄ Β γεωγραφικού πλάτους και 26° 35' Α γεωγραφικού μήκους, Νότια της Σάμου, ΝΑ της Ικαρίας και ΒΔ της Λέρου, απέχουσα περί τα 25 μίλια από τη Τουρκία.
Η Πάτμος αποτελείται κυρίως από δύο τμήματα συνδεόμενα μεταξύ τους από ένα ισθμό περί το μέσο του νησιού όπου εκεί κατά την αρχαιότητα ήταν και η πρωτεύουσα. Το έδαφός της είναι ηφαιστειογενές και απότομο με ψηλότερη κορυφή τον Προφήτη Ηλία (270 μ.) που βρίσκεται νότια της Χώρας (της ομώνυμης) Πάτμου. Γενικά η ακτογραμμή της είναι πολυσχιδής με πλήθος όρμων, ορμίσκων, ακρωτηρίων και νησίδων που την περιβάλουν όπως: Πρασονήσι, Τραγονήσι, Χιλιομόδι, Αγία Θέκλα, Αϊ Γιώργης, Σκλάβος και Σκλαβοπούλα, νησιά Μπαλάμου κλπ. Στην Πάτμο όμως υπάγονται και τα ανατολικότερα αυτής νησιά Αρκοί, Λειψοί και Αγαθονήσι. Η Πάτμος μαζί με τα νησιά Αστυπάλαια και Λέρος υπάγονται στην επαρχία της Καλύμνου, ο δε κυριότερος συνοικισμός αυτής, η Χώρα (Πάτμος) αποτελεί ίδιο Δήμο, κτισμένη επί υψώματος όπου υπερέχει η Μονή Αγίου Ιωάννου του Θεολόγου (του Ευαγγελιστή) σε μορφή μεγάλου κάστρου. Άλλοι μικρότεροι συνοικισμοί του νησιού είναι η Σκάλα (επίνειο), ο Κάμπος (βόρεια) και το Διακόφτι και ο Σταυρός (νότια).
Η Πάτμος είναι ένα έντονα ελλειμματικό νησί σε ότι αφορά τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων. Παλαιότερα, η μοναδική πηγή κάλυψης των αναγκών ήταν οι υπόγειοι υδροφορείς. Από το 1996 άρχισε η μεταφορά ύδατος σε ολοένα και αυξανόμενες ποσότητες. Αυτή η λύση είναι οικονομικά ασύμφορη αλλά και μη βιώσιμη σε βάθος χρόνου. Μικρές ποσότητες καλύπτονται τέλος με χρήση ομβροδεξαμενών**. Η άρδευση γίνεται πλημμελώς κυρίως από πηγάδια και δευτερευόντως από το δίκτυο ύδρευσης.** Το 2005 ολοκληρώθηκε το φράγμα Λειβαδίου ωφέλιμης χωρητικότητας 443.000 κ.μ, που αναμένεται να καλύψει μεγάλο μέρος των αρδευτικών αναγκών και να ανακουφίσει τους υφαλμυρισμένους υδροφορείς. Με το συγκεκριμένο φράγμα μειώνονται τα αρδευτικά ελλείμματα σε μεγάλο βαθμό. Έχει μελετηθεί επίσης ένα μικρότερο φράγμα, του Γροικού, με ωφέλιμη χωρητικότητα κοντά στα 100.000 κ.μ. το οποίο αναμένεται να λειτουργήσει μετά το 2013.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδας (ΕΣΥΕ) που παρουσιάζονται στον Πίνακα 13, ο πραγματικός πληθυσμός των οικισμών της ν. Πάτμου με βάση την απογραφή του 2001 έχει ως εξής:

ΟΙΚΙΣΜΟΙ ΝΗΣΟΥ ΠΑΤΜΟΥ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ(2001)
Δ.Δ.Πάτμου 3.053	**3.053**
Πάτμος	**646**
Αγκαθονήσι (νησί)	**0**
Αγρελούσσα (νησί)	**0**
Άνυδρο (νησί)	**0**
Αρκοί (νησί)	**50**
Γρίγος	**63**
Καλόβολος(νησί)	**0**
Κάμπος	**583**
Κόμαρος	**0**
Μακρονήσι	**0**
Μάραθος	**6**
Νερά	**0**
Σκάλα	**1.705**

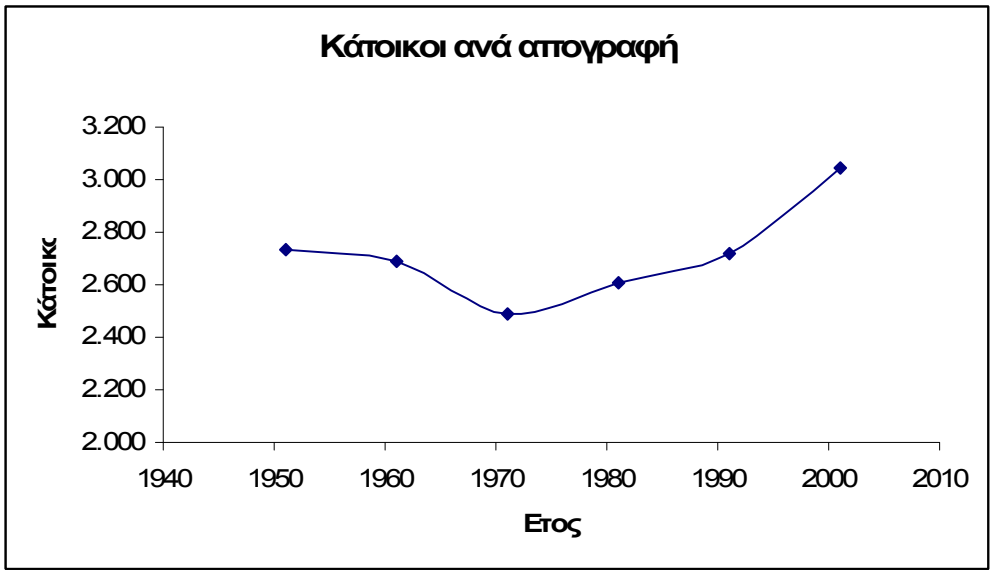
Πίνακας 13: Πληθυσμός οικισμών ν.Πάτμου (ΕΣΥΕ, απογραφή 2001)

Πρωτεύουσα της Πάτμου είναι η Πάτμος (ή Χώρα), με πληθυσμό 646 κατοίκους. Σημαντικοί οικισμοί είναι επίσης η Σκάλα με 1.705 και ο Κάμπος με 583 κατοίκους. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδας (ΕΣΥΕ) που παρουσιάζονται στον πίνακα 13, το 1951 ο πληθυσμός της Πάτμου έφθανε τους 2.731 κατοίκους ενώ το 1971 είχε 2.486. Απο την απογραφή του 1981 και μετέπειτα ο πληθυσμός παρουσιάζει αυξητικές τάσεις. Την τελευταία δεκαετία παρουσιάζει αυξητική τάση με μέση ετήσια αύξηση 1,21%. Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή (2001), ο πληθυσμός του νησιού ανέρχεται σε 3.053 κατοίκους με το σύνολο του πληθυσμού να συγκεντρώνεται στους οικισμούς Πάτμος-Κάμπος-Σκάλα. Στο παρακάτω πίνακα 14 και διάγραμμα 4 φαίνεται η μεταβολή του πληθυσμού από το 1951 έως το 2001 σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ.

ΕΞΕΛΙΞΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΝΗΣΟΣ ΠΑΤΜΟΥ ΑΠΟΓΡΑΦΩΝ 1951-2001	
1951	**2.731**
1961	**2.686**
1971	**2.486**
1981	**2.607**
1991	**2.715**
2001	**3.044**

Πίνακας 14: Πληθυσμιακά στοιχεία νήσου Πάτμου (ΕΣΥΕ)

Εξέλιξη πληθυσμού (1991-2001) : **12,1%**



Διάγραμμα 4: Μεταβολή του πληθυσμού της Πάτμου 1951-2001

4.2 Υφιστάμενη κατάσταση

«Έχουμε τεράστιο πρόβλημα ύδρευσης και φέτος έγινε ακόμη μεγαλύτερο με την **ανομβρία…**

Το νησί έχει γεμίσει από γεωτρήσεις, έχει υπερκαλυφθεί και δεν βρίσκουμε νερό…

Το 80% των υδάτινων αναγκών μας καλύπτεται με τα υδροφόρα πλοία από τη Ρόδο. Τώρα όμως θα ζητήσουμε περισσότερο από το 80%, καθώς πέρυσι τα 225.000 κυβικά νερού μας έφτασαν οριακά…

Οι φετινές ανάγκες καταδεικνύουν ότι για να καλυφθούμε μας χρειάζονται 300.000 κυβ. νερού,» τονίζει ο δήμαρχος κ. Γρηγόρης Καμπόσος και συνεχίζει

«Έχουμε φτιάξει και ένα φράγμα το οποίο, όμως, με την **ελάχιστη υδρόπτωση** δεν έχει ούτε 10.000 κυβικά…

Η μόνη λύση, αυτή τη στιγμή είναι **τα υδροφόρα πλοία** που μεταφέρουν νερό ή να δημιουργηθούν τα κοντέινερ τα οποία είναι ειδικά για την ηλεκτρική αφαλάτωση»

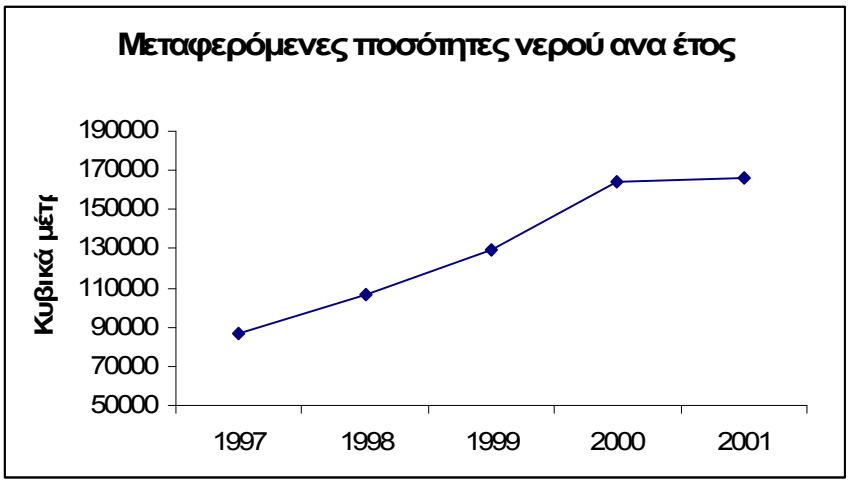
δήμαρχος κ. Γρηγόρης Καμπόσος

(Πηγη:http://www.an.gr/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=480&mode=thread&order=0&thold=0)

Οι υδατικές ανάγκες της νήσου Πάτμου καλύπτονται από υδροφόρα πλοία. Από την εικόνα 3 του υπουργείου Αιγαίου σχετικά με τις μεταφερόμενες ποσότητες στα άνυδρα νησιά, παρατηρούμε ότι από το 1997 έως το 2001 η ποσότητα του μεταφερόμενου νερού στην Πάτμο περίπου διπλασιάστηκε, δηλαδή από **86.400 κ.μ**. το 1997 σε **165.859 κ.μ (×1,9)** ενώ σύμφωνα με τα λεγόμενα του δημάρχου η ποσότητα για το 2007 ανήλθε σε **225.000 κ.μ (×2,6)** ενώ όσο αφορά την πρόβλεψη του 2008 η ποσότητα που θα μεταφερθεί είναι **300.000 κ.μ (×3,4)**.

Σε σχέση με το 1997, δηλαδή μέσα σε μια δεκαετία οι μεταφερόμενες ποσότητες αυξήθηκαν 340%.

Στα παρακάτω διαγράμματα 5 και 6 παρουσιάζονται οι μεταφερόμενες ποσότητες σύμφωνα με τα στοιχεία του υπουργείου Αιγαίου για τα έτη από το 1997 έως το 2001 και αντίστοιχα το κόστος για την μεταφορά τους.



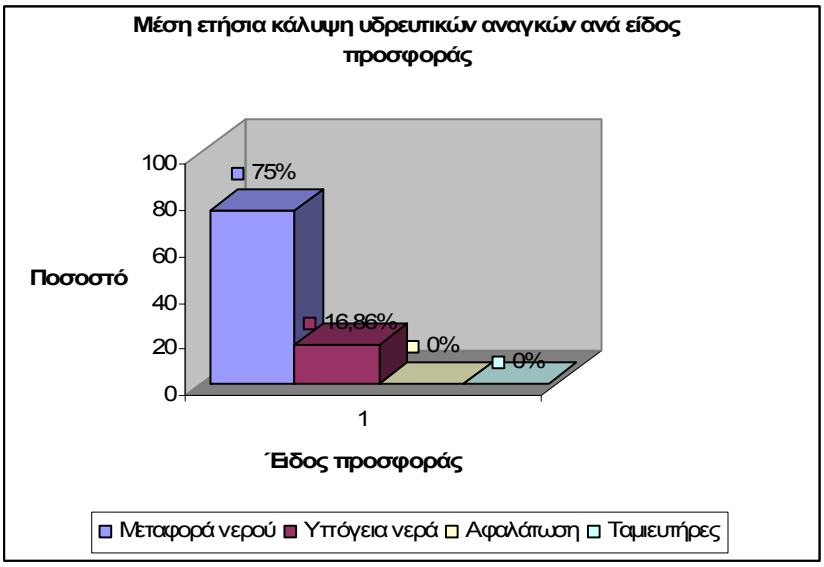
Διάγραμμα 5: Μεταφερόμενες ποσότητες για τα έτη 1997-2001 στην Πάτμο

Για τα **νησιά των Δωδεκανήσων** το υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας πλήρωσε **4,5 ευρώ/ κυβικό μέτρο** ενώ για τα νησιά των Κυκλάδων 8,32 ευρώ/ κ.μ.

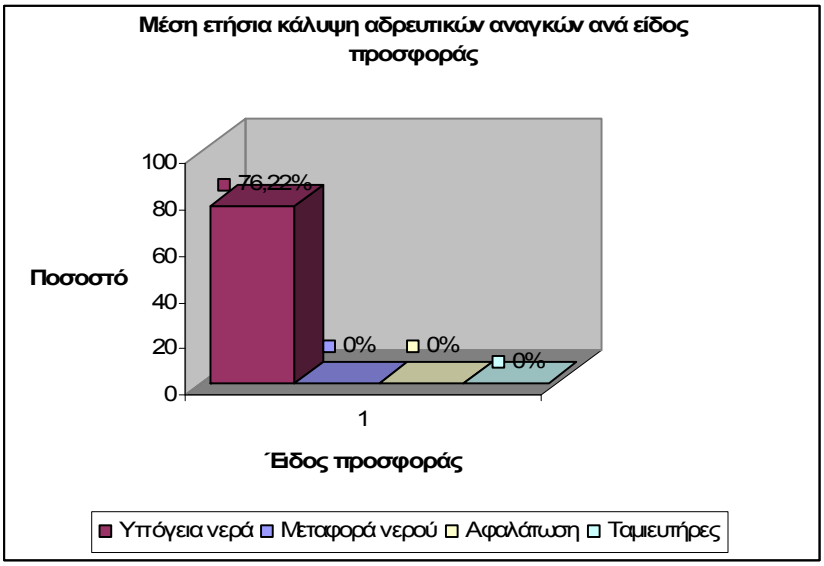
Διάγραμμα 6: Κόστος μεταφοράς νερού για τα έτη 1997-2001 στην Πάτμο

Συνολικό κόστος **3.025.211 ευρώ** μόνο για τη μεταφορά νερού στην Πάτμο **χωρίς** να συνυπολογιστεί το ποσό για **την αγορά του νερού** για τα έτη 1997-2001.

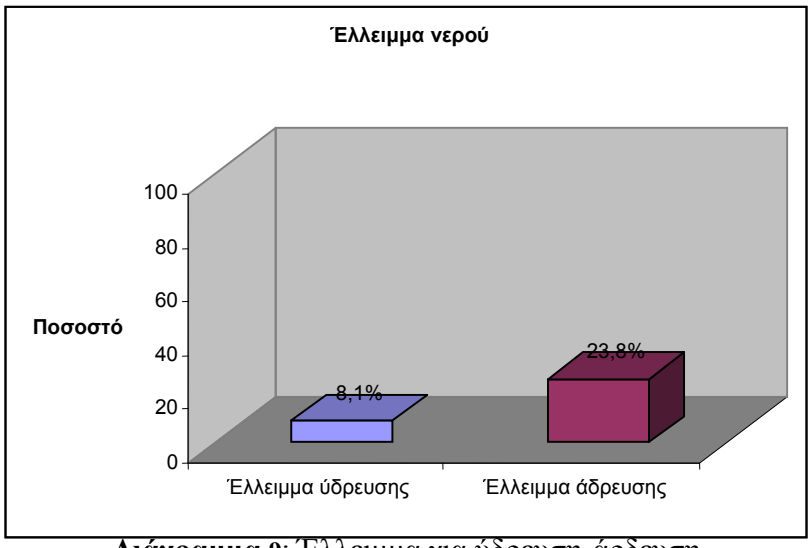
Στα παρακάτω διαγράμματα 7,8 και 9 παρουσιάζεται η μέση ετήσια κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση και άρδευση ανά είδος προσφοράς και το έλλειμμα για ύδρευση-άρδευση για το έτος 2001.



Διάγραμμα 7: Μέση ετήσια κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση (2001)



Διάγραμμα 8: Μέση ετήσια κάλυψη των αναγκών σε άρδευση (2001)



Διάγραμμα 9: Έλλειμμα για ύδρευση-άρδευση

4.3 Εκτίμηση μόνιμου πληθυσμού

Η εκτίμηση της εξέλιξης του μόνιμου πληθυσμού στην Πάτμο έγινε χρησιμοποιώντας τη γεωμετρική μέθοδο. Η γεωμετρική αύξηση του πληθυσμού είναι πλέον διαδεδομένη σήμερα για μικρούς οικισμούς **έως 5000 κατοίκων**, γιατί είναι απλή και δεν απαιτεί επιπλέον στοιχεία εκτός από τα δεδομένα των απογραφών. Σε μεγαλύτερους οικισμούς πρέπει να αποφεύγεται, γιατί οδηγεί σε μη ρεαλιστικές υπερτιμήσεις του πληθυσμού. Συμφωνά με τη μέθοδο αυτή ο ρυθμός είναι ανάλογος του πληθυσμού δεδομένου έτους και εκφράζεται από την σχέση 8:

$$\mathbf{P_n = P_o \cdot (1+\varepsilon)^n} \qquad \textbf{(8)}$$

όπου:

$\mathbf{P_n}$ = πληθυσμός έτους πρόβλεψης
$\mathbf{P_o}$ = πληθυσμός αρχικού βασικού έτους
$\boldsymbol{\varepsilon}$ = ετήσιος ρυθμός μεταβολής πληθυσμού

Η εκτίμηση πραγματοποιήθηκε για τα έτη από το 2001 έως το 2030. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας στοιχεία της ΕΣΥΕ των απογραφών των ετών από το 1971 έως το 2001. Βάσει των στοιχείων του πίνακα 14, ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης εκτιμήθηκε σε 0,47% για τα έτη 1971-1981, 0,40% για τα έτη 1981-1991 και 1,21% για την δεκαετία 1991-2001. Παρατηρούμε αυξητικές τάσεις στην εξέλιξη του πληθυσμού την τελευταία δεκαετία, οπού είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με τις δυο προηγούμενες δεκαετίες. Λαμβάνω ως ετήσια αύξηση του πληθυσμού για τα επόμενα έτη ίση με 1,1% (**ε=1,1%**).

Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την εκτίμηση του πληθυσμού για τα έτη **2001 – 2030**.

Έτος	Εκτίμηση Πληθυσμού	Έτος	Εκτίμηση Πληθυσμού
2001	3044	2016	3626
2002	3111	2017	3666
2003	3145	2018	3706
2004	3180	2019	3747
2005	3215	**2020**	**3788**
2006	3250	2021	3830
2007	3286	2022	3872
2008	3322	2023	3914
2009	3358	2024	3957
2010	3395	2025	4001
2011	3433	2026	4045
2012	3471	2027	4090
2013	3509	2028	4135
2014	3547	2029	4180
2015	3586	**2030**	**4226**

Πίνακας 15: Εκτίμηση πληθυσμού μετά από 30 χρόνια

4.4 Εκτίμηση εποχιακού πληθυσμού

Για την εκτίμηση του εποχιακού πληθυσμού χρησιμοποιηθήκαν τα διαθέσιμα στοιχεία που αφορούν τις διανυκτερεύσεις οι οποίες είναι καταγεγραμμένες από τον ΕΟΤ για τα έτη 1996-2000. Τα στοιχεία αυτά και ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής (ΜΕΡΜ) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 16.

ΕΤΟΣ	1996	1997	1998	1999	2000
Διανυκτερεύσεις	44.065	53.434	53.681	46.033	39.179
Μ.Ε.Ρ.Μ. (%)	-	+17,5	+0,5	-16,6	-17,5

Πίνακας 16: Διανυκτερεύσεις ΕΟΤ και ΜΕΡΜ για την νήσο Πάτμο

Σύμφωνα με εκτιμήσεις των τοπικών αρχών της Πάτμου και λαμβάνοντας υπόψη τις εκτιμήσεις των τοπικών αρχών για αυξητική τάση του τουρισμού στο νησί και την Ελλάδα γενικότερα την τελευταία τετραετία, η αύξηση των διανυκτερεύσεων λαμβάνεται ίση με 2%. **Επίσης οι διανυκτερεύσεις λαμβάνονται κατά 20% επαυξημένες, ώστε να συμπεριληφθούν και οι μη καταγεγραμμένες από τον ΕΟΤ όπως είναι τα ενοικιαζόμενα δωμάτια, φιλοξενίες κλπ)**.

Έτος	Διανυκτερεύσεις	Έτος	Διανυκτερεύσεις
2001	39962	2016	53778
2002	40761	2017	54853
2003	41576	2018	55950
2004	42407	2019	57069
2005	43255	**2020**	**58210**
2006	44120	2021	59374
2007	45002	2022	60561
2008	45902	2023	61772
2009	46820	2024	63007
2010	47756	2025	64267
2011	48711	2026	65552
2012	49685	2027	66863
2013	50678	2028	68200
2014	51691	2029	69564
2015	52724	**2030**	**70955**

Πίνακας 17: Εκτίμηση των διανυκτερεύσεων μετά από 30 χρόνια

Η διακύμανση των αφίξεων είναι μια πολύ σημαντική πληροφορία μιας και μας επιτρέπει να κατανέμουμε την ποσότητα του πόσιμου νερου που απαιτείται ειδικά κατά τους μήνες αιχμής, διότι τότε θα έχουμε τη μεγαλύτερη ζήτηση νερού.

Μήνες (έτος 1999)	Αφίξεις Επισκεπτών	Μηνιαία κατανομή(%)
Ιανουάριος	1505	2,00
Φεβρουάριος	1423	2,00
Μάρτιος	1645	3,00
Απρίλιος	3518	6,00
Μάιος	5758	11,00
Ιούνιος	5870	11,00
Ιούλιος	11135	22,00
Αύγουστος	12646	25,00
Σεπτέμβριος	6820	13,00
Σύνολο	50420	100,00

Πίνακας 18: Μηνιαία κατανομή των αφίξεων

Παρατηρούμε ότι οι αφίξεις των τουριστών κατά τους **καλοκαιρινούς μήνες** αποτελούν το **58%** επί του συνόλου των αφίξεων, ενώ κατά την διάρκεια της άνοιξης όπου συμπίπτει το **Πάσχα** αποτελεί το **20%** επί του συνόλου, διότι εκείνη την περίοδο παρατηρείται μεγάλη προσέλευση εποχιακών τουριστών (θρησκευτικός τουρισμός).

4.5 Υδρευτικές ανάγκες μόνιμου πληθυσμού

Οι υδατικές ανάγκες του μόνιμου πληθυσμού υπολογίσθηκαν με βάση την πληθυσμιακή εξέλιξη από την προηγούμενη ενότητα. Οι βασικές παραδοχές της μελέτης για την εκτίμηση των υδατικών αναγκών είναι οι εξής:

- Η μέση κατανάλωση **q** θεωρήθηκε ίση με **150 λ/κατ/ημέρα** μεταβαλλόμενη +10% για τους **καλοκαιρινούς μήνες (165 λ/κατ/ημέρα)** και -10% για τους **χειμερινούς μήνες (135 λ/κατ/ημέρα). Με αύξηση 20% για το έτος 2030 καλύπτοντας τις μελλοντικές ανάγκες σε νερό**
- Η κατανάλωση νερού για δημοτικές χρήσεις θεωρήθηκε ίση με το 20% των υδρευτικών αναγκών του μονίμου πληθυσμού
- Οι απώλειες νερού του δικτύου ενσωματωθήκαν στους υπολογισμούς ως επί το πλείστον 15% του συνόλου

Οπότε ο υπολογισμός έχει ως εξής:

1. $\mathbf{Q_{οικισμού} = P_n \cdot q}$ **(9)**
2. $\mathbf{Q_{δημ.χρ} = 0,2 \cdot Q_{οικισμού}}$ **(10)**
3. $\mathbf{Q_{τελικό} = Q_{οικισμού} + Q_{δημ.χρ}}$ **(11)**
4. $\mathbf{V_{ετήσιο} = Q_{τελικό} \cdot N_d}$ **(12)**
5. $\mathbf{V_{ετήσιο,τελικό} = V_{ετήσιο}/0,85}$ **(συνυπολογίζοντας τις απώλειες) (13)**

Στον πίνακα 19 παρουσιάζονται **οι ετήσιες ανάγκες σε νερό του μόνιμου πληθυσμού** (συμπεριλαμβανόμενες και οι απώλειες του δικτύου).

Έτος	Ετήσιες Υδρευτικές ανάγκες (m^3)	Έτος	Ετήσιες Υδρευτικές ανάγκες m^3)
2001	235283	2016	308295
2002	242065	2017	313585
2003	246331	2018	318916
2004	250711	2019	324375
2005	255127	**2020**	**329876**
2006	259579	2021	335508
2007	264148	2022	341182
2008	268753	2023	346900
2009	273396	2024	352750
2010	278158	2025	358734
2011	283040	2026	364763
2012	287962	2027	370929
2013	292923	2028	377141
2014	297922	2029	383399
2015	303046	**2030**	**389796**

Πίνακας 19: Εκτίμηση των ετήσιων υδρευτικών αναγκών του μόνιμου πληθυσμού μετά από 30 χρόνια (με απώλειες)

4.6 Υδρευτικές ανάγκες εποχιακού πληθυσμού

Οι υδατικές ανάγκες του εποχιακού πληθυσμού θα υπολογισθούν με βάσει τις διανυκτερεύσεις από την προηγούμενη ενότητα. Οι βασικές παραδοχές της μελέτης για την εκτίμηση των υδατικών αναγκών είναι οι εξής:

- Η μέση κατανάλωση q θεωρήθηκε ίση με **180 λ/κατ/ημέρα** με **αύξηση 30% για το έτος 2030 καλύπτοντας της μελλοντικές ανάγκες σε νερό του εποχιακού πληθυσμού**

Στον παρακάτω πίνακα 20 παρουσιάζονται οι ετήσιες **ανάγκες πόσιμου νερό του εποχιακού πληθυσμού** (συμπεριλαμβανόμενες και οι απώλειες του δικτύου).

Έτος	Ετήσιες Υδρευτικές ανάγκες m^3	Έτος	Ετήσιες Υδρευτικές ανάγκες m^3
2001	8462	2016	13096
2002	8718	2017	13474
2003	8980	2018	13862
2004	9249	2019	14260
2005	9526	**2020**	**14668**
2006	9810	2021	15087
2007	10101	2022	15517
2008	10400	2023	15958
2009	10708	2024	16411
2010	11023	2025	16875
2011	11346	2026	17352
2012	11678	2027	17840
2013	12019	2028	18341
2014	12369	2029	18855
2015	12728	**2030**	**19383**

Πίνακας 20: Εκτίμηση των ετήσιων υδρευτικών αναγκών του εποχιακού πληθυσμού μετά από 30 χρόνια (με απώλειες)

4.7 Αρδευτικές ανάγκες (γεωργικές και κτηνοτροφικές)

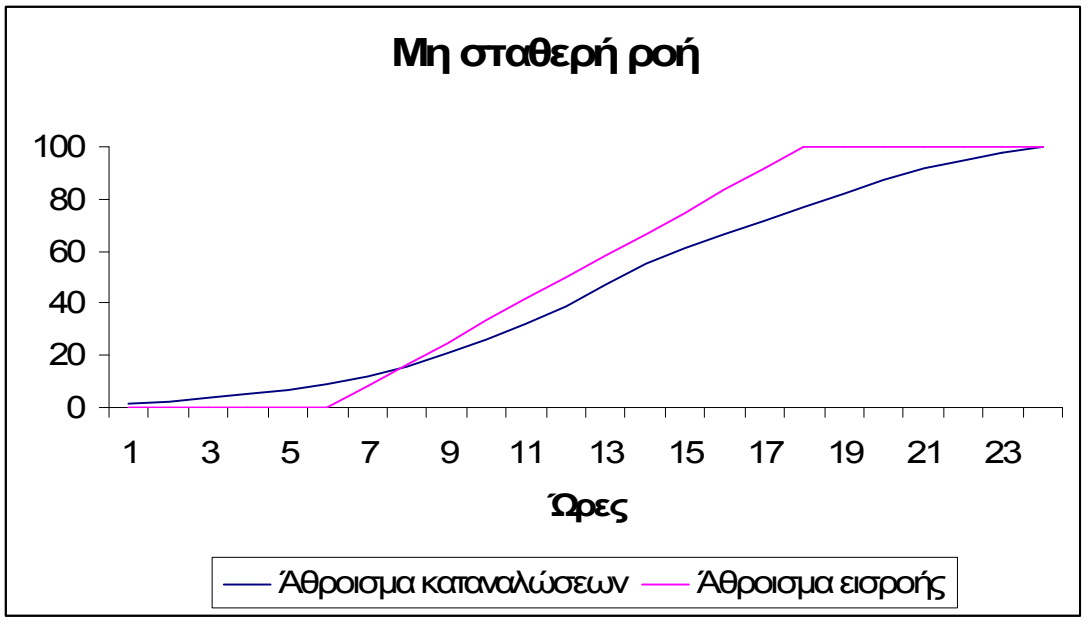
Η άρδευση γίνεται κυρίως από πηγάδια και **δευτερευόντως από το δίκτυο ύδρευσης**. Οι αρδευόμενες καλλιέργειες στο νησί με βάσει τα στοιχεία της ΕΣΥΕ του έτους 2001 αποτελούνται από 329 στρέμματα οπωρώνες και κηπευτικά. Από τη στιγμή που θα λειτουργήσει η μονάδα μας η υδροδότηση του νησιού θα γίνεται αποκλειστικά από τη μονάδα αφαλάτωσης χωρίς να συνεισφέρουν καθόλου τα υπόγεια νερά. Αυτό σημαίνει ότι το ποσοστό που συνεισφέρουν τα υπόγεια νερά στην ύδρευση του νησιού θα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την άρδευση του νησιού μειώνοντας το έλλειμμα από 23,8 σε 6,94% (**23,8-16,86=6,94%)**. Το 2005 ολοκληρώθηκε το φράγμα Λειβαδίου, ωφέλιμης χωρητικότητας 443,000 κμ, που αναμένεται να καλύψει μεγάλο μέρος των αρδευτικών αναγκών και να ανακουφίσει τους υφαλμυρισμένους υδροφορείς. Έχει μελετηθεί επίσης ένα μικρότερο φράγμα, του Γροικού, με ωφέλιμη χωρητικότητα κοντά στα 100,000 κμ. Με αυτά τα έργα που έχουν γίνει και που προγραμματίζονται να γίνουν στην Πάτμο, αναμένεται η υδροδότηση για την άρδευση να γίνεται **αποκλειστικά από τα υπόγεια νερά, και από τα επιφανειακά** που θα έχουν συλλεχθεί στα φράγματα.

4.8 Υπολογισμός όγκου δεξαμενής

Όταν η εισροή δεν είναι σταθερή τότε ο όγκος της ημερήσιας κατανάλωσης μεταφέρεται σε λιγότερο από 24 ώρες. Η ζήτηση πρέπει να καλυφτεί πλήρως και κατά τη διάρκεια που η μονάδα αφαλάτωσης διακόπτει τη λειτουργία της. Για την περίπτωση μη συνεχούς εισροής, η μονάδα της αφαλάτωσης θα **λειτουργεί 12 ώρες την ημέρα από τις 07:00 έως τις 19:00** με ωριαίο ποσοστό 8,33%.

Διάστημα	**Κατανάλωση**	**Αθρ.Καταν**	**Εισροή**	**Αθρ.Εισροη**	**Αθρ.Εισροή-Αθρ.Καταν**
Ώρα	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**
1	1,5	1,5	-	0	-1,5
2	1	2,5	-	0	-2,5
3	1	3,5	-	0	-3,5
4	1,5	5	-	0	-5
5	2	7	-	0	-7
6	2	9	**-**	**0**	**-9**
7	3	12	8,33	8,33	-3,67
8	4	16	8,33	16,66	0,66
9	5	21	8,33	24,99	3,99
10	5	26	8,33	33,32	7,32
11	6	32	8,33	41,65	9,65
12	7	39	8,33	49,98	10,98
13	8	47	8,33	58,31	11,31
14	8	55	8,33	66,64	11,64
15	6,5	61,5	8,33	74,97	13,47
16	5	66,5	8,33	83,3	16,8
17	5	71,5	8,33	91,63	20,13
18	5,5	77	8,37	100	**23**
19	5	82	-	100	18
20	5	87	-	100	13
21	5	92	-	100	8
22	3	95	-	100	5
23	2,5	97,5	-	100	2,5
24	2,5	100	-	100	0
	100		100	100	-1,5

Πίνακας 21: Υπολογισμός όγκου δεξαμενής-διακοπτόμενη ροή



Διάγραμμα 10: Αθροιστικές καμπύλες εισροής και κατανάλωσης-διακοπτόμενη ροή

Ο όγκος της δεξαμενής υπολογίζεται από την σχέση:

$$\mathbf{V_{\delta\varepsilon\xi\alpha\mu\varepsilon\nu\acute{\eta}\varsigma} = V_{\rho\upsilon\theta\mu\acute{\iota}\sigma\varepsilon\omega\varsigma} + V_{\beta\lambda\acute{\alpha}\beta\eta\varsigma}} \qquad \mathbf{(14)}$$

Όπου:

$$\mathbf{V_{\rho\upsilon\theta\mu\acute{\iota}\sigma\varepsilon\omega\varsigma} = [\Mu\acute{\varepsilon}\gamma\iota\sigma\tau o\ \acute{\varepsilon}\lambda\lambda\varepsilon\iota\mu\mu\alpha\% + \Mu\acute{\varepsilon}\gamma\iota\sigma\tau\eta\ \pi\varepsilon\rho\acute{\iota}\sigma\sigma\varepsilon\iota\alpha\%] \cdot Q_{\eta\mu\varepsilon\rho.max}} \qquad \mathbf{(15)}$$

με το μέγιστο έλλειμμα και η μέγιστη περίσσεια σε απόλυτη τιμή
Από τον πίνακα 21 παρατηρούμε:

- Μέγιστο έλλειμμα % = 9 στις 6:00 π.μ
- Μέγιστη περίσσεια % = 23 στις 6:00 μ.μ

Άρα ο όγκος της δεξαμενής $\mathbf{V_{\rho\upsilon\theta\mu\acute{\iota}\sigma\varepsilon\omega\varsigma}} = (9+23)\% \cdot Q_{\eta\mu\varepsilon\rho.max} = \mathbf{0{,}32 \cdot Q_{\eta\mu\varepsilon\rho.max}}$

Η μέγιστη ημερήσια παροχή $\mathbf{Q_{\eta\mu\varepsilon\rho.max}}$ αποτελεί την μέση παροχή κατά την ημέρα της μεγαλύτερης ζήτησης νερού σε ημερήσια βάση. Αντικατοπτρίζει τη διακύμανση της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης.

Τη μέγιστη ημερησία παροχή $Q_{\eta\mu\varepsilon\rho.max}$ θα υπολογίσω για τον μήνα **Αύγουστο** διότι τον μήνα Αύγουστο θα έχουμε τη μεγαλύτερη ζήτηση νερού και γι' αυτό η χωρητικότητα της δεξαμενής πρέπει να σχεδιαστεί με βάση αυτόν τον μήνα.

$$Q_{\eta\mu\varepsilon\rho.max,\ \omega\lambda\iota\kappa\acute{o}} = Q_{\eta\mu\varepsilon\rho.max,\mu\acute{o}\nu\iota\mu\omega\nu} + Q_{\eta\mu\varepsilon\rho.max,\tau o\upsilon\rho\iota\sigma\tau\acute{\omega}\nu} + Q_{\alpha\pi\omega\lambda\varepsilon\iota\acute{\omega}\nu} \qquad \mathbf{(16)}$$

όπου:

- $Q_{ημερ.max,μόνιμων} = \boldsymbol{\lambda_1} \cdot Q_{ημερ.μέση,μόνιμων}$ **(17)**
- $Q_{ημερ.max,τουριστών} = \boldsymbol{\lambda_2} \cdot Q_{ημερ.μέση,τουριστών}$ **(18)**

Όπως παρατηρούμε η μέγιστη ημερήσια παροχή προκύπτει εάν πολλαπλασιάσουμε την ημερήσια μέση παροχή με ένα συντελεστή λ. Ο συντελεστής λ εξαρτάται ανάλογα με την χρήση νερού.

όπου:

- Μόνιμοι κάτοικοι $\boldsymbol{\lambda_1}$: **1,5 (προσαύξηση 50%)** **(19)**
- Τουρίστες $\boldsymbol{\lambda_2}$: **1,2 (προσαύξηση 20%)** **(20)**

Οπότε προκύπτει:

- $Q_{ημερ.max,μόνιμων} = \mathbf{1,5} \cdot Q_{ημερ.μέση,μόνιμων}$
- $Q_{ημερ.max,τουριστών} = \mathbf{1,2} \cdot Q_{ημερ.μέση,τουριστών}$

Για τον μήνα Αύγουστο (2030):

$Q_{ημερ.μέση,μόνιμων}$ = 4.226κατ • 0,198 m^3/κατ/ημερα = 837 m^3/ ημέρα
$Q_{ημερ.μέση,τουριστών}$ = (0,25έτος/μήνα • 19383 m^3/έτος)/31 = 156 m^3/ ημέρα
$Q_{ημερ.μέση\ με\ απώλειες}$ = (837+156)/0,85 = 1168 m^3/ ημέρα

$Q_{ημερ.max,μόνιμων}$ = 1,5 • 837 m^3/ ημέρα = 1255 m^3/ ημέρα
$Q_{ημερ.max,τουριστών}$ = 1,2 • 156 m^3/ ημέρα = 187 m^3/ ημέρα

$Q_{ημερ.max,ολικό}$ = 1255+187= 1442+1168 = 2610 m^3/ ημέρα

$\mathbf{V_{ρυθμίσεως} = 0,32 \cdot Q_{ημερ.max,ολικό} = 0,32 \cdot 2610 = 835\ m^3}$

Ο απαιτούμενος όγκος ασφαλείας για βλάβη του εξωτερικού υδραγωγείου αναφέρεται σε βλάβη του δικτύου από τη μονάδα αφαλάτωσης έως τη δεξαμενή. Στην περίπτωση αυτή, η δεξαμενή πρέπει να διαθέτει ικανό όγκο ώστε να καλύψει τις ανάγκες σε νερό έως να επισκευαστεί πλήρως η βλάβη. Ο χρόνος αποκατάστασης (t_p) που επιλέγω για μια πιθανόν βλάβη ανέρχεται σε 4 ώρες. Δηλαδή από τις 12 ώρες που θα λειτουργεί η μονάδα μας οι 4 ώρες αποτελούν το 33,33% της συνολικής διαρκείας λειτουργίας.

$\mathbf{V_{βλάβης} = Q_{ημερ.max,ολικό} \cdot t_p}$ = 2610 m^3/ ημέρα • 0,3333ημέρα = **870 m^3**

Άρα η δεξαμενή θα πρέπει να έχει τουλάχιστον όγκο:

$$\mathbf{V_{δεξαμενής}} = V_{ρυθμίσεως} + V_{βλάβης} = \mathbf{1705\ m^3}$$

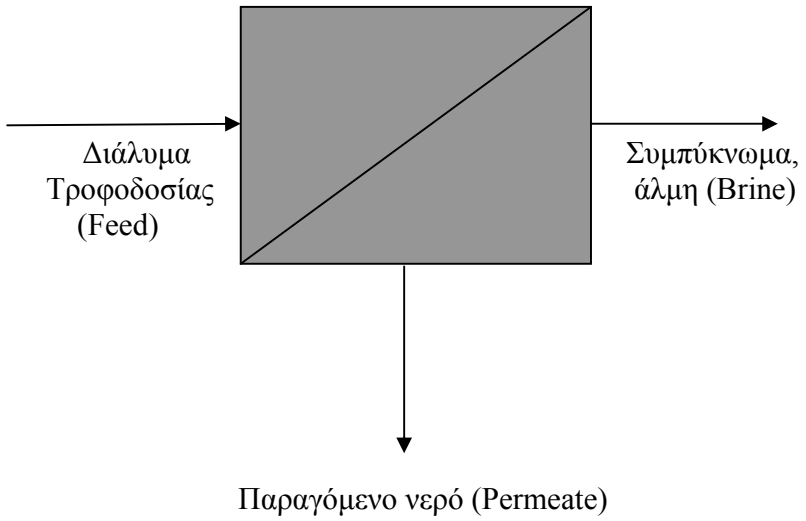
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ

5.1 Βασική περιγραφή φαινομένου και διαδικασίας

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διαδικασία αφαλάτωσης κατά την οποία ο διαλύτης ενός υδατικού διαλύματος, δηλαδή το νερό, , μεταφέρεται και διαχωρίζεται μέσω μίας μεμβράνης από τα συστατικά του διαλύματος μέσω άσκησης πίεσης που είναι επαρκής ώστε να υπερνικήσει την οσμωτική πίεση του αλατούχου διαλύματος και είναι δυνατό να παρέχει μια οικονομικά αποδεκτή ροή (flux).

Χαρακτηριστικά μεγέθη κάθε διεργασίας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση είναι η **ανάκτηση και η απόρριψη αλάτων**.

Το θαλασσινό νερό (νερό τροφοδοσίας) F_w (Feed water) με συγκέντρωση C_f (ppm), εισάγεται στην επιφάνεια της μεμβράνης και διαχωρίζεται σε δυο μέρη: σε εκείνο που διέρχεται την μεμβράνη και είναι το καθαρό παραγόμενο νερό P_w (Permeate water) με συγκέντρωση C_p (ppm) και στο διάλυμα που απορρίπτεται R_w (Rejected water) υψηλής συγκέντρωσης C_r (ppm), την άλμη (Brine).



Η σχέση μεταξύ του παραγόμενου νερού και του νερού τροφοδοσίας δίνεται από τον τύπο **ανάκτησης R_r**:

$$\textbf{Ανάκτηση, } R_r\textbf{ (\%)}=\frac{Pw}{Fw}\cdot 100 \qquad \textbf{(21)}$$

Επίσης η σχέση ανάμεσα στο νερό τροφοδοσίας, παραγόμενου και απορριπτόμενου νερού είναι:

$$F_w = P_w + R_w \qquad \textbf{(22)}$$

Η ποιότητα του παραγόμενου νερού χαρακτηρίζεται από την ικανότητα απόρριψης αλάτων που περιέχονται στο διάλυμα τροφοδοσίας. Έτσι η απόρριψη αλάτων (rejection, R) ορίζεται ως:

$$\textbf{Απόρριψη αλάτων, R(\%)}=\frac{Cf-Cp}{Cf}*100=\left(1-\frac{Cp}{Cf}\right)*100 \qquad \textbf{(23)}$$

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των αλάτων (TDS) στη απορριπτόμενη άλμη, χρησιμοποιείται η σχέση 24:

$$\textbf{Συγκέντρωση άλμης, } C_r=\frac{Cf}{1-Rr} \qquad \textbf{(24)}$$

5.2 Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης

Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται για την αντίστροφη όσμωση πρέπει να έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μεγάλη απόρριψη αλάτων με υψηλή διαπερατότητα διαλύτη
- Ικανότητα να σχηματίζει λεπτά διαχωριστικά στρώματα μεγάλης αντοχής
- Μεγάλο λόγο επιφάνειας προς όγκο
- 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, τον τρόπο χρήσης και καθαρισμού
- Μεγάλη αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια και βιολογικές επιθέσεις
- Ικανότητα λειτουργίας σε μεγάλο εύρος pH
- Χαμηλό κόστος

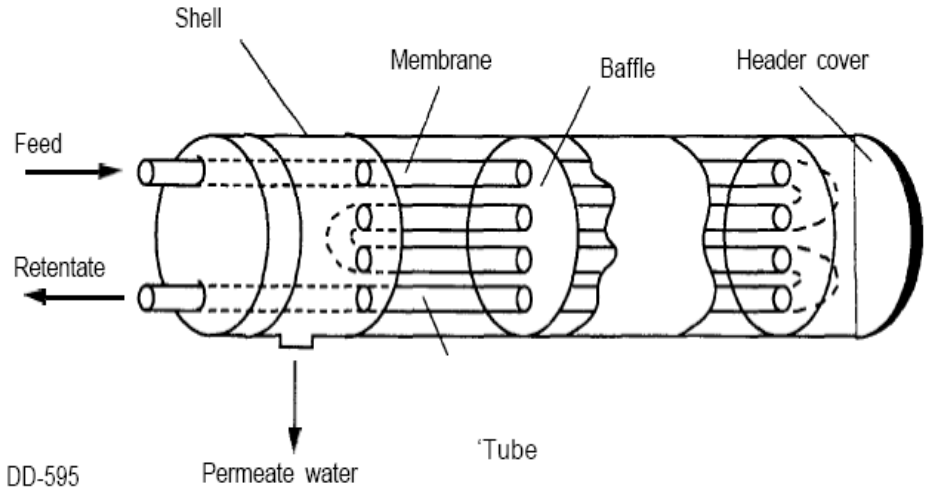
Η διαπερατότητα των μεμβρανών σε νερό είναι σχετικά μικρή. Έτσι για να έχουμε ικανοποιητική παραγωγή νερού πρέπει η επιφάνεια να είναι μεγάλη. Από την δεκαετία του 60 μέχρι σήμερα έχουν δοκιμαστεί διάφορες διαμορφώσεις μεμβρανών ώστε να επιτύχουν μέγιστο λόγο επιφάνειας προς όγκο. Οι διαμορφώσεις αυτές είναι :

1. **Σωληνοειδή** στοιχεία μεμβρανών (tubular module)
2. **Δισκοειδή** στοιχεία μεμβρανών (plate and frame modules)
3. Στοιχεία μεμβρανών **σπειροειδούς περιέλιξης** (spiral wound modules)
4. Στοιχεία μεμβρανών **κοίλων ινών** (hollow fiber modules)

Οι δυο πρώτες χρησιμοποιούνται κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς, ενώ οι δυο τελευταίες στο εμπόριο.

- **Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών (tubular module)**

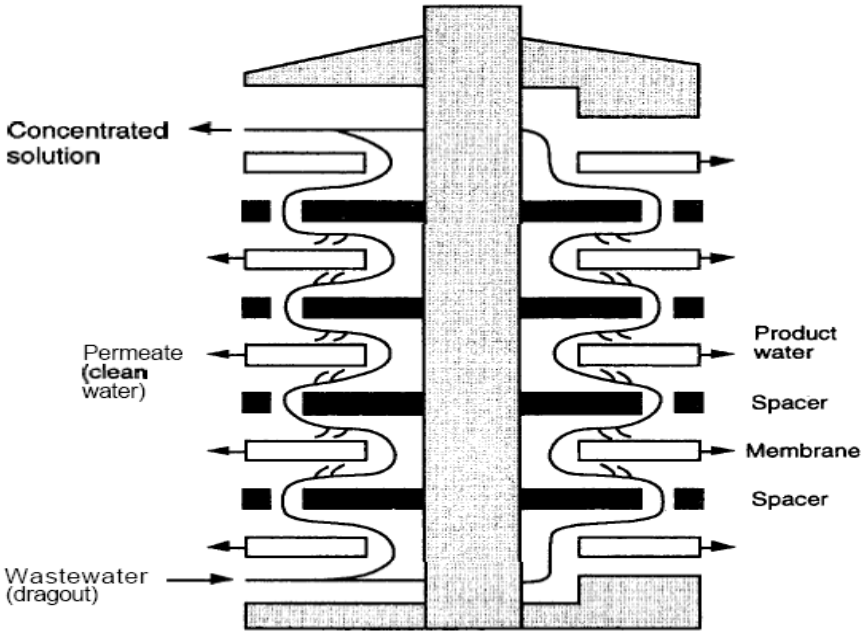
Στη διαμόρφωση αυτή τα στοιχεία των μεμβρανών έχουν τη μορφή σωλήνα διαμέτρου 0,7-2,5 cm, οι οποίοι τοποθετούνται στο εσωτερικό ειδικών δοχείων με ανθεκτικά τοιχώματα. Η ενεργή επιφάνεια του στοιχείου της μεμβράνης βρίσκεται στο εσωτερικό της. Έτσι η άλμη διοχετεύεται στο εσωτερικό του στοιχείου της μεμβράνης. Το παραγόμενο νερό εξέρχεται κάθετα στη διεύθυνση της ροής, ενώ από το άλλο άκρο εξέρχεται η άλμη. Το δοχείο πίεσης μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα στοιχεία μεμβρανών σχηματίζοντας ένα στοιχείο αντίστροφης όσμωσης.



Εικόνα 25: Σωληνοειδής μεμβράνη

- **Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών (plate and frame modules)**

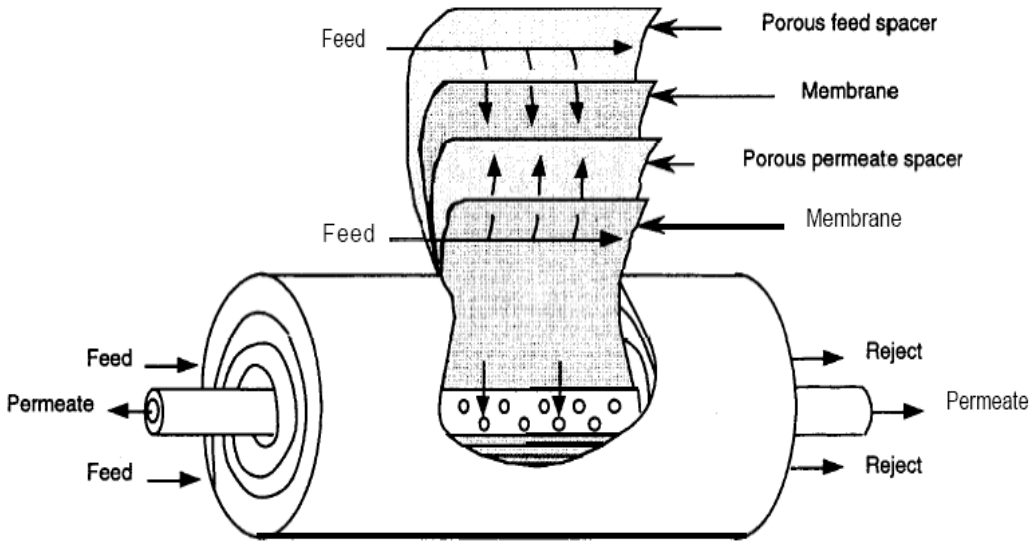
Τα στοιχεία μεμβρανών εναλλάσσονται με διαχωριστήρες. Τα στοιχεία μεμβρανών έχουν τη μορφή φακέλου με διαχωριστήρα στο εσωτερικό τους. Έτσι το αλατούχο διάλυμα ρέει εξωτερικά του φακέλου των μεμβρανών μέσω των σχισμών που υπάρχουν. Το νερό διέρχεται από τις μεμβράνες στο εσωτερικό του φακέλου και εξέρχεται από την ειδική σχισμή από όπου συλλέγεται.



Εικόνα 26: Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών

- **Στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης (spiral wound modules)**

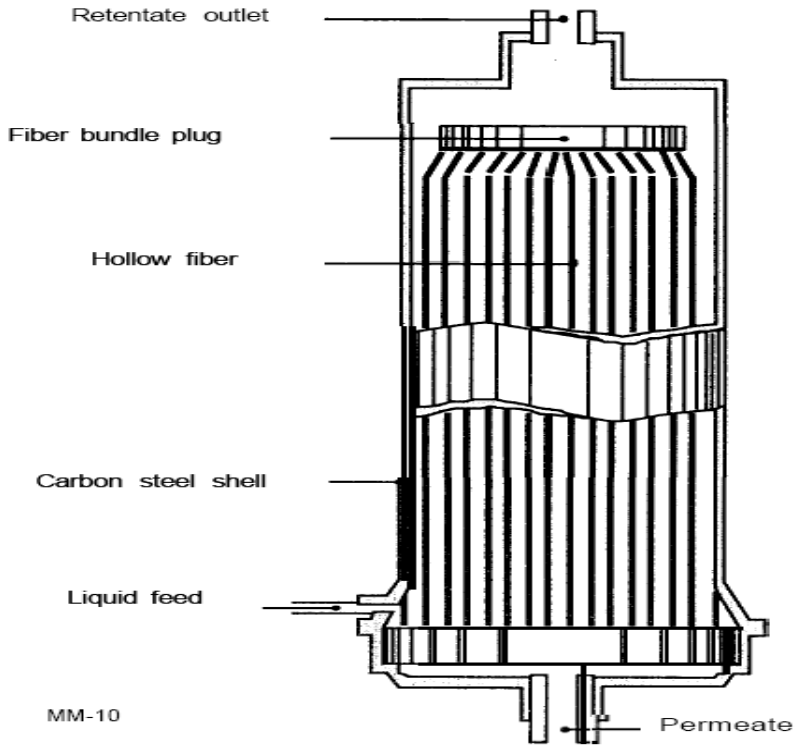
Στη διαμόρφωση αυτή δυο επίπεδα στοιχεία τοποθετούνται το ένα απέναντι από το άλλο με τις δραστικές επιφάνειές τους στην εξωτερική πλευρά. Μεταξύ των μεμβρανών τοποθετείται πορώδες πολυμερές υλικό. Το πορώδες φύλο τοποθετείται έτσι ώστε οι μεμβράνες να μην έρχονται σε επαφή όταν ασκείται υψηλή πίεση. Στο εσωτερικό της μεμβράνης τοποθετείται ένας διάτρητος σωλήνας ο οποίος συλλέγει το παραγόμενο νερό. Οι μεμβράνες τυλίγονται γύρω από τον σωλήνα συλλογής μαζί με το ειδικό πολυμερές πλέγμα σχηματίζοντας σπειροειδή περιέλιξη. Το πλέγμα δημιουργεί τον κατάλληλο χώρο μεταξύ των μεμβρανών ώστε να μπορεί να κινείται το αλατούχο διάλυμα, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί στροβίλους εμποδίζοντας τον σχηματισμό στρωτής ροής. Το όλο σύστημα καλύπτεται από ειδική ρητίνη με υαλοβάμβακα και τοποθετείται σε ειδικό δοχείο πίεσης. Το αλατούχο διάλυμα κινείται αξονικά κατά μήκος του σωλήνα συλλογής, ενώ το παραγόμενο νερό εισέρχεται εγκάρσια στο εσωτερικό του φακέλου, κινείται σπειροειδώς μέχρι να φτάσει στον σωλήνα συλλογής από το άκρο του οποίου εξέρχεται. Ένα ή περισσότερα στοιχεία μεμβρανών μπορούν να τοποθετηθούν σε σειρά κατά μήκος των δοχείων πίεσης σχηματίζοντας ένα στοιχείο αντίστροφης όσμωσης. Η πίεση λειτουργίας αυτών των στοιχείων φτάνει τα 80 bar, ενώ παρουσιάζουν υψηλό λόγο επιφάνειας προς όγκο**. Σήμερα αποτελούν την πλέον διαδεδομένη διαμόρφωση μεμβρανών.**



Εικόνα 27: Στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης

- **Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών (hollow fiber modules)**

Στις μεμβράνες αυτής της διαμόρφωσης το αλατούχο διάλυμα κινείται κάθετα προς τις κοίλες ίνες υπό υψηλή πίεση. Λόγω της ασκούμενης πίεσης το νερό εισέρχεται στο εσωτερικό των κοίλων ινών που αποτελούν ασύμμετρες μεμβράνες και κινείται κατά μήκος τους και εξέρχεται από το ανοιχτό άκρο τους, που βρίσκεται σε ειδικό πορώδες υλικό. Το όλο σύστημα τοποθετείται σε ειδικό δοχείο πίεσης που αποτελεί το στοιχείο της αντίστροφης όσμωσης. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας μεμβράνης για δεδομένο όγκο. Έτσι με τη διαμόρφωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν υλικά με μικρό συντελεστή διαπερατότητας σε νερό. Σοβαρό μειονέκτημα είναι ότι λόγω της κατασκευής τους λειτουργούν ως φίλτρα για τα αιωρούμενα συστατικά του διαλύματος τροφοδοσίας με αποτέλεσμα οι μεμβράνες αυτού του τύπου να μολύνονται εύκολα.



Εικόνα 28: Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών

5.3 Θεωρητική μελέτη μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης

Για την εξήγηση του φαινόμενου της αφαλάτωσης έχουν αναπτυχθεί διαφορές θεωρίες όπως:

- **Μοντέλο επιλεκτικής απορρόφησης/τριχοειδούς ροής** (preferential sorption)
- **Μοντέλο θερμοδυναμικής μη αντιστρεπτών διεργασιών** (irreversible thermodynamics)
- **Μοντέλο διάλυσης-διάχυσης** (solution-diffusion model)

Η ανάλυση θα γίνει με το μοντέλο θερμοδυναμικής μη αντιστρεπτών διεργασιών το οποίο δηλώνει ότι η εντροπία του συστήματος αυξάνει και εκλύεται ενέργεια. Οι βασικές εξισώσεις αυτής της θεωρίας που αναπτύχθηκε από τους Kedem και Katchalsky παρουσιάζονται παρακάτω.

Η ροή του νερού και η ποσότητας της διαλυμένης ουσίας που μεταφέρονται δια μέσου της μεμβράνης είναι:

$$\mathbf{J_v = L_p \cdot (\Delta_p - \sigma \cdot \Delta_\pi)} \quad \mathbf{(25)}$$

$$\mathbf{J_s = J_v \cdot C_p = B \cdot \Delta c + c \cdot (1-\sigma) \cdot J_v} \quad \mathbf{(26)}$$

όπου:

$\mathbf{J_v}$: η ογκομετρική παροχή δια μέσου της μεμβράνης (L/m^2*day)
$\mathbf{L_p}$: η υδραυλική διαπερατότητα της μεμβράνης
$\mathbf{\Delta_p}$: η διαφορά της ασκούμενης πίεσης ανάμεσα στο διάλυμα τροφοδοσίας και του παραγόμενου νερού
$\mathbf{\Delta_\pi}$: η διαφορά της οσμωτικής πίεσης ανάμεσα στο διάλυμα τροφοδοσίας και του παραγόμενου νερού
σ : ο συντελεστής ανάκλασης που αποτελεί μέτρο επιλεκτικότητας της μεμβράνης και παίρνει τιμές από 0-1(σ=1 εάν έχει 100% απόρριψη αλάτων)

$\mathbf{J_s}$: η παροχή μάζας ανά μονάδα επιφάνειας των διαλυμένων αλάτων δια μέσου της μεμβράνης
B : ο συντελεστής διαπερατότητας των αλάτων
c* : ο αριθμητικός μέσος των συγκεντρώσεων C_p και C_w
$\mathbf{C_p}$: η συγκέντρωση των αλάτων στο παραγόμενο νερό
$\mathbf{C_w}$: η συγκέντρωση των αλάτων στην επιφάνεια της μεμβράνης
$\mathbf{\Delta_c}$: η διαφορά της συγκέντρωσης των αλάτων ($\Delta_c = C_w - C_p$)

Η **απόρριψη αλατών** μαζί με την **ογκομετρική παροχή νερού ανά μονάδα επιφάνειας** αποτελούν τις δυο παραμέτρους που καθορίζουν τη συμπεριφορά των μεμβρανών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των μεμβρανών είναι:

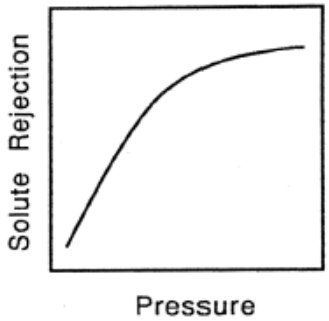
- **Η ασκούμενη πίεση**
- **Η θερμοκρασία**
- **Το ποσοστό ανάκτησης**
- **Η συγκέντρωση του διαλύματος τροφοδοσίας**

Α. Παροχή νερού ανά μονάδα επιφάνειας

Ένα σύστημα αφαλάτωσης RO συνήθως σχεδιάζεται για να παράγει μια συγκεκριμένη ροή του παραγομένου νερού. Χαμηλός ρυθμός παραγωγής είναι σημάδι ότι οι μεμβράνες χρειάζονται καθάρισμα. Επίσης οι εγκαταστάσεις RO σχεδιάζονται να λειτουργούν σε ένα συγκεκριμένο ρυθμό ανάκτησης. Εάν ο ρυθμός ανάκτησης είναι μεγαλύτερος από αυτόν του σχεδιασμού τότε **η ποιότητα του νερού θα είναι χειρότερη** επειδή αυξάνεται η συγκέντρωση αλάτων στο παραγόμενο νερό. Αναλυτικότερα, όταν το νερό τροφοδοσίας παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση αλάτων, τότε αυξάνεται η οσμωτική πίεση, μειώνεται το flux του νερού, αυξάνεται το flux των αλάτων και αυτό οδηγεί σε χαμηλότερης ποιότητα του παραγόμενου νερού. **Το ποσοστό ανάκτησης του καθαρού νερού που έχει προταθεί, ποικίλει από 20-45% με τις τιμές κοντά στο 20 για τις εγκαταστάσεις με μικρή δυναμικότητα και τιμές κοντά στο 45 για εγκαταστάσεις με μεγάλη δυναμικότητα. Με άλλα λόγια το μέρος που απορρίπτεται κυμαίνεται από 55-80%.**

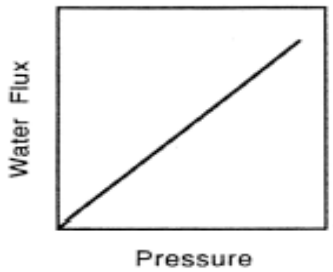
Β. Επίδραση της ασκούμενης πίεσης

Όσο **αυξάνεται η ασκούμενη πίεση, η απόρριψη των αλάτων αυξάνεται,** κάτι που αποτελεί μια από τις βασικές αρχές της λειτουργία της αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση (εικόνα 29).



Εικόνα 29: Επίδραση της πίεσης στην απόρριψη

Εάν η πίεση μειωθεί, τοτε μειώνεται η απόρριψη αλάτων από την μεμβράνη όπως επίσης μειώνεται και το flux του παραγόμενου νερου, κατά συνέπεια θα υπάρχει περισσότερο άλας ανά μονάδα όγκου του νερού (αυξάνεται η συγκέντρωση αλάτων) στην ροή του παραγόμενου νερού. Αντιθέτως, εάν η πίεση αυξηθεί, τότε αυξάνεται η απόρριψη αλάτων από την μεμβράνη όπως επίσης αυξάνεται και το flux του παραγόμενου νερου, κατά συνέπεια υπάρχει λιγότερο άλας ανά μονάδα όγκου του νερού (μειώνεται η συγκέντρωση) στην ροή του παραγόμενου νερού. Επίσης η πίεση παίζει σπουδαίο ρόλο στην παραγωγικότητα μιας μονάδας. Όσο ποιο μεγάλη είναι η ασκούμενη πίεση τόσο αυξάνεται το flux του παραγόμενου νερού, οπότε αυξάνεται η παραγωγικότητα (εικόνα 30). Η τυποποιημένη ασκούμενη πίεση για τις μονάδες επεξεργασίας υφάλμυρου νερού είναι σχεδόν 27 bar (400 psi) ενώ αυτή των θαλασσινών νερών είναι περίπου 55 bar (800 psi) ή υψηλότερη.



Εικόνα 30: Επίδραση της πίεσης στο flux νερού

C. Επίδραση της θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας επηρεάζει τόσο το flux του παραγόμενου νερού όσο και την απόρριψη των αλάτων από την μεμβράνη. Επίσης επηρεάζει και τις ενεργειακές απαιτήσεις διότι η οσμωτική πίεση εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Τιμές του συντελεστή της οσμωτικής πίεσης ανάλογα με τη θερμοκρασία δίνονται στον πίνακα 22:

Θερμοκρασία ^oC	**20**	**25**	**30**	**35**
Συντελεστής οσμωτικής πίεσης ω, Pa m^3/kg	$0,711*10^5$	$0,728*10^5$	$0,744*10^5$	$0,758*10^5$

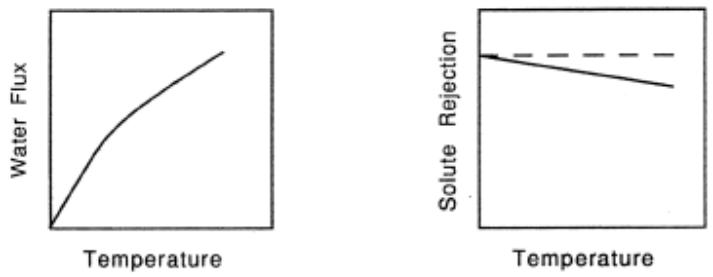
Πίνακας 22: Επίδραση της θερμοκρασίας στον συντελεστή οσμωτικής πίεσης

Όπου:

$$\pi = \omega \cdot C \qquad (27)$$

π: Οσμωτική πίεση
ω: Συντελεστής οσμωτικής πίεσης
C: Συγκέντρωση αλάτων στο νερό τροφοδοσίας

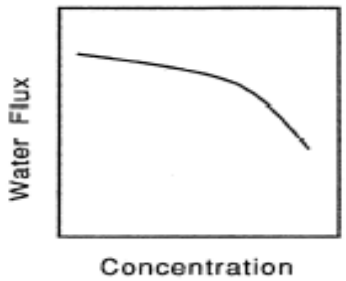
Από τον πίνακα 22 παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται και η οσμωτική πίεση. Γενικά η βέλτιστη απόδοση του συστήματος αντίστροφης όσμωσης πραγματοποιείται όταν η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας είναι από 24 έως 27 βαθμούς Κελσίου. Μέχρι 30 βαθμούς Κελσίου η ροή αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού τροφοδοσίας αλλά πάνω από 30 βαθμούς κελσίου η ροή μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.



Εικόνα 31: Επίδραση της θερμοκρασίας στο flux νερού και στην απόρριψη αλάτων

D. Επίδραση της συγκέντρωσης

Σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης μεταβάλλεται συχνά η συγκέντρωση του νερού τροφοδοσίας. Έτσι όταν αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό τροφοδοσίας διαπιστώθηκε ότι το flux του νερού μειώνεται, δηλαδή η οσμωτική πίεση αυξάνεται (μικρότερη κινητήρια δύναμη πέρα από τη μεμβράνη).



Εικόνα 32: Επίδραση της συγκέντρωσης στο flux νερού

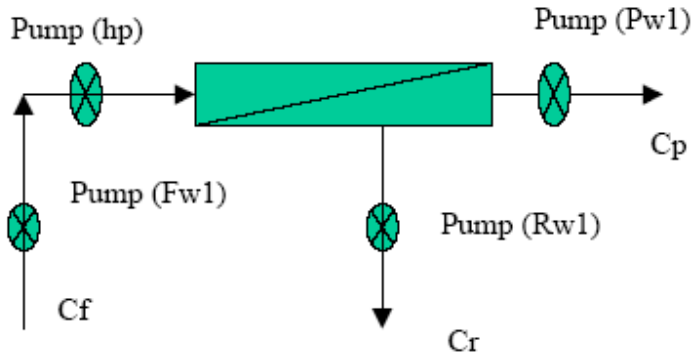
Ε. Κατανάλωση ενέργειας

Η θεωρητική απαιτούμενη ενέργεια για να χωριστεί το πόσιμο νερό από το νερό της θάλασσας με μικρή ανάκτηση είναι περίπου 0,75 (kWh/m^3). Η θεωρητική αυτή τιμή θα μπορούσε να προσεγγιστεί από μια εξιδανικευμένη συσκευή αντίστροφης όσμωσης που να έχει:

1. Τέλειες μεμβράνες, ικανές να παρέχουν πλήρη απόρριψη αλάτων σε πίεση ελαφρώς επάνω από την πίεση όσμωσης
2. Μηδενική πόλωση συγκέντρωσης
3. Καμία ανάγκη σε ενέργεια για την προεπεξεργασία
4. 100% απόδοση στην άντληση του νερού τροφοδοσίας
5. 100% αποδοτική ενεργειακή ανάκτηση από την άλμη που απορρίπτεται

Ένα πραγματικό σύστημα αντίστροφης όσμωσης απέχει αρκετά από τις παραπάνω εξιδανικεύσεις, προκειμένου να επιτύχει υψηλή παραγωγικότητα και απόρριψη αλάτων. **Οι χαρακτηριστικές ασκούμενες πιέσεις για την αφαλάτωση του νερού της θάλασσας είναι περίπου 2,5 φορές παραπάνω από την οσμωτική πίεση του νερού τροφοδοσίας. Η θεωρητική τιμή 0,75 (Kwh/m^3) αυξάνεται κατά πολύ λόγω των ενεργειακών απωλειών που οφείλονται κυρίως στην τριβή του νερού με τις σωληνώσεις και στην ανεπαρκή αποδοτικότητα των αντλιών (αυξάνονται οι απαιτήσεις σε ισχύ και κατά συνέπεια σε ενέργεια).**

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 33, ενέργεια καταναλώνεται στις εξής αντλίες κατά την διαδικασία της αντίστροφης:



Εικόνα 33: Αντλίες που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης

- **Αντλία χαμηλής πίεσης** (Feed water pump), **Fwp**
- **Αντλία υψηλής πίεσης** (High pressure pump), **Hpp**
- **Αντλία απόρριψης άλμης** (Reject water pump), **Rwp**
- **Αντλία παροχής καθαρού νερού** (Product water pump), **Pwp**

- **Αντλία χαμηλής πίεσης** (Feed water pump), **Fwp**

$$EFP = \left[\frac{(c)(PF)}{ep}\right]\left(\frac{1}{Y}\right)(Fw) \tag{28}$$

- **Αντλία υψηλής πίεσης** (High pressure pump), **Hpp**

$$Eo = \left[\frac{(c)(P)}{ep}\right]\left(\frac{1}{Y}\right)(Fw) \tag{29}$$

- **Αντλία απόρριψης άλμης** (Reject water pump), **Rwp**

$$ERP = \left[\frac{(c)(PR)}{ep}\right]\left(\frac{1}{Y}-1\right)(Rw) \tag{30}$$

- **Αντλία παροχής καθαρού νερού** (Product water pump), **Pwp**

$$EPP = \left[\frac{(c)(PP)}{ep}\right](Pw) \tag{31}$$

Όπου:

P, PR, PF, PP : είναι η **ασκούμενη πίεση** από την αντλία υψηλής πίεσης, αντλία απόρριψης άλμης, αντλία χαμηλής πίεσης και αντλία παροχής καθαρού νερού

ep : Αποδοτικότητα της αντλίας

c : Παράγοντας μετατροπής (conversion factor)

Y : Ποσοστό ανάκτησης

Η συνολική απαίτηση σε ενέργεια είναι : EL= Eo+ ERP+ EFP+ EPP **(32)**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ROSA 6.0

6.1 Σχεδιασμός εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση

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

- Το σύστημα προ-κατεργασίας νερού
- Το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης
- Το σύστημα μετεπεξεργασίας νερού

6.1.1 Προ-κατεργασία 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

Η μακροσκοπική ποιότητα του νερού προς επεξεργασία, μπορεί να καθοριστεί από τον εμπειρικό παράγοντα δείκτη πυκνότητας λάσπης (silt density index,SDI). Τιμές του **SDI** μεγαλύτερες του 3 και ακόμα τιμές μεγαλύτερες του 5, σημαίνουν νερό χαμηλής ποιότητας που απαιτεί καλύτερη προ-κατεργασία. Το θαλασσινό νερό έχει δείκτη SDI μεταξύ 2 και 6 **(2<SDI<6)**. Ο δείκτης SDI υπολογίζεται από τη μείωση της παροχής που συμβαίνει σε ένα φίλτρο 0,45μm, όταν το προς επεξεργασία νερό διοχετεύεται με πίεση 2,1bar. Προς τούτο, μετράται ο χρόνος διόδου του νερού από το καθαρό φίλτρο 500ml ανεπεξέργαστου νερού t_i και μετά από 15 min ακριβώς επαναλαμβάνουμε τη μέτρηση t_f Ο δείκτης SDI υπολογίζεται από την σχέση 33:

$$SDI = \frac{100 \cdot (1 - t_i / t_f)}{t_t} \qquad \textbf{(33)}$$

6.1.1.2 Τα στάδια προ-κατεργασίας

1. Χλωρίωση

Για την πρόληψη δημιουργίας επιστρώματος μόλυνσης οργανικής κυρίως προέλευσης, το νερό προς αφαλάτωση χλωριώνεται είτε με αέριο χλώριο είτε με υποχλωριώδες νάτριο ή λιγότερο συχνά με υποχλωριώδες ασβέστιο. Η χλωρίωση ενδείκνυται να γίνεται σε δεξαμενή εξισορρόπησης του νερού προς επεξεργασία. Το χλώριο οξειδώνει και καταστρέφει όλους τους ζώντες οργανισμούς που θα μπορούσαν να επικαθίσουν στις μεμβράνες δημιουργώντας αποικίες μολύνοντας την επιφάνεια τους και μειώνοντας την παραγωγή νερού ενώ χειροτερεύουν και την ποιότητα του παραγόμενου νερού.

2. Θρόμβωση-κροκίδωση

Για χρησιμοποιούμενα νερά με υψηλό δείκτη SDI δηλαδή αιωρούμενων στερεών, χρησιμοποιούνται ουσίες που προκαλούν τη συσσωμάτωσή τους και τελικά των διαχωρισμό τους από το νερό προς επεξεργασία. Δηλαδή τα συσσωματώματα διέρχονται από φίλτρα άμμου και συγκρατούνται τα στερεά με μέγεθος μεγαλύτερο από 1-5μm.

3. Πολυστρωματικά φίλτρα

Τα πολυστρωματικά φίλτρα περιέχουν αδρανή υλικά σε στρώματα και λειτουργούν ως φίλτρα. Περιλαμβάνουν φίλτρα σε στρώσεις διαφορών μεγεθών από τον πυθμένα προς τα πάνω όπως:

- Χαλαζιακά μικρά χαλίκια
- Αδρανή πυριτική άμμο
- Ανθρακίτη

Ο καθαρισμός του νερού επιτυγχάνεται με δυο τρόπους:

1. Με τη δυνατότητα των αιωρούμενων σωματιδίων να διαπεράσουν το ανώτατο στρώμα λόγω μεγέθους
2. Με την καθίζησή τους λόγω βάρους στα κατώτερα στρώματα

4. Αποχλωρίωση

Το υπολειπόμενο χλώριο αν φτάσει στις μεμβράνες θα τις καταστρέψει. Γι' αυτό, πρέπει να υπάρχει στάδιο από-χλωρίωσης. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί τροφοδοτώντας το νερό με αναγωγικά μέσα όπως θειώδες νάτριο (Na_2SO_3), όξινο θειώδες νάτριο ($NaHSO_3$) ή μεταθειώδες νάτριο ($Na_2S_2O_5$). Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται ανάλογα με το αναγωγικό μέσο είναι:

$$\mathbf{HOCl + Na_2SO_2 \rightarrow HCl + NaSO_4} \quad \mathbf{(34)}$$

$$\mathbf{HOCl + NaHSO_3 \rightarrow NaCl + H_2SO_4} \quad \mathbf{(35)}$$

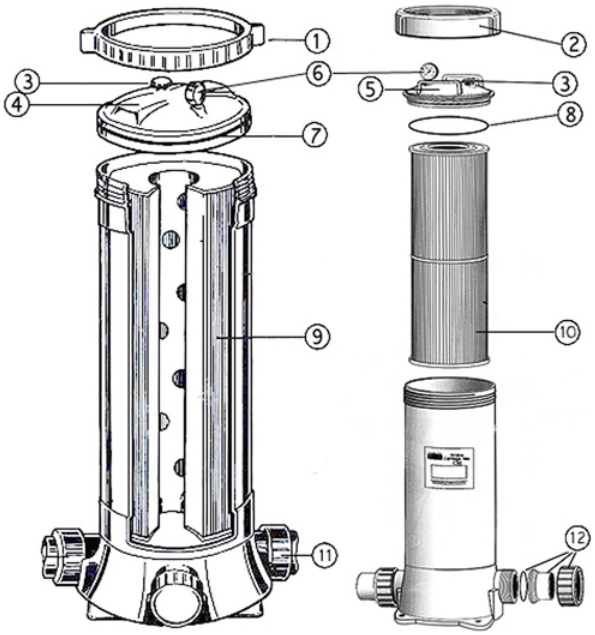
$$\mathbf{HOCl + Na_2S_2O_5 + H_2O \rightarrow 2NaCl + 2H_2SO_4} \quad \mathbf{(36)}$$

5. Ρύθμιση pH

Για την αποφυγή επικαθίσεων από τα άλατα, χρησιμοποιείται προσθήκη οξέος για την μείωση του pH του διαλύματος. Το κυρίως χρησιμοποιούμενο οξύ είναι το υδροχλωρικό οξύ.

6. Φίλτρα φυσιγγίων

Για την ολοκλήρωση της προ-κατεργασίας, το θαλασσινό νερό διέρχεται από τα φίλτρα φυσιγγίων. Η πυκνότητα του υλικού των φίλτρων είναι τέτοια ώστε από τα φίλτρα αυτά να διέρχονται σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 1-5μm. Τα φίλτρα είναι κατασκευασμένα από πολυμερές υλικό (πολυπροπυλένιο) και ο κύλινδρος από πολυεστέρα ενισχυμένος με υαλοβάμβακα.



Εικόνα 34: Δομή φίλτρου φυσιγγίου

6.1.2 Κυρίως σύστημα αφαλάτωσης

Το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης περιλαμβάνει τα εξής τμήματα:

1. **Αντλία χαμηλής πίεσης (Low pressure pump, LP)**

Η αντλία χαμηλής πίεσης είναι συνήθως περιστροφική αντλία κατάλληλης ισχύος για την τροφοδοσία των φίλτρων και της αντλίας υψηλής πίεσης. Λαμβάνει το αλατούχο διάλυμα απευθείας από την πηγή τροφοδοσίας ή από τη δεξαμενή εξισορρόπησης.

2. **Αντλία υψηλής πίεσης (High pressure pump, HP)**

Η αντλία υψηλής πίεσης είναι εμβολοφόρα αντλία με τρία ή περισσότερα έμβολα. Οι αντλίες HP πρέπει να παρέχουν πίεση που να φτάνει τα 70-80 bar. Το νερό τροφοδοσίας εξερχόμενο από την αντλία διοχετεύεται στα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης που βρίσκονται στα δοχεία πίεσης.

3. **Στοιχεία αντίστροφης όσμωσης**

Αποτελούνται από ειδικά δοχεία πίεσης εντός των οποίων τοποθετούνται σε σειρά 1-8 στοιχεία μεμβρανών. Κάθε σύστημα αφαλάτωσης μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης (δοχείο πίεσης και στοιχεία μεμβρανών) 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 επιθυμείται μεγαλύτερη ανάκτηση, μπορεί να ανακυκλώνεται ή να χρησιμοποιείται και δεύτερο πέρασμα σε μια άλλη συστοιχία στοιχείων αντίστροφης όσμωσης.

6.1.3 Μετεπεξεργασία

Το παραγόμενο νερό αφαλάτωσης παρουσιάζει γενικά πολύ μικρή σκληρότητα και σχετικά χαμηλό pH. Έτσι πριν διατεθεί στην αγορά πρέπει να προστεθούν κάποια χημικά που να το κάνουν εύπεπτο, ευχάριστο στη γεύση και γενικώς κατάλληλο για κατανάλωση. Στην μορφή που παράγεται παρουσιάζει διαβρωτικές ιδιότητες.

1. **Ρύθμιση pH**

Το pH ρυθμίζεται με την προσθήκη NaOH ώστε να αυξάνεται η τιμή του. Η δοσολογία ρυθμίζεται ανάλογα το με το pH του παραγόμενου νερού και την επιθυμητή τιμή. Αύξηση του pH μειώνει τις διαβρωτικές ιδιότητες του νερού διότι επιτυγχάνεται η καταβύθιση του ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) και με αυτόν τον τρόπο, σχηματίζεται ένα προστατευτικό στρώμα στις σωληνώσεις εμποδίζοντας την διάβρωσή τους.

2. Ρύθμιση σκληρότητας

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

3. Χλωρίωση

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

6.2 Σχεδιασμός συστήματος αντίστροφης όσμωσης

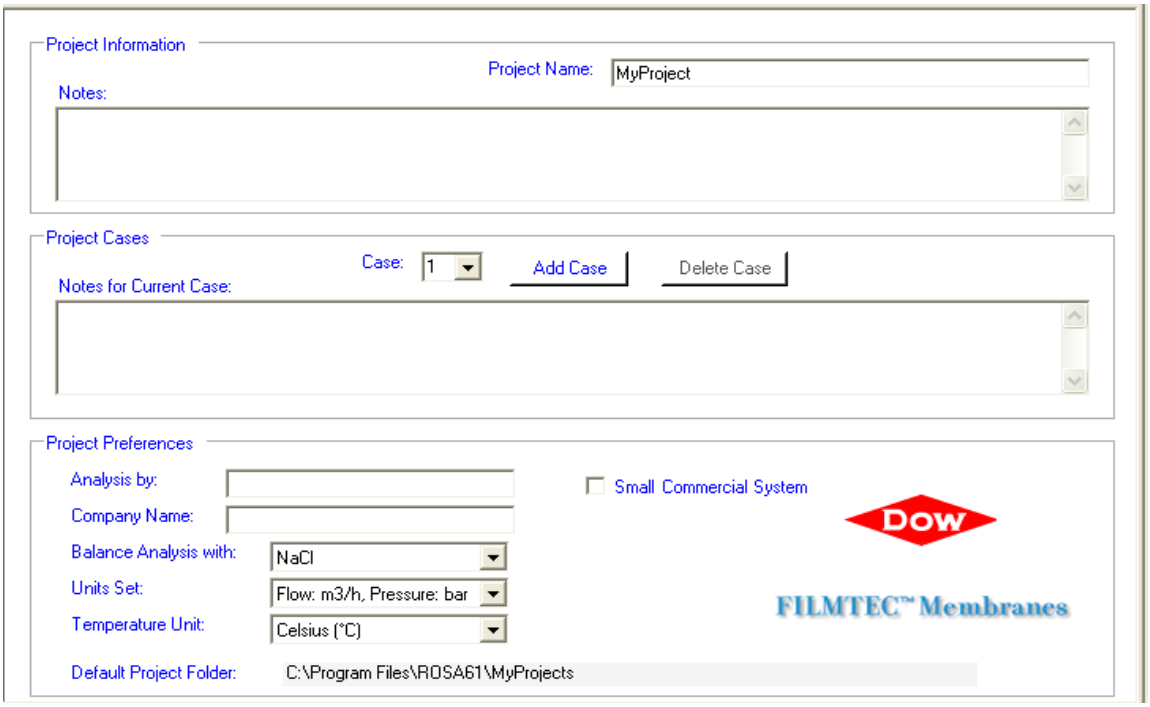
Για το σχεδιασμό του κυρίως συστήματος αντίστροφης όσμωσης, διατίθενται από τις εταιρίες παραγωγής στοιχείων μεμβρανών ειδικά λογισμικά με τα οποία μπορούμε να σχεδιάσουμε την μονάδα αντίστροφης όσμωσης. Το πρόγραμμα ROSA 6.0 που θα χρησιμοποιήσω για τον σχεδιασμό του συστήματος αντίστροφης όσμωσης είναι της εταιρίας **DOW**. (www.filmtec.com)

Για τη λειτουργία και εκτέλεση του προγράμματος ROSA 6.0 θα πρέπει να δοθούν συγκεκριμένα δεδομένα όπως :

1. **Η σύσταση του διαλύματος τροφοδοσίας**
2. **Η θερμοκρασία λειτουργίας**
3. **Το pH του διαλύματος τροφοδοσίας**
4. **Το είδος και ο αριθμός μεμβρανών**
5. **Η πίεση λειτουργίας (προαιρετικά)**
6. **Η επιθυμητή παραγωγή νερού**

Βήμα 1 (Project information)

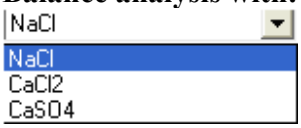
Κατά το άνοιγμα του προγράμματος ROSA 6.0 μας ζητούνται δεδομένα σχετικά με τη ροή (unit set), για τη θερμοκρασία του νερού προς επεξεργασία (temperature unit) και όσον αφορά την ισορροπία ιόντων και κατιόντων (balance analysis) με ποιο στοιχείο θέλουμε να πραγματοποιηθεί.



Οι επιλογές που μας δίνει είναι οι εξής:

- **Ισορροπία ιόντων και κατιόντων (Balance analysis)**

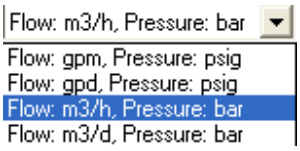
Balance analysis with:



Η αρχή της χημικής ουδετερότητας επιβάλει το άθροισμα των κατιόντων να ισούται με το άθροισμα των ανιόντων, εκφρασμένα σε meq/L. Επιλέχτηκε το NaCl.

- **Ροή (Unit set)**

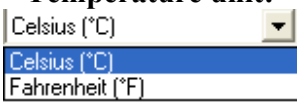
Unit set:



Επιλέχτηκε η ροή σε κυβικά νερού ανά ώρα (m^3/h) και η πίεση σε bar

- **Θερμοκρασία (Temperature unit)**

Temperature unit:



Επιλέχτηκε σε βαθμούς Κελσίου, ^oC.

Βήμα 2 (Feed data)

Στο επόμενο βήμα καλούμαστε να εισάγουμε δεδομένα που αφορούν στην τροφοδοσία της ροής, τη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας καθώς και το pH. Η σύσταση του νερού τροφοδοσίας, το pH και η θερμοκρασία έγινε στη βάση του πίνακα 6.

Water Type: Seawater (Open Intake) SDI < 5

Open Water Profile Library

Feed Percentage: 100.0 (%) Feed Number: 1 Feed Streams: 1

Specify individual solutes

Total Dissolved Solids: 39083.8 mg/l

Ions	mg/l	ppm CaCO3	meq/l	Total Conc.(mg/l)
Ammonium (NH4)	0.2	0.554	0.011	0.20
Potassium (K)	55	70.329	1.407	55.00
Sodium (Na)	12292.93	26735.380	534.708	12292.93
Magnesium (Mg)	1503.47	6184.065	123.681	1503.47
Calcium (Ca)	380.88	950.299	19.006	380.88
Strontium (Sr)	13.03	14.871	0.297	13.03
Barium (Ba)	0.05	0.036	0.001	0.050
Carbonate (CO3)	3.903	6.503	0.130	3.90
Bicarbonate (HCO3)	159	130.317	2.606	159.00
Nitrate (NO3)	2.36	1.903	0.038	2.36
Chloride (Cl)	22010	31041.100	620.822	22010.00
Fluoride (F)	1.32	3.474	0.069	1.32
Sulfate (SO4)	2661.11	2771.990	55.440	2661.11
Silica (SiO2)	0.5	n.a.	n.a.	0.50
Boron (B)	0	n.a.	n.a.	n.a.

Feed Parameters

Temperature: 22.0 °C

Flow Rate: 250.0 m³/h

pH: 7.3

Charge Balance

Cations: 679.11

Anions: 679.11

Balance: 0.01

Add Chloride

Add Sulfate

Adjust Cations

Adjust Anions

Adjust All Ions

System Temp: 22.0 °C System pH: 7.30

Save Water Profile to Library

Note: Any changes in raw feedwater composition will affect scaling calculations. Please review scaling calculations.

Μετά την ισορροπία των ιόντων και κατιόντων με βάση το NaCl προέκυψε:

- **TDS : 39.083 mg/l**
- **pH : 7,3**
- **Θερμοκρασία : 22 ^{o}C**

Μια άλλη παράμετρος που μας ζητείται είναι ο τύπος του νερού τροφοδοσίας (water type)

Water type:

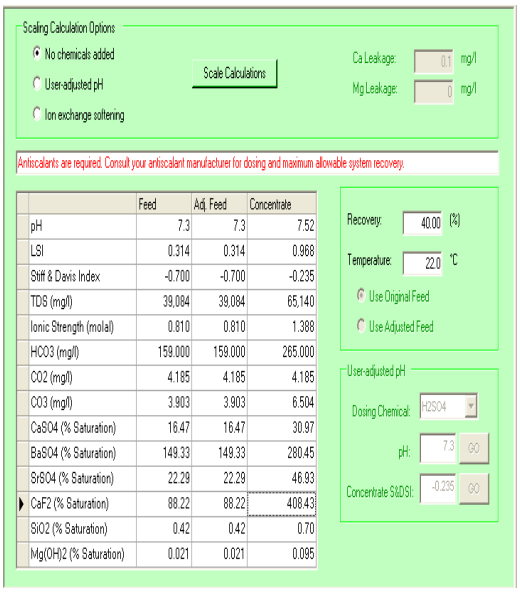
Seawater (Open Intake) SDI < 5

RO Permeate SDI < 1
Well Water SDI < 3
Surface Supply SDI < 3
Surface Supply SDI < 5
Tertiary Effluent (Microfiltration) SDI < 3
Tertiary Effluent (Conventional) SDI < 5
Seawater (Well/MF) SDI < 3
Seawater (Open Intake) SDI < 5

Επέλεξα θαλασσινό νερό με δείκτη πυκνότητας λάσπης SDI<5 διότι το νερό προς επεξεργασία θα εισάγεται από αγωγό μέσα από την θάλασσα οπότε θα παρουσιάζει υψηλό δείκτη SDI.

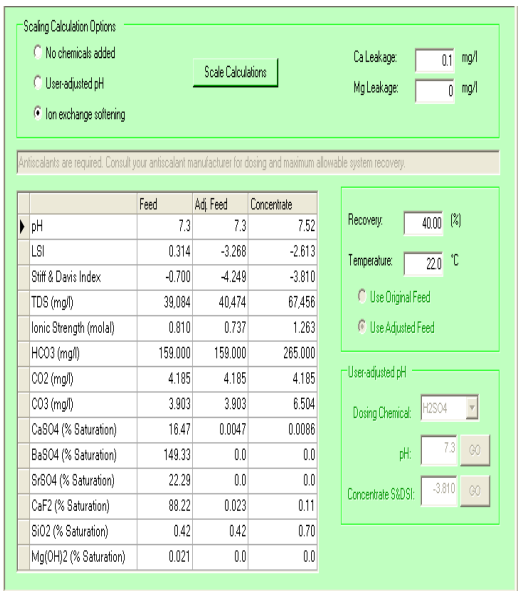
Βήμα 3 (Scaling)

Σε αυτό το βήμα πρέπει να παρατηρήσουμε αν το νερό τροφοδοσίας, θα δημιουργήσει προβλήματα στον αγωγό τροφοδοσίας (adj.feed) και στον αγωγό της απορριπτόμενης άλμης με επικαθίσεις αλάτων. Όπως παρατηρούμε δημιουργούνται προβλήματα επικαθίσεων και χρειάζονται αποσκληρυντικά.



	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.3	7.3	7.52
LSI	0.314	0.314	0.968
Stiff & Davis Index	-0.700	-0.700	-0.235
TDS (mg/l)	39,084	39,084	65,140
Ionic Strength (molal)	0.810	0.810	1.388
HCO3 (mg/l)	159.000	159.000	265.000
CO2 (mg/l)	4.185	4.185	4.185
CO3 (mg/l)	3.903	3.903	6.504
CaSO4 (% Saturation)	16.47	16.47	30.97
BaSO4 (% Saturation)	149.33	149.33	280.45
SrSO4 (% Saturation)	22.29	22.29	46.93
CaF2 (% Saturation)	88.22	88.22	408.43
SiO2 (% Saturation)	0.42	0.42	0.70
Mg(OH)2 (% Saturation)	0.021	0.021	0.095

Χωρίς αποσκληρυντικά

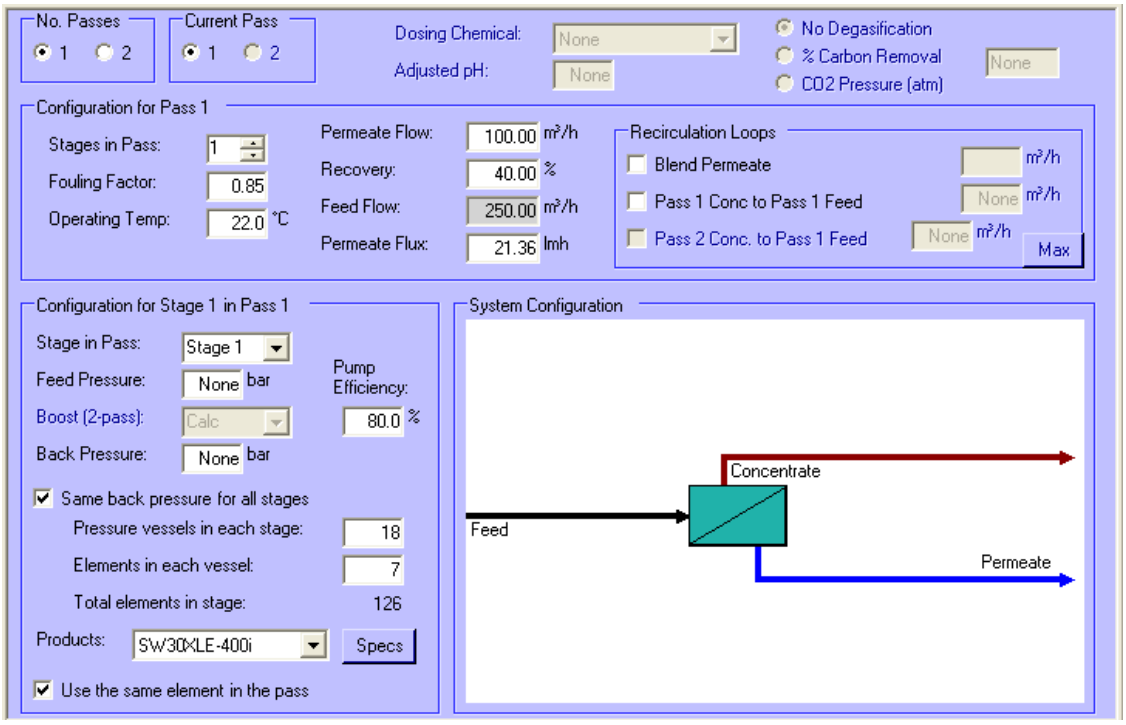


	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.3	7.3	7.52
LSI	0.314	-3.268	-2.613
Stiff & Davis Index	-0.700	-4.249	-3.810
TDS (mg/l)	39,084	40,474	67,456
Ionic Strength (molal)	0.810	0.737	1.263
HCO3 (mg/l)	159.000	159.000	265.000
CO2 (mg/l)	4.185	4.185	4.185
CO3 (mg/l)	3.903	3.903	6.504
CaSO4 (% Saturation)	16.47	0.0047	0.0086
BaSO4 (% Saturation)	149.33	0.0	0.0
SrSO4 (% Saturation)	22.29	0.0	0.0
CaF2 (% Saturation)	88.22	0.023	0.11
SiO2 (% Saturation)	0.42	0.42	0.70
Mg(OH)2 (% Saturation)	0.021	0.0	0.0

Με αποσκληρυντικά

Βήμα 4 (System Configuration)

Σε αυτό το βήμα ζητούνται από τον μηχανικό όλες οι παράμετροι που αφορούν στον σχεδιασμό της μονάδας αφαλάτωσης όπως: **το είδος και αριθμός μεμβρανών, ανάκτηση, εφαρμοζόμενη πίεση, αφαλάτωση με ανάμιξη ροών, αφαλάτωση σε στάδια κ.α**


No. Passes
1
2
Current Pass
1
2
Dosing Chemical:
None
Adjusted pH:
None
No Degasification
% Carbon Removal
CO2 Pressure (atm)
None
Configuration for Pass 1
Stages in Pass:
1
Fouling Factor:
0.85
Operating Temp:
22.0
°C
Permeate Flow:
100.00
m³/h
Recovery:
40.00
%
Feed Flow:
250.00
m³/h
Permeate Flux:
21.36
lmh
Recirculation Loops
Blend Permeate
m³/h
Pass 1 Conc to Pass 1 Feed
None
m³/h
Pass 2 Conc. to Pass 1 Feed
None
m³/h
Max
Configuration for Stage 1 in Pass 1
Stage in Pass:
Stage 1
Feed Pressure:
None
bar
Boost (2-pass):
Calc
Back Pressure:
None
bar
Pump Efficiency:
80.0
%
Same back pressure for all stages
Pressure vessels in each stage:
18
Elements in each vessel:
7
Total elements in stage:
126
Products:
SW30XLE-400i
Specs
Use the same element in the pass
System Configuration
Concentrate
Feed
Permeate

6.2.1 Εφαρμογή του προγράμματος ROSA 6.0

Σε όλα τα σενάρια θα χρησιμοποιήσω τις ίδιες μεμβράνες με σταθερή την ανάκτηση 40%.

Element	Active Area	Pressure	Flow	Rejection(%)	Conc(ppm)	Salt	Recovery(%)
SW30HRLE-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	7,500 (28.4)	99.75	32000	NaCl	8
BW30-440i	440 (40.9)	225 (15.5)	11,500 (43.5)	99.5	2000	NaCl	15

Active Area units: square feet (square meters)
Pressure units: psi (bar)
Flow units: gallons per day (cubic meters per day)

Η δυναμικότητα της μονάδας διαφέρει από μήνα σε μήνα και από χρόνο σε χρόνο. Στον παρακάτω πίνακα 23 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για τις ανάγκες νερού για όλους τους μήνες του χρόνου μέχρι το 2030. Τα αποτελέσματα είναι σε m^3/day εκτός από των δυο τελευταίων στηλών που είναι σε m^3/hrs.

Έτος	ΙΑΝ	ΦΕΥ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥ	ΙΟΥ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΜΙΝ (ΔΕΚ) κυβ/ώρα 12 ώρες	ΜΑΧ (ΑΥΓ) κυβ/ώρα 12 ώρες
2001	494	494	547	557	573	633	669	679	580	537	537	488	**40**	**56**
2002	509	509	562	573	590	651	689	699	597	552	552	502	41	58
2003	518	518	572	583	601	663	702	712	608	562	562	511	42	59
2004	527	527	583	594	612	675	715	726	619	572	572	520	43	60
2005	537	537	593	604	623	688	729	740	631	582	582	529	44	61
2006	546	546	604	615	634	700	743	754	642	592	592	538	44	62
2007	556	556	614	626	646	713	757	769	654	603	603	548	45	64
2008	565	565	625	638	658	726	771	783	666	613	613	557	46	65
2009	575	575	636	649	670	739	785	798	678	624	624	567	47	66
2010	585	585	648	661	682	753	800	813	691	635	635	577	48	67
2011	596	596	659	672	695	766	815	829	704	646	646	587	48	69
2012	606	606	671	684	707	780	831	844	716	657	657	597	49	70
2013	617	617	682	697	720	794	846	860	730	668	668	607	50	71
2014	628	628	694	709	733	809	862	877	743	680	680	618	51	73
2015	638	638	706	721	746	823	878	893	756	691	691	628	**52**	**74**
2016	650	650	719	734	760	838	895	910	770	703	703	639	53	75
2017	661	661	731	747	774	853	911	927	784	715	715	650	54	77
2018	672	672	744	760	787	868	928	944	798	728	728	661	55	78
2019	684	684	757	774	802	884	945	962	813	740	740	673	56	80
2020	696	696	770	787	816	900	963	980	827	753	753	684	57	81
2021	708	708	783	801	831	916	981	999	842	766	766	696	58	83
2022	720	720	797	815	845	932	999	1017	858	778	778	708	59	84
2023	732	732	810	829	860	948	1017	1036	873	792	792	720	60	86
2024	745	745	824	843	876	965	1036	1055	889	805	805	732	61	87
2025	757	757	838	858	891	982	1055	1075	905	819	819	744	62	89
2026	770	770	853	873	907	1000	1075	1095	921	832	832	757	63	91
2027	783	783	867	888	923	1017	1094	1115	937	846	846	769	64	92
2028	797	797	882	904	940	1035	1114	1136	954	861	861	782	65	94
2029	810	810	897	919	956	1053	1135	1157	971	875	875	795	66	96
2030	824	824	912	935	973	1072	1156	1178	988	889	889	809	**67**	**98**

Πίνακας 23: Ζήτηση νερού ανά μήνα 2001-2030

Κάθε μονάδα αφαλάτωσης σχεδιάζεται με βασικά στοιχεία όπως: flux, πίεση, ενέργεια που καταναλώνει, ποιότητα του παραγόμενου νερού και το κόστος ανά κυβικό. Αυτό θα σήμαινε για παράδειγμα άμα είχαμε σχεδιάσει τη μονάδα μας για το έτος 2030 με flux παραγόμενου νερού περίπου 20 lmh με βασική προϋπόθεση ότι η **ανάκτηση** παραμένει σταθερή και αλλάζοντας μονό την παροχή που θέλουμε για το καθαρό νερό το 2001 θα μειωνότανε σε 8-9 lmh με νερό παραγωγής υψηλό σε TDS, ενώ όπως παρουσιάζονται τα στοιχεία στον πίνακα 24, άμα μειώναμε την ανάκτηση από 40% σε 20% θα αυξανόντουσαν τα TDS και η ενέργεια που απαιτείται για να παραχθεί ένα κυβικό μέτρο νερού.

Περιπτώσεις	40%,2030, 100 m^3	30%,2015 75m^3	20%,2001 50 m^3
TDS(mg/l)	242	285	384
Ενέργεια ανά m^3	5,53	6,17	7,8
Ασκούμενη πίεση(bar)	63,67	53,29	44,92

Πίνακας 24: Επίδραση της ανάκτησης στην ενέργεια ανά m^3 ,στην ποιότητα του παραγόμενου νερού και στην ασκούμενη πίεση

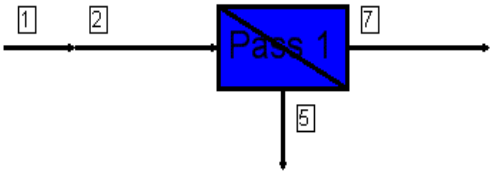
Τη μονάδα θα την αριστοποιήσω με βάση το 2030 και θα λειτουργεί έτσι από το 2001 έως το 2030. Το πρόβλημα που εμφανίζεται είναι το εξής: Το παραγόμενο νερό θα είναι πολύ περισσότερο από αυτό που καταναλώνεται με αποτέλεσμα η δεξαμενή να υπερχειλίζει. Αυτό μπορεί να λυθεί με το να εγκαταστήσουμε ένα σύστημα ελέγχου συνδεδεμένο με υπολογιστή ώστε να ελέγχει τη στάθμη του νερού μέσα στη δεξαμενή και ανάλογα να διακόπτει την λειτουργία της μονάδας. Η μονάδα αφαλάτωσης θα λειτουργεί από τις 7 το πρωί έως τις 7 το απόγευμα δηλαδή 12 ώρες συνολικά. Για παράδειγμα, άμα χρειάζεται τις 2 πρώτες ώρες για να γεμίσει η δεξαμενή η λειτουργία της θα διακόπτεται αυτόματα για τις επόμενες ώρες. Δημιουργώντας ένα αλγόριθμο ο οποίος θα ελέγχει τη στάθμη της δεξαμενής, τη ζήτηση ανάλογα με την περίοδο, θα υπολογίζει τον χρόνο που χρειάζεται τις τελευταίες ώρες πριν τις 7 το απόγευμα για να ξαναρχίσει τη λειτουργία της (έτσι αποφεύγεται το να ενεργοποιούμε και να απενεργοποιούμε συνέχεια την μονάδα της αφαλάτωσης) ή αμέσως άμα πέσει κάτω από ένα ορισμένο όριο ασφαλείας το οποίο έχουμε θέσει. Αυτό που επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο είναι την ώρα ακριβώς που διακόπτεται η λειτουργία της (19:00), η δεξαμενή να είναι γεμάτη. Είναι λογικό ότι το 2030 η δεξαμενή θα λειτουργεί και τις 12 ώρες.

Σενάριο 1

Μονάδα αφαλάτωσης σε **ένα στάδιο**:

Ανάκτηση : 40%
Ροή παραγόμενο νερού : 100 m^3/h
Flux : 21,53 lmh

System Design Overview



Raw Water TDS	39083.76 mg/l	% System Recovery (7/1)	40.00 %
Water Classification	Seawater (Open Intake) SDI < 5	Fouling Factor (Pass 1)	0.85
Feed Temperature	22.0 C		

Pass #	Pass 1
Stage #	1
Element Type	SW30HRLE-400i
Pressure Vessels per Stage	25
Elements per Pressure Vessel	5
Total Number of Elements	125
Pass Average Flux	21.53 lmh
Stage Average Flux	21.53 lmh
Permeate Back Pressure	0.00 bar
Booster Pressure	0.00 bar
Chemical Dose	-
Energy Consumption	6.24 kWh/m³

Pass 1			
Stream #	Flow (m^3/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)
1	250.00	0.00	39083.76
3	250.00	71.83	40473.73
5	150.00	70.17	67360.69
7	100.00	-	142.30
7/1	% Recovery	40.00	

System Details

Feed Flow to Stage 1	250.00 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	100.00 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	250.00 m³/h	Pass 1 Recovery	40.00 %	Feed	30.13 bar
Feed Pressure	71.83 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	51.60 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	40473.73 mg/l	Average	40.87 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	125	Average NDP	30.07 bar
Total Active Area	4645.00 M²	Average Pass 1 Flux	21.53 lmh	Power	623.60 kW
Water Classification: Seawater (Open Intake) SDI < 5				Specific Energy	6.24 kWh/m³

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.20	0.20	0.32	0.02	0.02
K	55.00	55.00	91.49	0.26	0.26
Na	12292.93	15580.05	25930.57	55.35	55.35
Mg	1503.47	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	380.88	0.10	0.17	0.00	0.00
Sr	13.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	3.90	3.90	9.08	0.00	0.00
HCO3	159.00	159.00	259.29	0.93	0.93
NO3	2.36	2.36	3.86	0.11	0.11
Cl	22010.00	22010.18	36628.77	83.81	83.81
F	1.32	1.32	2.20	0.01	0.01
SO4	2661.11	2661.11	4434.10	1.80	1.80
SiO2	0.50	0.50	0.83	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	4.19	4.25	5.84	4.55	4.54
TDS	39083.76	40473.73	67360.69	142.30	142.30
pH	7.30	7.30	7.40	5.49	5.49

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.11	1.13	84.24	10.00	40473.73	71.48
	2	0.11	0.96	109.31	8.87	45613.34	71.13
	3	0.10	0.79	144.78	7.91	51133.11	70.84
	4	0.09	0.63	195.53	7.12	56797.83	70.59
	5	0.08	0.49	268.40	6.49	62304.88	70.37

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.30	7.30	7.40
Langelier Saturation Index	0.31	-3.27	-2.75
Stiff & Davis Stability Index	-0.70	-4.25	-3.95
Ionic Strength (Molal)	0.81	0.74	1.26
TDS (mg/l)	39083.76	40473.73	67360.69
HCO_3	159.00	159.00	259.29
CO_2	4.19	4.25	5.84
CO_3	3.90	3.90	9.08
$CaSO_4$ (% Saturation)	16.47	0.00	0.01
$BaSO_4$ (% Saturation)	149.33	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	22.29	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	88.22	0.02	0.11
SiO_2 (% Saturation)	0.42	0.42	0.70
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.02	0.00	0.00

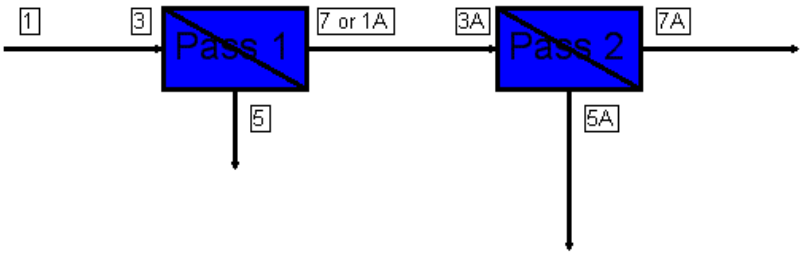
To balance: 0.18 mg/l Cl added to feed.

Σενάριο 2

Μονάδα αφαλάτωσης σε **δύο στάδια**:

Ανάκτηση : 40%
Ροή παραγόμενου νερού : 100 m^3/h
Flux : 21,23 lmh

System Design Overview



Raw Water TDS	39083.76 mg/l	% System Recovery (7A/1)	40.00 %
Water Classification	Seawater (Open Intake) SDI < 5	Fouling Factor (Pass 1)	0.85
Feed Temperature	22.0 C	Fouling Factor (Pass 2)	0.85

Pass #	Pass 1	Pass 2	
Stage #	1	1	2
Element Type	SW30HRLE-400i	BW30-440i	BW30-440i
Pressure Vessels per Stage	27	12	11
Elements per Pressure Vessel	8	5	5
Total Number of Elements	216	60	55
Pass Average Flux	15.57 lmh	21.27 lmh	
Stage Average Flux	15.57 lmh	23.02 lmh	19.37 lmh
Permeate Back Pressure	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Booster Pressure	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Chemical Dose	-	-	
Energy Consumption	5.04 kWh/m³	0.42 kWh/m³	

Pass 1				Pass 2			
Stream #	Flow (m³/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)	Stream #	Flow (m³/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)
1	250.00	0.00	39083.76	1A	125.01	-	220.69
3	250.00	72.58	40473.73	3A	125.01	9.79	220.69
5	124.99	70.66	80725.80	5A	25.00	7.39	1080.89
7	125.01	-	220.69	7A	100.00	-	5.86
7/1	% Recovery	50.00		7A/1A	% Recovery	80.00	

Project Information:

System Details -- Pass 1

Feed Flow to Stage 1	250.00 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	125.01 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	250.00 m³/h	Pass 1 Recovery	50.00 %	Feed	30.13 bar
Feed Pressure	72.58 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	62.88 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	40473.73 mg/l	Average	46.50 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	216	Average NDP	25.12 bar
Total Active Area	8026.56 M²	Average Pass 1 Flux	15.57 lmh	Power	630.13 kW
Water Classification: Seawater (Open Intake) SDI < 5				Specific Energy	5.04 kWh/m³
System Recovery	40.00 %			Conc. Flow from Pass 2	0.00 m³/h

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH4	0.20	0.20	0.37	0.03	0.03
K	55.00	55.00	109.59	0.41	0.41
Na	12292.93	15580.05	31075.46	85.91	85.91
Mg	1503.47	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	380.88	0.10	0.20	0.00	0.00
Sr	13.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	3.90	3.90	12.10	0.00	0.00
HCO3	159.00	159.00	308.16	1.27	1.27
NO3	2.36	2.36	4.56	0.16	0.16
Cl	22010.00	22010.18	43892.03	130.13	130.13
F	1.32	1.32	2.63	0.01	0.01
SO4	2661.11	2661.11	5319.68	2.75	2.75
SiO2	0.50	0.50	1.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	4.19	4.25	6.70	4.84	4.84
TDS	39083.76	40473.73	80725.80	220.69	220.69
pH	7.30	7.30	7.47	5.59	5.59

System Details -- Pass 2

Feed Flow to Stage 1	125.01 m³/h	Pass 2 Permeate Flow	100.00 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	250.00 m³/h	Pass 2 Recovery	80.00 %	Feed	0.18 bar
Feed Pressure	9.79 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	0.86 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	220.69 mg/l	Average	0.52 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	115	Average NDP	7.85 bar
Total Active Area	4700.74 M²	Average Pass 2 Flux	21.27 lmh	Power	42.48 kW
Water Classification: RO Permeate SDI < 1				Specific Energy	0.42 kWh/m³
System Recovery	40.00 %				

Pass Streams (mg/l as Ion)							
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH4	0.03	0.03	0.04	0.08	0.01	0.02	0.01
K	0.41	0.41	0.74	1.97	0.01	0.03	0.02
Na	85.91	85.91	155.60	421.04	1.29	3.20	2.12
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	1.27	1.27	2.22	5.92	0.35	0.40	0.37
NO3	0.16	0.16	0.26	0.56	0.04	0.09	0.06
Cl	130.13	130.13	235.66	637.66	1.95	4.87	3.22
F	0.01	0.01	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00
SO4	2.75	2.75	5.00	13.58	0.03	0.07	0.05
SiO2	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	4.84	4.84	4.88	4.92	4.62	4.65	4.63
TDS	220.69	220.69	399.55	1080.89	3.69	8.67	5.86
pH	5.59	5.59	5.80	6.18	5.12	5.16	5.14

Stage Details -- Pass 1

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.12	1.13	85.20	9.26	40473.73	72.23
	2	0.12	0.95	113.03	8.13	46091.05	71.92
	3	0.11	0.77	153.54	7.18	52155.53	71.67
	4	0.09	0.60	213.16	6.42	58358.46	71.45
	5	0.08	0.45	301.42	5.82	64311.32	71.26
	6	0.06	0.33	430.23	5.37	69652.49	71.09
	7	0.05	0.24	613.65	5.04	74171.72	70.94
	8	0.04	0.17	864.33	4.80	77831.89	70.80

Stage Details -- Pass 2

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.10	1.00	2.84	10.42	220.69	9.44
	2	0.10	0.96	3.19	9.42	243.76	9.12
	3	0.11	0.94	3.62	8.46	271.22	8.84
	4	0.12	0.91	4.13	7.52	304.59	8.60
	5	0.14	0.89	4.77	6.61	346.15	8.40
Stage 2	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.13	0.84	5.68	6.23	399.55	7.89
	2	0.15	0.82	6.71	5.39	461.05	7.73
	3	0.17	0.80	8.11	4.57	542.42	7.61
	4	0.20	0.77	10.14	3.78	654.94	7.52
	5	0.24	0.74	13.36	3.01	819.76	7.44

Scaling Calculations

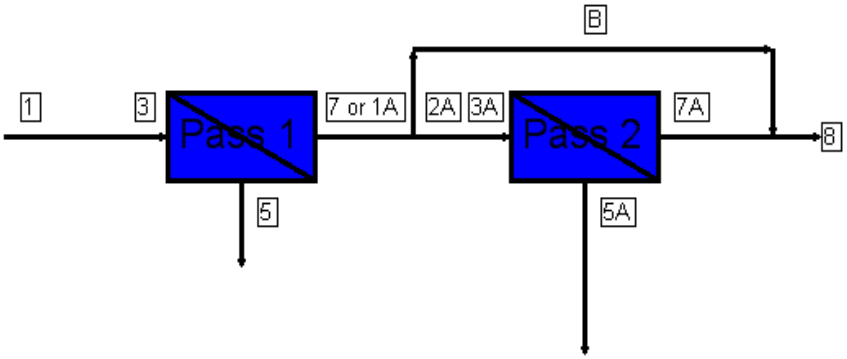
	Raw Water	Pass 1 Adjusted Feed	Pass 1 Concentrate	Pass 2 Concentrate
pH	7.30	7.30	7.47	6.18
Langelier Saturation Index	0.31	-3.27	-2.52	-8.30
Stiff & Davis Stability Index	-0.70	-4.25	-3.73	-7.90
Ionic Strength (Molal)	0.81	0.74	1.53	0.02
TDS (mg/l)	39083.76	40473.73	80725.80	1080.89
HCO_3	159.00	159.00	308.16	5.92
CO_2	4.19	4.25	6.70	4.92
CO_3	3.90	3.90	12.10	0.00
$CaSO_4$ (% Saturation)	16.47	0.00	0.01	0.00
$BaSO_4$ (% Saturation)	149.33	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	22.29	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	88.22	0.02	0.18	0.00
SiO_2 (% Saturation)	0.42	0.42	0.84	0.02
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.02	0.00	0.00	0.00

Σενάριο 3

Μονάδα αφαλάτωσης σε **δύο στάδια με ανακυκλοφορία**:

Ανάκτηση : 39,68%
Ροή παραγόμενου νερού : 70 m^3/h
Ανακυκλοφορία υφάλμυρου νερού : 30 m^3/h
Flux : 21,4 lmh

System Design Overview



Raw Water TDS	39083.76 mg/l	% System Recovery (8A/1)	39.68 %
Water Classification	Seawater (Open Intake) SDI < 5	Fouling Factor (Pass 1)	0.85
Feed Temperature	22.0 C	Fouling Factor (Pass 2)	0.85

Pass #	Pass 1	Pass 2	
Stage #	1	1	2
Element Type	SW30HRLE-400i	BW30-440i	BW30-440i
Pressure Vessels per Stage	27	10	10
Elements per Pressure Vessel	8	5	3
Total Number of Elements	216	50	30
Pass Average Flux	15.49 lmh	21.40 lmh	
Stage Average Flux	15.49 lmh	22.47 lmh	19.63 lmh
Permeate Back Pressure	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Booster Pressure	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Chemical Dose	-	-	
Energy Consumption	5.05 kWh/m³	0.31 kWh/m³	

Pass 1				Pass 2			
Stream #	Flow (m³/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)	Stream #	Flow (m³/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)
1	251.98	0.00	39083.76	1A	124.31	-	219.48
3	251.98	71.71	40473.73	2A	94.31	0.00	219.48
5	127.67	69.76	79662.44	3A	94.31	9.47	219.48
7	124.31	-	219.48	5A	24.32	7.52	836.65
7/1	% Recovery	49.33		7A	69.99	-	5.31
				B	30.00	0.00	219.48
				8A	99.99	0.00	69.52
				7A/2A	% Recovery	74.22	

System Details -- Pass 1

Feed Flow to Stage 1	251.98 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	124.31 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	251.98 m³/h	Pass 1 Recovery	49.33 %	Feed	30.13 bar
Feed Pressure	71.71 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	61.96 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	40473.73 mg/l	Average	46.05 bar
Chem. Dose (100% H_2SO_4)	0.00 mg/l	Number of Elements	216	Average NDP	24.70 bar
Total Active Area	8026.56 M²	Average Pass 1 Flux	15.49 lmh	Power	627.55 kW
Water Classification: Seawater (Open Intake) SDI < 5		Bypass Blending Flow	30.00 m³/h	Specific Energy	5.05 kWh/m³
System Recovery	39.68 %			Conc. Flow from Pass 2	0.00 m³/h

Pass Streams (mg/l as Ion)					
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate	Permeate	
			Stage 1	Stage 1	Total
NH_4	0.20	0.20	0.37	0.03	0.03
K	55.00	55.00	108.15	0.41	0.41
Na	12292.93	15580.05	30666.11	85.44	85.44
Mg	1503.47	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	380.88	0.10	0.20	0.00	0.00
Sr	13.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
CO_3	3.90	3.90	11.86	0.00	0.00
HCO_3	159.00	159.00	304.28	1.27	1.27
NO_3	2.36	2.36	4.50	0.16	0.16
Cl	22010.00	22010.18	43314.01	129.42	129.42
F	1.32	1.32	2.60	0.01	0.01
SO_4	2661.11	2661.11	5249.39	2.74	2.74
SiO_2	0.50	0.50	0.98	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO_2	4.19	4.25	6.63	4.82	4.82
TDS	39083.76	40473.73	79662.44	219.48	219.48
pH	7.30	7.30	7.47	5.59	5.59

System Details -- Pass 2

Feed Flow to Stage 1	94.31 m³/h	Pass 2 Permeate Flow	69.99 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	251.98 m³/h	Pass 2 Recovery	74.22 %	Feed	0.18 bar
Feed Pressure	9.47 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	0.67 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	219.48 mg/l	Average	0.42 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	80	Average NDP	7.90 bar
Total Active Area	3270.08 M²	Average Pass 2 Flux	21.40 lmh	Power	31.01 kW
Water Classification: RO Permeate SDI < 1		Bypass Blending Flow	30.00 m³/h	Specific Energy	0.31 kWh/m³
System Recovery	39.68 %	Total Blended Product	99.99 m³/h		

Pass Streams (mg/l as Ion)								
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate			
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total	Blended Total
NH4	0.03	0.03	0.04	0.07	0.01	0.02	0.01	0.02
K	0.41	0.41	0.78	1.53	0.01	0.03	0.02	0.14
Na	85.44	85.44	165.24	325.88	1.35	2.97	1.91	26.97
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	1.27	1.27	2.36	4.59	0.35	0.39	0.37	0.59
NO3	0.16	0.16	0.27	0.46	0.05	0.08	0.06	0.09
Cl	129.42	129.42	250.28	493.56	2.06	4.52	2.90	40.86
F	0.01	0.01	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	2.74	2.74	5.31	10.49	0.03	0.07	0.04	0.85
SiO2	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	4.82	4.82	4.87	4.90	4.60	4.63	4.61	4.71
TDS	219.48	219.48	424.31	836.65	3.87	8.07	5.31	69.52
pH	5.59	5.59	5.83	6.08	5.12	5.16	5.13	5.29

Stage Details -- Pass 1

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.12	1.11	86.07	9.33	40473.73	71.37
	2	0.11	0.93	113.61	8.22	45943.20	71.06
	3	0.10	0.76	153.41	7.28	51824.03	70.79
	4	0.09	0.59	211.50	6.53	57826.57	70.57
	5	0.08	0.45	296.65	5.93	63590.60	70.37
	6	0.06	0.33	420.22	5.48	68782.78	70.20
	7	0.05	0.24	595.29	5.15	73199.83	70.04
	8	0.04	0.18	833.66	4.91	76799.33	69.90

Stage Details -- Pass 2

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.10	0.97	2.91	9.43	219.48	9.12
	2	0.11	0.94	3.30	8.46	244.26	8.84
	3	0.12	0.91	3.77	7.52	274.37	8.60
	4	0.14	0.89	4.36	6.61	311.86	8.40
	5	0.15	0.88	5.12	5.72	360.00	8.24
Stage 2	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.17	0.83	6.32	4.84	424.31	7.76
	2	0.20	0.80	7.83	4.01	510.40	7.65
	3	0.24	0.78	10.19	3.21	636.39	7.58

Scaling Calculations

	Raw Water	Pass 1 Adjusted Feed	Pass 1 Concentrate	Pass 2 Concentrate
pH	7.30	7.30	7.47	6.08
Langelier Saturation Index	0.31	-3.27	-2.54	-8.61
Stiff & Davis Stability Index	-0.70	-4.25	-3.75	-8.11
Ionic Strength (Molal)	0.81	0.74	1.51	0.01
TDS (mg/l)	39083.76	40473.73	79662.44	836.65
HCO_3	159.00	159.00	304.28	4.59
CO_2	4.19	4.25	6.63	4.90
CO_3	3.90	3.90	11.86	0.00
$CaSO_4$ (% Saturation)	16.47	0.00	0.01	0.00
$BaSO_4$ (% Saturation)	149.33	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	22.29	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	88.22	0.02	0.18	0.00
SiO_2 (% Saturation)	0.42	0.42	0.83	0.01
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.02	0.00	0.00	0.00

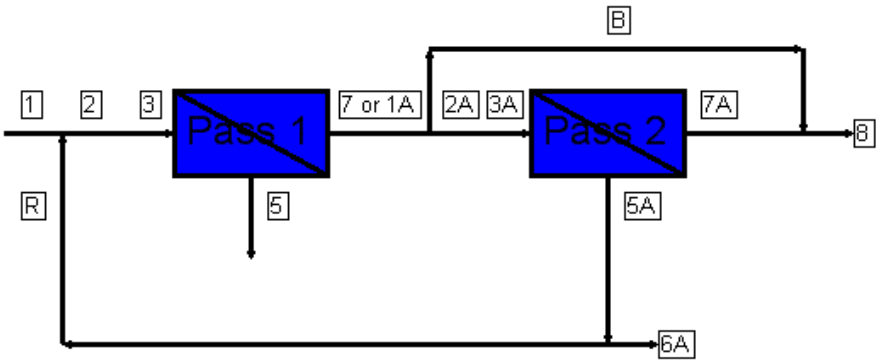
To balance: 0.18 mg/l Cl added to feed.

Σενάριο 4

Μονάδα αφαλάτωσης σε **δύο στάδια με ανακυκλοφορία**:

Ανάκτηση : 44,59%
Παραγόμενο νερό : 70 m^3/h
Ανακυκλοφορία υφάλμυρου νερού : 30 m^3/h
Ανακυκλοφορία άλμης : 24,33 m^3/h
Flux : 21,4 lmh

System Design Overview



Raw Water TDS	39083.76 mg/l	% System Recovery (8A/1)	44.59 %
Water Classification	Seawater (Open Intake) SDI < 5	Fouling Factor (Pass 1)	0.85
Feed Temperature	22.0 C	Fouling Factor (Pass 2)	0.85

Pass #	Pass 1	Pass 2	
Stage #	1	1	2
Element Type	SW30HRLE-400i	BW30-440i	BW30-440i
Pressure Vessels per Stage	27	10	10
Elements per Pressure Vessel	8	5	3
Total Number of Elements	216	50	30
Pass Average Flux	15.49 lmh	21.41 lmh	
Stage Average Flux	15.49 lmh	22.45 lmh	19.68 lmh
Permeate Back Pressure	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Booster Pressure	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Chemical Dose	-	-	
Energy Consumption	4.55 kWh/m³	0.31 kWh/m³	

Pass 1				Pass 2			
Stream #	Flow (m³/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)	Stream #	Flow (m³/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)
1	224.29	0.00	39083.76	1A	124.32	-	199.36
2	248.62	0.00	36605.77	2A	94.32	0.00	199.36
3	248.62	65.46	36605.77	3A	94.32	9.43	199.36
5	124.30	63.55	73015.41	5A	24.31	7.48	760.15
7	124.32	-	199.36	6A	0.00	7.48	760.15
7/2	% Recovery	50.01		7A	70.01	-	4.85
				B	30.00	0.00	199.36
				R	24.31	7.48	760.15
				8A	100.01	0.00	63.16
				7A/2A	% Recovery	74.22	

Project Information:

System Details -- Pass 1

Feed Flow to Stage 1	248.62 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	124.32 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	224.29 m³/h	Pass 1 Recovery	50.01 %	Feed	27.16 bar
Feed Pressure	65.46 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	56.33 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	36605.77 mg/l	Average	41.75 bar
Chem. Dose (100% H_2SO_4)	0.00 mg/l	Number of Elements	216	Average NDP	22.75 bar
Total Active Area	8026.56 M²	Average Pass 1 Flux	15.49 lmh	Power	565.21 kW
Water Classification: Seawater (Open Intake) SDI < 5		Bypass Blending Flow	30.00 m³/h	Specific Energy	4.55 kWh/m³
System Recovery	44.59 %			Conc. Flow from Pass 2	24.33 m³/h

Pass Streams (mg/l as Ion)						
Name	Feed	Adjusted Feed		Concentrate	Permeate	
		Initial	After Recycles	Stage 1	Stage 1	Total
NH_4	0.20	0.20	0.19	0.35	0.03	0.03
K	55.00	55.00	49.79	99.21	0.37	0.37
Na	12292.93	15580.05	14091.35	28107.91	77.60	77.60
Mg	1503.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	380.88	0.10	0.09	0.18	0.00	0.00
Sr	13.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO_3	3.90	3.90	3.07	10.22	0.00	0.00
HCO_3	159.00	159.00	144.85	280.42	1.17	1.17
NO_3	2.36	2.36	2.18	4.20	0.15	0.15
Cl	22010.00	22010.18	19910.70	39707.82	117.54	117.54
F	1.32	1.32	1.20	2.38	0.01	0.01
SO_4	2661.11	2661.11	2401.91	4801.81	2.48	2.48
SiO_2	0.50	0.50	0.45	0.90	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO_2	4.19	4.25	4.00	6.30	4.59	4.59
TDS	39083.76	40473.73	36605.77	73015.41	199.36	199.36
pH	7.30	7.30	7.30	7.42	5.58	5.58

Project Information:

System Details -- Pass 2

Feed Flow to Stage 1	94.32 m³/h	Pass 2 Permeate Flow	70.01 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	224.29 m³/h	Pass 2 Recovery	74.22 %	Feed	0.16 bar
Feed Pressure	9.43 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	0.61 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	199.36 mg/l	Average	0.39 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	80	Average NDP	7.89 bar
Total Active Area	3270.08 M²	Average Pass 2 Flux	21.41 lmh	Power	30.89 kW
Water Classification: RO Permeate SDI < 1		Bypass Blending Flow	30.00 m³/h	Specific Energy	0.31 kWh/m³
System Recovery	44.59 %	Total Blended Product	100.01 m³/h		

Pass Streams (mg/l as Ion)								
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate			
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total	Blended Total
NH4	0.03	0.03	0.04	0.07	0.01	0.02	0.01	0.02
K	0.37	0.37	0.71	1.39	0.01	0.03	0.02	0.12
Na	77.60	77.60	149.93	296.06	1.23	2.70	1.74	24.49
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	1.17	1.17	2.17	4.22	0.34	0.38	0.35	0.55
NO3	0.15	0.15	0.25	0.43	0.04	0.08	0.06	0.08
Cl	117.54	117.54	227.09	448.41	1.87	4.10	2.64	37.11
F	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	2.48	2.48	4.81	9.51	0.03	0.06	0.04	0.77
SiO2	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	4.59	4.59	4.64	4.67	4.37	4.40	4.38	4.48
TDS	199.36	199.36	385.03	760.15	3.54	7.36	4.85	63.16
pH	5.58	5.58	5.82	6.07	5.13	5.17	5.14	5.29

Stage Details -- Pass 1

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.12	1.08	79.89	9.21	36605.77	65.12
	2	0.11	0.92	104.28	8.13	41451.82	64.81
	3	0.10	0.75	139.07	7.21	46704.65	64.55
	4	0.09	0.60	189.32	6.46	52140.53	64.33
	5	0.08	0.46	262.12	5.86	57458.25	64.14
	6	0.06	0.35	367.07	5.40	62358.54	63.97
	7	0.05	0.26	516.36	5.05	66625.21	63.82
	8	0.04	0.19	723.00	4.79	70168.07	63.68

Stage Details -- Pass 2

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.10	0.97	2.67	9.43	199.36	9.09
	2	0.11	0.94	3.03	8.47	221.83	8.81
	3	0.12	0.91	3.45	7.53	249.12	8.57
	4	0.14	0.89	3.99	6.61	283.09	8.36
	5	0.15	0.88	4.68	5.72	326.72	8.20
Stage 2	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.17	0.83	5.77	4.84	385.03	7.72
	2	0.20	0.81	7.13	4.02	463.12	7.62
	3	0.24	0.78	9.27	3.21	577.58	7.54

Scaling Calculations

	Raw Water	Pass 1 Adjusted Feed	Pass 1 Concentrate	Pass 2 Concentrate
pH	7.30	7.30	7.42	6.07
Langelier Saturation Index	0.31	-3.27	-2.66	-8.70
Stiff & Davis Stability Index	-0.70	-4.25	-3.86	-8.16
Ionic Strength (Molal)	0.81	0.74	1.38	0.01
TDS (mg/l)	39083.76	40473.73	73015.41	760.15
HCO_3	159.00	159.00	280.42	4.22
CO_2	4.19	4.25	6.29	4.66
CO_3	3.90	3.90	10.22	0.00
$CaSO_4$ (% Saturation)	16.47	0.00	0.01	0.00
$BaSO_4$ (% Saturation)	149.33	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	22.29	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	88.22	0.02	0.14	0.00
SiO_2 (% Saturation)	0.42	0.42	0.76	0.01
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.02	0.00	0.00	0.00

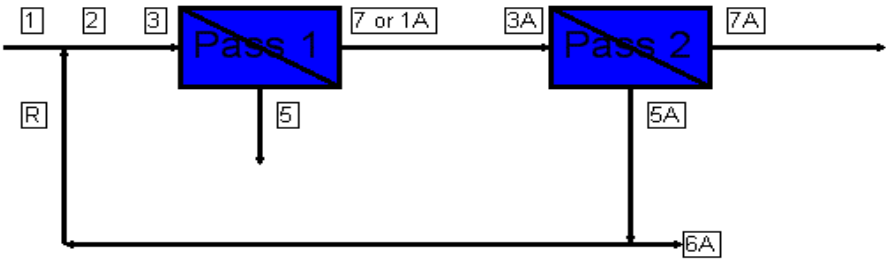
To balance: 0.18 mg/l Cl added to feed.

Σενάριο 5

Μονάδα αφαλάτωσης σε **δύο στάδια με ανακυκλοφορία άλμης**:

Ανάκτηση : 44,44%
Παραγόμενο νερό : 100 m^3/h
Flux : 21,27 lmh
Ανακυκλοφορία άλμης : 25 m^3/h

System Design Overview



Raw Water TDS	39083.76 mg/l	% System Recovery (7A/1)	44.44 %
Water Classification	Seawater (Open Intake) SDI < 5	Fouling Factor (Pass 1)	0.85
Feed Temperature	22.0 C	Fouling Factor (Pass 2)	0.85

Pass #	Pass 1	Pass 2	
Stage #	1	1	2
Element Type	SW30HRLE-400i	BW30-440i	BW30-440i
Pressure Vessels per Stage	27	12	11
Elements per Pressure Vessel	8	5	5
Total Number of Elements	216	60	55
Pass Average Flux	15.57 lmh	21.27 lmh	
Stage Average Flux	15.57 lmh	22.97 lmh	19.42 lmh
Permeate Back Pressure	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Booster Pressure	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Chemical Dose	-	-	
Energy Consumption	4.55 kWh/m³	0.42 kWh/m³	

Pass 1				Pass 2			
Stream #	Flow (m³/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)	Stream #	Flow (m³/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)
1	225.00	0.00	39083.76	1A	125.01	-	197.90
2	250.02	0.00	36544.34	3A	125.01	9.74	197.90
3	250.02	65.46	36544.34	5A	25.01	7.34	969.02
5	125.01	63.53	72887.29	6A	0.00	7.34	969.02
7	125.01	-	197.90	7A	100.00	-	5.29
7/2	% Recovery	50.00		R	25.01	7.34	969.02
				7A/1A	% Recovery	79.99	

Project Information:

System Details -- Pass 1

Feed Flow to Stage 1	250.02 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	125.01 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	225.00 m³/h	Pass 1 Recovery	50.00 %	Feed	27.12 bar
Feed Pressure	65.46 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	56.22 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	36544.34 mg/l	Average	41.67 bar
Chem. Dose (100% H_2SO_4)	0.00 mg/l	Number of Elements	216	Average NDP	22.82 bar
Total Active Area	8026.56 M²	Average Pass 1 Flux	15.57 lmh	Power	568.36 kW
Water Classification: Seawater (Open Intake) SDI < 5				Specific Energy	4.55 kWh/m³
System Recovery	44.44 %			Conc. Flow from Pass 2	25.00 m³/h

Pass Streams (mg/l as Ion)						
Name	Feed	Adjusted Feed		Concentrate	Permeate	
		Initial	After Recycles	Stage 1	Stage 1	Total
NH_4	0.20	0.20	0.19	0.35	0.03	0.03
K	55.00	55.00	49.71	99.06	0.37	0.37
Na	12292.93	15580.05	14067.84	28058.86	77.03	77.03
Mg	1503.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	380.88	0.10	0.09	0.18	0.00	0.00
Sr	13.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO_3	3.90	3.90	3.06	10.19	0.00	0.00
HCO_3	159.00	159.00	144.65	280.03	1.16	1.16
NO_3	2.36	2.36	2.18	4.22	0.15	0.15
Cl	22010.00	22010.18	19878.60	39640.82	116.68	116.68
F	1.32	1.32	1.19	2.38	0.01	0.01
SO_4	2661.11	2661.11	2396.36	4790.30	2.46	2.46
SiO_2	0.50	0.50	0.45	0.90	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO_2	4.19	4.25	4.00	6.29	4.58	4.58
TDS	39083.76	40473.73	36544.34	72887.29	197.90	197.90
pH	7.30	7.30	7.30	7.42	5.57	5.57

System Details -- Pass 2

Feed Flow to Stage 1	125.01 m³/h	Pass 2 Permeate Flow	100.00 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	225.00 m³/h	Pass 2 Recovery	79.99 %	Feed	0.16 bar
Feed Pressure	9.74 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	0.77 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	197.90 mg/l	Average	0.47 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	115	Average NDP	7.85 bar
Total Active Area	4700.74 M²	Average Pass 2 Flux	21.27 lmh	Power	42.27 kW
Water Classification: RO Permeate SDI < 1				Specific Energy	0.42 kWh/m³
System Recovery	44.44 %				

Pass Streams (mg/l as Ion)							
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH4	0.03	0.03	0.04	0.08	0.01	0.02	0.01
K	0.37	0.37	0.66	1.77	0.01	0.03	0.02
Na	77.03	77.03	139.29	377.43	1.16	2.87	1.90
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	1.16	1.16	2.02	5.37	0.34	0.38	0.36
NO3	0.15	0.15	0.24	0.52	0.04	0.08	0.06
Cl	116.68	116.68	210.98	571.65	1.76	4.36	2.89
F	0.01	0.01	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00
SO4	2.46	2.46	4.46	12.13	0.03	0.06	0.04
SiO2	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	4.58	4.58	4.63	4.67	4.37	4.40	4.39
TDS	197.90	197.90	357.72	969.02	3.34	7.80	5.29
pH	5.57	5.57	5.79	6.17	5.13	5.17	5.14

Stage Details -- Pass 1

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.12	1.08	79.55	9.26	36544.34	65.11
	2	0.11	0.92	103.69	8.18	41364.24	64.81
	3	0.10	0.76	138.11	7.26	46591.47	64.54
	4	0.09	0.60	187.68	6.50	52004.32	64.32
	5	0.08	0.47	259.51	5.90	57308.46	64.13
	6	0.06	0.35	363.00	5.43	62203.87	63.96
	7	0.05	0.26	509.82	5.08	66473.56	63.81
	8	0.04	0.19	713.45	4.82	70027.39	63.67

Stage Details -- Pass 2

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.10	0.99	2.57	10.42	197.90	9.39
	2	0.10	0.96	2.90	9.42	218.53	9.07
	3	0.11	0.93	3.28	8.46	243.08	8.79
	4	0.12	0.91	3.74	7.53	272.89	8.55
	5	0.13	0.89	4.32	6.61	310.02	8.35
Stage 2	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.13	0.84	5.13	6.24	357.72	7.84
	2	0.15	0.82	6.05	5.40	412.64	7.68
	3	0.17	0.80	7.29	4.58	485.34	7.56
	4	0.20	0.77	9.10	3.79	585.96	7.47
	5	0.25	0.74	11.95	3.01	733.71	7.39

Scaling Calculations

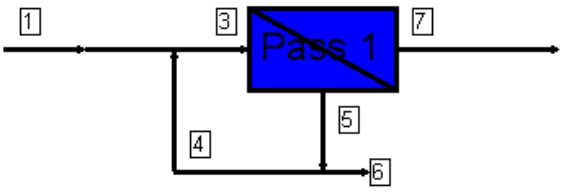
	Raw Water	Pass 1 Adjusted Feed	Pass 1 Concentrate	Pass 2 Concentrate
pH	7.30	7.30	7.42	6.17
Langelier Saturation Index	0.31	-3.27	-2.66	-8.41
Stiff & Davis Stability Index	-0.70	-4.25	-3.86	-7.96
Ionic Strength (Molal)	0.81	0.74	1.37	0.02
TDS (mg/l)	39083.76	40473.73	72887.29	969.02
HCO_3	159.00	159.00	280.03	5.37
CO_2	4.19	4.25	6.29	4.67
CO_3	3.90	3.90	10.19	0.00
$CaSO_4$ (% Saturation)	16.47	0.00	0.01	0.00
$BaSO_4$ (% Saturation)	149.33	0.00	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	22.29	0.00	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	88.22	0.02	0.14	0.00
SiO_2 (% Saturation)	0.42	0.42	0.76	0.02
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.02	0.00	0.00	0.00

Σενάριο 6

Μονάδα αφαλάτωσης σε **ένα στάδιο με ανακυκλοφορία άλμης**:

Ανάκτηση : 40%
Παραγόμενο νερό : 100 m^3/h
Flux : 21,53 lmh
Ανακυκλοφορία άλμης : 25 m^3/h

System Design Overview



Raw Water TDS	39083.76 mg/l	% System Recovery (7/1)	40.00 %
Water Classification	Seawater (Open Intake) SDI < 5	Fouling Factor (Pass 1)	0.85
Feed Temperature	22.0 C		

Pass #	Pass 1
Stage #	1
Element Type	SW30HRLE-400i
Pressure Vessels per Stage	25
Elements per Pressure Vessel	5
Total Number of Elements	125
Pass Average Flux	21.53 lmh
Stage Average Flux	21.53 lmh
Permeate Back Pressure	0.00 bar
Booster Pressure	0.00 bar
Chemical Dose	-
Energy Consumption	6.98 kWh/m³

Pass 1			
Stream #	Flow (m^3/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)
1	250.00	0.00	39083.76
3	275.00	73.05	42918.17
4	25.00	71.14	67354.06
5	175.01	71.14	67354.06
6	150.01	71.14	67354.06
7	99.99	-	144.67
7/1	% Recovery	40.00	

Project Information:

System Details

Feed Flow to Stage 1	275.00 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	99.99 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	250.00 m³/h	Pass 1 Recovery	40.00 %	Feed	30.13 bar
Feed Pressure	73.05 bar	Feed Temperature	22.0 C	Concentrate	51.60 bar
Fouling Factor	0.85	Feed TDS	40473.73 mg/l	Average	40.86 bar
Chem. Dose (100% H_2SO_4)	0.00 mg/l	Number of Elements	125	Average NDP	30.23 bar
Total Active Area	4645.00 M²	Average Pass 1 Flux	21.53 lmh	Power	697.64 kW
Water Classification: Seawater (Open Intake) SDI < 5				Specific Energy	6.98 kWh/m³

Pass Streams (mg/l as Ion)						
Name	Feed	Adjusted Feed		Concentrate	Permeate	
		Initial	After Recycles	Stage 1	Stage 1	Total
NH_4	0.20	0.20	0.21	0.32	0.02	0.02
K	55.00	55.00	58.32	91.48	0.27	0.27
Na	12292.93	15580.05	16521.01	25928.02	56.28	56.28
Mg	1503.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	380.88	0.10	0.11	0.17	0.00	0.00
Sr	13.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO_3	3.90	3.90	4.21	9.10	0.00	0.00
HCO_3	159.00	159.00	168.45	259.22	0.94	0.94
NO_3	2.36	2.36	2.50	3.86	0.11	0.11
Cl	22010.00	22010.18	23339.14	36625.12	85.22	85.22
F	1.32	1.32	1.40	2.20	0.01	0.01
SO_4	2661.11	2661.11	2822.29	4433.75	1.82	1.82
SiO_2	0.50	0.50	0.53	0.83	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO_2	4.19	4.25	4.28	5.83	4.61	4.61
TDS	39083.76	40473.73	42918.17	67354.06	144.67	144.67
pH	7.30	7.30	7.32	7.40	5.49	5.49

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m^3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m^3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.10	1.10	89.64	11.00	42918.17	72.70
	2	0.10	0.95	113.80	9.90	47688.72	72.30
	3	0.09	0.79	146.93	8.95	52718.69	71.96
	4	0.08	0.65	192.64	8.16	57819.20	71.65
	5	0.07	0.51	255.94	7.51	62768.53	71.38

Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.30	7.30	7.40
Langelier Saturation Index	0.31	-3.27	-2.75
Stiff & Davis Stability Index	-0.70	-4.25	-3.94
Ionic Strength (Molal)	0.81	0.74	1.26
TDS (mg/l)	39083.76	40473.73	67354.06
HCO_3	159.00	159.00	259.22
CO_2	4.19	4.25	5.82
CO_3	3.90	3.90	9.10
$CaSO_4$ (% Saturation)	16.47	0.00	0.01
$BaSO_4$ (% Saturation)	149.33	0.00	0.00
$SrSO_4$ (% Saturation)	22.29	0.00	0.00
CaF_2 (% Saturation)	88.22	0.02	0.11
SiO_2 (% Saturation)	0.42	0.42	0.70
$Mg(OH)_2$ (% Saturation)	0.02	0.00	0.00

To balance: 0.18 mg/l Cl added to feed.

6.3 Συμπεράσματα

Η επιλογή του κατάλληλου σεναρίου όσον αφορά την ποιότητα του παραγόμενου νερού μέσω της διαδικασίας της αντίστροφης όσμωσης θα γίνει με βάση του πίνακα 25 και όσον αφορά το κόστος του αφαλατωμένου νερού θα γίνει με βάση των στοιχείων που παρουσιάζονται στον πίνακα 26. Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 25 όλα τα σενάρια μας παράγουν πόσιμο νερό και μπορούν να καταναλωθούν από ανθρώπους, μιας και το ανώτατο όριο που έχει θεσπιστεί για τα ολικά διαλυμένα στερεά είναι 500mg/l. Όμως το παραγόμενο νερό πρέπει να περιέχει άλατα τα οποία χρειάζεται ο ανθρώπινος οργανισμός για την καλή λειτουργία του και να έχει ένα ικανοποιητικό επίπεδο γεύσης. Από την σύγκριση με ορισμένα εμφιαλωμένα νερά και του νερού από το δίκτυο ύδρευσης Χανίων, παρατηρώ ότι τα TDS κυμαίνονται από 160-280 mg/l. Μεγάλο μέρος από αυτά, καλύπτουν τα άλατα του ασβεστίου και άλατα μαγνησίου. Από όλα τα σενάρια αυτά τα άλατα ασβεστίου και μαγνησίου απουσιάζουν εντελώς. Αν αφαιρέσω τα 2 αυτά άλατα από τα εμφιαλωμένα νερά και το νερό του δικτύου ύδρευσης παρατηρώ ότι τα TDS κυμαίνονται από 100,4-182,4 mg/l. Στο παραγόμενο νερό των σεναρίων το 90-97% των αλάτων είναι του χλωρίου και του νατρίου ενώ στα εμφιαλωμένα νερά και του νερού από το δίκτυο ύδρευσης Χανίων τα άλατα του χλωρίου και του νατρίου ποικίλουν από 3,9-14,5%. Εκτιμώντας αυτά τα στοιχεία δεν θα ήταν ορθό να καταναλώνουμε νερό το οποίο περιέχει μόνο άλατα χλωρίου και νατρίου **σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις οπότε καταλήγω** στο σενάριο 2 και 5 με βάση την ποιότητα του νερού. **Η σειρά είναι 2-5-4-3-1-6.**

Σενάριο	1	2	3	4	5	6	Κορπή	Σαμαριά	Λυττός	Ζαγόρι	Νερό δικτύου Χανιών
Ca ,mg/l	0	0	0	0	0	0	**96,6**	**33,2**	**59,4**	**85,1**	**38-43**
Mg,mg/l	0	0	0	0	0	0	**3,8**	**12,6**	**10,7**	**3,5**	**12-13**
Na,mg/l	55,35	2,12	26,97	24,49	1,9	56,28	**4,5**	**6,3**	**14**	**2,69**	**7-8**
K,mg/l	0,26	0,02	0,14	0,12	0,02	0,27	**0,6**	**0,35**	**0,7**	**0,83**	**0,5-1**
NH_4,mg/l	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	**<0,26**	**<0,2**	**-**	**0**	**<0,05**
Fe,mg/l	-	-	-	-	-	-	**-**	**<0,1**	**-**	**-**	**8**
HCO_3,mg/l	0,93	0,37	0,59	0,55	0,36	0,94	**297**	**153**	**205,5**	**229**	**130-145**
Cl,mg/l	83,81	3,22	40,86	37,11	2,89	85,22	**10,2**	**11,7**	**27,5**	**4,7**	**10-12**
SO_4,mg/l	1,8	0,05	0,85	0,77	0,04	1,82	**7,7**	**5,7**	**9,6**	**12,8**	**14-18**
NO_3,mg/l	0,11	0,06	0,09	0,08	0,06	0,11	**5,8**	**<5**	**6,8**	**2,3**	**1,3-2,2**
TDS,mg/l	142,3	5,86	69,52	63,16	5,29	144,67	**280**	**160**	**252,5**	**189**	**165**

Πίνακας 25: Σύγκριση ποιότητας νερού

Οι ευεργετικές ιδιότητες ορισμένων αλάτων που πρέπει να περιέχονται στο πόσιμο νερό είναι:

- **Ασβέστιο:** Απαραίτητο για την καλή λειτουργία της καρδιάς, των μυών και των νεφρών. Δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγειά και δεν υπάρχει όριο.
- **Μαγνήσιο:** Βοηθά τους μυς και τα νεύρα. Συμμετέχει στη σύνθεση πρωτεΐνης και ενεργοποιεί τα ένζυμα. Νερά με συγκεντρώσεις μαγνησίου μεγαλύτερες

από 125 mg/l έχουν καθαρτικές και διουρητικές ιδιότητες. Δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία και δεν υπάρχει όριο.

- **Κάλιο:** Απαραίτητο για την καλή λειτουργία της καρδιάς, των μυών, των νεφρών και της υγείας των οστών.
- **Νάτριο:** Απαραίτητο για την καλή λειτουργία της καρδιάς, των μυών και των νεφρών. Στα πόσιμα νερά δεν υπερβαίνει τα 20 mg/l και παραμετρική τιμή είναι 200 mg/l .
- **Χλώριο:** Παίζει ρόλο στη ρύθμιση οσμωτικής πίεσης, στο ισοζύγιο του ύδατος και στην οξεοβασική ισορροπία. Βοηθά στην απορρόφηση της Β-12 και του σιδήρου. Τα άλατά του δεν έχουν επιβλαβή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση. Παραμετρική τιμή 250 mg/l.
- **Όξινα ανθρακικά ιόντα:** Προσδίδει αυξημένες διουρητικές ιδιότητες, βοηθώντας στην καλή λειτουργία του νεφρικού συστήματος

Από τον πίνακα 25 θα επιλέξω το σενάριο σύμφωνα με το οποίο θα κατασκευάσω την μονάδα αφαλάτωσης με το μικρότερο άμεσο κόστος και ετήσιο κόστος λειτουργίας.

Σενάριο	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Επιφάνεια,m^2	**4645**	8026+4700= **12.726**	8026+3270= **11.296**	8026+3270= **11.296**	8026+4700= **12.726**	**4645**
Αριθμός δοχείων	25	27/23	27/20	27/20	27/23	25
Αριθμός μεμβρανών σε κάθε δοχείο	5A	8A/10B	8A/8B	8A/8B	8A/10B	5A
Συνολικός αριθμός μεμβρανών	**125A**	**216A/115B**	**216A/80B**	**216A/80B**	**216A/115B**	**125A**
Ενέργεια ανά m^3 νερού,kWh/m^3	**6,24**	5,04+0,42=**5,44**	5,05+0,32=**5,36**	4,55+0,31=**4,86**	4,55+0,42=**4,97**	**6,89**
Πίεση,bar	71,85	72,58/9,79	71,71/9,49	65,96/9,43	65,48/9,43	73,05
Flux,lmh	21,53	21,27	21,4	21,4	21,27	21,53
TDS,mg/l	**142,3**	**5,86**	**69,52**	**63,16**	**5,29**	**144,67**

Πίνακας 26: Σύγκριση σεναρίων με βάση τα τεχνικά στοιχεία

***Σημείωση**: Όπου **A** είναι οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού και **B** είναι οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης υφάλμυρου νερου.

Από τα σενάρια 1-6 θα πρέπει να υπολογίσω το κόστος της αφαλάτωσης με βάση τα στοιχεία του πίνακα 25, ώστε να καταλήξω στην πιο συμφέρουσα λύση. Η λύση των σεναρίων 1 και 6 είναι η πιο οικονομική διότι χρησιμοποιώ τον μικρότερο αριθμό μεμβρανών (125) σε σχέση με τα άλλα σενάρια και αυτό σημαίνει ότι στα 5 χρόνια που θα γίνεται η αντικατάσταση θα πρέπει να διαθέσω το μικρότερο κεφάλαιο για την απόκτησή τους και με αναγωγή ανά κυβικό μέτρο που παράγεται, προκύπτει ότι το κόστος αντικατάστασης μεμβρανών ανά κυβικό είναι το μικρότερο σε σχέση με τα άλλα σενάρια. Επίσης άλλο ένα προτέρημα των σεναρίων 1 και 6 είναι ότι χρειαζόμαστε μικρότερο χώρο να στεγάσουμε τη μονάδα αφαλάτωσης, που σημαίνει μικρότερο άμεσο κόστος επένδυσης. Όμως το σενάριο 1 και 6 το έχω απορρίψει λόγω της κακής ποιότητας νερού που παράγει. Αν συνυπολογίσουμε ότι η έκταση θα διατεθεί δωρεάν από τον δήμο Πάτμου και η ενέργεια θα παρέχεται από την αιολική ενέργεια, τότε η **επιλογή του σεναρίου 5 είναι η λύση**. Μειονέκτημα του σεναρίου 5 είναι η έκταση της μονάδας αφαλάτωσης και ο αριθμός των μεμβρανών, ενώ πλεονέκτημα είναι η καλή ποιότητα νερού όπου αυτός είναι ο σκοπός μας αν και το κόστος του αφαλατωμένου νερού θα είναι ακριβότερο σε σχέση τα σενάρια 1,2,3,4,6.

6.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου των μονάδων αφαλάτωσης

<u>Περίοδος Κατασκευής</u>

Ηχορύπανση

Τα επίπεδα θορύβου στην περιοχή αναμένεται να αυξηθούν μόνο κατά το στάδιο της κατασκευής της μονάδας αφαλάτωσης, για την τοποθέτηση των χερσαίων αγωγών και για την κατασκευή/βελτίωση/χρήση της οδικής πρόσβασης.

Αισθητική Ρύπανση

Η προτεινόμενη ανάπτυξη θα πρέπει να βρίσκεται σε χώρο μακριά από οποιαδήποτε οικιστική ζώνη ώστε οι κατασκευαστικές εργασίες να μην προκαλέσουν οποιαδήποτε αισθητική οχληρία στους κατοίκους της περιοχής.

Δημιουργία Σκόνης

Η σκόνη που θα προκύψει κατά την κατασκευή του έργου πρέπει να είναι περιορισμένη και οι όποιες επιπτώσεις της να είναι σε τοπικό επίπεδο και μόνο κατά την περίοδο διεξαγωγής των χωματουργικών εργασιών.

Χερσαίο Βιολογικό Περιβάλλον

Στην περιοχή μελέτης δεν θα πρέπει να παρουσιάζονται σημαντικοί χερσαίοι βιότοποι ή σπάνια είδη χλωρίδας.

Θαλάσσιο Βιολογικό Περιβάλλον

Οι επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον κατά την κατασκευή θα πρέπει να περιοριστούν στην έκταση του βυθού που θα καταληφθεί για την εγκατάσταση των αγωγών εισαγωγής θαλάσσιου νερού και εξαγωγής της άλμης. Είναι δυνατόν να προκύψει και προσωρινή τοπική αύξηση της θολότητας από τα έργα εγκατάστασης. Οι πιθανές επιπτώσεις στο θαλάσσιο βιολογικό περιβάλλον από την αύξηση της θολότητας δεν θα πρέπει να είναι σημαντικές.

Επιπτώσεις στον Πολεοδομικό Χαρακτήρα

Η κατασκευή του έργου δεν θα πρέπει να έχει οποιεσδήποτε επιπτώσεις στον ευρύτερο πολεοδομικό χαρακτήρα της περιοχής και το σημείο χωροθέτησης του έργου θα απέχει από τις πλησιέστερες πολεοδομικές ζώνες.

<u>Περίοδος Λειτουργίας</u>

Ηχορύπανση

Σημαντική ένταση θορύβου αναμένεται να υπάρχει στους χώρους που θα βρίσκονται οι αντλίες υψηλής πίεσης. Οι αντλίες υψηλής πίεσης θα πρέπει να είναι σε κλειστούς χώρους και ο θόρυβος να επηρεάζει μόνο το προσωπικό που θα εργάζεται σε αυτό. Όλα τα μέτρα ασφάλειας θα πρέπει να λαμβάνονται με βάση τη σχετική νομοθεσία.

Αισθητική Ρύπανση

Η παρουσία των εγκαταστάσεων του σταθμού αφαλάτωσης θα επηρεάσει τον τοπικό χαρακτήρα της περιοχής. Για ευνόητους λόγους ένα εργοστάσιο αφαλάτωσης θα εγκατασταθεί πολύ κοντά στην πηγή τροφοδοσίας του θαλασσινού νερού, δηλαδή δίπλα σε κάποια ακτή. Μια τέτοια εγκατάσταση υποβαθμίζει την περιοχή καθώς αναιρεί την οικιστική και τουριστική της ανάπτυξη.

Επηρεασμός Χερσαίου Βιολογικού Περιβάλλοντος

Η άμεση περιοχή μελέτης δεν θα πρέπει να παρουσιάζει οποιαδήποτε σημαντικά ή σπάνια ευρήματα χερσαίου βιολογικού περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα, η ακτίνα άμεσου επηρεασμού του χερσαίου βιολογικού περιβάλλοντος από τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης, περιορίζεται μόνο εντός του περιφραγμένου χώρου των εγκαταστάσεων. Επομένως δεν θα πρέπει να υπάρξει οποιοσδήποτε επηρεασμός της χλωρίδας και πανίδας της χερσαίας περιοχής από τη λειτουργία του Έργου

Θαλάσσιο Βιολογικό Περιβάλλον-Ρύπανση Θαλάσσιου Νερού

Το συμπύκνωμα της πυκνής άλμης επιστρέφει στη θάλασσα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αλατότητα του νερού σε αρκετή απόσταση από το σημείο εξόδου και να επηρεάζεται το θαλάσσιο οικοσύστημα. Επομένως απαιτείται πολύ προσεκτική μελέτη ανάλογα με την περιοχή, που αφορά στη θέση του σημείου απόρριψης της άλμης. Επιπλέον, το αντλούμενο νερό προχλωριώνεται για την προστασία των μεμβρανών, το κόστος των οποίων είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Κατά συνέπεια τα αποπλύματα των μεμβρανών καταλήγουν στη θάλασσα μαζί με το συμπύκνωμα της άλμης, επιβαρύνοντας περισσότερο το θαλάσσιο οικοσύστημα. Μια ακόμη επίπτωση ενός εργοστασίου αφαλάτωσης αφορά στο θάνατο ψαριών και άλλων θαλάσσιων ειδών τα οποία απορροφώνται από τον αγωγό υδροληψίας κατά την απορρόφηση του θαλασσινού νερού και προσκρούουν πάνω στα πλέγματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

1. Εισαγωγή στην τεχνολογία νερού και αφαλάτωσης, Δρ. Σταμάτης Α. Αυλωνίτης εκδόσεις ΙΩΝ
2. Φυσικοχημικές διεργασίες διαχωρισμού, Δρ. Βασίλειος Χρ. Γκέκας εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ

Διπλωματικές:

1. Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών, Γεωργίου Παλιεράκη, ΕΜΠ
2. Επίδραση φορτιού αφαλάτωσης σε νησιωτικό σύστημα ενέργειας, Παναγιώτης Α. Κουκουτσάκης, ΕΜΠ
3. Μονάδες αφαλάτωσης υφάλμυρου η θαλασσινού ύδατος-Ειδική περίπτωση: Συνδυασμός με αιολική ενέργεια, Ανυσία Φ. Σκυπετάρη, Πολυτεχνείο Κρήτης
4. Σαντορίνη: Μια πρώτη προσέγγιση του υδατικού προβλήματος, Αργυρώ Βουτετάκη, Άρτεμις Καραμολέγκου και Βασίλειος Γκέκας, Πολυτεχνείο Κρήτης
5. THE POTENTIAL FOR WIND-POWERED DESALINATION IN WATER- SCARCE COUNTRIES, Edward Spang, The Fletcher school, TUFTS UNIVERSITY
6. SIMULATION STUDY OF REVERSE OSMOSIS DESALINATION SYSTEM POWERED BY COMBINED SOLAR AND WIND POWER PLANTS-OPTIMISATION OF THE DIMENSIONS OF WIND AND SOLAR SUBSYSTEMS, ALT MAHMOUD SHAMSEEN, UNIVERSITY OF ATHENS

Σημειώσεις μαθημάτων:

1. Υδρεύσεις-Αποχετεύσεις, Δρ. Ευάγγελου Βασ.Κουντάτου, ΑΠΘ
2. Σχεδιασμός και μαθηματική προσομοίωση δικτύων ύδρευσης, Δρ. Λύδια Βαμβακερίδου-Λυρουδια, ΕΜΠ
3. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Δρ. Θεοχάρης Τσούτσος, Πολυτεχνείο Κρήτης

Διάφορα συγγράμματα:

1. REVIEW OF THE DESALINATION AND WATER PURIFICATION TECHNOLOGY ROADMAP THE NATIONAL ACADEMIES PRESS, Washington, D.C. (www.nap.edu)
2. Introduction to Desalination Technologies Hari J. Krishna[1]

3. Renewable Energy Driven Desalination Systems - REDDES-Technical analysis of existing RES desalination schemes, Stylianos Loupasis,Gerling Sustainable Development Project GmbH Hellas
4. Reverse Osmosis Process Center for Environmental Research Information National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency
5. Οδηγία 98/83/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 3ης Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού της ανθρώπινης κατανάλωσης
6. DESALINATION For WATER SUPPLY Foundation for Water Research Allen House, The Listons, Liston Road, Marlow, Bucks SL7 1FD, U.K.
7. Γενική γραμματεία ενημέρωσης και επικοινωνίας-Τμήμα Οικολογικών και Πολιτιστικών θεμάτων
8. Κεφ.8-Συστήματα αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, Παν. Πάτρας
9. A Review of Reverse Osmosis Theory, Michael E. Williams, Ph.D., P.E

,

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

1. http://www.lenntech.com/desalination/general/reverse-osmosis-desalination-process.htm
2. http://urila.tripod.com/Seawater.htm
3. http://urila.tripod.com/desalination.htm
4. http://www.protothema.gr/content/print.php?id=5103
5. http://www.protothema.gr/content/print.php?id=5103
6. http://www.ekathimerini.gr/4Dcgi/4Dcgi/_w_articles_civ_14_03/08/2008_27979
7. http://www.tanea.gr/default.asp?pid=2&ct=1&artid=81089
8. http://www.interexperts.gr/Osmosis_questions.htm
9. http://ape.chania.teicrete.gr/ape/aioliki-energy/anemosysnf.htm
10. http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea59e/ch20.htm#TopOfPage
11. http://www.bhc.gr/periodiko-bhc/periodiko-25/25_11.html
12. http://www.protothema.gr/content.php?id=3978

Προγράμματα

1. http://www.dow.com/liquidseps/design/rosa.htm