

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ - ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ
ΜΕΘΟΔΟΙ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΑΛΙΟΥΡΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Κωνσταντίνος Αλαφοδήμος, Καθηγητής
Γρηγόρης Νικολάου

ΑΘΗΝΑ 2013

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
2	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ	5
2.1	Γενικά.....	5
2.2	Η σπουδαιότητα του Νερού.....	5
2.3	Η κατανομή του νερού στο Πλανήτη.....	7
2.4	Ο Υδρολογικός Κύκλος.....	7
2.5	Χρήσεις του Νερού.....	8
2.6	Υδατικά Αποθέματα στον Πλανήτη.....	9
2.7	Αίτια της λειψυδρίας.....	11
2.8	Οι επιπτώσεις από την έλλειψη φρέσκου νερού.....	14
2.9	Η κατάσταση στην Ελλάδα.....	16
2.10	Προτάσεις και λύσεις.....	16
3	Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	19
3.1	Τι είναι η αφαλάτωση.....	19
3.2	Η χρήση της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο.....	19
3.3	Μέθοδοι αφαλάτωσης.....	20
3.4	Επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης.....	39
3.5	Οι απαιτήσεις σε ενέργεια μίας μονάδας αφαλάτωσης.....	41
3.6	Το κόστος του αφαλατωμένου νερού.....	42
3.7	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	44
4	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	45
4.1	Ενέργεια για αφαλάτωση.....	45
4.2	Χρήση ΑΠΕ.....	45
4.3	Προσαρμογή ΑΠΕ.....	46
4.4	Πλεονεκτήματα ΑΠΕ.....	49
4.5	Λόγοι για χαμηλή διείσδυση ΑΠΕ.....	50
4.6	ΜΟΡΦΕΣ ΑΠΕ.....	51
4.6.1	Ηλιακή ενέργεια.....	51
4.6.1.1	Ηλιακή θερμική ενέργεια.....	51
4.6.1.2	Ηλιακή ενέργεια από Φωτοβολταϊκά.....	58
4.6.2	Αιολική ενέργεια.....	59
4.6.2.1	Προβλήματα που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες.....	61
4.6.2.2	Υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.....	63
4.6.2.3	Πλωτές ανεμογεννήτριες.....	66
4.6.2.4	Αυτόνομο σύστημα αφαλάτωσης με χρήση Αιολικής ενέργειας.....	67
4.6.2.4.1	Εισαγωγή.....	67
4.6.2.4.2	Στρατηγικές ελέγχου.....	70
4.6.2.4.3	Μπαταρίες.....	73
4.6.2.4.4	Ανεμογεννήτριες.....	73
4.6.2.4.5	Μονάδα αφαλάτωσης.....	74
4.6.2.4.6	Υδριάδα.....	74
4.6.3	Γεωθερμική ενέργεια.....	77
4.6.4	Βιομάζα.....	78
4.6.5	Ωκεανική ενέργεια.....	78
4.7	Ο συνδυασμός της ηλιακής με την Αιολική ενέργεια.....	79
5	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	83
5.1	Κόστος επένδυσης.....	83

5.2	Κόστος διαχείρισης και λειτουργίας.....	83
5.3	Κόστος συντήρησης.....	83
5.4	Απαιτήσεις προσωπικού	84
5.5	Απαιτήσεις ενέργειας.....	84
5.6	Οικονομικά δεδομένα διαδικασιών αφαλάτωσης.....	84
5.6.1	Αντίστροφη Όσμωση.....	85
5.6.2	Εξάτμιση Πολλαπλής Επίδρασης	86
5.6.3	Συμπύεση Ατμού	86
5.7	Προοπτικές εξέλιξης.....	86
5.8	Επιλογή μεθόδου με βάση το νερό και τις ΑΠΕ.....	87
5.9	Γενικά κριτήρια για τη διαστασιολόγηση και την επιλογή σημαντικών παραμέτρων σε μια εγκατάσταση αφαλάτωσης	88
5.9.1	Νερό τροφοδοσίας	88
5.9.2	Ποιότητα παραγόμενου νερού	88
5.9.3	Μέγεθος μονάδας.....	88
5.9.4	Εναπόθεση άλμης	88
6	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	89
6.1	Ανάλυση ενός καινοτόμου συστήματος αφαλάτωσης ύδατος που χρησιμοποιεί ηλιακή θερμότητα χαμηλής βαθμίδας (low grade).....	89
6.2	Multi-effect thermal regeneration solar desalination unit with horizontal tube falling film evaporation.....	94
6.3	Μονάδα αφαλάτωσης συνδυασμένη με ηλιακούς συλλέκτες και δεξαμενή αποθήκευσης.....	100
6.4	Ύγρανση και αφύγρανση με αέρα για ένα σύστημα αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια.	106
6.5	Single stage σύστημα αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής ενέργειας για οικιακή χρήση 109	
6.6	Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση και χρήση ηλιακής ενέργειας I.....	112
6.7	Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση και χρήση ηλιακής ενέργειας II.....	113
6.8	Προσομοίωση λειτουργίας αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης με χρήση αιολικής ενέργειας.....	114
6.8.1	Εισαγωγή	114
6.8.2	Τέλεια πρόβλεψη και λάθη στην πρόγνωση του ανέμου.....	118
6.8.3	Λειτουργία με το υψηλό αιολικό δυναμικό της θέσης Α.....	118
6.8.4	Λειτουργία με ανέμους με χαμηλό αιολικό στις θέσεις Β και C - Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	124
6.8.5	Κόστος	131
6.8.6	Γενικά συμπεράσματα	134
7	ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	137
7.1	Παραδείγματα αφαλάτωσης σε παγκόσμια κλίμακα	137
7.2	Εφαρμογές στον Ελλαδικό χώρο	143
8	Βιβλιογραφία	147

1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αφαλάτωση – σύγχρονες μονάδες αφαλάτωσης - εφαρμογές και μέθοδοι. Έτσι στις σελίδες που ακολουθούν θα διαπιστώσουμε τους λόγους που διάφορα κράτη ανά τον πλανήτη επιλέγουν αυτήν την ενεργοβόρο και οικονομικά ασύμφορη διαδικασία για την παραγωγή φρέσκου νερού, τις μεθόδους με τις οποίες αυτή πραγματοποιείται.

Όπως θα γίνει κατανοητό στα επόμενα κεφάλαια, η αφαλάτωση είναι μια πολλά υποσχόμενη διαδικασία. Η χρήση όμως ανανεώσιμων πηγών ως κύρια πηγή ενέργειας βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, παρά τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει.

2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

2.1 Γενικά

Οι υδατικοί πόροι αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη κάθε είδους οικονομικής δραστηριότητας και έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες, τόσο για την εκδήλωση της ίδιας της ζωής όσο και για την επιβίωση του ανθρώπου.

Η ανάπτυξη νέων δραστηριοτήτων, η ανάγκη αύξησης της παραγωγικότητας καθώς και η ανύψωση του βιοτικού επιπέδου μιας χώρας δημιουργούν ολοένα και μεγαλύτερη οικιακή και βιομηχανική χρήση.

«Ως υδάτινοι πόροι θεωρούνται όλες οι δυνατές πηγές που μπορούν να παρέχουν νερό για ανθρώπινη χρήση, είτε αυτή είναι για ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση, αλιεία, ναυσιπλοΐα κ.ά. Οι υδάτινοι πόροι δηλαδή αποτελούν τα επιφανειακά νερά, ποτάμια, λίμνες, υγρότοποι, θάλασσες, πάγοι, θερμομεταλλικά νερά (ιαματικά, μεταλλικά κ.ά.) καθώς και τα υπόγεια νερά που είναι «αποθηκευμένα» στους υπόγειους υδροφόρους». (Κ. Παυλόπουλος, 2001)

Γενικά στους Υδάτινους πόρους περιλαμβάνονται:

- Τα επιφανειακά και υπόγεια νερά χωρίς διάκριση στην ποιότητα, προέλευση και χρήση τους.
- Τα νερά χερσαίων και υποθαλάσσιων πηγών.
- Τα θερμομεταλλικά νερά, όπως ιαματικά, μεταλλικά και αεριούχα.
- Οι επεξεργασμένες εκροές υγρών αποβλήτων και άλλα περιθωριακά νερά που είναι δυνατόν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν.

2.2 Η σπουδαιότητα του Νερού

Το νερό είναι ένα μοναδικό υγρό απαραίτητο για τη ζωή, με τη μορφή που το γνωρίζουμε, πάνω στον πλανήτη μας, που η ποιότητα του και οι φυσικοχημικές του παράμετροι διαμορφώνουν το περιβάλλον των οικοσυστημάτων.

Δεν είναι σύμπτωση ότι περιοχές με πλούσια βλάστηση, δάση, καλλιέργειες, λιβάδια κ.λ.π. παρατηρούνται εκεί όπου υπάρχει άφθονο νερό. Γενικά, κάθε δραστηριότητα της φύσης οδηγείται από την έντονη παρουσία του νερού.

Αντιστρόφως, οι έρημοι και οι άγονες περιοχές που τις χαρακτηρίζει η σπάνια ύπαρξη νερού, διακρίνονται από την έλλειψη κάθε τεχνικής ανάπτυξης πολιτισμού. Αυτά ακριβώς τα φαινόμενα είναι αλληλένδετα μεταξύ τους. Εξάλλου, η ανάπτυξη πολιτισμών ακολούθησε πάντα την ευημερία που προήλθε από την παρουσία ανθρώπινων δραστηριοτήτων πλάι σ' αυτές τις δραστηριότητες της φύσης. Εκεί όπου η φυσική ανάπτυξη ήταν προϊόν κάποιας όμορφης κοιλάδας, ποταμών, λιμνών κλπ., είναι ένα αδιάστατο είδος ύπαρξης που αυτό θα σημαίνει πάντα και θα τονίζει τη βίωση, την άνθιση και την ανάπτυξη ενός τεχνικού πολιτισμού πάνω στη γη. (Αλεξάκης, 1993)

Οι οργανισμοί της γης αποτελούνται κυρίως από νερό. Ένα δέντρο περιέχει περίπου 60% νερό, τα περισσότερα ζώα αποτελούνται από περίπου 65% νερό, ενώ στον ανθρώπινο πληθυσμό οι γυναίκες διαθέτουν περίπου 50% νερό και οι άνδρες 60%. Κάθε ένας από εμάς χρειάζεται περίπου οκτώ ή περισσότερα φλιτζάνια νερό την ημέρα για να επιβιώσει και τεράστιες ποσότητες νερού είναι απαραίτητες για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες μας σε τροφή, στέγη και λοιπές επιθυμίες. Το γλυκό νερό είναι ζωτικός πόρος για τις αγροκαλλιέργειες, τις κατασκευές, τη μεταφορά και άλλες πολυάριθμες ανθρώπινες

δραστηριότητες. Σε πολλές περιοχές όπου η έλλειψη τροφίμων απειλεί την ανθρώπινη επιβίωση, είναι η έλλειψη νερού που περιορίζει την παραγωγή τροφίμων. Το νερό επίσης παίζει βασικό ρόλο στη διαμόρφωση της επιφάνειας του πλανήτη, στις μεταβολές του κλίματος και στη διάλυση των ρυπογόνων ουσιών. Στην πραγματικότητα χωρίς το νερό η ζωή δε θα υπήρχε, τουλάχιστον με τη μορφή που τη γνωρίζουμε.

Το νερό έχει πολλές μοναδικές ιδιότητες:

- ◆ Υπάρχουν ισχυρές δυνάμεις έλξης που ονομάζονται δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού. Οι δυνάμεις έλξης μεταξύ αυτών των μορίων είναι ο κύριος παράγοντας που προσδιορίζει τις μοναδικές ιδιότητες του νερού.
- ◆ Το νερό υπάρχει σε υγρή μορφή και σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος, λόγω των ισχυρών δυνάμεων έλξης μεταξύ των μορίων του. Το ψηλότερο σημείο βρασμού των 100°C και το χαμηλότερο σημείο ψύξης των 0°C σημαίνει ότι το νερό παραμένει σε υγρή κατάσταση στα περισσότερα κλίματα του πλανήτη.
- ◆ Το νερό αλλάζει τη θερμοκρασία του με πολύ αργό ρυθμό. Καθώς μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλα ποσοστά θερμότητας χωρίς σημαντική μεταβολή της θερμοκρασίας. Αυτή η ιδιαίτερη θερμοκρασιακή ικανότητα βοηθά στην προστασία των οργανισμών από το σοκ της απότομης θερμοκρασιακής μεταβολής. Μετριάζει επίσης το κλίμα της γης και καθιστά το νερό εξαιρετικό ψυκτικό υγρό για τους κινητήρες των οχημάτων, τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και τις εγκαταστάσεις παραγωγής θερμότητας. (Χρυσικοπούλου, 1995)
- ◆ Χρειάζεται μεγάλη ποσότητα θερμότητας για να εξατμιστεί. Η ιδιότητα του νερού να απορροφά τεράστιες ποσότητες θερμότητας, καθώς μεταβάλλεται σε ατμό και να απελευθερώνει αυτή τη θερμότητα καθώς συμπυκνώνονται οι υδρατμοί για να επιστρέψει στην υγρή του μορφή, αποτελεί ένα βασικό παράγοντα στη διανομή της θερμότητας σ' ολόκληρο τον κόσμο. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά την εξάτμιση του νερού αποδοτική και αποτελεί μια διαδικασία ψύξης και γι' αυτό νιώθουμε περισσότερο δροσεροί, όταν συντελείται η διαπνοή στο σώμα μας.
- ◆ Το υγρό νερό μπορεί να διαλύσει ένα πλήθος συστατικών. Αυτό καθιστά δυνατή τη μεταφορά διαλυμένων θρεπτικών συστατικών στους ιστούς έμβιων οργανισμών, την αποβολή απόβλητων προϊόντων από τα όργανα, δρώντας ως καθαριστικό και βοηθώντας στην απομάκρυνση και διάσπαση των υδατοδιαλυτών αποβλήτων του πολιτισμού μας. Η ανωτερότητα του νερού ως διαλυτικό σημαίνει επίσης ότι ρυπαίνεται εύκολα από υδατοδιάλυτα απόβλητα.
- ◆ Οι ισχυρές δυνάμεις έλξης μεταξύ των μορίων του υγρού νερού αναγκάζουν την επιφάνειά του να συσπάται και δημιουργείται δυνατότητα προσκόλλησης και επικάλυψης ενός στερεού. Αυτές οι ιδιότητες μαζί επιτρέπουν στο νερό να προχωρήσει σ' ένα φυτό από τις ρίζες προς τα φύλλα του.
- ◆ Αντίθετα με τα περισσότερα υγρά, το νερό διαστέλλεται όταν παγώνει. Αυτό σημαίνει ότι ο πάγος έχει χαμηλότερη πυκνότητα από ότι το υγρό νερό και συνεπώς ο πάγος επιπλέει στο υγρό νερό και τα σώματα νερού παγώνουν από την κορυφή προς τις πλευρές αντί από κάτω προς τα πάνω. Χωρίς αυτήν την ιδιότητα οι λίμνες και τα ποτάμια στα ψυχρά κλίματα θα είχαν παγώσει και τα περισσότερα ποτάμια που συντηρούν την υδρόβια ζωή δε θα υπήρχαν. Επειδή το νερό διαστέλλεται όσο ψύχεται, μπορεί επίσης να διασπάσει σωληνώσεις, μηχανήματα, δρόμους και πετρώματα, γι' αυτό και χρησιμοποιούμε αντιψυκτικά υγρά στα συστήματα ψύξης. (Χρυσικοπούλου, 1995)

Το νερό αποτελεί το αίμα τη οικόσφαιρας. Μια πραγματικά θαυμαστή ουσία που μας συνδέει μεταξύ μας, με άλλες μορφές ζωής και με ολόκληρο τον πλανήτη. Παρά τη σημασία του, το νερό είναι από τους φυσικούς πόρους που δέχονται ελάχιστη διαχείριση. Το σπαταλάμε, το ρυπαίνουμε, προβαίνουμε σε ελάχιστα μέτρα για τη διάθεσή του, ενώ

ενθαρρύνουμε περισσότερη σπατάλη και ρύπανση αυτού του ζωτικής σημασίας ανανεώσιμου φυσικού πόρου. (G. Tyler Miller, 1999)

2.3 Η κατανομή του νερού στο Πλανήτη

Η γη είναι το μόνο μέρος στο Σύμπαν από όσα μέχρι σήμερα γνωρίζουμε όπου υπάρχει νερό. Οι φωτογραφίες της γης από το διάστημα δείχνουν έναν εντυπωσιακά γαλάζιο πλανήτη. Το νερό καλύπτει το 70% του πλανήτη και μόνο ένα μικρό ποσοστό (2,5%) του νερού του πλανήτη είναι πόσιμο (γλυκό νερό).

Οι ωκεανοί είναι οι μεγαλύτερες υδαταποθήκες. Περίπου το 97% του νερού βρίσκεται στους ωκεανούς και είναι ιδιαίτερα αλατούχο, ώστε να μην είναι δυνατή η άρδευση, η πόση ή βιομηχανική του χρήση.

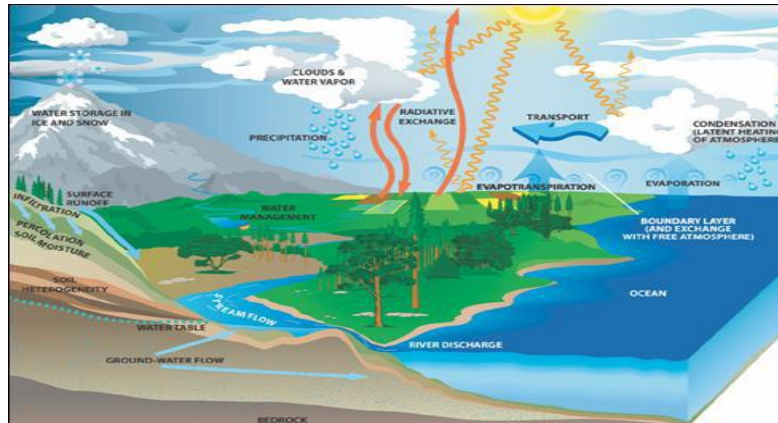
Το υπόλοιπο 3% είναι φρέσκο νερό, δυνητικά κατάλληλο για χρήση από τους ανθρώπους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του φρέσκου νερού (68,7% περίπου) βρίσκεται με τη μορφή παγετώνων στους πόλους και στις κορυφές των οροσειρών. Ένα ποσοστό της τάξεως του 30,1% αποτελούν τα υπόγεια ύδατα, ενώ μόλις το 0,9% των παγκοσμίων αποθεμάτων φρέσκου νερού βρίσκεται σε λίμνες, ποτάμια, έλη κλπ. (Unningham – Saigon, 2001)



Εικόνα 2.1: Παγκόσμια κατανομή υδάτινων πόρων

2.4 Ο Υδρολογικός Κύκλος

Το νερό της γης, ανεξάρτητα από το εάν παρουσιάζεται με τη μορφή των υδρατιμών στην ατμόσφαιρα ή με την υγρή μορφή του στο έδαφος, στο υπέδαφος και στις υδάτινες μάζες που καλύπτουν όπως είπαμε σχεδόν τα $\frac{3}{4}$ της επιφάνειας του πλανήτη, βρίσκεται σε μια συνεχή κίνηση και υφίσταται μια συνεχή μετάπτωση από την υγρή στην αέρια φάση του και αντίστροφα. Η συνεχής μεταφορά του νερού από την ατμόσφαιρα προς την ξηρά και τις υδάτινες μάζες του πλανήτη και η επιστροφή του στην ατμόσφαιρα ορίζεται σαν υδρολογικός κύκλος. (Εικόνα 2.2)



Εικόνα 2.2: Ο κύκλος του νερού

Ο υδρολογικός κύκλος ή κύκλος του νερού όπως αλλιώς ονομάζεται, είναι μια από τις πιο σημαντικές διεργασίες στη φύση. Λόγω της θέρμανσης από τον ήλιο, το νερό των ωκεανών, των λιμνών, των ποταμών, του εδάφους και της βλάστησης εξατμίζεται και ανέρχεται στην ατμόσφαιρα υπό τη μορφή υδρατμών. Οι υδρατμοί αυτοί ψύχονται, μετατρέπονται σε νερό υγρής φάσης, ή σε πάγο και σχηματίζουν νέφη. Όταν τα σταγονίδια, ή οι παγοκρύσταλλοι των νεφών αποκτήσουν αρκετά μεγάλο μέγεθος επιστρέφουν στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή βροχής ή χιονιού.

Αφού φτάσει στην επιφάνεια της Γης, το νερό είτε καταλήγει απ' ευθείας σε ποτάμια, λίμνες και ωκεανούς, είτε διεισδύει στους υδροφόρους ορίζοντες και το έδαφος, στο οποίο και απορροφάται από τα φυτά μέσω της εξάτμισης των επιφανειακών υδάτων ή της εξατμισοδιαπνοής των φυτών, τα μόρια του νερού επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα για να επαναλάβουν τον κύκλο.

Το νερό μιας λίμνης, το χιόνι σε ένα μακρινό βουνό, ο υγρός αέρας σε ένα τροπικό νησί και οι σταγόνες της πρωινής υγρασίας είναι μέρη του ίδιου συστήματος. Η συνολική απώλεια νερού από την επιφάνεια του πλανήτη ισούται με τη συνολική ετήσια βροχόπτωση της Γης. Η μεταβολή οποιουδήποτε μέρους του συστήματος, όπως είναι για παράδειγμα η έκταση της βλάστησης σε μια περιοχή, επηρεάζει ολόκληρο το σύστημα.

Αν και η κίνηση σε ορισμένα σημεία του κύκλου μπορεί να είναι σχετικά γρήγορη, η πλήρης ανακύκλωση των υπόγειων υδάτων διαρκεί πολύ μεγάλες χρονικές περιόδους.

2.5 Χρήσεις του Νερού

Οι χρήσεις του νερού διακρίνονται σε βιομηχανικές, γεωργικές και αστικές. Προς το παρόν η βιομηχανία απορροφά το 23% της παγκόσμιας κατανάλωσης νερού, ενώ το 8% απορροφάται από τις αστικές χρήσεις και το 69% από τη γεωργία.

Στην Ευρώπη το μεγαλύτερο ποσοστό 55% απορροφάται από τη βιομηχανία, η γεωργία χρησιμοποιεί το 34% και οι αστικές χρήσεις το 11%.

Στην Β.Κ. Αμερική το 49% χρησιμοποιείται στον αγροτικό τομέα, το 42% στη βιομηχανία και το 9% στις αστικές χρήσεις.

Στην Αφρική και στην Ασία το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού διατίθεται για αγροτική χρήση 90% και 85% αντίστοιχα. Επίσης στην Αφρική έχουμε 6% για την οικιακή χρήση και 4% για τη βιομηχανία και στην Ασία 7% για οικιακή χρήση και 8% στη βιομηχανία.

Ένα μεγάλο ποσοστό 60% διατίθεται και στην Ν. Αμερική για την αγροτική χρήση, 22% διατίθεται για τη βιομηχανία και 18% για οικιακή χρήση.

Στη βιομηχανία το νερό χρησιμοποιείται σαν διαλύτης άλλων ουσιών, σαν ψυκτικό μέσο και σαν διαλύτης κάποιων ουσιών που συνιστούν ρύπους. Οι διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες είναι ιδιαίτερα υδροβόρες. Το μεγαλύτερο ποσοστό νερού βιομηχανικής χρήσης χρησιμοποιείται για ψύξη. Θερμά και υγρά απόβλητα, όμως, απορριπτόμενα σε υδάτινους αποδέκτες αυξάνουν το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών και μειώνουν την ποσότητα του διαλελυμένου οξυγόνου των αποδεκτών αυτών. Γι' αυτό υπάρχει και η απαίτηση προς τις βιομηχανίες για ψύξη πριν την απόρριψη των υγρών και θερμών αποβλήτων τους. Οι χώρες με τις μεγαλύτερες ποσότητες κατανάλωσης νερού βιομηχανικής χρήσης είναι οι ΗΠΑ, η πρώην Σ. Ένωση, η Ιαπωνία, η Γερμανία και η Κίνα. Η βιομηχανική κατανάλωση νερού αυξάνεται συνεχώς και υπολογίζεται ότι θα φτάσει το 26% παγκοσμίως.

Κατά τη βιομηχανική χρήση του νερού υπάρχουν οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησής του δεδομένου πως δεν αναλίσκεται αλλά μόνο θερμαίνεται, ή ρυπαίνεται. Η τάση εξοικονόμησης νερού εμφανίστηκε εντυπωσιακά στην Ιαπωνία, στις ΗΠΑ, στη Γερμανία και στη Σουηδία. Σε όλες αυτές τις χώρες η χρήση νερού από τις βιομηχανίες χημικών, χάλυβος, πετρελαιοειδών και χαρτιού, οι οποίες είναι οι πιο υδροβόρες, μειώνεται συνεχώς την τελευταία εικοσαετία, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η παραγωγικότητα των βιομηχανιών αυτών, γεγονός που σημαίνει πως χρησιμοποιούν το νερό αποτελεσματικά. (Postel, 1993)

Η άρδευση καλλιεργήσιμων εδαφών απορροφά, επίσης, μεγάλες ποσότητες νερού. Οι αρδευόμενες εκτάσεις αποτελούν το 12% των παγκοσμίως καλλιεργούμενων εκτάσεων. Οι μεγαλύτερες αρδευόμενες εκτάσεις του κόσμου βρίσκονται στην Ασία (Κίνα, Ινδία, Πακιστάν) και τη Β. Αμερική. Τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που συνδέονται με την εντατική χρήση νερού για αρδεύσεις είναι η υπεράντληση των υπόγειων αποθεμάτων, η αλατοποίηση του εδάφους και η ανύψωση των υπόγειων υδροφόρων οριζώντων. (Γεωργόπουλος, 2001)

Το κυριότερο πρόβλημα που σχετίζεται με τις αστικές χρήσεις νερού έχει να κάνει με τις δυσκολίες εφοδιασμού των όλο και διογκούμενων αστικών κέντρων με νερό.

2.6 Υδατικά Αποθέματα στον Πλανήτη

Σε πλανητική κλίμακα η συνολική ποσότητα του γλυκού νερού δε φαίνεται να είναι πρόβλημα. Φτάνει για να υπερκαλύψει τις ανάγκες του σημερινού πληθυσμού αν και οι ανάγκες σε νερό τόσο για τη βιομηχανία, για τη γεωργία αλλά και για το γενικό πληθυσμό αυξάνονται συνέχεια. (Beijaer, 1990)

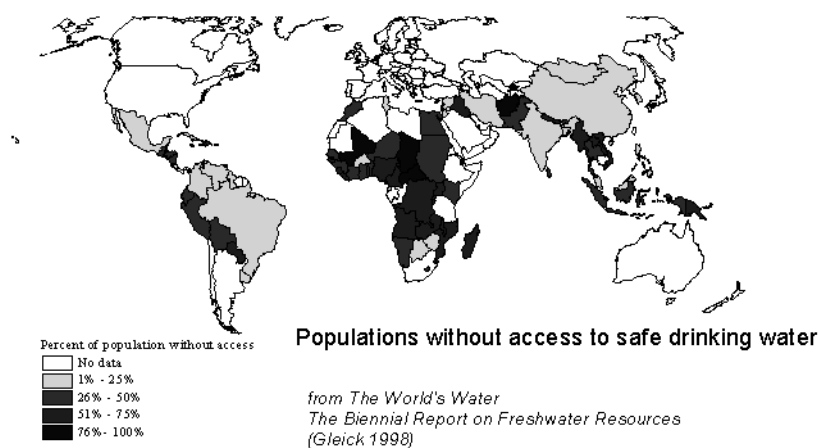
Το πρόβλημα προς το παρόν φαίνεται να είναι η ανεπαρκής διαθεσιμότητα του νερού σε συγκεκριμένα μέρη και συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Η φυσικό - γεωγραφική κατανομή των υδάτινων αποθεμάτων στον πλανήτη σε σχέση με τις πληθυσμιακές πυκνότητες των διαφόρων περιοχών, δε βοηθά την ομαλή κατανομή τους ανάλογα με τις ανάγκες. Πολλά κράτη με μικρό πληθυσμό διαθέτουν τεράστια αποθέματα νερού, ενώ αντιθέτως πολλές πυκνοκατοικημένες περιοχές διαθέτουν ελάχιστα. Από έναν παγκόσμιο πληθυσμό 6 δισεκατομμυρίων ανθρώπων σήμερα, 1,3 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε επαρκή αποθέματα νερού και 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε ικανοποιητικές υγειονομικές εγκαταστάσεις.

Σε ορισμένα μέρη οι άνθρωποι αγωνίζονται ενάντια στις πλημμύρες, ενώ σε άλλα μετά βίας μπορούν να συγκεντρώσουν τα 5 λίτρα κατ' άτομο την ημέρα (Μαγαδασκάρη) τα οποία και θεωρούνται κατώτερο όριο επιβίωσης.

Και ενώ ένας μέσος κάτοικος του νοτίου ημισφαιρίου χρησιμοποιεί γύρω στα 15-50 λίτρα νερού την ημέρα, ένας μέσος κάτοικος του βορείου ημισφαιρίου χρησιμοποιεί

παραπάνω από 150 λίτρα ημερησίως τα οποία γίνονται 500, αν προστεθούν οι ανάγκες της βιομηχανίας (ΗΠΑ). (Γεωργόπουλος, 2001)

Στη διάσκεψη του ΟΗΕ για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, αποφασίστηκε πως κάθε άνθρωπος πρέπει να έχει πρόσβαση σε 40 λίτρα καθαρού νερού την ημέρα και συμφωνήθηκε η καθιέρωση επιπέδων ποιότητας για τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα που απορρίπτονται σε υδάτινους αποδέκτες (Agenda 21, 1992). Οι προβλέψεις για το μέλλον δεν είναι ευοίωνες: η Αίγυπτος θα διαθέτει λιγότερη κατά κεφαλή ποσότητα νερού κατά 1/3, η Κένυα κατά 1/2, η Ανατ. Αφρική και η νότιος Μεσόγειος θα αντιμετωπίζουν παρόμοια προβλήματα, ενώ Πολωνία, Ισραήλ, Δυτ. ΗΠΑ και Αυστραλία θα αντιμετωπίσουν σοβαρές ελλείψεις.



Εικόνα 2.3: Πληθυσμοί χωρίς πρόσβαση σε πόσιμο νερό

Τα επόμενα χρόνια λόγω της παγκόσμιας πληθυσμιακής αύξησης η οποία εκτιμάται σε 2,6 δισεκατομμύρια μέχρι το 2030 σημειώνεται ότι η κατανάλωση νερού θα αυξάνεται με διπλάσιο ρυθμό σε σχέση με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Το 1990 28 χώρες με συνολικό πληθυσμό 335 εκατομμύρια αντιμετώπιζαν σημαντικά προβλήματα ανεπάρκειας νερού, μέχρι το 2025 αναμένεται να αντιμετωπίζουν τέτοια προβλήματα 34 χώρες, με συνολικό πληθυσμό 653-904 εκατομμύρια, ανάλογα με την πληθυσμιακή αύξηση.

Το πρόβλημα της λειψυδρίας αναμένεται να είναι έντονο στη Βορειοδυτική Κίνα, τη δυτική και νότια Ινδία, σε μεγάλα τμήματα του Πακιστάν και του Μεξικού, και στις δυτικές ακτές των ΗΠΑ και της Νότιας Αμερικής. Ειδικά στη Μέση Ανατολή και στην Αφρική, η έλλειψη του νερού αναμένεται να οδηγήσει τα επόμενα χρόνια, ή σε πρωτοφανείς, για την περιοχή συνεργασίες, ή σε ευρύτερες συρράξεις.

Χωρίς τη διεθνή συνεργασία, η μείωση των υδάτινων αποθεμάτων θα μπορούσε να απειλήσει την παγκόσμια ειρήνη. Περισσότερο από το πετρέλαιο και τις διεκδικήσεις εκτάσεων γης, το πρόβλημα των υδάτινων πόρων είναι ο πλέον πιθανός λόγος για μελλοντικές διενέξεις σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Για πολλές χώρες σημαντικό μέρος των επιφανειακών νερών προέρχεται από τις γειτονικές χώρες. Οι λεκάνες που έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα να προκαλέσουν συγκρούσεις, είναι εκείνες όπου τουλάχιστον δύο χώρες μοιράζονται τα νερά ενός ποταμού, τα οποία είναι ανεπαρκή για το σύνολο της ζήτησης και δεν υπάρχει αναγνωρισμένη σύμβαση που ορίζει τα δικαιώματα μεταξύ των χωρών της λεκάνης. Τέτοιες περιοχές είναι αυτές γύρω από τον Ιορδάνη, Τίγρη και Ευφράτη, Νείλο, Γάγγη κ.α. Η μεγαλύτερη ποσότητα νερού σ' αυτήν την περιοχή είναι ήδη ελάχιστη και με τα τρέχοντα ποσοστά πληθυσμιακής αύξησης της τάξης περίπου του 3% το χρόνο, ο ανθρώπινος πληθυσμός θα έχει διπλασιαστεί σε 23 χρόνια.

Για παράδειγμα οι διαμάχες μεταξύ Αιθιοπίας, Σουδάν και Αιγύπτου για την πρόσβαση στα νερά της λεκάνης του ποταμού Νείλου κλιμακώνονται συνεχώς. Η Αιθιοπία, η οποία ελέγχει περίπου το 80% των υδάτων που τροφοδοτούν τη ροή του Νείλου, προγραμματίζει να δεσμεύσει το μεγαλύτερο μέρος των υδάτων. Το ίδιο και το Σουδάν. Μια τέτοια ενέργεια θα μείωνε την ποσότητα νερού που διατίθεται στην Αίγυπτο, που ήδη αντιμετωπίζει προβλήματα έλλειψης νερού, και της οποίας το έδαφος είναι έρημος, εκτός από μια στενή λωρίδα αρδευσίμη, καλλιεργήσιμη γης κατά μήκος του Νείλου και τα Δέλτα του, η οποία καθιστά την Αίγυπτο ιδιαίτερα εξαρτημένη από το Νείλο για τις καλλιέργειες.

Ο πληθυσμός της Αιγύπτου ήταν περίπου 60 εκατομμύρια άνθρωποι το 1994 και αυξάνεται κατά 1 εκατομμύριο κάθε 9 μήνες, υπολογίζεται ότι μέχρι το 2025 θα φθάσει τα 98 εκατομμύρια, πράγμα που θα αυξήσει σημαντικά και τη ζήτηση σε νερό.

Οι επιλογές της Αιγύπτου είναι ή να προχωρήσει σε πόλεμο με το Σουδάν και την Αιθιοπία, ώστε να έχει περισσότερο νερό, ή να μειώσει δραστικά την πληθυσμιακή αύξηση και να βελτιώσει την απόδοση των αρδευτικών έργων. Το 1985, ο Υπουργός εξωτερικών της Αιγύπτου Boutros-Boutros Ghali προειδοποίησε ότι «ο επόμενος πόλεμος στην περιοχή θα γίνει για τα νερά του Νείλου».

Υπάρχει επίσης ένας έντονος ανταγωνισμός για το νερό μεταξύ Ιορδανίας, Συρίας και Ισραήλ, το οποίο παίρνει τη μεγαλύτερη ποσότητα νερού από τη λεκάνη του Ιορδάνη ποταμού. Το Ισραήλ παίρνει περίπου το 60% των υδάτων της λεκάνης, παρόλο που το μεγαλύτερο μέρος αυτού του ποταμού βρίσκεται έξω από τα σύνορα του. Το 1967 ο Αραβο-Ισραηλινός πόλεμος έγινε εν μέρει για την πρόσβαση στον ποταμό και για τα υπόγεια ύδατα. Το Ισραήλ, το οποίο εκμεταλλεύεται το νερό περισσότερο αποδοτικά από οποιαδήποτε άλλη χώρα στον κόσμο, χρησιμοποιεί τώρα το 95% της ανανεώσιμης τροφοδοσίας γλυκού νερού.

Η Ιορδανία που παίρνει περίπου το 95% των υδάτων της από το σύστημα του Ιορδάνη, πρέπει να διπλασιάσει την προμήθειά της στα επόμενα 20 χρόνια, ακριβώς και μόνο για να συμβαδίσει με την προβλεπόμενη πληθυσμιακή αύξηση. Το 1990 ο βασιλιάς Χουσεΐν δήλωσε πως το νερό ήταν το μόνο ζήτημα που θα τον ανάγκαζε να προχωρήσει σε πόλεμο με το Ισραήλ. Η Συρία, που προβλέπει ελλείψεις νερού προγραμματίζει να κατασκευάσει μια σειρά από φράγματα για να χρησιμοποιεί περισσότερο νερό από τον Ιορδάνη. Αυτή η τακτική αναμένεται να μειώσει την τροφοδοσία νερού για την Ιορδανία και το Ισραήλ. Το Ισραήλ προειδοποιεί ότι εάν αυτό το μεγάλο φράγμα κατασκευαστεί είναι έτοιμο να το καταστρέψει. (T. Myller, 1999)

Η έλλειψη του νερού αποτελεί επίσης ένα από τα κυριότερα προβλήματα σε όλη την Περιοχή της Μεσόγειου, καθώς συνδέεται άμεσα με το ξηρό κλίμα της περιοχής τις αυξημένες ανάγκες από τον τουρισμό και τη γεωργία. Ο τουρισμός, η αστική ανάπτυξη, η σύγχρονη γεωργία, η βελτίωση της ποιότητας ζωής και η βιομηχανοποίηση οδηγούν στην εκτεταμένη χρήση των υδάτινων πόρων. Το πρόβλημα μάλιστα αναμένεται να επιδεινωθεί τα τελευταία χρόνια, λόγω αλλαγών στις χρήσεις γης και κοινωνικό-οικονομικών μεταβολών, αλλά και λόγω της πιθανότητας μείωσης των βροχοπτώσεων, εξαιτίας των κλιματολογικών αλλαγών.

Η περιορισμένη ύπαρξη υδάτινων αποθεμάτων σε όλες τις παράκτιες περιοχές της Μεσογείου έχει οδηγήσει σε μια εξάντληση των υπόγειων αποθεμάτων, λόγω της υπεράντλησης. Έτσι, παρατηρείται σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων.

2.7 Αίτια της λειψυδρίας

Τα αίτια που δημιουργούν το πρόβλημα της σπανιότητας του νερού είναι:

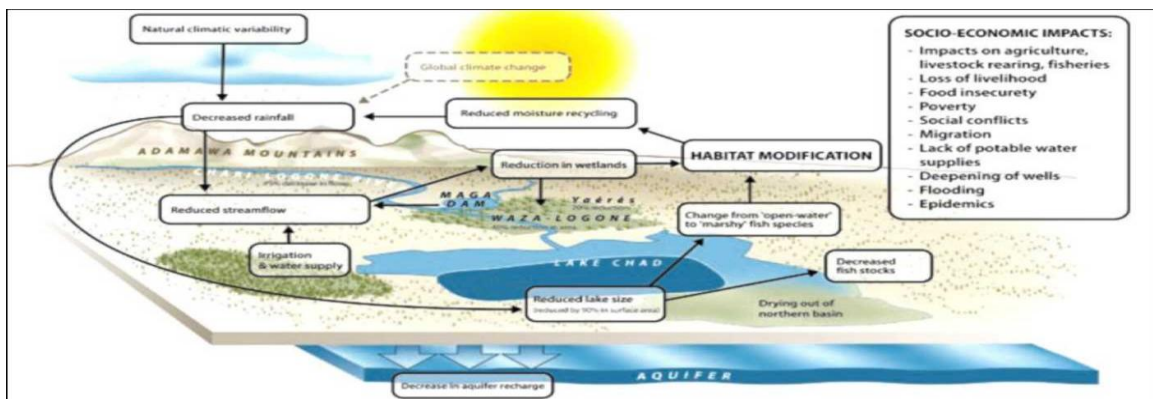
- ◆ Σύμφωνα με ορισμένους επιστήμονες, η κυριότερη αιτία για την έλλειψη φρέσκου νερού σε παγκόσμιο επίπεδο είναι το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης ή αλλιώς φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μία αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κυρίως στις ορεινές περιοχές μπορεί να αλλάξει την αναλογία πτώσης χιονοπτώσεων και βροχοπτώσεων, οδηγώντας σε περισσότερη βροχή και λιγότερο χιόνι. Αυτή η αλλαγή σημαίνει περισσότερες πλημμύρες και μεγαλύτερη απορροή κατά τη διάρκεια της περιόδου βροχών, ενώ λιγότερο νερό παραμένει με τη μορφή πάγου και χιονιού στα βουνά, προς χρήση κατά την περίοδο της ξηρασίας. Αυτοί λοιπόν οι παγετώνες των βουνών λιώνουν στο σύνολό τους. Για παράδειγμα η μάζα πάγου και χιονιού στα Ιμαλάια (η τρίτη μεγαλύτερη στον κόσμο μετά από αυτές των πόλων), αρχίζει να ελαττώνεται με επιταχυνόμενο ρυθμό. Το ανησυχητικό είναι ότι όλα τα μεγάλα ποτάμια της Ασίας έχουν τις πηγές τους σε αυτήν την παγωμένη μάζα. Ήδη σε αυτούς τους ποταμούς παρατηρείται μια πτώση της στάθμης των υδάτων κατά 12-20%.
- ◆ Η **Λειψυδρία** δηλ. η φυσιολογική μακροχρόνια έλλειψη νερού που προξενείται από το ξηρό κλίμα. Υπάρχουν τρεις κυρίως περιοχές της γης που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας, η Αφρική, η Μέση Ανατολή και η Νότια Ασία.
- ◆ Η **Ξηρασία**, μια περίοδος κατά την οποία τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι πολύ χαμηλότερα και η εξάτμιση πολύ υψηλότερη από τα φυσιολογικά επίπεδα. Υπάρχουν τουλάχιστον 80 άνυδρες και ημιάνυδρες περιοχές, στις οποίες ζει περίπου το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού, και οι οποίες δοκιμάζονται από μακροχρόνιες ανομβρίες.
- ◆ Η **Αποξήρανση του εδάφους**, δηλ. η αποστράγγιση του εδάφους λόγω δραστηριοτήτων όπως η υπερβόσκηση και η αποψίλωση. Το αποτέλεσμα είναι η απώλεια της κάλυψης από δέντρα και βλάστηση η οποία ξηραίνει το έδαφος, αυξάνει την ηλιακή αντανάκλαση και μεγαλώνει την ποσότητα σκόνης στην ατμόσφαιρα, που με τη σειρά της μεγεθύνει το φαινόμενο της αντανάκλασης του φωτός στην ατμόσφαιρα. Η απώλεια του νερού από τη βλάστηση και την αυξημένη αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαιτίας του γυμνού εδάφους και της σκόνης του αέρα, υπερθερμαίνει την ατμόσφαιρα, μειώνει και διασπείρει τα νέφη και μπορεί να μειώσει τις βροχοπτώσεις. (T.Myller, 1999)
- ◆ Η **πληθυσμιακή αύξηση** αποτελεί επίσης μια σημαντική αιτία έλλειψης φρέσκου νερού παγκοσμίως. Ας μην ξεχνάμε άλλωστε ότι η ζήτηση φρέσκου νερού είναι άμεσα εξαρτημένη και μεταβάλλεται ανάλογα με τη δημογραφική αύξηση σε παγκόσμια κλίμακα. Οι περισσότερες προβλέψεις υπολογίζουν ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα σταθεροποιηθεί στα 8,5 με 9 δισεκατομμύρια ανθρώπους έως το 2050 ενώ το μεγαλύτερο μέρος της πληθυσμιακής αύξησης θα αφορά τις αναπτυσσόμενες χώρες. Η αύξηση του πληθυσμού δεν πυροδοτεί μόνο την κατανάλωση φρέσκου νερού για οικιακή χρήση, αλλά επιπλέον αυξάνει και την κατανάλωση για τις γεωργικές καλλιέργειες, για βιομηχανική χρήση, για την παραγωγή ενέργειας κ.λ.π.. Άλλωστε δεν είναι τυχαίο ότι ο τριπλασιασμός του παγκόσμιου πληθυσμού τον τελευταίο αιώνα συνοδεύτηκε από εξαπλασιασμό της κατανάλωσης φρέσκου νερού.
- ◆ Η **Πίεση του νερού**, δηλαδή η χαμηλή κατά κεφαλή διάθεση νερού που οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των ανθρώπων που στηρίζονται σε σχετικά σταθερά επίπεδα απορροών. Καθώς ο πληθυσμός αυξάνει, κόβονται δέντρα, εκτρέφονται περισσότερα ζώα, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της καλλιεργήσιμης γης χάνει το επιφανειακό έδαφος και τα φυτικά θρεπτικά συστατικά.
- ◆ Η **αστυφιλία** είναι και αυτή μια δημογραφική παράμετρος που οδηγεί σε αλόγιστη χρήση νερού. Το ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού που κατοικεί στις πόλεις, από 14% που ήταν το 1900 έφτασε στο 29% στα 1950 και αναμένεται

να ξεπεράσει το 60% μέχρι το 2030. Η αστυφιλία είχε δύο πολύ σημαντικές επιπτώσεις στη χρήση φρέσκου νερού. Καταρχήν πολλές πόλεις εκτρέπουν τους τεράστιους όγκους των επιφανειακών υδάτων ή υπερεκμεταλλεύονται τα υδροφόρα στρώματα, ενώ και τα μη επεξεργασμένα λύματα από αυτές αποτελούν πολύ σημαντική εστία ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Όπως είναι φυσιολογικό ένας πληθυσμός συνεχώς αυξανόμενος καταναλώνει περισσότερη τροφή, για την παραγωγή της οποίας απαιτούνται όλο και μεγαλύτεροι όγκοι φρέσκου νερού. Άρα η **αλόγιστη χρήση του φρέσκου νερού στις αγροτικές καλλιέργειες, στην κτηνοτροφία, στο εμπόριο** αποτελεί σημαντική αιτία της παρατηρούμενης μείωσης των αποθεμάτων. Η βασισμένη στην άρδευση γεωργία, έχει καλύψει το 80% της αύξησης στη ζήτηση τροφής παγκοσμίως από το 1960 μέχρι σήμερα. Στις περισσότερες περιοχές η εκτροπή της ροής των ποταμών, οι γεωτρήσεις για την εξαγωγή υπόγειων υδάτων και η αυξημένη δυνατότητα αποθήκευσης του νερού καθιστούν την άρδευση εφικτή. Σε αρκετές περιπτώσεις όμως η άρδευση πραγματοποιείται με εξαιρετικά αντικοινωνικό τρόπο. Για παράδειγμα στο Σενεγάλη ποταμό στην κεντρική Αφρική, ποσοστό μικρότερο του 50% του νερού χρησιμοποιείται αποδοτικά στις καλλιέργειες ρυζιού και καλαμποκιού. Οι περισσότεροι καλλιεργητές δεν κατανοούν το οικονομικό κόστος της σπατάλης νερού ή δε διαθέτουν τα απαραίτητα κεφάλαια για τη βελτίωση των τεχνολογιών άρδευσης. Όσον αφορά το **εμπόριο** αυτό παρέχει και δυνατότητες αλλά και κινδύνους για τα παγκόσμια αποθέματα νερού. Από τη μία μπορεί να προωθήσει την πιο αποτελεσματική χρήση του νερού για την παραγωγή προϊόντων, από την άλλη όμως οι αυξανόμενες τιμές στις εξαγωγές αγροτικών προϊόντων και η απελευθέρωση του παγκοσμίου εμπορίου μπορεί να οδηγήσουν στην εξάπλωση μεθόδων άρδευσης που απαιτούν υψηλές ποσότητες φρέσκου νερού.



Εικόνα 2.4: Η επιφάνεια της Νεκράς Θάλασσας έχει μειωθεί κατά το 1/3 από το 1975 έως σήμερα.



Εικόνα 2.5: Η αλλαγή του κλίματος προκαλεί μείωση των αποθεμάτων στη λίμνη Τσαντ

Τέλος δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι σχεδόν το 20% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού, προέρχεται από **υδροηλεκτρικά εργοστάσια**, ενώ υπάρχει και προοπτική περαιτέρω αύξησης ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Παρά το γεγονός ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το επίκεντρο σε πολλά προγράμματα τοπικής και περιφερειακής ανάπτυξης, πολλές φορές οδηγούμαστε σε πολύ υψηλά περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά κόστη. Στην ακτή της Σομαλίας για παράδειγμα, λιγότερο από το 50% της παραγόμενης ενέργειας αξιοποιείται κι όμως το αντίκτυπο στα αποθέματα φρέσκου νερού είναι ήδη ορατά. Ανάλογα προβλήματα αντιμετωπίζουν και χώρες όπως η Κίνα, το Λάος και η Καμπότζη όπου νέα υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχουν ήδη παραδοθεί ή πρόκειται να παραδοθούν τα αμέσως επόμενα χρόνια.

Το πρόβλημα των περιορισμένων υδατικών αποθεμάτων απαιτεί, εκτός από συνεργασία μεταξύ των κρατών σε πολιτικό επίπεδο και τη συνεργασία σε επίπεδο επιστημονικών γνώσεων και τεχνολογικής ανάπτυξης. Οι νέες προηγμένες τεχνολογίες εξοικονόμησης αλλά και παραγωγής νερού, σε συνδυασμό με την ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων, παρέχουν ελπίδες για τον περιορισμό του προβλήματος τα επόμενα χρόνια. Με τεχνικές που είναι διαθέσιμες σήμερα, οι αγρότες μπορούν να μειώσουν κατά 10-50% τις απαιτήσεις τους σε νερό, οι βιομηχανίες κατά 40-90% και οι πόλεις κατά το 1/3 χωρίς υποβάθμιση της οικονομικής τους απόδοσης.

Εκτός από την κατασκευή φραγμάτων και τον εκσυγχρονισμό των αρδευτικών συστημάτων, το πρόβλημα του νερού μπορεί να αντιμετωπιστεί και με άλλες μεθόδους όπως:

- Αφαλάτωση του θαλασσινού νερού.
- Τεχνητή βροχή.
- Ανακύκλωση του χρησιμοποιημένου νερού.
- Υδατοδεξαμενές.
- Περισσότερο αποτελεσματική κατανομή του διαθέσιμου νερού.
- Χρήση της βιοτεχνολογίας.
- Ανακύκλωση των νερών των υπονόμων για αρδευτικές χρήσεις.
- Συλλογή των υδάτων των πλημμύρων.
- Εκμετάλλευση των εποχιακά ρεόντων υδάτων.
- Επίσης μελετάται η περίπτωση της εισαγωγής νερού από άλλες χώρες μέσω αγωγών, υπερδεξαμενόπλοιων ή πλαστικών σάκων.

2.8 Οι επιπτώσεις από την έλλειψη φρέσκου νερού

Σήμερα υπολογίζεται ότι περίπου 1,1 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό. Τα Ηνωμένα Έθνη βέβαια υπολογίζουν σε 2,6 δισεκατομμύρια τους ανθρώπους που δε διαθέτουν νερό κατάλληλο για απολύμανση. Τα δύο ζητήματα είναι αλληλένδετα μεταξύ τους, αφού έλλειψη νερού για απολύμανση επέρχεται μόλυνση και του πόσιμου νερού από τα απόβλητα. Άμεσο αποτέλεσμα είναι **οι ασθένειες και οι θάνατοι** ανθρώπων που χρησιμοποιούν μολυσμένα αποθέματα νερού. Οι ασθένειες πλήττουν κυρίως τους πληθυσμούς του λεγόμενου τρίτου κόσμου, όπου υπολογίζεται ότι περίπου 3.900 παιδιά πεθαίνουν κάθε μέρα από διάρροια λόγω μη ύπαρξης πηγών φρέσκου πόσιμου νερού.

Επιπλέον με δεδομένο ότι παγκοσμίως υπάρχουν περίπου 260 ποτάμια συστήματα από τα οποία υδροδοτούνται με φρέσκο νερό πάρα πολλές χώρες, είναι φυσικό να **αναπτύσσονται διαμάχες** μεταξύ αυτών για τον **έλεγχο των υδάτινων αποθεμάτων**. Ήδη έχουμε αναφέρει την περίπτωση των ποταμών Τίγρη και Ευφράτη οι οποίοι παρέχουν νερό σε Τουρκία, Συρία και Ιράκ. Το γεγονός ότι οι ανάγκες των τριών αυτών χωρών είναι πολύ

μεγαλύτερες από τα αποθέματα των ποταμών αποτελεί αιτία έντασης και διαμάχης. Ανάλογα περιστατικά προέκυψαν μεταξύ Ουγγαρίας και Τσεχίας για τα νερά του Δούναβη, μεταξύ Βορείου και Νοτίου Κορέας, Ισραήλ και Παλαιστίνης, Αιγύπτου και Αιθιοπίας κλπ.

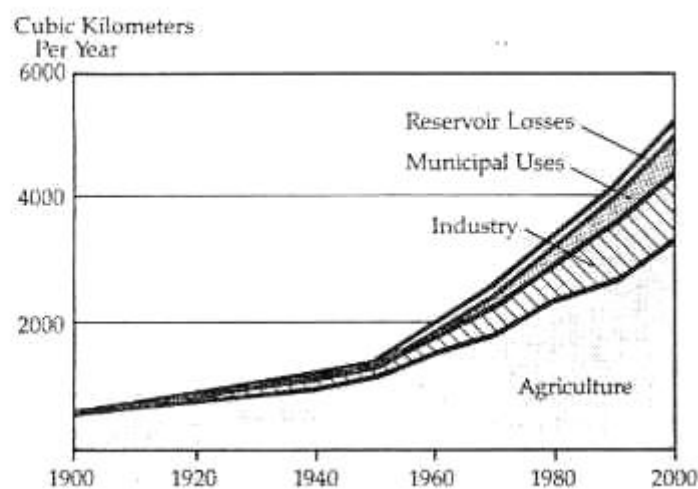
Σημαντική είναι και η έλλειψη φρέσκου νερού για τη χλωρίδα και την πανίδα, δηλαδή το οικοσύστημα. Λίμνες, ποτάμια, ρεύματα, βάλτοι είναι προφανώς άμεσα εξαρτημένα από τη διαθεσιμότητα νερού, αλλά το ίδιο συμβαίνει και με τα δάση και άλλα πιο ορεινά οικοσυστήματα τα οποία αντιμετωπίζουν **σημαντικές μεταβολές στην παραγωγικότητα** όσο τα αποθέματα νερού ελαττώνονται. Στην Ευρώπη η ραγδαία εξαφάνιση των υγροτόπων είχε σαν αποτέλεσμα ανάλογη **μείωση στη βιοποικιλότητα**. Για παράδειγμα στη Σκωτία, στην περιοχή του Αμπερντήν η ξήρανση των βάλτων είχε σαν αποτέλεσμα την εξαφάνιση πολλών ειδών, μεταξύ των οποίων και ένα σπάνιο είδος χήνας.

Τέλος φαινόμενα όπως η **μετανάστευση**, οι **πλημμύρες λόγω διάβρωσης** και η **φτώχεια** θα κλιμακωθούν τα επόμενα χρόνια ακριβώς λόγω της εξάντλησης των αποθεμάτων φρέσκου νερού σε παγκόσμιο επίπεδο.



Itaipu Dam, Paraguay/Brazil. The world's largest hydroelectric facility.
Credit: Itaipu Binacional

Εικόνα 2.6: Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχουν σημαντικές οικολογικές επιπτώσεις



Εικόνα 2.7: Η γεωργία καταναλώνει τη μερίδα του λέοντος σε φρέσκο νερό

2.9 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, όπως εξάλλου και ολόκληρος ο πλανήτης, βρίσκεται τα τελευταία χρόνια αντιμέτωπη με το μείζον πρόβλημα της **λειψυδρίας**. Η κατάσταση αυτή οφείλεται σε μια σειρά από αίτια όπως η **έλλειψη σχεδιασμού, η κακή διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων-πόρων, η καταστροφή των δασών, η περιφρόνηση των σχετικών νόμων και η μείωση των βροχοπτώσεων λόγω κλιματικών αλλαγών**. Οι προβλέψεις είναι εφιαλτικές. Έως και το 2100 προβλέπεται αύξηση της μέσης θερμοκρασίας έως και 2 βαθμούς Κελσίου, οι βροχοπτώσεις θα μειωθούν σημαντικά ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ θα υπάρχει και αστάθεια στην ένταση και τη συχνότητά τους. Όλα αυτά συνεπάγονται μείωση της απορροής και υποβάθμιση της ποιότητας του νερού που σε συνδυασμό με την αυξημένη αστική και γεωργική κατανάλωση, θα οδηγήσει σε μείωση της γεωργικής παραγωγής, αποδυνάμωση του αγροτικού πληθυσμού και πιθανόν διαμάχες για τη χρήση νερού. Τα ποσοστά βροχοπτώσεων ανά τη χώρα ελαττώνονται σε περιοχές όπως η Κρήτη, τα νησιά του Αιγαίου αλλά και τμήματα της ηπειρωτικής Ελλάδας. Άμεση συνέπεια είναι οι περιοχές αυτές να αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο κίνδυνο εξάντλησης των υδάτινων αποθεμάτων τους στο εγγύς μέλλον.

2.10 Προτάσεις και λύσεις

Για να λυθεί το σημαντικό πρόβλημα της λειψυδρίας εμφανίζονται διάφορες λύσεις όπως η μεταφορά νερού, η κατασκευή φραγμάτων και η αφαλάτωση.

I. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Η μεταφορά του νερού με πλοία υδροφόρες είναι σωτήρια λύση για μεγάλο πλήθος νησιών εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Τα νησιά που υδροδοτούνται με πλωτά μέσα είναι η Αμοργός, τα Κουφονήσια, η Κίμωλος, η Ηρακλεία, η Σχοινούσα, η Φολέγανδρος, η Τήνος, η Σίκιμος, η Θηρασιά, η Δονούσα, η Μήλος, το Αγαθονήσι, οι Λειψοί, η Μεγίστη, η Νίσυρος, η Πάτμος, η Σύμη, η Χάλκη, η Παλιόνησος και η Ψέρμος. Χαρακτηριστικό των τελευταίων χρόνων είναι ότι εκτός από τα προαναφερθέντα νησιά, λόγω της όξυνσης του προβλήματος, αναγκάζονται να συμπληρώσουν τις ανάγκες τους με μεταφορά νερού και μεγάλα νησιά όπως η Ίος και η Μήλος που παραδοσιακά δεν είχαν τέτοια προβλήματα.



Η λύση αυτή είναι σχετικά απλοϊκή καθώς δεν απαιτεί ιδιαίτερες υποδομές, το μόνο που χρειάζεται είναι μια δεξαμενή κατάλληλης χωρητικότητας ώστε να μπορεί να δεχτεί το απαιτούμενο νερό για να καλύψει τις ανάγκες των κατοίκων.

Όσο απλή κι αν φαίνεται αυτή η λύση έχει ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που δεν είναι άλλο από το κόστος ανά κυβικό μέτρο του παρεχόμενου νερού το οποίο είναι ιδιαίτερα υψηλό. Το νερό για τη μεταφορά προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ, τα πλοία μισθώνονται από το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας ενώ το κόστος για τη μεταφορά κυμαίνεται, ανάλογα με την περιοχή, από 4 έως 10 ευρώ ανά κυβικό μέτρο. Συχνά, αυτή η κατάσταση μονοπωλίου και η ομηρία της τοπικής κοινωνίας από τους μεγαλοεπιχειρηματίες που εμπορεύονται το νερό δίνει τη δυνατότητα στους τελευταίους να εκβιάζουν καταστάσεις με μόνο σκοπό την αύξηση των κερδών τους.

Επίσης στα αρνητικά της παραπάνω λύσης θα πρέπει να υπολογίζουμε και το περιβαλλοντικό κόστος από τη μεταφορά που έχει να κάνει με τα καυσαέρια των πλοίων και τη μόλυνση της θάλασσας εξαιτίας των καυσίμων. Πολλές ενστάσεις για την καταλληλότητα αυτής της μεθόδου προέρχονται και από τις αμφιβολίες σχετικά με την ποιότητα του νερού. Οι έρευνες λένε ότι δεν τηρούνται οι απαιτούμενες συνθήκες υγιεινής και αμφισβητείται η καταλληλότητα για χρήση αυτού του νερού από τους κατοίκους των νησιών. Τέλος, δεν πρέπει να παραβλέψουμε ότι το μεταφερόμενο νερό έχει προέλθει από κάποια ηπειρωτική περιοχή όπου ναι μεν το πρόβλημα δεν είναι τόσο έντονο αλλά δεν παύει και εκεί να είναι πολύτιμο και θα αναγκαστεί να το στερηθεί.

II. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Η λύση της κατασκευής των φραγμάτων χρησιμοποιείται για να εκμεταλλευτούμε το ανάγλυφο του εδάφους των νησιών, με τις έντονες κλίσεις και υψομετρικές διαφορές που προκαλεί δυσκολία στην κατακράτηση του νερού. Το έντονο ανάγλυφο του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα, ειδικά σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων, σημαντικό ποσοστό του νερού να σχηματίζει χειμάρρους οι οποίοι κατευθύνονται ανεξέλεγκτοι προς τη θάλασσα και δεν αξιοποιούνται κατάλληλα.



Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Μυκόνου, η οποία είναι σχετικά ξερό νησί, όπου μετά την κατασκευή 2 φραγμάτων στην περιοχή Μαραθώ χωρητικότητας 3 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού και 1 εκατομμυρίου κυβικών μέτρων νερού λύθηκε το πρόβλημα της ύδρευσης.

Φυσικά ούτε αυτή η λύση είναι αψεγάδιαστη καθώς η κατασκευή ενός φράγματος, έστω και μικρού, έχει υψηλό κόστος, απαιτεί πληθώρα υποδομών ενώ προκαλεί και

σημαντική αλλοίωση στο περιβάλλον καθώς είναι μια μόνιμη και βαριά κατασκευή η οποία ενδεχομένως και να προκαλεί και αισθητική όχληση.

III. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Η αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης των αλάτων από αλατούχα ύδατα τα οποία μπορεί να είναι είτε το αλμυρό νερό της θάλασσας είτε υφάλμυρο νερό από κάποια πηγή. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται πόσιμο νερό ή νερό για άρδευση. Η συγκέντρωση του παραγόμενου νερού σε άλατα έχει να κάνει με την πηγή προέλευσης του νερού και τη μέθοδο αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται.

Η διαδικασία της αφαλάτωσης μπορεί να γίνει με πολλές μεθόδους. Η επιλογή της μεθόδου έχει να κάνει με πολλές παραμέτρους όπως η τοποθεσία, οι ειδικές καταστάσεις κάθε περιοχής, η διαθεσιμότητα της ενέργειας, η προέλευση του νερού (αλμυρό ή υφάλμυρο) κ.τ.λ.. Γενικά δε γίνεται να βγει ένα συμπέρασμα για το ποια μέθοδος αφαλάτωσης είναι η βέλτιστη. Η κάθε μέθοδος μπορεί να αξιολογηθεί μόνο με βάση τις δεδομένες απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος. Η “βέλτιστη” μέθοδος είναι σε κάθε περίπτωση αυτή που παράγει αξιόπιστα τη ζητούμενη ποσότητα νερού στην αναμενόμενη ποιότητα και με ένα αποδεκτό κόστος. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες μέθοδοι απαιτούν μια προεργασία με χημικά στο νερό που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία αλάτων, η διάβρωση, η γήρανση και η γενικότερη δυσλειτουργία του εξοπλισμού. Σε κάποιες από τις διαδικασίες απαιτείται και η χημική επεξεργασία του νερού μετά το τέλος της αφαλάτωσης.

Η αφαλάτωση φαντάζει ως η μοναδική λύση για ουσιαστική αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας σε παγκόσμιο επίπεδο.

3 Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

3.1 Τι είναι η αφαλάτωση

Η αφαλάτωση όπως μαρτυρά και η ετυμολογία της λέξης (από+άλας) είναι η διεργασία αποχωρισμού αλάτων και νερού από υδατικά διαλύματα. Χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή καθαρού νερού για κάθε χρήση, οικιακή, ως πόσιμο νερό, βιομηχανική και αγροτική. Για την αφαλάτωση χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι οι οποίες είτε απομακρύνουν τα άλατα από το νερό ή το νερό από τα άλατα. Το κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι πάντοτε κατά πολύ μεγαλύτερο από το κόστος του φυσικού νερού το οποίο μεταφέρεται από μια πηγή σε σχετικά μέτρια χιλιομετρική απόσταση. Κατάλληλο ως πόσιμο νερό θεωρείται αυτό που περιέχει λιγότερα από 500 ppm (μέρη στο εκατομμύριο) ολικά διαλυτά στερεά. Υφάλμυρο θεωρείται το νερό στο οποίο τα ολικά διαλυτά στερεά είναι μέχρι 10.000 ppm, ενώ το θαλασσινό νερό περιέχει από 10.000 μέχρι και περίπου 42.000 ppm.

Ενδεικτικά να αναφερθεί πως στη Νεκρά Θάλασσα τα ολικά διαλυτά στερεά αγγίζουν τα 220.000 ppm. (Delyianni E. and B. Belessiotis, 1995)

3.2 Η χρήση της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο

Η διαδικασία της αφαλάτωσης απαιτεί σημαντικές ποσότητες ενέργειας ώστε να διαχωριστούν τα άλατα από το νερό. Γεγονός πολύ σημαντικό καθώς είναι ένα διαρκές κόστος, το οποίο, αν εξαιρέσουμε τις χώρες που είναι πλούσιες σε κοιτάσματα πετρελαίου, λίγες μόνο από τις χώρες που έχουν ανάγκη σε πόσιμο νερό μπορούν να αντέξουν. Βέβαια, οι σύγχρονες μέθοδοι αφαλάτωσης μπορεί να εξελίσσονται διαρκώς τα τελευταία χρόνια λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης, αλλά η πρακτική δεν είναι σημερινή.

Η διαδικασία αφαλάτωσης μέσω εξάτμισης ήταν γνωστή στην αρχαία Ελλάδα, οι ναυτικοί της οποίας χρησιμοποιούσαν στα μεγάλα ταξίδια τους μικρές συσκευές απόσταξης θαλασσινού νερού, ενώ το 350 π.χ. είχε μελετηθεί πειραματικά από τον Αριστοτέλη. Τον 16^ο αιώνα οι Ευρωπαίοι Θαλασσοπόροι μεταφέρουν στα πλοία τους, μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν μόνο σε περίπτωση ανάγκης. Το 1850 ο Αμερικανός μηχανικός Norbert Rillieux αναπτύσσει μεθόδους απόσταξης της ζάχαρης που ελαττώνουν τις απαιτήσεις ενέργειας κατά 80%, οι οποίες στα τέλη του 19ου αιώνα αρχίζουν να εφαρμόζονται και στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Το 1950 η Αμερικανική κυβέρνηση δημιουργεί ειδική υπηρεσία (OSW-Office of Saline Water) και χρηματοδοτεί τις έρευνες για την αφαλάτωση ενώ αρχίζουν οι πρώτες σύγχρονες εφαρμογές θερμικής αφαλάτωσης σε χώρες της Μέσης Ανατολής.

Το 1960 ξεκινούν στο πανεπιστήμιο UCLA της Καλιφόρνια τα πρώτα πειράματα στην Αντίστροφη Όσμωση με την κατασκευή των πρώτων μεμβρανών από τους ερευνητές, Sydney Loeb και Shrinivasa Sourirajan. Το 1965 κατασκευάζεται η πρώτη πειραματική μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με τη μέθοδο της Αντίστροφης Όσμωσης.

Στα τέλη της δεκαετίας του '70 ο ερευνητής John Cadotte συνεργάτης του America's Midwest Research Institute και της Film Tec Corporation εφευρίσκει μια εξαιρετικά βελτιωμένη μεμβράνη η χρήση της οποίας γενικεύεται τα επόμενα χρόνια. Την περίοδο 1990-2003 πραγματοποιείται σημαντική τεχνολογική πρόοδος στην αντίστροφη όσμωση με αποτέλεσμα τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας, της ποιότητας του νερού και κυρίως τη μείωση του κόστους αφαλάτωσης (κατά 3 φορές).

Το 2006 σε μελέτη που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Science γνωστοποιήθηκε η επιτυχής κατασκευή νανοσωλήνων άνθρακα (carbon-nanotube membrane) που μειώνουν το κόστος παραγωγής κατά 3-4 φορές, λόγω της χαμηλότερης πίεσης που απαιτείται. Η μέθοδος βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο και σύμφωνα με εκτιμήσεις θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανική κλίμακα τα επόμενα 6 με 8 χρόνια.

Αναφορές τόσο για την εξέλιξη της αφαλάτωσης όσο και για αυτή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δίνονται στη βιβλιογραφία. (Delyannis E., 2003)

Η αντιμετώπιση του προβλήματος της έλλειψης νερού συνδέεται με την επίλυση πολλών προβλημάτων και όχι μόνο με αυτά που συνδέονται με την αγροτική παραγωγή. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν από την προστασία του περιβάλλοντος και την παγκόσμια υπερθέρμανση μέχρι και τη σωστή τιμολόγηση των υδατικών πόρων και την ορθολογικότερη χρήση τους για άρδευση αλλά και βιομηχανική και οικιακή χρήση. Για το λόγο αυτό δε θα μπορούσε κάποιος να επιρρίψει την ευθύνη του προβλήματος αυτού στον αγροτικό τομέα, άλλα όλοι – διεθνείς οργανισμοί, κυβερνήσεις, τοπικές κοινωνίες – έχουν ευθύνες που τους αναλογούν.

Η **αφαλάτωση θαλάσσιου νερού** είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στη Μέση Ανατολή (εξαιτίας της εκτεταμένης ερημοποίησης) και στην Καραϊβική. Επιπλέον τα τελευταία χρόνια βρίσκει εφαρμογή και σε περιοχές όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Βόρεια Αφρική, η Σιγκαπούρη, η Ισπανία, η Αυστραλία και η Κίνα. Η **αφαλάτωση υφάλμυρου νερού** πραγματοποιείται κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες, λόγω συμφωνιών που έχουν υπογραφεί με την κυβέρνηση του Μεξικού σχετικά με την ποιότητα του νερού των ποταμών που εισέρχονται σε αυτό. Τέλος ορισμένες χώρες της Μέσης Ανατολής, με τεράστια ενεργειακά αποθέματα, παράγουν αφαλατωμένο νερό και για άρδευση. Ενδεικτικό είναι ότι οι μονάδες αφαλάτωσης της Σαουδικής Αραβίας καλύπτουν το 24% της παγκόσμιας παραγωγής. Η μεγαλύτερη μονάδα βρίσκεται στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, χρησιμοποιεί τη μέθοδο MSF (multi stage flash distillation) και παράγει 300 εκατομμύρια κυβικά μέτρα αφαλατωμένου νερού ετησίως.

3.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης

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

1. Μέθοδοι Εξάτμισης ή Θερμικές

- Πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF)
- Εξάτμιση με πολλαπλές βαθμίδες (Multi-Effect Evaporation ή Distillation - ME ή MED)
- Εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Mechanical Vapor Compression - MVC ή VC)
- Θερμική συμπίεση ατμών (Thermal Vapor Compression - TVC)

2. Μέθοδοι Μεμβρανών

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

3. Λοιπές μέθοδοι

- Ιοντοανταλλαγή.
- Νανόφιλτρα (carbon-nanotube membrane).
- Απόσταξη με μεμβράνες.
- Ηλιακή αεριοποίηση.
- Κρυστάλλωση.
- Γεωθερμική αφαλάτωση (Geothermal desalination).
- Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών (Solar humidification HDH, ΜΕΗ).

Όλες οι μέθοδοι απαιτούν μια χημική προ-επεξεργασία του εισερχόμενου νερού, προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία ιζήματος, ο αφρός, η διάβρωση, η ανάπτυξη και η επικάλυψη παθογόνων, αλλά και η επικάλυψη αλάτων στο κύκλωμα που διακινεί το νερό της τροφοδοσίας. Επίσης απαιτείται μια μετά-επεξεργασία, ώστε το αφαλατωμένο νερό να αποκτήσει τα χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού και γενικότερα να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα.

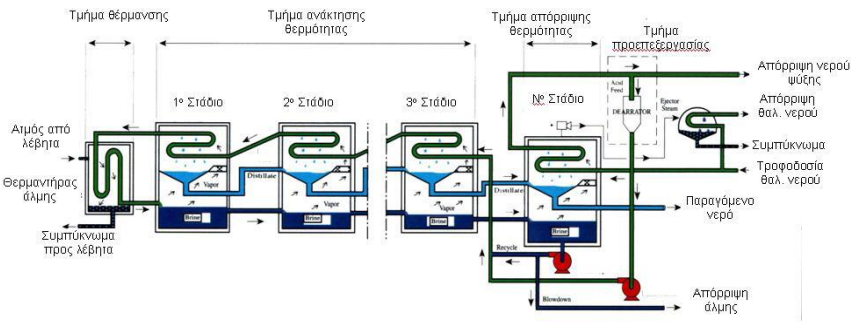
Διάφορα είδη μεθόδων αφαλάτωσης έχουν αναπτυχθεί. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Θερμικές διεργασίες ή διεργασίες αλλαγής φάσης (Phase Change or Thermal Processes)

Πηγές θερμικής ενέργειας, όπως ορυκτά καύσιμα, πυρηνική ενέργεια ή ηλιακή ενέργεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την **ατμοποίηση (evaporation)** του αλμυρού νερού, το οποίο στη συνέχεια υπόκειται σε **υγροποίηση (condensation)** παράγοντας φρέσκο νερό. Οι διεργασίες αλλαγής φάσης που περιγράφονται εδώ είναι οι multi-stage flash, multi-effect boiling και vapor compression.

- Η διαδικασία **Multi stage flash (MSF)**, αποτελείται από διάφορα στάδια. Είναι η πιο διαδεδομένη θερμική μέθοδος (93% των χρησιμοποιούμενων θερμικών εφαρμογών) και παράγει το 44% του αφαλατωμένου νερού στον κόσμο ανεξαρτήτως μεθόδου. (Rodriguez, L.G., 2003) Οι πρώτες εγκαταστάσεις εμφανίστηκαν στο τέλος της δεκαετίας του 1950. Είναι μέθοδος για μεγάλες και πολύ μεγάλες ποσότητες. Βασίζεται στη δημιουργία ατμού από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό λόγω της ξαφνικής μείωσης της πίεσης, όταν το νερό εισέρχεται σε έναν άδειο θάλαμο.

Σε κάθε στάδιο ο ατμός που έχει ήδη παραχθεί στο προηγούμενο, συμπυκνώνεται και προθερμαίνει το τροφοδοτικό νερό. Έτσι η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στη θερμή πηγή και το θαλασσινό νερό διαχωρίζεται σε έναν αριθμό επιμέρους σταδίων. Γι' αυτόν το λόγο το όλο σύστημα πλησιάζει έναν ιδεατό βαθμό ανάκτησης της λανθάνουσας θερμότητας. Η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί κλίσεις πίεσης σε διαφορετικά στάδια. Δηλαδή η ελάχιστη πίεση στο επόμενο στάδιο είναι μικρότερη από την ελάχιστη πίεση στο προηγούμενο στάδιο. Η Εικόνα 3.1 δείχνει ένα τέτοιο σύστημα.



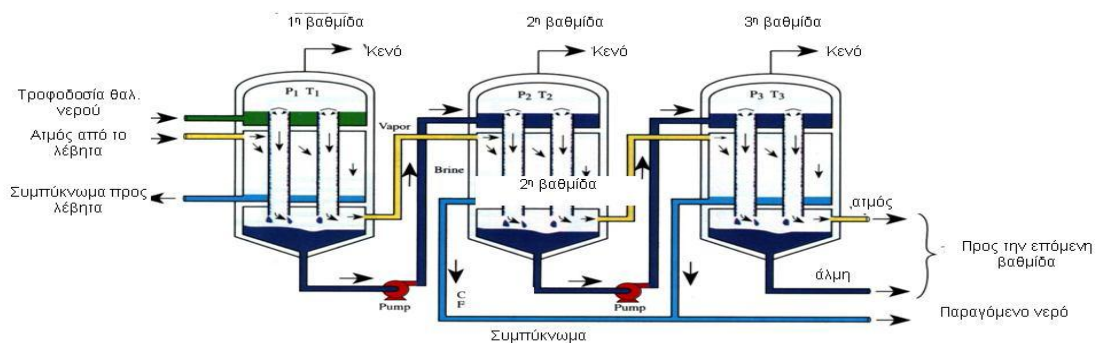
Εικόνα 3.1: Πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (Manolakos, D., 2008)

Το θαλασσινό νερό, προθερμασμένο στα διάφορα στάδια, εισέρχεται στον ηλιακό συλλέκτη, όπου θερμαίνεται κοντά στη θερμοκρασία κορεσμού στη μέγιστη πίεση λειτουργίας του συστήματος. Καθώς το νερό εισέρχεται στο πρώτο στάδιο, μέσω ενός στομίου, η πίεση του ελαττώνεται και υπερθερμαίνεται οπότε μεταπίπτει σε ατμό. Ο ατμός που παράγεται περνάει μέσα από ένα διαχωριστή για την απομάκρυνση σταγονιδίων άλμης και στη συνέχεια οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας όπου και συμπυκνώνεται. Η διεργασία αυτή επαναλαμβάνεται σε διάφορα στάδια.

- Η μέθοδος **Multiple effect evaporator (MED/ME)** ή **Multi-effect boiling (MEB)** αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων που καλούνται διεθνώς effects. Αποτελεί την πρώτη μέθοδο αφαλάτωσης. Χρησιμοποιήθηκε στη χημική βιομηχανία σχεδόν από την εποχή που ανακαλύφθηκε ο ατμός και η πρώτη εγκατάσταση στο έδαφος έγινε το 1910.

Είναι μέθοδος απλή, για κατασκευές με μικρές ως μεσαίες παροχές, γι' αυτό χρησιμοποιείται σε μικρότερη κλίμακα απ' ότι η MSF αν και έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Τα εξατμιστήρια πολλαπλών βαθμίδων αποτελούνται από μια δέσμη σωλήνων ή θύσανο σωλήνων με οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη και από ένα περίβλημα ή κέλυφος που περιβάλλει τους σωλήνες. (Delyianni E. and B. Belessiotis, 1995) Στη μέθοδο αυτή οι ατμοί δημιουργούνται λόγω της απορρόφησης της θερμικής ενέργειας από το αλμυρό νερό. Ο ατμός που δημιουργείται σε μια βαθμίδα θερμαίνει το αλατώδες διάλυμα στην επόμενη βαθμίδα επειδή η τελευταία είναι σε χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση, το οποίο ενώ συμπυκνώνεται προκαλεί εξάτμιση ενός μέρους του διαλύματος. Ο παραγόμενος ατμός κατευθύνεται στην επόμενη βαθμίδα, όπου καθώς συμπυκνώνεται προκαλεί την εξάτμιση του άλλου διαλύματος κ.ο.κ. Για να καταστεί εφικτή αυτή η διαδικασία πρέπει η θερμαινόμενη βαθμίδα να διατηρείται σε πίεση χαμηλότερη από αυτή της βαθμίδας από την οποία ο θερμαινόμενος ατμός προέρχεται. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εξαρτάται από τον αριθμό των βαθμίδων. Τα εργοστάσια που στηρίζονται σε αυτή τη μέθοδο αφαλάτωσης χρησιμοποιούν εξωτερική παροχή ατμού θερμοκρασίας γύρω στους 70°C.

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 3.2. (Kalogirou S.A., 2005)

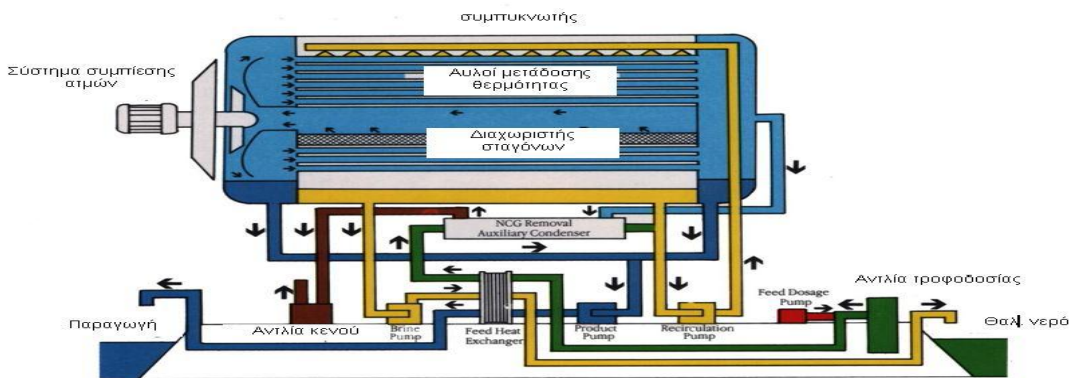


Εικόνα 3.2: Εξάτμιση με πολλαπλές βαθμίδες (Manolakos, D., 2008)

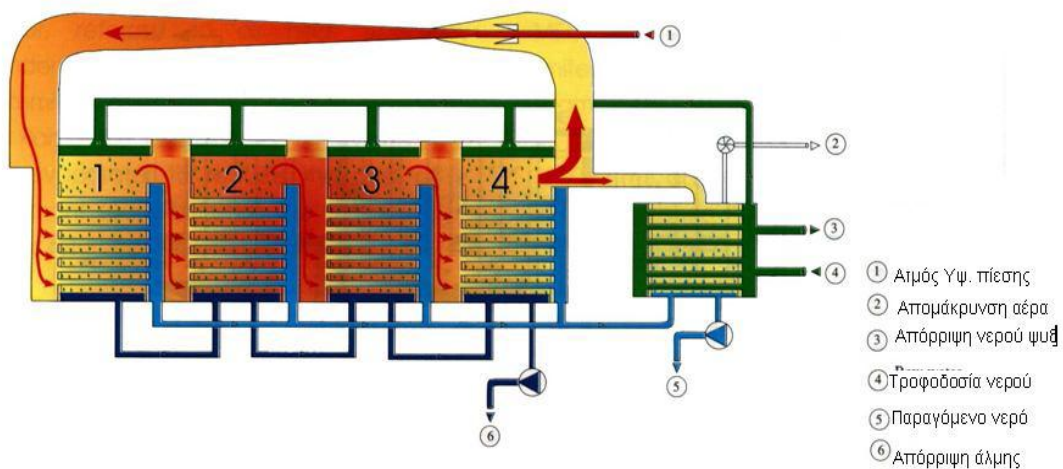
- Η μέθοδος **Vapor compression evaporation (VC)**

Χρησιμοποιείται σε βιομηχανική κλίμακα από το 1930 και η πρώτη εφαρμογή της μεθόδου στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού για κοινοτική χρήση έγινε τη δεκαετία του 1950. Κατασκευάζονται σε μικρές χωρητικότητες.

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται εξατμιστήρια πολλαπλών βαθμίδων. Αφού ο αρχικός ατμός δημιουργηθεί από το αλατώδες διάλυμα, συμπιέζεται θερμικά ή μηχανικά ώστε να δημιουργήσει πρόσθετη παραγωγή. Σε ένα εργοστάσιο επανασυμπίεσης ατμών η ανάκτηση της θερμότητας βασίζεται στην αύξηση της πίεσης του ατμού από ένα στάδιο με τη βοήθεια συμπιεστή. Η θερμοκρασία συμπύκνωσης αυξάνει τότε και ο ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ενέργειας στη φάση από την οποία προήλθε ή σε άλλες. Όπως σε ένα συμβατικό σύστημα εξάτμισης με πολλαπλές βαθμίδες (MED) ο ατμός που παράγεται στην πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της επόμενης, η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση. Ο ατμός που παράγεται στην τελευταία βαθμίδα διοχετεύεται σε ένα συμπιεστή ατμών, όπου συμπιέζεται και η θερμοκρασία κορεσμού αυξάνει πριν επιστραφεί στην πρώτη βαθμίδα. Ο συμπιεστής αποτελεί την κύρια εισροή ενέργειας στο σύστημα και αν η λανθάνουσα θερμότητα ανακυκλώνεται αποκλειστικά στο εργοστάσιο, η διαδικασία μπορεί να δώσει υψηλούς συντελεστές απόδοσης. Διακρίνονται σε μηχανικές μεθόδους επανασυμπίεσης (Εικόνα 3.3) και σε θερμικές μεθόδους επανασυμπίεσης ατμών (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.3: Μηχανική εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Manolakos, D., 2008)



Εικόνα 3.4: Θερμική εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Manolakos, D., 2008)

- **Η Θερμική συμπίεση ατμών (Thermal Vapor Compression - TVC)**

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

- 2. **Διεργασίες μονής φάσης ή διεργασίες με μεμβράνες (Single Phase or Membrane Processes)**

Οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν παραπάνω έχουν ως θεμελιώδη αρχή την αλλαγή φάσης του διαλύματος. Υπάρχουν όμως και μέθοδοι στις οποίες δεν παρατηρείται καμμία αλλαγή φάσης αλλά στηρίζονται στη χρήση μεμβρανών και οι οποίες είναι η αντίστροφη ώσμωση και η ηλεκτροδιάλυση.

Οι διεργασίες που απαιτούν ηλεκτρισμό ή μηχανική δύναμη για την αφαλάτωση περιλαμβάνουν:

- **Την αντίστροφη όσμωση ή reverse osmosis (RO)**

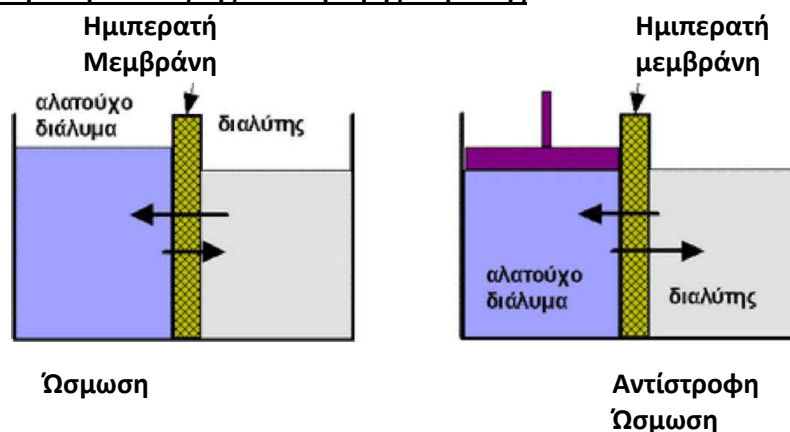
Η αντίστροφη ώσμωση αφορά στο 88% των μεθόδων που χρησιμοποιούν μεμβράνες και στο 42% της παγκόσμιας παραγωγής αφαλατωμένου νερού (Rodriguez, L.G., 2003) και χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια. Εφαρμόστηκε γύρω στο 1960, αρχικά μόνο για την αφαλάτωση υφάλμυρων υδάτων. Από το 1970, έπειτα από τη βελτίωση των ημιπερατών μεμβρανών, ξεκίνησε η εφαρμογή της σε βιομηχανική κλίμακα για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης αποτελεί την πλέον διαδεδομένη, αξιόπιστη και οικονομική τεχνολογία για την παραγωγή υψηλής ποιότητας νερού ύδρευσης.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου στηρίζεται σε αντιστροφή του φυσικού φαινομένου της όσμωσης. Φυσιολογικά, όταν δυο υγρά με διαφορετική πυκνότητα (περιεκτικότητα σε άλατα) έρθουν σε επαφή, τότε το υγρό με τη μικρότερη πυκνότητα, μετατοπίζεται προς το υγρό με την υψηλότερη πυκνότητα, μέχρι να υπάρξει ισορροπία (το όλο μείγμα να αποκτήσει την ίδια πυκνότητα). Αυτή η ιδιότητα ονομάζεται **Διάχυση**. Όταν όμως μεταξύ των δυο υγρών παρεμβληθεί μια ημιπερατή μεμβράνη, τότε εμποδίζεται η διέλευση των αλάτων, αλλά όχι και του νερού (διαλύτης) που διέρχεται ελεύθερα στο αλατούχο διάλυμα. Η οσμωτική ροή από το αραιότερο προς το πυκνότερο υγρό συνεχίζεται, μέχρι να επιτευχθεί μια κατάσταση ισορροπίας, η οποία χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του αλατούχου διαλύματος (η διαφορά της στάθμης των διαλυμάτων αντιστοιχεί στην οσμωτική πίεση). Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται **Όσμωση**.

Αν όμως ασκηθεί πίεση στο αλατούχο διάλυμα, υψηλότερη της οσμωτικής, τότε η ροή αντιστρέφεται και έχουμε έξοδο καθαρού νερού από το αλατούχο διάλυμα προς το διαλύτη. Αυτό ονομάζεται **Αντίστροφη Όσμωση**.

Όσμωση και μέθοδος της Αντίστροφης Όσμωσης



Πηγή: ΕΜΠ

Στις σύγχρονες εφαρμογές αφαλάτωσης η διαδικασία Αντίστροφης Όσμωσης είναι αυτοματοποιημένη με μία αντλία υψηλής πίεσης να διοχετεύει συνεχώς θαλασσινό νερό σε μεμβράνες που βρίσκονται μέσα σε ένα δοχείο υψηλής πίεσης (high pressure vessel). Το διάλυμα τροφοδοσίας (feed water) διαχωρίζεται στο Διήθημα (καθαρό νερό) που διέρχεται από τις μεμβράνες (permeate water) και στο απορριπτόμενο διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης αλάτων, την άλμη ή αλμόλοιπο (brine).

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

- ◆ Μεγάλη απόρριψη αλάτων με υψηλή διαπερατότητα διαλύτη.
- ◆ Ικανότητα να σχηματίζει λεπτά διαχωριστικά στρώματα μεγάλης αντοχής.
- ◆ Ικανότητα κατασκευής με 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 και τον τρόπο χρήσης και καθαρισμού.
- ◆ Μεγάλη αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια και βιολογικές επιθέσεις.
- ◆ Ικανότητα λειτουργίας σε μεγάλο εύρος pH.
- ◆ Χαμηλό κόστος.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης:

- ◆ Οι ασύμμετρες μεμβράνες &
- ◆ οι σύνθετες μεμβράνες.

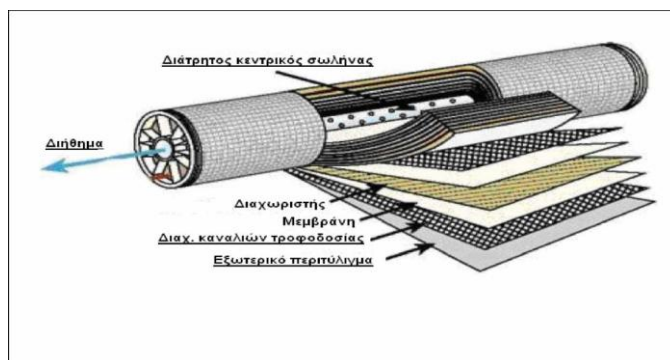
Οι μεμβράνες αποτελούνται από δύο διακεκριμένες στοιβάδες, τον υμένα (skin), που είναι το δραστικό τμήμα της μεμβράνης για το διαχωρισμό του νερού από τα διαλυμένα ή αιωρούμενα συστατικά και από ένα λεπτό στρώμα πορώδους υλικού το οποίο είναι περατό τόσο από το νερό όσο και από τα υπόλοιπα συστατικά που περιέχονται σε αυτό. Οι μεμβράνες κατασκευάζονται από οργανικές πολυμερείς ενώσεις και είναι τόσο λεπτές και εύθραυστες, ώστε απαιτείται η μορφοποίησή τους (με τη βοήθεια διαφόρων στηριγμάτων), σε μονάδες οι οποίες ονομάζονται στοιχεία μεμβρανών (modules). Οι τέσσερις βασικοί τύποι στοιχείων είναι τα στοιχεία μεμβρανών ελικοειδούς περιέλιξης (spiral wound module), τα στοιχεία κοίλων ινών (hollow fiber module), τα σωληνοειδή στοιχεία (tubular module) και τα δισκοειδή στοιχεία (Platte and frame modules) με τους δύο πρώτους τύπους να έχουν ευρύτατη εφαρμογή στην αφαλάτωση.

Μεταξύ των μεμβρανών υπάρχει ένας **διαχωριστής** από πορώδες υλικό (συνήθως πλέγμα Pet-Dacron εμποτισμένο με ρητίνες), το οποίο εμποδίζει την ένωσή τους (λόγω της υψηλής πίεσης) και διευκολύνει την ομοιόμορφη ροή του καθαρού νερού μεταξύ των μεμβρανών. Οι δύο άκρες των μεμβρανών του ανοικτού τμήματος προσκολλώνται σε ένα **κεντρικό διάτρητο σωλήνα** από όπου απομακρύνεται το καθαρό νερό (**διήθημα**).

Συνήθως στον κεντρικό διάτρητο σωλήνα τυλίγονται σε μορφή κυλίνδρου, 26 φάκελοι μεμβρανών με διαχωριστές (σάντουιτς) που χωρίζονται μεταξύ τους από τα πλαστικά **πλέγματα διαχωρισμού των καναλιών τροφοδοσίας της άλμης**. Τα στοιχεία αυτά των μεμβρανών έχουν συνήθως μήκος 30,5 έως 152 cm με διάμετρο 5,1 έως 30,5 cm.

Δύο έως και έξι στοιχεία μεμβρανών τοποθετούνται εν σειρά σε ένα κυλινδρικό σωλήνα πίεσης, από ειδικό πλαστικό ή μέταλλο σχηματίζοντας ένα στοιχείο αντίστροφης όσμωσης με συνηθέστερο μήκος 6,1 m (240 inch).

Δομή Στοιχείου Μεμβρανών Αντίστροφης Όσμωσης



Πηγή: *Lenntech BV*.

Οι μεμβράνες της οξικής κυτταρίνης έχουν γενικά μικρότερο κόστος, συνήθως έως 30% για το ίδιο μέγεθος, σε σύγκριση με τις σύνθετες λεπτού υμένα και είναι επιπλέον ανθεκτικές στη χλωρίωση. Παρουσιάζουν όμως ορισμένα μειονεκτήματα όπως π.χ.: βιολογική αποσάθρωση (biodegradation) η οποία είναι αποτέλεσμα της συσσώρευσης και της προσβολής της μεμβράνης από τα διάφορα μικρόβια τα οποία περιέχονται στο νερό τροφοδότησης.

Η αποσάθρωση αποφεύγεται με τη διαρκή χλωρίωση του νερού τροφοδότησης. Αντέχουν σε θερμοκρασίες έως 35°C. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες υφίσταται ισχυρή συμπίεση των πόρων τους, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η απόδοσή τους, ενώ υδρολύονται από τα οξέα ή τα αλκάλια του νερού ή του διαλύματος.

Παραγωγική διαδικασία

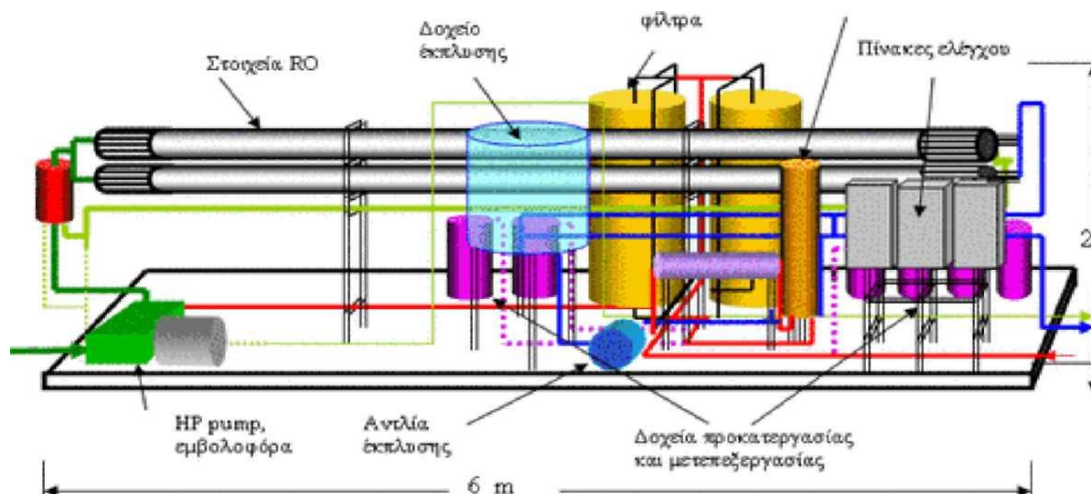
Μια τυπική Μονάδα Αφαλάτωσης περιλαμβάνει:

- ◆ Υποθαλάσσιους αγωγούς μεταφοράς θαλάσσιου νερού στη μονάδα και αγωγούς απόρριψης αλμολοιπού στη θάλασσα.
- ◆ Αντλιοστάσιο θαλάσσιου νερού.
- ◆ Χερσαίους αγωγούς μεταφοράς νερού και αλμολοιπού.
- ◆ Εργοστάσιο Αφαλάτωσης
 - Προεπεξεργασία
 - Αντίστροφη Όσμωση
 - Τελική επεξεργασία
- ◆ Χερσαίους Αγωγούς μεταφοράς πόσιμου νερού σε δεξαμενές ή στους καταναλωτές.

Το νερό αντλείται από απόσταση 300-1000 μέτρων από την ακτή (η απόσταση εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας και τις ιδιαιτερότητες της περιοχής) και μέσω υποθαλάσσιου αγωγού καταλήγει στο αντλιοστάσιο που βρίσκεται στην παραλία. Στη συνέχεια αφού αφαιρεθούν οι στερεές ουσίες (μέσω πυκνών πλεγμάτων) διοχετεύονται στη μονάδα αφαλάτωσης που βρίσκεται μερικές εκατοντάδες μέτρα από την ακτή. Εκεί πραγματοποιείται η αφαλάτωση που περιλαμβάνει 3 στάδια, την **προεπεξεργασία**, την **αντίστροφη όσμωση** και το **τελικό στάδιο επεξεργασίας**.

Στο σχηματικό Διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η λειτουργία μίας πλήρους μονάδας Αντίστροφης Όσμωσης.

Τρισδιάστατη απεικόνιση μικρής μονάδας Αντίστροφης Όσμωσης



Πηγή: ΕΜΠ

Α. Η Προ-κατεργασία του θαλασσινού νερού

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

- ♦ επικαθίσεις αλάτων,
- ♦ μόλυνση μεμβρανών,
- ♦ αποικοδόμηση μεμβρανών.

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

- ♦ κατασκευή των μεμβρανών,
- ♦ διαμόρφωση των μεμβρανών,
- ♦ προέλευση του αλατούχου διαλύματος προς αφαλάτωση,
- ♦ χημική και μακροσκοπική σύσταση του διαλύματος τροφοδοσίας,
- ♦ ποιότητα παραγόμενου νερού,
- ♦ ποσοστό ανάκτησης νερού.

Το σύστημα προ-κατεργασίας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

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

Θρόμβωση – Κροκίδωση: Για χρησιμοποιούμενο νερό με υψηλό ποσοστό αιωρούμενων στερεών, χρησιμοποιούνται ουσίες που προκαλούν τη συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών και τελικά το διαχωρισμό τους από το νερό προς επεξεργασία σε επόμενο στάδιο. Τα συσσωματώματα ή γενικώς τα αιωρούμενα στερεά διέρχονται από δύο είδη φίλτρων. Τα φίλτρα άμμου, που περιλαμβάνουν στρώσεις από αδρανή υλικά διαφορετικού μεγέθους και από τα φίλτρα φυσιγγίων όπου συγκρατούνται όλα τα αιωρούμενα στερεά μεγέθους μεγαλύτερου των 1 – 5 μm.

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

- χαλαζιακά μικρά χαλίκια,
- αδρανή πυριτική άμμο,
- ανθρακίτη.

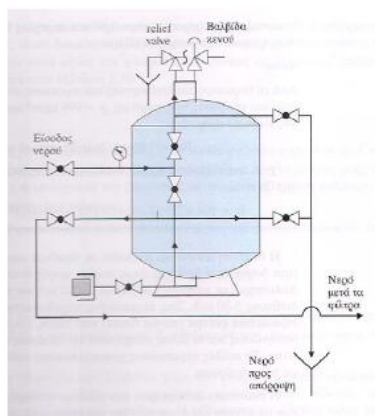
Η πυκνότητα αυτών των υλικών είναι τέτοια ώστε διατηρείται η διαστρωμάτωσή τους ακόμα και σε ισχυρές αναδεύσεις λόγω μεγάλης ταχύτητας του διερχόμενου θαλασσινού νερού.

Ο καθαρισμός του νερού επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

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

Τα φίλτρα περιλαμβάνουν τις κατάλληλες σωληνώσεις και βάνες ώστε να είναι δυνατή η έκπλυσή τους.

Η μορφή και η συνδεσμολογία ενός τέτοιου φίλτρου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 3.5).

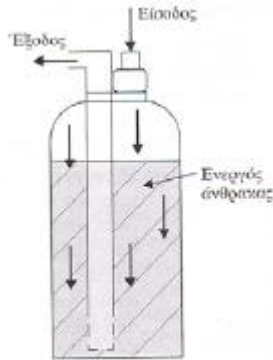


Εικόνα: 3.5: Πολυστρωματικά φίλτρα

Αποχλωρίωση: Το υπολειπόμενο χλώριο που έχει χρησιμοποιηθεί εάν φτάσει στις μεμβράνες θα τις καταστρέψει. Έτσι θα πρέπει να υπάρχει στάδιο αποχλωρίωσης. Με δοσομετρική αντλία τροφοδοτούμε το νερό με αναγωγικά μέσα κατάλληλης δοσολογίας ώστε να μην υπάρχει καμία περίπτωση να παραμείνει χλώριο στο διάλυμα.

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

Η λειτουργία ενός απλού φίλτρου άνθρακα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 3.6):

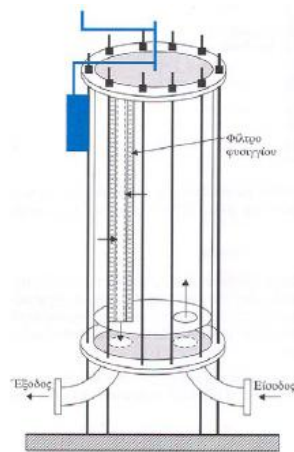


Εικόνα 3.6: Φίλτρο ενεργού άνθρακα

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

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

Φίλτρο φυσιγγίων: Για την ολοκλήρωση της προ-κατεργασίας, η θάλασσα διέρχεται από τα φίλτρα φυσιγγίων. Ο αριθμός και οι διαστάσεις των φυσιγγίων που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από την παροχή της θάλασσας. Γενικά χρησιμοποιούνται φίλτρα από πολυμερές υλικό. Το δοχείο στο οποίο τοποθετούνται τα φυσιγγία θα πρέπει να είναι από ανοξείδωτο υλικό ή κατάλληλο πολυμερές ή χάλυβα επενδυμένο εσωτερικά με κατάλληλη επίστρωση ανθεκτική στη διάβρωση. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 3.7) φαίνεται ένα τέτοιο φίλτρο φυσιγγίων.



Εικόνα 3.7: Φίλτρο φυσιγγίων

B. Το κυρίως σύστημα της αφαλάτωσης

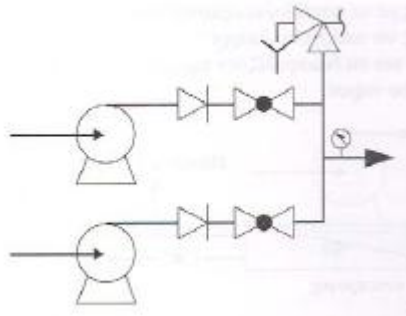
Το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης περιλαμβάνει τα εξής τμήματα:

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

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

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

Η συνδεσμολογία των αντλιών χαμηλής πίεσης και τα εξαρτήματα που απαιτούνται φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8: Αντλίες χαμηλής πίεσης

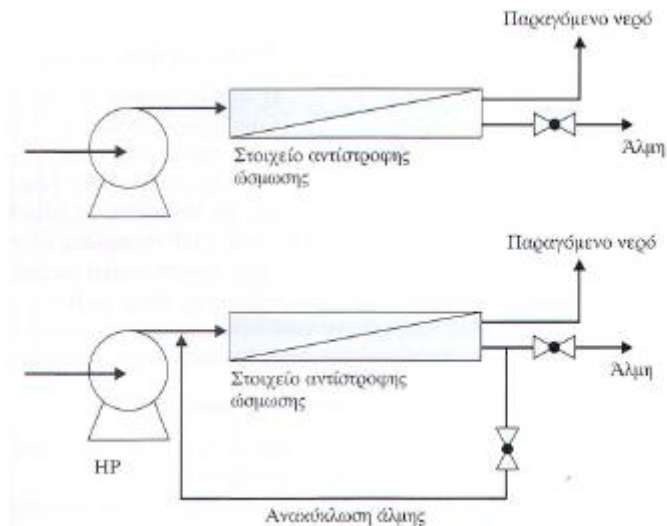
Αντλία υψηλής πίεσης: Η αντλία υψηλής πίεσης είναι εμβολοφόρα αντλία με τρία ή περισσότερα έμβολα, κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα και ειδικό κεραμικό υλικό για μείωση του βάρους της. Χρησιμοποιούνται επίσης και πολυβάθμιες περιστροφικές αντλίες στη σειρά από κατάλληλο υλικό.

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

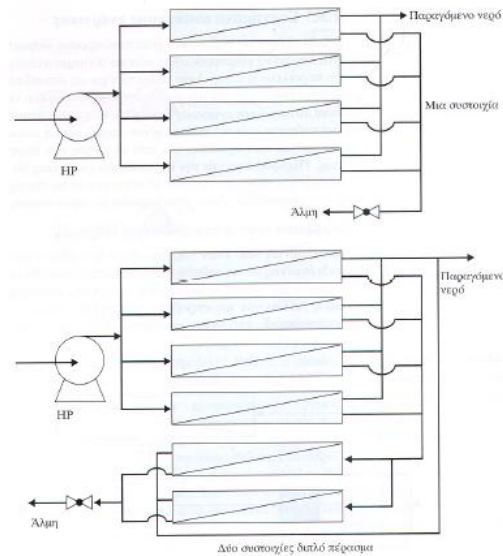
Στοιχεία αντίστροφης όσμωσης: Αποτελούνται από ειδικά δοχεία πίεσης εντός των οποίων τοποθετούνται σε σειρά 1 – 7 στοιχεία μεμβρανών. Ο έλεγχος της ποιότητας παραγωγής κάθε μεμβράνης γίνεται με ειδικό σωλήνα που τοποθετείται εσωτερικά των μεμβρανών στο σωλήνα παραγόμενου νερού.

Κάθε σύστημα αφαλάτωσης μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στοιχεία αντίστροφης όσμωσης (δοχείο πίεσης και στοιχεία μεμβρανών) διαταγμένα παράλληλα σχηματίζοντας μία ή περισσότερες συστοιχίες. Το νερό προς κατεργασία εισέρχεται σε κάθε στοιχείο αντίστροφης όσμωσης από το ένα άκρο, ενώ από το άλλο άκρο εξέρχονται το καθαρό νερό και η άλμη. Εάν επιθυμούμε μεγαλύτερη ανάκτηση ή άλμη μπορεί να ανακυκλώνεται ή να χρησιμοποιηθεί δεύτερο πέρασμα σε άλλη συστοιχία στοιχείων αντίστροφης όσμωσης. Η πίεση λειτουργίας μπορεί να καθορίζεται από βάνια που υπάρχει στην έξοδο της άλμης.

Διάφορες διαμορφώσεις του κυρίως συστήματος αφαλάτωσης με διάφορους λόγους ανάκτησης και ποιότητας παραγόμενου νερού, φαίνονται στα παρακάτω σχήματα (Εικόνες 3.9 & 3.10):.



Εικόνα 3.9: Σύστημα αφαλάτωσης με ένα στοιχείο αντίστροφης όσμωσης



Εικόνα 3.10: Απλό και διπλό πέρασμα συστήματος αφαλάτωσης

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

Γ. Η Μετεπεξεργασία

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

Το σύστημα μετεπεξεργασίας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

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

Ρύθμιση σκληρότητας: Η αύξηση της σκληρότητας μπορεί να γίνει με προσθήκη μέσω δοσομετρικής αντλίας CaCl₂ και MgCl₂ ή διαβίβαση του νερού μέσα από ειδικές στήλες που περιέχουν ορυκτό Calcite, που περιλαμβάνει άλατα μαγνησίου και ασβεστίου. Η δεύτερη λύση κρίνεται πλέον ικανοποιητική διότι με την αύξηση της σκληρότητας δεν αυξάνεται η συγκέντρωση ιόντων χλωρίου.

Χλωρίωση: Η χλωρίωση του νερού γίνεται με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου.

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

❖ Απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων

Η αντίστροφη όσμωση μπορεί να απομακρύνει σταθερά και αποτελεσματικά τα διαλυμένα άλατα, τις διαλυμένες οργανικές ουσίες, τα μικροσκοπικά σωματίδια (ζωντανά και νεκρά μικρόβια και πολλά άλλα μικροσκοπικά σωματίδια) από το νερό. Συνεπώς, είναι ιδανική για ένα μεγάλο τομέα εφαρμογών από την παραγωγή πεντακάθαρου νερού έως την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

❖ Τεχνική διαχωρισμού για εξοικονόμηση ενέργειας

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

❖ Εύχρηστη ως μέθοδος συγκέντρωσης και αποκατάστασης

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

❖ Συμπαγής εξοπλισμός

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

❖ Απλός χειρισμός και έλεγχος

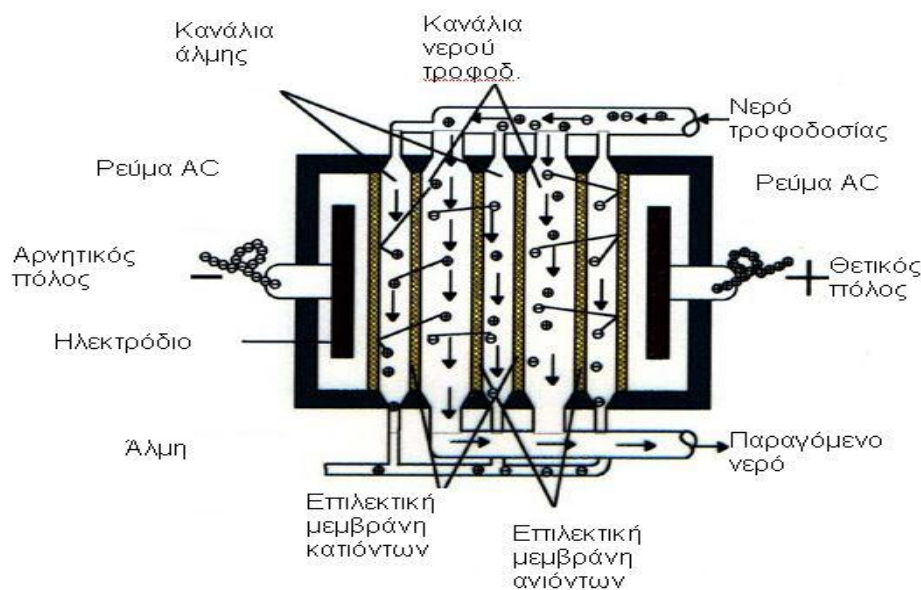
Η αντίστροφη όσμωση είναι απλή διαδικασία, χωρίς περίπλοκο χειρισμό και έλεγχο, ενώ η συντήρηση γίνεται εύκολα και χωρίς προβλήματα.

Το τελικό κόστος του παραγόμενου νερού κάθε μονάδας επηρεάζεται από τοπικούς παράγοντες όπως η ποιότητα νερού, η αξία της Kwh, το κόστος χημικών, το κόστος μεταφοράς νερού, τα επιτόκια, το κόστος εργασίας, κ.λ.π..

• Η μέθοδος της **Ηλεκτροδιάλυσης (Electrodialysis - ED)**.

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια. Εμφανίστηκε σε βιομηχανική κλίμακα γύρω στο 1960. Η ηλεκτροδιάλυση είναι μια ηλεκτροχημική μέθοδος διαχωρισμού, στην οποία τα ιόντα μεταφέρονται μέσα από μεμβράνες από την πλευρά όπου το διάλυμα έχει τη μικρότερη συγκέντρωση ιόντων σε αυτή με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση και με την

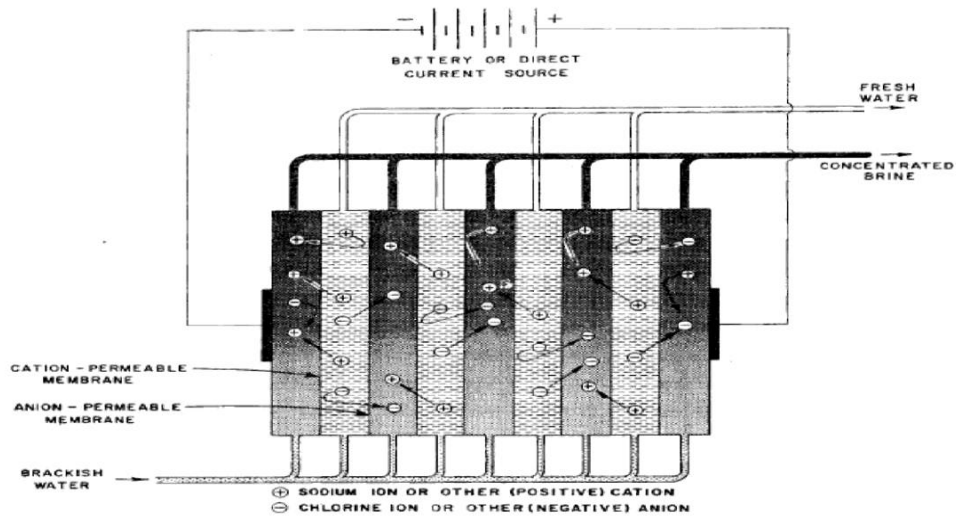
εφαρμογή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος (Delyianni, E. and B. Belessiotis, 1995). Η μέθοδος χρησιμοποιεί συνεχές ηλεκτρικό πεδίο ώστε να απομακρύνει τα ιόντα αλάτων στο υφάλμυρο νερό (Εικόνα 3.11). Το νερό τροφοδοσίας περιέχει διαλυμένα άλατα τα οποία είναι χωρισμένα σε θετικά φορτισμένο νάτριο (Na^+) και αρνητικά φορτισμένα χλωριούχα ιόντα (Cl^-). Αυτά τα ιόντα θα κινηθούν προς ένα αντίθετα φορτισμένο ηλεκτρόδιο εμβαπτισμένο στο διάλυμα, ήτοι τα θετικά ιόντα (κατιόντα) θα πάνε στο αρνητικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) και τα αρνητικά ιόντα (ανιόντα) στο θετικό ηλεκτρόδιο (άνοδος). Αν ειδικές μεμβράνες, εναλλασσόμενα περατές από τα ανιόντα και τα κατιόντα, χωρίσουν τα ηλεκτρόδια, το κεντρικό κενό ανάμεσα από αυτές τις μεμβράνες θα εξαντληθεί από άλατα. Στην πράξη, ένας μεγάλος αριθμός μεμβρανών εναλλακτικά κατιόντων και ανιόντων, στοιβάζονται μαζί, χωρισμένες από πλαστικά διαστήματα ροής που επιτρέπουν τη διέλευση του νερού. Τα ρεύματα των εναλλασσόμενων διαστημάτων ροής είναι μια ακολουθία διαλυμένου και συγκεντρωμένου νερού που ρέουν παράλληλα το ένα στο άλλο. Για να αποφευχθεί το ξεφλούδισμα χρησιμοποιούνται εναλλάκτες και αντιστρέφουν την πολικότητα του ηλεκτρικού πεδίου κάθε είκοσι λεπτά περίπου. Καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος είναι ανάλογες της αλατότητας του νερού, η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης εφαρμόζεται κυρίως σε αφαλάτωση νερού με συνολικά διαλυτά στερεά της τάξης των 6.000 ppm. Παρομοίως, λόγω της χαμηλής αγωγιμότητας η οποία αυξάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις για πολύ καθαρό νερό, η διαδικασία δεν ενδείκνυται για νερό με περιεχόμενα διαλυτά στερεά λιγότερα των 400 ppm (Burgos, O.K., 2000).



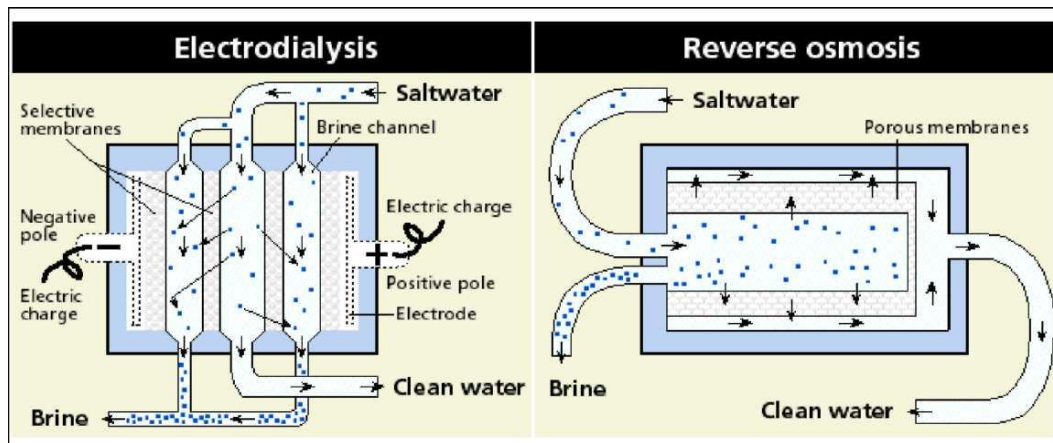
Εικόνα 3.11: Ηλεκτροδιάλυση (Manolakos, D., 2008)

- Η μέθοδος της **ηλεκτρόλυσης (Electro dialysis reversal, EDR)** (Εικόνα 3.12), στηρίζεται στη διαδικασία κατά την οποία η μείωση της αλατότητας του θαλάσσιου νερού πραγματοποιείται μεταφέροντας ιόντα από το θαλάσσιο νερό, μέσω μιας μεμβράνης, υπό την επίδραση διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού. Η διεργασία αυτή συνδυάζει ένα ηλεκτρικά φορτισμένο κελί και μία ημιπερατή μεμβράνη για την αφαλάτωση του νερού. Τα άλατα παρουσιάζονται στο αλμυρό νερό με τη μορφή ιόντων. Τα θετικά φορτισμένα καλούνται κατιόντα και τα αρνητικά φορτισμένα ανιόντα. Καθώς λοιπόν το νερό περνάει μέσα από το κελί ηλεκτρόλυσης, τα κατιόντα έλκονται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο και τα ανιόντα από το θετικό. Μεμβράνες περατές από κατιόντα επιτρέπουν τη διέλευση μόνο των κατιόντων όπως το ασβέστιο. Μεμβράνες περατές από ανιόντα επιτρέπουν τη διέλευση μόνο των ανιόντων όπως το χλώριο και το θείο. Στην πράξη βέβαια χρησιμοποιείται ένας μεγάλος

αριθμός μεμβρανών μεταξύ των ηλεκτροδίων, σχηματίζοντας έναν αριθμό τμημάτων συγκέντρωσης άλης και κατακράτησης μεταλλικών στοιχείων.



Εικόνα 3.12: Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου Electro Dialysis Reversal (EDR). Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα χρήσης επιλεκτικών μεμβρανών που επιτρέπουν σε ωφέλιμα ιόντα όπως το ασβέστιο να παραμένουν στο παραγόμενο φρέσκο νερό.

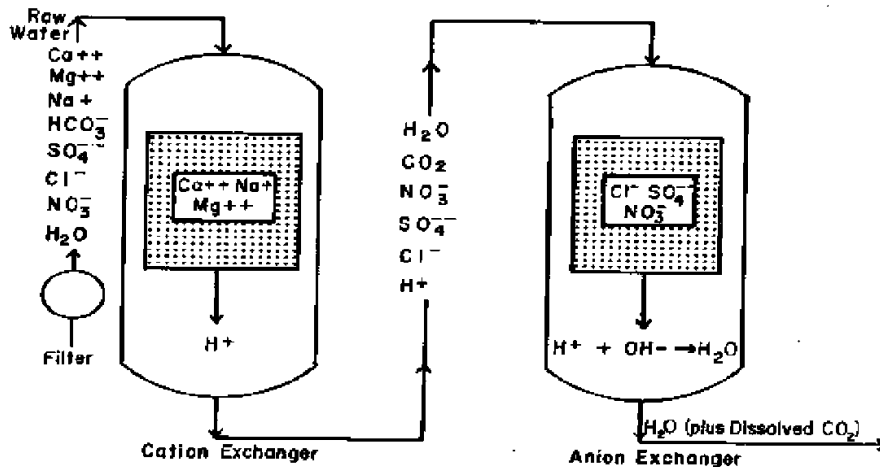


Εικόνα 3.13: Διαφορές στη λειτουργία των μεθόδων EDR και RO

3. Λοιπές μέθοδοι:

➤ Η μέθοδος της **ανταλλαγής ιόντων ή ion exchange** περιλαμβάνει ένα πορώδες στρώμα από συνθετικές ρητίνες που έχουν την ικανότητα να ανταλλάσσουν ιόντα με εκείνες στα μεταλλικά νερά που έρχονται σε επαφή με το στρώμα. Τα στρώματα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.14 είναι τοποθετημένα σε σειρά ώστε το μεταλλικό νερό να έρχεται πρώτα σε επαφή με τον ανταλλακτήρα κατιόντων και στη συνέχεια με τον αντίστοιχο των 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. Όταν οι ρητίνες φτάνουν σε σημείο κορεσμού λόγω της κατακράτησης ιόντων χάνουν την ικανότητα τους

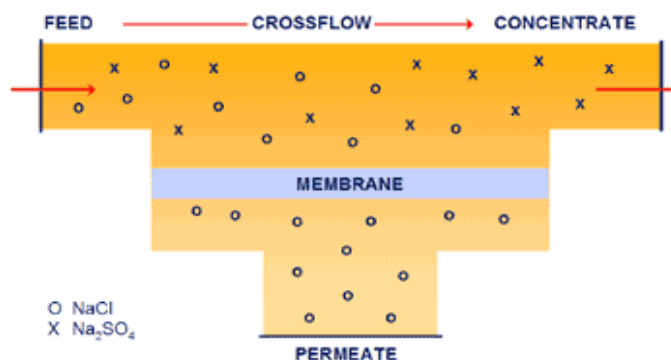
να αφαιρούν ιόντα και πρέπει να καθαριστούν με οξέα και βάσεις για να ανακτήσουν τις ιδιότητές τους.



Εικόνα 3.14: Η μέθοδος της ανταλλαγής ιόντων (Ion exchange)

➤ **Νανοφιλτράρισμα (carbon-nanotube membrane).**

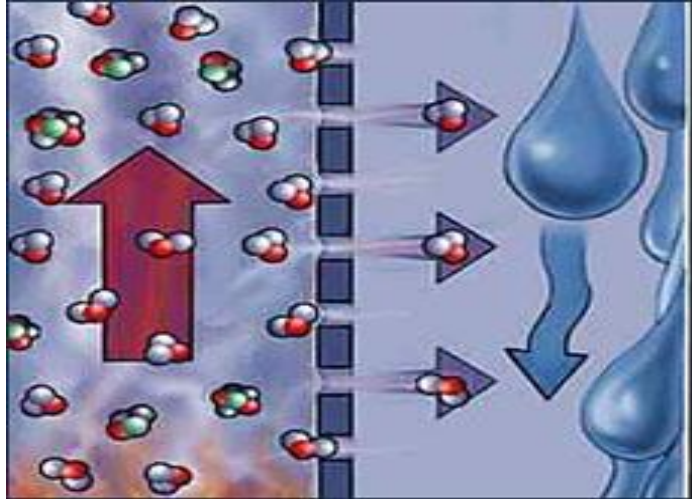
Μια άλλη διεργασία μεμβράνης για την παραγωγή πόσιμου νερού από αλμυρό ή υφάλμυρο νερό είναι η διεργασία του νανοφιλτραρίσματος (nanofiltration NF) (Εικόνα 3.15). Είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος η οποία και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου έχουμε νερό με μικρό ποσοστό διαλυμένων ουσιών όπως σε επιφανειακά ύδατα ή σε κινούμενο υπόγειο νερό. Αυτό επιτυγχάνεται με την αφαίρεση των φυσικών και των συνθετικών οργανικών στοιχείων που έχουν μολύνει το νερό. Αυτή η μέθοδος συχνά εφαρμόζεται σε συνδυασμό με την αντίστροφη όσμωση. Σε πειράματα όμως που έγιναν αποδείχθηκε ότι η αφαλάτωση που γινόταν με αυτό τον τρόπο αφαιρούσε μεν τις διαλυμένες ουσίες που έπρεπε ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση των αλάτων και να γίνει το νερό πόσιμο, όμως ταυτόχρονα χανόταν και πλήθος θρεπτικών συστατικών, όπως ασβέστιο και ιόντα μαγνησίου, με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή τους να έπεφτε κάτω από τα επιτρεπτά όρια που θέτει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Έτσι έπρεπε στη συνέχεια να προστεθούν ξανά όλα τα θρεπτικά στοιχεία του νερού που χάθηκαν. Παρόλα αυτά, το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν έχει ιδιαίτερες οικονομικές απαιτήσεις οπότε καθίσταται συμφέρουσα για αναπτυσσόμενες χώρες που έχουν αυξημένες ανάγκες για φθινό νερό σε μεγάλες ποσότητες. Βέβαια, υπάρχουν ενδιαρμοί για το κατά πόσο θα μπορέσουν αυτές οι χώρες να παράγουν και να διαχειριστούν την απαιτούμενη τεχνολογία.



Εικόνα 3.15: Η μέθοδος του νανοφιλτραρίσματος (carbon-nanotube membrane)

➤ **Η μέθοδος Απόσταξης με μεμβράνη**

Επίσης υπάρχει και η μέθοδος της απόσταξης με μεμβράνη (Membrane Distillation MD).



➤ **Η μέθοδος της Κρυστάλλωσης**

Η αρχή αυτή στηρίζεται στη ακόλουθη φυσικοχημική ιδιότητα των υγρών. Όταν ένα υδατικό διάλυμα άλατος ψυχθεί μέχρι ενός σημείου πήξεως του, αποβάλλονται σε ορισμένες περιπτώσεις καθαροί κρύσταλλοι νερού, καθώς και της ουσίας που έχει προστεθεί.

Αυτές οι μέθοδοι προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν την απόσταξη – μετατροπή υγρού από στερεή σε αέρια.

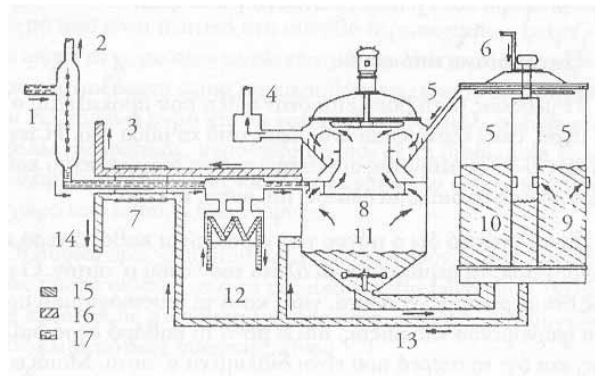
Τα πλεονεκτήματα αυτά αναφέρονται αφενός στους μειωμένους κινδύνους διάβρωσης από το αλμυρό νερό, αφού οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, αφετέρου στις μικρότερες ενεργειακές δαπάνες, αφού δεν απαιτείται εξαέρωση του νερού.

Υπάρχουν δύο τεχνικές αφαλάτωσης με κρυστάλλωση. Η πρώτη ονομάζεται «μέθοδος της παγοποίησης» και η δεύτερη «μέθοδος της παγοποίησης με χημικό πρόσθετο».

Η ψύξη επιτυγχάνεται με διάφορα ψυκτικά μέσα όπως ο ξηρός πάγος, το υγρό άζωτο κ.λ.π..

Παγοποίηση υπό κενό.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη ψύξη που προκαλείται σ' ένα υγρό, όταν εξατμίζεται ένα μέρος από τη μάζα του. Η τεχνική του όλου συστήματος αποβλέπει στο να διαχωρίσει το καθαρό νερό από το διάλυμα άλατος, πήζοντας το νερό (Εικόνα 3.16).



- | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 1. Θαλασσινό νερό | 2. Έξοδος αέρα | 3. Καθαρό νερό |
| 4. Έξοδος αέρα πλύσιμο | 5. Πάγος | 6. Καθαρό νερό για |
| 7. Εναλλακτής Θερμότητας | 8. Ατμός | 9. Άλμη Κύριος συμπιεστής |
| 10. Άλμη | 11. Πάγος ανακατεμένος με άλμη | 12. Παγοποιητική μονάδα |
| 13. Συμπύκνωμα και απόβλητα νερού | 14. Απόβλητη άλμη | 15. Άλμη |
| 16. Καθαρό νερό | 17. Θαλασσινό νερό | |

Πηγή: Αφαλάτωση - Α. Αλεξάκη

Εικόνα 3.16: Διάταξη συσκευής αφαλάτωσης με τη μέθοδο της παγοποίησης του νερού υπό κενό

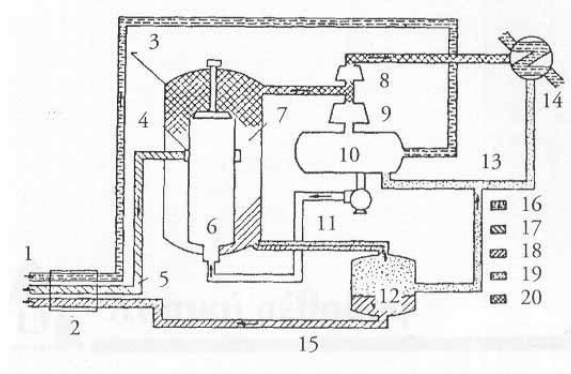
Είναι γνωστό ότι ο πάγος του νερού είναι καθαρό νερό μόνο, χωρίς να περιέχονται τα άλατα του νερού σ' αυτό. Ο πάγος δεν περιλαμβάνει άλατα, γιατί κατά τη φυσικοχημική αρχή του φαινομένου της πήξης, πήζει μόνο το καθαρό υγρό διαλύτης, και όχι τα στερεά που είναι διαλυμένα σ' αυτό.

Έτσι, αν με ένα σύστημα κατορθώσουμε να ψύξουμε σε χαμηλή θερμοκρασία το θαλασσινό νερό, ένα μέρος απ' αυτό θα μετατραπεί σε πάγο, ενώ το υπόλοιπο θα παραμείνει υγρό. Στο υγρό αυτό παραμένουν τα άλατα του θαλασσινού νερού. Είναι το συμπύκνωμα της άλμης που υπάρχει σ' όλες τις προηγούμενες διεργασίες αφαλάτωσης. Ο πάγος αυτός εύκολα διαχωρίζεται από το συμπύκνωμα και αφού λιώσει δίνει καθαρό πόσιμο νερό.

Παγοποίηση με ψυκτικό πρόσθετο

Η τεχνική αυτή διαφέρει από την προηγούμενη στο ότι η παγοποίηση επιτυγχάνεται με την απευθείας εξάτμιση ενός πρόσθετου του θαλασσινού νερού, όπως είναι το βουτάνιο.

Το θαλασσινό νερό, αφού περάσει από τον εναλλάκτη θερμότητας που βρίσκεται στην είσοδο της εγκατάστασης και προψυχθεί όπως και πριν, οδηγείται σ' ένα ψύκτη, όπου αναμιγνύεται με υγρό βουτάνιο. Αμέσως μετά προκαλείται εξάτμιση του βουτανίου, με αποτέλεσμα την αφαίρεση μεγάλων ποσών θερμότητας και τελικά την παγοποίηση του νερού (Εικόνα 3.17).



- | | | |
|--------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. Θαλασσινό νερό | 2. Εναλλακτήρας Θερμότητας | 3. Αναδευτήρας |
| 4. Φίλτρο | 5. Συμπύκνωμα θαλ. νερού | 6. Μίγμα πάγου και συμπυκνώματος |
| 7. Συσκευή τήξεως | 8. Δευτερέων συμπιεστής | 9. Κύριος συμπιεστής |
| 10. Ψύκτης | 11. Νερό και βοτάνιο | 12. Νερό |
| 13. Υγρό βοτάνιο | 14. Θαλασσινό νερό | 15. Παραγόμενο καθαρό νερό |
| 16. Θαλασσινό νερό | 17. Άλμη | 18. Καθαρό παραγόμενο νερό |
| 19. Υγρό βοτάνιο | 20. Ατμοί βοτανίου | |

Πηγή: Αφαλάτωση Α. Αλεξάκης, 1993

Εικόνα 3.17: Συσκευή παγοποίηση με ψυκτικό πρόσθετο

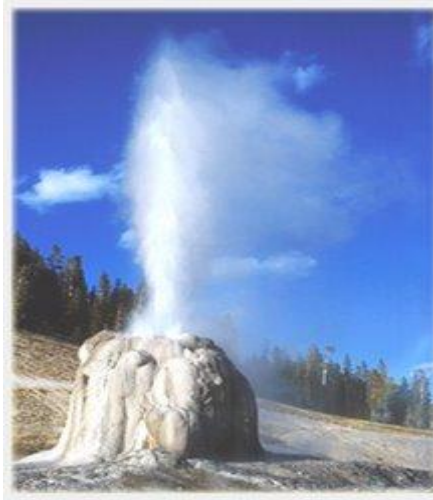
Ο ατμός του βοτανίου συμπιέζεται σ' ένα πρώτο συμπιεστή. Ένα μέρος του διοχετεύεται στο δοχείο τήξης στο οποίο οδηγούνται επίσης οι παγοκρύσταλλοι και το συμπύκνωμα του θαλασσινού νερού της εγκατάστασης του ψύκτη.

Εκεί, ο ατμός του βοτανίου προσφέρει στους κρυστάλλους τη θερμότητα που απορρόφησε κατά την εξάτμιση του και τους μετατρέπει σε καθαρό νερό, το οποίο όμως περιέχει και μια ποσότητα βοτανίου. Το νερό αυτό διοχετεύεται στη συνέχεια σε μια ειδική συσκευή, όπου διαχωρίζεται το βοτάνιο, ενώ το τελείως καθαρό νερό οδηγείται στην έξοδο της εγκατάστασης, αφού προηγουμένως περάσει από τον εναλλάκτη θερμότητας.

Η ποσότητα του αερίου βοτανίου που δεν εισήχθη στο θάλαμο τήξης, συμπιέζεται σε ένα δεύτερο συμπιεστή και αφού μετατραπεί σε υγρό, με τη βοήθεια του ψυχρού θαλασσινού νερού, αναμιγνύεται και πάλι με το νερό στον ψύκτη για να επαναληφθεί ο κύκλος.

➤ Η γεωθερμική αφαλάτωση

Μια πρωτοπόρα και υπό διερεύνηση μέθοδος αφαλάτωσης είναι η γεωθερμική αφαλάτωση (geothermal desalination). Αυτή εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που προέρχεται από τη γη για την παραγωγή πόσιμου νερού. Τα διαβεβαιωμένα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι πιο εύκολη στη χρήση και στη διαχείριση από την αντίστροφη όσμωση και ότι η ενέργεια που προέρχεται από τη γεωθερμική θερμότητα είναι από τις πιο φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας. Οι σχετικές έρευνες είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο αλλά έχουν δείξει ότι με νερό θερμοκρασίας περίπου 100 βαθμών Κελσίου και μια πηγή ψύξης η μελετώμενη διαδικασία εξάτμισης και συμπύκνωσης μπορεί να λειτουργήσει αρκούκτως ικανοποιητικά.



➤ Η ηλιακή υγραποίηση αφυγραποίηση

Μια ακόμα μέθοδος αφαλάτωσης είναι η μέθοδος ηλιακής υγραποίησης αφυγραποίησης (solar humidification dehumidification SHD). Αυτή είναι μια θερμική μέθοδος που βασίζεται στην εξάτμιση του θαλασσινού ή του υφάλμυρου νερού και τη συνεχή συμπύκνωση του παραγόμενου ατμού, κυρίως σε ατμοσφαιρική πίεση. Η διαδικασία αυτή μιμείται το φυσικό κύκλο του νερού αλλά σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα. Η πιο απλή μέθοδος εφαρμόζεται σε ένα ηλιακό κάτοπτρο όπου εξατμίζεται το θαλασσινό νερό σε ένα δοχείο καλυμμένο με γυαλί και στη συνέχεια συμπυκνώνεται ο υδρατμός στην κάτω πλευρά του γυάλινου καλύμματος. Άλλες πιο εξελιγμένες μέθοδοι διαχωρίζουν την περιοχή όπου ανακτάται η ηλιακή θερμότητα με την περιοχή όπου γίνεται η εξάτμιση και η συμπύκνωση. Η βέλτιστη σχεδίαση της διάταξης χρησιμοποιεί χωριστό τμήμα για την εξάτμιση και τη συμπύκνωση. Ένα μεγάλο ποσοστό της θερμότητας που χάνεται κατά τη διάρκεια της εξάτμισης μπορεί να ανακτηθεί κατά τη διαδικασία της συμπύκνωσης. Ένα παράδειγμα μεθόδου που κάνει χρήση της ηλιακής υγραποίησης αφυγραποίησης καθώς και της βέλτιστης σχεδίασης που προαναφέρθηκε είναι η υγραποίηση πολλαπλής επίδρασης (Multiple Effect Humidification MEH). Τα πλεονεκτήματα της υγραποίησης- αφυγραποίησης είναι ότι με πηγές ενέργειας χαμηλής θερμότητας, δεν απαιτείται τεχνολογία υψηλού επιπέδου, χαρακτηρίζεται από απλότητα στο σχεδιασμό και έχει υψηλή απόδοση.

3.4 Επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης

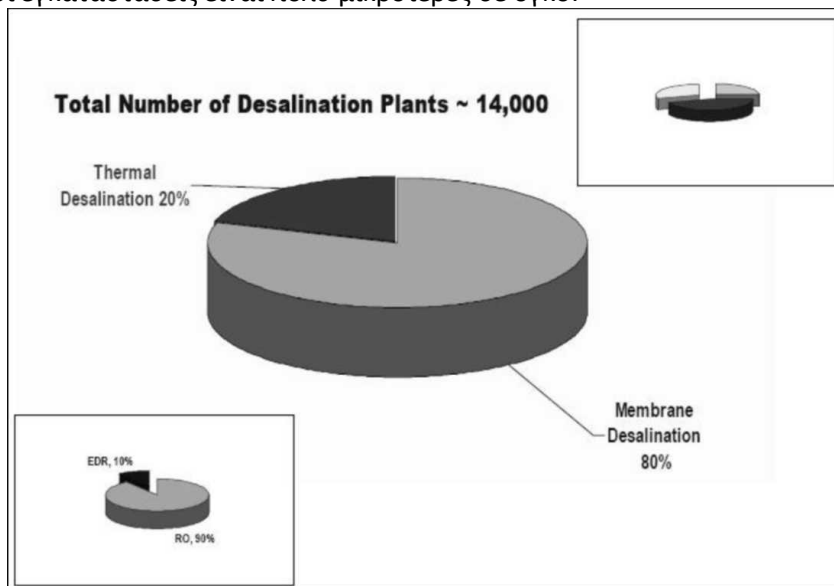
Η επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης βασίζεται σε συνδυασμό παραγόντων, όπως η ποιότητα του θαλασσινού ή του υφάλμυρου νερού, η απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού (πόσιμο, αρδευτικό ή βιομηχανικό), το μέγεθος της μονάδας, η διαθεσιμότητα και το κόστος ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας, τα χαρακτηριστικά του χερσαίου και θαλάσσιου περιβάλλοντα χώρου, οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί, κ.τ.λ.. Με δεδομένους τους παράγοντες αυτούς και το σημερινό τεχνολογικό επίπεδο κάθε μεθόδου, οι σημαντικότερες εφαρμογές σε παγκόσμιο επίπεδο βασίζονται κυρίως στην Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis - RO) και σε μικρότερο βαθμό στην Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF) (Εικόνα 3.18).

Οι λόγοι της επικράτησης της Αντίστροφης Όσμωσης είναι η αξιοπιστία της σε όλο το εύρος μεγεθών (από μερικά λίτρα μέχρι χιλιάδες κυβικά μέτρα την ημέρα), τη συμπαγή και modular κατασκευή των μονάδων (π.χ. μέσα σε κοντέινερς), τη σχετικά μικρή

κατασκευαστική περίοδο και κυρίως τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι σε μεγάλες μονάδες αντίστροφης ώσμωσης με χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας (Energy Recovery Devices) επιτυγχάνεται ενεργειακή κατανάλωση περίπου $2,5 \text{ kWh/m}^3$ θαλασσινού νερού (4,5-8 χωρίς ERD), έναντι 15 kWh/m^3 των μονάδων VC και 20 kWh/m^3 περίπου των μονάδων MSF. Επίσης η συνεχής εξέλιξη των μεμβρανών, η βελτίωση της απόδοσης των αντλιών, η χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας, η σωστή σχεδίαση των μονάδων και η επίτευξη οικονομιών κλίμακας σε χαμηλότερα επίπεδα, έχουν μειώσει δραστικά το κόστος του παραγόμενου νερού σε $0,46-1,17 \text{ \$/m}^3$ για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού και σε λιγότερο από $0,45 \text{ \$/m}^3$ για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού.

Αν θέλαμε να **συγκρίνουμε τις τεχνικές απόσταξης με τις αντίστοιχες που κάνουν χρήση μεμβρανών** (κυρίως της αντίστροφης όσμωσης) θα λέγαμε ότι η απόσταξη προσφέρει μια μεγαλύτερη δυνατότητα για τις οικονομίες κλίμακας. Οι μονάδες απόσταξης δε χρειάζεται να διακόπτουν τη λειτουργία τους τόσο συχνά για καθάρισμα και συντήρηση του εξοπλισμού, όπως συμβαίνει με τις μονάδες RO, παρόλο που μπορούν και πρέπει να σβήνουν κυρίως για καθαρισμό και αντικατάσταση σωλήνων. Οι ανάγκες προετοιμασίας του τροφοδοτικού νερού είναι μεγαλύτερες στις μονάδες RO, κυρίως στο στάδιο προ της εισόδου στις μεμβράνες. Τέλος σε αντίθεση με τις μονάδες RO, 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 δε χρειάζεται θέρμανση του τροφοδοτικού νερού, με αποτέλεσμα οι θερμικές απώλειες να είναι χαμηλότερες. Έχουν λιγότερα προβλήματα διάβρωσης, έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις ενέργειας, υψηλότερο βαθμό απόδοσης, μπορούν να απομακρυνθούν εκτός από αλάτι και άλλα ανεπιθύμητα συστατικά όπως βακτήρια, ενώ για την ίδια ποσότητα παραγόμενου νερού οι εγκαταστάσεις είναι πολύ μικρότερες σε όγκο.



Εικόνα 3.18: Παγκόσμια κατανομή των μονάδων και των μεθόδων αφαλάτωσης. Βλέπουμε ότι ευρύτατη χρήση παρουσιάζουν οι μέθοδοι με χρήση μεμβρανών και κυρίως η αντίστροφη όσμωση (RO).

Όσον αφορά την **ποιότητα του νερού** που παράγεται, οι μονάδες απόσταξης παράγουν νερό υψηλής ποιότητας με συγκεντρώσεις από 1.0 έως 50 ppm tds (**tds**=total dissolved solids), ενώ οι μονάδες αντίστροφης όσμωσης παράγουν νερό με συγκεντρώσεις 10 - 500 ppm tds. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι τα διεθνή όρια για το πόσιμο νερό είναι 500 mg/L, που αντιστοιχούν περίπου σε 500 ppm. Στις μονάδες αφαλάτωσης που παράγουν νερό για οικιακή χρήση, εφαρμόζονται διαδικασίες περαιτέρω επεξεργασίας με σκοπό να εξασφαλίσουν ότι το παραγόμενο νερό πληρεί τις προδιαγραφές υγιεινής για πόσιμο νερό

καθώς και τα προτεινόμενα αντιδιαβρωτικά επίπεδα. Το αφαλατωμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην καθαρή μορφή του (π.χ ως νερό προετοιμασίας σε boiler παραγωγικών μονάδων), ή να αναμειχθεί με λιγότερο καθαρό νερό και να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, πόση κλπ. Συνήθως είναι πολύ πιο καθαρό από αυτό που προσδιορίζουν οι προδιαγραφές υγιεινής και γι' αυτό όταν προορίζεται για δημόσια χρήση, μπορεί να αναμειχθεί με νερό που περιέχει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε αδιάλυτες στερεές ουσίες. Το καθαρό αφαλατωμένο νερό, επίσης, είναι αρκετά όξινο και άρα διαβρώνει τους σωλήνες, γι' αυτό και θα πρέπει να αναμειχθεί με άλλες πηγές νερού ώστε να εξισορροπηθούν οι τιμές PH, σκληρότητας καθώς και η περιεκτικότητα σε αλκάλια προτού παραδοθεί για χρήση.

Το αφαλατωμένο νερό που παράγεται αντιστοιχεί στο **15 - 50%** του τροφοδοτικού νερού που αποτελεί είσοδο της μονάδας αφαλάτωσης. Για κάθε 100 κυβικά μέτρα θαλάσσιου νερού, παράγονται 15 με 50 κυβικά μέτρα φρέσκου νερού μαζί με νερό που περιέχει στερεά κατάλοιπα.

Διαδικασίες προετοιμασίας είναι απαραίτητες προκειμένου να απομακρυνθούν όσα συστατικά μπορούν να παρεμποδίσουν τη διαδικασία της αφαλάτωσης. Άλγη και βακτήρια μπορούν να αναπτυχθούν σε μονάδες απόσταξης ή αντίστροφης όσμωσης, οπότε η βιοκτονία - συνήθως με χλώριο - είναι απαραίτητη για καθαρισμό. Ορισμένες μεμβράνες RO είναι ευαίσθητες στο χλώριο οπότε η απομάκρυνση των θαλασσίων οργανισμών πρέπει να γίνει με διαφορετική τεχνική, συνήθως με όζον ή υπεριώδη ακτινοβολία. Το όζον βέβαια θα πρέπει να απομακρυνθεί από την εγκατάσταση προτού έρθει σε επαφή με τις μεμβράνες. Πρόσφατα αναπτύχθηκε μέθοδος RO που δεν απαιτεί τη χημική προεργασία.

Οι μονάδες αφαλάτωσης παράγουν **υγρά απόβλητα** που μπορεί να περιέχουν το σύνολο ή κάποια από τα συστατικά που αναφέρονται παρακάτω: υψηλές συγκεντρώσεις αλατιού, χημικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του καθαρισμού της μονάδας ή κατά τη διάρκεια των διαδικασιών προετοιμασίας και τοξικά μέταλλα (από την επαφή με τα μεταλλικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των εγκαταστάσεων). Τα υγρά απόβλητα μπορούν να αποβληθούν είτε απευθείας στη θάλασσα μαζί με το νερό ψύξης της μονάδας ή η αποβολή να γίνει στον υπόνομο και από κει να ακολουθήσει η επεξεργασία σε μια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Τέλος μπορεί να γίνει αποξήρανση και κατόπιν αποβολή σε κάποιο χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Οι μονάδες αφαλάτωσης παράγουν και μικρή ποσότητα στερεών αποβλήτων.

3.5 Οι απαιτήσεις σε ενέργεια μίας μονάδας αφαλάτωσης

Multistage Flash (MSF)	3,500	- 7,000	kWh/AF
Multiple Effect Distillation (MED)	2,500	- 5,000	kWh/AF
Vapor Compression (VC)	10,000	- 15,000	kWh/AF
Reverse Osmosis (RO) — single pass	5,800	- 11,000	kWh/AF
Reverse Osmosis (RO) — double pass	6,500	- 12,000	kWh/AF

Πίνακας 3.1: Ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια ανάλογα με τη μέθοδο αφαλάτωσης

Η ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται κατά την αφαλάτωση είναι κυρίως **ηλεκτρισμός** και **θερμότητα**. Οι ενεργειακές ανάγκες μιας μονάδας αφαλάτωσης εξαρτώνται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού, την ποιότητα του παραγόμενου νερού και την τεχνολογία αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται. Οι εκτιμήσεις για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τις διάφορες μεθόδους φαίνονται στον Πίνακα 3.1. Εκτός από τις

ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, οι μονάδες που χρησιμοποιούν τεχνολογίες MSF, MED και VC χρησιμοποιούν και θερμική ενέργεια για θέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Εξαιτίας της χαμηλής αποδοτικότητας της μετατροπής θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, υπάρχει ένα υψηλό ενεργειακό πέναλτι αν η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του τροφοδοτικού νερού. Για παράδειγμα, σε αντιδιαστολή με τα 3,500 με 7,000 kWh/AF (AF= acre foot=1233,5 m³) ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται για μία μονάδα διύλισης MSF, η θερμική ενέργεια που απαιτείται είναι περίπου 270 εκατομμύρια Btu/AF (~ 26,000 kWh/AF). Για τις μονάδες τεχνολογίας MED οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας υπολογίζονται σε 230 εκατομμύρια Btu/AF (~ 22,000 kWh/AF). Συνολικά οι ολικές ενεργειακές ανάγκες για τις μονάδες απόσταξης είναι αρκετά υψηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούν μεμβράνες.

Γενικά πάντως οι ανάγκες σε ενέργεια των μονάδων αφαλάτωσης είναι πάρα πολύ υψηλές. Για παράδειγμα στις Η.Π.Α και πιο συγκεκριμένα στη Santa Barbara, υπολογίζεται ότι θα απαιτούντο 50 εκατομμύρια kWh/yr ούτως ώστε η τοπική μονάδα αφαλάτωσης να παράγει 7,500 AF/yr φρέσκου νερού. Στον αντίποδα η ενέργεια που θα χρειαζόταν για να αντληθεί αντίστοιχη ποσότητα νερού από τον ποταμό Colorado κυμαίνεται μεταξύ 15 - 26 εκατομμύρια kWh/yr. Τόσο οι μονάδες απόσταξης όσο και οι RO, θα μπορούσαν να περιορίσουν τις ανάγκες τους με τη χρήση μονάδων συμπαραγωγής (Πίνακας 3.2).

Energy Consumption (kWh/m ³)		
Process	Thermal/Remark	Electrical
MSF	42 (stand alone)	3.6
	23 (Co-generation)	
MED	42 (stand alone)	2.3
	23 (Co-generation)	
RO	Seawater	2-10 (energy recovery or not ?)
	Brackish water	1-3
ED	Brackish water (depends on salinity)	0.5 – 10 (e.g. 1.5, 4 for 1500, 3500 ppm)

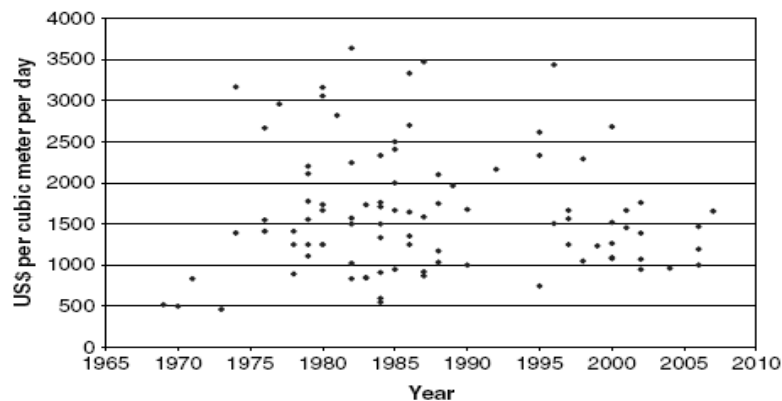
Πίνακας 3.2: Η συμπαραγωγή (co generation) μειώνει σημαντικά τις ενεργειακές ανάγκες

3.6 Το κόστος του αφαλατωμένου νερού

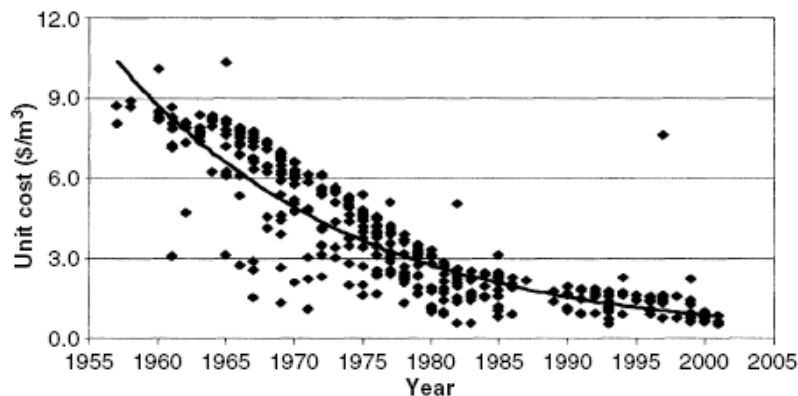
Το κόστος της παραγωγής νερού σε μία μονάδα αφαλάτωσης **εξαρτάται κυρίως από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται και την παραγωγική ικανότητα της μονάδας**. Στην περίπτωση των μονάδων **τεχνολογίας MSF** το κόστος παραγωγής ήταν αρκετά υψηλό κατά τη δεκαετία του 1960 όταν και κατασκευάστηκαν οι πρώτες μονάδες, αλλά διάφορες βελτιώσεις υιοθετήθηκαν σε αρχικό σχέδιο και αφορούσαν κυρίως τα υλικά κατασκευής. Στους Πίνακες 3.3 και 3.4 φαίνεται το κόστος παραγωγής ενός κυβικού μέτρου νερού την ημέρα σε δολάρια συναρτήσεως των ετών, καθώς και το κόστος ενός κυβικού μέτρου αφαλατωμένου νερού για οικιακή χρήση σε cent ανά έτος. Αν και τα στοιχεία εμφανίζουν μεγάλη διασπορά, είναι προφανές ότι το επενδυτικό κόστος μέχρι και το 1990 κινούνταν στα 1000-2000 US\$/m³/day, ενώ από το 1995 και μετά σταθεροποιήθηκε στα 1000-1500

US\$/m³/day. Σε μία άλλη μέθοδο απόσταξης, την **MED**, το κόστος της μονάδας κυμαίνεται στα 0,55-0,7 US\$/m³, ενώ το επενδυτικό κόστος είναι US\$850 m³/day και φυσικά οι ενεργειακές ανάγκες μικρότερες από τη μέθοδο MSF.

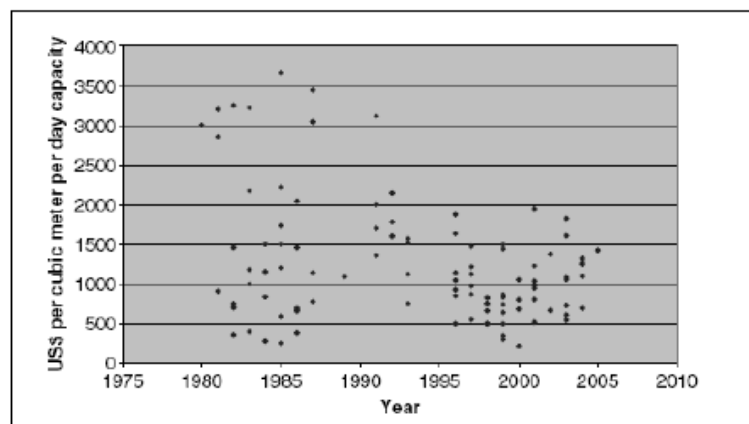
Η κατασκευή των πρώτων μονάδων που χρησιμοποιούσαν τη μέθοδο της **αντίστροφης όσμωσης** πραγματοποιήθηκε πολύ αργότερα από την κατασκευή μονάδων απόσταξης. Στον Πίνακα 3.5 φαίνεται ότι πριν το 1995 τα στοιχεία για το επενδυτικό κόστος σε μονάδες RO ήταν αραιά και διεσπαρμένα. Αντίθετα μετά το 1995 φαίνεται ότι αυτό κινείται μεταξύ 500 και 1000 US\$ ανά m³/day. Η τιμή της μονάδας του αφαλατωμένου νερού έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και κυμαίνεται στα 0,5 US\$/m³, δηλαδή φθηνότερα από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.



Πίνακας 3.3: Επενδυτικό κόστος για την μέθοδο MSF σε δολάρια ανά κυβικό μέτρο και ημέρα, συναρτήσει των ετών.



Πίνακας 3.4: Διακύμανση της τιμής ενός κυβικού μέτρου αφαλατωμένου νερού με χρήση της μέθοδου MSF από τη δεκαετία του 1950 έως σήμερα



Πίνακας 3.5: Επενδυτικό κόστος με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης

3.7 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μονάδων αφαλάτωσης εντοπίζονται σε όλα τα στάδια παραγωγής (τροφοδοσίας, προεπεξεργασίας, αντίστροφης όσμωσης, διάθεσης άλμης, καθαρισμού μεμβρανών). Στο στάδιο της τροφοδοσίας (άντληση θαλασσινού νερού) σημειώνεται θνησιμότητα μικρών οργανισμών, όπως μικρά ψάρια, πλαγκτόν, αυγά ψαριών, αλλά και μεγαλύτερων θαλάσσιων ειδών, λόγω απορρόφησης ή πρόσκρουσής τους στον αγωγό εισροής. Στο στάδιο της προεπεξεργασίας αλλά και της τελικής επεξεργασίας χρησιμοποιούνται διάφορα χημικά (χλώριο, θειικό οξύ, ασβέστιο, διοξείδιο του άνθρακα, κ.τ.λ.) ενώ η όλη διαδικασία απαιτεί σημαντική κατανάλωση ενέργειας (περίπου 3-5 KWh/m³ για θαλασσινό και 0,5-3 KWh/m³ για το υφάλμυρο). Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι η μέθοδος της Αντίστροφης Όσμωσης είναι η λιγότερο ενεργοβόρος και ρυπαίνουσα από τις λοιπές καθιερωμένες μεθόδους.

Κυριότεροι εκπεμπόμενοι ρύποι και ενεργειακή κατανάλωση ανά τεχνική αφαλάτωσης

Τεχνική αφαλάτωσης	CO ₂ /m ³ νερού (kg/m ³)	NO _x /m ³ νερού (g/m ³)	SO _x /m ³ νερού (g/m ³)	Σκόνη/m ³ νερού (g/m ³)	Κατανάλωση Ενέργειας
Αντίστροφη όσμωση	1.78	3.87	10.68	2.07	3-5 KWh/m ³
Πολυβάθμια Εξάτμιση (MED)	18.05	21.41	26.48	1.02	270 KJ/Kg + 2,5-3 KWh/m ³
Πολυβάθμια Εκτόνωση (MSF)	23.41	28.3	27.91	2.04	290 KJ/Kg + 4-6 KWh/m ³

Πηγή: ΕΜΠ

Το σημαντικότερο πρόβλημα είναι τα απόβλητα άλμης που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία του θαλασσινού ή του υφάλμυρου νερού, τα οποία διοχετεύονται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία στη θάλασσα. Στις μικρές μονάδες αφαλάτωσης και σε περιοχές με θαλάσσια ρεύματα οι επιπτώσεις δεν είναι σημαντικές αλλά σε μεγαλύτερες μονάδες, που λειτουργούν εδώ και χρόνια σε χώρες της Μέσης Ανατολής, παρατηρήθηκε καταστροφή της θαλάσσιας πανίδας και χλωρίδας σε ακτίνα αρκετών χιλιομέτρων από τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης.

Εκτός από την αλατότητα, προβλήματα δημιουργούνται και από την αύξηση της θερμοκρασίας της άλμης κατά περίπου 3 - 4°C στην αντίστροφη όσμωση (έναντι 10 - 15°C στις μεθόδους εξάτμισης). Παρατηρούνται επίσης συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων που δεσμεύονται στα ιζήματα και χημική ρύπανση που οφείλεται στα οξέα, τα απολυμαντικά μέσα και στην πλύση των μεμβρανών.

Λόγω των ιδιαιτεροτήτων του Ελληνικού νησιωτικού χώρου (υψηλής ποιότητας αλλά οικολογικά ευαίσθητο θαλάσσιο περιβάλλον, περιοχές εξαιρετικού κάλλους, κ.τ.λ.) απαιτείται συστηματική παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της αφαλάτωσης. Η μελέτη των θαλασσιών ρευμάτων και της διασποράς του αλμόλοιπου στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι απαραίτητη για τη σωστή χωροθέτηση των μονάδων και των αγωγών απόρριψης.

4 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

4.1 Ενέργεια για αφαλάτωση

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η παραγωγή πόσιμου νερού με τη χρήση αφαλάτωσης είναι μια από τις πιο ελπιδοφόρες μεθόδους για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Οι περιοχές αυτές, όμως, συνήθως είναι απομονωμένες και δεν είναι εύκολη η πρόσβαση. Έτσι, συχνά στα μέρη αυτά δεν είναι εύκολη και η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περιοχές αυτές συνήθως δεν είναι συνδεδεμένες σε κάποιο ισχυρό δίκτυο παροχής ενέργειας, όπως παραδείγματος χάριν τα ελληνικά νησιά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το Ηπειρωτικό δίκτυο παροχής ενέργειας της Ελλάδας, ή είναι συνδεδεμένες με ανίσχυρα και μικρής δυναμικής τοπικά δίκτυα τα οποία συνήθως τροφοδοτούνται από ντιζελογεννήτριες.



Άρα η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μεθόδων αφαλάτωσης με συμβατικές πηγές ενέργειας είναι συχνά ανέφικτη, καθώς τα τοπικά δίκτυα παροχής ενέργειας είναι μικρής ισχύος και καταπονούνται υπερβολικά μη μπορώντας να ανταποκριθούν στα υπόλοιπα φορτία. Ακόμα και όταν υπάρχει η δυνατότητα να υπάρχει η παροχή ενέργειας η λύση αυτή δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα καθώς οι πηγές ενέργειας που είναι διαθέσιμες είναι ακριβές, όπως το ντίζελ, σε αντίθεση με το φθινό πλην εξίσου ρυπογόνο λιγνίτη.

Άρα για να εφαρμοστεί η αφαλάτωση πρέπει να λυθεί το πρόβλημα της παροχής ενέργειας.

4.2 Χρήση ΑΠΕ

Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα δεν είναι άλλη από τη χρησιμοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η λύση αυτή όμως δεν αποτελεί πανάκεια. Απαιτείται μελέτη της κάθε περίπτωσης αναλυτικά καθώς πρέπει να διερευνηθεί το δυναμικό της κάθε μορφής ΑΠΕ στην περιοχή ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη. Πρέπει να γίνει τεχνικοοικονομική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η διαθεσιμότητα της κάθε τεχνολογίας και η εμπορική της ωριμότητα, η δυνατότητα εφαρμογής της στην κάθε περίπτωση, οι

υπάρχουσες υποδομές καθώς και αυτές που απαιτείται να γίνουν, το κόστος της επένδυσης και της εγκατάστασης.



4.3 Προσαρμογή ΑΠΕ

Πολύ σημαντική είναι και η προσαρμογή της μορφής ΑΠΕ που θα επιλέξουμε με την κατάλληλη για αυτή μέθοδο αφαλάτωσης. Με την λέξη προσαρμογή εννοούμε το ταίριασμα των χαρακτηριστικών της ενέργειας που παράγεται με τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες της μεθόδου αφαλάτωσης που έχουμε επιλέξει. Σε περίπτωση που η προσαρμογή δεν επιτυγχάνεται, το αποτέλεσμα είναι χαμηλότερη απόδοση του συστήματος, υπολειτουργία, εμφάνιση προβλημάτων και σφαλμάτων ακόμα και καταστροφή κάποιων τμημάτων της μονάδας. Ένα παράδειγμα μη προσαρμογής είναι η χρήση κάποιας μεθόδου που απαιτεί συνεχή και σταθερή παροχή ενέργειας με κάποια μορφή ΑΠΕ που η κυματομορφή της παρεχόμενης ενέργειας δεν είναι ευθεία γραμμή αλλά περιλαμβάνει πολλές διακυμάνσεις, γρήγορες μεταβάσεις στα ακρότατά της και, γενικά η μορφή της είναι στοχαστική και τυχαία. Σε μια τέτοια περίπτωση εκτός από τις μεγάλες απώλειες ενέργειας, καθώς δεν είναι δυνατή η πλήρης εκμετάλλευσή της, και τα προβλήματα που αυτή προκαλεί, όπως η απόρριψη της πλεονάζουσας ενέργειας, έχουμε και την προβληματική λειτουργία της διαδικασίας της αφαλάτωσης καθώς μειώνεται η

παραγωγή του πόσιμου νερού και επιβαρύνεται η λειτουργία κάποιων τμημάτων της εγκατάστασης.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι ανάλογα με την πηγή ενέργειας που έχουμε επιλέξει η ενέργεια που θα παράγεται μπορεί να είναι και σε διαφορετική μορφή. Οι πιθανές μορφές είναι η θερμική, η ηλεκτρική και η μηχανική ενέργεια. Επίσης πολλές φορές, για λόγους αξιοπιστίας και συνεχόμενης λειτουργίας, επιλέγουμε συνδυασμό δύο πηγών ενέργειας, όπως ηλιακή και αιολική. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα ονομάζεται υβριδικό.

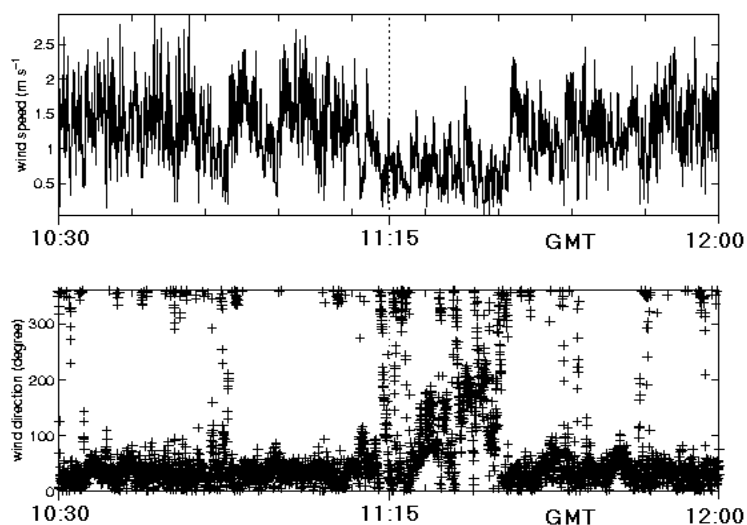
Όσο αφορά την προσαρμογή της μορφής ΑΠΕ που θα επιλέξουμε με τη μέθοδο αφαλάτωσης, με εξαίρεση κάποιους βασικούς κανόνες, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο γενικό συμπέρασμα. Οι τελικές επιλογές πρέπει να γίνουν με βάση κάποια τοπικά στοιχεία και παραμέτρους.

Αυτά τα τοπικά στοιχεία είναι οι γεωγραφικές συνθήκες, η τοπογραφία της περιοχής, η χωρητικότητα της διάταξης και η ενέργεια που είναι διαθέσιμη σε χαμηλό κόστος, η ύπαρξη των τοπικών υποδομών, η περιεκτικότητα σε αλάτι του νερού. Κάποια πιο γενικά κριτήρια είναι η ανθεκτικότητα του συστήματος, η απλότητα της λειτουργίας, το χαμηλό κόστος συντήρησης, το μέγεθος της κατασκευής, η εύκολη μεταφορά του εξοπλισμού στην τοποθεσία, η διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας και η αντοχή σε αντίξοες συνθήκες που ενδεχομένως να επικρατούν στις απομονωμένες περιοχές.

Ο γενικός κανόνας πάντως είναι να συνδυάζονται τεχνολογίες θερμικής ενέργειας με θερμικές διαδικασίες αφαλάτωσης και ηλεκτρομηχανικές τεχνολογίες ενέργειας με διαδικασίες αφαλάτωσης που απαιτούν ηλεκτρική ή μηχανική ισχύ. Οι πιο συνήθεις εφαρμογές είναι η χρήση της αντίστροφης όσμωσης με αιολική ενέργεια ή ενέργεια από φωτοβολταϊκά και ηλιακή θερμική ή γεωθερμική ενέργεια με διαδικασίες απόσταξης.

Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη τον τυχαίο και παροδικό χαρακτήρα που έχουν οι περισσότερες από τις ΑΠΕ καθώς προκαλεί αδυναμία πρόβλεψης για το μέλλον και δυσκολίες στον προγραμματισμό. Αυτή η συμπεριφορά πάντως, δεν πρέπει να εκπλήσσει καθώς οι περισσότερες μορφές ΑΠΕ εξαρτώνται από στοιχεία της φύσης όπως η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία, των οποίων οι ακριβείς τιμές είναι δύσκολο να προβλεφθούν.

Ενδεικτικά, στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4.1) φαίνεται η έντονη μεταβολή της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου σε κάποια περιοχή. Αυτό που πρέπει να παρατηρήσει κανείς είναι ότι όλες αυτές οι εναλλαγές έχουν γίνει στο χρονικό διάστημα ενενήντα λεπτών. Με αυτό τον τρόπο βλέπουμε και στην πράξη τον τυχαίο και παροδικό χαρακτήρα και το πόσο δύσκολο είναι να γίνει η οποιαδήποτε πρόβλεψη.



Εικόνα 4.1: Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου

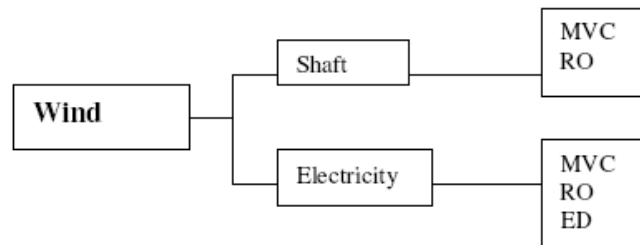
Υπάρχουν 3 γενικές στρατηγικές με τις οποίες μπορούμε να επιτύχουμε την προσαρμογή.

Η πρώτη έχει να κάνει με τη **διαχείριση ισχύος** και στόχος είναι η παροχή στη μονάδα αφαλάτωσης της απαιτούμενης ισχύος, άσχετα με τις συνθήκες που επικρατούν εκείνη τη στιγμή. Αυτό απαιτεί ένα υβριδικό σύστημα το οποίο θα διαθέτει ένα πλήθος επιλογών για την κατάλληλη πηγή ενέργειας. Μπορεί να συνδυάζει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. αιολική και φωτοβολταϊκά), να χρησιμοποιεί μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. το δίκτυο ή ντιζελογεννήτριες) ή να χρησιμοποιεί κάποιο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες). Απαιτείται η παρουσία φορτίου απόρριψης (dump load) για τη διοχέτευση της πλεονάζουσας ενέργειας.

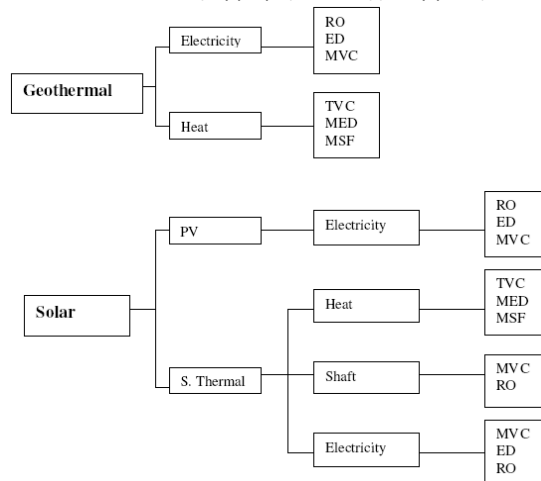
Η δεύτερη στρατηγική μπορεί να χαρακτηριστεί ως **παρόντος φορτίου**. Διέπεται από τη λογική της προσαρμογής του φορτίου στη μεταβλητή εισερχόμενη ισχύ ώστε να απορροφάται όλη η παραγόμενη ισχύς και βασίζεται μόνο στις ΑΠΕ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δυο τρόπους, είτε εκκινώντας και σταματώντας τη διαδικασία της αφαλάτωσης διαρκώς, είτε μετακινώντας το σημείο λειτουργίας της μονάδας.

Τέλος, η τρίτη στρατηγική συνδυάζει κάπως τα παραπάνω. Όσον αφορά τη διαχείριση φορτίου ένας στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από μη ανανεώσιμες πηγές. Σε ότι έχει να κάνει με τη διαχείριση ισχύος όμως, ο έλεγχος δεν εφαρμόζεται μόνο στην πλευρά της μονάδας αφαλάτωσης αλλά και σε αυτή της πηγής ανανεώσιμης ενέργειας. Για παράδειγμα, αν μιλάμε για ανεμογεννήτρια τότε μπορούμε να ελέγξουμε τη γωνία πτερυγίων και τον αριθμό στροφών.

Η διαχείριση ισχύος επιβάλλει περιορισμούς στην πηγή ενέργειας, ενώ η διαχείριση φορτίου επιβάλλει περιορισμούς στη μονάδα αφαλάτωσης. Το σχετικό κόστος κάθε υποσυστήματος (παροχή ισχύος και απαίτηση της μονάδας) καθορίζει πόσο κατάλληλος είναι κάθε συνδυασμός ενέργειας. Στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 4.2 & Εικόνα 4.3) φαίνονται οι πιθανοί συνδυασμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τεχνολογιών αφαλάτωσης. Ιδιαίτερη δυναμική παρουσιάζουν η αιολική ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό, είτε σε υβριδικό σύστημα είτε ξεχωριστά, με την αντίστροφη όσμωση καθώς και η χρήση γεωθερμίας.



Εικόνα 4.2: Εφαρμογές αιολικής ενέργειας



Εικόνα 4.3: Εφαρμογές γεωθερμικής και ηλιακής ενέργειας

4.4 Πλεονεκτήματα ΑΠΕ

Ας αναφερθούμε αρχικά στις θετικές πλευρές της χρήσης ΑΠΕ για την αφαλάτωση.

Καταρχάς, είναι σύνηθες φαινόμενο, στις απομονωμένες περιοχές όπου παρουσιάζεται η έλλειψη νερού και υπάρχει δυσκολία στην παροχή ενέργειας από συμβατικές πηγές, να υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα στοιχείων της φύσης, σε τέτοια μεγέθη ώστε να επιτρέπεται η εκμετάλλευσή τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις η επιλογή των ΑΠΕ αποτελεί μονόδρομο για τη λειτουργία αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης.



Κλιματικοί λόγοι επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των ΑΠΕ σε εποχική βάση. Παρόλα αυτά, τις εποχές που η ζήτηση νερού είναι αυξημένη, όπως το καλοκαίρι όπου η τουριστική περίοδος είναι στο ζενίθ της, είναι μεγάλη και η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ, όπως της ηλιακής ακτινοβολίας και της αιολικής ενέργειας, οπότε η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από την παραγωγή.

Η λειτουργία και η τεχνολογία τόσο των ΑΠΕ όσο και της μονάδας αφαλάτωσης πρέπει να ελέγχεται και να διαχειρίζεται τοπικά, καθώς η παροχή εξωτερικής βοήθειας και εξειδικευμένου τεχνικού προσωπικού είναι κατά κανόνα δύσκολη στα μέρη αυτά. Γι' αυτό εκμεταλλευόμαστε το πλεονέκτημα των ΑΠΕ, οι οποίες είναι πιο εύκολες στη λειτουργία και τη συντήρηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Επίσης, με αυτό τον τρόπο στηρίζεται η τοπική κοινωνία και η οικονομία της, μιας και γίνεται χρήση τοπικού ανθρωπίνου δυναμικού αλλά και φυσικών πόρων της περιοχής.

Επίσης με τη χρήση των ΑΠΕ επιτυγχάνεται διαφοροποίηση στην προμήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν υπάρχει πλέον η εξάρτηση από τους μεγάλους παραγωγούς και προμηθευτές, το μονοπώλιο καταρρέει και οι οικονομικές διακυμάνσεις είναι πιο δύσκολο να πλήξουν την κοινωνία. Πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη σημασία σε αυτό το στοιχείο καθώς οι περιοχές όπου απαιτείται να εφαρμοστεί η λύση της αφαλάτωσης αντιμετωπίζουν προβλήματα ανάπτυξης, τα οποία είναι εύκολο να επιδεινωθούν καθώς η διαδικασία της αφαλάτωσης είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα και απαιτεί σημαντικό κεφάλαιο.

Δεν πρέπει να παραλείψουμε το γεγονός ότι στην εποχή μας, όπου η μόλυνση του περιβάλλοντος απειλεί ολοένα και περισσότερο και η εκπομπή των ρύπων περιορίζεται αυστηρά από το πρωτόκολλο του Κιότο, η παράβαση του οποίου επισύρει αυστηρές ποινές, η κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από συμβατικά καύσιμα πρέπει, στο βαθμό που είναι δυνατό, να αποφευχθεί. Έτσι, οι ΑΠΕ φαντάζουν ως ιδανική λύση για την αφαλάτωση, μιας και η κατανάλωση ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλή.



4.5 Λόγοι για χαμηλή διείσδυση ΑΠΕ

Παρόλα αυτά, η διείσδυση των ΑΠΕ στις εφαρμογές αφαλάτωσης που υπάρχουν ανά τον κόσμο είναι πολύ μικρή ακόμα αν και τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση για ανατροπή αυτής της κατάστασης. Οι αιτίες για αυτή τη μικρή συμμετοχή είναι ποικίλες και συχνά συνδέονται μεταξύ τους.

Ο πρώτος λόγος έχει να κάνει με τεχνολογικά ζητήματα, που αφορούν τόσο τις ΑΠΕ όσο και τις διάφορες διαδικασίες αφαλάτωσης. Αν και αυτές οι τεχνολογίες είναι ώριμες μέχρι ενός βαθμού υπάρχουν ακόμα περιθώρια για περαιτέρω βελτίωση. Επίσης υπάρχει η πρόκληση για την επίτευξη του βέλτιστου τεχνολογικού σχεδιασμού του συστήματος που θα αφορά τόσο την εκμετάλλευση των ΑΠΕ όσο και τη διαδικασία της αφαλάτωσης.

Ανασταλτικός παράγοντας είναι και το κόστος της επένδυσης, ειδικά όσον αφορά την παραγωγή της ενέργειας. Αν και οι τιμές είναι σε διαρκή καθοδική πορεία, το κόστος της τεχνολογίας των ΑΠΕ και άλλων συνοδευτικών εξαρτημάτων είναι απαγορευτικό και κάνει τις επενδύσεις μη βιώσιμες. Αν και η αξία του πόσιμου νερού σε περιοχές που δεν έχουν τη δυνατότητα να το απολαύσουν με άλλο τρόπο δεν πρέπει να εκτιμάται βάσει χρημάτων και οικονομικών μεγεθών.

Αν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως δηλώνει και το όνομα τους, είναι απεριόριστες και δεν εξαντλούνται, εν τούτοις ο εφήμερος χαρακτήρας τους θέτει περιορισμούς στη μέγιστη αξιοποίησή τους. Η γεωγραφική τους διασπορά προκαλεί ένα ακόμα πρόβλημα καθώς η θέση στην οποία συμφέρει να γίνει η εκμετάλλευσή τους μπορεί να μη συμπίπτει με τον τόπο όπου υπάρχει το πρόβλημα της λειψυδρίας.

Οι ελλείψεις σε εξοπλισμό, τεχνογνωσία και υποδομές των απομονωμένων περιοχών αποτελεί ένα ακόμα πρόβλημα. Έτσι καθίσταται δύσκολη η εφαρμογή μεθόδων υψηλής τεχνολογίας σε τέτοια μέρη καθώς υπάρχει ο κίνδυνος της αποτυχίας λόγω της αδυναμίας παροχής αξιόπιστης τεχνικής υποστήριξης.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η χρήση των ΑΠΕ αυξάνει κατά πολύ το κόστος της επένδυσης, και ιδιαίτερα, όσο πιο πολύπλοκος είναι ο συνδυασμός των ΑΠΕ, π.χ. ένα υβριδικό σύστημα, τόσο πιο ακριβή γίνεται η επένδυση. Το κόστος αυτό όμως αντισταθμίζεται από τα πολλαπλά οφέλη που έχουμε, ακριβώς λόγω της χρήσης των ΑΠΕ. Αυτά είναι η μείωση της ενέργειας που αντλείται από το δίκτυο, που ειδικά σε περιόδους αιχμής είναι πολύ σημαντική. Αυξάνεται η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ και το πιθανό περίσσειμα μπορεί να δοθεί προς χρήση στο δίκτυο. Μειώνεται η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και το κόστος για την αγορά αυτών, ιδιαίτερα στις μέρες μας που οι τιμές τους είναι σε διαρκή άνοδο. Έτσι, επιτυγχάνεται και μείωση των αερίων που είναι υπαίτια για το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και των χρημάτων που απαιτούνται για τον περιορισμό

τους. Η γενική άποψη είναι ότι μπροστά σε όλα αυτά τα οφέλη μια μικρή αύξηση του ισοσταθμισμένου κόστους νερού είναι ασήμαντη.

4.6 ΜΟΡΦΕΣ ΑΠΕ

Οι μορφές των ΑΠΕ οι οποίες έχουν διερευνηθεί επιστημονικά και έχουν γίνει κάποια βήματα για την εκμετάλλευσή τους είναι πάρα πολλές. Όμως, για διάφορους λόγους, δεν είναι όλες κατάλληλες για χρήση σε διαδικασίες αφαλάτωσης. Οι κυριότερες μορφές, που έχει διαπιστωθεί ότι, μπορεί να αποτελέσουν μια βιώσιμη λύση φαίνονται παρακάτω.

4.6.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία της αφαλάτωσης είτε για να παράγει τη θερμική ενέργεια που απαιτείται ώστε να λειτουργήσουν οι μέθοδοι αλλαγής φάσης, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται στις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες. Το υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών κυψελών και των ηλιακών αποστακτηρίων την καθιστούν ακριβή μέθοδο, εκτός και αν η μονάδα γίνεται σε πολύ απομονωμένη περιοχή.

4.6.1.1 Ηλιακή θερμική ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας σε μια διεργασία αφαλάτωσης, είτε με τη μορφή θερμικής ενέργειας είτε με τη μορφή ηλεκτρισμού. Σε κάθε περίπτωση, το κόστος του φρέσκου νερού αυξάνει δραματικά όταν η εγκατάσταση αφαλάτωσης δεν καταναλώνει το σύνολο της ενέργειας που παρέχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες. Γι' αυτόν το λόγο για συγκεκριμένες απαιτήσεις παραγωγής φρέσκου νερού η μονάδα αφαλάτωσης θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη να καταναλώνει το σύνολο της παρεχόμενης από το ηλιακό πεδίο, ενέργειας. Η αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες:

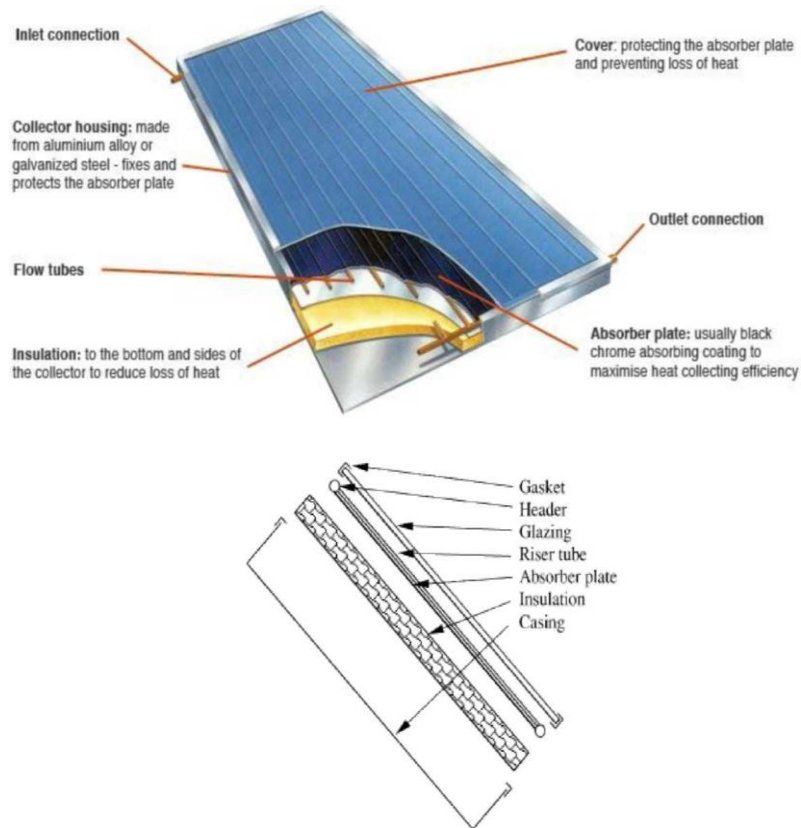
◆ Έμμεσα συστήματα (indirect systems)

Η αρχή λειτουργίας των εν λόγω συστημάτων συνίσταται στη χρήση δύο ξεχωριστών υποσυστημάτων: έναν ηλιακό συλλέκτη για συλλογή της ηλιακής ενέργειας και μία μονάδα που χρησιμοποιεί αυτήν την ενέργεια για την παραγωγή φρέσκου νερού. Αυτή η μονάδα μπορεί να χρησιμοποιεί μία οποιαδήποτε από τις διεργασίες που περιγράψαμε στην παράγραφο 3.3.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του κατάλληλου ηλιακού συλλέκτη για τη διαδικασία της αφαλάτωσης.

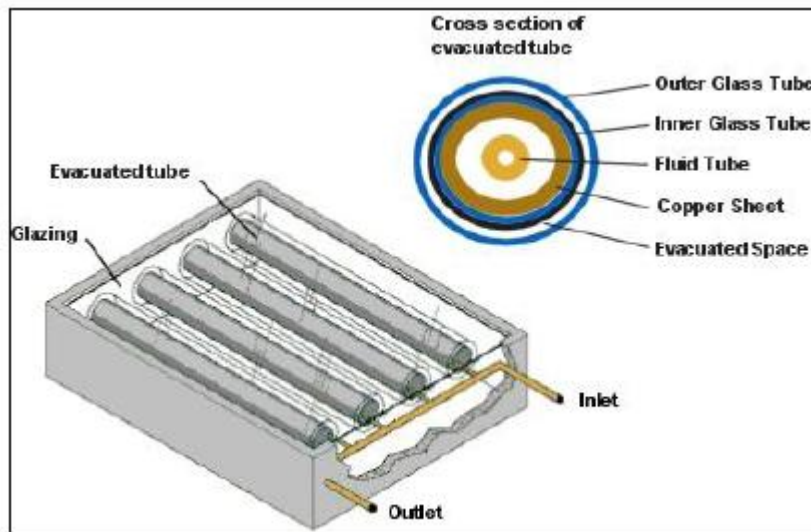
Οι **συλλέκτες τύπου flat plate** (Εικόνα 4.4) είναι ιδανικοί για διεργασίες όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες. Τέτοιες διεργασίες συνήθως περιλαμβάνουν τη δημιουργία συνθηκών κενού αέρος, που επιτυγχάνονται είτε με αντλίες δημιουργίας κενού, είτε με εκτοξευτές ατμού, είτε τέλος με εκτοξευτές νερού.

Οι **συλλέκτες τύπου evacuated tube** (Εικόνα 4.5) εξασφαλίζουν ενέργεια ακόμα και τις μέρες που επικρατεί νέφωση, ενώ η απόδοσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας ή σε χαμηλή ηλιοφάνεια είναι αισθητά καλύτερη από τους συλλέκτες τύπου flat plate.



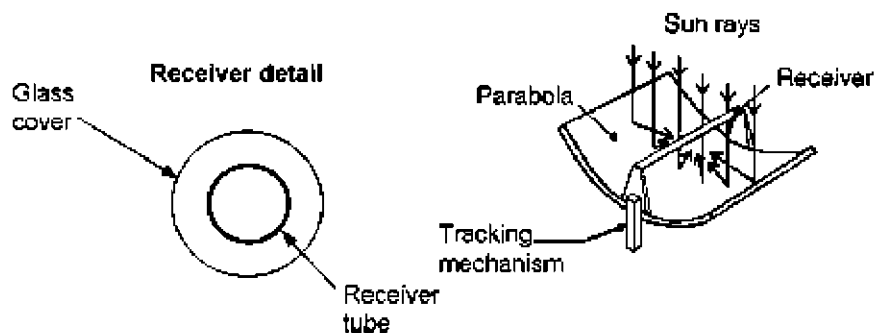
Εικόνα 4.4: Συλλέκτης τύπου flat

Οι συλλέκτες τύπου **cylindrical tracking** μπορεί να είναι πιο αποδοτικοί από τους evacuated tube, αλλά έχουν σχεδόν μηδενική παραγωγή τις συννεφιασμένες ημέρες, εκτός του ότι συλλέγουν ένα πολύ μικρό τμήμα της διάχυτης ακτινοβολίας.



Εικόνα 4.5: Συλλέκτης τύπου evacuated tube

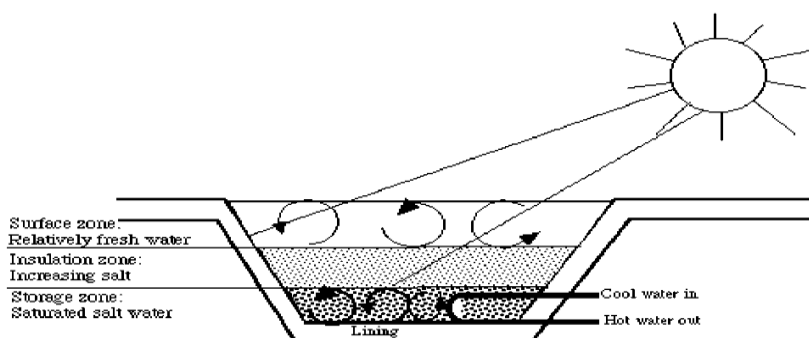
Οι συλλέκτες τύπου **parabolic concentrating** (Εικόνα 4.6) απαιτούν έναν εξαιρετικά ακριβή μηχανισμό ιχνηλάτισης δύο αξόνων και αποδίδουν θερμοκρασίες της τάξης των 120°C που είναι φυσικά πολύ υψηλότερες από αυτές που απαιτούνται για την αφαλάτωση. Γενικά για το σχεδιασμό μίας optimum μονάδας αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής ενέργειας



Εικόνα 4.6: Parabolic concentrating συλλέκτης

θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως: η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος, ο τύπος του ηλιακού συλλέκτη, τα μέσα μεταφοράς της θερμότητας στη διεργασία και το είδος της μονάδας που θα χρησιμοποιηθεί.

Καθώς ορισμένες διεργασίες αφαλάτωσης μπορούν να λειτουργήσουν με πηγές θερμότητας χαμηλής βαθμίδας (low grade), συμβατικοί ηλιακοί συλλέκτες μέσης θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Εξαιτίας όμως των τεράστιων ποσοτήτων θερμότητας χαμηλής βαθμίδας που απαιτούνται για να συντηρηθεί η διαδικασία, η επιφάνεια που θα πρέπει να καλυφθεί με ηλιακούς συλλέκτες είναι μεγάλη. Η κατασκευή τέτοιων ηλιακών πάρκων δεν είναι ιδιαίτερα πρακτική αν αναλογιστούμε τις ανάγκες υδραυλικής ένωσης, σταθερότητας της ροής, συντήρησης, αποθήκευσης θερμότητας και άντλησης. Ένα ηλιακό σύστημα που θα ήταν ιδανικό για τέτοιες εφαρμογές είναι ένα **solar pond (SP)** (Εικόνα 4.7), μια ηλιακή λίμνη που συνδυάζει αποθήκευση θερμότητας, παθητική συλλογή θερμότητας και μεταφορά θερμότητας με χαμηλά κόστη άντλησης.



Εικόνα 4.7: Ηλιακή λίμνη (solar pond)

Επιπλέον το σύστημα αυτό παρουσιάζει και χαμηλό λειτουργικό κόστος. Η θερμοκρασία λειτουργίας ενός SP μπορεί να κυμανθεί μεταξύ 30-95°C. Γενικότερα ένα σύστημα SP αποτελείται από ένα λεπτό ανώτερο στρώμα μεταφοράς, ένα στρώμα στο κάτω μέρος για την αποθήκευση της ενέργειας που συλλέχθηκε και ένα στρώμα μόνωσης μεταξύ του ανώτερου και του κατώτερου στρώματος, που εμποδίζει τη μεταφορά μέσω μιας επιλεγμένης βαθμίδας πυκνότητας. Αυτό κάνει το σύστημα SP να λειτουργεί ως παγίδα θερμότητας. Οι μονάδες αφαλάτωσης που μπορούν να ενσωματώσουν μια ηλιακή λίμνη περιλαμβάνουν τις μεθόδους multi-effect distillation system, multistage flash distillation system, vapor compression distillation, και reverse osmosis. Από τη στιγμή βέβαια που τα συστήματα RO και VC απαιτούν και μηχανικό έργο, η λειτουργία τους με μία ηλιακή λίμνη απαιτεί ένα μέρος της ηλιακής ενέργειας να μετασχηματίζεται σε έργο κάτι που είναι ιδιαίτερα ακριβό. Μια ηλιακή λίμνη είναι επίσης αρκετά αποδοτική στο να τροφοδοτήσει ένα σύστημα multi-effect χαμηλής θερμοκρασίας για τους ακόλουθους λόγους: η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας που παρέχεται από την ηλιακή λίμνη (60-75°C),

ταιριάζει με την απαιτούμενη για συστήματα αφαλάτωσης MED/ME θερμοκρασία που κυμαίνεται στους 50-60°C, ενώ ένα σύστημα MED/ME είναι εξαιρετικά ευέλικτο σε αλλαγές στην παροχή ενεργείας και είναι εξαιρετικά σταθερό υπό συνθήκες μεταβαλλόμενης παροχής θερμότητας. Ο συνδυασμός της ηλιακής λίμνης με συστήματα αφαλάτωσης αποδείχθηκε εξαιρετικά βιώσιμος για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού σε ξηρές και άνυδρες περιοχές.

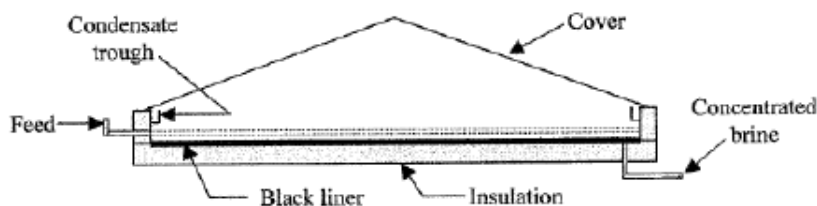
Ορισμένοι μελετητές έχουν προτείνει το συνδυασμό μεθόδων αφαλάτωσης και παραβολικών συλλεκτών. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται οι παραβολικοί συλλέκτες, οι οποίοι θα έχουν σαν εργαζόμενο μέσο φρέσκο νερό, να λειτουργούν ως μονάδα απευθείας ατμοπαραγωγής για τη λειτουργία ενός συστήματος MED. Συγκρίνοντας μάλιστα τα κόστη εγκαταστάσεων MED που χρησιμοποιούσαν παραβολικούς συλλέκτες, συνδυασμό ηλιακής ενέργειας και ορυκτών καυσίμων καθώς και συμβατικών μονάδων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ηλιακή τεχνολογία είναι άκρως ανταγωνιστική με την αντίστοιχη συμβατική.

Άλλοι μελετητές ασχολήθηκαν με συλλέκτες τύπου evacuated tube σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις τύπου MED/ME. Η μονάδα αποτελείται από μία κεραία με συλλέκτες τύπου evacuated tube, αποθήκευση θερμότητας και έναν εξατμιστή θαλασσινού νερού. Ο σχεδιασμός προβλέπει απόλυτα αυτόματη λειτουργία καθώς η διαδικασία συλλογής θερμότητας ξεκινάει αυτόματα μέσω ενός αισθητήρα ο οποίος μετρά την ηλιακή ακτινοβολία. Επιπλέον η λειτουργία του εξατμιστή ελέγχεται από αισθητήρες που ελέγχουν τη θερμοκρασία καθώς και το θερμικό φορτίο που παραμένει στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Οικονομικές μελέτες έδειξαν ότι τα ηλιακά συστήματα αφαλάτωσης μπορούν να είναι ανταγωνιστικά κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, ειδικότερα σε απομακρυσμένες περιοχές, καθώς και ότι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ηλιακή ενέργεια για μερική κάλυψη των αναγκών παρά σε απόλυτο ποσοστό 100%.

◆ Άμεσα συστήματα (direct systems)

Τα άμεσα συστήματα είναι εκείνα στα οποία η συλλογή θερμότητας και η διαδικασία της αφαλάτωσης λαμβάνουν χώρα στην ίδια εγκατάσταση. Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για να παράγει το αφαλατωμένο νερό απευθείας στον **ηλιακό αποστακτήρα (solar still)** (Εικόνα 4.8). Ο αποστακτήρας λειτουργεί ως μία παγίδα για την ηλιακή ακτινοβολία (φαινόμενο θερμοκηπίου). Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσα από το διάφανο κάλυμμα απορροφάται από τον απορροφητή και κατά ένα μέρος από το αλμυρό νερό. Σαν αποτέλεσμα η θερμοκρασία του νερού, και ως εκ τούτου και η πίεση ατμών, αυξάνεται και γίνεται υψηλότερη από αυτή του καλύμματος. Το νερό εξατμίζεται στον περιβάλλοντα αέρα και ο ατμός ανεβαίνει στο κάλυμμα με φυσική συναγωγή, όπου και συμπυκνώνεται στο εσωτερικό τμήμα του καλύμματος. Το συμπύκνωμα ρέει υπό την επίδραση της βαρύτητας στη δεξαμενή συλλογής. **Ο πλέον κοινός ηλιακός αποστακτήρας είναι ο τύπου θερμοκηπίου.** Αυτός διακρίνεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες: στο συμμετρικού και στον ασύμμετρου τύπου.



Εικόνα 4.8: Ηλιακός αποστακτήρας

Οι ηλιακοί αποστακτήρες τύπου θερμοκηπίου είναι πολύ απλοί στην κατασκευή και τη λειτουργία. Τα κυριότερα τμήματα είναι τα εξής:

- **Η βάση:** είναι το τμήμα όπου κρατείται το αλμυρό νερό. Η βάση πρέπει να είναι μονωμένη στο κάτω μέρος ούτως ώστε να ελαττώνεται η απώλεια θερμότητας προς το έδαφος. Πρέπει να είναι βαμμένη μαύρη ή καλυμμένη με μαύρο ύφασμα ώστε να αυξάνεται η απορροφητικότητα της. Τα βάθος της ξεκινά από τα 10-20 mm και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 100 mm. Πρέπει να είναι ελαφρώς κεκλιμένη, περίπου 1°, για να εξασφαλίζει την εύκολη απομάκρυνση της συγκεντρωμένης άλμης. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του αποστακτήρα πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση λόγω της παρουσίας του αλμυρού νερού. Προτιμάται μάλιστα τα υλικά αυτά να είναι φθηνά, με μεγάλη διάρκεια ζωής και διαθέσιμα σε τοπικό επίπεδο.
- **Το διάφανο κάλυμμα:** Το κάλυμμα εμποδίζει τις απώλειες και κρατάει τον αέρα μακριά από το να ψύχει το θερμό νερό. Η εσωτερική του επιφάνεια λειτουργεί επιπλέον και ως συμπυκνωτής όπου ο ατμός συμπυκνώνεται και συλλέγεται ως προϊόν. Η κλίση του καλύμματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε η τάση επιφανείας του νερού να το αναγκάζει να ρέει όλη την απόσταση μέχρι τις κοιλότητες συλλογής χωρίς να ξαναπέφτει μέσα στη βάση. Η βέλτιστη γωνία κλίσης του καλύμματος είναι 10-50°. Το υλικό κατασκευής είναι γυαλί ή πλαστικό. Το γυαλί προτιμάται κυρίως λόγω της πολύ υψηλής διαπερατότητας που εμφανίζει, αλλά φυσικά έχει και το μειονέκτημα ότι θραύεται εύκολα. Όσον αφορά το πλαστικό εμφανίζει μικρό βάρος, χαμηλό κόστος, δε θραύεται και είναι εύκολο στο χειρισμό. Σημαντικό μειονέκτημα είναι η περιορισμένη διάρκεια ζωής λόγω ευαισθησίας στην υπεριώδη ακτινοβολία.
- **Οι κοιλότητες συλλογής** είναι τοποθετημένες στις χαμηλότερες άκρες του καλύμματος προκειμένου να συλλέγουν το αφαλατωμένο νερό. Οι κοιλότητες θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν στο αφαλατωμένο νερό να ρέει στα κατώτερα τμήματα του αποστακτήρα και να συλλέγεται ως προϊόν.

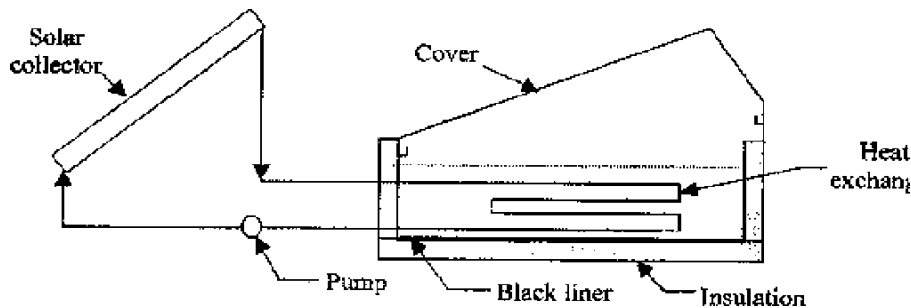
Η σχεδίαση ενός ηλιακού αποστακτήρα απαιτεί βελτιστοποίηση πολλών παραγόντων: το βάθος της άλμης, την αποφυγή διαρροής του ατμού, τη θερμική μόνωση, τη μορφή και το υλικό του αποστακτήρα.

Ένας καλοσχεδιασμένος αποστακτήρας πρέπει να έχει επιπρόσθετη πρόβλεψη για τη συλλογή της βροχής που πέφτει σε αυτόν, έτσι ώστε το γύρω έδαφος να μην πλημμυρίζει και να μη διαβρώνεται. Τα τμήματα του αποστακτήρα πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να συνδυάζονται εύκολα. Επιπλέον ένας μεγάλος αριθμός σχεδίων για βάσεις έχουν χρησιμοποιηθεί. Διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τα υλικά κατασκευής, τη γεωμετρία, τον τρόπο υποστήριξης του καλύμματος και τις προβλέψεις για παροχή ή αποβολή νερού. Ένας αποστακτήρας απαιτεί συχνή απόπλυση του αλμυρού νερού προκειμένου να αποφευχθεί η μείωση της απορροφητικότητας και ως εκ τούτου η μείωση της απόδοσης. Η απόδοση του αποστακτήρα, η οποία και ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την εξάτμιση προς την ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται, είναι συνήθως χαμηλή και δεν ξεπερνά το 50%. Συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 30-40%. Η ημερήσια παραγωγή του ηλιακού αποστακτήρα είναι 3-4 l/m².

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί από ερευνητές, η μεταφορά μάζας μέσα στον αποστακτήρα εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του νερού και του γυάλινου καλύμματος. Προκειμένου να αυξήσουν αυτή τη διαφορά θερμοκρασίας ορισμένοι προτείνουν το **συνδυασμό του ηλιακού αποστακτήρα με έναν ηλιακό συλλέκτη τύπου flat plate** όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.9.

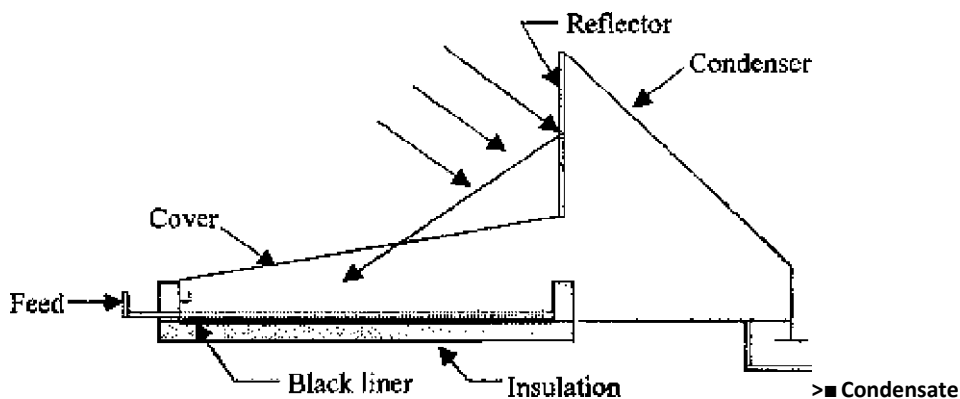
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση του αποστακτήρα μπορεί να αυξηθεί σημαντικά, αλλά παράλληλα θα αυξηθεί και το κόστος της όλης κατασκευής. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις η παραγωγή του αποστακτήρα αυξήθηκε από περίπου 4 l/m² σε 8 l/m².

Ένας άλλος τρόπος για να αυξηθεί η απόδοση του αποστακτήρα, είναι να μειωθεί η θερμοκρασία του γυάλινου καλύμματος. Η αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ της επιφάνειας του αλμυρού νερού και του καλύμματος, μπορεί να πραγματοποιηθεί και



Εικόνα 4.9: Συνδυασμός ηλιακού αποστακτήρα και flat plate συλλέκτη

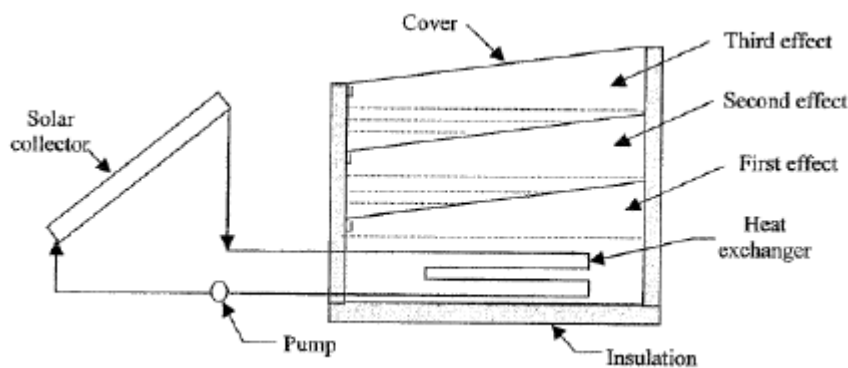
με την προσθήκη ενός συμπυκνωτή στον αποστακτήρα (Εικόνα 4.10), αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τη θερμοχωρητικότητα και κατ' επέκταση και την απόδοση.



Εικόνα 4.10: Ηλιακός αποστακτήρας με προσθήκη συμπυκνωτή

Η εξάτμιση σε χαμηλή θερμοκρασία, με τη χρήση συνθηκών κενού αέρος, οδηγεί σε μια σημαντική βελτίωση της απόδοσης του συστήματος καθώς ο ρυθμός εξάτμισης αυξάνεται με τη μείωση της πίεσης. Παραγωγικότητα συστήματος υψηλότερη σε σχέση με παρόμοια συστήματα αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής ενέργειας που λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση, έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές.

Όπως είναι προφανές, σε όλες τις διαμορφώσεις που περιγράψαμε προηγουμένως, η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης απλώς διοχετεύεται στο περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, κάτι που θα οδηγήσει σε βελτίωση της απόδοσης του συστήματος. Η λανθάνουσα θερμότητα της συμπύκνωσης θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εξάτμιση ενός μέρους του αλμυρού νερού, σε έναν **αποστακτήρα multi effect** (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11: Multi effect αποστακτήρας

Σε έναν τέτοιο αποστακτήρα η θερμότητα αποδίδεται στο πρώτο effect από έναν ηλιακό συλλέκτη, ο ατμός που παράγεται σε αυτό κινείται προς τα πάνω μέσω φυσικής συναγωγής και συμπυκνώνεται όταν έρχεται σε επαφή με το κάτω μέρος του δεύτερου effect, αποδίδοντας τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης σε αυτό το στάδιο, εξατμίζοντας με αυτόν τον τρόπο ένα τμήμα του νερού από αυτό και η διαδικασία συνεχίζεται έως το τελευταίο effect, το οποίο πιθανώς να καλύπτεται από διάφανο κάλυμμα, κερδίζοντας με αυτόν τον τρόπο επιπλέον ποσά θερμότητας απευθείας από τον ήλιο. Αυτή η μέθοδος οδηγεί όπως είπαμε σε σημαντική βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.

Η νυκτερινή λειτουργία ενός ηλιακού αποστακτήρα τροφοδοτούμενου από αποβαλλόμενη θερμότητα η αποθηκευμένη ενέργεια είναι επίσης ένα θέμα υπό έρευνα.

Φρέσκο νερό μπορεί επίσης να παραχθεί από αλμυρό μέσω ενός **κύκλου ύγρανσης - αφύγρανσης (humidification-dehumidification cycle)** (Εικόνα 4.12). Σε αυτήν τη διαδικασία ο αέρας ανακυκλώνεται με φυσική ή εξαναγκασμένη συναγωγή πάνω από θερμό νερό που τροφοδοτείται από τον ηλιακό συλλέκτη. Ο αέρας γίνεται υγρός και στη συνέχεια περνάει μέσα από το συμπυκνωτή για αφύγρανση. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο αέρας που κυκλοφορεί έρχεται σε επαφή με το θερμό αλμυρό νερό στον εξατμιστή, μια συγκεκριμένη ποσότητα ατμού εξάγεται στον αέρα. Μέρος του ατμού του ανακατεμένου με αέρα μπορεί να ανακτηθεί ως συμπύκνωμα φέρνοντας τον υγρό αέρα σε επαφή με μία ψυχρή επιφάνεια σε άλλον εναλλάκτη, όπου το τροφοδοτικό νερό παράλληλα προθερμαίνεται με τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης.

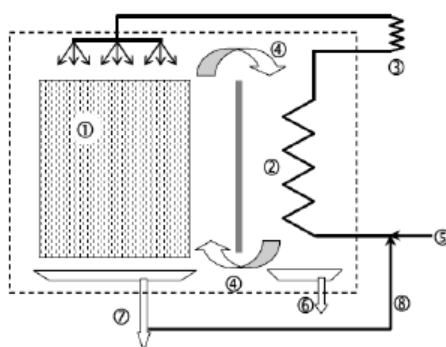


Fig. 3. General layout of an HD unit: 1 evaporation area, 2 condensation area, 3 heat source, 4 air circulation, 5 feed saline water, 6 distillate, 7 brine, 8 brine recirculation reflux.

Εικόνα 4.12: Μονάδα ύγρανσης - αφύγρανσης (HD)

Στα άμεσα συστήματα θα μπορούσαμε να κατατάξουμε και αυτά που χρησιμοποιούν τη **μέθοδο απόσταξης με μεμβράνες (membrane distillation)** (Εικόνα 4.13). Η μέθοδος εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται ανάμεσα σε μια ποσότητα

τροφοδοτικού νερού όταν έρχεται σε επαφή από τη μία με την επιφάνεια της μεμβράνης και από την άλλη με την περιοχή μετά τη μεμβράνη. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας, οδηγεί σε μια διαφορά πίεσης του ατμού, οδηγώντας στη μετάδοση του παραγόμενου ατμού μέσω της μεμβράνης στην επιφάνεια συμπύκνωσης. Η όλη διαδικασία στηρίζεται στη χρήση υδροφοβικών μεμβρανών, διαπερατών μόνο από τον ατμό, οπότε με αυτόν τον τρόπο αποκλείεται η μεταφορά υγρής φάσης και πιθανώς διαφόρων μη διαλυμένων σωματιδίων.

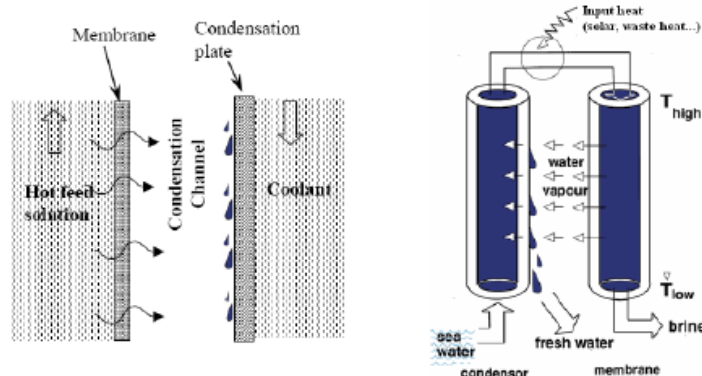


Fig. 4. Principle of the MD process (left) and schematic diagram of a typical MD system (right).

Εικόνα 4.13: Μέθοδος απόσταξης με μεμβράνες (membrane distillation)

Σε ένα τυπικό σύστημα MD, το τροφοδοτικό νερό (με θερμοκρασία εισόδου περίπου 25°C), περνά διαμέσου του καναλιού συμπύκνωσης (condensation channel) και θερμαίνεται (65°C περίπου θερμοκρασία εξόδου). Η τροφοδοσία (hot feed solution, $T_{high} = 80^\circ\text{C}$ θερμοκρασία εισόδου), κατευθύνεται ακριβώς στη μεμβράνη περνώντας από το κανάλι εξάτμισης (evaporator channel) ψυχόμενο παράλληλα ($T_{low}=40^\circ\text{C}$ στο τέλος της εξάτμισης). Η θερμότητα η απαραίτητη για την κάλυψη της διαφοράς θερμοκρασίας 80°C-65°C, μεταξύ των δύο καναλιών εισάγεται στο σύστημα ανάμεσα στην έξοδο του συμπυκνωτή και στην είσοδο του εξεταστή, από το θερμικό ενδιάμεσο (π.χ. ηλιακή ενέργεια).

Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η διαδικασία MD λαμβάνει χώρα σε ατμοσφαιρική πίεση και σε θερμοκρασίες που δεν ξεπερνούν τους 80°C, οπότε οι ενεργειακές απαιτήσεις αφορούν μόνο το κομμάτι της θερμικής ενέργειας. Για αυτόν τον λόγο η MD είναι μια διαδικασία με πολλά πλεονεκτήματα όσον αφορά την ενσωμάτωσή της στα πλαίσια ενός θερμικού ηλιακού συστήματος αφαλάτωσης.

4.6.1.2 Ηλιακή ενέργεια από Φωτοβολταϊκά

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί από μια διάταξη φωτοβολταϊκών πάνελ και να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυψέλες των φωτοβολταϊκών είναι συνήθως από σιλικόνη, αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα ημιαγωγικά υλικά. Στις εφαρμογές που κυκλοφορούν στην αγορά βλέπουμε ότι μπορούν να επιτευχθούν αποδόσεις της τάξης του 15% για μονοκρυσταλλικές κυψέλες σιλικόνης και 10-11% για πολυκρυσταλλικές κυψέλες σιλικόνης. Η ηλεκτρική παραγωγή μπορεί να αυξηθεί συγκεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία σε ορισμένα σημεία με τη χρήση κατάλληλων ανακλαστικών καθρεφτών καθώς και με τη χρήση κατάλληλων συσκευών που εντοπίζουν τη θέση του ήλιου και στρέφουν ανάλογα τις κυψέλες στη σωστή κατεύθυνση. Η κυριότερη κατεύθυνση στην έρευνα στο χώρο των φωτοβολταϊκών είναι η αύξηση της απόδοσης των κυψελών, η μείωση του κόστους κατασκευής των και η έρευνα για άλλα ημιαγωγικά υλικά, όπως το CIS που είναι ευαίσθητο και σε ακτινοβολίες που ανήκουν στην υπέρυθη περιοχή του

φάσματος του φωτός ή το GaAs για το οποίο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 30%.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών είναι από τις πιο ώριμες και προχωρημένες στο χώρο των ΑΠΕ. Ειδικότερα, για την αφαλάτωση, οι προσπάθειες που έχουν γίνει για το συνδυασμό ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά με τη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης ήταν επιτυχείς και συνιστούν οικονομικά βιώσιμη και εμπορικά εκμεταλλεύσιμη λύση. Το κατά πόσο αυτή η τεχνολογία είναι ανταγωνιστική με την παραγωγή ενέργειας από συμβατικές πηγές έχει να κάνει με τη χωρητικότητα της μονάδας με την απόσταση από το ηλεκτρικό δίκτυο καθώς και με τη συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας.



4.6.2 Αιολική ενέργεια

Αιολική Ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους.

Η Αιολική Ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα.



Εικόνα 4.14: Αιολικό Πάρκο στην Εύβοια

Η σημερινή τεχνολογία αιολικών πάρκων βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων. Αρχικά ανυψώνεται ο πυλώνας και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια. Μετά ανυψώνεται η πλήμνη στην κορυφή του πυλώνα. Στη βάση του πυλώνα συναρμολογείται ο άξονας της πτερύγωσης (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι

προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η πλήμνη περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο άξονας ανυψώνεται και συνδέεται στην πλήμνη. Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις.

Η παραγωγή ποικίλλει με τον αέρα. Οι μεμονωμένες ανεμογεννήτριες διασυνδέονται με ένα σύστημα συλλογής τάσης και ένα οπτικό δίκτυο επικοινωνιακών ινών. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια ενισχύεται έπειτα με ένα μετασχηματιστή σε ένα σύστημα μετάδοσης υψηλής τάσης.



Εικόνα 4.15: Αιολικό Πάρκο στην Καλιφόρνια

Κατά γενικό κανόνα, ένα Αιολικό Πάρκο είναι βιώσιμο σε περιοχές με μέση ταχύτητα αέρα άνω των 6 m/s. Συνήθως, οι περιοχές επιλέγονται εκ των προτέρων βάσει γνωστών μετρήσεων Αιολικού Δυναμικού στην ευρύτερη περιφέρεια, και επικυρώνονται με ανεμολογικές μετρήσεις εντός του υποψήφιου Αιολικού Πάρκου. Η συλλογή συγκεκριμένων στοιχείων των περιοχών για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου είναι κρίσιμη για τον καθορισμό της δυνατότητάς τους. Για να συλλεχθούν τα στοιχεία αυτά, εγκαθίσταται ένας ανεμολογικός ιστός στην περιοχή ενδιαφέροντος. Οι ιστοί διαθέτουν ανεμόμετρα για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου και ανεμοδείκτες για τον καθορισμό της διεύθυνσής του. Τα ύψη μέτρησης των ιστών ποικίλουν από 10 έως 60 μέτρα. Το δομικό τμήμα του ιστού αποτελείται από χάλυβδοσωλήνες που αφήνονται για να συλλέξουν τις μετρήσεις για ένα έως δύο έτη και αποσυναρμολογούνται έπειτα. Η συλλογή των μετρήσεων γίνεται μέσω καταγραφικής και αποθηκευτικής διάταξης. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στις ακριβείς θέσεις των ανεμογεννητριών επειδή μία διαφορά 80 m μπορεί μερικές φορές να διπλασιάσει την ενεργειακή παραγωγή.

Οι νέες τεχνολογίες για ανεμογεννήτριες μικρού και μεσαίου μεγέθους προσφέρουν υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό κόστος επένδυσης. Η κατηγοριοποίηση των ανεμογεννητριών με βάση την ονομαστική τους ισχύ μπορεί να γίνει ως εξής:

- Ανεμογεννήτριες πολύ μικρού μεγέθους: ονομαστική ισχύς μικρότερη από 10KW.
- Ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους: ονομαστική ισχύς μικρότερη από 100KW.
- Ανεμογεννήτριες μεσαίου μεγέθους: ονομαστική ισχύς μικρότερη από 0,5MW.
- Ανεμογεννήτριες μεγάλου μεγέθους: ονομαστική ισχύς μεγαλύτερη από 0,5MW.

Οι τεχνολογίες είναι ώριμες με εξαίρεση ίσως τις πολύ μεγάλες ανεμογεννήτριες οι οποίες όμως έτσι κι αλλιώς δεν είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για τη χρήση στην αφαλάτωση. Οι νέες στρατηγικές ελέγχου και οι νέοι τρόποι αποθήκευσης ενέργειας βελτιώνουν τις δυνατότητες παραγωγής των ανεμογεννητριών.

Σε σύγκριση με τη λύση των φωτοβολταϊκών η αιολική ενέργεια είναι πιο συμφέρουσα από οικονομικής άποψης, ενώ απαιτείται και πολύ μικρότερη έκταση για την εγκατάσταση του εξοπλισμού.

Με δεδομένο ότι η αντίστροφη όσμωση έχει τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από όλες τις διαδικασίες αφαλάτωσης, ο συνδυασμός της με την αιολική ενέργεια σε παράκτιες περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού καθίσταται ιδιαίτερα δελεαστικός. Το κόστος παραγωγής του νερού επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, από τη χωρητικότητα της μονάδας καθώς και από τις αλλαγές στην ισχύ του ανέμου και στην τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης. Πάντως, σε απομονωμένες περιοχές για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, και όχι αλμυρού, είναι προτιμότερη η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση από την αντίστροφη όσμωση καθώς είναι λιγότερο ευαίσθητη στη λειτουργία με τη μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες.

4.6.2.1 Προβλήματα που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες

Η εγκατάσταση ανεμογεννητριών, είτε πρόκειται για τη χρήση της ενέργειας σε μια μονάδα αφαλάτωσης, είτε για την παραγωγή ενέργειας και τη διασύνδεση με το δίκτυο μεταφοράς δεν είναι εύκολη υπόθεση. Συχνά ανακύπτουν πολλά προβλήματα, ειδικά στη δεύτερη περίπτωση καθώς πλέον δε μιλάμε για μια ανεμογεννήτρια αλλά για αιολικό πάρκο που αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό ανεμογεννητριών.

Αν και η αιολική ενέργεια θεωρείται κατεξοχήν καθαρή και πράσινη ενέργεια, μιας και δε χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και δεν προκαλεί την εκπομπή αερίων υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι υπεύθυνη για κάποια άλλα προβλήματα περιβαλλοντικής και αισθητικής φύσεως κυρίως. Δε θα ασχοληθούμε με το περιβαλλοντικό κόστος της κατασκευής τους, την ενέργεια που απαιτείται για να κατασκευαστούν καθώς και τους ρύπους που παράγονται κατά τη διαδικασία αυτή καθώς μέσα σε λίγους μήνες λειτουργίας αυτό το χρέος αποπληρώνεται.

Επιλογή τοποθεσίας

Σημαντικό ζήτημα στην επιλογή της περιοχής εγκατάστασης είναι η μελέτη του αιολικού δυναμικού αυτής. Ως γνωστό, όσο πιο υψηλό είναι το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής τόσο καλύτερα είναι τα οικονομικά δεδομένα της λειτουργίας. Για αυτό το λόγο προτιμώνται κυρίως περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο, όπως λόφοι και κορυφογραμμές, ή είναι κοντά στην ακτή. Ειδικά οι κορυφογραμμές προσφέρουν το πλεονέκτημα ότι ο αέρας επιταχύνεται εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους. Επίσης στις τοποθεσίες με μεγάλο υψόμετρο υπάρχει το πλεονέκτημα ότι διαταράσσεται λιγότερο η ροή του αέρα από τις ανωμαλίες του εδάφους.

Ειδικά όμως οι ορεινές περιοχές συνήθως παρουσιάζουν σπάνιας ομορφιάς οικοσυστήματα τα οποία και θα πρέπει να αλλοιωθούν για να κατασκευαστούν όλες οι απαιτούμενες υποδομές για τη λειτουργία του αιολικού πάρκου. Εκτός από την απαιτούμενη επιφάνεια για την τοποθέτηση και τη στήριξη των ΑΓ απαιτείται η διάνοιξη δρόμων και η κατασκευή δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσα σε περιοχές οι οποίες συχνά είναι δασικές και έχουν ιδιαίτερη σημασία για την τοπική, και όχι μόνο, κοινωνία. Αυτό προκαλεί δικαιολογημένες αντιδράσεις από τους πολίτες καθώς συχνά οι κατασκευάστριες εταιρίες δρουν με ασυδοσία και έλλειψη σεβασμού στο περιβάλλον. Θετικό μπορεί να χαρακτηριστεί το γεγονός ότι ο χώρος ανάμεσα στις ΑΓ, με εξαίρεση τα λίγα τετραγωνικά μέτρα που καταλαμβάνουν οι βάσεις τους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες χρήσεις όπως η κτηνοτροφία και η γεωργία.



Επίδραση στην πανίδα της περιοχής

Οι ανεμογεννήτριες έχουν μεγάλη επίδραση στη συμπεριφορά της πανίδας της περιοχής, ιδιαίτερα στα πουλιά. Αρκετά πουλιά σκοτώνονται καθώς χτυπάνε στα πτερύγια ενώ αυτά περιστρέφονται. Αξίζει όμως εδώ να σημειωθεί ότι ο αριθμός των πουλιών που σκοτώνονται με αυτό τον τρόπο είναι πραγματικά αμελητέος μπροστά σε αυτά που σκοτώνονται από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως το κυνήγι, η κατασκευή υψηλών κτιρίων και η μόλυνση του περιβάλλοντος. Επίσης, έχουν γίνει αναφορές ότι ο θόρυβος από τη λειτουργία της ΑΓ επηρεάζει τα ζώα, αν και πολλές καταγγελίες αγγίζουν τα όρια του κωμικού όπως αυτή Ελλήνων κτηνοτρόφων που κατηγορούσαν τις ΑΓ για το ότι τα ζώα τους δε μπορούσαν να αναπαραχθούν.

Θόρυβος από τη λειτουργία

Αυτός ο θόρυβος δεν είναι ενοχλητικός μόνο για τα ζώα αλλά και για τους ανθρώπους. Έτσι έχουν γίνει πολλές κινήσεις πολιτών με σκοπό την απομάκρυνση αυτών των μηχανών από την περιοχή τους με προφανή αιτιολογία τον ενοχλητικό θόρυβο. Μια τέτοια δικαιολογία όμως, είναι εν μέρει ανυπόστατη καθώς το επίπεδο του αντιληπτού θορύβου από μία ανεμογεννήτρια σύγχρονων προδιαγραφών σε απόσταση 200 μέτρων, είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος μιας μικρής επαρχιακής πόλης και βεβαίως δεν αποτελεί πηγή ενόχλησης. Με δεδομένη δε τη νομοθετημένη απαίτηση να εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες σε ελάχιστη απόσταση 500 μέτρων από τους οικισμούς, το επίπεδο είναι ακόμη χαμηλότερο και αντιστοιχεί πλέον σε αυτό ενός ήσυχου καθιστικού δωματίου. Επιπλέον, στις ταχύτητες ανέμου που λειτουργούν οι ανεμογεννήτριες ο φυσικός θόρυβος (θόρυβος ανέμου σε δένδρα και θάμνους) υπερκαλύπτει οποιονδήποτε θόρυβο που προέρχεται από τις ίδιες.

Οπτική όχληση

Συχνά προβάλλεται ως επιχείρημα και η οπτική όχληση και η αισθητική δυσαρμονία που προκαλείται από τα αιολικά πάρκα. Ασφαλώς και πρέπει να ληφθεί υπόψη αυτή η παράμετρος πριν από την όποια εγκατάσταση αλλά δεν πρέπει να παραβλέψουμε ότι στις περιοχές που γίνεται αυτό υπάρχει αναπτυσσόμενη τουριστική βιομηχανία και υπάρχει φόβος από τους επιχειρηματίες ότι με αυτό το έργο θα υποβαθμιστεί η περιοχή και θα χάσει την αξία της η γη.

4.6.2.2 Υπεράκτιες ανεμογεννήτριες

Μια λύση στα παραπάνω και σε πολλά ακόμα προβλήματα που εγείρονται από την κατασκευή ΑΓ στη στεριά είναι το να μην κατασκευάζονται στη στεριά αλλά στη θάλασσα. Αυτές είναι οι λεγόμενες υπεράκτιες ανεμογεννήτριες.

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν πιο διακριτική παρουσία σε γενικές γραμμές καθώς το μέγεθος τους και ο θόρυβος που προκαλούν αμβλύνονται από την απόσταση που έχουν από την ακτή. Επειδή το νερό έχει ομαλότερη επιφάνεια από το έδαφος η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντικά υψηλότερη. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται πολύ μεγαλύτεροι συντελεστές χρησιμοποίησης σε σχέση με τις ΑΓ που είναι εγκατεστημένες στη στεριά.



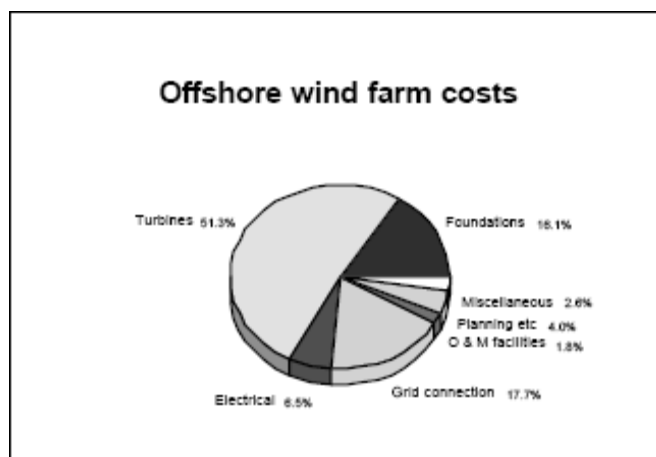
Αιολική ενέργεια υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Η διαθέσιμη αιολική ενέργεια είναι πολύ μεγαλύτερη στη θάλασσα από ότι στη στεριά. Η ταχύτητα του ανέμου είναι αυξημένη κατά 20% σε σχέση με τη στεριά ενώ η ενέργεια του ανέμου αυξάνει με τον κύβο της ταχύτητάς του. Επίσης, με δεδομένο ότι ο άνεμος είναι πιο σταθερός αυξάνει η παραγόμενη ενέργεια κατά 40% σε σχέση με τις ηπειρωτικές εγκαταστάσεις. Αξιοποιώντας αυτό το πλεονέκτημα, οι ΑΓ μπορούν να τοποθετηθούν σε μικρότερα ύψη, γεγονός που μειώνει τις καταπονήσεις και τις αναταράξεις και αυξάνει τη διάρκεια ζωής της ίδιας της ΑΓ.

Κόστος εγκατάστασης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις είναι εν γένει πιο ακριβές αλλά αυτό εξαρτάται και από τις ιδιαιτερότητες της περιοχής. Η αύξηση της τιμής έχει να κάνει με τους παρακάτω παράγοντες.

Το κόστος των υπόγειων καλωδίων αυξάνει τη συνολική επένδυση που πρέπει να γίνει. Το κόστος για τη θεμελίωση αυξάνει όσο αυξάνει και το βάθος του νερού και μπορεί να φτάσει ακόμα και το 30% του συνολικού κόστους. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι μεγαλύτερο ενώ υπάρχει και το ρίσκο της χαμηλής διαθεσιμότητας της ΑΓ λόγω πιθανής αδυναμίας πρόσβασης σε αυτή, όπως σε περίπτωση κακού καιρού. Το κόστος για την προσαρμογή της ΑΓ στο θαλάσσιο περιβάλλον και την προστασία από τη διάβρωση που προκαλεί το αλμυρό νερό είναι ικανό να αυξήσει το συνολικό κόστος της ΑΓ κατά 20%. Σε γενικές γραμμές η τελική σχεδίαση της διάταξης είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της απαίτησης για μέγιστη παραγωγή ενέργειας και της επιθυμίας για αυξημένη αξιοπιστία και ορθή λειτουργία σε ένα δύσκολο και απαιτητικό περιβάλλον (Εικόνα 4.16).



Εικόνα 4.16: Κατανομή κόστους υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Στήριξη και σύνδεση με το δίκτυο

Οι βάσεις τους πακτώνονται στο βυθό για αυτό και βολεύει να βρισκόμαστε σε περιοχή με ρηχά νερά, συνήθως γύρω στα 30 μέτρα, αν και έρευνες έχουν δείξει ότι μπορούμε να φτάσουμε και τα 100 μέτρα. Αυτή η ιδιαιτερότητα σαφώς και ευνοεί την ανάπτυξη των υπεράκτιων πάρκων στις βόρειες θάλασσες καθώς και στις θάλασσες της Μεγάλης Βρετανίας στις οποίες το βάθος ακόμα και κάποια χιλιόμετρα μακριά από την ακτή παραμένει της τάξεως κάποιων δεκάδων μέτρων. Αντίθετα, στην Ευρώπη, την Αμερική και την Ιαπωνία, όπου τα νερά είναι αρκετά πιο βαθιά υπάρχει πρόβλημα στην εφαρμογή αυτής της λύσης. Οι υπεράκτιοι πύργοι είναι πιο ψηλοί από τους αντίστοιχους στη στεριά, αν συνυπολογίζουμε και το ύψος της βάσης για τη στήριξη κάτω από το νερό. Η μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας στην ακτή γίνεται με υπόγεια καλώδια, και αν η απόσταση που πρέπει να καλυφθεί είναι μεγάλη χρησιμοποιείται υψηλή συνεχής τάση. Συνήθως τα καλώδια που συνδέουν τις ΑΓ μεταξύ τους βρίσκονται υπό τάση 11 KV. Ο κύριος λόγος για τον οποίο τα καλώδια συνήθως θάβονται είναι για την αποφυγή της παράσχυσης λόγω των ρευμάτων καθώς και ζημιών που μπορεί να γίνουν από την αλιεία ή από τις άγκυρες των πλοίων. Το κόστος για τη σύνδεση των υπεράκτιων ΑΓ με το δίκτυο είναι αρκετά υψηλό και αποτελεί το 17%-34% του συνολικού κόστους.

Το θαλάσσιο περιβάλλον και το αλμυρό νερό οδηγούν στη διάβρωση του εξοπλισμού και αυξάνεται το κόστος για τη συντήρηση και τις επισκευές. Αυτός είναι και ο λόγος που λαμβάνονται ειδικά μέτρα κατά της διάβρωσης όπως καλύμματα, τα οποία δε θα χρειαζόμασταν αν δεν υπήρχε το αλμυρό νερό.

Εγκατάσταση

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες είναι οι μεγαλύτερες που βρίσκονται σε λειτουργία καθώς το αυξημένο κόστος εγκατάστασης αντισταθμίζεται από την αυξημένη παραγωγή με αποτέλεσμα το κόστος παραγωγής ενέργειας να μειώνεται. Πλέον με την πρόοδο της τεχνολογίας η ονομαστική ισχύς των ΑΓ προς εγκατάσταση είναι περίπου ίση με 1,5 με 2 MW. Δεν πρέπει να παραλείψουμε το ότι τα ογκώδη τμήματα της εγκατάστασης, όπως τα πτερύγια και τμήματα του πύργου, μπορούν να μεταφερθούν ακτοπλοϊκώς με φορτηγά πλοία και έτσι αίρονται οι περιορισμοί που έχουν να κάνουν με τις διαστάσεις τους και τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά την οδική μεταφορά. Αυτό είναι πολύ σημαντικό αν σκεφτεί κανείς ότι κατά την οδική μεταφορά τα εξαρτήματα όχι μόνο πρέπει να χωρέσουν στον περιορισμένο χώρο του φορτηγού αλλά και να ανταπεξέλθουν σε στροφές, τούνελ και άλλα οδικά εμπόδια. Αντίστοιχα, μεγάλοι γερανοί που είναι απαραίτητοι για τη

συναρμολόγηση των ΑΓ είναι δύσκολο να μεταφερθούν σε απομακρυσμένα σημεία σε ορεινές περιοχές σε αντίθεση με τα γερανοφόρα πλοία που είναι πολύ εύκολο να φτάσουν στα ύδατα όπου θα κατασκευαστεί το αιολικό πάρκο. Φυσικά προϋπόθεση αποτελεί η εύρεση κατάλληλου λιμανιού με ευρύχωρη αποβάθρα ώστε να υπάρχει η δυνατότητα για τη φόρτωση και τις υπόλοιπες απαιτούμενες διαδικασίες.

Εδώ τίθεται ένα πρακτικό ζήτημα που έχει να κάνει με τον τρόπο συναρμολόγησης και εγκατάστασης της ΑΓ καθώς οι απόψεις είναι αντικρουόμενες. Μια μερίδα υποστηρίζει ότι είναι καλύτερα να γίνει η συναρμολόγηση κάποιων τμημάτων στη στεριά ενώ η αντίθετη άποψη προτείνει τη συναρμολόγηση των περισσότερων τμημάτων, “εν πλω”, στο χώρο της τελικής εγκατάστασης. Η τελική απόφαση είναι ζήτημα βελτιστοποίησης.



Επίπεδο θορύβου

Από τη στιγμή που δεν υπάρχει πρόβλημα όσον αφορά τον παραγόμενο θόρυβο μπορούν να υπάρξουν και κάποιες αλλαγές στον τρόπο κατασκευής των ΑΓ. Η έρευνα πλέον στρέφεται σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής, σε ελαφρύτερα πτερύγια και σε μεγαλύτερους αεροδυναμικούς συντελεστές απόδοσης. Ενδιαφέρον υπάρχει και στη δυνατότητα χρησιμοποίησης ανεμογεννητριών δυο πτερυγίων. Υπάρχει και επιπλέον κέρδος από τη χρήση ελαφρύτερων τμημάτων καθώς έτσι θα μειωθούν κι άλλο τα στοιχεία κόστους για τη μεταφορά και την ανέγερση των ΑΓ.

Προστασία από καιρικές συνθήκες

Ειδική μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για την προστασία από κύματα και πάγο. Τα κύματα είναι συνέπεια των υψηλών ανέμων, αν και συνήθως υπάρχει κάποια χρονική καθυστέρηση και δεν εμφανίζονται ταυτόχρονα με τον ισχυρό αέρα. Το ύψος τους εξαρτάται και από το βάθος της θάλασσας καθώς το ύψος αυξάνει με την αύξηση του βάθους. Για παράδειγμα στις βόρειες θάλασσες της Δανίας που υπάρχει μεγάλο πλήθος υπεράκτιων ανεμογεννητριών και τα νερά είναι σχετικά ρηχά το ύψος των κυμάτων κυμαίνεται μεταξύ 4-8 μέτρων. Όσον αφορά τον πάγο, ειδικά μέτρα πρέπει να λαμβάνονται στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Το ενδεχόμενο σύγκρουσης με κάποιο παγόβουνο καθώς και το πάγωμα της θάλασσας επηρεάζει τη συντήρηση και τη στρατηγική λειτουργίας. Ειδικά σε περιοχές που η θάλασσα παγώνει για μεγάλο χρονικό διάστημα πρέπει να σημειωθεί ότι η πρόσβαση για συντήρηση και άλλες εργασίες θα είναι αδύνατη για αρκετούς μήνες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η κάθε ΑΓ πρέπει να απέχει γύρω στα 800 μέτρα από τις γειτονικές της ειδάλως δημιουργεί αναταραχές που επηρεάζουν τη ροή αέρα στις υπόλοιπες και δημιουργούνται προβλήματα και δυσλειτουργίες.



Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Ενστάσεις έχουν διατυπωθεί όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υπεράκτιων ανεμογεννητριών καθώς έχουν κατηγορηθεί ότι είναι ιδιαίτερα βλαβερές για τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Αυτό μπορεί να ισχύει μόνο σε περιπτώσεις όπου η περιοχή της εγκατάστασης είναι πάνω στο δρόμο μετανάστευσης κάποιων πουλιών, αν και αυτό προσέχεται ιδιαίτερα και συνήθως αποφεύγεται. Από την άλλη λέγεται ότι οι βάσεις των ΑΓ συχνά ενσωματώνονται από τους υδρόβιους οργανισμούς στο οικοσύστημά τους και αρχίζουν να τις χρησιμοποιούν ως φυσικό τους χώρο. Ο υποθαλάσσιος θόρυβος καθώς και οι δονήσεις που μεταδίδονται στο νερό από τη λειτουργία της ΑΓ μπορούν να αποφευχθούν χρησιμοποιώντας ειδικές υποθαλάσσιες κουρτίνες ηχομόνωσης.

Όσον αφορά τις ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές με δεδομένη την απόσταση από τις κατοικήσιμες περιοχές δε δημιουργείται σημαντικό πρόβλημα. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται προσεκτική τοποθέτηση ώστε να μην υπάρξει πρόβλημα στη διάδοση τηλεοπτικών και ραδιογωνικών κυμάτων, αν και όπως ειπώθηκε η κίνηση σε αυτές τις περιοχές είναι χαμηλή.

Επίσης πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση σε περιοχές όπου γίνεται εναπόθεση αποβλήτων και άλλων μολυσμένων ουσιών καθώς και σε περιοχές που βρίσκονται πάνω σε γραμμές διέλευσης πλοίων. Επίσης είναι καλό να υπάρχει στη στεριά κοντά στο αιολικό πάρκο ισχυρό δίκτυο μεταφοράς ενέργειας

4.6.2.3 Πλωτές ανεμογεννήτριες

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε και πάλι στο πρόβλημα του βάθους στο οποίο πακτώνεται η ΑΓ. Όπως προαναφέρθηκε η διαθέσιμη τεχνολογία ως τώρα καλύπτει βάθη μέχρι 100 μέτρα και καθιστά απαγορευτική την εγκατάσταση ΑΓ σε περιοχές όπου το βάθος είναι μεγαλύτερο. Οι περισσότερες όμως από τις θάλασσες του κόσμου δεν έχουν αυτή τη μορφολογία στο βυθό τους με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η δημιουργία υπεράκτιου αιολικού πάρκου στα νερά τους.

Μια διέξοδος σε αυτή την κατάσταση είναι οι πλωτές ανεμογεννήτριες που έχουν αρχίσει να κυκλοφορούν στην αγορά. Αν και υπάρχουν κάποιες επιφυλάξεις ως προς τη σταθερότητα, την εγκατάσταση και το σχεδιασμό, φαίνεται πως τα προβλήματα σταδιακά ξεπερνιούνται.

Όταν μιλάμε για πλωτές ανεμογεννήτριες αναφερόμαστε σε ειδική μορφή ανεμογεννητριών που έχουν εξελιχθεί ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν πάνω σε πλωτή πλατφόρμα. Η πλωτή πλατφόρμα συνδέεται με ισχυρό και ανθεκτικό τρόπο με μια βάση

που βρίσκεται στο βυθό, δημιουργώντας μια ιδιότυπη σύγχρονη άγκυρα. Η τεχνολογία σε αυτό τον τομέα με τη βοήθεια και της ναυπηγικής έχει οδηγήσει στην κατασκευή διατάξεων που ακόμα και σε περιπτώσεις σφοδρής θαλασσοταραχής μένουν πρακτικά ακίνητες και λειτουργούν ανενόχλητες εκμεταλλεόμενες το δυνατό άνεμο που φυσάει σε αυτές τις περιοχές.

Οι πλωτές ανεμογεννήτριες συνδέονται, όπως και οι συνηθισμένες υπερράκτιες, με τη στεριά με υπόγεια καλώδια, συνήθως συνεχούς ρεύματος.



Εξαιτίας της δυνατότητας που έχουν για πλεύση έχουν πολλά πλεονεκτήματα. Καταρχάς, μπορούν να κατασκευαστούν σε οποιοδήποτε ναυπηγείο και στη συνέχεια να ρυμουλκηθούν στη ζητούμενη περιοχή. Επίσης μπορούν να προσαρμοστούν και να εκμεταλλευθούν τυχόν μεταβολές στο αιολικό δυναμικό της περιοχής καθώς πολύ εύκολα μπορούν να αλλάξουν θέση. Για τον ίδιο λόγο, δεν επιδρούν αισθητικά και ακουστικά στο περιβάλλον των νησιών και των άλλων κοντινών περιοχών καθώς είναι δυνατή η μεταφορά τους είτε σε απομονωμένα σημεία είτε σε μεγάλη απόσταση από την ακτή ώστε να μη φαίνονται καν. Αυτή η μεταφορά μπορεί να γίνει και σε εποχιακή βάση ανάλογα με τις ανάγκες, όπως μπορεί πιθανώς να συμβαίνει κατά την τουριστική περίοδο.

4.6.2.4 Αυτόνομο σύστημα αφαλάτωσης με χρήση Αιολικής ενέργειας

4.6.2.4.1 Εισαγωγή

Σε απομονωμένες περιοχές με έλλειψη νερού και υψηλό αιολικό δυναμικό οι αυτόνομες μονάδες αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας αποτελούν μια φιλική προς το περιβάλλον, οικονομική και ενεργειακά αποδοτική λύση για την παραγωγή πόσιμου νερού.

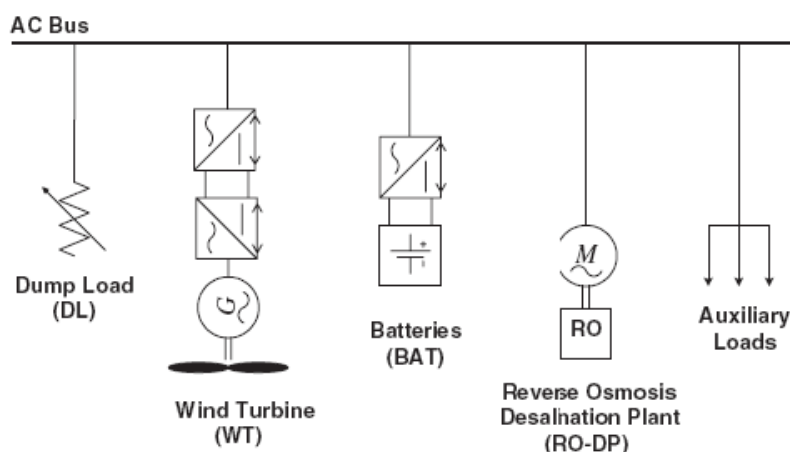
Η έννοια του αυτόνομου έχει να κάνει, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, με τον τρόπο της παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, ένα αυτόνομο σύστημα δεν απαιτεί τη σύνδεσή του σε κάποιο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς είναι ικανό να παράγει από μόνο του την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται για τη λειτουργία του. Αυτό αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο για την εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης στις απομονωμένες περιοχές όπου, όπως έχει προαναφερθεί, είτε δεν υπάρχει κάλυψη δικτύου είτε το τοπικό δίκτυο έχει περιορισμένες δυνατότητες και το κόστος χρήσης του είναι υψηλό.

Συχνά, τα τελευταία χρόνια, στα αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας επιλέγεται η αντίστροφη όσμωση για τη διαδικασία της αφαλάτωσης κυρίως λόγω των μικρών ενεργειακών απαιτήσεων που έχει.

Σημαντική επιλογή για το στήσιμο μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι η διαστασιολόγηση των τμημάτων της μονάδας ώστε να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη παραγωγή νερού με το ελάχιστο δυνατό κόστος επένδυσης και λειτουργίας. Η χαμηλή διαθεσιμότητα μικρών ανεμογεννητριών στην αγορά ήταν περιοριστικός παράγοντας αλλά πλέον έχει αλλάξει η κατάσταση. Σε αυτή την τάση έχει συμβάλει και η ανάγκη για μικρά αυτόνομα συστήματα.

Για να έχουμε κάποια στοιχεία για τη συμπεριφορά του συστήματος που σχεδιάζουμε έχουν αναπτυχθεί λογιστικά μοντέλα για την προσομοίωση της λειτουργίας βασισμένα στο ισοζύγιο ισχύος και ενέργειας, κατάλληλα για μακροχρόνια προσομοίωση και για τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Η είσοδος τους είναι οι σειρές με την ταχύτητα του ανέμου ενώ οι σημαντικότερες από τις εξόδους τους είναι, η ετήσια παραγωγή νερού, ο αριθμός των Εκκινήσεων/Διακοπών της μονάδας και η παραγωγή και η κατανάλωση της ενέργειας σε διάφορα μέρη της μονάδας. Με τη χρήση αυτών των προγραμμάτων μπορούμε να ερευνήσουμε και να πειραματιστούμε πάνω στην επιλογή της στρατηγικής ελέγχου και λειτουργίας, στο μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης, της ανεμογεννήτριας καθώς και των μπαταριών. Το απόλυτο οικονομικό κριτήριο αξιολόγησης του αυτόνομου συστήματος είναι το κόστος του παραγόμενου νερού.

Η βασική δομή του αυτόνομου συστήματος μικρής ή μεσαίας κλίμακας περιλαμβάνει την ανεμογεννήτρια, τη μονάδα αφαλάτωσης, τη συστοιχία μπαταριών, το φορτίο απόρριψης και τα δευτερεύοντα φορτία όλα συνδεδεμένα σε ένα κοινό AC ζυγό. Οι ανεμογεννήτριες μεγέθους (15-50KW) είναι είτε μηχανές σταθερής ταχύτητας εφοδιασμένες με επαγωγικές γεννήτριες συνδεδεμένες στον AC ζυγό είτε μηχανές μεταβλητής ταχύτητας που περιλαμβάνουν σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη συνδεδεμένες με το σύστημα μέσω ενός AC/DC/AC μετατροπέα.



Εικόνα 4.17: Διασύνδεση στοιχείων αυτόνομου συστήματος

Η μονάδα αφαλάτωσης είναι αντίστροφης όσμωσης, η οποία είναι η καταλληλότερη για εφαρμογές μικρής και μεσαίας κλίμακας, είναι ώριμη τεχνολογία, έχει χαμηλό κόστος λειτουργίας και ενεργειακή κατανάλωση, καθώς και μικρούς χρόνους εκκίνησης και διακοπής. Η αλμυρότητα του νερού τροφοδοσίας και του παραγόμενου θεωρείται σταθερή ως παράμετρος στο υπολογιστικό πρόγραμμα, με καλή προσέγγιση και χωρίς να θεωρούμε ότι υπάρχει σοβαρό σφάλμα. Ενδεικτικά, η αλμυρότητα του θαλασσινού νερού του Αιγαίου είναι ίση με 40.000 ppm TDS ενώ η αλμυρότητα του

παραγόμενου είναι 350-500 TDS. Η λειτουργία της μονάδας με νερό διαφορετικής αλμυρότητας απαιτεί αντίστοιχη αλλαγή στην απαιτούμενη ισχύ εισόδου της, αν θεωρούμε δεδομένη την ποσότητα και την αλμυρότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού εξόδου, λόγω της διαφορετικής οσμωτικής πίεσης του νερού τροφοδοσίας. Σε περίπτωση που υπάρχει αδυναμία στο να ικανοποιηθούν οι αυξημένες απαιτήσεις σε ισχύ εισόδου όταν αυξάνεται η αλμυρότητα του νερού τροφοδοσίας παράγεται μικρότερη ποσότητα νερού με αυξημένη αλμυρότητα.

Στο σχεδιάγραμμα που περιγράφει τη δομή του αυτόνομου συστήματος (Εικόνα 4.17) βλέπουμε την ύπαρξη των μπαταριών, ή γενικά, συσκευών αποθήκευσης ενέργειας. Η παρουσία αυτών των συσκευών θεωρείται απαραίτητη για τους εξής λόγους:

Ο πρώτος λόγος είναι για να εξασφαλίσουν περιορισμένη αυτονομία για τη λειτουργία καθώς και το κανονικό κλείσιμο της μονάδας σε περίπτωση μηδενικής εισερχόμενης ισχύος.

Ο δεύτερος λόγος είναι για να λειτουργήσουν ως buffer μεταξύ της διακοπτόμενης ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο και των, πρακτικά, σταθερών ενεργειακών απαιτήσεων της αφαλάτωσης.

Η συνήθης επιλογή για τις συσκευές αποθήκευσης ενέργειας είναι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης lead acid. Αυτές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής και μεσαίας κλίμακας σε απομονωμένες περιοχές καθώς είναι η πιο αποδοτική και συμφέρουσα λύση. Το μέγεθος τους είναι θέμα βελτιστοποίησης.

Το φορτίο απόρριψης χρησιμοποιείται για την απορρόφηση της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται από την ανεμογεννήτρια, όταν οι μπαταρίες είναι γεμάτες. Στην ουσία, αναφερόμαστε σε περιπτώσεις όπου υπάρχει δυνατός άνεμος, με αποτέλεσμα η παραγόμενη ισχύς να ξεπερνά τις ανάγκες της μονάδας και των μπαταριών. Έτσι αυτό το πλεόνασμα δε χρησιμεύει σε κάτι και απλά καταναλώνεται στο φορτίο απόρριψης για να τηρηθεί το ενεργειακό ισοζύγιο.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα προσομοίωσης που βασίζεται σε κάποιες συγκεκριμένες παραδοχές. Αυτό το λογιστικό μοντέλο λαμβάνει υπόψη του το ενεργό ισοζύγιο ισχύος και ενέργειας, χρησιμοποιώντας ένα βήμα χρόνου 30 λεπτών. Μοντελοποιεί μονάχα την κατάσταση σταθερής λειτουργίας του συστήματος. Είσοδος του συστήματος είναι οι χρονοσειρές της ταχύτητας του ανέμου για το διάστημα της προσομοίωσης (συνήθως 1 χρόνος) και έξοδος είναι οι χρονοσειρές κατανάλωσης και παραγωγής ισχύος και οι σχετικές καταναλώσεις κάθε μέρους του συστήματος.

Το ισοζύγιο ισχύος το οποίο πρέπει να ικανοποιείται σε κάθε βήμα της προσομοίωσης (30 λεπτά) σημαίνει ότι η παραγόμενη ισχύ από την ανεμογεννήτρια και τις μπαταρίες πρέπει να είναι ίση με τις απαιτήσεις της αφαλάτωσης και του φορτίου απόρριψης. Η έξοδος της ανεμογεννήτριας υπολογίζεται από την καμπύλη ισχύος της και την ταχύτητα του ανέμου. Οι απαιτήσεις της αφαλάτωσης θεωρούνται σταθερές, όπως γίνεται συνήθως σε μονάδες αντίστροφης όσμωσης. Υπάρχουν και μονάδες αντίστροφης όσμωσης που λειτουργούν με μεταβλητή ισχύ όμως δεν είναι τόσο διαδεδομένες προς το παρόν. Η αιτία είναι η φύση της διαδικασίας της αντίστροφης όσμωσης σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της αιολικής ενέργειας. Δηλαδή η σταθερή απαίτηση σε ισχύ της αντίστροφης όσμωσης και η μεταβλητή μορφή της παραγόμενης ισχύος από τον άνεμο. Αυτή η κατάσταση είναι πιθανό να προκαλέσει μηχανική κούραση στις μονάδες και να μειωθεί η διάρκεια ζωής των μεμβρανών τους. Γενικά, είναι δύσκολο να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργία της μονάδας όταν λειτουργεί με μεταβλητή εισερχόμενη ισχύ.

Στο σχεδιάγραμμα (Εικόνα 4.17) φαίνονται και τα βοηθητικά φορτία που πάντα υπάρχουν σε κάθε μονάδα (π.χ. φωτισμός, εξοπλισμός για την επικοινωνία). Όμως, οι απαιτήσεις τους σε ισχύ είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με την υπόλοιπη μονάδα οπότε μπορούν να παραλειφθούν από τους όποιους υπολογισμούς χωρίς σημαντικό σφάλμα.

4.6.2.4.2 Στρατηγικές ελέγχου

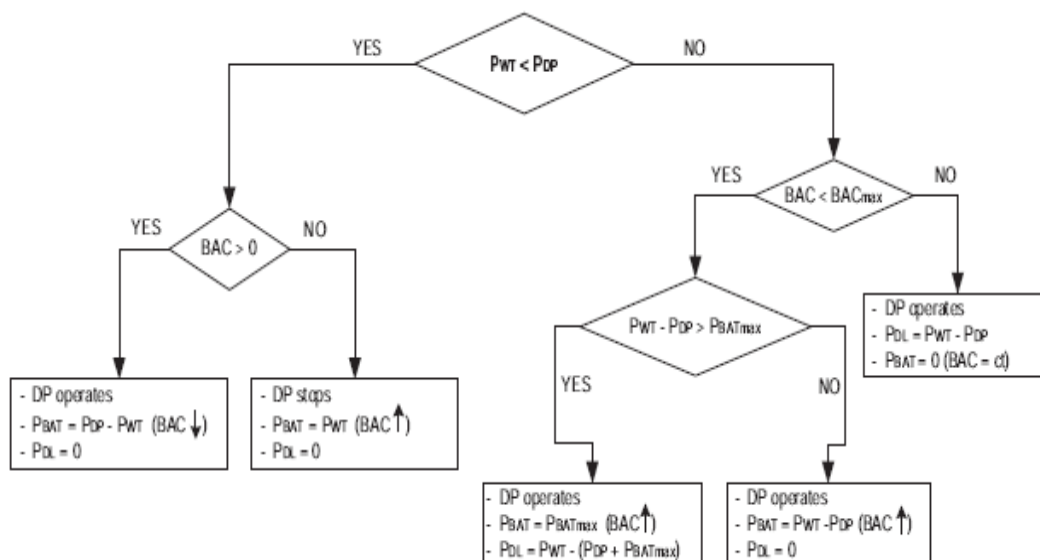
Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο, από τις πάρα πολλές, πιθανές στρατηγικές ελέγχου και λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης (M.A.), εφαρμόζονται και αξιολογούνται. Η μια ονομάζεται βασική στρατηγική και η άλλη στρατηγική πρόγνωσης.

Ο στόχος της βασικής στρατηγικής είναι η λειτουργία της μονάδας για όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα όταν η ενέργεια του ανέμου ή η αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες το επιτρέπουν. Βασίζεται στο στοιχειώδες ενεργειακό ισοζύγιο σε κάθε βήμα της προσομοίωσης. Όταν η παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια ισχύς ξεπερνά τις απαιτήσεις της M.A., το περίσσευμα χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών, ενώ σε περίπτωση που είναι ήδη φορτισμένες, η πλεονάζουσα ισχύς απορρίπτεται. Αν η ισχύς της ανεμογεννήτριας δε φτάνει για να καλυφθούν οι ανάγκες της M.A. η απαιτούμενη ισχύς παρέχεται από τις μπαταρίες, αλλιώς σταματά η λειτουργία της μονάδας.

Η στρατηγική πρόγνωσης είναι μια επέκταση της βασικής στρατηγικής καθώς προβλέπει τη διαθέσιμη αιολική ενέργεια κατά το επόμενο χρονικό διάστημα T_f . Ο σκοπός είναι να ελαττωθεί ο αριθμός των Εκκινήσεων/Διακοπών (E/Δ) της μονάδας που μειώνουν τη διάρκεια ζωής της μεμβράνης και χειροτερεύουν την απόδοση της μονάδας. Παράλληλα, εξασφαλίζεται το πλύσιμο των μεμβρανών πριν τη διακοπή της λειτουργίας ώστε να αποφεύγεται η συγκέντρωση άλατος.

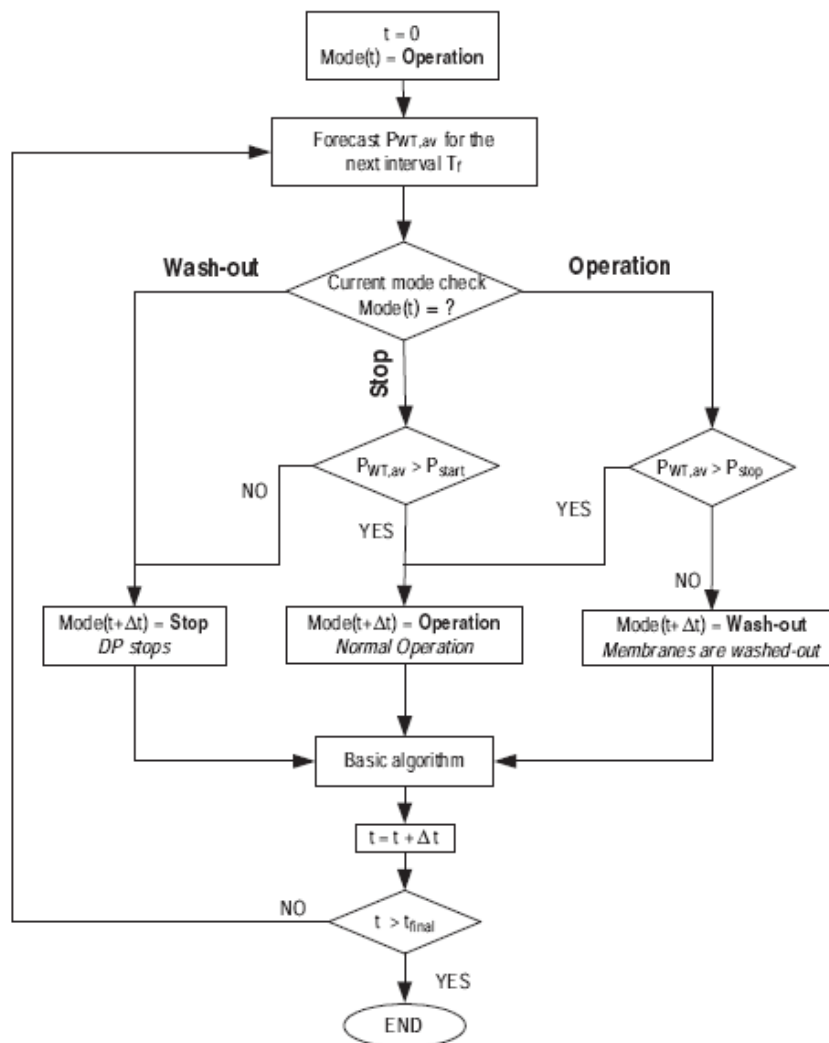
Γενικά, η επιλογή μιας από τις δυο παραπάνω στρατηγικές έχει να κάνει με την επιλογή είτε της λειτουργίας της μονάδας για κάποιο ελάχιστο χρόνο κάθε μέρα είτε τον καθαρισμό της μονάδας κάθε φορά που ετοιμάζεται να κλείσει. Άρα δε μπορούμε να επιλέξουμε κάποια στρατηγική με απόλυτα κριτήρια. Και οι δύο έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ενώ μιας και δεν υπάρχει κάποιος σταθερός κανόνας για την επιλογή της στρατηγικής, αυτή πρέπει να γίνει με βάση τα κατά τόπους κριτήρια. Στα επόμενα διαγράμματα (Εικόνα 4.18 & Εικόνα 4.19) βλέπουμε τον αλγόριθμο της βασικής στρατηγικής και της στρατηγικής πρόγνωσης.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ



Εικόνα 4.18: Αλγόριθμος βασικής στρατηγικής

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ



Εικόνα 4.19: Αλγόριθμος στρατηγικής πρόγνωσης

Οι μεταβάσεις μεταξύ της Λειτουργίας, της Διακοπής και του Πλυσίματος αποφασίζονται στην αρχή κάθε βήματος, με βάση την πρόβλεψη της αιολικής ισχύος. Η λειτουργία ξεκινά και πάλι όταν η πρόβλεψη ξεπεράσει το κατώφλι ισχύος P_{start} . Αυτό είναι πάντα μεγαλύτερο από το P_{stop} , ώστε να δημιουργηθεί η απαραίτητη υστέρηση για να αποφευχθεί η διαδοχική εκκίνηση και διακοπή της λειτουργίας.

Όλες οι μεταβλητές και τα στοιχεία από τους 2 αυτούς αλγορίθμους επεξηγούνται στον Πίνακα 4.1.

BAC	Battery available capacity
BAC_{max}	Maximum BAC
BAC_{min}	Minimum BAC (= 0, corresponding to SOC_{min})
P_{WT}	Power produced by the WT
$P_{WT,av}$	Forecasted average wind power over the next interval T_f
T_f	Look-ahead interval in wind forecasting
P_{BAT}	Battery output power (positive for discharge)
P_{DL}	Power absorbed by the dump load
P_{DP}	Power absorbed by the DP load
P_{BATmax}	Maximum charging or discharging power of the battery bank
P_{start}	Wind power threshold for restarting the DP operation
P_{stop}	Wind power threshold for stopping the DP operation
SOC	State of charge of the batteries
SOC_{max}	Highest permitted SOC
SOC_{min}	Lowest permitted SOC

Πίνακας 4.1: Επεξήγηση μεταβλητών των αλγορίθμων του αυτόνομου συστήματος

Αξιολόγηση Στρατηγικών Ελέγχου

Η στρατηγική πρόγνωσης οδηγεί σε μείωση του χρόνου λειτουργίας της μονάδας καθώς και του παραγόμενου νερού κατά 5% και 10% αντίστοιχα. Ο λόγος που είναι μεγαλύτερη η μείωση του παραγόμενου νερού έχει να κάνει με το ότι οι μεμβράνες πλένονται μόνο σε αυτή τη στρατηγική και κατά συνέπεια καταναλώνεται κάποια επιπλέον ποσότητα από το παραχθέν νερό. Επίσης η στρατηγική πρόγνωσης μειώνει τον αριθμό εκκινήσεων/διακοπών της μονάδας κατά ένα παράγοντα 3-6 που είναι πολύ σημαντικός για την αφαλάτωση. Σε κάθε στρατηγική περίπου 50% της παραγόμενης ενέργειας απορρίπτεται ενώ ένα μεγάλο ποσοστό χάνεται στη φόρτιση των μπαταριών.

Παρατηρούμε ότι η βασική στρατηγική προκαλεί επαναλαμβανόμενες εκκινήσεις της μονάδας σε μικρό χρονικό διάστημα, με το που οι μπαταρίες ξεπερνούν την ελάχιστη κατάσταση φόρτισής τους.

Η στρατηγική πρόγνωσης ανιχνεύει τη χαμηλή αιολική ενέργεια και κρατά τη μονάδα εκτός λειτουργίας, χρησιμοποιώντας τη χαμηλή εισερχόμενη ισχύ για τη φόρτιση των μπαταριών. Έτσι, οι διαδοχικές εκκινήσεις/διακοπές (Ε/Δ) αποφεύγονται και οι μπαταρίες δε μένουν αφόρτιστες για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Συνοψίζοντας, η παραγωγή νερού αυξάνεται όταν χρησιμοποιείται η βασική στρατηγική ελέγχου. Από την άλλη, η στρατηγική πρόγνωσης εξασφαλίζει μια πιο ομαλή και με λιγότερα προβλήματα λειτουργία καθώς ελαχιστοποιεί τις εκκινήσεις/διακοπές, παρέχει προστασία απέναντι στη συσσώρευση αλάτων κατά τις μεγάλες περιόδους όπου η μονάδα παραμένει ανενεργή και επιπλέον οι μπαταρίες παραμένουν αφόρτιστες για μικρότερα χρονικά διαστήματα βελτιώνοντας έτσι τη μακροζωία τους. Παρόλο που τα πλεονεκτήματα της στρατηγικής πρόγνωσης είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, είναι η στρατηγική η οποία χρησιμοποιείται συχνότερα. Η πιο σημαντική παράμετρος σε αυτή τη στρατηγική είναι το χρονικό διάστημα πρόβλεψης T_f .

Με δεδομένο το μέγεθος των μπαταριών, η επιλογή πολύ μεγάλου T_f αναιρεί τα πλεονεκτήματα της στρατηγικής αυτής καθώς αυξάνει ο αριθμός των Ε/Δ. Ταυτόχρονα, μειώνεται και η παραγωγή νερού. Για πολύ μεγάλα T_f παρουσιάζεται μια μικρή αύξηση η οποία οφείλεται στο ότι η στρατηγική αρχίζει πλέον να προσεγγίζει τη βασική.

Σημαντική είναι και η ρύθμιση των κατωφλίων P_{start} και P_{stop} , με βάση τα οποία η λειτουργία ξεκινά και διακόπτεται. Η μείωση των τιμών αυτών αυξάνει το χρόνο λειτουργίας της μονάδας και κατά συνέπεια την παραγωγή νερού αλλά ταυτόχρονα

εκτοξεύει και τον αριθμό των Ε/Δ. Ένας καλός συμβιβασμός είναι οι τιμές του P_{stop} και P_{start} να είναι το 70% και το 100% αντίστοιχα της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης.

Η διαίρεση του ετήσιου ισοδύναμου κόστους με την ετήσια παραγωγή νερού μας δίνει το κόστος παραγωγής νερού το οποίο είναι ο βασικός οικονομικός δείκτης αξιολόγησης της κάθε στρατηγικής και αυτός στον οποίο βασίζεται η τελική επιλογή της στρατηγικής.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η διαστασιολόγηση σε κάποια τμήματα της μονάδας παίζει σημαντικό ρόλο στην τελική παραγωγή του νερού καθώς και στο κόστος του. Δηλαδή μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα οικονομικά δεδομένα λειτουργίας της μονάδας και να ανατρέψει κάποιες προβλέψεις. Στη συνέχεια φαίνεται πως μπορεί να επηρεάσει αυτή η επιλογή σε κάποια από τα κυριότερα τμήματα μιας μονάδας αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας.

4.6.2.4.3 Μπαταρίες

Το κόστος των μπαταριών αποτελεί ένα μεγάλο ποσοστό του συνολικού κόστους επένδυσης. Η αύξηση του μεγέθους της συστοιχίας των μπαταριών αυξάνει το συνολικό κόστος επένδυσης καθώς και το κόστος του παραγόμενου νερού. Όταν αυξάνεται το μέγεθος των μπαταριών μειώνεται ο αριθμός των Ε/Δ αλλά όχι σε τέτοιο βαθμό ώστε να δικαιολογεί το αυξημένο κόστος επένδυσης. Το συμπέρασμα είναι πως το βέλτιστο μέγεθος της μπαταρίας είναι αυτό που επιτρέπει μια μικρή περίοδο λειτουργίας και εξασφαλίζει το πλήσιμο των μεμβρανών πριν το κλείσιμο της μονάδας.

4.6.2.4.4 Ανεμογεννήτριες

Όσο μεγαλύτερη είναι η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας τόσο αυξάνει η δυνατότητα παραγωγής νερού. Το γεγονός ότι η αύξηση του νερού δεν ακολουθεί πλήρως το μέγεθος της εγκατεστημένης ΑΓ οφείλεται στις διαφοροποιήσεις στις καμπύλες ισχύος των ΑΓ. Επειδή η παραγωγή νερού δεν αυξάνει αναλογικά με το μέγεθος της ΑΓ οδηγούμαστε σε υψηλότερο κόστος παραγωγής νερού.

Για χαμηλές ταχύτητες ανέμου συμφέρει ο λόγος της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας προς την ισχύ της Μ.Α. να είναι μεγάλος. Για δεδομένη ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες οδηγούν σε μείωση των Ε/Δ.

Η αύξηση του μεγέθους των ΑΓ επηρεάζει τον αριθμό των Ε/Δ με δυο αντίθετους τρόπους: αφενός μεν όταν η μονάδα είναι σε λειτουργία ο χρόνος μέχρι να σταματήσει είναι μεγαλύτερος, αφετέρου όταν η μονάδα είναι εκτός λειτουργίας ο χρόνος μέχρι να ξεκινήσει είναι μικρότερος. Όμως ο δεύτερος παράγοντας επηρεάζει περισσότερο για αυτό και με την αύξηση της ονομαστικής ισχύος της ΑΓ αυξάνει και ο αριθμός των Ε/Δ. Σε χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου μειώνεται ο αριθμός των Ε/Δ γιατί στατιστικά είναι μεγαλύτερος ο χρόνος μέχρι να ξεπεραστεί το χαμηλό κατώφλι ισχύος και να λειτουργήσει η μονάδα.

4.6.2.4.5 Μονάδα αφαλάτωσης

Είναι προφανές ότι μεγαλύτερες Μ.Α. παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού και σε χαμηλότερο κόστος. Για την επίτευξη συγκεκριμένης παραγωγής νερού με το χαμηλότερο δυνατό κόστος είναι προτιμότερη η αύξηση του μεγέθους της Μ.Α. παρά της ανεμογεννήτριας. Όσο μεγαλύτερη είναι η Μ.Α. τόσο καλύτερα τα οικονομικά δεδομένα της λειτουργίας, παρά το αυξημένο κόστος επένδυσης. Όμως, η επιλογή υπερβολικά μεγάλης Μ.Α. (πάντα όμως πιο μικρής από την ονομαστική ισχύ της ΑΓ) αυξάνει τον αριθμό των Ε/Δ κάτι που μεταφράζεται σε αυξημένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Παρόλα αυτά είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί αυτό το κόστος ώστε να βγει ένα γενικό συμπέρασμα. Μια σχετικά ομαλή λειτουργία της ΜΑ επιτυγχάνεται με λόγο ονομαστικής ισχύος της ΑΓ προς τη Μ.Α. της τάξης του 2-3.

4.6.2.4.6 Υδριάδα

Στο χώρο των αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης αλλά και των πλωτών ανεμογεννητριών αξίζει να αναφερθούμε στο πρωτοποριακό, από πολλές απόψεις, εγχείρημα της Υδριάδας. Η Υδριάδα είναι η πρώτη στον κόσμο πλωτή, αυτόνομη, οικολογική και αποδοτική μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας και, επικουρικά, φωτοβολταϊκών.



Η δυνατότητα πλεύσης που έχει η Υδριάδα της δίνει τη δυνατότητα να μεταφέρεται σε διαφορετικές τοποθεσίες ανάλογα με το αιολικό δυναμικό και τις τοπικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Είναι πρωτοποριακή γιατί μπορεί να βρίσκεται μακριά από την ακτογραμμή και να εκμεταλλεύεται τους υψηλότερους ανέμους που υπάρχουν σε αυτές τις αποστάσεις.

Παράγει μόνη της την ενέργεια που χρειάζεται για την αφαλάτωση και τις υπόλοιπες βοηθητικές λειτουργίες και δεν απαιτείται σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αφού τεθεί σε λειτουργία δεν απαιτείται η παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού στη μονάδα καθώς η λειτουργία και η εποπτεία της μονάδας μπορεί να γίνει με πλήρως τηλεχειριζόμενο τρόπο. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας.

Χρησιμοποιεί μόνο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολική, ηλιακή) για να καλύψει τις ανάγκες της και καθόλου ορυκτά καύσιμα. Κύρια πηγή ενέργειας είναι η

ανεμογεννήτρια. Ο λόγος είναι προφανής και δεν είναι άλλος από την προσπάθεια για εκμετάλλευση του υψηλού αιολικού δυναμικού του Αιγαίου. Επιπλέον είναι πιο ακριβή η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά ανά κιλοβάτ και απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια φωτοβολταϊκών σε σχέση με την ανεμογεννήτρια για την παραγωγή της ίδιας ισχύος. Γι' αυτό τα φωτοβολταϊκά έχουν χαμηλότερη συνεισφορά και περιορίζονται κυρίως σε βοηθητικό και εφεδρικό ρόλο.

Στη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης δε χρησιμοποιούνται καθόλου χημικά για την προετοιμασία του νερού οπότε δεν υπάρχει ενδεχόμενο μόλυνσης του περιβάλλοντος. Επίσης εφαρμόζεται μέθοδος εξοικονόμησης και ανάκτησης ενέργειας κυρίως από την αποβαλλόμενη άλμη με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της διάταξης.

Τα παραπάνω στοιχεία είναι αρκετά για να δικαιολογήσουν το χαρακτηρισμό οικολογική.

Διαχείριση παραγόμενης ενέργειας

Στον τομέα της διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας η σχεδίαση κινήθηκε πάνω στις παρακάτω κατευθύνσεις:

Στην επιβίωση του συστήματος σε περίπτωση παρατεταμένης περιόδου χωρίς παραγωγή ενέργειας από την ανεμογεννήτρια, στη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας όταν έχουμε μεταβλητή ταχύτητα ανέμου και στη μεγιστοποίηση της παραγωγής νερού. Τέλος, επιδιώχθηκε η ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης και επιδιόρθωσης των όποιων προβλημάτων μπορεί να προκύψουν (μπαταρίες, αντλίες, μεμβράνες).

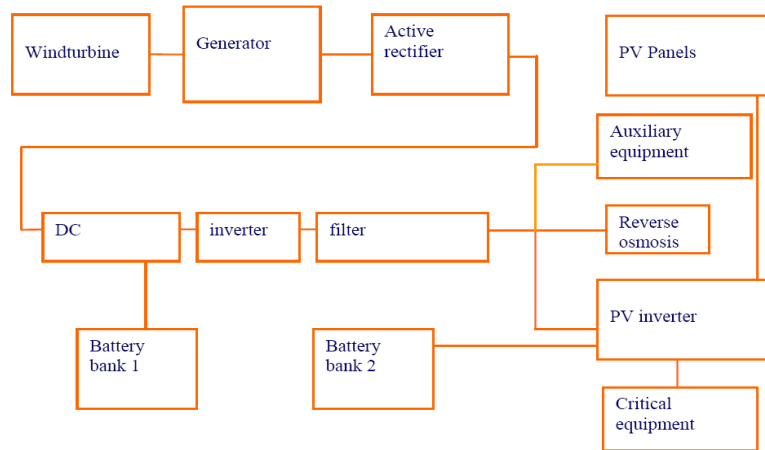
Η ανεμογεννήτρια είναι μεταβλητής γωνίας πτερυγίων, μεταβλητού αριθμού στροφών και άμεσης μετάδοσης (χωρίς κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών). Η γεννήτρια είναι πολυπολική με μονίμους μαγνήτες, ισχύος 30 kW η οποία παρέχεται σταθερά για ταχύτητες ανέμου πάνω από 13m/s.

Λειτουργία αντίστροφης όσμωσης

Η διαδικασία της αφαλάτωσης που έχει επιλεγεί, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι η αντίστροφη όσμωση. Η σχεδίαση έχει γίνει για τη λειτουργία με θαλασσινό νερό και είναι πρωτοποριακή καθώς δεν απαιτούνται χημικά σε κανένα σημείο της διαδικασίας. Επίσης έχει προβλεφθεί η λειτουργία με μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια. Αυτό βολεύει ώστε να επιτευχθεί η προσαρμογή με την ανεμογεννήτρια η οποία παράγει ισχύ με πολλές διακυμάνσεις. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά καθώς έχουν κατασκευαστεί ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία ιζήματος. Η καινοτομία αυτή είναι απαραίτητη καθώς η δημιουργία ιζήματος θα ήταν έντονη από τη στιγμή που η μονάδα λειτουργεί με μεταβλητή εισερχόμενη ισχύ και χωρίς την παρουσία χημικών.

Η μονάδα της αντίστροφης όσμωσης λειτουργεί με ισχείς που κυμαίνονται από 8 μέχρι 25 KW ενώ η παραγωγή νερού ποικίλει από 1 μέχρι 3,5m³/h. Σε συνδυασμό και με το σύστημα ανάκτησης ενέργειας επιτυγχάνεται υψηλή ενεργειακή απόδοση της μονάδας που ισούται με 4 KWh/ m³.

Το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4.20) απεικονίζει τη διασύνδεση του συστήματος.



Εικόνα 4.20: Διασύνδεση συστήματος

Η κυριότερη απαίτηση είναι να έχουμε μια σταθερή παροχή ισχύος παρά τη λειτουργία με μεταβλητή ταχύτητα ανέμου. Η ποιότητα της τάσης είναι απαραίτητη για την ορθή λειτουργία και την αποφυγή σφαλμάτων. Έτσι, το ηλεκτρικό σύστημα διαχειρίζεται μικρές μεταβολές στην τάση ενώ η διαχείριση ενέργειας του συστήματος ελέγχου φροντίζει για την ικανοποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Ο σχεδιασμός του συστήματος έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μην απαιτείται φορτίο απόρριψης. Όταν η παραγωγή της ΑΓ είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση της αφαλάτωσης το σύστημα ελέγχου μειώνει την έξοδο της ΑΓ. Αντίθετα, όταν η κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή της ΑΓ η διαφορά στην ενέργεια καλύπτεται από την πρώτη μπαταρία. Υπάρχει και μια δεύτερη εφεδρική μπαταρία που χρησιμεύει για τον έλεγχο και για τον εξοπλισμό ασφαλείας.

Δοκιμές, προσομοίωση και έλεγχος

Πριν, η μονάδα τεθεί σε λειτουργία έγιναν εκτεταμένες δοκιμές της συμπεριφοράς της με προγράμματα εξομοίωσης. Έγινε έλεγχος της απόδοσης του συστήματος και επιλογή της στρατηγικής λειτουργίας ενώ απαντήθηκαν και ερωτήματα όπως το πότε συμφέρει να γίνει εκκίνηση και διακοπή της μονάδας, πόση ενέργεια πρέπει να παρέχει η μπαταρία, πότε πρέπει να κλείνει ο βοηθητικός εξοπλισμός, πόση ενέργεια πρέπει να παρέχει η ανεμογεννήτρια για να μεγιστοποιείται η παραγωγή νερού και άλλα. Ως δεδομένα για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές του ανέμου. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ χρήσιμα για τον έλεγχο της συμπεριφοράς του συστήματος κάτω από διάφορες συνθήκες, για τη μελέτη των μεταβατικών φαινομένων, για τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου για την ανάλυση σπάνιων φαινομένων και τη μείωση του ρίσκου κατάρρευσης του συστήματος καθώς και για την εξέταση των διάφορων στρατηγικών λειτουργίας.

Για τον έλεγχο της μονάδας και την επίβλεψη της λειτουργίας της κάθε υποσύστημα έχει μια τοπική μονάδα ελέγχου η οποία δέχεται εντολές από την κεντρική μονάδα ελέγχου η οποία συντονίζει όλες τις λειτουργίες. Τα κυριότερα στοιχεία που πρέπει να συντονιστεί η λειτουργία τους είναι οι ανορθωτές, οι αντιστροφείς, η ανεμογεννήτρια και ο ελεγκτής της, ο ελεγκτής της αντιστροφής όσμωσης, ο κεντρικός ελεγκτής και το σύστημα SCADA που είναι εγκατεστημένο στην ακτή. Η διασύνδεση επιτυγχάνεται με χαμηλού επιπέδου ηλεκτρικά αναλογικά και ψηφιακά συστήματα, δίαυλο δικτύου, TCP/IP, GPRS και VPN.

Ο κεντρικός έλεγχος επιτρέπει διαφορετικές λειτουργίες της μονάδας. Αυτές είναι η κανονική αυτόνομη λειτουργία, η χειροκίνητη λειτουργία, ο τηλεχειρισμός και η απομακρυσμένη διάγνωση σφάλματος. Η βελτιστοποίηση του ελέγχου του συστήματος

στοχεύει στην ασφάλεια της παραγωγής και του συστήματος. Για την πλήρη εποπτεία των κρίσιμων παραμέτρων έχει αναπτυχθεί σύστημα το οποίο δίνει προειδοποιήσεις και συναγερμούς όταν υπάρξει κάποιο πρόβλημα. Κατά τη διάρκεια του ελέγχου δημιουργείται βάση δεδομένων για τη διαχείριση των ιστορικών και στατιστικών στοιχείων που προκύπτουν.

Συμπερασματικά, η προτεινόμενη εφαρμογή ενθαρρύνει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών και αποφεύγει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως κατασκευή νέων δρόμων για αιολικά πάρκα και υποδομές για μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας, που συνεπάγονται οι υπόλοιπες λύσεις για την παροχή πόσιμου νερού. Επιλύονται κάποια προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι χερσαίες μονάδες αφαλάτωσης όπως οι υψηλές ενεργειακές ανάγκες τους, η χρήση χημικών σε ευαίσθητα οικοσυστήματα και η εναπόθεση της άλμης. Γίνεται ορθή χρήση της θάλασσας με φιλικούς προς το περιβάλλον τρόπους. Χρησιμοποιούνται αγαθά τα οποία βρίσκονται εν αφθονία στα ελληνικά νησιά όπως ο αέρας, το νερό και η θάλασσα.

Από την οικονομική σκοπιά, το αποτέλεσμα είναι δεόντως ελκυστικό καθώς το κόστος του παραγόμενου νερού είναι περίπου $1\text{€}/\text{m}^3$ ενώ για τη μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία το κόστος είναι περίπου $10\text{€}/\text{m}^3$.

Η δυνατότητα παραγωγής είναι της τάξης των $70\text{ m}^3/\text{ημέρα}$, ποσότητα που είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες 300 κατοίκων, δηλαδή του μόνιμου πληθυσμού ενός μικρού ελληνικού νησιού. Αυτός είναι και ο λόγος που η μονάδα τοποθετήθηκε στην Ηρακλειά, η οποία βρίσκεται στο Αιγαίο στις νοτιοανατολικές Κυκλάδες και πληροί όλες τις προδιαγραφές για ένα τέτοιο εγχείρημα.

Κατεύθυνση της έρευνας

Βέβαια η προσπάθεια δε σταματά εδώ καθώς υπάρχουν αρκετές προοπτικές εξέλιξης. Οι επόμενες μονάδες που ήδη σχεδιάζονται αναμένεται να έχουν δυνατότητα παραγωγής $1000\text{ m}^3/\text{ημέρα}$ πόσιμου νερού και θα κάνουν απόσβεση του κόστους τους σε μόλις 1,5 χρόνο. Το κόστος αυτό άλλωστε θα μειωθεί από τα 2.000.000€ σε περίπου 700.000€ για την κάθε μια. Ενδιαφέρουσα είναι και η προοπτική για την ανάπτυξη και την εξαγωγή της τεχνολογίας σε άλλα κράτη με παρόμοιες ανάγκες. Αυτή τη στιγμή η έρευνα κινείται σε ενδιαφέροντα μονοπάτια καθώς σχεδιάζεται η σύνδεση με τις καμινάδες της ΔΕΗ για τη μείωση του CO_2 . Η έξοδος του αλμυρού νερού θα συνδυάζεται με τα καυσαέρια των μονάδων της ΔΕΗ και το CO_2 μαζί με τα άλατα του αλμυρού νερού θα μετατρέπονται σε βιομηχανικά προϊόντα σόδας με αποτέλεσμα το αλμυρό νερό να γίνεται κατάλληλο για άρδευση. Η λύση αυτή πρόκειται να εφαρμοστεί στην Αμοργό.

4.6.3 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα και αποτελεί πολύ καλή λύση και για την Ελλάδα καθώς στα εδάφη της βρίσκονται πάρα πολλές πηγές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στον ελληνικό χώρο είναι η Μήλος, στα εδάφη της οποίας έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, είτε σε πειραματικό επίπεδο είτε πιο προχωρημένες.

Οι πηγές γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη μετρούμενη θερμοκρασία τους ως χαμηλής θερμοκρασίας ($<100^\circ\text{C}$), μεσαίας θερμοκρασίας ($100-150^\circ\text{C}$) και υψηλής θερμοκρασίας ($>150^\circ\text{C}$). Το θερμικό δυναμικό ποικίλει από 15 ως 75°C ανά χιλιόμετρο βάθους αλλά η ροή θερμότητας είναι ανώμαλη σε διάφορες ηπειρωτικές περιοχές. Χαμηλής θερμοότητας πηγές γεωθερμίας στα ανώτερα 100 μέτρα μπορούν να αποτελέσουν μια φθηνή λύση για αφαλάτωση. Οι πηγές γεωθερμίας υψηλής πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική. Αυτή η

δυνατότητα σε συνδυασμό και με τη δυνατότητα μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική, επιτρέπουν τη χρήση διάφορων μεθόδων αφαλάτωσης που να ταιριάζουν στη μορφή της ενέργειας.

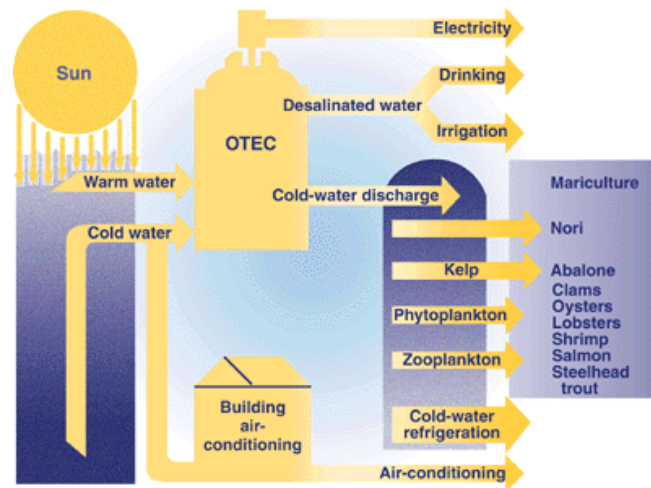


4.6.4 Βιομάζα

Η χρήση της βιομάζας για αφαλάτωση δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική καθώς τα οργανικά υπολείμματα δεν είναι συνήθως διαθέσιμα σε άνυδρες περιοχές ενώ η παραγωγή τους απαιτεί πιο πολύ νερό από ότι η αφαλάτωση που θα προκύψει με τη χρήση τους. Επίσης, η οικονομική απόδοση των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν τη βιομάζα ως μέσο για παραγωγή ενέργειας επηρεάζεται και από την απόσταση του τόπου παραγωγής της βιομάζας από τον τόπο κατανάλωσης της. Γενικά, η οικονομικά αποδεκτή αξιοποίηση της βιομάζας είναι μια δύσκολη υπόθεση καθώς τα προβλήματα που εγείρονται είναι πάρα πολλά.

4.6.5 Ωκεανική ενέργεια

Αυτή ορίζεται ως η ενέργεια των κυμάτων, των παλιρροιών καθώς και το θερμικό δυναμικό της θάλασσας. Σήμερα υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας και της ενέργειας της παλίρροιας ενώ η εκμετάλλευση του θερμικού δυναμικού είναι πολύ ακριβή, γεγονός που αποτρέπει την εμπορική της εκμετάλλευση. Αυτή η τεχνολογία περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός κύκλου μετατροπής ισχύος λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ των επιφανειακών υδάτων και των υδάτων σε βάθος 1000 μέτρων ή και περισσότερο. Τα θερμά ύδατα βράζουν σε ένα θάλαμο υπό κενό και στη συνέχεια συμπυκνώνονται εξαιτίας των κρύων υδάτων. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια εφαρμογή της ωκεανικής ενέργειας που συνδυάζει και την παραγωγή πόσιμου νερού μέσω αφαλάτωσης.



4.7 Ο συνδυασμός της ηλιακής με την Αιολική ενέργεια

Τα συμπληρωματικά χαρακτηριστικά του ανέμου και του ηλίου καθιστούν τη χρήση υβριδικών συστημάτων μια υποσχόμενη εναλλακτική. Καθώς η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο κατά τη διάρκεια της ηλιόλουστης μέρας, η αιολική θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις άλλες περιπτώσεις. Όπως είναι φυσικό, αφορά σε περιοχές με αρκετή ηλιοφάνεια, με επαρκές αιολικό δυναμικό, όπως είναι τα νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων.

Ως υβριδικό ορίζουμε ένα σύστημα στο οποίο υπάρχουν τουλάχιστον δυο διαφορετικές πηγές παροχής ενέργειας. Το προφανές πλεονέκτημα μιας τέτοιας λύσης είναι ότι σε περίπτωση κάποιας βλάβης ή, γενικά, αδυναμίας παροχής ενέργειας από την πρώτη πηγή, χρησιμοποιείται η εφεδρική οπότε το σύστημα δεν τίθεται εκτός λειτουργίας εύκολα και αυξάνεται η διαθεσιμότητα του. Ασφαλώς, μια τέτοια επιλογή θα αυξήσει αρκετά το κόστος επένδυσης και εγκατάστασης της μονάδας.

Στο πεδίο των μονάδων αφαλάτωσης οι πιο συνηθισμένες επιλογές για υβριδικά συστήματα είναι ο συνδυασμός αιολικής ενέργειας με τη σύνδεση σε κάποιο δίκτυο, τη χρήση ντιζελογεννήτριας και τα φωτοβολταϊκά.

Όμως, όπως αναφέραμε και νωρίτερα οι λύσεις του δικτύου και της ντιζελογεννήτριας δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες, η κάθε μια για διαφορετικούς λόγους. Τα φωτοβολταϊκά όμως είναι μια καλή λύση, μιας και εξακολουθούμε να κινούμαστε στο χώρο των ΑΠΕ και διαθέτουν ώριμη και εμπορικά εκμεταλλεύσιμη τεχνολογία.

Πριν όμως μιλήσουμε για υβριδικό σύστημα πρέπει να γίνει αυστηρός υπολογισμός της συμμετοχής κάθε μιας πηγής στην παραγωγή της ενέργειας καθώς και της στρατηγικής λειτουργίας. Στη συνέχεια φαίνεται ένας αλγόριθμος για τον καθορισμό των παραπάνω δεδομένων σε ένα υβριδικό σύστημα αιολικής ενέργειας και ηλιακής ενέργειας με φωτοβολταϊκά για την αφαλάτωση με τη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού.

Τα υβριδικά συστήματα αποτελούν συμφέρουσες λύσεις για εγκαταστάσεις μικρού και μεσαίου μεγέθους.

Βήμα 1. Αξιολόγηση των αναγκών νερού της περιοχής

Υπολογισμός της ζήτησης πόσιμου νερού από τις κατοίκους της περιοχής. Πρόβλεψη για ενδεχόμενη μελλοντική αύξηση καθώς και αύξηση λόγω εποχιακής ζήτησης (πχ τουριστική περίοδος, καλοκαίρι).

Βήμα 2. Διαστασιολόγηση μονάδας αντίστροφης όσμωσης

Υπολογισμός της απαιτούμενης δυνατότητας παραγωγής της μονάδας με βάση τις ώρες που προβλέπεται να λειτουργεί και τις υπολογισθείσες ανάγκες σε νερό της περιοχής. Στη συνέχεια επιλέγουμε τη μονάδα της RO με τα υπόλοιπα στοιχεία της.

Βήμα 3. Σχεδίαση εναλλάκτη πίεσης, προωθητικής αντλίας και διαστασιολόγηση αντλίας υψηλής πίεσης

Η αποβληθείσα άλμη από τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης περνά από τον εναλλάκτη πίεσης όπου η υδραυλική ενέργεια μεταφέρεται σε ένα ποσοστό του ακατέργαστου εισερχόμενου θαλασσινού νερού με απόδοση περίπου 95%. Η ροή θαλασσινού νερού, περίπου ίση με τη ροή του νερού που απορρίπτεται, περνά μέσα από την προωθητική αντλία για την κάλυψη των απωλειών εντός του συστήματος RO. Αυτή η ροή νερού ενώνεται με την κύρια ροή νερού που περνά από την αντλία υψηλής πίεσης, χωρίς όμως να περνά και αυτή από την αντλία υψηλής πίεσης, γεγονός πολύ σημαντικό για τη διαστασιολόγηση της τελευταίας. Από τη στιγμή που ο εναλλάκτης πίεσης δε χρησιμοποιεί καθόλου εξωτερικές πηγές ενέργειας, η οικονομία που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 50-60% .

Ο εναλλάκτης πίεσης επιτυγχάνει μια ανταλλαγή πίεσης από την άλμη στο θαλασσινό νερό με μηδαμινές απώλειες.

Βήμα 4. Υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών του συστήματος

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών του συστήματος υπολογίζουμε τις ενεργειακές ανάγκες του κάθε τμήματος χωριστά με βάση τις προβλεπόμενες ώρες λειτουργίας της μονάδας για κάθε εποχή.

Βήμα 5. Διαστασιολόγηση του συστήματος των φωτοβολταϊκών για την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας.

5.1 Υπολογισμός της γωνίας κλίσης των φωτοβολταϊκών πάνελ ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία κάθε μήνα.

5.2 Υπολογισμός της αιχμής των ενεργειακών αναγκών από τα φωτοβολταϊκά.

Τα πάνελ έχουν θερμοκρασία 30°C παραπάνω από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία. Έτσι, υπολογίζεται ο θερμοκρασιακός συντελεστής διόρθωσης. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ισχύς αιχμής από τα φωτοβολταϊκά και στη συνέχεια με βάση τον ολικό συντελεστή απόδοσης, μιας και υπάρχουν κάποιες απώλειες στις μπαταρίες, στον ανορθωτή, στον ελεγκτή της φόρτισης και σε άλλα τμήματα της μονάδας, υπολογίζεται η πραγματική απαιτούμενη ισχύς από τα φωτοβολταϊκά.

5.3 Υπολογισμός αριθμού πάνελ και απαιτούμενης επιφάνειας.

Επιλέγουμε το είδος των πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε και με βάση την ισχύ αιχμής του καθενός υπολογίζουμε από την πραγματική απαιτούμενη ισχύ του συστήματος τον αριθμό των πάνελ που απαιτούνται. Με βάση την τάση εξόδου που απαιτείται βρίσκουμε τη συνδεσμολογία της διάταξης, δηλαδή πόσα πάνελ θα είναι συνδεδεμένα σε σειρά και πόσα παράλληλα. Η απαιτούμενη επιφάνεια που καταλαμβάνει η διάταξη έχει να κάνει με την κλίση της, με το ύψος της κατασκευής από την επιφάνεια του εδάφους καθώς και με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

5.4 Επιλογή μπαταρίας.

Επιλογή με βάση το είδος της, τη δυνατότητα εκφόρτισης καθώς και την επιθυμητή αυτονομία που μπορεί να παρέχει στο σύστημα.

5.5 Χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης νερού

Επειδή η παραγωγή νερού κάποιες ώρες δε θα είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες και θα υπάρχει έλλειμμα νερού ενώ κάποιες άλλες θα τις υπερκαλύπτει με αποτέλεσμα να υπάρχει πλεόνασμα νερού χρησιμοποιούμε μια δεξαμενή για την εξάλειψη αυτών των προβλημάτων στη λειτουργία. Το μέγεθος της εξαρτάται από την επιθυμητή αυτονομία σε φρέσκο νερό σε περιόδους μηδενικής εισερχόμενης ενέργειας, από το μέγιστο πλεόνασμα στην παραγωγή νερού που μπορεί να προκύψει κατά τη διάρκεια της μέρας και από το επίπεδο ασφαλείας του νερού στη δεξαμενή κάτω από το οποίο δεν εξέρχεται καθόλου νερό από αυτή.

Βήμα 6. Αιολικό δυναμικό

Αξιολόγηση της παραγωγής ενέργειας από διάφορους συνδυασμούς ανεμογεννητριών κατά τη λειτουργία τους με βάση τις χαρακτηριστικές του ανέμου της περιοχής.

Βήμα 7. Διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος

Επειδή το κομμάτι των φωτοβολταϊκών έχει το υψηλότερο κόστος, η διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος έχει ως στόχο τη μείωση της χρήσης των φωτοβολταϊκών για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους καλύπτοντας, παράλληλα, τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας. Μέσω λογισμικού υπολογίζεται το ποσοστό της απαιτούμενης ισχύος που μπορεί να καλυφθεί με τα φωτοβολταϊκά και θα προστεθεί στην παραγόμενη ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες.

Βήμα 8. Οικονομική ανάλυση

Γίνεται η οικονομική ανάλυση με σκοπό να υπολογιστεί το ανά μονάδα κόστος παραγωγής του νερού για κάθε πιθανή μορφή του υβριδικού συστήματος. Το κόστος κεφαλαίου αποτελείται από το κόστος επένδυσης και εγκατάστασης για όλα τα στοιχεία του συστήματος. Τα στοιχεία κόστους για την εγκατάσταση, τη διαχείριση και τη λειτουργία έχουν υπολογιστεί ως ποσοστό επί της τιμής του κάθε στοιχείου του συστήματος. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαφορετική διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων καθώς και ο ετήσιος πληθωρισμός.

Βήμα 9. Τελικό μέγεθος υβριδικού συστήματος

Αφού υπολογιστεί ποιος είναι ο πιο συμφέρων συνδυασμός του υβριδικού συστήματος από το βήμα 8 επιστρέφουμε στο βήμα 5 και υπολογίζουμε τις τελικές διαστάσεις των φωτοβολταϊκών με βάση τη συμμετοχή τους στο υβριδικό σύστημα.

Βήμα 10. Εξομοίωση και δοκιμή συστήματος

Για να δοκιμαστεί η δυνατότητα του υβριδικού συστήματος να παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται η διαδικασία της αφαλάτωσης με τη χρήση της αντίστροφης όσμωσης γίνεται η εξομοίωση της λειτουργίας της για κάποιο χρονικό διάστημα. Τις χρονικές στιγμές που η παραγόμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, το πλεόνασμα αποθηκεύεται στις μπαταρίες ενώ όταν η ζητούμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την παραγόμενη, τότε το έλλειμμα αυτό καλύπτεται από τις μπαταρίες. Το ίδιο συμβαίνει και με τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού καθώς όταν η παραγωγή νερού είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση το πλεόνασμα αποθηκεύεται στη

δεξαμενή ενώ όταν η ζήτηση υπερκαλύπτει την παραγωγή, η διαφορά αυτή καλύπτεται από τη δεξαμενή.

Γενικά, η χρήση του εναλλάκτη πίεσης συνεισφέρει στη μείωση του μεγέθους της αντλίας υψηλής πίεσης κατά περίπου 50% ενώ μειώνει και την κατανάλωση ενέργειας κατά περίπου ίδιο ποσοστό. Αυτά οδηγούν και σε μείωση του συνολικού μεγέθους της μονάδας και του κόστους παραγωγής του νερού.

Συγκρίνοντας το υβριδικό σύστημα με ένα αυτόνομο σύστημα φωτοβολταϊκών βλέπουμε ότι το υβριδικό παρουσιάζει πολύ χαμηλότερο κόστος παραγωγής νερού σε σχέση με το αυτόνομο λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης του αυτόνομου συστήματος.

Το υβριδικό σύστημα επηρεάζεται από το αιολικό και το ηλιακό δυναμικό, το αρχικό κόστος και το κόστος διαχείρισης και λειτουργίας. Παρόλο που τα φωτοβολταϊκά έχουν υψηλό αρχικό κόστος, έχουν μικρές απαιτήσεις κατά τη λειτουργία τους και μεγάλη διάρκεια ζωής. Όσο πιο υψηλό είναι το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας κάποιου στοιχείου τόσο πιο μικρό είναι το ποσοστό συμμετοχής του στο υβριδικό σύστημα. Το κόστος για τα φωτοβολταϊκά έχει το μεγαλύτερο μερίδιο στην "πίτα" του συνολικού κόστους ενώ ακολουθεί το κόστος για το εργατικό δυναμικό. Μια λύση είναι η πλήρης αυτοματοποίηση των λειτουργιών της μονάδας ώστε να μην είναι απαραίτητη η παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού. Το χαμηλό κόστος αποθήκευσης του νερού σε σχέση με το υψηλό κόστος αποθήκευσης ενέργειας μας οδηγεί στο αναγκαίο συμπέρασμα ότι συμφέρει να αποθηκεύουμε το νερό παρά να αποθηκεύουμε την ενέργεια που χρησιμοποιούμε για την παραγωγή του νερού. Τέλος, το κόστος παραγωγής του νερού με την αντίστροφη όσμωση, αποδεικνύει ότι αυτή είναι μια λύση πολύ πιο συμφέρουσα από τη μεταφορά του πόσιμου νερού με υδροφόρα πλοία, τουλάχιστον όσο αφορά τα ελληνικά νησιά, αλλά και άλλες περιοχές ανά τη Μεσόγειο που αντιμετωπίζουν παρόμοιο πρόβλημα λειψυδρίας.

5 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Μια από τις πιο σημαντικές, αν όχι η πιο σημαντική, παράμετρος για την αφαλάτωση, αλλά και όχι μόνο, είναι τα οικονομικά δεδομένα της λειτουργίας. Η οικονομική απόδοση είναι κρισιμότερο κριτήριο για την επιλογή της λύσης σε όποιο πρόβλημα κι αν έχουμε. Η αφαλάτωση δε θα μπορούσε να ξεφεύγει από αυτό τον κανόνα. Η οικονομική απόδοση της μονάδας απεικονίζεται στο ισοσταθμισμένο κόστος το οποίο μετράται σε ευρώ ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος.

Ο προσδιορισμός των οικονομικών δεδομένων σε μια μονάδα αφαλάτωσης είναι δύσκολος καθώς είναι πολλοί οι παράγοντες που επηρεάζουν, όπως η επιλογή της μεθόδου και το νερό τροφοδοσίας. Όσον αφορά το νερό τροφοδοσίας, η αφαλάτωση θαλασσινού νερού κοστίζει 3 με 5 φορές παραπάνω από του υφάλμυρου, για μονάδες ίδιου μεγέθους, καθώς όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο πιο πολύ ενέργεια απαιτείται. Το συνολικό κόστος είναι το άθροισμα του κόστους επένδυσης, του κόστους λειτουργίας και του κόστους συντήρησης.

5.1 Κόστος επένδυσης

Η επένδυση αποτελείται από τον εξοπλισμό, την εγκατάσταση και τα έργα πολιτικού μηχανικού που απαιτούνται. Αυτό το κόστος είναι υψηλότερο για διαδικασίες απόσταξης σε σχέση με τις διαδικασίες μεμβράνης. Επίσης οι θερμικές διαδικασίες έχουν πιο μεγάλες εδαφικές απαιτήσεις σε σχέση με τις διαδικασίες μεμβράνης. Τέλος, οι εγκαταστάσεις για θερμικές διεργασίες απαιτούν πολύ περισσότερο χρόνο από τις εγκαταστάσεις για διεργασίες που χρησιμοποιούν μεμβράνες. Η κατασκευή των πρώτων μπορεί να διαρκέσει γύρω στα 3 με 5 χρόνια ενώ μια μικρή μονάδα αντίστροφης όσμωσης μπορεί να ολοκληρωθεί σε 1 μήνα.

5.2 Κόστος διαχείρισης και λειτουργίας

Εδώ περιλαμβάνεται το κόστος για την ενέργεια, για το προσωπικό καθώς και για τα αναλώσιμα που χρησιμοποιούνται, όπως τα χημικά και οι μεμβράνες.

5.3 Κόστος συντήρησης

Το κόστος συντήρησης μιας μονάδας αφαλάτωσης περιλαμβάνει το κόστος για την προετοιμασία του νερού, τον περιοδικό καθαρισμό του συστήματος, την αντικατάσταση του μηχανικού εξοπλισμού και των συστημάτων ελέγχου. Το πιο σημαντικό μερίδιο στο κόστος αυτό το καταλαμβάνουν οι μεμβράνες.

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι χαμηλότερο για θερμικές διαδικασίες. Η διάβρωση και η ανάπτυξη αλάτων είναι το μεγαλύτερο πρόβλημα, ειδικά για μονάδες που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Η προσθήκη χημικών και η γενικότερη προεργασία του νερού έχει να κάνει με την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας.

5.4 Απαιτήσεις προσωπικού

Γενικά, το κόστος για το προσωπικό σε μια μεγάλη μονάδα είναι ελαφρώς χαμηλότερο από ότι σε μια μικρότερη. Το κόστος αυτό είναι μικρότερο για διαδικασίες απόσταξης σε σχέση με την αντίστροφη όσμωση.

5.5 Απαιτήσεις ενέργειας

Θεωρητικά, η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί είναι $0,8\text{KWh}/\text{m}^3$ παραγόμενου νερού, ανεξάρτητα από τη διαδικασία που έχει επιλεγεί. Η κατανάλωση ενέργειας βασίζεται σε πολλούς παράγοντες όπως η συγκέντρωση θαλασσινού νερού, η θερμοκρασία λειτουργίας, ο ρυθμός μετατροπής, οι απώλειες θερμότητας, η διαφορά θερμοκρασίας σε θερμικές διεργασίες. Οι διαδικασίες που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης του νερού απαιτούν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Για αυτό το λόγο, οι διαδικασίες απόσταξης εφαρμόζονται κυρίως σε χώρες όπου υπάρχει άφθονο φθινό πετρέλαιο, όπως στη Μέση Ανατολή. Παρόλα αυτά θερμικές διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούν ατμό που έχει προέλθει από συμπαραγωγή είναι οικονομικά ελκυστικές και συγκρίνονται με το κόστος της αντίστροφης όσμωσης. Για τις διεργασίες μεμβράνης, οι απαιτήσεις ενέργειας εξαρτώνται από την αλμυρότητα του νερού τροφοδοσίας. Μια λύση είναι η χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας καθώς έτσι η εξοικονόμηση μπορεί να αγγίξει το 40%.

Οι απαιτήσεις σε ενέργεια για τις κυριότερες μεθόδους φαίνονται στον Πίνακα 5.1 ενώ στον Πίνακα 5.2 υπάρχει μια συγκεντρωτική απεικόνιση των επιμέρους στοιχείων κόστους για τις διάφορες μεθόδους.

Process	Exergy of steam kWh_e/m^3	Electric energy consumption kWh_e/m^3	Electric energy equivalent consumption kWh_e/m^3
MSF	7.5-11	2.5-3.5	10-14.5
MED	4-7	~2	6-9
VC	-	7-15	7-15
SWRO	-	4-6 with energy recovery 7-13 without energy recovery	4-6 with energy recovery 7-13 without energy recovery
BWRO	-	0.5-2.5	0.5-2.5
ED	-	0.7-2.5	0.7-2.5

Πίνακας 5.1: Απαιτήσεις σε ενέργεια μεθόδων αφαλάτωσης

Process	Investment $\text{Euro}/\text{m}^3 \text{ day}$	Energy Euro/m^3	Consumable Euro/m^3	Labour Euro/m^3	Maintenance Euro/m^3	Total O & M cost Euro/m^3
MSF	1000-2000	0.6-1.8	0.03-0.09	0.03-0.2	0.02-0.06	0.68-2.15
MED	900-1800	0.38-1.12	0.02-0.15	0.03-0.2	0.02-0.06	0.45-1.53
VC	900-2500	0.56-2.4	0.02-0.15	0.03-0.2	0.02-0.08	0.63-2.83
SWRO	800-1600	0.32-1.28	0.09-0.25	0.03-0.2	0.02-0.05	0.46-1.78
BWRO	200-500	0.04-0.4	0.05-0.13	0.03-0.2	0.004-0.02	0.12-0.75
ED	266-328	0.06-0.4	0.05-0.13	0.03-0.2	0.006-0.009	0.15-0.74

Πίνακας 5.2: Στοιχεία κόστους για μεθόδους αφαλάτωσης

5.6 Οικονομικά δεδομένα διαδικασιών αφαλάτωσης

Η κάθε διαδικασία αφαλάτωσης ανταποκρίνεται διαφορετικά ανάλογα με την πηγή ενέργειας που θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε. Αυτό φυσικά επηρεάζει την

παραγωγή του νερού και κατά συνέπεια και το κόστος του. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε κάποια στοιχεία που επηρεάζουν την οικονομική συμπεριφορά, και όχι μόνο, για τις κυριότερες διαδικασίες αφαλάτωσης καθώς και κάποιες συγκρίσεις μεταξύ τους.

5.6.1 Αντίστροφη Όσμωση

Η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης είναι η πιο συμφέρουσα ενεργειακά καθώς έχει τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, γεγονός που δίκαια την κατατάσσει στις πιο δημοφιλείς μεθόδους καθώς απαιτείται περίπου η μισή ενέργεια σε σχέση με τις θερμικές διεργασίες. Με την πρόοδο της τεχνολογίας και την εξέλιξη των νέων σύνθετων μεμβρανών, οι οποίες είναι πιο ανθεκτικές στην υψηλή πίεση επιτυγχάνονται πολύ υψηλοί ρυθμοί μετατροπής του νερού. Οι νέες μεμβράνες έχουν αυξημένη διάρκεια ζωής γεγονός που αυξάνει τη διαθεσιμότητα της μονάδας. Επίσης η αντίστροφη όσμωση χαρακτηρίζεται από την απλότητα στο σχεδιασμό των μονάδων, τη μικρή έκταση που αυτές καταλαμβάνουν, το μικρότερο χρόνο παραγωγής και τις μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τις θερμικές διεργασίες.

Το αρνητικό της, όμως, είναι ότι παρόλο που είναι απλή στη λειτουργία, απαιτείται η παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού καθώς διάφορα σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν στην καταστροφή των μεμβρανών. Η λειτουργία της αντίστροφης όσμωσης με μεταβλητή εισερχόμενη ισχύ δεν ενδείκνυται. Κατά αυτό τον τρόπο δε μπορεί να λειτουργήσει με το βέλτιστο τρόπο, για αυτό και το ιδεατό είναι η λειτουργία της υπό σταθερή ισχύ. Για αυτό χρειάζεται μια ενδιάμεση διάταξη αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρία) η οποία, όμως, μειώνει την άμεσα διαθέσιμη ενέργεια και αυξάνει το αρχικό κόστος επένδυσης. Η μπαταρία απορροφά το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας το οποίο και επιστρέφει όταν η ζήτηση υπερκαλύπτει την παραγωγή και το ισοζύγιο ισχύος τείνει να γίνει αρνητικό. Επίσης απαιτείται επάρκεια στα χημικά που χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία του νερού καθώς και πλήθος εφεδρικών μεμβρανών σε περίπτωση βλάβης της κύριας.

Οι μεμβράνες είναι από τα πιο ακριβά στοιχεία της διάταξης και οι έρευνες προσανατολίζονται στη μείωση του κόστους τους. Το υψηλό κόστος των μεμβρανών είχε οδηγήσει σε μια αναγέννηση των θερμικών διεργασιών τα τελευταία χρόνια.

Το αυξανόμενο κόστος της αντίστροφης όσμωσης μπορεί να αντιμετωπιστεί με δύο τρόπους.

Ο πρώτος είναι η αποτελεσματικότερη σχεδίαση της όλης διαδικασίας και η ανάλυση, η μοντελοποίηση και ο σχεδιασμός κάθε κομματιού της διαδικασίας ξεχωριστά.

Ο δεύτερος είναι η βελτίωση της οικονομικής απόδοσης της μονάδας αφαλάτωσης με τη μείωση του λειτουργικού κόστους της μονάδας το οποίο είναι πάνω από το μισό του συνολικού ετήσιου κόστους της μονάδας.

Έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να επιτευχθούν υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης όταν η μονάδα λειτουργεί σε σταθερή ροή και πίεση. Τέσσερις παράγοντες επηρεάζουν το σημείο λειτουργίας της μονάδας και αυτοί είναι:

1. Η μέγιστη πίεση του νερού τροφοδοσίας η οποία καθορίζεται από τη μηχανική αντοχή των μεμβρανών.

2. Ο μέγιστος ρυθμός ροής της άλμης ο οποίος δεν πρέπει να ξεπερνιέται γιατί βλάπτει τη μεμβράνη.

3. Ο ελάχιστος ρυθμός ροής της άλμης ο οποίος πρέπει να τηρείται για να αποφευχθεί η δημιουργία ιζήματος και, κατά συνέπεια, η καταστροφή της μεμβράνης.

4. Η μέγιστη συγκέντρωση παραγόμενου νερού, η οποία εξαρτάται από την ασκούμενη πίεση. Αν αυτή είναι χαμηλότερη από κάποια τιμή οδηγεί στην υπερβολική αύξηση της συγκέντρωσης του παραγόμενου νερού

Η ανάκτηση ενέργειας από τη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης που εφαρμόζεται σε θαλασσινό νερό είναι σημαντικός παράγοντας για τη μείωση του κόστους

της εγκατάστασης. Γι' αυτό είναι σημαντική η χρήση ενός εναλλάκτη πίεσης για την αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας της άλμης και την επιστροφή της στο σύστημα, αυξάνοντας το βαθμό απόδοσης της διάταξης και μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας καθώς μικραίνει το μέγεθος της αντλίας υψηλής πίεσης.

5.6.2 Εξάτμιση Πολλαπλής Επίδρασης

Η διαδικασία της εξάτμισης πολλαπλής επίδρασης προσφέρει ευελιξία στις μονάδες να λειτουργήσουν υπό χαμηλό φορτίο. Επίσης, είναι λιγότερο ευαίσθητη στο σχηματισμό ακαθαρσιών και αλάτων γεγονός που αυξάνει τη διάρκεια ζωής της μονάδας. Τέλος, είναι πιο φθηνή και συμφέρει σε σχέση με την απόσταξη πολλαπλής φάσης για τη λειτουργία μονάδων μικρής ικανότητας παραγωγής νερού.

5.6.3 Συμπύεση Ατμού

Η MVC παρόλο που καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από την RO παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα από αυτή λόγω της ανοχής της στη μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια. Επίσης, είναι πιο κατάλληλη για απομονωμένες περιοχές γιατί είναι πιο ανθεκτική, δύναται να λειτουργήσει σωστά χωρίς ιδιαίτερα εξειδικευμένο προσωπικό και δε χρειάζεται τόσα χημικά για την προεργασία του νερού όπως η RO. Μιας και είναι διαδικασία απόσταξης δεν απαιτεί μεμβράνες μειώνοντας, έτσι, το κόστος και προσφέρει καλύτερο ποιοτικά νερό. Τέλος, λόγω της απόσταξης που γίνεται, σε περίπτωση μολυσμένου νερού εξασφαλίζεται η απουσία μικροοργανισμών και μικροβίων από το παραγόμενο νερό. Το πλεονέκτημα της απουσίας των μικροοργανισμών το έχουν όλες οι διαδικασίες απόσταξης.

Μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι οι μονάδες που χρησιμοποιούν μηχανική συμπύεση (VC) έχουν χαμηλότερη απόδοση από τις αντίστοιχες μονάδες που χρησιμοποιούν εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης (MED) και απόσταξη πολλαπλής φάσης (MSF).

5.7 Προοπτικές εξέλιξης

Σε ότι αφορά τα οικονομικά δεδομένα των διαφόρων μεθόδων αφαλάτωσης πρέπει να γίνει ιδιαίτερη μνεία στις προοπτικές εξέλιξης και στους τομείς στους οποίους στρέφεται η έρευνα, καθώς αναμένεται και μελλοντική μείωση του κόστους.

Έτσι, αναφορικά με τις διαδικασίες απόσταξης οι αναζητήσεις γίνονται στην περιοχή της σύζευξης ηλιακά υποβοηθούμενων αντλιών ατμού, στην εφαρμογή της απευθείας ηλιακής παραγωγής ατμού στη MED και στη MSF, στη χρήση μεμβρανών νανοφιλτραρίσματος ως προεργασία στη MSF, που θα οδηγήσει σε αξιοσημείωτη αύξηση της απόδοσης και σε σημαντική μείωση του κόστους, καθώς και στην εξέλιξη νέων συσκευών για διάφορα στάδια των διαδικασιών.

Στον αντίποδα, στις διεργασίες που κάνουν χρήση μεμβρανών οι εξελίξεις είναι στον τομέα της βελτίωσης της απαιτούμενης προεργασίας και στη μείωση του κόστους των μεμβρανών. Πρόοδος υπάρχει στη βελτίωση των λειτουργιών της μεμβράνης ώστε να βελτιωθεί η αποκατάσταση και η απόρριψη του άλατος και να μειωθούν οι χημικές και βιολογικές επιπτώσεις των σφαλμάτων. Εξελίξεις υπάρχουν και στη βελτίωση της λειτουργίας με μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια, που είναι γενικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των ΑΠΕ.

5.8 Επιλογή μεθόδου με βάση το νερό και τις ΑΠΕ

Στην απόφαση για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αφαλάτωσης πρέπει να λάβουμε υπόψη την τοποθεσία και τη δημογραφική διανομή της, την αλμυρότητα του νερού, την πηγή προέλευσης του καθώς και την πηγή ανανεώσιμης ενέργειας που θα χρησιμοποιήσουμε και τη μορφή που θα έχει η ενέργεια (θερμική, ηλεκτρική κ.τ.λ.). Οι δυο μορφές του νερού που έχουμε να αντιμετωπίσουμε είναι το αλμυρό και το υφάλμυρο. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση του άλατος τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτείται για το διαχωρισμό του από το καθαρό νερό. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 5.3 & Πίνακας 5.4) φαίνονται κάποιοι συνδυασμοί νερού, διαδικασίας αφαλάτωσης, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κατανάλωσης ενέργειας.

Feed Water	Desalination process	Thermal energy (kJ/kg)	Electrical energy (kWh/m ³)
Seawater	MSF	190 – 290	4 – 6
	MED	150 – 290	2.5 – 3
	VC	-	8 – 12
	RO with energy recovery	-	3 – 5
	RO without energy recovery	-	7 – 10
Brackish water, 1500-3500 ppm TDS	RO	-	1 – 3
	ED	-	1.5 – 4

Πίνακας 5.3 Ενεργειακές απαιτήσεις ανάλογα με το νερό τροφοδοσίας

RES technology	Feed water salinity	Desalination technology
Solar thermal	Seawater	Multiple effect boiling (MEB)
	Seawater	Multi-stage flash (MSF)
Photovoltaics	Seawater	Reverse osmosis (RO)
	Brackish water	Reverse osmosis (RO)
	Brackish water	Electrodialysis (ED)
Wind energy	Seawater	Reverse osmosis (RO)
	Brackish water	Reverse osmosis (RO)
	Seawater	Mechanical vapor compression (MVC)
Geothermal	Seawater	Multiple effect boiling (MEB)

Πίνακας 5.4 Συνδυασμοί μορφής ενέργειας, νερού τροφοδοσίας και μεθόδου αφαλάτωσης

Για απομονωμένες και παράκτιες περιοχές και χρήση θαλασσινού νερού η κυρίαρχη τάση είναι ο συνδυασμός της αντίστροφης όσμωσης με την αιολική ενέργεια. Αν το νερό τροφοδοσίας είναι υφάλμυρο η ED είναι πιο κατάλληλη γιατί είναι πιο ανθεκτική και εύρωστη από την RO καθώς και πιο απλή και εύχρηστη στη λειτουργία και στη συντήρηση. Επιπλέον μπορεί πιο εύκολα να προσαρμοστεί σε μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια, όπως αυτή που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες, και να λειτουργήσει απρόσκοπτα.

Παρατηρώντας τους παραπάνω πίνακες πρέπει να αναφέρουμε ότι με βάση τη δυνατότητα της θερμομηχανικής μετατροπής μπορούμε να κάνουμε έμμεση χρήση της θερμικής ενέργειας για αντίστροφη όσμωση (RO), εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης (MED) και συμπύεση ατμού (MVC).

5.9 Γενικά κριτήρια για τη διαστασιολόγηση και την επιλογή σημαντικών παραμέτρων σε μια εγκατάσταση αφαλάτωσης

5.9.1 Νερό τροφοδοσίας

Το νερό τροφοδοσίας παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή της διαδικασίας. Η εμπειρία έχει δείξει ότι για θαλασσινό νερό συμφέρει να επιλέξουμε θερμικές διεργασίες και αντίστροφη όσμωση, ενώ για υφάλμυρο νερό είναι πιο κατάλληλες η αντίστροφη όσμωση και η ηλεκτροδιάλυση. Ειδικά όσον αφορά τις διεργασίες μεμβράνης, η ηλεκτροδιάλυση είναι καλύτερη για χαμηλή συγκέντρωση άλατος ενώ δεν πρέπει να παραλείψουμε το ότι η αντίστροφη όσμωση απαιτεί και προετοιμασία του νερού η οποία μπορεί να αυξήσει το κόστος.

Σε περίπτωση που υπάρχει η δυνατότητα επιλογής, η λύση του υφάλμυρου έχει το πλεονέκτημα της χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης καθώς αυτή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη συγκέντρωση των αλάτων.

5.9.2 Ποιότητα παραγόμενου νερού

Οι θερμικές διεργασίες παράγουν αποσταγμένο νερό με πολύ χαμηλή συγκέντρωση αλάτων, της τάξης των 10-20 ppm, ενώ οι διεργασίες μεμβράνης παράγουν νερό με συγκέντρωση 350-500 ppm. Η επεξεργασία που απαιτείται για το νερό που έχει παραχθεί ποικίλει ανάλογα με τη μελλοντική χρήση του. Υπάρχουν κάποιες αμφιβολίες για την καταλληλότητα των θερμικών διεργασιών για την παραγωγή πόσιμου νερού που θα καταναλωθεί μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα.

5.9.3 Μέγεθος μονάδας

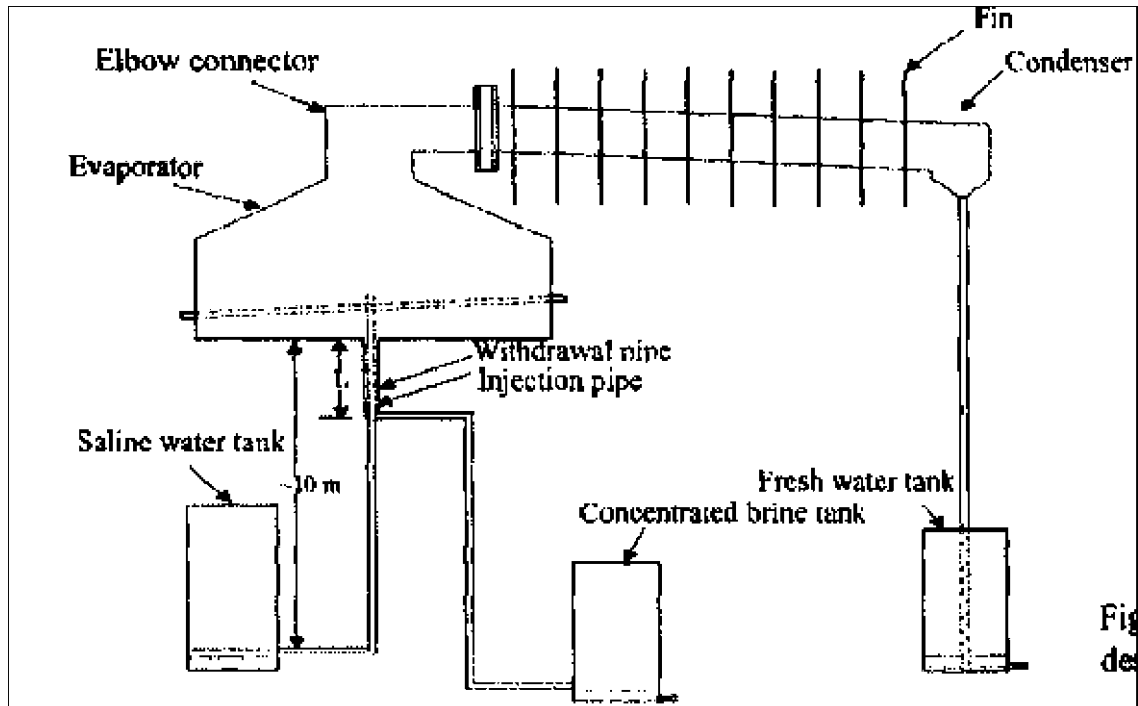
Το μέγεθος της μονάδας καθορίζεται κυρίως από τη ζήτηση νερού. Οι διεργασίες απόσταξης είναι κατάλληλες για μονάδες μεγάλου μεγέθους. Η απόσταξη πολλαπλής φάσης χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μεγάλου μεγέθους, η εξάτμιση πολλαπλής επίδρασης χρησιμοποιείται σε μεσαίου μεγέθους εφαρμογές ενώ εξαίρεση αποτελεί η μηχανική συμπύεση που είναι για πιο μικρές εφαρμογές. Οι διεργασίες μεμβράνης είναι κατάλληλες για κάθε είδους εφαρμογές.

5.9.4 Εναπόθεση άλμης

Όταν η μονάδα βρίσκεται κοντά στην ακτογραμμή δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα. Όταν όμως είναι εγκατεστημένη σε ηπειρωτικές περιοχές το πρόβλημα είναι μεγάλο καθώς η άλμη μπορεί να μολύνει τα γειτονικά οικοσυστήματα. Μια λύση είναι η δημιουργία λιμνών εξάτμισης. Εναλλακτικά, συνίσταται να εφαρμοστεί η ανάκτηση ενέργειας από την άλμη στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό ώστε να μειωθεί η ποσότητα της αλλά και το μέγεθος του συστήματος διαχείρισής της.

6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

6.1 Ανάλυση ενός καινοτόμου συστήματος αφαλάτωσης ύδατος που χρησιμοποιεί ηλιακή θερμότητα χαμηλής βαθμίδας (low grade)



Εικόνα 6.1: Σύστημα αφαλάτωσης ύδατος που χρησιμοποιεί θερμότητα χαμηλής βαθμίδας

Στην εφαρμογή αυτή παρουσιάζεται η θεωρητική ανάλυση ενός συστήματος αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια (Εικόνα 6.1), που χρησιμοποιεί φυσικές δυνάμεις, όπως η ατμοσφαιρική πίεση και η βαρύτητα, για τη δημιουργία κενού αέρος. Η εφαρμογή αυτή παρουσιάζει το πλεονέκτημα της απόστασης υπό κενό αέρος, χωρίς όμως να απαιτείται επιπλέον ενέργεια για τη δημιουργία του κενού αέρος.

Η ατμοσφαιρική πίεση είναι αντίστοιχη με την υδροστατική πίεση που αναπτύσσεται από μία στήλη νερού ύψους περίπου 10 μέτρων. Έτσι λοιπόν, αν μια στήλη με ύψος πλέον των 10 μέτρων και κλειστή στο επάνω μέρος γεμίσει με νερό και το νερό αφεθεί να πέσει εξαιτίας της βαρύτητας, θα πέσει σε ένα ύψος 10 μέτρων δημιουργώντας κενό αέρος στην περιοχή πάνω από αυτό. Το σύστημα αφαλάτωσης το οποίο εξετάζεται κάνει χρήση αυτού του φαινομένου.

Στο σύστημα περιλαμβάνονται μία μονάδα ηλιακής θέρμανσης, ένας ατμοποιητής (evaporator) και ένας υγροποιητής (condenser) τοποθετημένα σε απόσταση 10 μέτρων από το έδαφος και συνδεδεμένα μέσω σωλήνων με την παροχή αλμυρού νερού, την αποβολή της άλμης (brine tank) και μία δεξαμενή φρέσκου νερού όλα τοποθετημένα στο επίπεδο του εδάφους. Έτσι κενό δημιουργείται με την εξισορρόπηση των υδροστατικών και ατμοσφαιρικών πιέσεων στους σωλήνες ανεφοδιασμού και απαλλαγής.

Ο ατμοποιητής έχει μια παροχή που του προσδίδει ηλιακή ή άλλου είδους θερμική ενέργεια χαμηλής βαθμίδας, μέσω ενός κλειστού εναλλάκτη θερμότητας τύπου βρόχου. Το τροφοδοτικό νερό και η συγκεντρωμένη άλμη περνάνε μέσα από έναν εναλλάκτη θερμότητας με σκοπό να εξαχθεί το μεγαλύτερο δυνατό ποσό θερμότητας από την καυτή

άλμη. Ο εξατμιστής είναι συνδεδεμένος και με ένα συμπυκνωτή που διαχέει τη θερμότητα συμπύκνωσης στο περιβάλλον.

Εάν δύο δεξαμενές νερού συνδεθούν μεταξύ τους, η απόσταση του νερού θα γίνει από την πλευρά όπου εμφανίζεται η υψηλότερη πίεση ατμών προς την άλλη. Η πίεση ατμών του θαλάσσιου νερού είναι περίπου 1,84% μικρότερη από την αντίστοιχη του φρέσκου νερού. Αυτό σημαίνει ότι αν ο ατμοποιητής (αλμυρό νερό) και ο υγροποιητής (φρέσκο νερό) συνδεθούν από πάνω ενώ η θερμοκρασία είναι ίδια, η απόσταση θα πραγματοποιηθεί από την πλευρά του φρέσκου νερού προς αυτήν του αλμυρού νερού. Για να επιτύχουμε την απόσταση κατά την αντίστροφη διαδρομή το αλμυρό νερό θα πρέπει να διατηρείται σε υψηλότερη θερμοκρασία. Εδώ αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ηλιακής ενέργειας. Άλλωστε σε συνθήκες κενού το νερό μπορεί να εξατμιστεί σε μικρότερη θερμοκρασία, άρα θα απαιτείται και μικρότερο ποσό ενέργειας. Αυτή η ενέργεια μπορεί να αποδίδεται από απλούς ηλιακούς συσσωρευτές flat plate, που θα λειτουργούν και με καλύτερο βαθμό απόδοσης λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας.

Η εξάτμιση αλμυρού νερού αυξάνει την αλατότητα στον ατμοποιητή, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να μειωθεί ο ρυθμός εξάτμισης. Έτσι είναι απαραίτητο να απορριφθεί η συγκεντρωμένη άλμη με συγκεκριμένο ρυθμό και παράλληλα να ψεκάζεται αλμυρό νερό με ρυθμό αντίστοιχο με το άθροισμα των ρυθμών απόρριψης της άλμης και εξάτμισης. Η αποβαλλόμενη άλμη θα βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία έτσι είναι σημαντικό να ανακτηθεί θερμότητα από αυτή. Ένας εναλλάκτης θερμότητας με σωλήνες θα χρησιμοποιηθεί για αυτόν το σκοπό έτσι που το τροφοδοτικό νερό θα ρέει στον εσωτερικό σωλήνα και η αποβαλλόμενη άλμη σε δέσμη σωλήνων με μορφή δακτυλίου γύρω από τον εσωτερικό με αντίθετη κατεύθυνση. Τέλος επειδή επικρατούν συνθήκες κενού στην επιφάνεια του αλμυρού νερού στον εξατμιστή, το τροφοδοτικό νερό μπορεί να ψεκαστεί υπό ατμοσφαιρική πίεση, κάνοντας περιττή την όποια χρήση αντλιών και άρα εξοικονομώντας την αντίστοιχη ενέργεια.

Για να προσομοιωθεί η απόδοση του συστήματος, απαιτούνται οι ισολογισμοί μάζας ενέργειας και αλατιού. Κατά την εφαρμογή αυτών των ισολογισμών υποτίθεται ότι καμία στρωματοποίηση της θερμοκρασίας δε λαμβάνει χώρα στο σύστημα. Οι ισολογισμοί της διατήρησης της μάζας, της διατήρησης της διαλυόμενης ουσίας και της διατήρησης της ενέργειας μας οδηγούν στις παρακάτω εξισώσεις:

- Διατήρηση της μάζας:

$$p_i \dot{V}_i = p_w \dot{V}_w + p_e \dot{V}_e$$

- Διατήρηση της συγκέντρωσης της διαλυόμενης ουσίας:

$$\frac{d}{dt} (pCV)_s = (pC)_i \dot{V}_i - (pC)_s \dot{V}_w$$

- Διατήρηση της ενέργειας:

$$\frac{d}{dt} (pC_p VT)_s + \frac{d}{dt} (pC_p VT)_{evaporator} = Q_{input} + (pC_p T)_i \dot{V}_i - (pC_p T)_s \dot{V}_w - Q_e - Q_{loss}$$

Η είσοδος θερμότητας στο σύστημα θεωρείται ότι πραγματοποιείται μέσω του θερμού νερού το οποίο με τη σειρά του θερμαίνεται μέσω ενός ηλιακού συλλέκτη. Η θερμότητα της εξάτμισης θα απορριφθεί κυρίως στο περιβάλλον μέσω του υγροποιητή κατά τη διαδικασία της συμπύκνωσης του ατμού, και η υπόλοιπη θα απομακρυνθεί μέσω του παραγόμενου

φρέσκου νερού. Έτσι ο υγροποιητής θα αποβάλει το ποσό ενέργειας που δίνεται από τη σχέση:

$$Q_c = \dot{m} h_{fg}^*$$

Όπου h_{fg}^* δίνεται από τη σχέση:

$$h_{fg}^* = h_{fg} + 0.68 C_{pf} (T_s - T_{ct})$$

Αυτό το ποσό θερμότητας άγεται μέσω του τείχους υγροποίησης και τελικά μεταφέρεται στο περιβάλλον μέσω συναγωγής (αγνοούμε τη μεταφορά με ακτινοβολία). Για την αγωγή θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων έχουμε:

$$\dot{m} h_{fg}^* = \frac{2\pi l_c k_c (T_{ci} - T_{co})}{\ln(r_{co}/r_{ci})}$$

Όσον αφορά τη συναγωγή προς το περιβάλλον, ο συμπυκνωτής θεωρείται ως ένας οριζόντιος αγωγός με πτερύγια. Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με αυτόν τον τρόπο μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$Q_c = (h_{co,tip} N A_{f,tip} n_f + h_{co} N A_{f,sides} n_f + h_{co} A_b) (T_{co} - T_a)$$

Η πίεση λειτουργίας της προτεινόμενης μονάδας μπορεί να υπολογισθεί ως το άθροισμα της πίεσης στην περιοχή του ατμού, στο σημείο συμπύκνωσης και την πτώση πίεσης που λαμβάνει χώρα στη στήλη. Αυτή η πτώση πίεσης μπορεί να υπολογισθεί εφαρμόζοντας την εξίσωση συνέχειας πίεσης και ενέργειας μεταξύ της εισόδου και της εξόδου της στήλης.

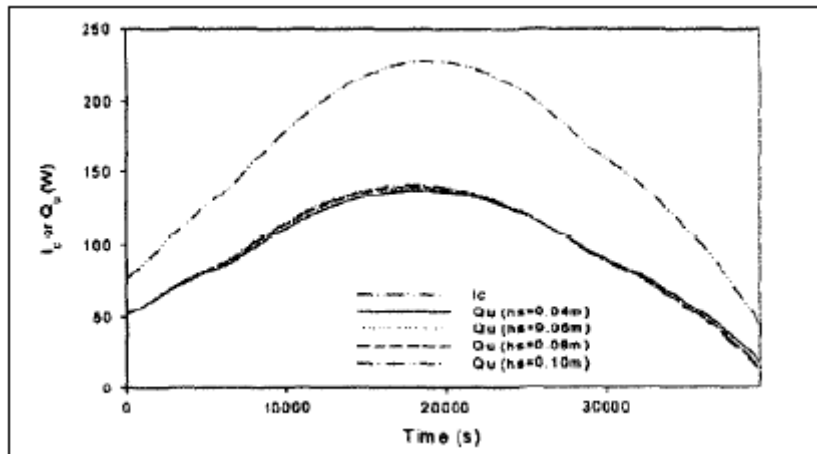
$$(pA\upsilon)_{in} = (pA\upsilon)_{out}$$

$$\frac{P_{out}}{\gamma} + \frac{v_{out}^2}{2g} + z_{out} = \frac{P_{in}}{\gamma} + \frac{v_{in}^2}{2g} + z_{in} - h_L$$

Η μονάδα η οποία τέθηκε προς δοκιμή διέθετε έναν ατμοποιητή κυλινδρικού σχήματος με επιφάνεια $0,2\text{m}^2$ και ύψος $0,2\text{m}$ ενώ είχε προστεθεί και ένας συνδετικός κώνος στην κορυφή του. Ο εξατμιστής τροφοδοτείται με αλμυρό νερό μέσω ενός χαλκοσωλήνα διαμέτρου $12,7\text{mm}$, ο οποίος περικλείεται μέσα σε ένα σωλήνα PVC διαμέτρου $25,4\text{mm}$, ο οποίος χρησιμοποιείται για την αποβολή της συγκεντρωμένης άλμης. Οι δύο σωλήνες συγκροτούν έναν εναλλάκτη θερμότητας τύπου σωλήνα-σωλήνα. Ο υγροποιητής είναι ένας χαλκοσωλήνας διαμέτρου $101,6\text{mm}$, μήκους $0,5\text{m}$ και πάχους $2,5\text{mm}$. Στην επιφάνεια του βρίσκονται τοποθετημένοι 10 ανεμιστήρες διαμέτρου 254mm και πάχους $0,635\text{mm}$ τοποθετημένοι ανά 40mm . Η άλλη άκρη του υγροποιητή συνδέεται με έναν υποδοχέα συμπυκνώματος μέσω ενός σωλήνα PVC διαμέτρου $12,7\text{mm}$. Για τους θεωρητικούς υπολογισμούς θεωρήθηκαν θερμοκρασία αναφοράς 25°C , συγκέντρωση σε αλάτι $3,5\%$ και πυκνότητα αναφοράς 1021kg/m^3 . Ο ηλιακός συλλέκτης που χρησιμοποιήθηκε είχε απόδοση που δίνεται μέσω του τύπου:

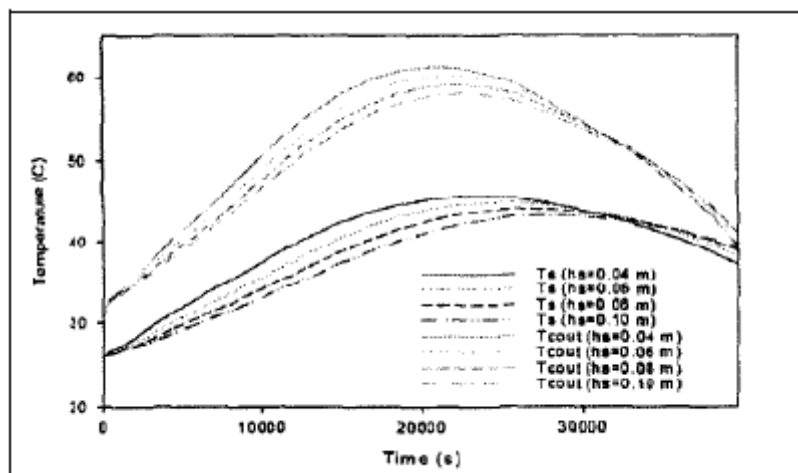
$$n = 0.72 - \frac{5.6\Delta T}{I_c}$$

Η επιφάνεια του συλλέκτη θεωρήθηκε ίση με αυτή του εξατμιστή δηλαδή $0,2\text{m}^2$, ενώ για όλους τους υπολογισμούς η θερμοκρασία περιβάλλοντος θεωρήθηκε ίση με 25°C . Οι τιμές ηλιακής ακτινοβολίας ελήφθησαν για μια ηλιόλουστη μέρα του Ιουλίου στην περιοχή της Φλόριδας ($29,68^\circ\text{N}$, $82,27^\circ\text{W}$), με το συλλέκτη να είναι στραμμένος κατά τη νότια κατεύθυνση.

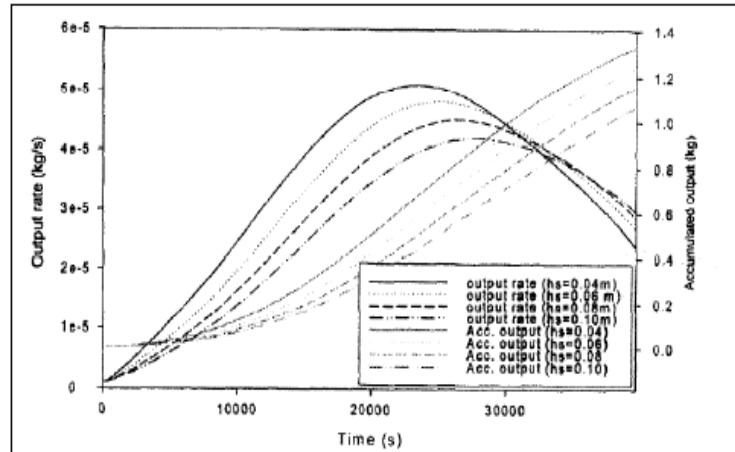


Εικόνα 6.2: Διάγραμμα προσπίπτουσας ακτινοβολίας και ωφέλιμης ισχύος

Το παραπάνω διάγραμμα της Εικόνας 6.2 δείχνει το ποσό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο συλλέκτη και το ποσό της ωφέλιμης ισχύος που παρέχεται από το συλλέκτη στο σύστημα. Το τελευταίο ποσό δίνεται σε συνάρτηση με το βάθος του νερού μέσα στον ατμοποιητή. Όπως φαίνεται όσο μικρότερο είναι το βάθος τόσο μικρότερη είναι και η ωφέλιμη ισχύς. Στο απόγειο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας η απόδοση του συλλέκτη είναι περίπου 60%. Στο διάγραμμα της Εικόνας 6.3 φαίνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού μέσα στον ατμοποιητή καθώς και η θερμοκρασία στην έξοδο του συλλέκτη πάλι για διάφορα βάθη νερού.



Εικόνα 6.3: Διάγραμμα θερμοκρασίας εξόδου του συλλέκτη και θερμοκρασίας του νερού στον ατμοποιητή

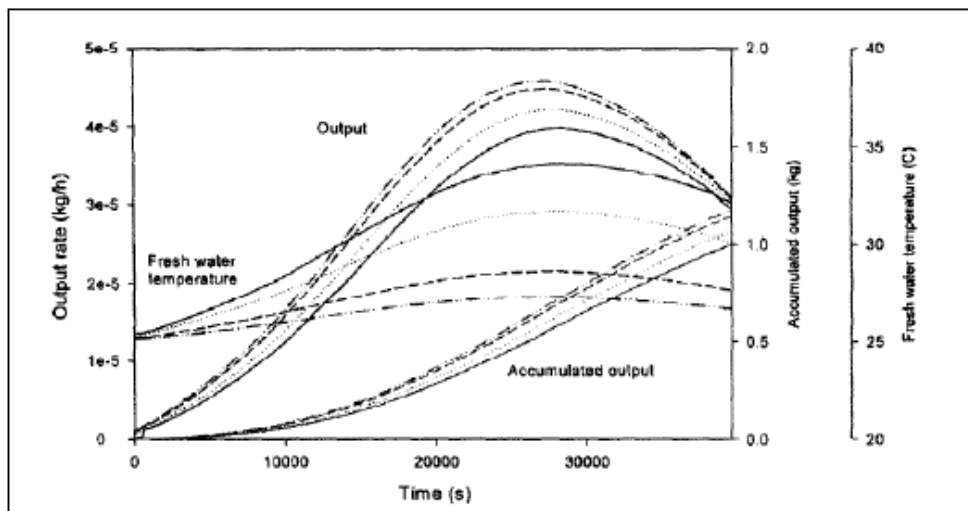


Εικόνα 6.4: Διάγραμμα παραγωγικής ικανότητας του συστήματος συναρτήσει του χρόνου

Είναι προφανές ότι όσο μικρότερο το βάθος του νερού τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία στο απόγειο της ηλιακής ακτινοβολίας.

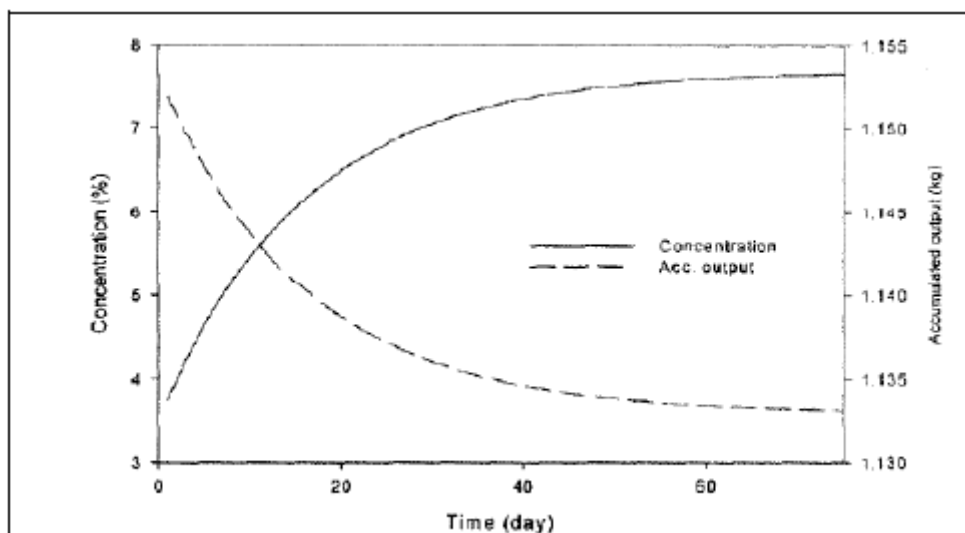
Η διακύμανση της εξόδου του συστήματος σε συνάρτηση με το χρόνο για διάφορες ποσότητες νερού μέσα στον εξατμιστή φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας 6.4. Η υψηλότερη παραγωγή αντιστοιχεί στη χαμηλότερη ποσότητα νερού.

Η επίδραση της θερμοκρασίας του φρέσκου νερού φαίνεται στην Εικόνα 6.5. Διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας φρέσκου νερού μπορούν να επιτευχθούν μεταβάλλοντας την επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας στον υγροποιητή. Όσο η επιφάνεια μεγαλώνει, η θερμοκρασία του φρέσκου νερού ελαττώνεται ενώ η παραγωγή αυξάνεται. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι εάν ο αριθμός των ανεμιστήρων στο συμπυκνωτή αυξηθεί από 10 σε 20, η ημερήσια παραγωγή θα ανέλθει στα 1,17kg από 1,07kg. Βέβαια θα πρέπει να υπάρξει κάποιος συμβιβασμός ανάμεσα στην αυξανόμενη παραγωγή και το αυξανόμενο κόστος του υγροποιητή όσο η επιφάνεια μεγαλώνει.



Εικόνα 6.5: Επίδραση της θερμοκρασίας φρέσκου νερού στην παραγωγική ικανότητα

Το διάγραμμα της Εικόνας 6.5 δείχνει τη μεταβολή της πίεσης και της συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου. Η απόλυτη πίεση φτάνει μία μέγιστη τιμή περίπου ίση με 4,7kPa ενώ η συγκέντρωση συνεχίζει να αυξάνει έως το τέλος της ημέρας δοκιμής. Θεωρώντας ότι η τιμή στο τέλος της μέρας αποτελεί την αρχική συγκέντρωση την επόμενη ημέρα μια σταθερή τιμή της τάξης του 7,53% θα επιτευχθεί μετά από 53 ημέρες.



Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ορισμένα λειτουργικά στοιχεία της εγκατάστασης όπως τη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας που ήταν ίση με 60°C, η ενέργεια που απαιτήθηκε ήταν 158W για την πειραματική διάταξη ενώ η θεωρητική προσομοίωση είχε υπολογίσει 150,8W και η παραγωγή ανήλθε σε 0,598kg για εξάωρη δοκιμή σε σχέση με τα 0,675kg που θεωρητικά υπολογίσαμε.

6.2 Multi-effect thermal regeneration solar desalination unit with horizontal tube falling film evaporation

Μία βελτιωμένη μονάδα η οποία χρησιμοποιεί falling film εξάτμιση και διαδικασίες θερμικής αναγέννησης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έχει προκύψει από τη μελέτη των πλεονεκτημάτων των μεθόδων απόσταξης με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία.

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 6.6 η μονάδα αποτελείται κυρίως από τον ατμοποιητή (ένα ορθογώνιο κουτί με πολλούς οριζόντιους σωλήνες), τον ψεκαστή θαλάσσιου νερού, το διανομέα θαλάσσιου νερού, μια αντλία κυκλοφορίας νερού, μια αντλία θερμού νερού, έναν ανεμιστήρα κυκλοφορίας, ένα συσσωρευτή, ένα διαχωριστή υγρού - ατμού και ένα σύστημα προσομοίωσης θερμότητας. Η λειτουργία της μονάδας έχει ως εξής: το νερό που έχει θερμανθεί μέσω των ηλιακών συσσωρευτών ή της αποβαλλόμενης θερμότητας εισέρχεται στη μονάδα μέσω της εισόδου και περνάει μέσα από πολλούς οριζόντιους σωλήνες (15) στο διανομέα (12). Το θαλάσσιο νερό που ρέει έξω από τους οριζόντιους σωλήνες θερμαίνεται και εξατμίζεται. Το νερό θέρμανσης ρέει στο πρώτο επίπεδο του διανομέα από την είσοδο (inlet) και στη συνέχεια στο δεύτερο επίπεδο μέσω ενός σωλήνα - συνδέσμου (5). Τελικά εξέρχεται από τη μονάδα μέσω της εξόδου (outlet). Η τροφοδοσία σε θαλάσσιο νερό στο πρώτο επίπεδο γίνεται από τη θέση (6) μέσω του σωλήνα (8). Μετά περνάει μέσα από το δεύτερο επίπεδο και ένα χάλκινο σωλήνα τύπου σερπαντίνα (2) στο δεξιό μέρος της κοιλότητας συμπίκνωσης (19), όπου αντλείται στην κορυφή του εξατμιστή μέσω της αντλίας νερού (21) και ανακυκλοφορεί συνεχώς. Το τροφοδοτικό αλμυρό νερό τελικά φτάνει στον πυθμένα του εξατμιστή. Στην κορυφή του εξατμιστή, το μείγμα τροφοδοσίας και άλμης από τον ψεκαστή (10), ψεκάζεται ισότροπα από ένα διάτρητο διανομέα (11) και στη συνέχεια πέφτει στους οριζόντιους σωλήνες. Η άλμη η οποία ρέει κάθετα λόγω της βαρύτητας από τους ανώτερους προς τους κατώτερους σωλήνες, δημιουργεί ένα φιλμ στις επιφάνειες γύρω από τους οριζόντιους σωλήνες φτάνοντας τελικά

στον πυθμένα του εξατμιστή. Η συμπυκνωμένη άλμη αποβάλλεται από τη βαλβίδα υπερχειλίσης (18).

Όταν η άλμη ρέει από τον ένα οριζόντιο σωλήνα στον άλλο, απορροφά ένα μεγάλο ποσό της θερμότητας από το θερμό νερό που ρέει μέσα στους σωλήνες και εξατμίζεται σε υδρατμό. Ειδικά κάτω από συνθήκες αρνητικής πίεσης η εν λόγω διαδικασία εμφανίζεται ενισχυμένη. Ο ατμός στη συνέχεια αποστέλλεται στην κοιλότητα συμπύκνωσης (19), όπου συμπυκνώνεται υπό συνθήκες θετικής πίεσης και απελευθερώνει το σύνολο σχεδόν της λανθάνουσας θερμότητας από τον ανεμιστήρα (16) μέσω του σωλήνα ατμού (13). Κατά τη διαδικασία, η λανθάνουσα θερμότητα μεταφέρεται στο φιλμ άλμης που καταπέφτει στους οριζόντιους σωλήνες, προκαλούν την εξάτμιση της άλμης. Στο δεξιό τμήμα της κοιλότητας συμπύκνωσης, τμήμα του ατμού ανταλλάσει θερμότητα με την τροφοδοσία που ρέει στο σωλήνα (2) και μετατρέπεται σε καθαρό νερό. Στη συνέχεια το μείγμα συμπυκνωμένου ατμού και νερού στέλνεται στον εναλλάκτη θερμότητας (9) στη θέση (6) για να παράγει επιπλέον φρέσκο νερό. Τελικά το μείγμα με χαμηλή θερμοκρασία αποστέλλεται στο διαχωριστή υγρού - ατμού (4), όπου το αέριο ρεύμα συμπυκνώνεται ακόμα περισσότερο με συνέπεια την απόσταξη περισσότερου φρέσκου νερού. Το υπόλοιπο αέριο ρεύμα ανακυκλώνεται στον εξατμιστή μέσω του σωλήνα (17). Έτσι η ανακυκλοφορία ολοκληρώνεται. Το φρέσκο νερό λαμβάνεται από τις βαλβίδες (1) και (3).

Όπως είναι προφανές ο θάλαμος εξάτμισης είναι το κύριο τμήμα της όλης εγκατάστασης. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα ορθογώνιο κουτί με διαστάσεις 1000x550x280mm, κατασκευασμένο από πλάκες ανοξείδωτου ατσαλιού πάχους 1,5mm. Ο θάλαμος εξάτμισης περιλαμβάνει και 117 οριζόντιους χαλκοσωλήνες μέσα από τους οποίους διέρχεται το θερμό νερό ή ο ατμός. Για να εξασφαλιστεί ομοιόμορφη ύγρανση των σωλήνων χρησιμοποιείται ένας ψεκαστής (sprayer) και ένας διανομέας θαλάσσιου νερού (seawater distributor), στην κορυφή του θαλάμου. Ο διαχωριστής είναι ουσιαστικά μία διάτρητη πλάκα με οπές διαμέτρου 2mm τοποθετημένες σε απόσταση 20x20mm μεταξύ τους. Οι οριζόντιοι σωλήνες αποτελούνται από χαλκοσωλήνες πάχους 1,0 mm και εξωτερικής διαμέτρου 20mm. Είναι τοποθετημένοι σταυρωτά με βάθος 40mm κατά την κάθετη και 50mm κατά την οριζόντια κατεύθυνση. Το μήκος των σωλήνων είναι 550mm.

Η εξωτερική ενέργεια που παρέχεται στη μονάδα είναι θερμό νερό θερμοκρασίας 65-90°C.

Ο εναλλάκτης θερμότητας (2) αποτελείται από χαλκοσωλήνες εξωτερικής διαμέτρου 8mm, πάχους 0,5mm και μήκους 4000mm. ο εναλλάκτης θερμότητας (9) αποτελείται από χαλκοσωλήνες με διαστάσεις 12x0,5x3500mm

Οι σωλήνες του σχηματιζόμενου ατμού (13) αποτελούνται ουσιαστικά από δύο τμήματα συνδεδεμένα παράλληλα μεταξύ τους. Η εξωτερική τους διάμετρος είναι 25mm και το μήκος τους 550mm. Στις δύο αντιδιαμετρικές πλευρές αυτών των σωλήνων υπάρχουν οπές οι οποίες επιτρέπουν τη δημιουργία αέριου ρεύματος. Ο σωλήνας μεταφοράς αέρα (17) είναι χαλκοσωλήνας με εξωτερική διάμετρο 20mm και μήκος 540mm.

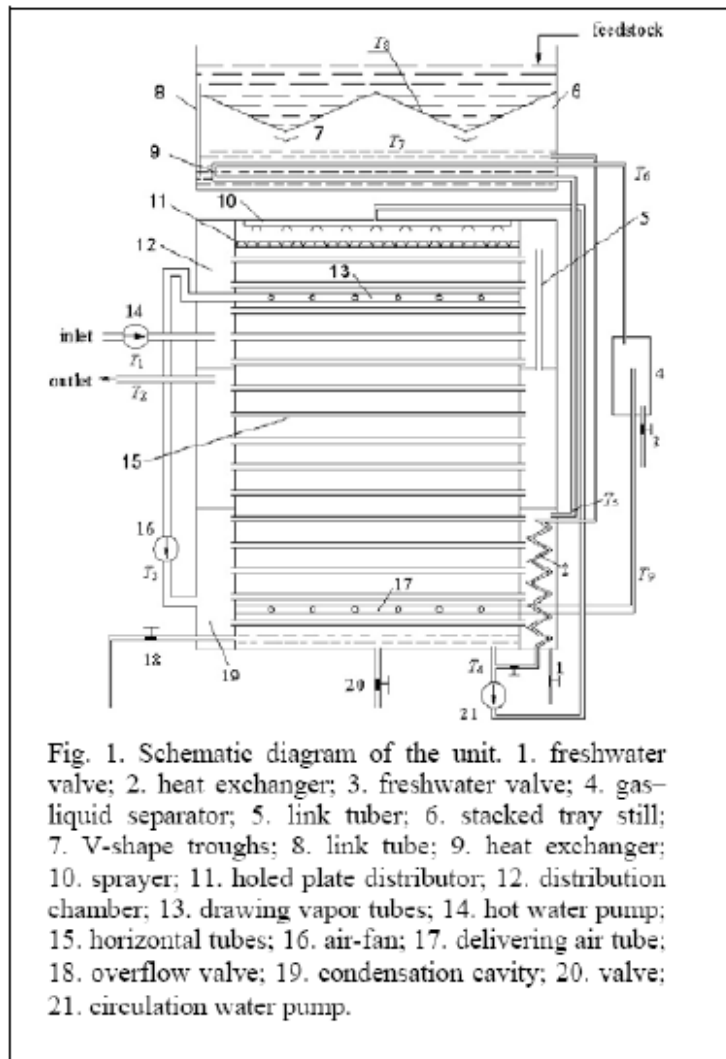


Fig. 1. Schematic diagram of the unit. 1. freshwater valve; 2. heat exchanger; 3. freshwater valve; 4. gas-liquid separator; 5. link tuber; 6. stacked tray still; 7. V-shape troughs; 8. link tube; 9. heat exchanger; 10. sprayer; 11. holed plate distributor; 12. distribution chamber; 13. drawing vapor tubes; 14. hot water pump; 15. horizontal tubes; 16. air-fan; 17. delivering air tube; 18. overflow valve; 19. condensation cavity; 20. valve; 21. circulation water pump.

Εικόνα 6.6: Σχηματικό διάγραμμα της εγκατάστασης

Η διεθνής βιβλιογραφία μας δίνει τις παρακάτω ενδεικτικές σχέσεις για τη μονάδα:

- Λόγος απόδοσης (performance ratio, PR)

$$PR = \frac{m_e h_{fg}}{Q} = \frac{(m_{e1} + m_{e2}) h_{fg}}{M_f C_p (T_1 - T_2) + W_p}$$

Όπου

m_e = Παροχή φρέσκου νερού σε kg/h

h_{fg} = Θερμότητα ατμοποίησης του νερού σε KJ/kg

Q = Προσφερόμενη θερμότητα στη μονάδα σε KJ

m_{e1} = Παροχή φρέσκου νερού στο κυρίως τμήμα της μονάδας σε kg/h

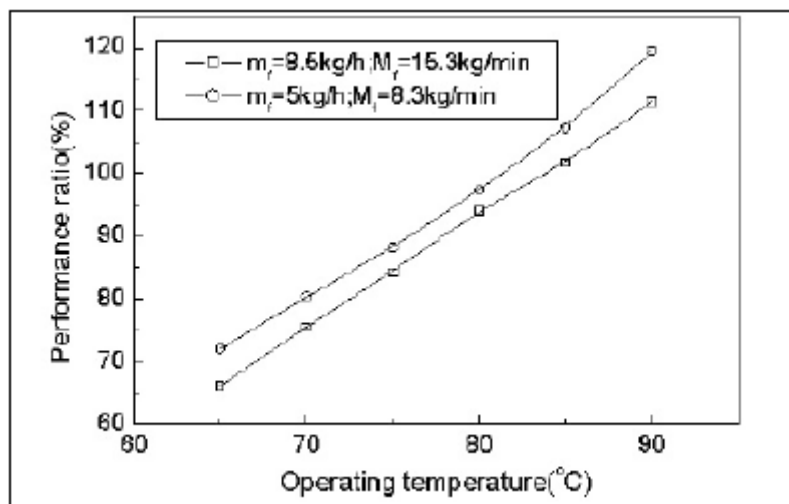
m_{e2} = Παροχή φρέσκου νερού στον σταθερό ηλιακό αποστακτήρα σε kg/h

T = Θερμοκρασία σε Kelvin

\dot{M}_f = Ρυθμός ροής θερμού νερού

W_p = Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς σε KJ/h

Οι πειραματικές μετρήσεις αποδεικνύουν ότι ο λόγος απόδοσης είναι αρκετά καλός και γενικά φτάνει στο 80%. Πολλοί βέβαιοι είναι οι παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται με σημαντικότερο το ρυθμό ροής του θερμού νερού \dot{M}_f .



Εικόνα 6.7: Βαθμός απόδοσης συναρτήσει της θερμοκρασίας

Επιπλέον μέσω των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι προφανές ότι η συμβολή του μεγέθους m_{e1} στο λόγο απόδοσης είναι της τάξης του 10-15% όταν $T_1 > 70^\circ\text{C}$. Η μεταβολή του PR συναρτήσει της θερμοκρασίας λειτουργίας φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα (Εικόνα 6.7).

Φαίνεται ότι ο λόγος απόδοσης αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας για σταθερές συνθήκες. Δηλαδή η μονάδα έχει μεγαλύτερα πλεονεκτήματα λειτουργώντας σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Κατά τη διεργασία, ο ανακυκλούμενος αέρας στη μονάδα υπόκειται σημαντικές μεταβολές με μεταφορά μάζας και θερμότητας. Σαν αποτέλεσμα τόσο ο ρυθμός ροής όσο και η ενθαλπία μεταβάλλονται. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των υπολογισμών, προχωρούμε σε απλοποίηση των υπολογισμών της μεταφοράς μάζας και θερμότητας, θεωρώντας ότι ο αέρας υγροποιείται στην τοπικά επικρατούσα θερμοκρασία. Οι απώλειες θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων και της βάσης του κυρίως σώματος θεωρούνται αμελητέες. Εδώ παρατίθενται οι υπολογισμοί για μία συγκεκριμένη θερμοκρασία (85°C). Οι σχετικές θερμοκρασίες και άλλες καταστάσεις παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Productivity and relevant temperatures under steady-state with operating temperature of 85°C													
T_1	T_2	T_3	T_4 °C	T_5	T_6	T_9	T_7	m_f (kg/h)	M_f (kg/h)	$V_{a,m}$ (m ³ /h)	m_{e1} (kg/h)	m_{e2} (kg/h)	PR (%)
84.9	83.0	80.7	81.1	75.5	59.7	47.5	66.5	20.0	830	6.50	2.85	0.4	103.9

Για τους υπολογισμούς θεωρήθηκε ότι η πίεση μέσα στη μονάδα είναι 101.3 kPa, ενώ τόσο ο ατμός όσο και ο αέρας θεωρούνται ιδανικά αέρια.

Η υγρασία του υγρού αέρα δίνεται από τη σχέση:

$$\omega = \frac{0.622 p_v}{(101.3 - p_v)}$$

Αν τα m_u και V_a αντιστοιχούν στη μάζα υδρατμού ανά μονάδα όγκου και στη ροή όγκου του αέρα στη θερμοκρασία T αντίστοιχα, τότε:

$$m_v = \frac{0.622 p_v}{(R_a T)}$$

$$V_a = V_{a,m} T / 320.7 * (101.3 - p_v (320.7)) / (101.3 - p_v)$$

Όπου R_a η σταθερά των αερίων ίση με 287J/kgK.

Αν η ενθαλπία του ξηρού αέρα και του νερού στους 0°C, θεωρηθεί ίση με το μηδέν τότε η ενθαλπία του υγρού αέρα ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα στη θερμοκρασία T , θα είναι:

$$H_{a,s} = (1.005 + \omega C_{p,v})(T - 273.15) + \omega h_{fg}$$

Η ροή μάζας του υδρατμού και ο ρυθμός ροής θερμότητας είναι:

$$G_v = V_a m_v$$

$$Q_{a,s} = V_a H_{a,s} m_v / \omega$$

Όπου:

P_v = η πίεση των υδρατμών σε kPa

$V_{a,m}$ = η ροή αέρα μετρούμενη στην έξοδο του διαχωριστή σε m³/h

Μετά τη δοκιμή του συστήματος σε κλειστό χώρο και σταθερές συνθήκες, η σύνδεση μεταξύ της θερμοκρασίας λειτουργίας και της αποσταγμένης ποσότητας, καθώς επίσης και ο λόγος απόδοσης του συστήματος και άλλοι παράγοντες είναι γνωστοί. Με βάση αυτά τα δεδομένα μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα κατάλληλο ηλιακό σύστημα για τη μονάδα. Εδώ ο επιλεγμένος συλλέκτης είναι τύπου σωληνίων, κατασκευάστηκε στην Κίνα και δοκιμάστηκε στην Ελβετία. Η απόδοσή του δίνεται μέσω της σχέσης:

$$n = 0.803 - 2.01 \frac{T_i - T_a}{I} - 0.0034 \frac{(T_i - T_a)^2}{I}$$

Όπου:

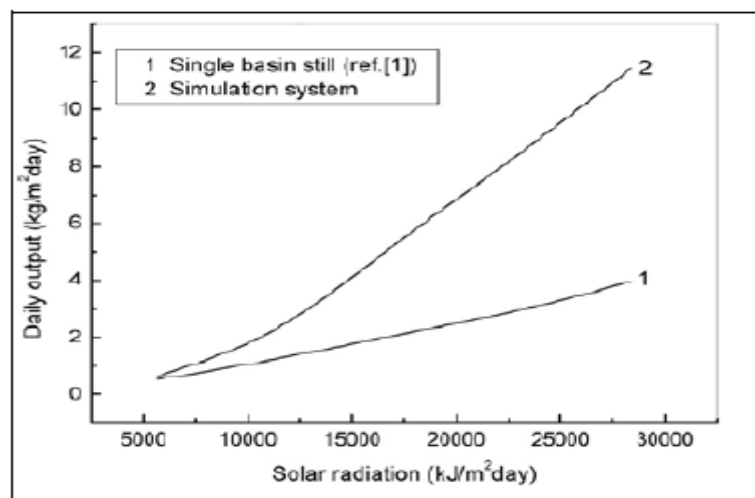
T_a = η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °C

T_i = η θερμοκρασία στην είσοδο του ηλιακού συλλέκτη σε °C

I = ηλιακή ακτινοβολία σε W/m²

Από τις παρατηρήσεις προέκυψε ότι το ετήσιο μέσο κόστος καθώς και το προϊόν της απόσταξης μεταβάλλονταν με τη λειτουργούσα θερμοκρασία, την επιφάνεια των συλλεκτών καθώς και τη χωρητικότητα της δεξαμενής θερμού νερού. Αναλυτικά αποτελέσματα φαίνονται στους πίνακες και τα διαγράμματα (Εικόνα 6.8) που ακολουθούν.

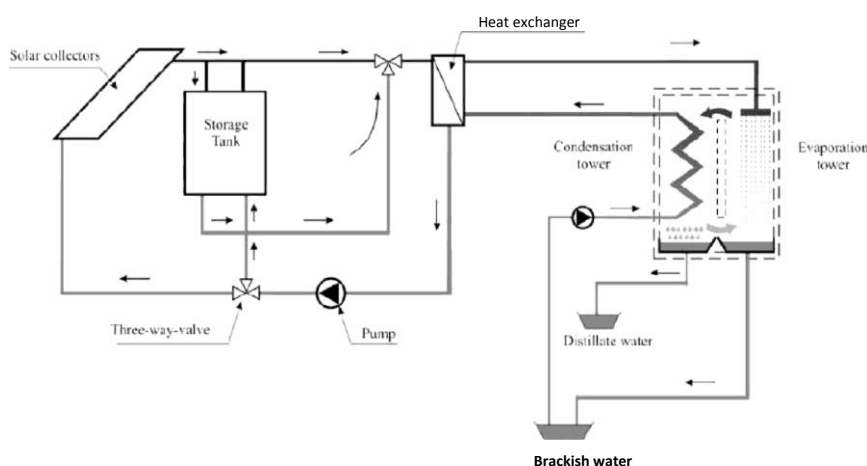
Simulation results of the solar system under practical weather conditions					
Year	1998	1999	2000	2001	2002
Average cost of fresh water(\$/m ³)	14.9	14.43	14.24	15.19	14.98
Daily output (kg/m ² day)	8.09	8.16	8.1	8.17	8.11



Εικόνα 6.8: Ημερησία παραγωγή συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας

6.3 Μονάδα αφαλάτωσης συνδυασμένη με ηλιακούς συλλέκτες και δεξαμενή αποθήκευσης

Η μονάδα αυτή αποτελεί παραλλαγή αυτής που περιγράφηκε στην Εφαρμογή 6.1. Περιλαμβάνει τους ηλιακούς συσσωρευτές, που παρέχουν την απαραίτητη θερμική ενέργεια και το τμήμα αφαλάτωσης, που χρησιμοποιεί τη μέθοδο ύγρανσης (humidification) για να επεξεργαστεί το υφάλμυρο νερό.



Εικόνα 6.9: Μονάδα αφαλάτωσης συνδυασμένη με ηλιακούς συλλέκτες και δεξαμενή αποθήκευσης

Στο σχήμα (Εικόνα 6.9) φαίνονται τα επιμέρους τμήματα της μονάδας μαζί με περιγραφή των διαφορετικών λειτουργιών (αποθήκευση κατά την ημερήσια ή νυκτερινή λειτουργία). Η ηλιακή μονάδα αποτελείται από:

- Ένα πεδίο συλλογής flat plate.
- Μία συμβατική δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας (storage tank).
- Εναλλάκτη θερμότητας (heat exchanger).
- Μονάδα ελέγχου, αντλία κυκλοφορίας (circulation pump) και βαλβίδες ανάμειξης που ελέγχονται ηλεκτρικά μέσω θερμοκρασίας (three way valve).

Το τμήμα αφαλάτωσης αποτελείται από δύο περιοχές: μία για την ατμοποίηση και μία για την υγροποίηση. Η περιοχή ατμοποίησης (evaporation chamber), έχει επενδυθεί με ένα στρώμα, όπου το ζεστό υφάλμυρο νερό διανέμεται ομοιόμορφα. Το υφάλμυρο νερό εξατμίζεται υπό ατμοσφαιρική πίεση και ο ατμός μεταφέρεται με ελεύθερη ή εξαναγκασμένη μεταφορά στην περιοχή υγροποίησης, όπου υγροποιείται στην επιφάνεια του πλαστικού εναλλάκτη θερμότητας. Ο αέρας κυκλοφορεί στην αντίθετη κατεύθυνση από το νερό, γι' αυτό και προθερμαίνεται από τη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης. Ο υγροποιητής κατασκευάζεται από διπλές πλάκες πολυπροπυλενίου, μέσα από τις οποίες το ψυχρό υφάλμυρο νερό ρέει προς τα πάνω. Με την εγκατάσταση της βαλβίδας ανάμειξης (three way valve), εξασφαλίζονται σχεδόν σταθερές συνθήκες για την εξάτμιση ακόμα και κατά τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας. Αν η θερμοκρασία στην έξοδο των συσσωρευτών είναι μεγαλύτερη από αυτήν στην οποία έχει ρυθμιστεί η βαλβίδα ανάμειξης, προστίθεται νερό από τον πυθμένα της δεξαμενής αποθήκευσης. Παράλληλα η δεξαμενή αυτόματα γεμίζει από την οροφή της με το πλεόνασμα του ζεστού νερού. Η συσκευή ελέγχου της ηλιακής μονάδας ρυθμίζει ολόκληρο το σύστημα αφαλάτωσης. Όταν μία από τις επόμενες συνθήκες ικανοποιούνται η βαλβίδα ανάμειξης ρυθμίζει το σύστημα σε λειτουργία αποθήκευσης αυτόματα (νυκτερινή λειτουργία):

- Το θερμοκρασιακό επίπεδο στην έξοδο του συλλέκτη είναι χαμηλότερο από την ελάχιστη θερμοκρασία εξάτμισης.
- Το κριτήριο ασφαλείας της δεξαμενής, π.χ. η μέγιστη θερμοκρασία του πυθμένα, ικανοποιείται.

Η αντλία του ηλιακού τμήματος λειτουργεί στην κατάσταση αποθήκευσης, έως ότου επιτευχθεί η ελάχιστη θερμοκρασία εξάτμισης.

Η μοντελοποίηση της παραπάνω μονάδας επιτυγχάνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- **Μοντέλο ηλιακού συλλέκτη**

Το μοντέλο του ηλιακού συλλέκτη ή μοντέλο των δύο θερμοκρασιών, μπορεί να γραφεί ως:

$$\frac{T_f}{t} = -v \frac{T_f}{x} + c_1 (T_c - T_f)$$

$$\frac{dT_c}{dt} = a_1 (f(t) - T_c) + b_1 (T_f - T_c)$$

Με:

$$v = L \frac{m_f}{M_f}, \quad a_1 = \frac{SU'}{M_c C_c}, \quad b_1 = \frac{Sh}{M_c C_c}$$

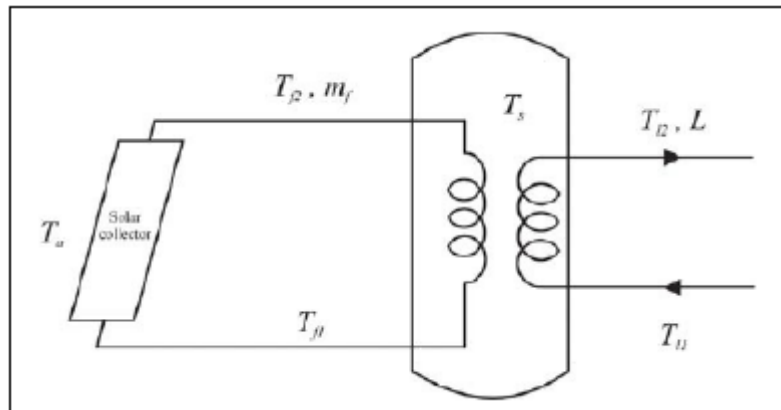
$$c_1 = \frac{Sh}{M_f C_f}, \quad f(t) = \frac{BI(t)}{U'} + T_a(t)$$

Όπου

T_f = θερμοκρασία ρευστού σε Kelvin
T_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος σε Kelvin
T_c = θερμοκρασία ψυκτικού νερού στον πύργο συμπύκνωσης σε Kelvin
C_f = ειδική θερμοχωρητικότητα νερού σε J/kg K
C_c = θερμοχωρητικότητα απορροφούμενης μάζας
M = μάζα σε kg
α = ανά μονάδα όγκου επιφάνεια συναλλαγής αέρα-νερού στον πύργο ατμοποίησης
h = συντελεστής συναλλαγής απορροφητήρα-υγρού στον ηλιακό συλλέκτη
S = επιφάνεια απορροφητήρα σε m ²

- **Μοντέλο δεξαμενών αποθήκευσης**

Η εικόνα παρουσιάζει το μοντέλο που υιοθετήθηκε για τη δεξαμενή αποθήκευσης θερμού νερού, με δύο εσωτερικούς εναλλάκτες θερμότητας. T_{f1} και T_{f2} είναι οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου αντίστοιχα του ηλιακού συλλέκτη, m_f είναι ο ρυθμός ροής του συλλέκτη, ενώ T_s είναι η θερμοκρασία της δεξαμενής νερού. Θεωρούμε ότι η δεξαμενή είναι απόλυτα πληρωμένη με νερό. T_{12} είναι η θερμοκρασία εισόδου στο επάνω μέρος του πύργου εξάτμισης. T_{11} είναι η θερμοκρασία εξόδου του νερού στο κάτω μέρος του πύργου εξάτμισης. L είναι το νερό που ψεκάζεται στο επάνω μέρος του πύργου εξάτμισης. Με ορισμένες παραδοχές προκύπτουν οι κάτωθι εξισώσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο.



$$MC_f \frac{dT_s}{dt} = m_f C_f (T_{f2} - T_{f1}) - LC_f (T_{12} - T_{11})$$

$$m_f C_f (T_{f2} - T_{f1}) = U_1 A_1 \frac{\Delta T_{f2} - \Delta T_{f1}}{\ln(\Delta T_{f2} / \Delta T_{f1})}$$

$$LC_f (T_{12} - T_{11}) = U_2 A_2 \frac{\Delta T_{12} - \Delta T_{11}}{\ln(\Delta T_{12} / \Delta T_{11})}$$

Όπου:

$$\Delta T_{f2} = T_{f2} - T_s, \quad \Delta T_{f1} = T_{f1} - T_s$$

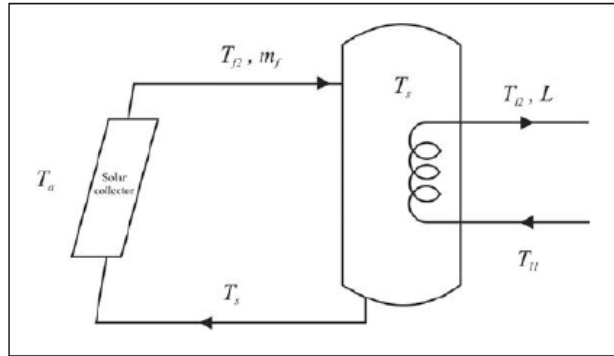
$$\Delta T_{12} = T_{12} - T_s, \quad \Delta T_{11} = T_{11} - T_s$$

Άρα οι θερμοκρασίες T_{f1} και T_{12} υπολογίζονται ως εξής:

$$T_{f1} = (T_{f2} - T_s) e^{-\left(\frac{U_1 A_1}{m_f C_f}\right)} + T_s$$

$$T_{12} = (T_{11} - T_s) \frac{1}{e^{-\left(\frac{U_2 A_2}{LC_f}\right)}} + T_s$$

Μια παραλλαγή του παραπάνω μοντέλου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Οι σχετικές εξισώσεις είναι:

$$MC_f \frac{dT_s}{dt} = m_f C_f (T_{f2} - T_s) - LC_f (T_{12} - T_{11})$$

$$LC_f (T_{12} - T_{11}) = U_2 A_2 \frac{\Delta T_{12} - \Delta T_{11}}{\ln(\Delta T_{12} / \Delta T_{11})}$$

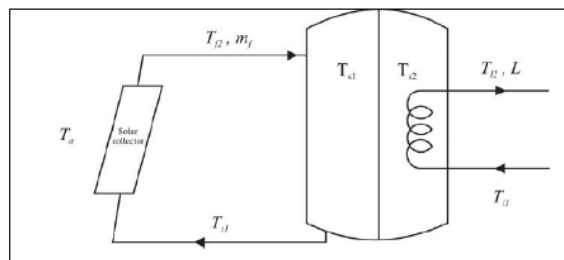
Όπου:

$$\Delta T_{12} = T_{12} - T_s, \quad \Delta T_{11} = T_{11} - T_s$$

Τέλος:

$$T_{12} = (T_{11} - T_s) \frac{1}{e^{-\left(\frac{U_2 A_2}{LC_f}\right)}} + T_s$$

Μία τρίτη παραλλαγή είναι να χωρίσουμε τη δεξαμενή αποθήκευσης με την ταυτόχρονη παρουσία ενός εσωτερικού εναλλάκτη θερμότητας. Αυτή η διαμόρφωση πραγματοποιεί τη μεταφορά θερμότητας μέσω μιας ενδιάμεσης επιφάνειας. V_1 και V_2 είναι οι όγκοι των τμημάτων της δεξαμενής και A_3 είναι η ενδιάμεση επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας.



Οι σχετικές εξισώσεις είναι:

$$M_1 C_f \frac{dT_{s1}}{dt} = m_f C_f (T_{f2} - T_{s1}) - U_3 A_3 (T_{s1} - T_{s2})$$

$$M_2 C_f \frac{dT_{s2}}{dt} = LC_f (T_{l2} - T_{l1}) + U_3 A_3 (T_{s1} - T_{s2})$$

$$LC_f (T_{l2} - T_{l1}) = U_2 A_2 \frac{\Delta T_{l2} - \Delta T_{l1}}{\ln(\Delta T_{l2} / \Delta T_{l1})}$$

Όπου:

$$\Delta T_{l2} = T_{l2} - T_s, \quad \Delta T_{l1} = T_{l1} - T_s$$

Και:

$$T_{l2} = (T_{l1} - T_s) \frac{1}{e^{\left(\frac{U_2 A_2}{LC_f}\right)}} + T_s$$

Για το υπόλοιπο τμήμα της εγκατάστασης έχουμε επιπλέον εξισώσεις:

$$\varepsilon_i \rho_i C_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = LC_i \frac{\partial T_i}{\partial z} - h_i a (T_i - T_i)$$

$$\varepsilon_g \rho_g C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = -GC_g \frac{\partial T_g}{\partial z} + h_g a (T_i - T_g)$$

$$h_i (T_i - T_i) + h_g (T_g - T_i) = L_v k_x (X_i - X_g)$$

$$\varepsilon_g \rho_g \frac{\partial X_g}{\partial t} = -G \frac{\partial X_g}{\partial z} + k_x a (X_i - X_g)$$

$$X_i = 0.62198 \frac{P_{ws}}{1 - P_{ws}}$$

$$\varepsilon_c \rho_c C_c \frac{\partial T_c}{\partial t} = -D_c C_c \frac{\partial T_c}{\partial z} + UA (T_{ic} - T_c)$$

$$\varepsilon_G \rho_G C_G \frac{\partial T_G}{\partial t} = GC_G \frac{\partial T_G}{\partial z} - h_G A (T_G - T_{ic})$$

$$-L_v k_G A (X_G - X_{ic})$$

$$h_G (T_G - T_{ic}) + U (T_c - T_{ic})$$

$$= L_v k_G (X_{ic} - X_G)$$

$$\varepsilon_G \rho_G \frac{\partial X_G}{\partial t} = G \frac{\partial X_G}{\partial z} + k_G A (X_G - X_{ic})$$

$$X_{ic} = 0.62198 \frac{P_i}{1 - P_i}$$

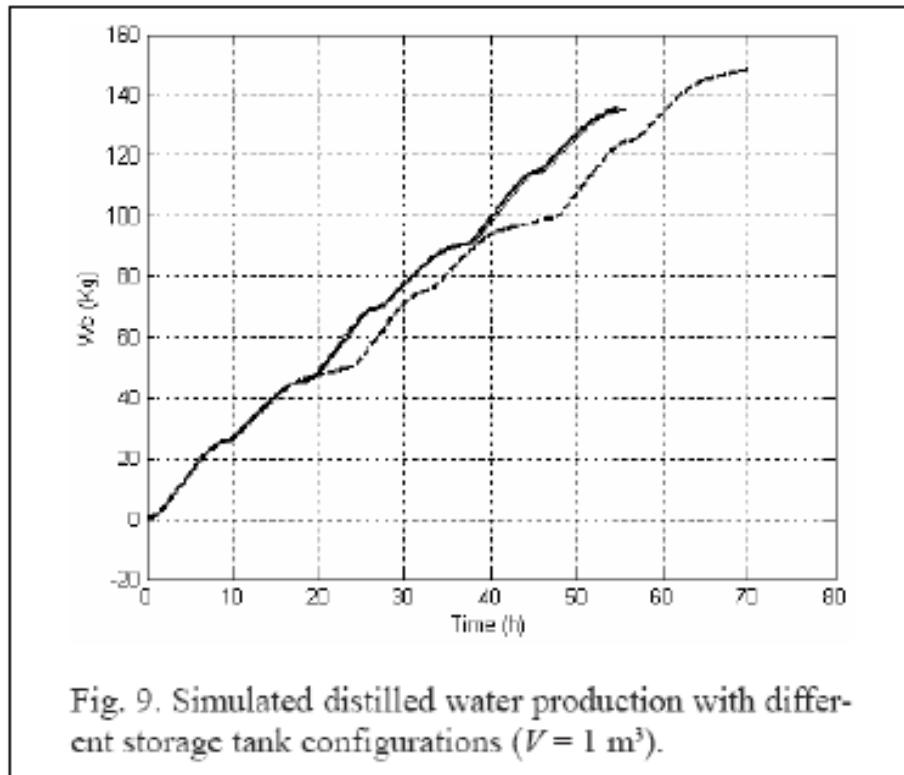
$$dW_c = k_G A (X_{ic} - X_G) dz$$

$$\ln(P_{ws}) = -6096.938 \frac{1}{T_i} + 21.240964$$

$$- 2.71119 \times 10^{-2} T_i + 1.67395 \times 10^{-5} T_i^2$$

$$+ 2.43350 \ln(T_i)$$

Τα σύμβολα εξηγούνται παρακάτω ενώ δίνεται και ένα διάγραμμα (Εικόνα 6.10) σχετικό με την παραγωγική ικανότητα της εγκατάστασης:



Εικόνα 6.10: Παραγωγική ικανότητα εγκατάστασης

Η επεξήγηση των συμβόλων που χρησιμοποιήσαμε στις παραπάνω σχέσεις έχει ως εξής:

C_f = ειδική θερμοχωρητικότητα νερού σε J/kg K

C_e = θερμοχωρητικότητα απορροφούμενης μάζας σε J/kg K

C_i = ειδική θερμοχωρητικότητα νερού στον πύργο ατμοποίησης σε J/kg K

C_c = ειδική θερμοχωρητικότητα νερού στον πύργο υγροποίησης σε J/kg K

X_g = υγρασία αέρα στον πύργο ατμοποίησης σε kg_{water}/kg_{dry air}

X_G = υγρασία αέρα στον πύργο υγροποίησης σε kg_{water}/kg_{dry air}

X_l = υγρασία κορεσμού στον πύργο ατμοποίησης σε kg_{water}/kg_{dry air}

X_e = υγρασία κορεσμού στον πύργο υγροποίησης σε kg_{water}/kg_{dry air}

k_g = συντελεστής μεταφοράς μάζας υδρατμών στη διεπιφάνεια αέρα νερού στον πύργο ατμοποίησης σε kg/m²s

k_G = συντελεστής μεταφοράς μάζας υδρατμών στη διεπιφάνεια αέρα νερού στον πύργο υγροποίησης σε kg/m²s

h = συντελεστής μεταφοράς απορροφητήρα – υγρού στον ηλιακό συλλέκτη σε W/m²K

h_l = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στο νερό στη διεπιφάνεια αέρα νερού στον πύργο ατμοποίησης σε W/m²K

h_g = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στο νερό στη διεπιφάνεια αέρα νερού στον πύργο υγροποίησης σε W/m²K

h_G = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στο στρώμα αέρα στον πύργο υγροποίησης σε W/m²K

ε_l = όριο όγκου νερού στον πύργο ατμοποίησης

ε_g = όριο όγκου αέρα στον πύργο ατμοποίησης

ε_c = όριο όγκου ψυκτικού νερού στον πύργο υγροποίησης

ε_G = όριο όγκου αέρα στον πύργο υγροποίησης

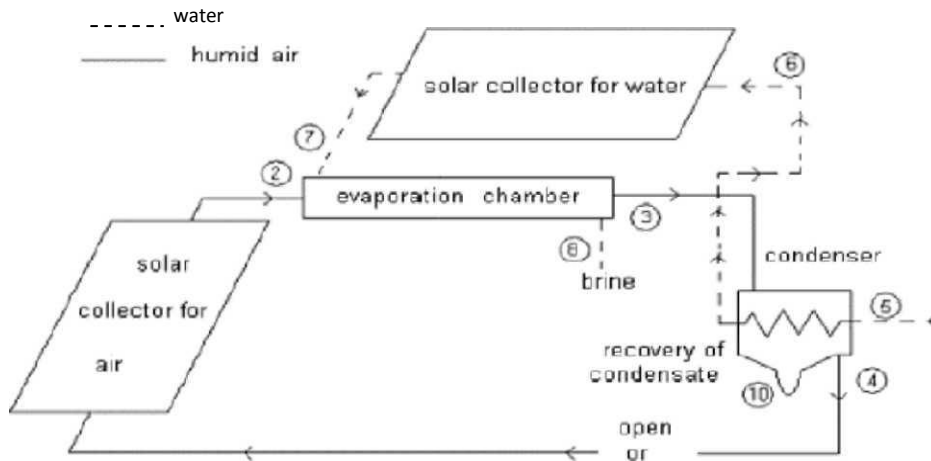
ε_p = όριο όγκου στρώματος στον πύργο ατμοποίησης

ε_{pc} = όριο όγκου πλακών υγροποίησης

6.4 Ύγρανση και αφύγρανση με αέρα για ένα σύστημα αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια.

Η αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας και ύγρανση - αφύγρανση (Solar desalination with humidification-dehumidification (SDHD)), αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη τεχνική για την παραγωγή φρέσκου νερού σε απομονωμένες και ηλιόλουστες περιοχές. Αυτή η μέθοδος αφαλάτωσης στηρίζεται βασικά στην ικανότητα του αέρα να αναμειγνύεται με μεγάλες ποσότητες υδρατμού.

Το σύστημα το οποίο εξετάζεται συνδυάζει ηλιακούς συλλέκτες για τον αέρα και το νερό και φυσικά εξατμιστή και συμπυκνωτή. Σχηματικό διάγραμμα της εγκατάστασης φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 6.11). Το θαλάσσιο νερό το οποίο προθερμαίνεται στον συμπυκνωτή και θερμαίνεται από τον ηλιακό συλλέκτη έρχεται σε επαφή με ένα θερμό αέριο ρεύμα στον εξατμιστή. Εξαιτίας της εναλλαγής θερμότητας και μάζας ανάμεσα στο θερμό νερό και στον αέρα στον εξατμιστή, ο αέρας 'φορτώνεται' με υγρασία.



Εικόνα 6.11: Ύγρανση - αφύγρανση με χρήση ηλιακής ενέργειας

Μια αποδοτική διαδικασία στον υγραντή είναι να λάβουμε στην έξοδο του υγρού αέρα διαποτισμένο με μία μεγάλη ποσότητα ατμού. Η επόμενη διαδικασία περιλαμβάνει τη συμπύκνωση αυτού του ατμού στο συμπυκνωτή που ψύχεται από το νερό τροφοδοσίας και ανακτά το φρέσκο νερό.

Το εν λόγω σύστημα έχει τα εξής κύρια χαρακτηριστικά:

- Ο κύκλος του αέρα μπορεί να είναι ανοικτός ή κλειστός.
- Η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης ανακτάται και χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού.
- Ο υγρός αέρας στην έξοδο του εξατμιστή μπορεί να επιστραφεί στον ηλιακό συλλέκτη, ούτως ώστε να θερμανθεί και να υγρανθεί δύο και τρεις φορές. Έτσι ο αέρας θα μπορεί να χρεωθεί με μια σημαντική ποσότητα ατμού.

Η ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου της συγκεκριμένης εγκατάστασης στηρίζεται στην αρχή διατήρησης της μάζας και της ενέργειας σε κάθε επιμέρους τμήμα αυτής. Οι υποθέσεις τις οποίες κάναμε περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τη θεώρηση μονοδιάστατης και σταθερής ροής **υγρών και αερίων καθώς και την ύπαρξη ενός πολύ λεπτού στρώματος υγρού αέρα ανάμεσα** στα ρεύματα αερίου και υγρού. Αυτό το στρώμα θεωρούμε ότι έχει θερμοκρασία T_f . Οι παρακάτω εξισώσεις αφορούν τον εξατμιστή και μας δίνουν τις ισορροπίες μάζας και θερμότητας.

$$\dot{m}_l(x) = \dot{m}_s + \dot{m}_a (\omega - \omega_3)$$

$$\dot{m}_a \frac{d\omega}{dx} = U_{m,ev} P_{ev} (\omega_{sat_at_Tf} - \omega)$$

$$\frac{dT_l}{dx} = \frac{U_{l,ev} P_{ev} (T_l - T_f)}{\dot{m}_l C_{pl}}$$

$$\frac{dT_a}{dx} = \frac{U_{a,ev} P_{ev} (T_f - T_a)}{\dot{m}_a (C_{pl} + \omega C_{pv})}$$

$$\dot{m}_a \frac{d\omega}{dx} i_{vl} = U_{l, ev} P_{ev} (T_l - T_f) + U_{a, ev} P_{ev} (T_a - T_f)$$

Οι οριακές συνθήκες είναι :

$$\dot{m}_1(l) = \dot{m}_5, \quad \omega(0) = \omega_2, \quad T_1(l) = T_7, \quad T_a(0) = T_2$$

Στο συμπυκνωτή οι αντίστοιχες εξισώσεις γράφονται:

$$\dot{m}_c = \dot{m}_a (\omega_3 - \omega)$$

$$\dot{m}_{air} \frac{d\omega}{dx} = U_{m, cond} P_{cond} (\omega_{sat_at_Tf} - \omega)$$

$$\frac{dT_l}{dx} = \frac{U_{l, cond} P_{cond} (T_l - T_f)}{\dot{m}_5 C_{pl}}$$

$$\frac{dT_a}{dx} = \frac{U_{a, cond} P_{cond} (T_f - T_a)}{\dot{m}_{air} (C_{pa} + \omega C_{pv}) + \dot{m}_c C_{pc}}$$

$$\dot{m}_a \frac{d\omega}{dx} i_{vl} = U_{l, cond} P_{cond} (T_l - T_f) + U_{a, cond} P_{cond} (T_a - T_f)$$

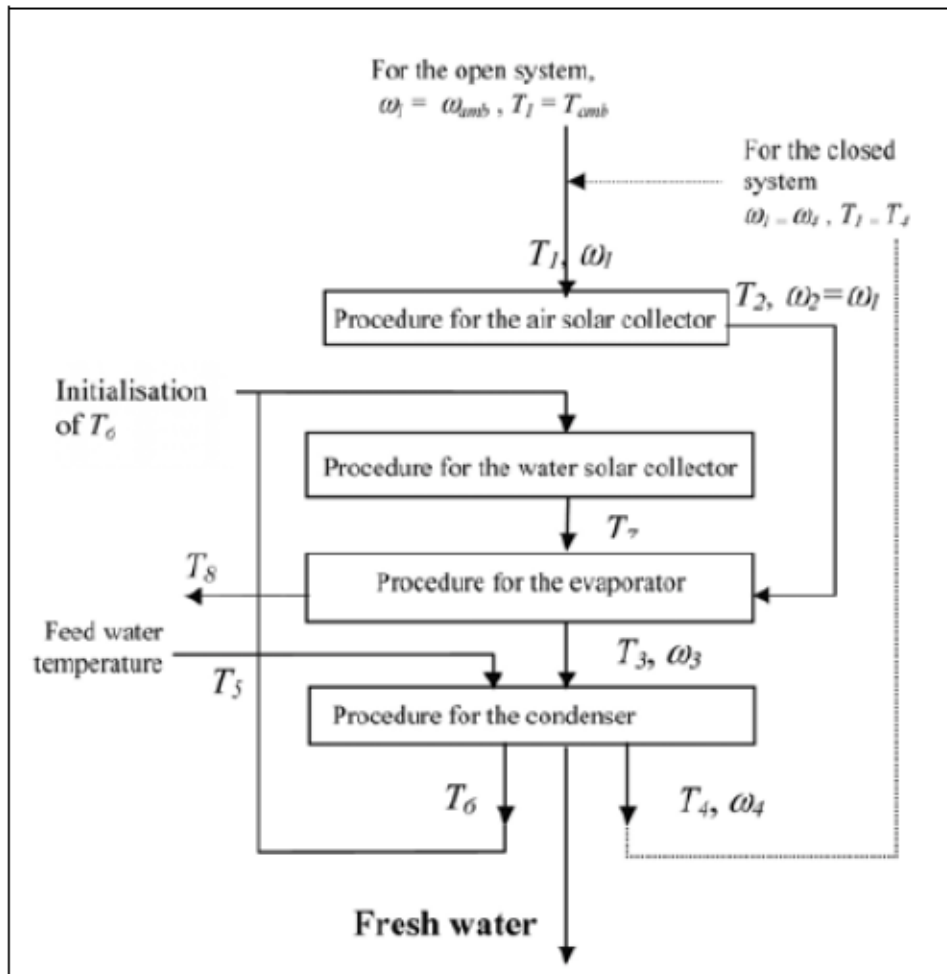
Οι οριακές συνθήκες είναι :

$$\dot{m}_c(0) = 0, \quad \omega(0) = \omega_3, \quad T_a(0) = T_3, \quad T_1(1) = T_5$$

Η επεξήγηση των συμβολισμών που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω εξισώσεις είναι η εξής:

T = Θερμοκρασία σε K ή °C
 U = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (ή μάζας) σε W/m²K (ή kg/m²s)
 \dot{m} = ροή μάζας σε kg/s
 P = βρεχόμενη περιμετρος σε m ή πίεση σε Pa
 ω = υγρασία σε kg_{vap}/kg_{dry air}
 x = συντεταγμένη κατά τη διεύθυνση ροής σε m

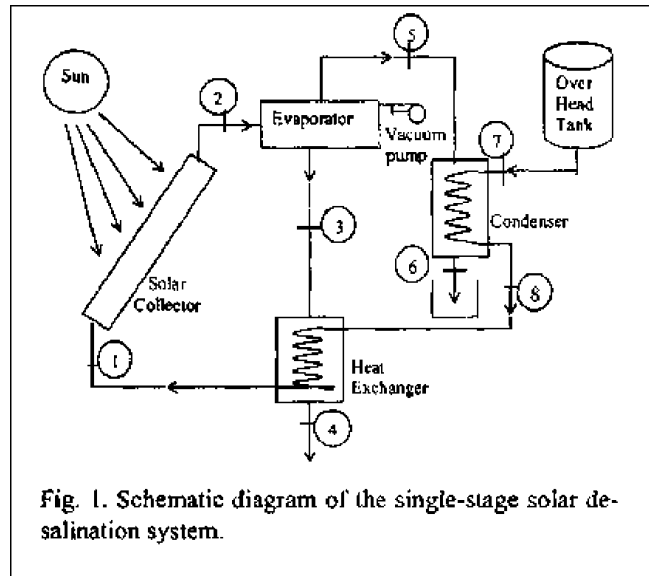
Ο χάρτης ροών του συστήματος φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



6.5 Single stage σύστημα αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής ενέργειας για οικιακή χρήση

Η εγκατάσταση που περιγράφεται, αποτελεί ένα σύστημα αφαλάτωσης μονού σταδίου (single stage), για οικιακή χρήση που αποδίδει περίπου 10 λίτρα φρέσκο νερό ημερησίως. Το σύστημα αποτελείται από ένα flat plate συλλέκτη, έναν ατμοποιητή, μία αντλία κενού και έναν υγροποιητή. Ο συλλέκτης έχει επιφάνεια 2m^2 και λειτουργεί ως σύστημα συλλογής θερμότητας, που θερμαίνει το εισερχόμενο θαλάσσιο νερό στο σημείο 1 του παρακάτω σχήματος (Εικόνα 6.12). Το νερό περνάει μέσα από τους σωλήνες του συλλέκτη και απορροφά τη θερμότητα. Το θερμό νερό εγκαταλείπει το συλλέκτη στο σημείο 2 και εισέρχεται στον ατμοποιητή, όπου η πίεση διατηρείται αρκετά κάτω από την ατμοσφαιρική. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας αντλία κενού (vacuum pump). Η πίεση μέσα στον ατμοποιητή διατηρείται κάτω από την πίεση κορεσμού του θερμού νερού που εισάγεται στον ατμοποιητή. Έτσι το νερό εξατμίζεται και παράγεται ατμός. Ο ατμός που παράγεται στο σημείο 5 περνάει στο συμπιεστή όπου και συμπυκνώνεται. Το αφαλατωμένο νερό λαμβάνεται στη θέση 6. Ο τύπος του συμπιεστή που χρησιμοποιείται είναι shell and coil, όπου το ψυκτικό νερό κυκλοφορεί μέσα στο συμπιεστή παραλαμβάνοντας την αποβαλλόμενη θερμότητα από το συμπυκνούμενο ρεύμα. Το ψυκτικό νερό εισέρχεται στο συμπυκνωτή στη θέση 7 από τη δεξαμενή και εξέρχεται στη θέση 8. Βαλβίδες αντεπιστροφής είναι διαθέσιμες στην είσοδο του θερμού νερού από το

συλλέκτη στον εξατμιστή και στην έξοδο του ατμού από τον εξατμιστή προς το συμπυκνωτή. Από τον εξατμιστή η άλμη αποβάλλεται με σταθερό ρυθμό από τη θέση 3. Από τη στιγμή μάλιστα που αυτή έχει ποσό αισθητής θερμότητας, ένας εναλλάκτης χρησιμοποιείται για να ανακτήσει αυτή τη θερμότητα. Το νερό που έρχεται από το συμπυκνωτή επιτρέπεται να περάσει μέσα από τον εναλλάκτη, όπου απορροφά τη θερμότητα της άλμης και μετά επανακυκλοφορεί στο συλλέκτη. Η άλμη αποβάλλεται από τον εναλλάκτη από τη θέση 4.



Εικόνα 6.12: Σύστημα αφαλάτωσης για οικιακή χρήση

Οι εξισώσεις που περιγράφουν το σύστημα είναι οι εξής:

- Ηλιακός συλλέκτης:

$$E_{in} = I_1 \cdot A_c \cdot 0.933$$

$$E_{out} = m_1 c_{pf} [(T_2 - T_1) - T_0 \ln(T_2 / T_1)]$$

- Ατμοποιητής:

$$E_{in} = m_3 [c_p (T_3 - T_0) - c_p T_0 \ln(T_3 / T_0)]$$

$$- m_2 [c_p (T_2 - T_0) - c_p T_0 \ln(T_2 / T_0)]$$

$$E_{out} = m_5 \{ L_{v(T_{sat})} [1 - (T_0 / T_{sat})]$$

$$+ c_{pf} (T_{sat} - T_0) - T_0 \ln(T_{sat} / T_0) \}$$

- Υγροποιητής:

$$E_{in} = m_7 c_{pcw} [(T_8 - T_7) - T_0 \ln(T_8 / T_7)]$$

$$E_{out} = m_5 \left\{ L_{v(T_{sat})} [1 - (T_0 / T_{sat})] + c_{pf} (T_6 - T_5) - T_0 \ln(T_6 / T_5) \right\}$$

- Βαθμός απόδοσης:

$$\eta = E_{out} / E_{in}$$

- Ηλεκτρικό Κόστος:

$$P \cdot t \cdot C_e$$

$$C_t = \text{electrical cost} + \text{fixed cost}$$

$$C_w = C_t / D$$

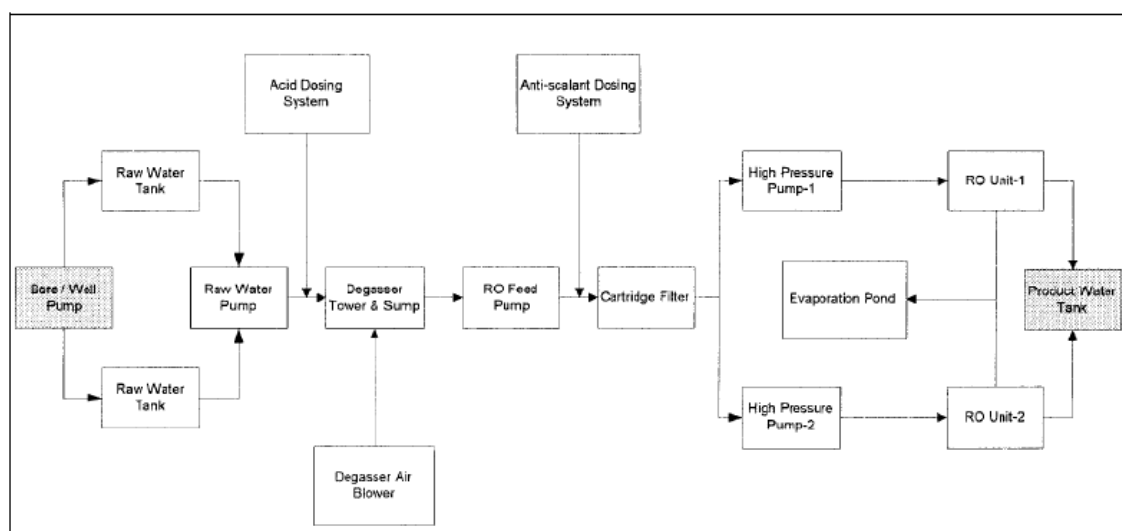
Όπου:

A_c = επιφάνεια συλλέκτη σε m²
 C_e = κόστος ηλεκτρικού σε \$/kWh
 c_p = ειδική θερμοχωρητικότητα σε KJ/kg K
 c_{pf} = θερμοχωρητικότητα για σταθερή πίεση τροφοδοσίας
 C_t = ολικό κόστος σε \$/ημέρα
 C_w = κόστος νερού σε cent/λίτρο
 D = αποσταγμένη ποσότητα ανά ημέρα σε lit/ημέρα
 E = απαιτούμενη ισχύς σε Watt
 h = ενθαλπία σε KJ/kg
 I_t = προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε W/m²
 L_v = ενθαλπία αλλαγής φάσης
 \dot{m} = ροή μάζας σε kg/sec
 P = χωρητικότητα αντλιών κενού σε KW
 T = θερμοκρασία σε K
 t = ώρες λειτουργίας αντλιών κενού σε hours/day
 η = βαθμός απόδοσης, %

6.6 Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση και χρήση ηλιακής ενέργειας I

Η εγκατάσταση η οποία περιγράφεται παρακάτω (Εικόνες 6.13 & 6.14) είναι σε λειτουργία στην έρημο Nejd στο νοτιοδυτικό Ομάν. Αποτελείται από:

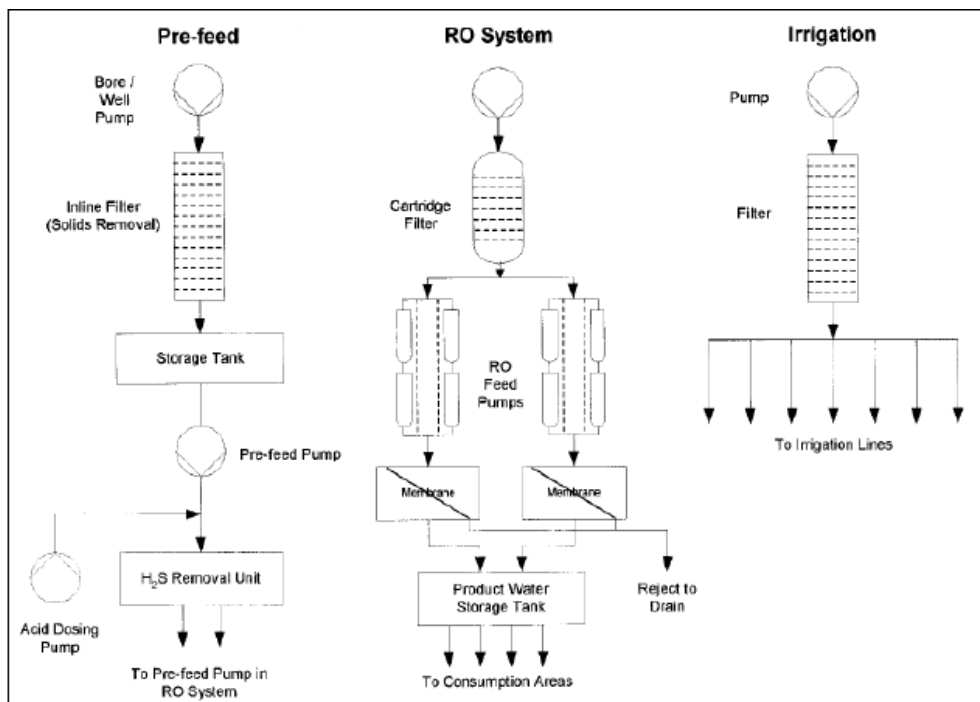
- Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συλλογής ηλιακής ενέργειας και ηλεκτρικά συστήματα.
- Αντλία παροχής σκληρού νερού (με άλατα, μεταλλικά στοιχεία κ.λ.π.).
- Ένα σύστημα χορήγησης οξέος.
- Ένα σύστημα αντιδιαβρωσης.
- Ένα σύστημα απομάκρυνσης αερίων.
- Ένα φίλτρο.
- Δύο αντλίες υψηλής πίεσης.
- Σύστημα αντίστροφης όσμωσης.
- Σωληνώσεις για το αποβαλλόμενο και το καθαρό νερό.
- Ατμοποιητή.



Εικόνα 6.13: Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση και χρήση ηλιακής ενέργειας

Το υπόγειο νερό μεταφέρεται σε δεξαμενές αποθήκευσης (raw water tanks) με τη χρήση αντλιών άρδευσης εξωτερικά από το σύστημα αφαλάτωσης. Με τη βοήθεια μιας αντλίας (raw water pump), το νερό οδηγείται στην είσοδο του πύργου αποβολής αερίων όπου και αφαιρείται το υδρόθειο (H_2S). Προηγουμένως το νερό έχει περάσει από το σύστημα χορήγησης οξέως (acid dosing system) όπου και αναμειγνύεται με 1-2ppm HCl, διαδικασία απαραίτητη προκειμένου να ελαττωθούν οι ακαθαρσίες. Στον πύργο αποβολής αερίων είναι διαθέσιμος και ένας φυσητήρας αέρα (degasser air blower), ο οποίος παρέχει τον απαραίτητο αέρα για τη διαδικασία της αποθείωσης του υδατινού ρεύματος. Μετά από αυτές τις διαδικασίες το νερό αποθηκεύεται σε μία δεξαμενή (degassed water tank), απ' όπου και τροφοδοτεί το σύστημα αντίστροφης όσμωσης μέσω ειδικής τροφοδοτικής αντλίας (RO feed pump). Η δόση σε αντιδιαβρωτικό είναι 6 ppm Flocon 100 διαδικασία που πραγματοποιείται στο αντίστοιχο σύστημα (anti scalant dosing system). Στη συνέχεια το νερό περνάει μέσω ενός φίλτρου (cartridge filter) το οποίο και αφαιρεί όλα τα σωματίδια μεγέθους $<5\mu m$, για να αποφευχθεί φράξιμο των μεμβρανών. Τότε το νερό διαχωρίζεται σε δύο RO ρεύματα, που καθένα περνάει από μία αντλία υψηλής πίεσης, στρώσεις μεμβρανών και

διάφορες βαλβίδες απόρριψης. Κάθε σύστημα μεμβρανών αποτελείται από 3 σωλήνες πίεσης - τρία στάδια - τοποθετημένους διαδοχικά. Κάθε σωλήνας πίεσης περιλαμβάνει δύο σπινάλι μεμβράνες διαμέτρου 100mm. Έτσι το ρεύμα νερού διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους: ένα με χαμηλή συγκέντρωση σε άλατα και ένα με υψηλή συγκέντρωση σε άλατα. Αυτό το ρεύμα του πρώτου σταδίου αποτελεί τη τροφοδοσία για το δεύτερο στάδιο όπου ξαναχωρίζεται σε δύο επιμέρους ρεύματα χαμηλής και υψηλής συγκέντρωσης. Το ίδιο συμβαίνει και στο τρίτο στάδιο του οποίου είσοδος είναι το ρεύμα υψηλής συγκέντρωσης του δεύτερου σταδίου. Το ρεύμα υψηλής συγκέντρωσης στο τέλος του τρίτου σταδίου τελικά οδηγείται στον ατμοποιητή, ενώ το φρέσκο νερό που συλλέχθηκε στα τρία στάδια οδηγείται στην αντίστοιχη δεξαμενή αποθήκευσης. Η ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται από τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιείται στην κίνηση όλων των αντλιών του συστήματος.

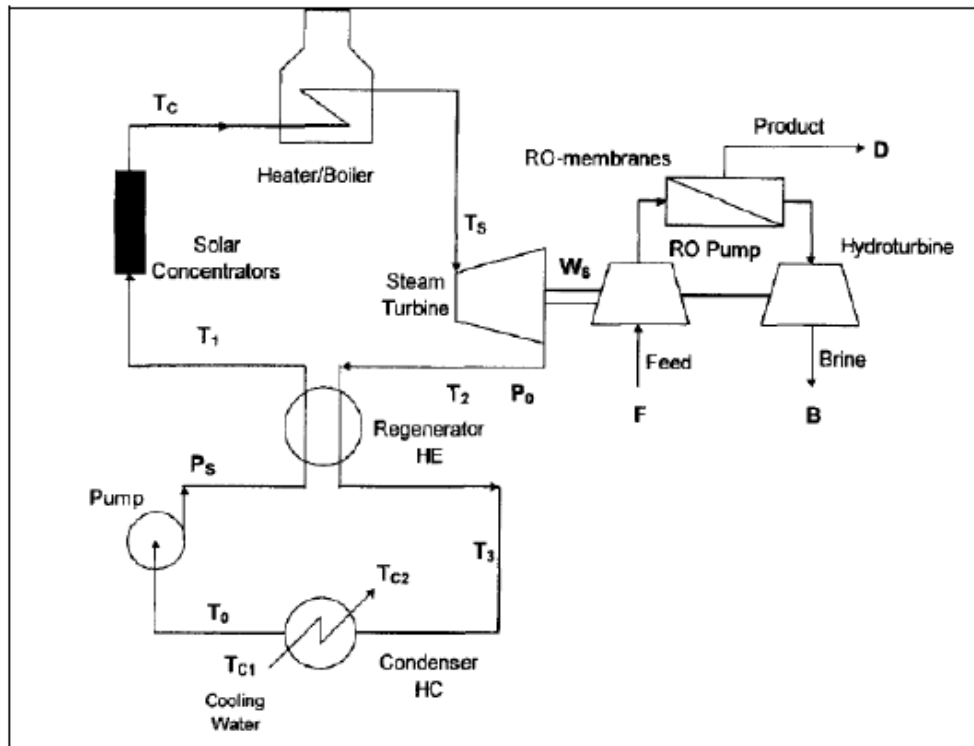


Εικόνα 6.14: Επιμέρους τμήματα της μονάδας

6.7 Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση και χρήση ηλιακής ενέργειας II

Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελεί υβριδικό σύστημα, εξέλιξη αυτού που περιγράφεται στην προηγούμενη εφαρμογή (Εικόνα 6.15). Περιλαμβάνει λειτουργία του κύκλου Rankine με υποβοήθηση ηλιακής ενέργειας, περιλαμβάνοντας ηλιακούς συλλέκτες και το κλασικό σύστημα αντίστροφης όσμωσης. Όπως συμβαίνει στα συστήματα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση και χρήση ηλιακής ενέργειας, υπάρχει το τμήμα διαχωρισμού με χρήση μεμβρανών που τροφοδοτείται από μία αντλία υψηλής πίεσης (πρεσσάροντας το τροφοδοτικό ρεύμα στα επιθυμητά επίπεδα πίεσης), και που είναι κατάλληλα συνδεδεμένο με έναν υδροστρόβιλο, για την ανάκτηση της ενέργειας του ρεύματος άλμης που αφήνει τη διαδικασία. Το ρεύμα που εγκαταλείπει τις μεμβράνες αποτελεί και το τελικό προϊόν. Το θερμικό - ηλιακό υποσύστημα, παρέχει το απαραίτητο έργο για την κίνηση της αντλίας υψηλής πίεσης της μονάδας με τη βοήθεια ενός ατμοστρόβιλου. Θερμότητα παρέχεται είτε από τους ηλιακούς συλλέκτες είτε από ορυκτά καύσιμα και στο boiler όπου το νερό (που αποτελεί και το εργαζόμενο μέσο του κύκλου Rankine) εξατμίζεται και στη συνέχεια

υπερθερμαίνεται. Το υπέρθερμο ρεύμα εισέρχεται σε ένα στρόβιλο που με τη σειρά του κινεί την αντλία του συστήματος αντίστροφης όσμωσης. Το εργαζόμενο υγρό που εγκαταλείπει το στρόβιλο είναι ακόμα ατμός αλλά σε χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία. Επιστρέφει στην υγρή μορφή του στον υγροποιητή και η λανθάνουσα θερμότητα απορρίπτεται στη θάλασσα. Αφού περάσει από τον υγροποιητή το υγρό επιστρέφει στο boiler και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Ανάκτηση ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με έναν εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του ρεύματος χαμηλής πίεσης που αφήνει το στρόβιλο και το υπόψυκτο υγρό που εισέρχεται στο boiler.



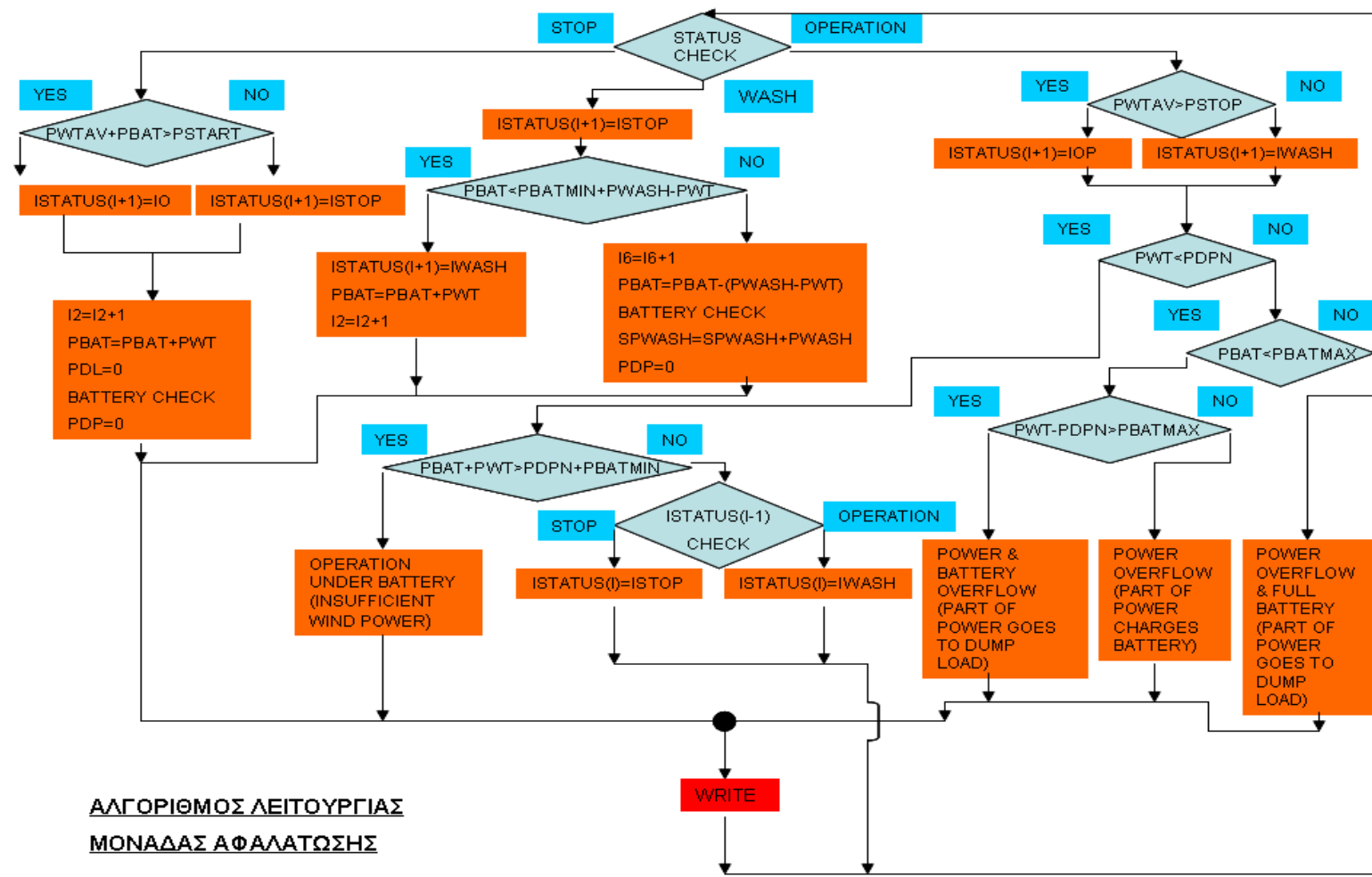
Εικόνα 6.15: Αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση και χρήση ηλιακής ενέργειας

6.8 Προσομοίωση λειτουργίας αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης με χρήση αιολικής ενέργειας

6.8.1 Εισαγωγή

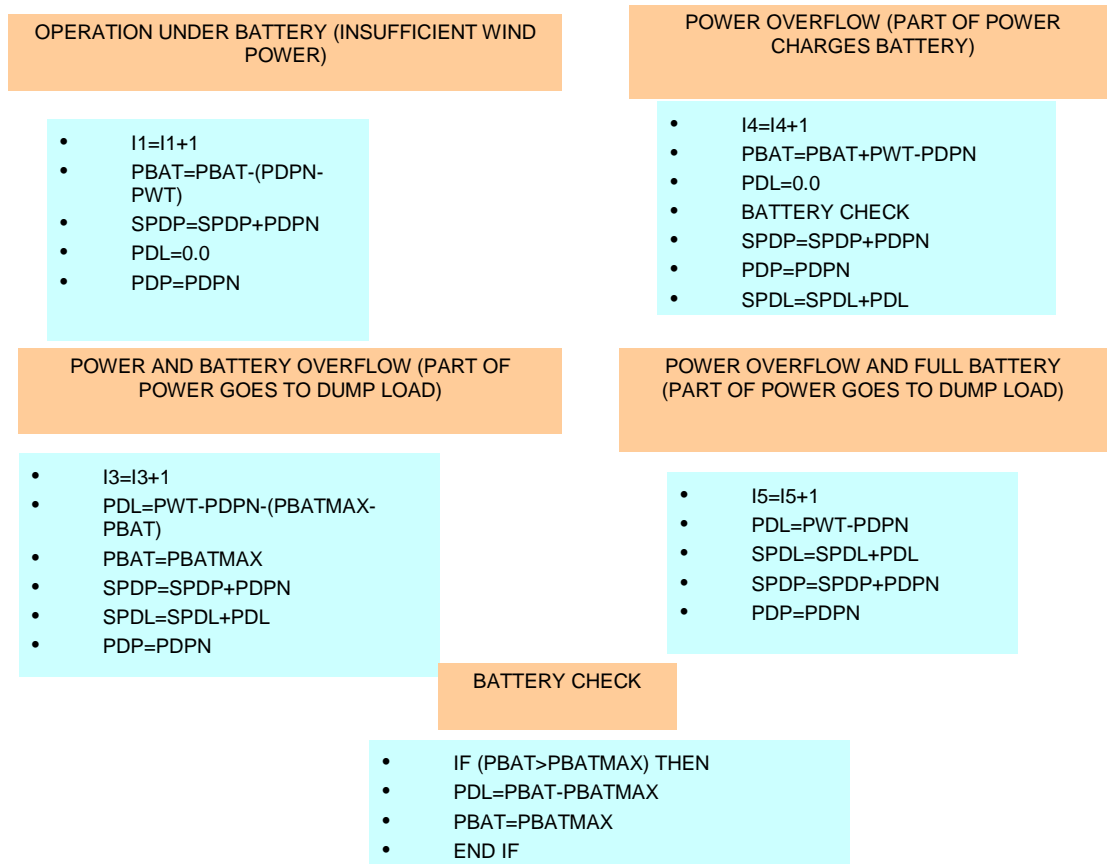
Στη συνέχεια θα περάσουμε στην προσομοίωση της λειτουργίας ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί την αντίστροφη όσμωση για την αφαλάτωση, έχει ως κύρια πηγή ενέργειας τον άνεμο ενώ υπάρχει και συστοιχία μπαταριών για την κάλυψη των αναγκών του σε περίπτωση άπνοιας.

Για να ελέγξουμε τη λειτουργία και την απόδοση του συστήματος αλλά και το πώς επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα η μεταβολή κάποιων στοιχειωδών μεγεθών του συστήματος δημιουργήσαμε έναν αλγόριθμο ο οποίος είναι βασισμένος στον αλγόριθμο πρόγνωσης που παρουσιάστηκε παραπάνω. Τα στοιχειώδη μεγέθη που μεταβάλλονται είναι η τιμή των P_{stop} και P_{start} , η μέγιστη ισχύς της μπαταρίας $P_{BAT_{MAX}}$ καθώς και η ονομαστική ισχύς σε KW της μονάδας αφαλάτωσης PDPN. Ο νέος αλγόριθμος φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα ροής (Εικόνα 6.16).



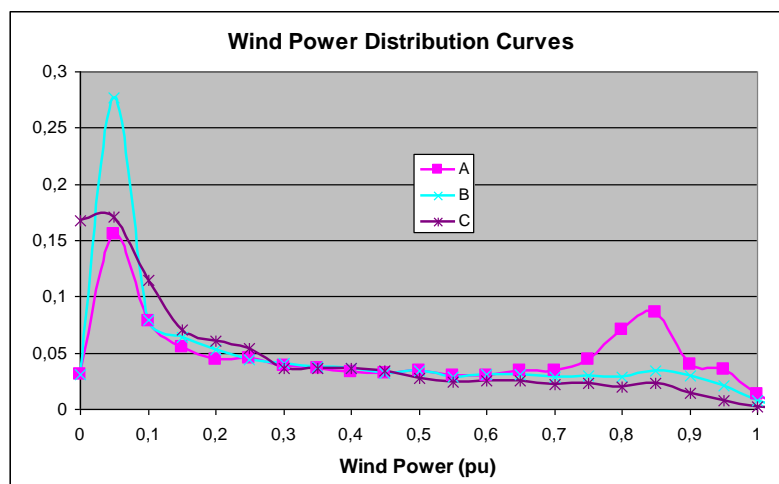
Εικόνα 6.16: Αλγόριθμος λειτουργίας μονάδας αφαλάτωσης

Για να είναι πιο ευκρινής η αναπαράσταση κάποιες από τις λειτουργίες κωδικοποιήθηκαν με βάση ένα όνομα που τις χαρακτηρίζει. Η επεξήγηση των ενεργειών που γίνεται σε κάθε ένα από τα παραπάνω πλαίσια φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα (Εικόνα 6.17).



Εικόνα 6.17: Επεξήγηση ενεργειών του αλγόριθμου λειτουργίας μονάδας αφαλάτωσης

Εξετάσαμε την επιρροή που έχει η μεταβολή των διαφόρων παραμέτρων σε περιοχές με διαφορετικό αιολικό δυναμικό και διαφορετική παραγόμενη ισχύ κατά τη διάρκεια του χρόνου της προσομοίωσης. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήσαμε τις χρονοσειρές ανέμου από 3 χώρες, την Ελλάδα, τη Γερμανία και τη Γαλλία. Η καμπύλη κατανομής πιθανότητας του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 6.1) δείχνει τα χαρακτηριστικά αυτών των ανέμων.



Σχήμα 6.1: Καμπύλη κατανομής πιθανότητας των ανέμων στις 3 θέσεις

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης των ανέμων στις 3 αυτές χώρες είναι 0,412 για την Ελλάδα, 0,3 για τη Γερμανία και 0,238 για τη Γαλλία. Άρα ο πιο ισχυρός άνεμος βρίσκεται στην Ελλάδα, ακολουθεί ο άνεμος της Γερμανίας και, τέλος, ο πιο αδύναμος είναι ο άνεμος της Γαλλίας. Από εδώ και στο εξής θα κωδικοποιήσουμε την ονομασία. Η Ελλάδα, η Γερμανία και η Γαλλία θα αποκαλούνται θέση Α, θέση Β και θέση C. Έτσι, πλέον θα αναφερόμαστε στον άνεμο της θέσης Α και ούτω καθ' εξής.

Προσομοιώσαμε τη λειτουργία της μονάδας κατά τη διάρκεια ενός έτους, δηλαδή 365 ημέρες, χωρίζοντας το χρόνο αυτό σε διαστήματα διάρκειας μισής ώρας. Άρα είχαμε συνολικά 17.520 διαστήματα. Κάναμε την παραδοχή ότι κατά τη διάρκεια κάθε διαστήματος, ο άνεμος, και κατά συνέπεια και η ισχύς που παράγεται από αυτόν, παραμένει σταθερός.

Στα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν απεικονίζονται οι ώρες λειτουργίας της μονάδας κατά τη διάρκεια ενός έτους σε ποσοστό επί τοις εκατό καθώς και η κατανομή της ενέργειας του ανέμου, επίσης σε ποσοστό επί τοις εκατό.

Στο διάγραμμα των ωρών λειτουργίας ο συμβολισμός STOP δείχνει τα διαστήματα κατά τα οποία η μονάδα έμεινε εκτός λειτουργίας, ο συμβολισμός WASH δείχνει τα διαστήματα κατά τα οποία η μονάδα εκτελούσε το πλύσιμο των μεμβρανών που απαιτείται για την αποφυγή βλαβών και καταστροφών ενώ οι συμβολισμοί Op1, Op2, Op3 και Op4 εξηγούνται στον Πίνακα 6.1.

Op1	Operation Under Battery (Insufficient Wind Power)
Op2	Power And Battery Overflow (Part Of Power Goes To Dump Load)
Op3	Power Overflow (Part Of Power Charges Battery)
Op4	Power Overflow And Full Battery (Part Of Power Goes To Dump Load)

Πίνακας 6.1: Επεξήγηση συμβολισμών που αφορούν την λειτουργία της μονάδας

Οι λειτουργίες που επιτελούνται σε κάθε ένα στάδιο από τα παραπάνω έχουν ήδη εξηγηθεί στο αντίστοιχο διάγραμμα.

Στο διάγραμμα της κατανομής ενέργειας, ο όρος PDP αναφέρεται στην ωφέλιμη ενέργεια για την αφαλάτωση, ο όρος PWASH αναφέρεται στην ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διαδικασία του πλυσίματος των μεμβρανών ενώ ο όρος PDL αναφέρεται στην ενέργεια που μένει αναξιόποιτη και καταναλίσκεται στο φορτίο απόρριψης. Ο όρος PBAT_{MAX} αναφέρεται στην ονομαστική ισχύ της μπαταρίας του συστήματος ενώ ο όρος PBAT αναφέρεται στη διαθέσιμη εκείνη τη στιγμή ισχύ της μπαταρίας. Για τον υπολογισμό των τιμών των παραπάνω όρων σε ru χρησιμοποιήσαμε ως τιμή βάσης την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας.

Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι η ωφέλιμη ενέργεια PDP δεν είναι κάποιο μέγεθος χωρίς φυσική σημασία. Είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται από τη μονάδα αφαλάτωσης για την παραγωγή του νερού. Έτσι, όταν αναφερόμαστε σε ωφέλιμη ενέργεια στην ουσία αναφερόμαστε σε πόσιμο νερό.

Σε γενικές γραμμές η βέλτιστη λειτουργία είναι αυτή που μπορεί να μας δώσει την μέγιστη ωφέλιμη ενέργεια PDP με το ελάχιστο κόστος για τον απαιτούμενο εξοπλισμό και τις λιγότερες εκκινήσεις και διακοπές της μονάδας καθώς αυτές επηρεάζουν την ορθή λειτουργία της μονάδας.

6.8.2 Τέλεια πρόβλεψη και λάθη στην πρόγνωση του ανέμου

Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι για την προσομοίωση που κάναμε, επειδή ήδη γνωρίζουμε τις χρονοσειρές του ανέμου για κάθε χώρα, σε κάθε χρονικό διάστημα χρησιμοποιούσαμε την πραγματική ισχύ του ανέμου P_{wt} . Προφανώς κάτι τέτοιο είναι αδύνατο να γίνει σε περίπτωση λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο για την επιλογή του τρόπου λειτουργίας για το επόμενο διάστημα.

Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η persistence method. Αυτή είναι μια μέθοδος πρόβλεψης και πρόγνωσης του καιρού στην οποία ως τιμή του ανέμου για το διάστημα $I-1$ χρησιμοποιείται η τιμή που είχε ο άνεμος στο διάστημα $I-1$, η οποία και είναι γνωστή καθώς το διάστημα αυτό έχει παρέλθει. Η χρήση αυτής της μεθόδου εισάγει σφάλματα καθώς δεν είναι δυνατό η τιμή κάθε διαστήματος να είναι πάντα ίδια με την τιμή του προηγούμενου.

Εφαρμόσαμε την παραμένουσα πρόβλεψη (persistence method) και στον Αλγόριθμο Λειτουργίας Μονάδας Αφαλάτωσης που παρουσιάσαμε παραπάνω αλλά τα αποτελέσματα ήταν σχεδόν όμοια καθώς είχαν αμελητέες διαφορές με αυτά που είχαμε στις περιπτώσεις που κάναμε τέλεια πρόβλεψη με μηδενικό περιθώριο λάθους. Αυτό εξηγείται από το σωστό σχεδιασμό του Αλγόριθμου Λειτουργίας Μονάδας Αφαλάτωσης ο οποίος, σε κάποια σημεία του, αν η συνολική ισχύς, του ανέμου και της μπαταρίας, δεν επαρκεί ώστε να πραγματοποιηθεί η λειτουργία που έχει αποφασιστεί, αλλάζει τον τρόπο λειτουργίας της μονάδας ώστε να φορτιστούν οι μπαταρίες και να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα. Έτσι, η λειτουργία δεν επιβαρύνεται ιδιαίτερα από τέτοιου είδους σφάλματα που εισάγονται από την πρόβλεψη.

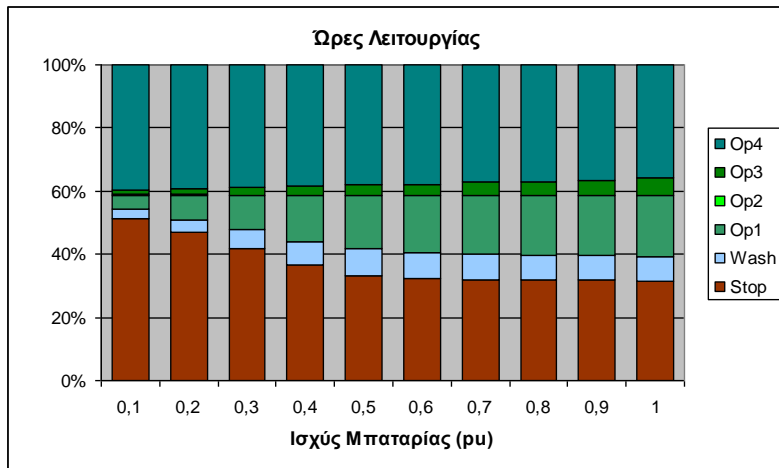
6.8.3 Λειτουργία με το υψηλό αιολικό δυναμικό της θέσης A

Αρχικά θα μελετήσουμε τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης χρησιμοποιώντας τις πραγματικές χρονοσειρές του ανέμου στη θέση A. Στις περιπτώσεις όπου δεν αναφέρεται κάτι διαφορετικό έχουμε $P_{BAT_{MAX}}=0,3$ pu, $PDPN=0,5$ pu, $PSTART=0,3$ pu και $PSTOP=0,1$ pu.

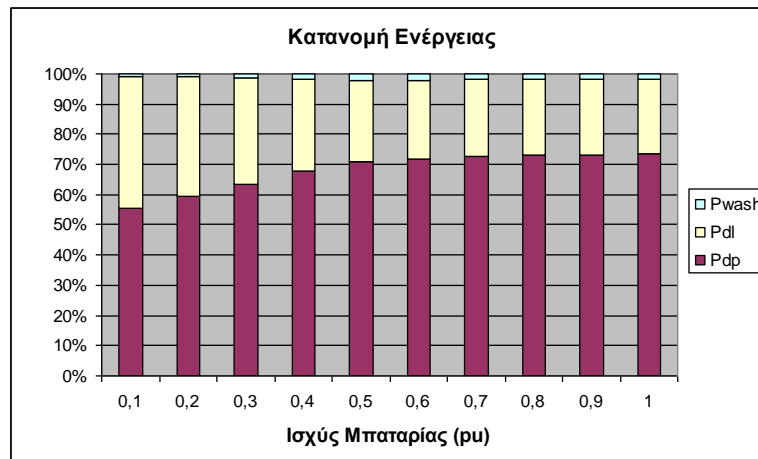
1. Μεταβολή ονομαστικής ισχύος μπαταρίας

Στην αρχή θα δούμε πως επηρεάζεται η λειτουργία αν μεταβληθεί η ονομαστική ισχύς της μπαταρίας. Οι τιμές που παίρνει η μπαταρία είναι από 0,1 έως 1 pu.

Από τα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 6.2 & Σχήμα 6.3) παρατηρούμε ότι όταν η μέγιστη ισχύς της μπαταρίας αυξάνεται πάνω από 0,5 pu η κατανομή των ωρών λειτουργίας μένει πρακτικά σταθερή ενώ η επιπλέον ωφέλιμη ενέργεια είναι ελάχιστη μπροστά στο κόστος για την αγορά των μπαταριών. Άρα συμπεραίνουμε ότι η τοποθέτηση μπαταριών ονομαστικής ισχύος μεγαλύτερης από 0,5 pu δεν έχει ουσιαστικό αποτέλεσμα. Εμείς επιλέγουμε για το σύστημά μας μπαταρία ονομαστικής ισχύος 0,3 pu.



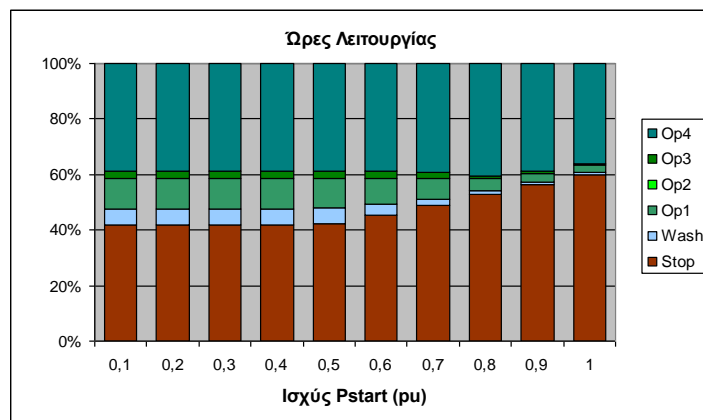
Σχήμα 6.2: Κατανομή ωρών λειτουργίας για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας



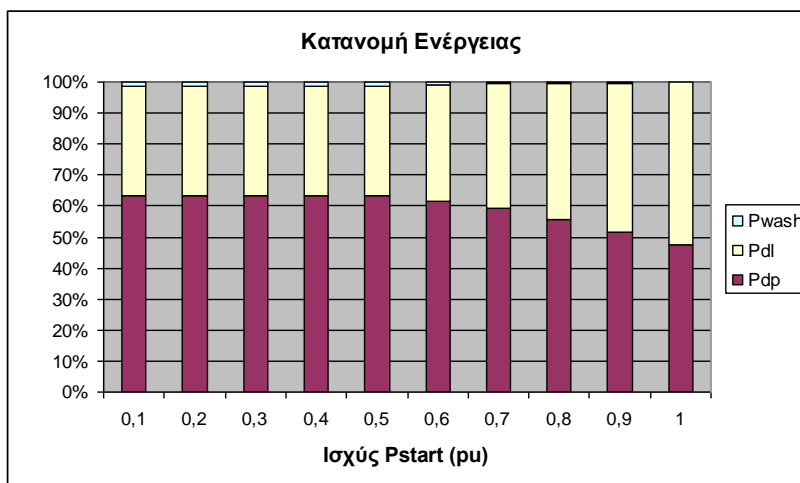
Σχήμα 6.3: Κατανομή της ενέργειας του ανέμου για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας

2. Μεταβολή κατωφλίων ισχύος p_{start} και p_{stop}

Στα επόμενα διαγράμματα (Σχήμα 6.4 & Σχήμα 6.5) φαίνονται οι επιδράσεις από τη συσχετισμένη μεταβολή των κατωφλίων ισχύος P_{stop} και P_{start} . Σε κάθε περίπτωση ισχύει $P_{stop}=P_{start}/3$. Η ισχύς P_{start} παίρνει τιμές από 0,1 έως 1pu.



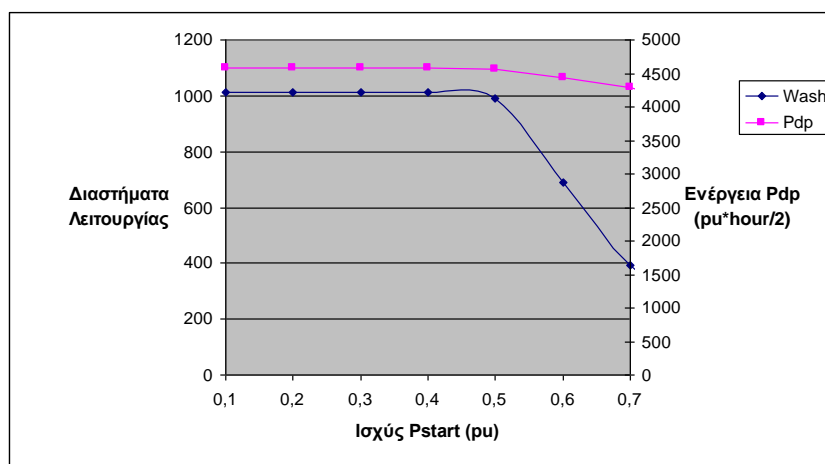
Σχήμα 6.4: Κατανομή των ωρών λειτουργίας για μεταβολή των κατωφλίων ισχύος P_{start} και P_{stop}



Σχήμα 6.5: Κατανομή της ενέργειας του ανέμου για μεταβολή των κατωφλίων ισχύος Pstart και Pstop

Όπως εύκολα παρατηρούμε από τα διαγράμματα, για μεγάλες τιμές του P_{start} μειώνονται οι ώρες λειτουργίας και κατά συνέπεια και η ωφέλιμη ενέργεια. Κάτι τέτοιο είναι απόλυτα λογικό καθώς όταν η μονάδα τεθεί εκτός λειτουργίας λόγω της εκτίμησης του συστήματος ελέγχου ότι στα επόμενα διαστήματα ο άνεμος θα είναι χαμηλός, για να λειτουργήσει και πάλι θα πρέπει να έρθει ιδιαίτερα υψηλή τιμή του ανέμου, ώστε να ξεπεραστεί το κατώφλι ισχύος. Άρα όσο πιο υψηλό είναι το P_{start} τόσο πιο δύσκολο να λειτουργήσει και πάλι η μονάδα. Επίσης, όταν μεγαλώνει η τιμή του P_{stop} , είναι πιο δύσκολο να ισχύει η σχέση $P_{wtan} > P_{stop}$, δηλαδή η προβλεπόμενη ισχύς του ανέμου να είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι P_{stop} , άρα είναι πιο εύκολο η μονάδα να περάσει σε διαδικασία πλυσίματος των μεμβρανών και κατόπιν διακοπής της λειτουργίας της.

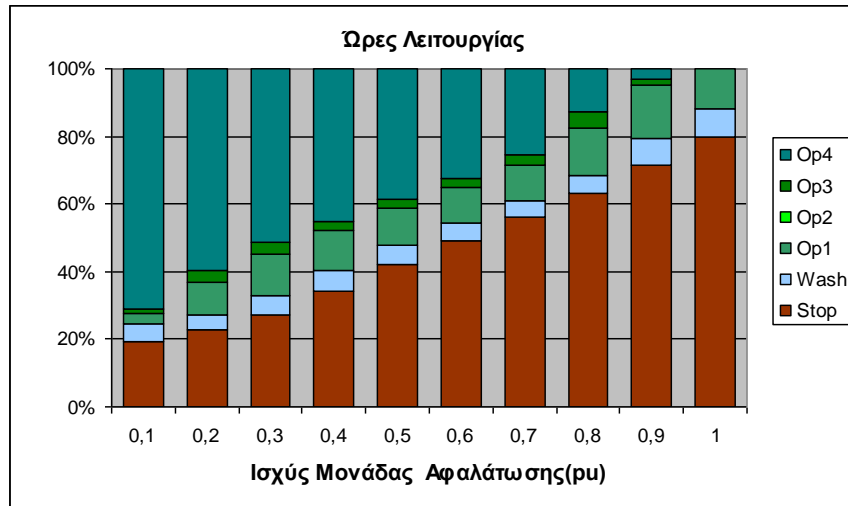
Σημαντικό ρόλο για την επιλογή της κατάλληλης τιμής του P_{start} και συνεπώς και του P_{stop} , παίζει το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 6.6). Από εκεί, επιλέγουμε για το σύστημά μας $P_{start} = 0,3 pu$ έχοντας ως κύριο κριτήριο την παραγωγή της μέγιστης δυνατής ωφέλιμης ενέργειας.



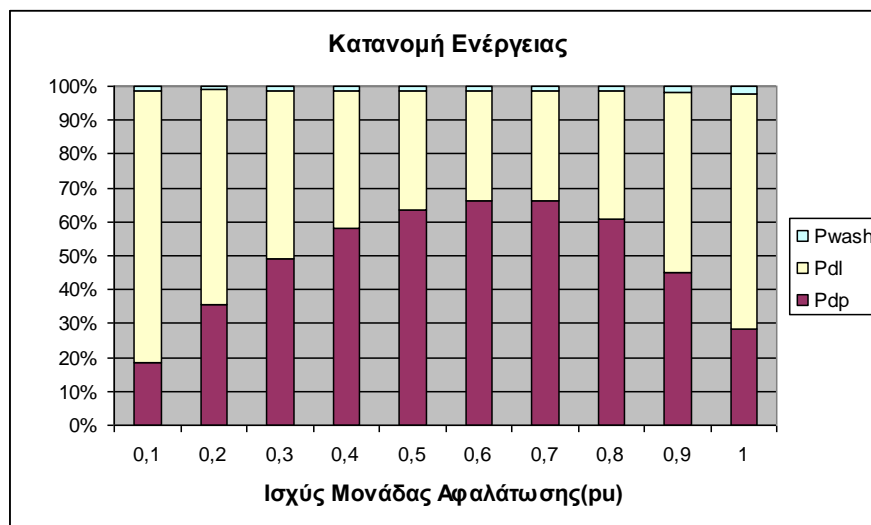
Σχήμα 6.6: Μεταβολή της ωφέλιμης ενέργειας και του αριθμού των εκκινήσεων και διακοπών της μονάδας εξαιτίας της μεταβολής του κατωφλίου ισχύος Pstart

3. Μεταβολή ονομαστικής ισχύος μονάδας αφαλάτωσης

Στα επόμενα διαγράμματα (Σχήμα 6.7 & Σχήμα 6.8) φαίνονται οι συνέπειες από τη μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης PDPN.



Σχήμα 6.7: Κατανομή των ωρών λειτουργίας για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης



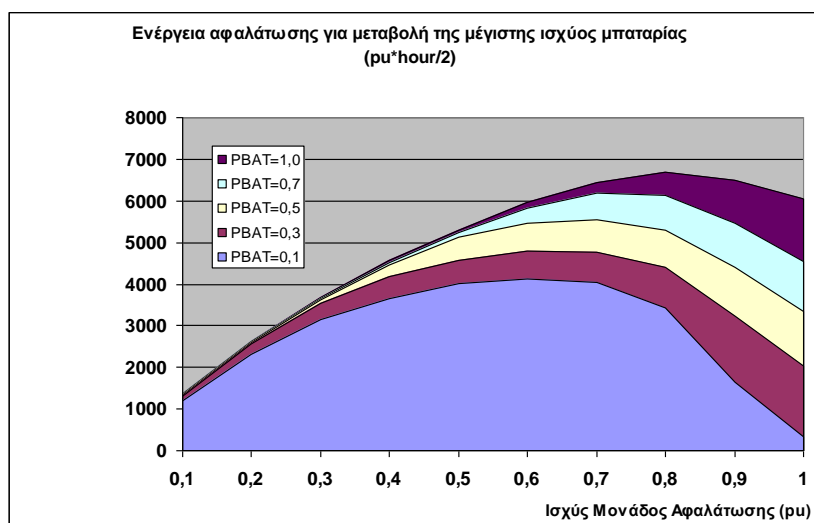
Σχήμα 6.8: Κατανομή της ενέργειας του ανέμου για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης

Στο διάγραμμα της κατανομής των ωρών λειτουργίας βλέπουμε ότι, έχοντας σταθερή την ονομαστική ισχύ της μπαταρίας ίση με 0,3 ρι, με την αύξηση του PDPN μειώνεται ο συνολικός χρόνος λειτουργίας της μονάδας. Πιο συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η ρι τιμή της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης τόσο πιο δύσκολο είναι να υπάρχει άνεμος που να μπορεί να ικανοποιήσει τις ολοένα και αυξανόμενες απαιτήσεις ισχύος.

Όσον αφορά την κατανομή της ενέργειας, βλέπουμε στο Σχήμα 6.8 ότι έχουμε τη μέγιστη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, δηλαδή τη μέγιστη ωφέλιμη ενέργεια, όταν PDPN=0,6ρι. Γενικά μεγάλες τιμές ωφέλιμης ενέργειας επιτυγχάνονται όταν ο λόγος της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης και της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας είναι μεταξύ των τιμών 1/3 και 2/3.

Αυτό το συμπέρασμα εκ πρώτης όψεως θα μπορούσε να αμφισβητηθεί καθώς από το πρώτο διάγραμμα βλέπουμε ότι η μονάδα λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα για μικρές τιμές της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης. Πρέπει όμως, να συνυπολογίσουμε και το γεγονός ότι στις περιοχές μεταξύ 0,4 και 0,7 pu η μονάδα λειτουργεί μεν λιγότερο χρόνο αλλά έχει τη δυνατότητα να παράγει περισσότερη ωφέλιμη ισχύ λόγω της μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύς της μονάδας αφαλάτωσης. Έτσι εξηγείται η μορφή του διαγράμματος κατανομής της αιολικής ενέργειας.

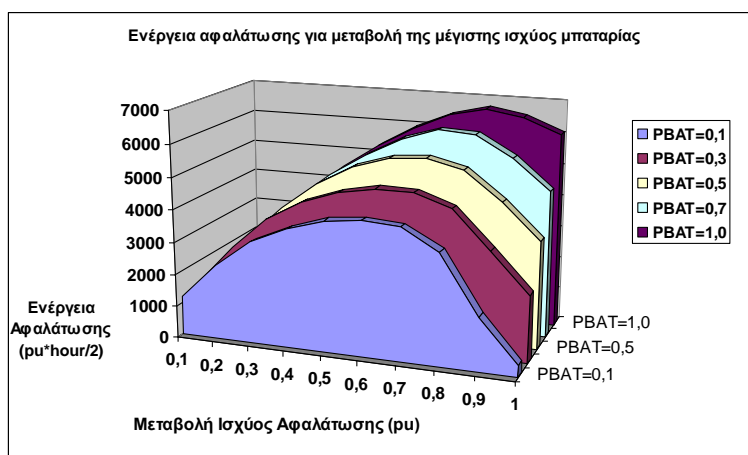
Η προσομοίωση της λειτουργίας της μονάδας, ενώ μεταβάλλεται η τιμή της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης, έγινε και για διαφορετικές τιμές της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας. Συγκεκριμένα, εκτός από τη λειτουργία που ήδη παρουσιάσαμε, με $PBAT_{MAX}=0,3pu$, κάναμε την ίδια μελέτη και για $PBAT_{MAX}=0,1pu$, $PBAT_{MAX}=0,5pu$, $PBAT_{MAX}=0,7pu$ και $PBAT_{MAX}=1,0pu$. Τα αποτελέσματα φαίνονται συγκεντρωτικά στο Σχήμα 6.9.



Σχήμα 6.9: Συγκεντρωτική απεικόνιση της μεταβολής στην ενέργεια αφαλάτωσης λόγω της μεταβολής στην ονομαστική ισχύ της αφαλάτωσης για διαφορετικές ονομαστικές ισχύεις της μπαταρίας

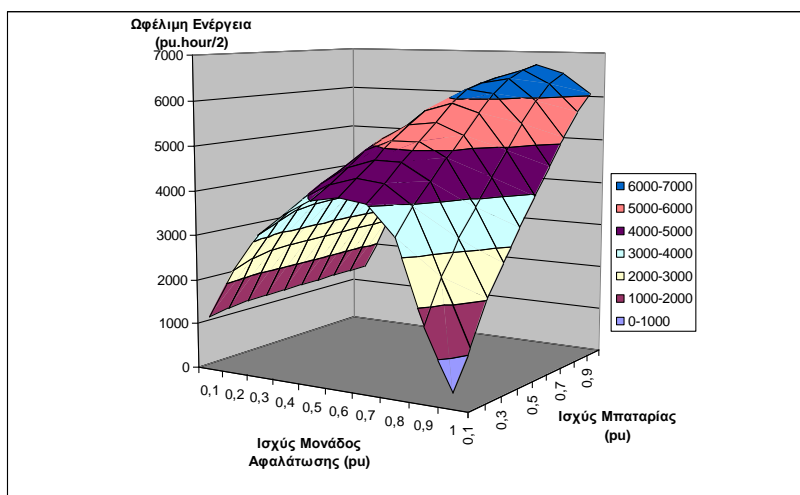
Στο Σχήμα 6.9 διαπιστώνουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς της μπαταρίας τόσο μεγαλύτερη είναι η ωφέλιμη ενέργεια και κατά συνέπεια και το νερό που μπορεί να παραχθεί. Το ερώτημα που τίθεται εδώ είναι αν το κέρδος από την παραγωγή περισσότερου νερού μπορεί να αντισταθμίσει το κόστος για την αγορά μπαταριών μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος, έχοντας πάντα υπόψη ότι η αγορά των μπαταριών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Επίσης βλέπουμε ότι όσο μεγαλώνει η ονομαστική ισχύς της μπαταρίας τόσο πιο δεξιά μετατοπίζεται το σημείο που μας δίνει τη βέλτιστη ονομαστική ισχύ της μονάδας αφαλάτωσης. Διευκρινιστικά αναφέρουμε ότι ως βέλτιστο ορίζουμε το σημείο εκείνο στο οποίο παράγεται η μέγιστη ωφέλιμη ενέργεια PDP. Τα παραπάνω συμπεράσματα φαίνονται πιο αναλυτικά στο τρισδιάστατο διάγραμμα (Σχήμα 6.10).



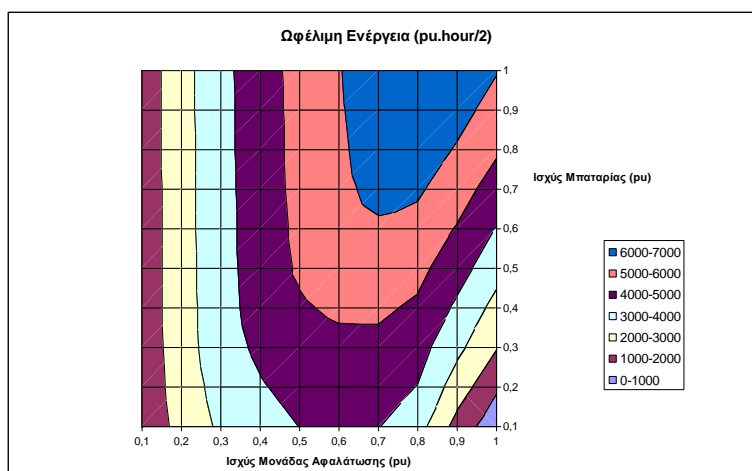
Σχήμα 6.10: Συγκεντρωτική απεικόνιση της μεταβολής στην ενέργεια αφαλάτωσης λόγω της μεταβολής στην ονομαστική ισχύ της αφαλάτωσης για διαφορετικές ονομαστικές ισχύεις της μπαταρίας. 3D

Στο Σχήμα 6.11 μπορούμε να δούμε την εξέλιξη που έχει η παραγωγή της ωφέλιμης ενέργειας ανάλογα με την ταυτόχρονη μεταβολή τόσο της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας όσο και της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης. Η τρισδιάστατη μορφή του ευνοεί ώστε να παρατηρήσουμε ότι για μικρές ονομαστικές ισχύεις της μονάδας αφαλάτωσης η ωφέλιμη ενέργεια είναι σχετικά χαμηλή, ανεξάρτητα από την τιμή της μπαταρίας. Στην περιοχή των τιμών της ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης κοντά στο 0,5pu η παραγωγή της ωφέλιμης ενέργειας, για δεδομένη τιμή της μπαταρίας, αυξάνεται. Για μεγάλες ονομαστικές ισχύεις, στην περιοχή κοντά στο 1pu, όταν η μπαταρία έχει μικρή ονομαστική ισχύ η ωφέλιμη ενέργεια είναι χαμηλή αλλά αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της μπαταρίας.



Σχήμα 6.11: Μεταβολή της ωφέλιμης ενέργειας λόγω της μεταβολής της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης και της μπαταρίας

Η μέγιστη τιμή της ωφέλιμης ενέργειας επιτυγχάνεται στη γαλάζια περιοχή του διαγράμματος που αντιστοιχεί σε τιμές για την ονομαστική ισχύ της μονάδας αφαλάτωσης της τάξεως των 0,7 με 0,9pu και τιμές της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας της τάξεως των 0,7 με 1pu. Στο Σχήμα 6.12 φαίνεται καλύτερα η συγκέντρωση των υψηλών τιμών της ωφέλιμης ενέργειας στις περιοχές που αναφέραμε παραπάνω.



Σχήμα 6.12: Μεταβολή της ωφέλιμης ενέργειας λόγω της μεταβολής της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης και της μπαταρίας

6.8.4 Λειτουργία με ανέμους με χαμηλό αιολικό στις θέσεις Β και C - Σύγκριση αποτελεσμάτων

Την ίδια ακριβώς μελέτη και προσομοίωση κάναμε και για διαφορετικό αιολικό δυναμικό. Εργαστήκαμε με τις χρονοσειρές των ανέμων στις περιοχές Β και C. Στις μεταξύ των δυο περιοχών συγκρίσεις μπορούμε να δούμε καθαρά πως πέρα από τις τιμές που θα επιλέξουμε εμείς για το σύστημά μας, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και το αιολικό δυναμικό της περιοχής της εγκατάστασης.

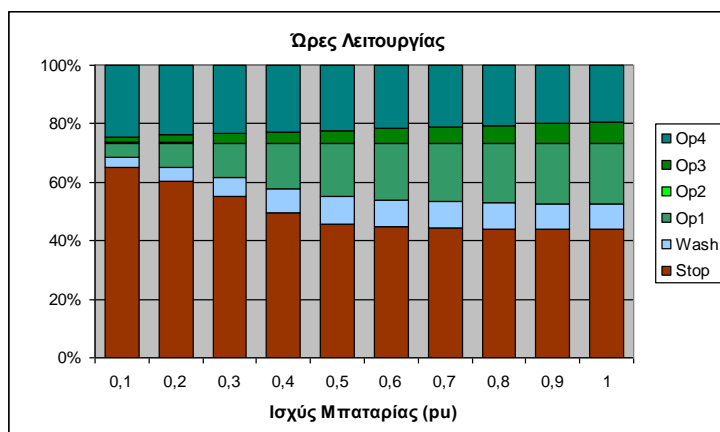
Θα ακολουθήσουμε την ίδια σειρά παρουσίασης των αποτελεσμάτων όπως και παραπάνω, με μόνη διαφορά ότι τώρα θα εξετάζουμε και τις συνέπειες των διαφορετικών ανέμων στις δύο περιοχές.

Στις περιπτώσεις όπου δεν αναφέρεται κάτι διαφορετικό έχουμε $P_{BAT_{MAX}}=0,3pu$, $P_{DPN}=0,5pu$, $P_{START}=0,3pu$ και $P_{STOP}=0,1pu$.

1. Μεταβολή ονομαστικής ισχύος μπαταρίας

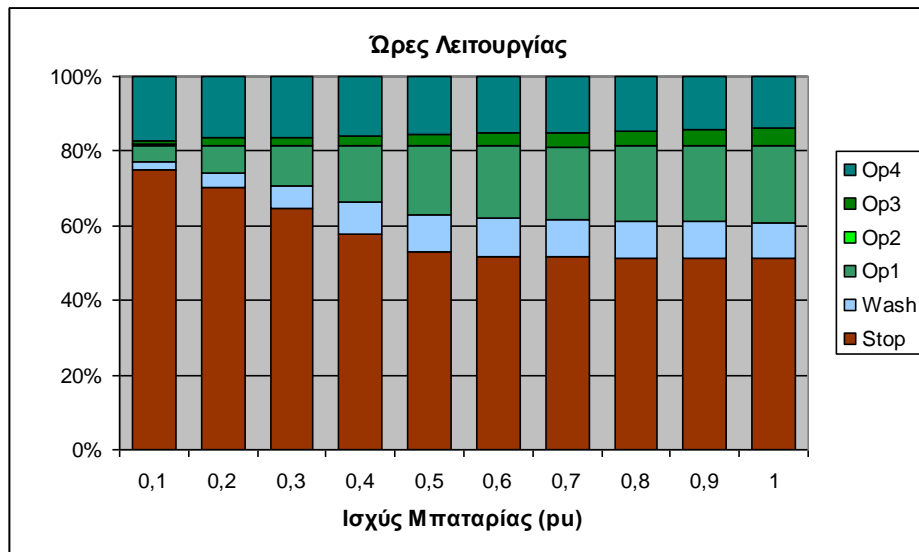
Αρχικά μεταβάλλεται η ονομαστική ισχύς της μπαταρίας παίρνοντας τιμές από 0,1 έως 1pu.

ΘΕΣΗ Β



Σχήμα 6.13: Κατανομή των ωρών λειτουργίας για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας (Θέση Β)

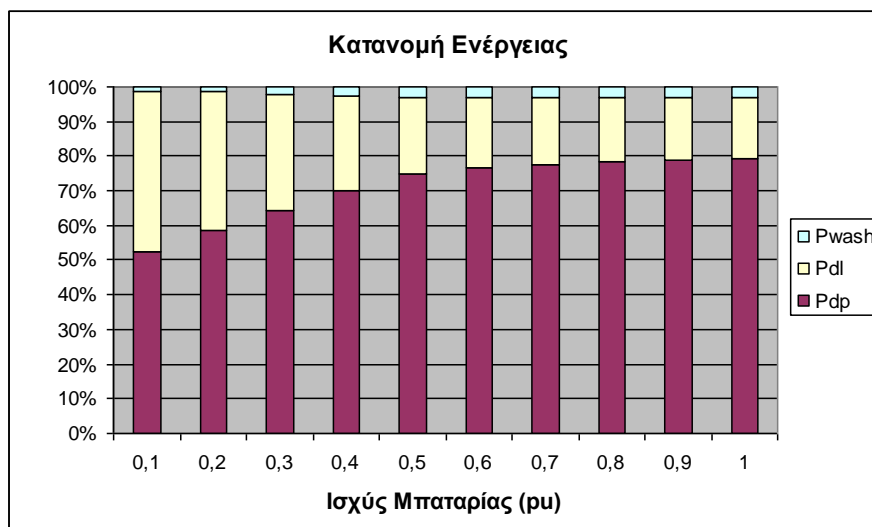
ΘΕΣΗ C



Σχήμα 6.14: Κατανομή των ωρών λειτουργίας για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας (Θέση C)

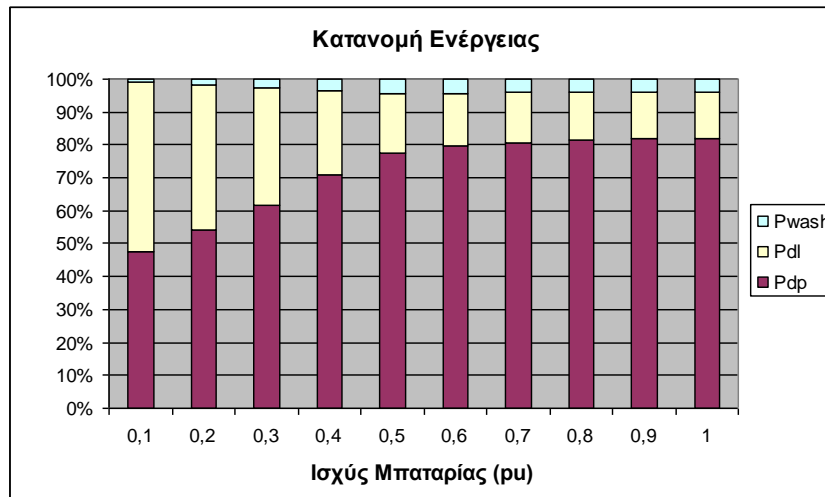
Ισχύουν τα συμπεράσματα που βγάλαμε προηγουμένως για την περίπτωση της θέσης A. Επιπλέον βλέπουμε ότι λόγω των υψηλότερων τιμών του ανέμου στη θέση B, όποια και αν είναι η τιμή του $PBAT_{MAX}$, η μονάδα λειτουργεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στη διάρκεια ενός έτους.

Θέση B



Σχήμα 6.15: Κατανομή της ενέργειας του ανέμου για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας (Θέση B)

ΘΕΣΗ C



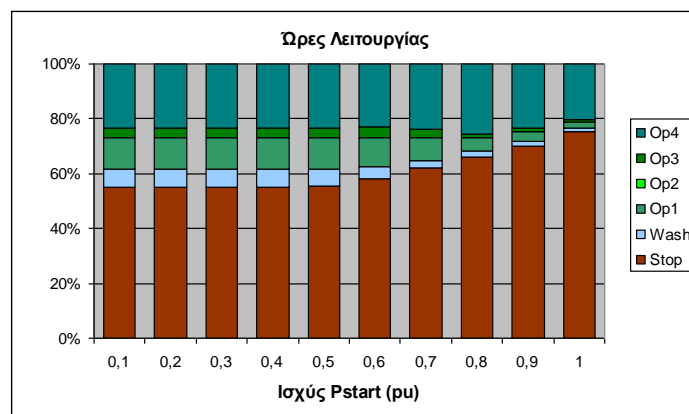
Σχήμα 6.16: Κατανομή της ενέργειας του ανέμου για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας (Θέση C)

Οι καμπύλες της κατανομής ενέργειας έχουν την ίδια μορφή για τις 2 θέσεις. Βλέπουμε και στις δυο, ότι για αύξηση της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας πέρα των 0,5 pu η αύξηση στην ωφέλιμη ενέργεια είναι αμελητέα. Το ποσοστό της ωφέλιμης ενέργειας επί της συνολικής ενέργειας του ανέμου έχει μεγαλύτερες διακυμάνσεις στην περίπτωση του χαμηλού ανέμου της θέσης C καθώς ξεκινά από 47,54% και φτάνει μέχρι το 82%. Στην περίπτωση της θέσης B το ποσοστό αυτό ξεκινά από 52% και φτάνει μέχρι 79,18%. Βλέπουμε ότι όταν η τιμή της μπαταρίας είναι μεγαλύτερη από 0,5 pu η επίδραση που έχει στην ωφέλιμη ενέργεια είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση όπου έχουμε χαμηλό αιολικό δυναμικό καθώς εκεί το ποσοστό της ωφέλιμης ενέργειας επί της συνολικής είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό όταν το αιολικό δυναμικό είναι υψηλό. Το αντίθετο συμβαίνει για μικρή ονομαστική ισχύ της μπαταρίας όπου βλέπουμε ότι, στην περίπτωση της θέσης C, η ενέργεια που καταλήγει στο φορτίο απόρριψης καταλαμβάνει σημαντικό ποσοστό επί της συνολικής, μεγαλύτερο από την περίπτωση της θέσης B.

2. Μεταβολή κατωφλίων ισχύος p_{start} και p_{stop}

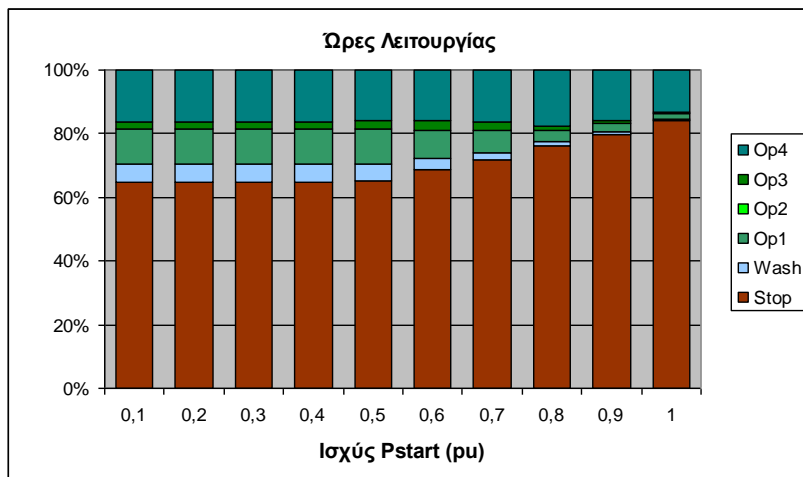
Στη συνέχεια θα δούμε τις επιπτώσεις της μεταβολής των κατωφλίων ισχύος P_{start} και P_{stop} όταν αυτά συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση $P_{stop}=P_{start}/3$.

ΘΕΣΗ B



Σχήμα 6.17: Κατανομή των ωρών λειτουργίας για μεταβολή των κατωφλίων ισχύος Pstart και Pstop (Θέση B)

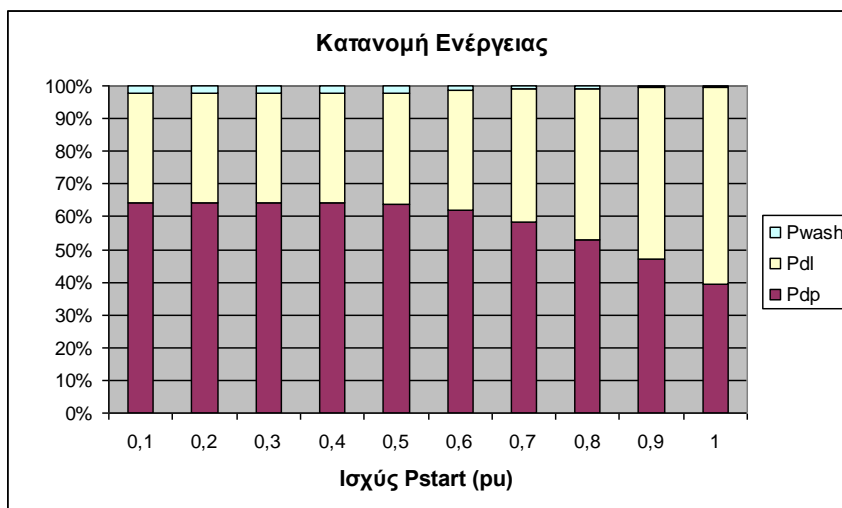
ΘΕΣΗ C



Σχήμα 6.18: Κατανομή των ωρών λειτουργίας για μεταβολή των κατωφλίων ισχύος P_{start} και P_{stop} (Θέση C)

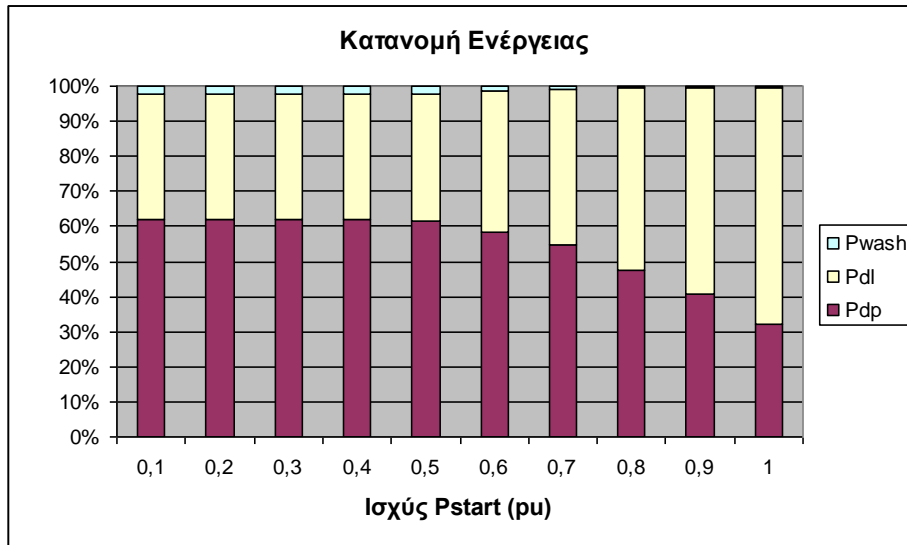
Το συμπέρασμα από τη σύγκριση των ωρών λειτουργίας σε κάθε μια από τις 2 περιπτώσεις είναι όταν έχουμε χαμηλό αιολικό δυναμικό, όπως στη θέση C, η επιλογή υψηλής τιμής για τα P_{start} και P_{stop} , οδηγεί σε ιδιαίτερα αισθητή μείωση των συνολικών ωρών λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στο ότι είναι δύσκολο, όταν υπάρχει έλλειψη ανέμου να ξεπεραστεί το P_{start} , όταν έχει μια υψηλή τιμή, με αποτέλεσμα η μονάδα να μην τίθεται σε κατάσταση λειτουργίας. Επιπρόσθετα αυξάνεται η πιθανότητα η πρόβλεψη για τον άνεμο του επόμενου διαστήματος να είναι χαμηλότερη από την τιμή του P_{stop} με αποτέλεσμα η μονάδα να σταματά τη λειτουργία της αρκετά συχνά.

ΘΕΣΗ B



Σχήμα6.19: Κατανομή της ενέργειας του ανέμου για μεταβολή των κατωφλίων ισχύος P_{start} και P_{stop} (Θέση B)

ΘΕΣΗ C



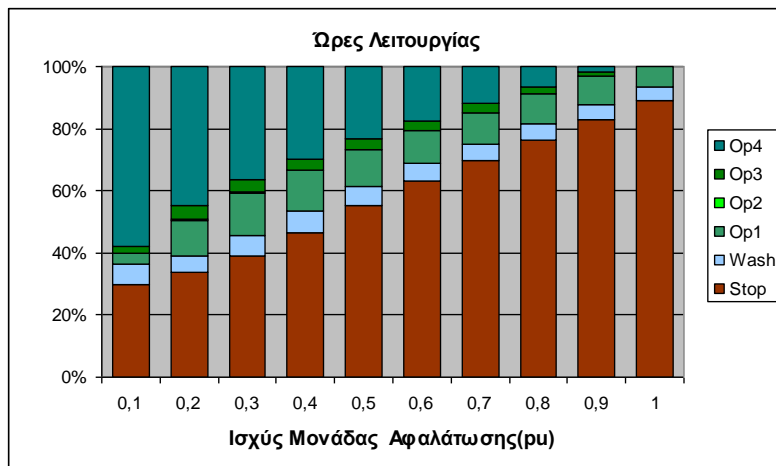
Σχήμα 6.20: Κατανομή της ενέργειας του ανέμου για μεταβολή των κατωφλίων ισχύος Pstart και Pstop (Θέση C)

Η αύξηση του διαστήματος για το οποίο η μονάδα είναι εκτός λειτουργίας απεικονίζεται απόλυτα και στην κατανομή ενέργειας. Το ποσοστό της ωφέλιμης ενέργειας επί της συνολικής είναι εμφανώς χαμηλότερο στη θέση C σε σχέση με το αντίστοιχο ποσοστό της θέσης B, για κάθε τιμή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας.

3. Μεταβολή ονομαστικής ισχύος μονάδας αφαλάτωσης

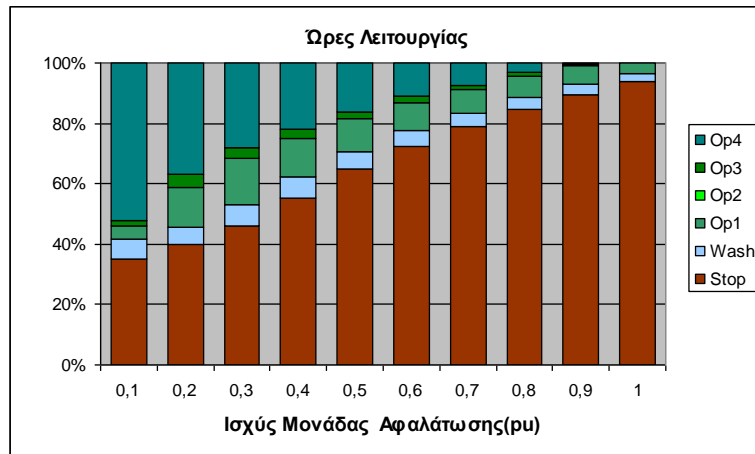
Στο επόμενο βήμα θα προσομοιώσουμε τη λειτουργία της μονάδας για ένα έτος μεταβάλλοντας την ονομαστική ισχύ της μονάδας αφαλάτωσης. Η ονομαστική τιμή της μπαταρίας είναι ίση με $P_{BAT_MAX}=0,3pu$.

ΘΕΣΗ B



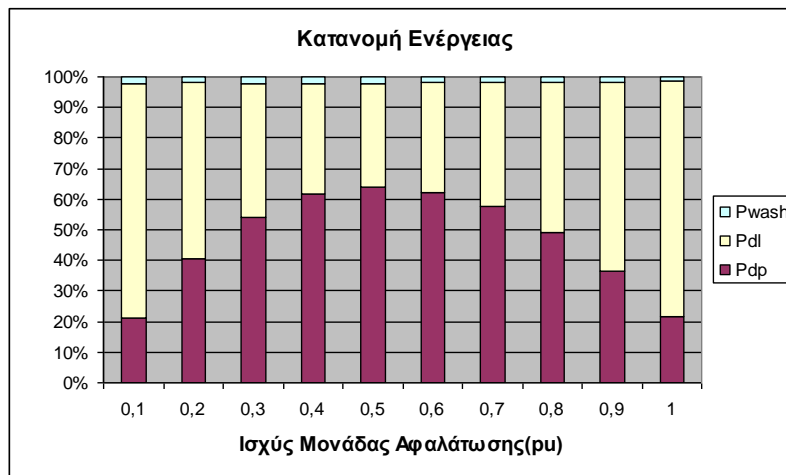
Σχήμα 6.21: Κατανομή των ωρών λειτουργίας για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης (Θέση B)

ΘΕΣΗ C



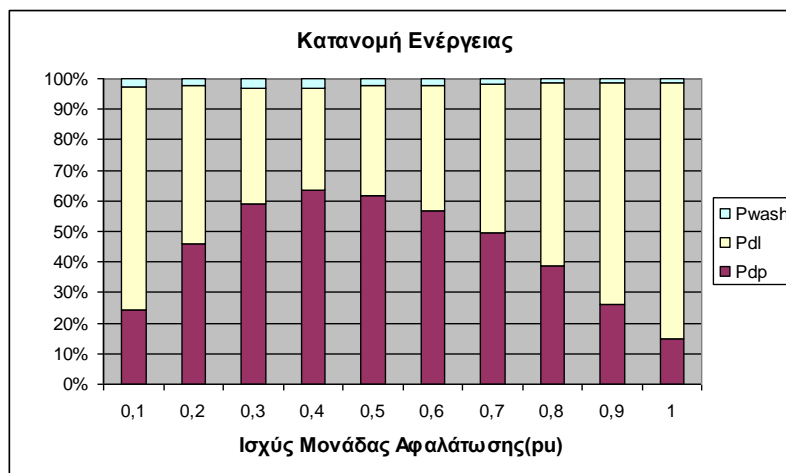
Σχήμα 6.22: Κατανομή των ωρών λειτουργίας για μεταβολή της ονομαστική ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης (Θέση C)

ΘΕΣΗ B



Σχήμα 6.23: Κατανομή της ενέργειας του ανέμου για μεταβολή της ονομαστική ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης (Θέση B)

ΘΕΣΗ C



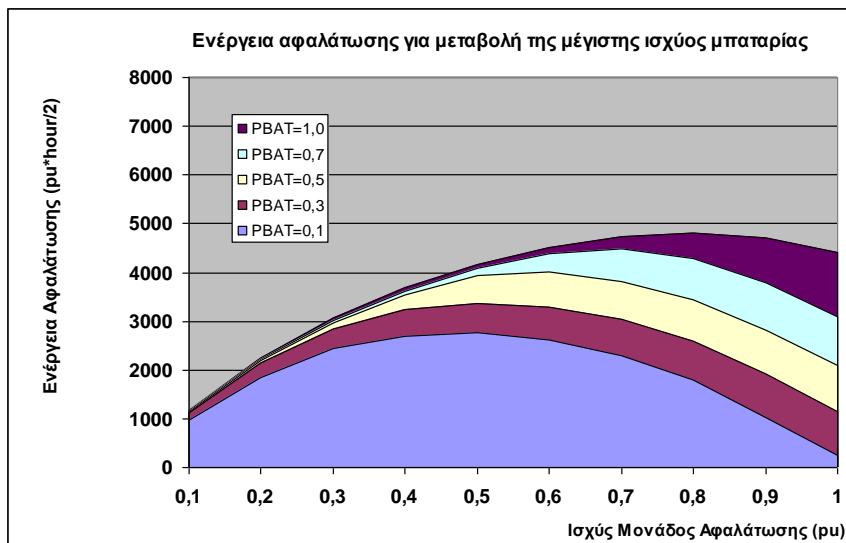
Σχήμα 6.24: Κατανομή των ωρών λειτουργίας για μεταβολή της ονομαστική ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης (Θέση C)

Από το ζεύγος των διαγραμμάτων για τις ώρες λειτουργίας βλέπουμε ότι όταν το αιολικό δυναμικό είναι υψηλό η μονάδα λειτουργεί περισσότερες ώρες σε σχέση με τη περίπτωση όπου έχουμε χαμηλό αιολικό δυναμικό. Όσον αφορά την κατανομή της ενέργειας, βλέπουμε ότι η περίπτωση του χαμηλού αιολικού δυναμικού της θέσης C παρουσιάζει μέγιστη εκμετάλλευση της ωφέλιμης ενέργειας για ισχύ μονάδας αφαλάτωσης ίση με 0,4 ru σε αντίθεση με τη θέση B όπου το αντίστοιχο μέγιστο παρουσιάζεται για ισχύ μονάδας αφαλάτωσης ίση με 0,5 ru. Επίσης, βλέπουμε ότι όσο το PDPN αυξάνεται και προσεγγίζει την μονάδα το ποσοστό της ωφέλιμης ενέργειας στη θέση C γίνεται πιο μικρό από το αντίστοιχο ποσοστό στη θέση B. Άρα συμπεραίνουμε ότι όταν έχουμε χαμηλό αιολικό δυναμικό δε συμφέρει η ισχύς της μονάδας αφαλάτωσης να είναι μεγάλη.

Γενικεύοντας, όταν στην περιοχή που μελετάμε για την εγκατάσταση αυτόνομο συστήματος αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια έχουμε χαμηλό αιολικό δυναμικό συμφέρει ο λόγος της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης προς την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας να είναι μικρός. Αντίθετα για την πλήρη εκμετάλλευση του υψηλού αιολικού δυναμικού συμφέρει ο λόγος της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης προς την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας να είναι μεγάλος.

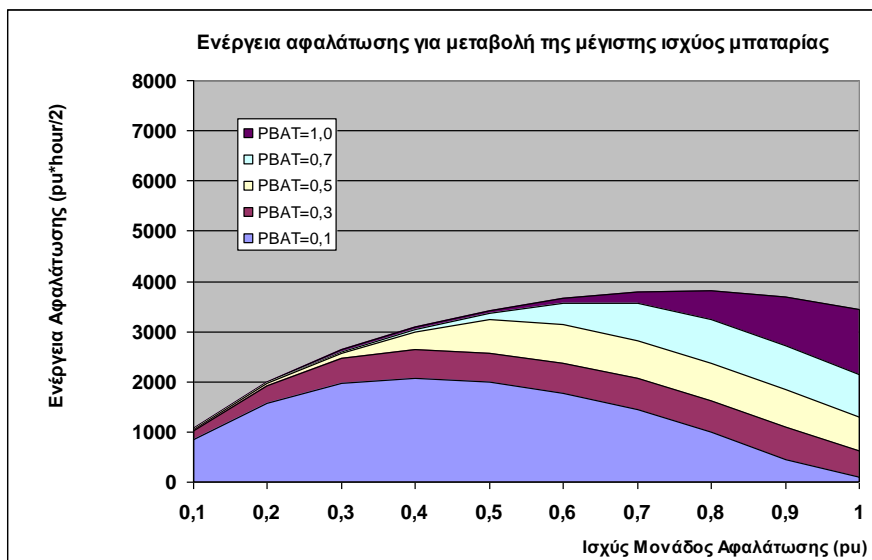
Στη συνέχεια παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι επιπτώσεις της μεταβολής της ονομαστικής ισχύος της μονάδας αφαλάτωσης στις περιπτώσεις των ανέμων στις θέσεις B και C, κάνοντας χρήση μπαταριών με διαφορετική ονομαστική ισχύ. Οι μπαταρίες που μελετήσαμε έχουν ονομαστική ισχύ ίση με $PBAT_{MAX}=0,1ru$, $PBAT_{MAX}=0,5ru$, $PBAT_{MAX}=0,7ru$ και $PBAT_{MAX}=1,0ru$.

ΘΕΣΗ B



Σχήμα 6.25: Συγκεντρωτική απεικόνιση της μεταβολής στην ενέργεια αφαλάτωσης λόγω της μεταβολής στην ονομαστική ισχύ της αφαλάτωσης για διαφορετικές ονομαστικές ισχύεις της μπαταρίας (Θέση B)

ΘΕΣΗ C



Σχήμα 6.26: Συγκεντρωτική απεικόνιση της μεταβολής στην ενέργεια αφαλάτωσης λόγω της μεταβολής στην ονομαστική ισχύ της αφαλάτωσης για διαφορετικές ονομαστικές ισχύεις της μπαταρίας (Θέση C)

Όπως αναμέναμε, βλέπουμε ότι όταν έχουμε υψηλό αιολικό δυναμικό, η μέγιστη ενέργεια που αξιοποιείται είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ενέργεια όταν το αιολικό δυναμικό είναι χαμηλό. Επίσης, επαληθεύεται το ότι για υψηλό αιολικό δυναμικό είναι πιο αποδοτική η λειτουργία για μεγάλες ονομαστικές ισχύεις καθώς παρατηρούμε ότι το σημείο της μέγιστης ενέργειας αφαλάτωσης για τη θέση B βρίσκεται πιο δεξιά στον άξονα των τετμημένων σε σχέση με το αντίστοιχο σημείο της θέσης C. Τέλος, διαπιστώνουμε ότι όσο αυξάνεται η ισχύς της μπαταρίας τόσο αυξάνεται και η ενέργεια που χρησιμοποιείται για αφαλάτωση.

6.8.5 Κόστος

Σε αυτό το σημείο θα κάνουμε την τεχνικοοικονομική μελέτη του συστήματος μας. Θα περιοριστούμε όμως στη διερεύνηση της επιρροής που έχουν στο ισοσταθμισμένο κόστος της ωφέλιμης ενέργειας PDP μερικοί μόνο από τους παράγοντες του συστήματος μας. Συγκεκριμένα, θα ασχοληθούμε με το πώς επηρεάζεται το κόστος παραγωγής ωφέλιμης ενέργειας, το οποίο όπως προαναφέρθηκε ισοδυναμεί με νερό, από το μέγεθος της μπαταρίας και της μονάδας αφαλάτωσης. Θα παραλείψουμε στοιχεία όπως το κόστος της ανεμογεννήτριας, το κόστος εγκατάστασης και το κόστος για το προσωπικό καθώς παραμένουν σε κάθε περίπτωση ίδια, ανεξάρτητα από τις μεταβολές που μελετήσαμε και φάνηκαν στα παραπάνω διαγράμματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι τιμές που υπολογίζουμε να μην είναι οι πραγματικές τιμές ενός συστήματος, καθώς δεν έχουν ληφθεί υπόψη αρκετοί παράγοντες, αλλά να μας δίνουν σημαντικά αποτελέσματα που αφορούν το μέγεθος της μπαταρίας και της μονάδας αφαλάτωσης.

Στους επόμενους πίνακες φαίνονται τα οικονομικά στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζουν μια εγκατάσταση αφαλάτωσης με χρήση αντίστροφης όσμωσης, από τους οποίους πήραμε τις απαιτούμενες τιμές.

Παραγωγή νερού (m ³ /ημέρα)	Ονομαστική Ισχύς Μονάδας Αφαλάτωσης (KW)	Αρχικό Κόστος (€)	Κατανάλωση Ενέργειας (KWh/ m ³)	Κόστος Χημικών (€/ m ³)	Κόστος Μεμβρανών (€)
18	11,56	24750	15,42	0,15	2500
24	15,75	33000	15,75	0,15	3000
48	31,50	46100	15,75	0,15	6000
72	39,25	67500	13,08	0,15	9000
96	40,00	75000	10,00	0,15	12000

Πίνακας 6.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά και στοιχεία κόστους εμπορικά διαθέσιμων μονάδων αντίστροφης όσμωσης

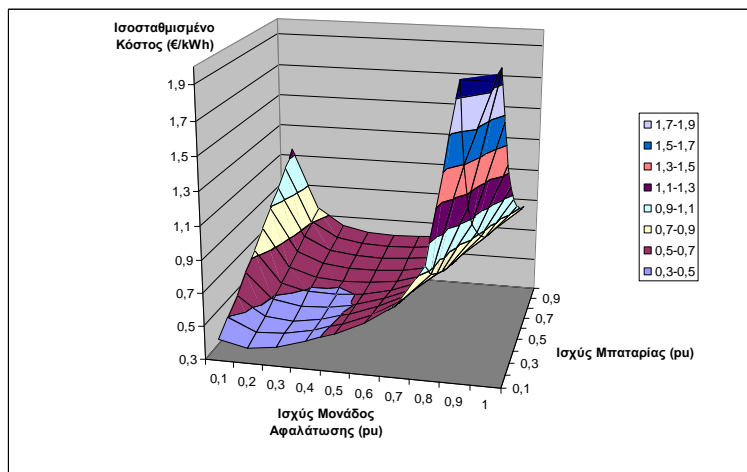
Ετήσιος Πληθωρισμός	8%
Κόστος Μπαταρίας (€/KWh)	160
Κόστος Ανεμογεννήτριας (€/KW)	1500-2500
Κόστος Αντιστροφέα (€/KW)	1000
Ετήσιο Κόστος Προσωπικού (€)	3000
Κόστος Εγκατάστασης Ανεμογεννήτριας	15% επί του κόστους της ΑΓ
Κόστος Εγκατάστασης Μονάδας Αντίστροφης Όσμωσης	10% επί του κόστους της μονάδας
Λοιπός Εξοπλισμός	5% επί του συνολικού αρχικού κόστους
Οικονομική Διάρκεια Ζωής της ΑΓ, της ΜΑ και τους Αντιστροφέα	20 έτη
Χρόνος Αντικατάστασης Μεμβράνων Αντίστροφης Όσμωσης	3 έτη
Χρόνος Αντικατάστασης Μπαταριών	5 έτη

Πίνακας 6.3: Βασικές παράμετροι κόστους των στοιχείων ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας

Επίσης, το κόστος για τον inverter που χρειάζεται για τη σύνδεση της συστοιχίας των μπαταριών με τον AC δίαυλο είναι της τάξης των 500 €/KW.

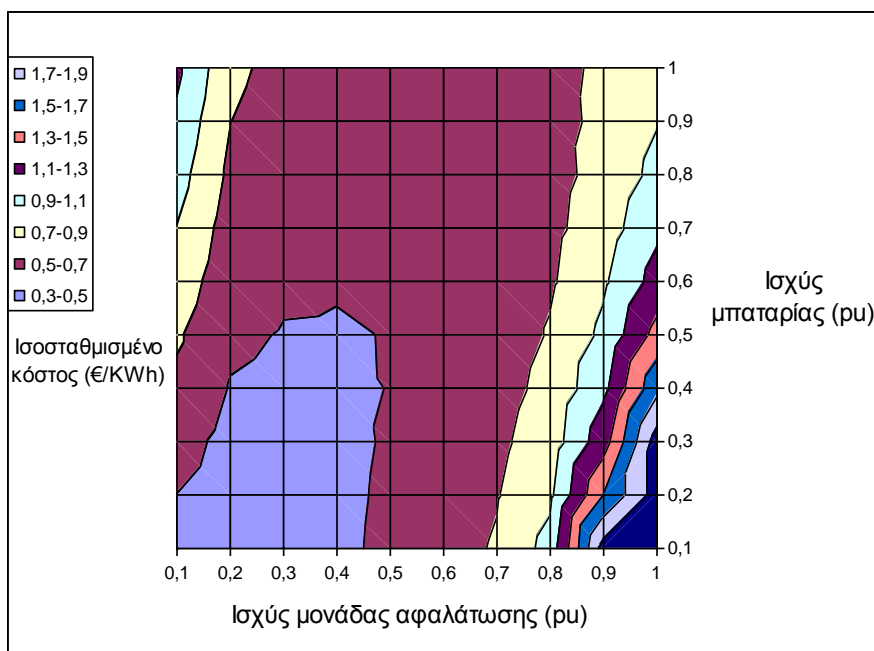
Για να βρούμε το ισοσταθμισμένο κόστος της ωφέλιμης ενέργειας σε €/KWh διαιρούμε το συνολικό κόστος της μπαταρίας και της μονάδας αφαλάτωσης με τη συνολική ωφέλιμη ενέργεια για τις αντίστοιχες τιμές.

Για τη μονάδα αφαλάτωσης θεωρήσαμε μια ενδεικτική τιμή κόστους ίση με 2000€/KW ενώ το κόστος της μπαταρίας αποτελείται από 2 συνιστώσες. Η πρώτη είναι το κόστος της ίδιας της μπαταρίας το οποίο ισούται με 160€/KWh και η δεύτερη είναι το κόστος του inverter το οποίο ισούται με 500€/KW. Από την προσομοίωση όλων των πιθανών καταστάσεων λειτουργίας για ονομαστικές ισχύεις μπαταρίας και μονάδας αφαλάτωσης από 0,1 έως 1 ru με βήματα του 0,1 ru βγαίνουν τα αποτελέσματα για τη συνάρτηση κόστους, όπως την περιγράψαμε παραπάνω, και με τη διαίρεση με την ωφέλιμη ενέργεια προκύπτει το ισοσταθμισμένο κόστος ωφέλιμης ενέργειας. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν τη θέση Α και απεικονίζονται στο επόμενο διάγραμμα.



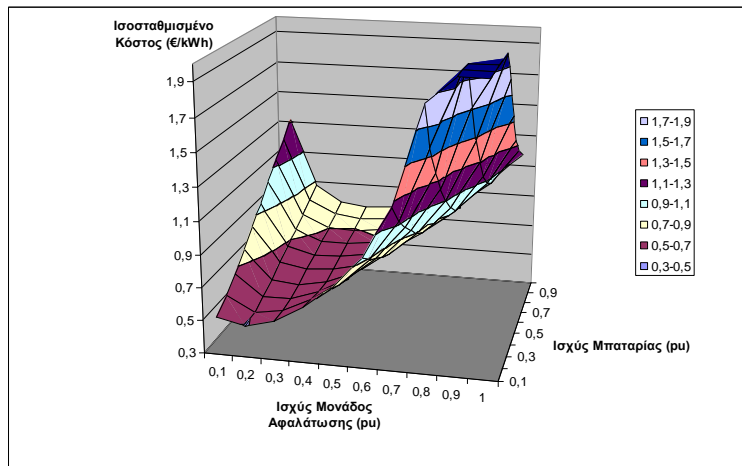
Σχήμα 6.27: Μεταβολή του ισοσταθμισμένου κόστους ωφέλιμης ενέργειας για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας και της μονάδας αφαλάτωσης (Θέση Α)

Στο Σχήμα 6.27 παρατηρούμε ότι το χαμηλότερο κόστος βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 0,1 έως 0,3ρμ για την ισχύ της μονάδας αφαλάτωσης και 0,1 έως 0,5 για την ισχύ της μπαταρίας. Το κόστος για την περιοχή που έχουμε τη μεγαλύτερη παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας, όπως είδαμε στο διάγραμμα 6.11, είναι της τάξεως των 0,5 έως 0,9 €/KWh.



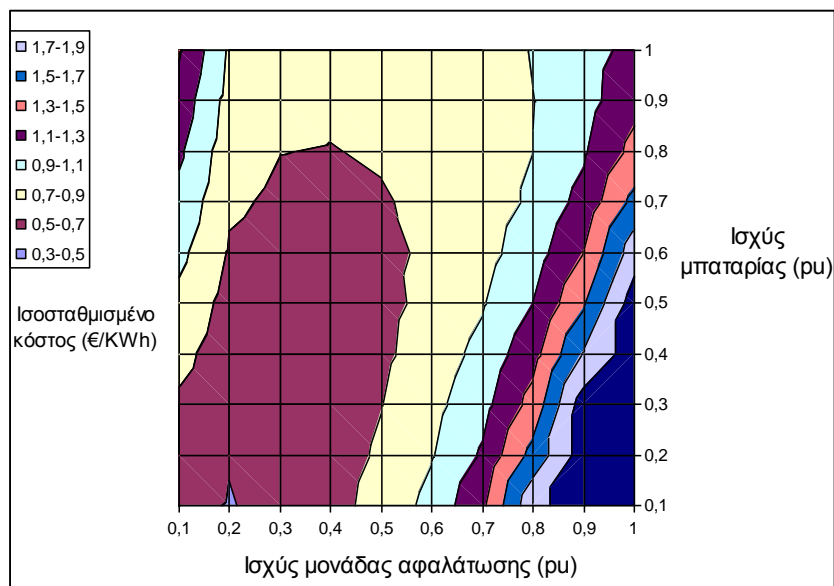
Σχήμα 6.28: Μεταβολή του ισοσταθμισμένου κόστους ωφέλιμης ενέργειας για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας και της μονάδας αφαλάτωσης (Θέση Α)

Στη συνέχεια παραθέτουμε το αντίστοιχο διάγραμμα με το ισοσταθμισμένο κόστος της ωφέλιμης ενέργειας για την περίπτωση της θέσης Β. Στην ουσία, τώρα θα δούμε πως επηρεάζει το αιολικό δυναμικό το κόστος καθώς όλες οι υπόλοιπες παράμετροι του συστήματος είναι ίδιες.



Σχήμα 6.29: Μεταβολή του ισοσταθμισμένου κόστους ωφέλιμης ενέργειας για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας και της μονάδας αφαλάτωσης (Θέση Β)

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των 2 θέσεων, με το διαφορετικό αιολικό δυναμικό, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το ισοσταθμισμένο κόστος ωφέλιμης ενέργειας για την περίπτωση της θέσης Β είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο κόστος της Α. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς λόγω του χαμηλότερου δυναμικού του ανέμου στη Β παράγεται λιγότερη ωφέλιμη ενέργεια. Έτσι, κατά τον υπολογισμό του κόστους, ο αριθμητής που μας δίνει την τιμή σε € παραμένει ίδιος αλλά ο παρονομαστής που περιλαμβάνει την ενέργεια σε kWh είναι εμφανώς χαμηλότερος με αποτέλεσμα το ισοσταθμισμένο κόστος να είναι αυξημένο.



Σχήμα 6.30: Μεταβολή του ισοσταθμισμένου κόστους ωφέλιμης ενέργειας για μεταβολή της ονομαστικής ισχύος της μπαταρίας και της μονάδας αφαλάτωσης (Θέση Β)

6.8.6 Γενικά συμπεράσματα

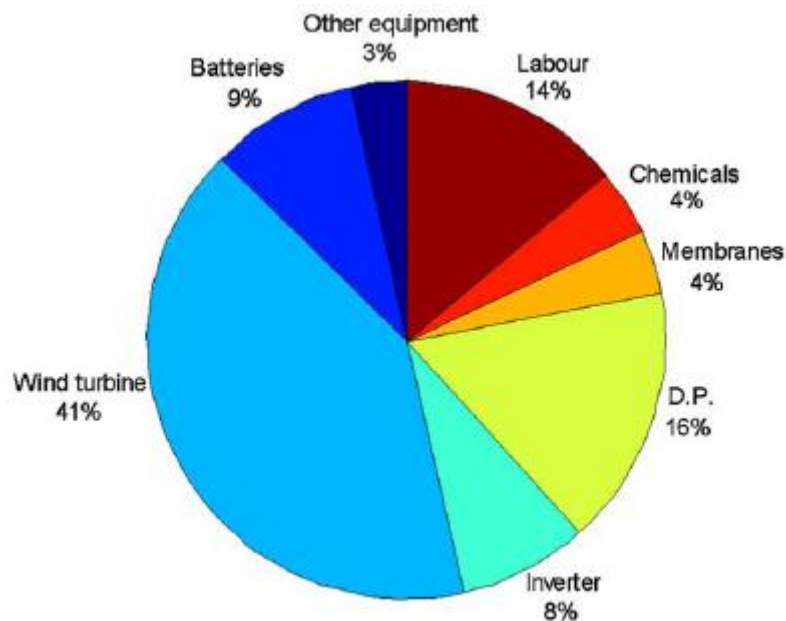
Από τα παραπάνω διαγράμματα οδηγήσαμε στο πολύ σημαντικό συμπέρασμα, ότι, αν εξαιρέσουμε κάποιες γενικές κατευθύνσεις, δε μπορούμε να γνωρίζουμε εκ των προτέρων το πως θα επηρεαστεί το κόστος της μονάδας από τους κρίσιμους παράγοντες του. Το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται πάντα από τις τοπικές συνθήκες, όπως το αιολικό δυναμικό, οι

υποδομές κ.τ.λ.. Η ελαχιστοποίηση του κόστους μπορεί να γίνει μονάχα προσαρμόζοντας την τεχνικοοικονομική μελέτη στις απαιτήσεις της κάθε περιοχής και όχι χρησιμοποιώντας γενικούς κανόνες.

Οι γενικές κατευθύνσεις που αφορούν τη συμπεριφορά και τη λειτουργία ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας είναι οι παρακάτω:

- Ο πιο αποτελεσματικός και οικονομικός τρόπος για την αύξηση της παραγωγής νερού είναι με τη χρήση μεγαλύτερης ΜΑ και όχι με μεγαλύτερη ΑΓ.
- Κάποια μορφή πρόβλεψης αιολικών συνθηκών απαιτείται ώστε να μειωθεί ο αριθμός των Ε/Δ.
- Το μέγεθος της μπαταρίας πρέπει να είναι το ελάχιστο ώστε να εξασφαλίσει περιορισμένη αυτονομία και κανονικό κλείσιμο της μονάδας σε περίπτωση έλλειψης ανέμου.
- Γενικός κανόνας του σχετικού μεγέθους της ισχύος της ΑΓ και της Μ.Α. είναι 3:2 με 3:1 ανάλογα και με τις τοπικές συνθήκες που επικρατούν.
- Με κατάλληλο έλεγχο, σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό μπορούν να επιτευχθούν συντελεστές πλήρωσης της τάξης του 60%.

Παρακάτω απεικονίζονται, γραφικά, τα ποσοστά που καταλαμβάνουν τα επιμέρους στοιχεία κόστους κάθε τμήματος ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας.



Σχήμα 6.31: Στοιχεία κόστους κάθε τμήματος ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας

Το κόστος του εξοπλισμού είναι το 75% περίπου του συνολικού κόστους με το κόστος της ΑΓ να είναι περίπου το μισό από αυτό. Σημαντικό μέρος καταλαμβάνει και το κόστος για το εργατικό δυναμικό μιας και αποτελεί το 14% του συνολικού κόστους. Αυτό οφείλεται στο ότι απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό λόγω της πολυπλοκότητας των σφαλμάτων των μεμβρανών που μπορούν να συμβούν.

7 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

7.1 Παραδείγματα αφαλάτωσης σε παγκόσμιακλίμακα

Η ιστορία της αφαλάτωσης ξεκινάει από πολύ παλιά. Οι πρώτες προσπάθειες για αφαλάτωση του νερού έγιναν από τους αρχαίους χρόνους έως και το Μεσαίωνα, ενώ το 1675 κατατέθηκε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μία συσκευή απόσταξης θαλάσσιου νερού για την παραγωγή πόσιμου νερού. Από τότε και έως τις αρχές του 20^{ου} αιώνα η πρόοδος ήταν σχετικά αργή. Το ενδιαφέρον έγινε έντονο μετά το τέλος του 2^{ου} Παγκοσμίου πολέμου, όπου τα επόμενα χρόνια σημειώθηκε ραγδαία αύξηση και βελτίωση των τεχνικών και εφαρμογών αφαλάτωσης. Σήμερα λειτουργούν περίπου σε όλο τον κόσμο 9000 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με συνολική παροχή περίπου 18.700.000m³/day.

Το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι έντονο στη Βορειοδυτική Κίνα, τη δυτική και νότια Ινδία, σε μεγάλα τμήματα του Πακιστάν και του Μεξικού, και στις δυτικές ακτές των ΗΠΑ και την Νότιας Αμερικής.

Αυστραλία: Στη Δυτική Αυστραλία υπάρχουν αρκετά υπόγεια νερά, υφάλμυρα με περιεκτικότητα σε αλάτι περίπου 0,3%. Παρόμοιες συνθήκες επικρατούν στο New South Wales και στη Νότια Αυστραλία. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν παντού έντονη, οπότε θα μπορούσε να γίνει αξιοποίηση των υπόγειων νερών με τη βοήθεια ηλιακών αποστακτών. Έχει αποδειχθεί ότι η ηλιακή απόσταξη στην Αυστραλία αποτελεί την οικονομικότερη μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού. Η μεγαλύτερη αποστακτική εγκατάσταση αξιοποίησης υφάλμυρων νερών στην Αυστραλία βρίσκεται στο Coober Pedy στα νότια της ηπείρου. Οι αποστακτήρες καλύπτονται από γυάλινη επιφάνεια 3,8km². Η μονάδα ξεκίνησε τη λειτουργία της το Νοέμβριο του 1966 και εξυπηρετεί ένα μικρό συνοικισμό εργατών μεταλλείων. Το πρωτογενές νερό προέρχεται από βάθος 70m με περιεκτικότητα σε αλάτι 2,4%.

Ανταρκτική: Στο Davis Basis λειτουργεί ηλιακός αποστακτήρας ο οποίος τροφοδοτείται από δεξαμενή χωρητικότητας 70lt γεμάτη με αλατόνερο από όπου η τροφοδοσία περνά σε ένα ρηχό δοχείο κατασκευασμένο από μαύρο πλαστικό υλικό καλυμμένο με ένα ημισφαιρικό γυάλινο κάλυμμα. Η συσκευή μπορεί να συναρμολογηθεί εντός 30 λεπτών, καθώς και κατάλληλα συσκευασμένη να ριχθεί με αλεξίπτωτα. Παράγονται περίπου 10 lt πόσιμο νερού την ημέρα.

Λιβύη: Στο Tobruk λειτουργεί συσκευή αφαλάτωσης βασισμένη στη διαδικασία παραγωγής γλυκού νερού με εξάτμιση και μετέπειτα συμπύκνωση. Η εγκατάσταση παρέχει 10 μετρικούς τόνους νερού ημερησίως, υπάρχει όμως μια μικρή ποσότητα άλατος.

Ισραήλ: Οι απαιτήσεις σε γλυκό νερό ανέρχονται ετησίως περίπου στα 1,8 δισεκατομμύρια m³. Ο καθηγητής A. Kogan ανέπτυξε μια νέα οικονομική μέθοδο ηλιακής αφαλάτωσης για την λύση του προβλήματος. Η μέθοδος Kogan- Rose υλοποιείται σε δύο φάσεις:

Στην πρώτη φάση το θαλασσινό νερό που έχει θερμανθεί από τον ήλιο συμπυκνώνεται με συσκευή αντιρροής όπου ψυχρό ρεύμα αφαλατωμένου νερού ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Έτσι το ρεύμα του θαλασσινού νερού γίνεται ψυχρότερο προς την κατεύθυνση ροής του αφήνοντας αλάτι, ενώ το αφαλατωμένο νερό γίνεται θερμότερο.

Στη συνέχεια η θερμότητα που έχει απορροφηθεί από το αφαλατωμένο ρεύμα, επανακτάται με εναλλάκτη θερμότητας.

Τουρκμενία: Στην Τουρκμενία, τη νοτιότερη Σοβιετική Δημοκρατία της Μέσης Ασίας, ολικής επιφάνειας 488.100 km² βρίσκεται η αμμώδης έρημος Karakum, με επιφάνεια 350.000 km². Η έρημος είναι ολοκληρωτικά εκτεθειμένη στον ήλιο και τους ανέμους. Δια μέσου των αιώνων έχουν συσσωρευτεί τεράστιες αλυσιδές φυσικών προχωμάτων και λόφων. Έχει 250 ημέρες ηλιοφάνεια και απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία +49°C, με απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία 32°C. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν εκτεταμένες εγκαταστάσεις άρδευσης, το πρόβλημα της ύδρευσης των πόλεων και των χωριών της Τουρκμενίας παραμένει έντονο. Για το λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί σε μεγάλη έκταση στην έρημο της Τουρκμενίας εγκαταστάσεις μετατροπής του υπόγειου αλμυρού νερού της ερήμου, σε πόσιμο, με χρήση της ηλιακής ενέργειας.

Ιαπωνία: Λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης με ημερήσια παροχή 6.300 εκατομμύρια λίτρα.

Το 1995 υπήρχαν παγκοσμίως πάνω από 11.000 μονάδες αφαλάτωσης - τα δύο τρίτα από αυτές στη Μ. Ανατολή, κυρίως στη Σαουδική Αραβία – με συνολική απόδοση 7,4 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού το χρόνο. Μερικές χώρες που αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα έλλειψης νερού, όπως το Ισραήλ, έχουν αναπτύξει καλλιέργειες σε ξηρό περιβάλλον, με εξαιρετικά περιορισμένα αποθέματα νερού, που είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι. Στον πίνακα (Εικόνα 7.1) βλέπουμε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, χωρητικότητας μεγαλύτερης των 10m³ που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τοποθεσία	νερό τρο-φοδότησ.	τεχνολογία αφαλάτωσης	χωρητι. m ³ /d	τεχνολογία ανανασ.	χαρακτη-ριστικά
Bouzeah, Αλγερία	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	20,0	φωτοβολταϊκά	2.74 kW-peak
El-Hamrawin Αίγυπτος	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	80.0	φωτοβολταϊκά	25.9 kW
CEN, Cad-rach, Γαλλία	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	60.0	επίπεδοι συλλέκτες	
Borkum Island, Γερμανία	θαλάσσιο	μηχανική ε-πανασυμπιέ.	7,2 - 48	αιολική	45 kW, maximum
Ruegen Island, Γερμανία	θαλάσσιο	μηχανική ε-πανασυμπιέ.	48- 360	αιολική	300 kW, maximum
Trisai Center, Γαλλία	αλμυρό	θερμική επανασυμπιέση	184.4	επίπεδοι συλλέκτες	25.000 m ²
Cituis, Δυτική Λίβια	θαλάσσιο	αντίστροφη ώσμωση	36	φωτοβολταϊκά	19.2 kW-peak
Takami Island Ιαπωνία	θαλάσσιο	16-βαθμίδες MSF	16	επίπεδοι συλλέκτες	
Kunvuit, Κατάρ	θαλάσσιο	12-βαθμίδες MSF	100.0	παραβολικός σκάφ.	220 m ²
Κατάρ	θαλάσσιο	MSF	20,0	ηλιακή λίμνη	
Platforma Al-meria, Ισπανία	θαλάσσιο	14-βαθμίδες MED	172.8	παραβολικός σκάφ.	2672 m ²
Almeria, Ισπανία	θαλάσσιο	αντίστροφη ώσμωση	60.0	φωτοβολταϊκά	836 m ²
Umm-Al Nar, Abu-Dabi, UAE	θαλάσσιο	18-βαθμίδων MEB	100-120	συλλέκτες κενού	1862 m ²
El-Raso, Texas, USA	αλμυρό	24-βαθμίδων MEB	19,0	ηλιακή λίμνη	3355 m ²
Υπό κατασκευή					
Λιβύη	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	1000	φωτοβολταϊκά	
Λιβύη	θαλάσσιο	ME	500	παραβολικοί συλλέκτες	
Λιβύη	αλμυρό	αντίστροφη ώσμωση	2000	αιολική	

Εικόνα 7.1: Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, χωρητικότητας μεγαλύτερης των 10m³ που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Χιλή: Η πρώτη μεγάλη εγκατάσταση ηλιακής απόστασης κατασκευάστηκε το 1872 από το Σουηδό μηχανικό Carlos Wilson στο Las Salinas της Χιλής για να εφοδιαστούν οι ανθρακωρύχοι με πόσιμο νερό. Η έλλειψη πόσιμου νερού ήταν ιδιαίτερα έντονη σε ύψος 1.400 m και σε απόσταση 120 km από το λιμάνι Antofagasta. Υπήρχε νερό με περιεκτικότητα άλατος μόνο 14%. Έτσι κατασκευάστηκε ηλιακός αποστακτήρας με 60 δοχεία που το καθένα είχε διαστάσεις 1,20m x 60cm, με τον οποίο επιτεύχθηκε μέση απόδοση 22.500 λίτρων απεσταγμένου νερού την ημέρα. Σε επιφάνεια 1m αντιστοιχούσε μέση απόδοση 4,6 λίτρων. Η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια σε αυτό το υψόμετρο υπολογίστηκε σε 8.000 kcal ανά m² την ημέρα. Με αυτό τον τρόπο ο αποστακτήρας είχε βαθμό απόδοσης 35%. Ο αέρας είχε θερμοκρασία 60°C όταν ο ήλιος βρισκόταν στο ζενίθ, πράγμα που μείωνε την απόδοση. Στο

Coya Sur της Χιλής το 1951 κατασκευάστηκε μεγαλύτερη εγκατάσταση αποτελούμενη από 10 δοχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα επιφανείας 44.000m². Σε αυτή την εγκατάσταση εξατμίζονται κατά μέσο όρο 236.000 λίτρα νερού την ημέρα για να συμπυκνωθούν διαλύματα νιτρικού οξέως.

Η πρόοδος στο πεδίο των ηλιακών αποστακτήρων συζητήθηκε το Νοέμβριο του 1955 από 800 ειδικούς που ήρθαν από 35 χώρες στο συνέδριο ηλιακής ενέργειας στο Phoenix και Tucson της Πολιτείας Αριζόνα των ΗΠΑ. Παρουσιάστηκαν 8 σχέδια εγκαταστάσεων. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στα σχέδια του R.P Lappala του ερευνητικού εργαστηρίου Bjorkston της Φιλανδίας καθώς και της καθηγήτριας Dr. Telkes από τη Νέα Υόρκη.

Η καινοτομία του Lappala ήταν η κάλυψη των επιφανειών συμπύκνωσης του αποστακτήρα με λεπτό φύλλο από πολυμερισμένη πολυβινυλική αλκοόλη. Ο διαποτισμός της επιφάνειας επιτάχυνε τη συμπύκνωση.

Αίγυπτος: Ο Theodor Ziem ανέπτυξε στην Αίγυπτο μια μέθοδο για την απόσταξη του νερού και άλλων υγρών χωρίς ανακλαστήρες και συλλέκτες. Λόγω της απλότητας της βρήκε σύντομα οπαδούς.

Η αρχή λειτουργίας ήταν η ακόλουθη:

Το προς απόσταξη διάλυμα έμπαινε μέσα σε Η.Α. σχήματος κιβωτίου. Η βάση και τα τοιχώματα του Η.Α. ήταν καλά μονωμένα, και το κάλυμμα ήταν από τζάμι που είχε αυλακώσεις και ήταν τοποθετημένο με κλίση ως προς το επίπεδο του πυθμένα. Η ηλιακή ακτινοβολία θέρμαινε το εσωτερικό του αποστακτήρα σε τέτοιο βαθμό ώστε να παράγονται ατμοί. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία ήταν μικρότερη της εσωτερικής τότε οι παραγόμενοι ατμοί συμπυκνώνονταν πάνω στο γυάλινο κάλυμμα. Έτσι το πρόβλημα της ξηρασίας της ερήμου ο Ziem το έλυσε με τον εξής τρόπο: Μέσα στον αποστακτήρα έβαλε ένα πολύ υγροσκοπικό αλάτι (χλωριούχο ασβέστιο). Το βράδυ αφαιρούσε το κάλυμμα και το υγροσκοπικό αλάτι απορροφούσε την ατμοσφαιρική υγρασία σχηματίζοντας με αυτήν διάλυμα. Την ημέρα τοποθετούσε το κάλυμμα και ο ήλιος απόσταζε το νερό του διαλύματος, ξεραιίνοντας και πάλι το αλάτι.

ΗΠΑ:

- Από τους τεχνικούς του στρατού των ΗΠΑ επινοήθηκε ένας απλός φορητός ηλιακός αποστακτήρας, με κύρια χρήση τον εξοπλισμό των σωσιβίων λέμβων. Η συσκευή αποτελείται από πέντε υπερκείμενα στρώματα από διαφορετικά υλικά, εκταμένα σε λεπτό πλαίσιο. Το πάνω στρώμα είναι πλαστικό φύλλο, το δεύτερο είναι χοντρό χαρτόνι κρεπ, το τρίτο είναι από υδρόφιλο υλικό, το τέταρτο αλουμίνιο και το πέμπτο είναι ένα κομμάτι ύφασμα. Ο αποστακτήρας ποτίζεται με θαλασσινό νερό και στη συνέχεια εκτίθεται στο ηλιακό φως, με αποτέλεσμα το νερό να εξατμιστεί λόγω της παραγόμενης θερμότητας. Έπειτα συμπυκνώνεται επάνω στο φύλλο του αλουμινίου γλυκό νερό.

- Ο William Rhodes τροποποίησε τον Η.Α. της καθηγήτριας Maria Telkes. Το δοχείο συμπύκνωσης που μοιάζει με θερμοκήπιο σκεπασμένο με γυαλί, το κατασκεύασε από ανοξείδωτο χάλυβα για να είναι στεγανό. Στο δοχείο αποθήκευσης υπάρχει αγωγός από νεοπρένιο. Η εγκατάσταση ήταν ακριβότερη από μια με ξύλινα δοχεία άλλα ήταν πιο αξιόπιστη και φθηνότερη από τις συμβατικές συσκευές απόσταξης.

- Μικροσκοπική συσκευή που αφαιρεί το αλάτι από το θαλασσινό νερό κατάφεραν να κατασκευάσουν επίσης αμερικανοί επιστήμονες, ανοίγοντας το δρόμο για τη δημιουργία φτηνών, μικρής κλίμακας, φορητών εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, που θα μπορούν να λειτουργούν ακόμη και με μπαταρίες. Κάτι τέτοιο θα ήταν πολύτιμο για τις περιοχές που

πλήττονται από την ξηρασία, αλλά και σε περιπτώσεις καταστροφής του δικτύου ύδρευσης, κυρίως σε φτωχές χώρες.

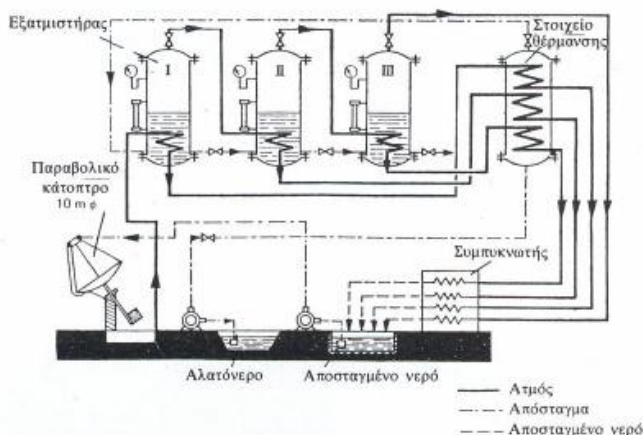
Η ανακάλυψη πραγματοποιήθηκε από ερευνητές του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Επιστήμης των Υπολογιστών του αμερικανικού πανεπιστημίου MIT. Μέχρι τώρα, οι μεγάλες συμβατικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, που εφαρμόζουν την τεχνολογία της "αντίστροφης όσμωσης", δημιουργώντας πόσιμο νερό για ολόκληρες πόλεις, υποχρεώνουν το θαλασσινό νερό να διέλθει μέσω μιας μεμβράνης, η οποία κρατά το αλάτι. Όμως η διαδικασία είναι ενεργοβόρα και η μεμβράνη συχνά φράζει, ενώ οι εγκαταστάσεις είναι ογκώδεις, στάσιμες και ακριβές. Η νέα τεχνολογία υπόσχεται αφαλάτωση από φορητές, φθηνές και ενεργειακά "ολιγαρκείς" συσκευές και βασίζεται στην αποκαλούμενη πώλωση της συγκέντρωσης των ιόντων, που λαμβάνει χώρα όταν ένα ρεύμα φορτισμένων ιόντων περνάει μέσα από ένα "κανάλι" επιλογής των ιόντων. Κατά μήκος του καναλιού, υπάρχει ένα ηλεκτρικό δυναμικό που απωθεί τα φορτισμένα σωματίδια. Έτσι, αναγκάζει το υγρό να διαχωριστεί σε δύο ρεύματα, ένα με φορτισμένα και ένα με ουδέτερα σωματίδια. Όταν το θαλασσινό νερό διέρχεται μέσω της μεμβράνης-καναλιού, τα ιόντα του άλατος, καθώς επίσης οι τυχόν ιοί και οι άλλοι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο νερό, ωθούνται στο πλάι. Έτσι, το πιο αλατισμένο νερό απομονώνεται και μένει μόνο το αφαλατωμένο νερό, που περνάει μέσα από τη μεμβράνη στην άλλη πλευρά. Το ποσοστό απόδοσης της συσκευής είναι 50%, δηλαδή αφαλατώνεται το μισό από το νερό που αρχικά χρησιμοποιείται.

Οι ερευνητές κατόρθωσαν να φτιάξουν ένα νανοσίπ με εμβαδόν μόλις λίγων τετραγωνικών χιλιοστών, το οποίο αφαλατώνει δέκα μικρολίτρα νερού το λεπτό. Όμως πολλά τέτοια νανοσιπάκια μπορούν να συνδυαστούν σε μια μεγαλύτερη συσκευή ή εγκατάσταση αφαλάτωσης, που θα έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές. Σύμφωνα με τους επιστήμονες, θα χρειαστεί να ενωθούν 1.600 τέτοια νανοσίπ πάνω σε μια ενιαία επιφάνεια, για να αφαλατώνουν 0,3 Lt νερού ανά λεπτό.

Σοβιετική Ένωση: Στη Σοβιετική Ένωση πάνω από ένα εκατομμύριο τετραγωνικά χιλιόμετρα είναι άγονα. Για την άρδευση αυτών των περιοχών πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια. Ο καθηγητής baum στην Τασκένδη κατασκεύασε παραβολοειδείς ανακλαστές που χρησιμοποιούνται για αφαλάτωση του νερού με απόσταξη, ή με ψύξη και παγοποίηση.

Οι αποστακτήρες του καθηγητή Baum βασίζονται στην αρχή της επανάκτησης της λανθάνουσας θερμότητας. Ο ατμός που παράγεται με την ηλιακή ενέργεια, αντί να συμπυκνωθεί στα τζάμια των παραθύρων διοχετεύεται σε εναλλάκτη θερμότητας που ψύχεται με υφάλμυρο νερό. Κατά τη συμπύκνωση ο ατμός αποδίδει τις «θερμίδες εξάτμισης» του και ζεσταίνει το νερό που διαρρέει τον εναλλάκτη. Ο ατμός που παράγεται στη βαθμίδα αυτή, συμπυκνώνεται σε άλλον εναλλάκτη που αποτελεί την επόμενη βαθμίδα.

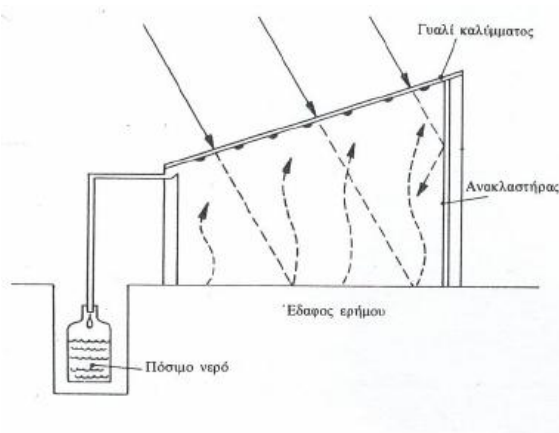
Στην Εικόνα 7.2 παρατηρούμε μια εγκατάσταση 3 βαθμίδων



Εικόνα 7.2: Εγκατάσταση αφαλάτωσης 3 βαθμίδων

Γαλλία: Μια σημαντική εγκατάσταση απόσταξης κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που κατασκευάστηκε στη Γαλλία σε βιομηχανική κλίμακα.

Η εγκατάσταση λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο: Μια μεγάλη λεκάνη στεγανοποιημένη ως προς το περιβάλλον, περιέχει το προς απόσταξη νερό και έχει σα βάση ένα μεταλλικό πλαίσιο με υαλοπίνακα. Με την επίδραση των ηλιακών ακτινών το νερό εξατμίζεται σιγά-σιγά και έπειτα συμπυκνώνεται στους υαλοπίνακες που παραμένουν περίπου στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το αποσταγμένο νερό τρέχει στα τζάμια που είναι υπό κλίση και συγκεντρώνεται σε μια εκροή που βρίσκεται πάνω από κάθε τζάμι. Για τη μεταφορά του το πλαίσιο λύνεται σε τέσσερα μέρη. Τα τζάμια είναι στεγανά. Υπάρχει ένα εξωτερικό αυλάκι για τη συλλογή του απεσταγμένου νερού από τις διάφορες εκροές καθώς και μία διάταξη για το γέμισμα και άδειασμα της λεκάνης που χρησιμεύει και σαν υπερχειλίση. Το αποσταγμένο νερό με αυτή την συσκευή ήταν απόλυτα απαλλαγμένο από άλατα.



Εικόνα 7.3: Ηλιακός αποστακτήρας του Kobayashi

Ο διευθυντής Kobayashi του Ιαπωνικού Ινστιτούτου Ηλεκτρικών Ερευνών στο Kawasaki πρότεινε την παραπάνω διάταξη (Εικόνα 7.3).

Ο αποστακτήρας στηρίζεται σε οριζόντιο έδαφος στο οποίο ανοίγεται μια οπή. Η ηλιακή ενέργεια εξατμίζει την υγρασία του χώματος η οποία συμπυκνώνεται στο γυάλινο κάλυμμα και συγκεντρώνεται σε ειδικό δοχείο.

Η αναπλήρωση της εξατμισμένης υγρασίας στο χώμα γίνεται με το μηχανισμό της τριχοειδούς αναρρίχησης, χάρη στα υπόγεια νερά τα οποία πρακτικά βρίσκονται παντού. Η απόδοση της συσκευής δεν είναι μεγάλη αλλά φτάνει για να ικανοποιήσει τις ανάγκες ενός ατόμου στην έρημο. Και τη νύχτα μπορεί να συγκεντρωθεί νερό από το έδαφος με τη βοήθεια του καλύμματος του αποστακτήρα που την ημέρα πρέπει να βρίσκεται κάθετα προς την ηλιακή ακτινοβολία, επειδή το έδαφος διαθέτει ακόμα πολλή θερμότητα.

Κύπρος:

A. Μονάδα Αφαλάτωσης Δεκέλειας

Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης μεγάλης δυναμικότητας που λειτουργεί στην Κύπρο είναι αυτή της Δεκέλειας όπου χρησιμοποιείται η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης. Η Μονάδα Αφαλάτωσης Δεκέλειας λειτούργησε την 1η Απριλίου 1997, με δυναμικότητα 20.000 κυβικά μέτρα νερού την ημέρα, ενώ από τις 18 Μαΐου 1998, η δυναμικότητα της Μονάδας αυξήθηκε στα 40.000 κυβικά μέτρα. Το παραγόμενο νερό καλύπτει τις υδρευτικές ανάγκες της ελεύθερης περιοχής Αμμοχώστου, μέρος των αναγκών της Λάρνακας και μέρος των αναγκών της Λευκωσίας.

Λειτουργία της Μονάδας

Η εισαγωγή του νερού γίνεται με αντλίες μέσω αγωγού διαμέτρου 1.200 χιλιοστομέτρων και μήκους 500 μέτρων. Στο σημείο αυτό υπάρχει σχάρα για να αποφεύγεται η είσοδος ψαριών και άλλων φυτικών ουσιών στον αγωγό. Μετά από χλωρίωση με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου και διόρθωση της οξύτητας (pH) με θειικό οξύ, το θαλάσσιο νερό περνά μέσα από πιο πυκνά πλέγματα και αντλείται προς τη Μονάδα που βρίσκεται σε υψόμετρο 17 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Κατά μήκος της γραμμής αυτής αρχίζει και η διαδικασία της συσσωμάτωσης των κολλοειδών/οργανικών ουσιών του θαλάσσιου νερού με την προσθήκη χλωριούχου σιδήρου και πολυηλεκτρολύτη. Στη συνέχεια το νερό περνά μέσα από φίλτρο άμμου για την κατακράτηση των αιωρούμενων στερεών πάνω από κάποιο μέγεθος. Τα φίλτρα αυτά, δώδεκα στο σύνολο, είναι κατασκευασμένα από στρώματα χαλικιού, άμμου και ανθρακίτη. Το φιλτραρισμένο θαλάσσιο νερό αντλείται σε ειδικά φίλτρα πολυπροπυλενίου.

Σκοπός των φίλτρων αυτών είναι να κατακρατήσουν όλες τις στερεές ουσίες μεγέθους μεγαλύτερου των $1\mu\text{m}$ ($1 \cdot 10^{-6}\text{m}$) που θα προκαλούσαν ζημιά στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. Στην εισαγωγή των φίλτρων αυτών γίνεται διόρθωση της οξύτητας και στην έξοδο τους αποχλωρίωση του νερού με θειοθειούχο νάτριο, γιατί οι μεμβράνες καταστρέφονται στην παρουσία ελεύθερου χλωρίου. Κατόπιν, το νερό τροφοδοτείται στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης με αντλίες υψηλής πίεσης όπου και αφαλατώνεται. Κάθε γραμμή μεμβράνων έχει δυναμικότητα 5.000 κυβικών μέτρων την ημέρα και μπορεί να έχει μέχρι 160 μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης. Η ανάκτηση στις μεμβράνες είναι 50%.

Το αφαλατωμένο πλέον νερό οδηγείται σε δεξαμενή όπου γίνεται προσθήκη ειδικά επεξεργασμένου ασβέστη σε συνδυασμό με διοξείδιο του άνθρακα, για την τελική διόρθωση της οξύτητας και την αύξηση της σκληρότητας του παραγόμενου νερού. Τέλος, γίνεται η τελική χλωρίωση και μεταφέρεται σε δεξαμενή του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων, χωρητικότητας 2.500 κυβικών μέτρων, όπου και αντλείται για χρήση από τους καταναλωτές.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

- 7.1.1 Ημερήσια δυναμικότητα: 40.000 κυβικά μέτρα / ημέρα.
- 7.1.2 Ετήσια δυναμικότητα: 14.600.000 κυβικά μέτρα / χρόνο.
- 7.1.3 Ελάχιστη ημερήσια δυναμικότητα: 36.000 κυβικά μέτρα / ημέρα.
- 7.1.4 Ελάχιστη ετήσια δυναμικότητα: 13.140.000 κυβικά μέτρα / χρόνο.
- 7.1.5 Πηγή ακατέργαστου νερού: Μεσόγειος θάλασσα.
- 7.1.6 Σύστημα εισαγωγής: Ανοικτή θάλασσα.
- 7.1.7 Ολικά διαλυμένα στερεά θαλάσσιου νερού: 40.570 mg/l.
- 7.1.8 Δυνατότητα ανάκτησης μονάδας: 50%.
- 7.1.9 Ροή νερού τροφοδοσίας: 3.332 κυβικά μέτρα / ώρα.
- 7.1.10 Ροή παραγόμενου νερού: 1.666 κυβικά μέτρα / ώρα.
- 7.1.11 Ολικά διαλυμένα στερεά παραγόμενου νερού: <500 mg/l.

Διυλιστήριο Αφαλάτωσης Λάρνακας

Το Διυλιστήριο Αφαλάτωσης Λάρνακας λειτούργησε τον Απρίλιο του 2001 από την ιδιωτική εταιρεία LWP (Larnaca Water Partners) και λειτουργεί όπως αναφέραμε σύμφωνα με το σύστημα BOOT. Η μονάδα παράγει γύρω στα 52.000 m³ την ημέρα.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια με αυτή της μονάδας αφαλάτωσης της Δεκέλειας οι διαφορές είναι ελάχιστες. Αναλυτικά τα τρία στάδια αναφέρονται πιο κάτω:

1ο στάδιο: Το νερό λαμβάνεται από τη θάλασσα με τη βοήθεια (3) τριών αντλιών που στεγάζονται στο αντλιοστάσιο του διυλιστηρίου και μεταφέρεται διαμέσου ενός αγωγού, διαμέτρου 1,200 μ. Λαμβάνονται από τη θάλασσα περίπου- συνήθως 4.400 τόνοι νερό την ώρα.

Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του νερού από το αντλιοστάσιο για την επεξεργασία προστίθεται θειικός σίδηρος, ο οποίος βοηθά στη συσσωμάτωση των στερεών σωματιδίων (suspended solids) σε σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου για την καλύτερη κατακράτηση τους. Επίσης σε αυτό το στάδιο προστίθεται και H₂SO₄ (θειικό οξύ) για τη ελάττωση του pH.

Ακολούθως το νερό με τη βοήθεια 6 αντλιών (2 εναλλακτικές) μεταφέρεται σε (12) δώδεκα φίλτρα βαρύτητας (gravity filters) όπου κατακρατούνται οι αδιάλυτες στερεές ουσίες (suspended solids) μέσω της βαρύτητας.

Από εκεί το νερό μεταφέρεται σε μια δεξαμενή και μετά με τη βοήθεια (9) εννέα αντλιών (Filtered sea water pumps) το φιλτραρισμένο θαλάσσιο νερό μεταφέρεται στα (12) Courtridge Filters όπου κατακρατούνται και πάλι οι στερεές ουσίες με διάμετρο μέχρι και 5 μm. Στα συγκεκριμένα φίλτρα γίνεται ταυτόχρονα και κατακράτηση πολλών βακτηρίων.

2ο στάδιο: Σε αυτό το στάδιο 4 αντλίες υψηλής πίεσης στέλνουν το νερό, με υψηλή πίεση περίπου 70-75 bar, στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης.

Υπάρχουν 6 συγκροτήματα μεμβρανών. Το κάθε συγκρότημα αποτελείται από 120 θαλάμους οι οποίοι περιέχουν 8 μεμβράνες ο κάθε ένας. Το κάθε συγκρότημα διυλίζει περίπου 350m³/h. Το νερό μεταφέρεται στη δεξαμενή όπου γίνεται ο εμπλουτισμός σε ασβέστιο και χλωρίνη.

Μια ποσότητα νερού περνά για δεύτερη φορά από ένα συγκρότημα μεμβρανών, με αποτέλεσμα το νερό να βγαίνει με πάρα πολύ μικρές συγκεντρώσεις ουσιών. Το νερό αυτό μεταφέρεται κατευθείαν στη δεξαμενή από την οποία φεύγει το νερό για το κρατικό διυλιστήριο της Τερσεφάνου.

Το νερό μπαίνει με αγωγιμότητα 55.000 και βγαίνει με αγωγιμότητα 700-750. Από εκεί, το νερό που περνά μέσα από μεμβράνες απαλλαγμένο πλέον από τα άλατα (permeate water) περνά στο 3ο στάδιο της διαδικασίας όπου γίνεται η τελική επεξεργασία (post treatment).

Το νερό το οποίο αποκόπτεται, δεν περνά από τις μεμβράνες (brine water) περιεκτικότητας περίπου 44.000 ppm σε Total Dissolved Solids δηλ. Άλατα επιστρέφει στη θάλασσα μαζί με τα χημικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την επεξεργασία του νερού.

3ο στάδιο: Στο τρίτο στάδιο γίνεται αραίωση του ασβεστίου με νερό, ο οποίος μεταφέρεται στη δεξαμενή της τελικής κατεργασίας.

Στο τέλος προστίθεται η χλωρίνη (για τελική συγκέντρωση 2,5 ppm με ένεση (injection) με τη βοήθεια μιας μικρής αντλίας προστίθεται επίσης θειικό οξύ.

Όταν η διαδικασία της αφαλάτωσης ολοκληρωθεί το νερό μπαίνει στο υδατικό δίκτυο και μεταφέρεται στο Τερσεφάνου. (B. Liberman, 2001)

7.2 Εφαρμογές στον Ελλαδικό χώρο

Η έλλειψη νερού αποτελεί ένα από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα σε όλη την περιοχή της Μεσογείου, καθώς συνδέεται άμεσα με το ξηρό κλίμα της περιοχής και τις αυξημένες ανάγκες από τον τουρισμό και τη γεωργία. Ο τουρισμός, η αστική ανάπτυξη, η σύγχρονη γεωργία, η βελτίωση της ποιότητας ζωής και η βιομηχανοποίηση οδηγούν στην εκτεταμένη χρήση των υδατικών πόρων. Το πρόβλημα μάλιστα αναμένεται να επιδεινωθεί τα επόμενα χρόνια, λόγω αλλαγών στις χρήσεις γης και κοινωνικο-οικονομικών μεταβολών, αλλά και λόγω της πιθανότητας μείωσης των βροχοπτώσεων, εξαιτίας των κλιματικών μεταβολών.

Η περιορισμένη ύπαρξη υδάτινων αποθεμάτων σε όλες τις παράκτιες μεσογειακές χώρες έχει οδηγήσει σε μια εξάντληση των υπόγειων αποθεμάτων, λόγω της υπεράντλησης. Το πρόβλημα όμως της διαχείρισης των υδατικών πόρων δεν είναι μόνο ποσοτικό (λειψυδρία) αλλά και ποιοτικό, ενώ συνδέεται και με τη διάβρωση, η οποία μειώνει την ικανότητα αποθήκευσης του νερού στο έδαφος.

Η ρύπανση και γενικά όλες οι ανειπιθύμητες ποιοτικές αλλαγές στους υδατικούς πόρους δεν είναι πάντοτε αναστρέψιμες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ο κίνδυνος υφαλμύρωσης των υπόγειων υδάτων και παράκτιων υδροφορέων (λόγω υπεράντλησης), ειδικά στις παράκτιες πεδινές γεωργικές εκτάσεις, και η άμεση ρύπανση πηγών νερού από τα απόβλητα (κυρίως υγρά), τα φυτοφάρμακα και τα χημικά λιπάσματα. Έτσι, παρατηρείται σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων. Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η Ελλάδα είναι το πρόβλημα της εισαγόμενης ρύπανσης, καθώς το 25% των επιφανειακών υδάτων της Ελλάδας προέρχεται από γειτονικές χώρες, μέσω των ποταμών Έβρου, Νέστου, Στρυμόνα και Αξιού.

Οι περιοχές της Μεσογείου και οι ακτές της Ευρώπης ή της Βόρειας Αφρικής έχουν αυξημένη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και μεγάλη ηλιοφάνεια κατά το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Η μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια κυμαίνεται ανάλογα με την τοποθεσία από 1800 έως 2100 kWh/m², ενέργεια η οποία θεωρείται κατάλληλη για δυαδικές εγκαταστάσεις παραγωγής τόσο ενέργειας, όσο και αφαλατωμένου νερού.

Επί πλέον τα περισσότερα νησιά της Μεσογείου όσο και οι ακτές διαθέτουν ελεύθερη εδαφική επιφάνεια που επιτρέπει εγκαταστάσεις αφαλάτωσης όλων των μεθόδων. Ως μία από τις πιο άνομβρες χώρες της Ευρώπης παρουσιάζεται η Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat, ενώ το 38% του νερού που αποταμιεύεται από τις βροχοπτώσεις μένει αναξιοποίητο.

Ειδικότερα στην Ελλάδα η λύση της ηλιακής απόσταξης προτιμάται για απόμακρες κοινότητες και περιοχές με έλλειψη νερού, όπως νησιωτικές. Σε συνδυασμό με το γεγονός των υψηλών επιπέδων ακτινοβολίας στα ελληνικά νησιά πολλούς μήνες το χρόνο, συστήματα ηλιακής απόσταξης που χρησιμοποιούν ηλιακούς συλλέκτες μπορούν αρκετά ικανοποιητικά και με πολύ καλά αποτελέσματα να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή όχι μόνο αφαλατωμένου νερού αλλά και ζεστού νερού χρήσης.

Τα νησιά που θεωρούνται άνυδρα, δηλαδή παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα λειψυδρίας είναι: Νίσυρος, Μείστη, Χάλκη, Αγαθονήσι, Λειψοί και Σύμη, Κίμωλος, Σαντορίνη, Τήνος, Ίος, Κέα, Κεφαλονιά, Ιθάκη, Κύπρος και Πάτμος.

Πρόβλημα επίσης εντοπίζεται και στη Θεσσαλία. Μόνο από πέρυσι τα αποθέματα σε Μαραθώνα, Υλίκη, Μόρνο και Εύηνο μειώθηκαν κατά 339 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, υπήρξε δηλαδή μια μείωση που έφτασε το 26,4%. Για την επιλογή της μεθόδου αφαλάτωσης θα πρέπει να προηγηθεί διεξοδική και εμπειριστατωμένη προκαταρκτική έρευνα κοινή για όλα τα νησιά. Αντικείμενο της ερευνητικής μελέτης θα είναι η συλλογή στοιχείων και εμπειρίας από τη διεθνή εφαρμογή της αφαλάτωσης, προκειμένου να επιλεγεί για τα νησιά η βέλτιστη μέθοδος. Στόχος είναι η ίδρυση νέων μονάδων αφαλάτωσης καθώς και η συντήρηση και αναβάθμιση των ήδη υπαρχόντων ώστε να δοθεί λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας.

Στην Ελλάδα στα νησιά Νίσυρος, Κίμωλος, Κεφαλονιά, Ιθάκη και Καστελόριζο υπάρχουν εγκαταστάσεις ηλιακής απόσταξης για την ύδρευση με πόσιμο νερό με μέση επιφάνεια εξάτμισης 2.450 m². Οι εγκαταστάσεις αυτές σχεδιάστηκαν να παράγουν ανάλογα με την κατασκευαστική διάταξη και το κλίμα από 7,5 μέχρι 15m² πόσιμο νερό ανά m² την ημέρα.

Η παλαιότερη μονάδα αφαλάτωσης στη νήσο Πάτμο είναι αρκετά μεγάλη. Σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και τέθηκε σε λειτουργία από τον καθηγητή Δρ. Α. Δεληγιάννη και τη σύζυγό του. Η μονάδα αυτή είχε επιφάνεια εξάτμισης 8,665m² και παρήγαγε κατά μέσο όρο 25.000 λίτρα νερού την ημέρα. Η δεξαμενή που ήταν γεμάτη με θαλασσινό νερό είχε επενδυθεί με μαύρο φύλλο βουτυλικού ελαστικού. Το περιεχόμενο θαλασσινό νερό που

επικαλυπτόταν με γυαλί είχε βάθος μόνο 2cm. Το θαλασινό νερό έφθανε τους 60-70°C με τη θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και αλλαζόταν κάθε 2-4 ημέρες ανάλογα με την εποχή του έτους. Η απομακρυσμένη άλμη είχε περιεκτικότητα σε αλάτι σχεδόν τριπλάσια από την αρχική.

Πριν την κατασκευή της μονάδας το πόσιμο νερό προερχόταν από τις βροχοπτώσεις και την προμήθεια από δεξαμενόπλοια.

Στα νησιά Σύμη και Αίγινα οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (που αργότερα σταμάτησαν να λειτουργούν) είχαν καλυφθεί με πλαστικό, ενώ στην Πάτμο με γυαλί. Σε σύγκριση με αυτές τις δύο πρωτοπόρους εγκαταστάσεις η εγκατάσταση της Πάτμου παρουσίαζε αξιοσημείωτες βελτιώσεις. Η κατασκευή του καλύμματος ήταν ανθεκτικότερη. Επίσης είχε δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε όλα τα μέρη να είναι επισκέψιμα. Η εγκατάσταση ήταν διαιρεμένη σε 71 μονάδες ανά 3,29 cm x 40m η καθεμία που συγκροτούνταν σε ομάδες. Ενώ στη Σύμη υπήρχε υπερχειλίση μέσα στον αποστακτήρα, στην Πάτμο η στάθμη της θάλασσας ελεγχόταν έξω από τη συσκευή. Έτσι αποφεύχθηκε ο σχηματισμός κρυστάλλων θειικού ασβεστίου στα διάφορα σημεία της δεξαμενής.

Το ΚΑΠΕ, το 2001, στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος, ανέπτυξε ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα αντίστροφης ώσμωσης για την αφαλάτωση θαλασινού νερού (Εικόνα 1). Το σύστημα αποτελείται από μονάδα Α/Ο με δυνατότητα ωριαίας παραγωγής πόσιμου νερού 130 λίτρα, ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 900 W, φωτοβολταϊκό σύστημα 3,96 kWp, ρυθμιστές φόρτισης, συσσωρευτές ενέργειας και δυο μετατροπείς ισχύος. Στο πλαίσιο του έργου αναπτύχθηκε επίσης λογισμικό πρόγραμμα για την παρακολούθηση και τη λειτουργία του συστήματος εξ αποστάσεως. Το σύστημα λειτουργεί από το 2001 με επιτυχία και με στόχο τη διάδοση και προώθηση τέτοιων συστημάτων σε απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές. Η μονάδα έχει εγκατασταθεί στο Αιολικό Πάρκο του ΚΑΠΕ στην Κερατέα.

Στην Ελλάδα, δύο από τις πιο πρόσφατες εφαρμογές αφορούν στην ανάπτυξη και εγκατάσταση συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης με ΑΠΕ στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητας (Μέτρο 6.3 και Μέτρο 4.5). Συγκεκριμένα:

- ◆ Το πρώτο έργο αφορά στη σχεδίαση και εγκατάσταση μονάδας Α/Ο θαλασινού νερού, ημερήσιας παραγωγής 2x1000 κ.μ. στη Μήλο. Μια ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 850 kW συνδεδεμένη στο δίκτυο παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια στη μονάδα αφαλάτωσης. Από σχετική αναφορά, η ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας Α/Ο κυμαίνεται στις 2,23-2,5 kWh/κ.μ. λόγω της χρήσης συστήματος ανάκτησης ενέργειας και αντλιών υψηλής απόδοσης. Όπως επίσης αναφέρεται, το κόστος για την προμήθεια του πόσιμου νερού από τη μονάδα αφαλάτωσης στον τελικό αποδέκτη ανέρχεται στα 1,8 ευρώ/κ.μ. (για 10 έτη με τιμαριθμική προσαρμογή) συμπεριλαμβανομένου του κόστους υποδομής και της εγκατάστασης της μονάδας Α/Ο και της Α/Γ.
- ◆ Το δεύτερο έργο αφορά στη σχεδίαση και κατασκευή μιας πιλοτικής πλωτής μονάδας Α/Ο με Α/Γ και Φ/Β. Η καινοτόμα αυτή μονάδα έχει εγκατασταθεί στη νήσο Ηρακλειά, με σκοπό τη δοκιμαστική λειτουργία της και την κάλυψη μέρους των αναγκών νερού του νησιού. Η μονάδα Α/Ο έχει ονομαστική δυναμικότητα παραγωγής νερού 3,3 κ.μ./ώρα. Το σύστημα είναι αυτόνομο και καλύπτει τις ενεργειακές του απαιτήσεις κυρίως από μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος 30 kW. Το κόστος του παραγόμενου νερού αναμένεται να είναι υψηλό λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής του συστήματος πλεύσης αλλά και του αναμενόμενου κόστους συντήρησης του.

Επίσης το 2008, στο πλαίσιο του Κοινοτικού έργου ADIRA (No ME8/AIDCO/2001/0515/59610) τέθηκαν σε λειτουργία 9 μονάδες αντίστροφης ώσμωσης σε συνδυασμό με Φ/Β, οι οποίες λειτουργούν υπό πραγματικές συνθήκες και καλύπτουν βασικές

ανάγκες σε πόσιμο νερό σε απομακρυσμένες περιοχές στο Μαρόκο, την Ιορδανία, και την Τουρκία.

Όσον αφορά μεγαλύτερα συστήματα Α/Ο σε συνδυασμό με ΑΠΕ και την παράλληλη σύνδεσή τους με το ηλεκτρικό δίκτυο, πέραν των εφαρμογών που ήδη υπάρχουν, πρέπει να αναφερθεί ότι στην αγορά υπάρχουν πλέον εμπορικές εταιρίες που παρέχουν ολοκληρωμένα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Οι πρώτες πραγματικές εφαρμογές σε μεγάλη κλίμακα, καθώς και τα αποτελέσματά τους αναμένονται τα επόμενα χρόνια.

8 Βιβλιογραφία

- Delyianni, E. and B. Belessiotis, Methods and Desalination Systems - Principles of the desalination process. 1995, Athens, Greece: NCSR "Demokritos".
- Delyannis, E., Historic background of desalination and renewable energies. Solar energy, 2003. 75: p. 357-366.
- Rodriguez, L.G., Renewable energy applications in desalination: state of the art. Solar energy, 2003. 75: p. 381-393.
- Manolakos, D., Doctoral Thesis. 2008.
- Kalogirou, S.A., Seawater desalination using renewable energy sources. Progress in Energy and Combustion Science, 2005. 31(3): p. 242-281.
- Buros, O.K., The ABCs of Desalting. 2000.
- Turek, M. and P. Dydo, Hybrid membrane-thermal versus simple membrane systems. Desalination, 2003. 157: p. 51-56.
- Almulla, A., A. Hamad, and M. Gadalla, Integrating hybrid systems with existing thermal desalination plants. Desalination, 2005. 174: p. 171-192.
- IDA, Desalination in 2008 - Global Market Snapshot.
- Kagarakis, K., Photovoltaic Technology (in greek). 1992.
- Kaldellis, J.K. and K.A. Kavadias, Laboratory Applications of Soft Energy Sources (in greek). 2001.
- Kalogirou, S.A., Seawater desalination using renewable energy sources. Progress in Energy and Combustion Science, 2005. 31(3): p. 242-281.
- Rodriguez, L.G., Renewable energy applications in desalination: state of the art. Solar energy, 2003. 75: p. 381-393.
- Tzen, E. and R. Morris, Renewable energy sources for desalination. Solar energy, 2003. 75: p. 375-379.
- Kaldellis, J.K., K.A. Kavadias, and P.S. Koronakis, Comparing wind and photovoltaic stand-alone power systems used for the electrification of remote consumers. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2005: p. 1-21.
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο: Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Αθήνα, Φεβρουάριος 2008.
- Διάφορες μελέτες και διπλωματικές εργασίες του ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής, κ.τ.λ..
- Lenntech BV.: Reverse Osmosis Desalination Costs Analysis, 2009.
- Σταμάτης Α. Αυλωνίτης, «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ», Εκδόσεις ΙΩΝ, 2006.
- Αλέξανδρος Αλεξάκης, «ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ», Εκδόσεις Σιδέρη Μιχάλη, 2003.
- Cliff Morel, «BASIC PRINCIPLES OF WATER TREATMENT», Tall oak publishing inc., 1996.
- M. Hammer, «WATER AND WASTEWATER TECHNOLOGY», Prentice hall, 1996.
- Δρ. Γεώργιος Σ. Σταυρακάκης, Τριανταφυλλιά Γ. Νικολάου, «ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΗΡΥ 416)».
- Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης, «ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ», Αθήνα 1995.
- Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Υδρευσης & Αποχέτευσης – Δήμος Χερσονήσου, Πρακτικά ημερίδας (21/04/2007) με θέμα «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ», Επιμέλεια Δ. Καραμούζης, Α. Αλεξόπουλος, Α. Αγγελάκης, Λάρισα, Μάιος 2008.
- Ευγενίδιο Ίδρυμα, «ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΠΗΓΕΣ–ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ–ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ», Αθήνα 1996.
- Αλεξάκης Α. «Αφαλάτωση». Εκδόσεις Σιδέρη – Αθήνα, 1993.

- Γεωργόπουλος Α. «Γη ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης». Εκδόσεις Gutenberg. Αθήνα, 2001.
- Παυλόπουλος Κ. «Διαχείριση Περιβάλλοντος». Αθήνα, 2001.
- Χρυσικοπούλου Π. «Εισαγωγή στη Φυσική», Αθήνα, Σεπτέμβριος 1995.
- Cunningham – Saigon «Environmental Science. A global concern», McGraw-Hill Companies, 2001.
- G. Tyler. Miller -Βιώνοντας στο Περιβάλλον Ι – Εκδόσεις ΙΩΝ – 1996.
- «Theoretical and experimental analysis of water desalination system using low grade solar heat», Saleh Al Kharabsheh, University of Florida 2003.
- «Economic analysis of a solar assisted desalination system» Renewable Energy, Kalogirou, S., 1997.
- «Solar energy and desalination in advances in solar energy, an annual review of research and development» Delyannis E. and Belessiotis V., 2001, Goswami, D.Y. American Solar Energy Society, Inc, Boulder, Colorado.
- «Survey of solar desalination systems and system selection» Energy, Kalogirou S., 1997.
- «Steady-state experimental studies on a multi-effect thermal regeneration solar desalination unit with horizontal tube falling film evaporation», Chen Ziqian, Zheng Hongfeia, He Kaiyanb, Ma Chaochena, Desalination 207, pp 59-70.
- «Desalination unit coupled with solar collectors and a storage tank: modelling and simulation», H. Ben Bacha, T. Dammak, A.A. Ben Abdalah, A.Y. Maalej, H. Ben Dhia, Desalination 206, pp 341-352.
- «Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art», E. Mathioulakis, V. Belessiotis, E. Delyannis, Desalination 203 pp. 346-365.
- «Air humidification–dehumidification for a water desalination system using solar energy», J. Orfi, N. Galanis, M. Laplante, Desalination 203 pp. 471-481.
- «Studies on a single-stage solar desalination system for domestic applications», J. Joseph, R. Saravanan, S. Renganarayanan, Desalination 173 pp. 77-82.
- «“Direct” and socially-induced environmental impacts of desalination», G.L. Meerganz von Medeazza, Desalination 185 pp. 57-70.
- «Modelling of water–energy systems. The case of desalination», Gregor Meerganz von Medeazza, Vincent Moreau, Energy 32 pp. 1024-1031.
- «Overview of the cost of desalinated water and costing methodologies», K.V. Reddy, N. Ghaffour, Desalination 205 pp. 340-353.
- «Desalination by solar-powered reverse osmosis in a remote area of the Sultanate of Oman», Zaher Al Suleimani , V. Rajendran Nair, Applied Energy 65 pp. 367-380.
- «Solar thermal collectors and applications», S. Kalogirou, Progress in energy and combustion science 30 pp. 231-295.
- «A solar pond assisted multi-effect desalting system», AlHawaj, O., Darwish, M.A., Desalination 99 pp. 119-135.
- «Desalination coupled with salinity-gradient solar ponds», Lu H., Walton J.C., Swift A.H.P., Desalination 136 pp. 13-23.
- «A solar still with minimum inclination, coupled to an outside condenser», El-Bahi A. and Inan D., Desalination 123 pp. 79-83.
- «Performance of a flash desalination unit intended to be coupled to a solar pond» Safi, M.J., Renewable Energy, 14(1-4), pp. 339-343.
- «The analysis and performance of large-scale stand-alone solar desalination plants» Tsilingiris, P.T., Desalination 103, pp. 249-255.
- «High-energy efficiency desalination project using a full titanium desalination unit and a solar pond as the heat supply» Caruso G., Naviglio A., Principi P., Ruffini E., Desalination 136 pp. 199-212.

- «An optimal design of a solar desalination plant», El-Nashar A.M., *Desalination* 93 pp. 579-614.
- «The economic feasibility of small solar MED seawater desalination plants for remote areas» El-Nashar, A.M., *Desalination* 134 pp. 173-186.
- «Coupling of a PV-powered R.O. brackish water desalination plant with solar stills» Hasnain S.M., Alajlan S., *Renewable Energy*, 14(1-4) pp. 281-286.
- «A simulation-optimization programme for designing hybrid energy systems for supplying electricity and fresh water through desalination to remote areas. Case study: the Merssini village, Donoussa island, Aegean Sea, Greece», Manolakos D., Papadakis G., Papantonis D., and Kyritsis S., *Energy* 26 pp. 679-704.
- «Small reverse osmosis units using PV systems for water purification in rural places», Joyce A., Loureiro D., Rodrigues C., and Castro S., *Desalination* 137, pp. 39-44.
- «Operation experience of a solar-and wind-powered desalination demonstration plant» Weiner D., Fisher D., Moses E.J., Katz, B., Meron, G., *Desalination* 137 pp. 7-13.
- «Theoretical evaluation of solar distillation under natural circulation with heat exchanger» Lawrence S.A. , Tiwari G.N., *Energy Conversion and Management*, 30(3) pp. 205-213.
- «Basic hydrodynamic aspects of a solar energy based desalination process», Bemporad G.A., *Desalination* 54(2) pp. 125-134.
- «Principles of vacuum engineering» Pirani M., Yarwood, J., 1961, Chapman and Hall, London.
- «A theoretical study of interphase mass transfer», Schrage R.W., 1953, Columbia University Press, New York.
- «Small-scale thermal seawater desalination simulation and optimization of system design», Muller-Holst H., Engelhardt M., and Scholkopf W., 1999, *Desalination*, 122 pp. 255-262.
- «Heat and mass transfer processes in a solar still with an indirect evaporator-condenser», Tchinda R., Kaptoum E., and Njomo D., 1999, *Energy Conversion & Management* 41 pp. 93-107.
- «Fundamentals of heat and mass transfer», Incropera F.P. and DeWitt D.P., 1996 fourth edition, John Wiley & Sons, New York.
- «Desalination and water purification, 2. Measurements and control in water desalination», Lior N., 1986, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam.
- «Perspective of solar-powered desalination with the SMCEC technique», Ben Bacha H., Maalej A.Y., Ben Dhia H., Ulber I., Uchtmann H., Engelhardt M., and Krelle J., 1999, *Desalination* 122 pp. 177-183.
- «Solar desalination with a humidification-dehumidification cycle: performance of the unit» *Desalination* 120 pp. 273-280.
- «Performance of a double-basin solar still in the presence of dye», Dutt D.K., Kumar A., Anand J.D. and Tiwari G.N., 1989, *Applied Energy* 32 pp. 207-223.
- «Determining the thermal losses to the atmosphere from a solar still,» Bobrovnikov G.N., Achilov B.M., Kamilov O.S., Kakharov S., and Odinaev A., *Geliotekhnika* 15(4) pp. 70-71.
- «Nocturnal water production by tubular solar stills using waste heat to preheat brine», Tiwari G.N., 1988, *Desalination*, 69, pp. 309-318.
- «Solar thermal desalination system with heat recovery», Schwarzer K., Vieira M.E., Farber C. and Muller C., 2001, *Desalination* 137 pp. 23-29.
- «Development of a solar desalination plant», Saghafi M., 1994, *Renewable Energy*, 5, Part I, pp. 529-531.
- «Vacuum desalination for water purification using waste heat», Tay J.H., Low S.C. and Jeyaseelan S., 1996, *Desalination*, 106, pp. 131-135.

- «Numerical modeling of a multi-stage solar still», Jubran B.A., Ahmed M.I., Ismail A.F., and Abakar Y.A., 2000, *Energy Conversion & Management*, 41, pp. 1107-1121.
- «Θερμικά – Ηλιακά □υστήματα Μέρος Πρώτο», Κ. Αντωνόπουλου, Αθήνα 2004.