

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Επιβλέπων Καθηγητής:
Φοιτητές:

Τουρλιδάκης Α.,
Σιαμίδης Γ. & Σπυρίδης Ε.

Κοζάνη Ιούνιος 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛΙΔΑ
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	6
2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ	6
2.1.1 ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΗ ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗ.....	7
2.1.2 ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ.....	9
2.1.3 ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΩΝ.....	10
2.1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ- ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	10
2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ	11
2.2.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ.....	11
2.2.2 ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ.....	13
2.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ- ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	16
2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΙΟΝΤΩΝ	17
2.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ DESAL.....	18
2.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ RDI.....	19
2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΨΥΞΗ	20
2.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	21
3. ΤΑΙΡΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΑΠΕ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	23
4. ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	28
4.1 Ο ΑΝΕΜΟΣ	28
4.2 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	30
4.3 ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟΥΣ Α/Κ	31
4.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ Α/Κ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	37
4.5 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Α/Κ	39

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ.:... 1608
Ημερομηνία:... 19/4/06

5. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	45
5.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ 3 ΜΕΘΟΔΩΝ	46
5.1.1	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	48
5.1.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	50
5.2 ΠΛΗΡΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Α/Κ	51
5.2.1 ΑΙΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΩΣΜΩΣΗ	52
5.2.2 ΑΙΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΕΝ ΚΕΝΟ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΩΝ	58
5.2.3 ΑΙΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ	62
5.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	64
6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	66
6.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	66
6.2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ	71
7. ΕΞΑΓΩΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	74
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ολοένα και περισσότερα είναι κάθε χρόνο τα κράτη ανά τον κόσμο που αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα λόγω έλλειψης πόσιμου νερού. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στις έντονες κλιματολογικές αλλαγές όπως αυτές έχουν καταγραφεί και οι οποίες προκάλεσαν σημαντικές μεταβολές στον λεγόμενο υδροδυναμικό κύκλο του νερού μέσα στην ατμόσφαιρα.

Οι χώρες αυτές βρίσκονται ως επί των πλείστον στην Αφρικανική ήπειρο όπου γενικώς οι τεχνολογία βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και οι δυνατότητες που παρέχονται είναι περιορισμένες. Σε τέτοιες περιοχές λοιπόν κρίνεται απαραίτητη η εύρεση ενός μοντέλου αφαλάτωσης θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού που να το καθιστά πόσιμο ώστε να ανακουφιστούν στον δυνατόν καλύτερο βαθμό οι λαοί αυτοί. Από την άλλη πλευρά λόγω των, όπως αναφέρθηκε, περιορισμένων δυνατοτήτων και τεχνολογιών θα πρέπει ένα τέτοιο μοντέλο να μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα, δηλαδή χωρίς εξάρτηση από τις υπάρχουσες υποδομές ηλεκτροδότησης, υδροδότησης κ.λ.π.. Το θέμα όμως των αναγκών σε πόσιμο νερό δεν αφορά μόνο την Αφρική αλλά και πολλά ελληνικά νησιά κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες όπου ο πληθυσμός τους αυξάνεται λόγω της προσέλευσης τουριστών και παραθεριστών τόσο εντός όσο και εκτός Ελλάδος. Επιπλέον η συνθήκη του Κιότο θέτει ακόμα αυστηρότερα όρια στις εκπομπές CO₂ από τα ήδη υπάρχοντα με σκοπό την μείωση των επιπτώσεων από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Έτσι τίθενται ακόμα μεγαλύτεροι περιορισμοί στο είδος της ενέργειας που θα χρησιμοποιείται στο μέλλον για την τροφοδοσία συστημάτων αφαλάτωσης.

Αρκετοί είναι οι επιστήμονες που ασχολήθηκαν με αυτό το θέμα και έφτασαν σε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας κυρίως

την αιολική ενέργεια σε συνδυασμό με ένα υπάρχον σύστημα αφαλάτωσης. Οι **Carda, Gonzalez, Subiela** ασχολήθηκαν με το φιλόδοξο πρόγραμμα SDAWES στις Κανάριες Νήσους και το οποίο αυτήν την στιγμή θεωρείται από πολλούς το «διεθνές εργαστήριο αφαλάτωσης». Ο **L.Garcia-Rodriguez** πραγματοποίησε εκτενή μελέτη όσον αφορά την οικονομική ανάλυση της αφαλάτωσης με την χρήση αιολικής ενέργειας. Ο **Liu** κατασκεύασε και πειραματίστηκε σε ένα πρωτότυπο σύστημα αιολικής αφαλάτωσης στα νησιά Coconut στηριζόμενο στην μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Ο **Veza** ασχολήθηκε με την κατασκευή και την λειτουργία ενός συστήματος αφαλάτωσης στηριζόμενο στην μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης και με τροφοδοσία ρεύματος αποκλειστικά από Α/Γ χωρίς την χρήση δικτύου. Ο **Pestana** εκπόνησε μια γενική μελέτη όσον αφορά την αιολική αφαλάτωση και ειδικότερα την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Οι **Tzen** και **Morris** ασχολήθηκαν γενικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την αφαλάτωση. Οι **Karameldin** και **Lotfy**: παρουσίασαν ένα σύστημα αιολικής αφαλάτωσης στην Ερυθρά Θάλασσα στηριζόμενο στην εν κενό συμπίεση υδρατμών. Οι **Witte, Siegfriedsen, El- Allawy** ασχολήθηκαν με την απευθείας χρήση αιολικής ενέργειας για αφαλάτωση θαλασσινού νερού με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης ή της εν κενό συμπίεσης υδρατμών. Ο **Miranda** παρουσίασε ένα σύστημα αιολικής αφαλάτωσης χωρίς την χρήση μπαταριών. Ο **Semiat** πραγματοποίησε μια τεχνική μελέτη όσον αφορά το παρόν και το μέλλον της αφαλάτωσης και τέλος οι **Ettouney, El- Dessouky, Faibish** και **Gowin** πραγματοποίησαν μία εκτενή ανάλυση του κόστους της αφαλάτωσης, τόσο με μεμβράνες όσο και την θερμική, και εξήγαγαν ένα απλό υπολογιστικό μοντέλο για κάθε μια από αυτές.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας μελέτης είναι η καταγραφή, παρουσίαση και ανάλυση των εφαρμοζόμενων τεχνικών αφαλάτωσης με χρήση ανεμογεννήτριας καθώς επίσης και η εξαγωγή, μέσω της υπάρχουσας

βιβλιογραφίας, ενός απλού υπολογιστικού μοντέλου για έναν τυπικό σταθμό αφαλάτωσης με χρήση ανεμογεννήτριας. Επίσης θα γίνει μια μελέτη όσον αφορά το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας και κατά πόσο εξυπηρετούνται κάποια μέρη με υψηλό αιολικό δυναμικό από την ύπαρξη ενός τέτοιου μοντέλου αφαλάτωσης. Η δομή της εργασίας θα κινηθεί κυρίως στους παρακάτω πέντε άξονες:

- Καταγραφή και ανάλυση των υπαρχόντων τεχνολογιών αφαλάτωσης όπως αυτές εφαρμόζονται σήμερα
- Γενική παρουσίαση των ανεμογεννητριών και του τρόπου λειτουργίας τους
- Τεχνολογίες αφαλάτωσης με χρήση ανεμογεννήτριας
- Οικονομική ανάλυση των μεθόδων αφαλάτωσης
- Εξαγωγή υπολογιστικού μοντέλου

2. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Αφαλάτωση είναι μια διαδικασία διαχωρισμού που χρησιμοποιείται για να μειωθεί η διαλυμένη ποσότητα άλατος στο νερό. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τρία ρεύματα υγρού: το αλμυρό νερό τροφοδοσίας (θαλασσινό ή υφάλμυρο), παραγόμενο νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλας, και συμπύκνωμα με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλας (άλμη).

Αναλυτικά οι διάφορες τεχνικές αφαλάτωσης που βρίσκονται είτε στο στάδιο εκμετάλλευσης είτε στο στάδιο της δοκιμής είναι:

- Μέθοδος απόσταξης με διάφορες μορφές εξατμίσεως
- Μέθοδος με μεμβράνες με εφαρμογή αντίστροφης ώσμωσης ή ηλεκτροδιάλυσης
- Μέθοδος με ψύξη
- Μέθοδος ανταλλαγής ιόντων

Παρακάτω θα γίνει ξεχωριστή παρουσίαση και ανάλυση του μηχανισμού λειτουργίας κάθε είδους ξεχωριστά

2.1 Μέθοδος Απόσταξης

Η μέθοδος της απόσταξης είναι η παλαιότερη και πιο κοινή μέθοδος αφαλάτωσης. Ο πρώτος σταθμός αφαλάτωσης βασισμένος στην παραπάνω μέθοδο, κατασκευάστηκε το 1928 στις Αντίλλες με ικανότητα παραγωγής 60 m³/ημέρα. Οι πρώτες εμπορικές εκδόσεις εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 50 και αρχικά βασίστηκαν στην τεχνολογία των βιομηχανικών εξατμιστήρων, όπως συλλέκτες ζάχαρης, και των μονάδων απόσταξης που χρησιμοποιούνταν στα πλοία κατά την διάρκεια του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου.

Απόσταξη είναι μια μέθοδος όπου γίνεται διαχωρισμός φάσεων και μέσω της οποίας το αλμυρό νερό θερμαίνεται ώστε να παραχθεί ατμός και στην συνέχεια, με συμπύκνωση, καθαρό νερό. Γενικά, οι επιμέρους διαδικασίες απόσταξης για την παραγωγή πόσιμου νερού στηρίζονται στην αρχή ότι μέσω της μείωσης της πίεσης ατμών του νερού, επιτυγχάνεται βρασμός σε χαμηλές θερμοκρασίες χωρίς την απαίτηση επιπλέον θερμότητας. Οι μονάδες απόσταξης συνήθως χρησιμοποιούν σχεδιασμούς που διατηρούν όσο το δυνατόν περισσότερη θερμική ενέργεια ανταλλάσσοντας την θερμότητα συμπύκνωσης και την θερμότητα εξάτμισης μέσα στην μονάδα.

Τα είδη απόσταξης είναι τα εξής:

- Πολυεπίπεδης ατμοποίησης (Multistage Flash- MSF)
- Πολλαπλών ενεργειών (Multiple Effect- MED)
- Εν κενό συμπίεσης ατμών (Vapor Compression- VC)

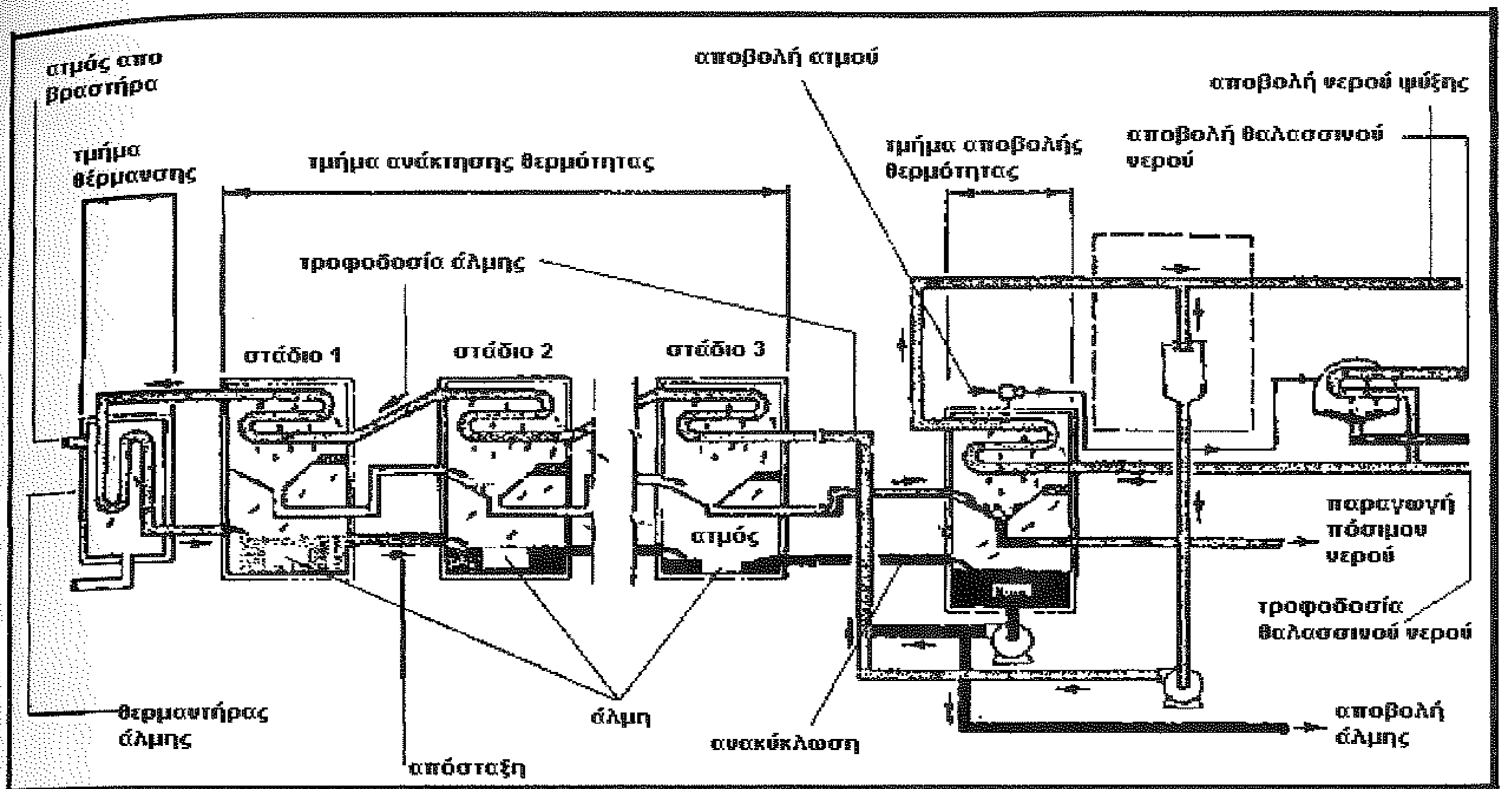
2.1.1 Απόσταξη με πολυεπίπεδη ατμοποίηση

Το σχήμα 2.1 δείχνει ένα απλοποιημένο μοντέλο μιας τέτοιας μονάδας. Το εισερχόμενο νερό περνά από το στάδιο της θέρμανσης και

θερμαίνεται επιπλέον στα τμήματα ανάκτησης θερμότητας κάθε επιμέρους σταδίου. Αφού το νερό τροφοδοσίας περάσει και το τελευταίο τμήμα ανάκτησης θερμότητας, και προτού εισέλθει στο πρώτο τμήμα όπου έχουμε βρασμό, θερμαίνεται ακόμα περισσότερο στον βραστήρα άλμης με διέλευση ατμού από το εξωτερικό τμήμα των τοιχωμάτων του. Έτσι το τροφοδοτικό νερό φθάνει στην υψηλότερη θερμοκρασία του και στην συνέχεια εισέρχεται στα επιμέρους τμήματα ατμοποίησης. Η πίεση ατμών κάθε τέτοιου τμήματος ελέγχεται ώστε η άλμη να εισέρχεται στην κατάλληλη πίεση και θερμοκρασία για να επιτευχθεί στιγμιαία και βίαια βρασμός και εξάτμιση.

Το φρέσκο νερό παράγεται από την συμπύκνωση των ατμών, οι οποίοι συλλέγονται σε κάθε στάδιο και περνούν από καθένα από αυτά παράλληλα με την άλμη. Σε κάθε στάδιο το παραγόμενο νερό βράζεται ώστε να μπορεί να ψυχθεί και η πλεονάζουσα θερμότητα χρησιμοποιείται για προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας.

Εξαιτίας του μεγάλου ποσού άλμης που απαιτείται σε έναν MSF σταθμό, ένα ποσοστό της τάξης του 50 με 75% της άλμης από το τελευταίο στάδιο ανακατεύεται με το νερό τροφοδοσίας, ανακυκλώνεται μέσω των σταδίων ανάκτησης θερμότητας του βραστήρα άλμης και βράζεται ξανά μέσω όλων των επιμέρους υποσταδίων. Αυτό το είδος λειτουργίας μειώνει το ποσοστό των χημικών πρόσθετων και επηρεάζει σημαντικά το κόστος. Από την άλλη πλευρά αυξάνει την συγκέντρωση άλατος της άλμης στο προϊόν, υψώνει το σημείο βρασμού και αυξάνει τον κίνδυνο διάβρωσης. Για να επιτύχουμε την κατάλληλη συγκέντρωση άλατος στο σύστημα, ένα μέρος της άλμης από το τελευταίο στάδιο αποβάλλεται στον ωκεανό.

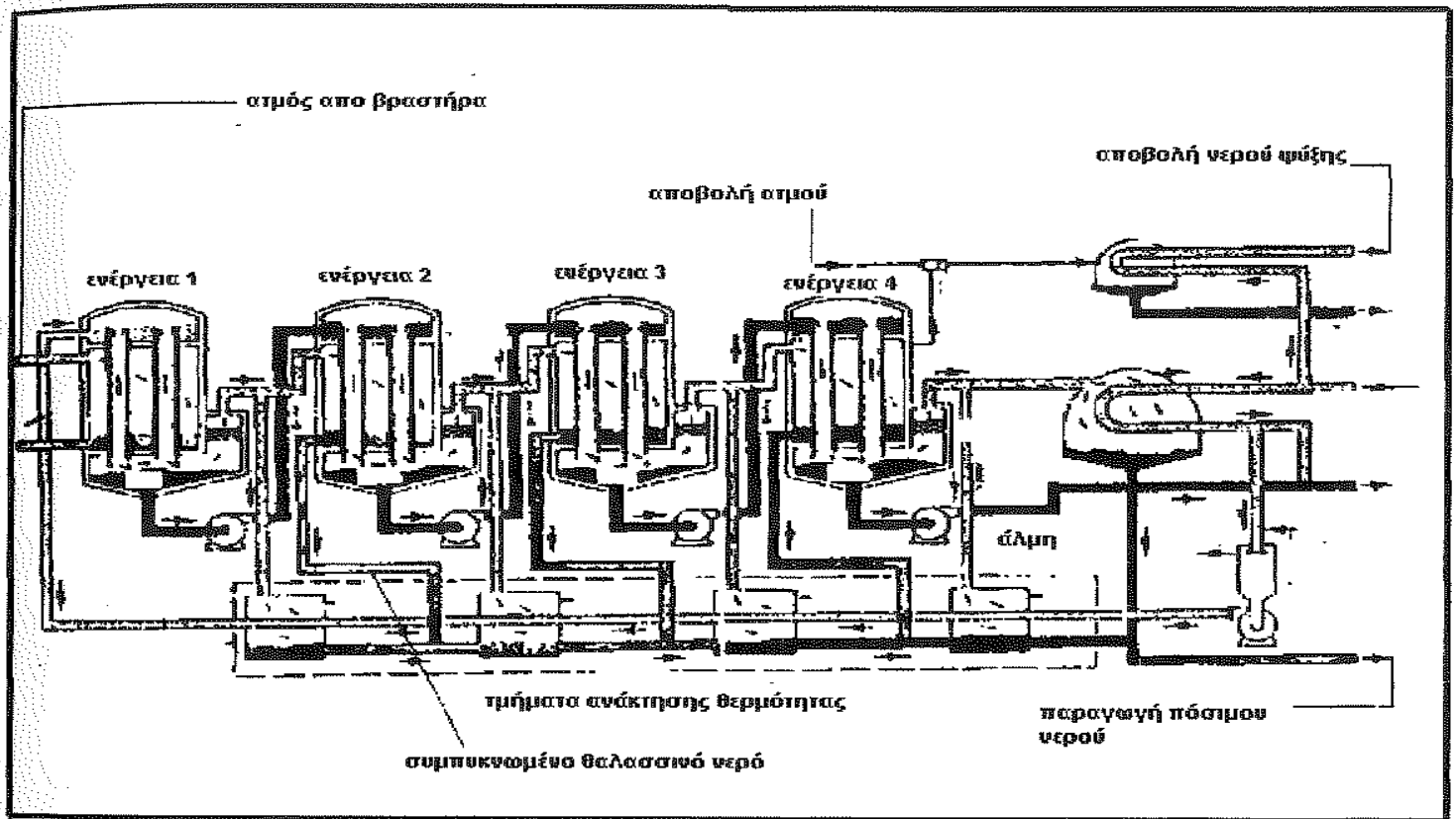


σχήμα 2.1: Απόσταξη με πολυεπίπεδη ατμοποίηση

2.1.2 Απόσταξη πολλαπλών ενεργειών

Στις μονάδες αυτές ο ατμός συμπυκνώνεται στην μία πλευρά του τοιχώματος ενός αγωγού, ενώ από την άλλη γίνεται εξάτμιση της άλμης. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την εξάτμιση προέρχεται από την θερμότητα συμπύκνωσης του ατμού. Συνήθως λαμβάνουν χώρα μια σειρά από διαδικασίες συμπύκνωσης και εξάτμισης. Η άλμη συνήθως παρέχεται στους αγωγούς υπό μορφή λεπτής ταινίας έτσι ώστε να είναι εύκολη η εξάτμισή της. Παρόλο που η τεχνολογία αυτή είναι παλαιότερη της παραπάνω, δεν χρησιμοποιείται ευρέως για την αφαλάτωση νερού. Ωστόσο ένας νέος τύπος αυτής της διαδικασίας με οριζόντιους αγωγούς

λειτουργήσε επιτυχώς στην Καραϊβική. Οι σταθμοί που στηρίζονται στην παραπάνω διεργασία είναι αρκετά ανθεκτικοί, εύκολοι στην συναρμολόγηση και οικονομικοί μιας και κατασκευάζονται από αλουμίνιο και άλλα φθηνά υλικά. Στο σχήμα 2.2 φαίνεται το μοντέλο ενός τέτοιου σταθμού.



σχήμα 2.2: Απόσταξη πολλαπλών ενεργειών

2.1.3 Απόσταξη με συμπίεση ατμών

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια για παραγωγή θερμότητας, και όχι απευθείας θερμότητα. Ο ατμός εξάγεται από τον θάλαμο εξάτμισης μέσω ενός συμπιεστή και συμπυκνώνεται στο εξωτερικό μέρος των αγωγών όπως και στην προηγούμενη μέθοδο. Η θερμότητα συμπύκνωσης χρησιμοποιείται για την ατμοποίηση της ταινίας άλμης. Αυτές οι μονάδες συνήθως κατασκευάζονται για παραγωγές λιγότερες των $100 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ και χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία.

2.1.4 Πλεονεκτήματα- μειονεκτήματα μεθόδου απόσταξης

Η απόσταξη ως μέθοδος αφαλάτωσης παρουσιάζει εξίσου σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα κυριότερα από αυτά.

Πλεονεκτήματα:

- Προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση στα κόστη λειτουργίας και συντήρησης σε σχέση με άλλες μεθόδους αφαλάτωσης
- Στις περισσότερες περιπτώσεις, η απόσταξη δεν απαιτεί την χρήση επιπρόσθετων χημικών για την επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας
- Οι σταθμοί απόσταξης σε χαμηλή θερμοκρασία είναι ενεργειακά αποδοτικοί, πλήρως αυτοματοποιημένοι και απαιτούν μικρό αριθμό προσωπικού
- Η απόσταξη έχει πολύ μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, με την προϋπόθεση ότι έχει ληφθεί υπόψη η αποβολή της άλμης κατά τον σχεδιασμό του σταθμού
- Το παραγόμενο νερό είναι υψηλής ποιότητας και σε ορισμένες περιπτώσεις έχει λιγότερο από 10mg/lit συνολικές διαλυμένες ουσίες
- Η απόσταξη μπορεί να συνδυαστεί με άλλες διεργασίες όπως για παράδειγμα χρησιμοποιώντας θερμότητα από έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Μειονεκτήματα

- Μερικές διαδικασίες της απόσταξης είναι ενεργειακά ασύμφωρες ιδιαίτερα σε μεγάλους σταθμούς.
- Η απόσταξη με πολυεπίπεδη ατμοποίηση έχει πολύ υψηλό κόστος

- Οι σταθμοί αφαλάτωσης με απόσταξη απαιτούν υψηλό επίπεδο τεχνικών γνώσεων τόσο για τον σχεδιασμό όσο και για την λειτουργία τους

2.2 Μέθοδος με μεμβράνες

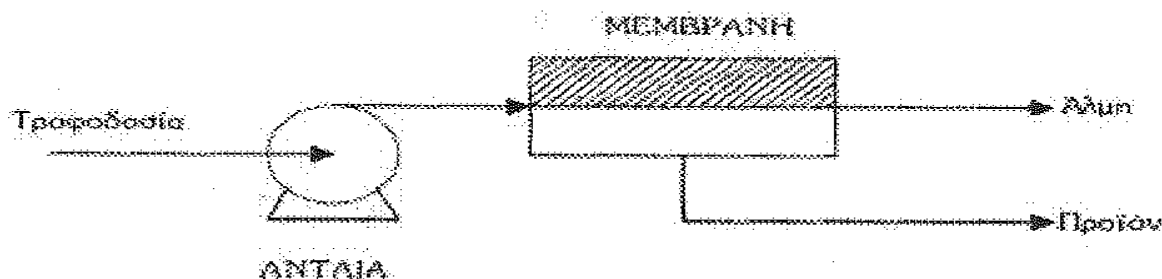
2.2.1 Αντίστροφη Ώσμωση

Υπάρχουν δύο είδη αφαλάτωσης με χρήση μεμβρανών: η αντίστροφη ώσμωση και η ηλεκτροδιάλυση. Στην αντίστροφη ώσμωση, το νερό, από ένα αλμυρό και συμπιεσμένο διάλυμα, διαχωρίζεται από τα διαλυμένα άλατα ρέοντας μέσα από μία μεμβράνη που επιτρέπει την διάχυση μόνο προς μία κατεύθυνση. Αιτία αυτής της διάχυσης είναι η διαφορά πίεσης ανάμεσα στο συμπιεσμένο νερό τροφοδοσίας και στο παραγόμενο νερό, το οποίο βρίσκεται σχεδόν σε ατμοσφαιρική πίεση. Το εναπομείναν τροφοδοτικό νερό συνεχίζει να κινείται στην πλευρά υψηλής πίεσης ως άλμη. Στην διαδικασία αυτή δεν λαμβάνει χώρα καμία εναλλαγή θερμότητας ή φάσεων. Η μοναδική απαίτηση ενέργειας είναι για την συμπίεση του τροφοδοτικού νερού. Για υφάλμυρα νερά οι πιέσεις κυμαίνονται από 250 έως 400 psi ενώ για θαλάσσιο νερό από 800 έως 1000 psi.

Στην πράξη, το τροφοδοτικό νερό αντλείται μέσα σε ένα κλειστό δοχείο, απέναντι από την μεμβράνη, ώστε να συμπιεστεί. Όσο το παραγόμενο νερό περνά μέσα από την μεμβράνη, το παραμένον νερό και το διάλυμα άλμης γίνονται όλο και πιο συμπυκνωμένα. Για να μειωθεί λοιπόν η συγκέντρωση σε άλατα, ένα ποσοστό από τα παραπάνω διαλύματα απομακρύνεται από το δοχείο. Εάν δεν γινόταν αυτό η συγκέντρωση αλάτων θα αυξανόταν με αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερη ενέργεια ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη πίεση.

Ένα σύστημα αντίστροφης ώσμωσης αποτελείται κυρίως από 4 στοιχεία- διαδικασίες: Προεργασία, Συμπίεση, Διαχωρισμός στις

μεμβράνες, Σταθεροποίηση. Στο σχήμα 2.3 φαίνονται τα κυριότερα στοιχεία ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης.



σχήμα 2.3: Σύστημα αντίστροφης ώσμωσης

Στην φάση της προεργασίας, το εισερχόμενο νερό επεξεργάζεται ώστε να είναι συμβατό με τις μεμβράνες. Η επεξεργασία περιλαμβάνει απομάκρυνση στερεών σωμάτων, ρύθμιση του pH, και προσθήκη ενός ανασταλτικού μέσου για την αποφυγή δημιουργίας λεπτής κρούστας η οποία προκαλείται από διάφορους παράγοντες όπως θεικό ασβέστιο.

Στην φάση της συμπίεσης, η αντλία αυξάνει την πίεση του τροφοδοτικού νερού σε μία κατάλληλη τιμή για την μεμβράνη.

Στην φάση του διαχωρισμού, οι ημιπερατές μεμβράνες εμποδίζουν το πέρασμα διαλυμένων αλάτων ενώ επιτρέπουν την διέλευση αφαλατωμένου νερού. Έτσι προκύπτουν δύο ρεύματα ρευστού: του καθαρού νερού, και της άλμης. Επειδή καμία μεμβράνη δεν λειτουργεί τέλεια στην αποβολή διαλυμένων αλάτων, ένα μικρό μέρος από αυτά περνά από μέσα τους και παραμένει στο παραγόμενο νερό. Οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης έχουν διάφορα είδη. Δύο από τα πιο γνωστά είναι η τύπου spiral και η κοίλη μεμβράνη. Συνήθως κατασκευάζονται από οξικά άλατα κυτταρίνης, αρωματικά πολυαμίδια, ή λεπτές ταινίες πολυμερών συνθέτων. Και τα δύο είδη χρησιμοποιούνται για αφαλάτωση τόσο υφάλμυρου όσο και θαλασσινού νερού.

Στην φάση της σταθεροποίησης, το παραγόμενο νερό απαιτεί ρύθμιση του pH και απαεριοποίηση προτού μεταφερθεί στο σύστημα διανομής ως πόσιμο νερό. Το προϊόν περνά μέσα από μια στήλη

αερισμού στην οποία το pH αυξάνεται από 5 σε 7. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό το νερό αποθηκεύεται για περαιτέρω χρήση.

2.2.2 Ηλεκτροδιάλυση

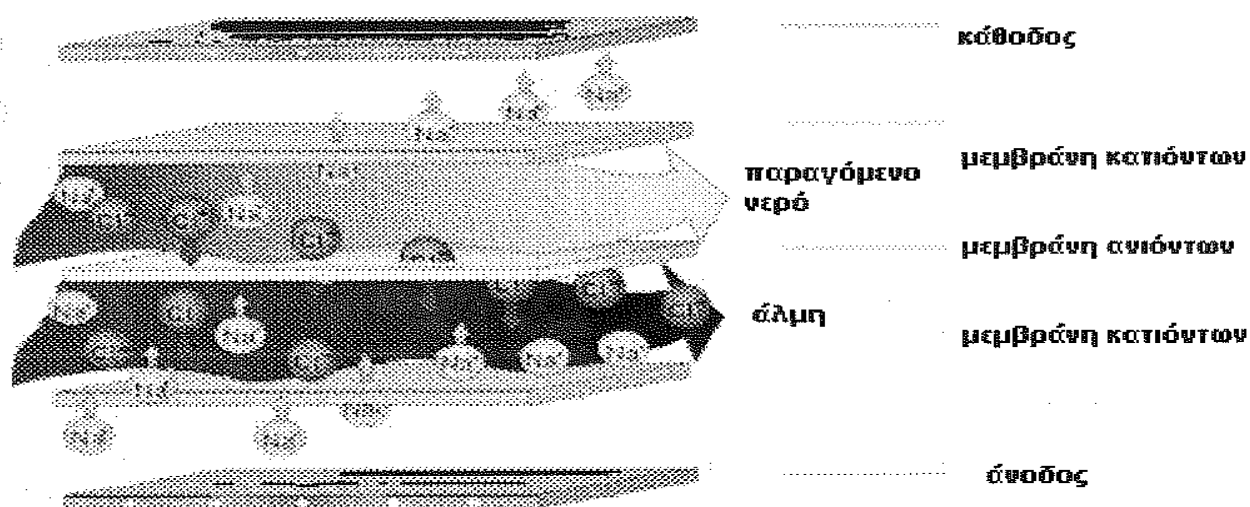
Η ηλεκτροδιάλυση είναι μία διεργασία κατά την οποία γίνεται αφαίρεση αλάτων από διάφορα διαλύματα με την χρήση ηλεκτρικού ρεύματος. Ως μέθοδος αφαλάτωσης εμφανίστηκε περίπου 10 χρόνια πριν από την αντίστροφη ώσμωση στις αρχές της δεκαετίας του '60. Το κλειδί στην διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης είναι ένα ημιπερατό φράγμα (μεμβράνη ηλεκτροδιάλυσης) το οποίο επιτρέπει το πέρασμα είτε κατιόντων είτε ανιόντων ενώ παράλληλα εμποδίζει την διέλευση αντίθετα φορτισμένων σωματιδίων για κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Η ηλεκτροδιάλυση στηρίζεται στις παρακάτω γενικές αρχές:

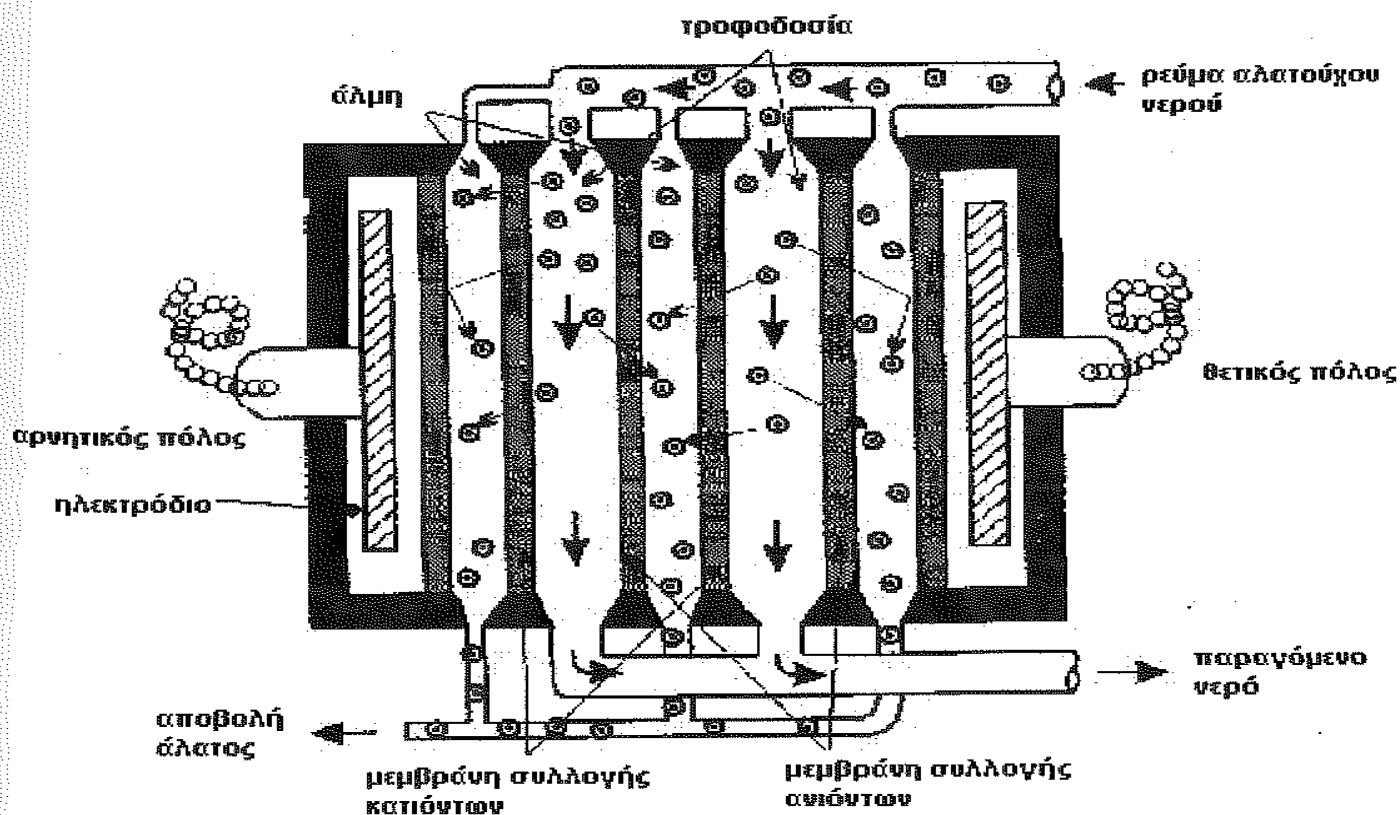
- Τα περισσότερα άλατα που είναι διαλυμένα στο νερό είναι ιοντικά, κατιονικά ή ανιονικά.
- Αυτά τα ιόντα έλκονται από ηλεκτρόδια με αντίθετο φορτίο
- Οι μεμβράνες μπορούν να κατασκευαστούν έτσι ώστε να επιτρέπουν επιλεκτικά το πέρασμα είτε ανιόντων είτε κατιόντων

Τα διαλυμένα ιόντα σε ένα διάλυμα άλατος, όπως νάτριο, ασβέστιο και ανθρακική ρίζα, διαχέονται στο νερό και εξουδετερώνουν αποτελεσματικά τα ξεχωριστά τους φορτία. Όταν τα ηλεκτρόδια συνδεθούν με μία εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος τότε το ρεύμα περνά μέσα στο διάλυμα και έχουμε μετακίνηση ιόντων προς το αντίθετα φορτισμένο ηλεκτρόδιο. Οι μεμβράνες τοποθετούνται μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων. Μεταξύ κάθε ζεύγους μεμβρανών τοποθετείται ένα λεπτό έλασμα που επιτρέπει την διέλευση του νερού κατά μήκος της επιφάνειας της μεμβράνης. Από το ένα μέρος του ελάσματος περνά είτε το νερό τροφοδοσίας είτε το παραγόμενο νερό, ενώ από το άλλο η άλμη. Κάθε ζεύγος μεμβρανών

καλείται ζεύγος κελιών. Στο ένα κελί τα ιόντα συγκεντρώνονται (άλμη) και από το άλλο απομακρύνονται (παραγόμενο νερό). Στο σχήμα 2.4 φαίνεται η διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε μια συσκευή ηλεκτροδιάλυσης, και στο σχήμα 2.5 η ίδια η συσκευή ηλεκτροδιάλυσης.



σχήμα 2.4: Διαδικασία ηλεκτροδιάλυσης



σχήμα 2.5: Συσκευή ηλεκτροδιάλυσης

Πέρα όμως από την κλασσική περίπτωση ηλεκτροδιάλυσης, υπάρχει και η διαδικασία αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης(EDR). Μια μονάδα EDR λειτουργεί βάσει των ίδιων αρχών όπως και στην απλή ηλεκτροδιάλυση εκτός από το γεγονός ότι τόσο ο αγωγός ροής παραγόμενου νερού όσο και της άλμης είναι ένα και το αυτό. Κατά διαστήματα δηλαδή αλλάζει η πολικότητα στα ηλεκτρόδια με αποτέλεσμα το κανάλι άλμης να γίνεται κανάλι παραγόμενου νερού και το αντίστροφο. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα ιόντα να κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση κατά μήκος της μεμβράνης. Ταυτόχρονα με την αλλαγή πολικότητας, αποθηκεύεται το παραγόμενο νερό μέχρι να καθαριστούν οι αγωγοί και οι στήλες από όπου περνούσε η άλμη. Αυτή η διαδικασία είναι χρήσιμη στο να απομακρύνονται επικαθίσεις αλάτων και άλλων ουσιών που αλλοιώνουν την ποιότητα του νερού και μειώνουν την απόδοση του συστήματος. Επίσης απαιτείται μικρότερος αριθμός χημικών.

2.2.3 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα μεθόδου με μεμβράνες

Πλεονεκτήματα

- Γενικά πρόκειται για απλά συστήματα. Ο μόνος περίπλοκος παράγοντας είναι η εύρεση ή η παραγωγή καθαρής παροχής τροφοδοτικού νερού ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ανάγκη για συχνό καθάρισμα της μεμβράνης
- Τα συστήματα αυτά μπορούν να συναρμολογηθούν από πακεταρισμένα τμήματα και η ικανότητα παραγωγής είναι από μερικά λίτρα την ημέρα έως και 750.000 λίτρα την ημέρα για υφάλμυρο νερό, και 400.000 λίτρα την ημέρα για θαλασσινό νερό.
- Το κόστος εγκατάστασης είναι πολύ μικρό
- Χαμηλός βαθμός συντήρησης και χρήση αμέταλλων υλικών στην κατασκευή

- Χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια
- Η τεχνολογία αντίστροφης όσμωσης χρησιμοποιεί μία ανεξάντλητη πηγή νερού, την θάλασσα, και βοηθά στην απομάκρυνση τόσο οργανικών όσο και ανόργανων ουσιών από το νερό
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον
- Γίνεται ελάχιστη χρήση χημικών

Μειονεκτήματα

- Οι μεμβράνες είναι ευαίσθητες στην κακομεταχείριση
- Το νερό τροφοδοσίας πρέπει να επεξεργαστεί ώστε να απομακρυνθούν τα στερεά σωματίδια
- Η λειτουργία ενός σταθμού αντίστροφης όσμωσης απαιτεί υψηλής ποιότητας υλικά και εξοπλισμό
- Η άλμη πρέπει να απομακρύνεται προσεκτικά ώστε να αποφεύγονται πιθανές βλάβες στο περιβάλλον
- Υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης των μεμβρανών από βακτήρια
- Η αντίστροφη όσμωση απαιτεί την χρήση αξιόπιστων μορφών ενέργειας

2.3 Μέθοδος ανταλλαγής ιόντων

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι πολλά φυσικά και συνθετικά υλικά(ρητίνες) μπορούν να ανταλλάξουν ένα ιόν με ένα άλλο υπό μορφή διαλύματος, για παράδειγμα ένα θετικό ιόν με ένα άλλο θετικό και πάλι ιόν. Ο αριθμός των ιόντων που απομακρύνονται από το διάλυμα πρέπει να είναι ίσος με τον αριθμό των ιόντων που φεύγουν από το υλικό. Οι κυριότεροι τύποι τέτοιων συνθετικών ρητινών είναι οι εξής:

- Ισχυρά όξινη κατιονική ρητίνη
- Ασθενώς όξινη κατιονική ρητίνη

- Ισχυρά βασική ανιονική ρητίνη
- Ασθενώς βασική ανιονική ρητίνη

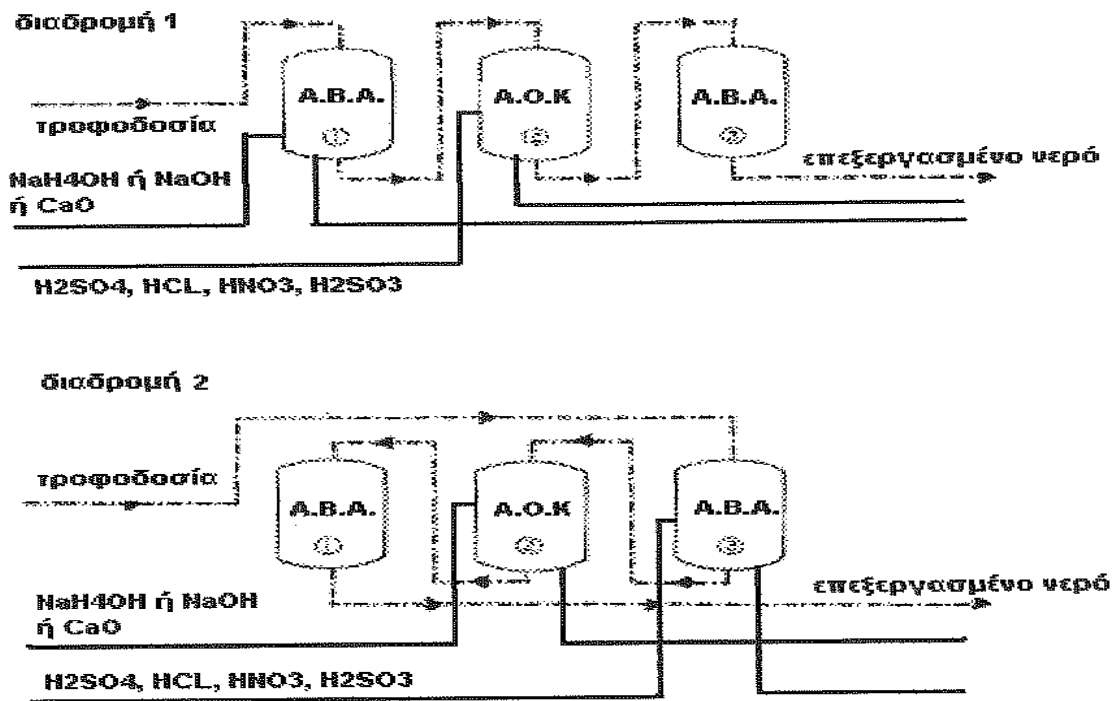
Οι δύο πρώτοι τύποι ανταλλάζουν ιόντα υδρογόνου (H^+) για άλλα κατιόντα. Μπορούν επίσης να ανταλλάξουν ιόντα νατρίου(Na^+) με ιόντα ασβεστίου(Ca^{++}) ή ιόντα μαγνησίου(Mg^{++}). Οι δύο τελευταίοι τύποι ρητινών ανταλλάζουν υδροξύλια(OH^-) με άλλα ιόντα.

Η παραπάνω μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως τρόπος αφαλάτωσης κυρίως υφάλμυρων νερών. Έχουν αναπτυχθεί δύο μέθοδοι: Η μέθοδος Desal και η μέθοδος RDI.

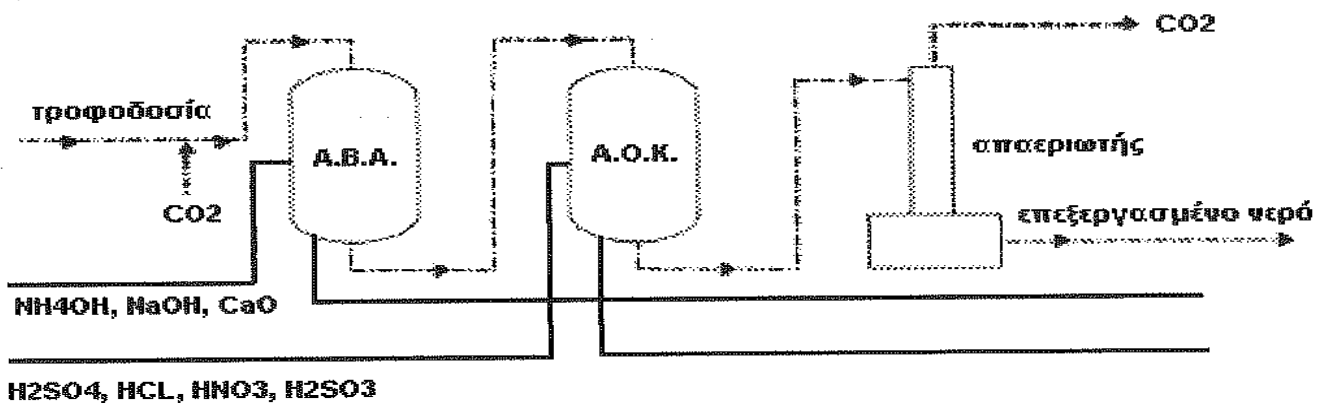
2.3.1 Μέθοδος Desal

Εμφανίζεται σε πολλές παραλλαγές αλλά με κινητήριο μοχλό την χρήση ασθενώς βασικής ανιονικής ρητίνης στο πρότυπο του ανθρακικού οξέως σε κάθε περίπτωση. Οι κυριότερες από τις παραλλαγές αυτές είναι η Three-unit και η Two-unit. Στην πρώτη, τα ισχυρά όξινα ανιόντα του νερού όπως χλωριούχα, θειικά και νιτρικά αντικαθίστανται με ιόντα ανθρακικού οξέως την ασθενώς βασική ανιονική ρητίνη. Στην συνέχεια, μια ασθενώς όξινη κατιονική ρητίνη αντικαθιστά το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το νάτριο του νερού με ιόντα υδρογόνου από την ρητίνη. Το ανθρακικό οξύ που δημιουργείται, προσροφάται από μία δεύτερη ασθενώς βασική ανιονική ρητίνη. Στην περίπτωση Two-unit γίνεται τροφοδοσία διοξειδίου του άνθρακα στο ακατέργαστο νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα στο νερό μετατρέπει την ασθενώς βασική ανιονική ρητίνη σε ανθρακική φόρμα και τα ισχυρά όξινα ανιόντα του νερού, όπως θειικά, χλωριούχα και αζωτούχα, αντικαθίστανται από το ανθρακικό ιόν

της ρητίνης. Στα σχήματα 2.6 και 2.7 φαίνονται και τα δύο είδη της μεθόδου Desal.



σχήμα 2.6: Three- unit

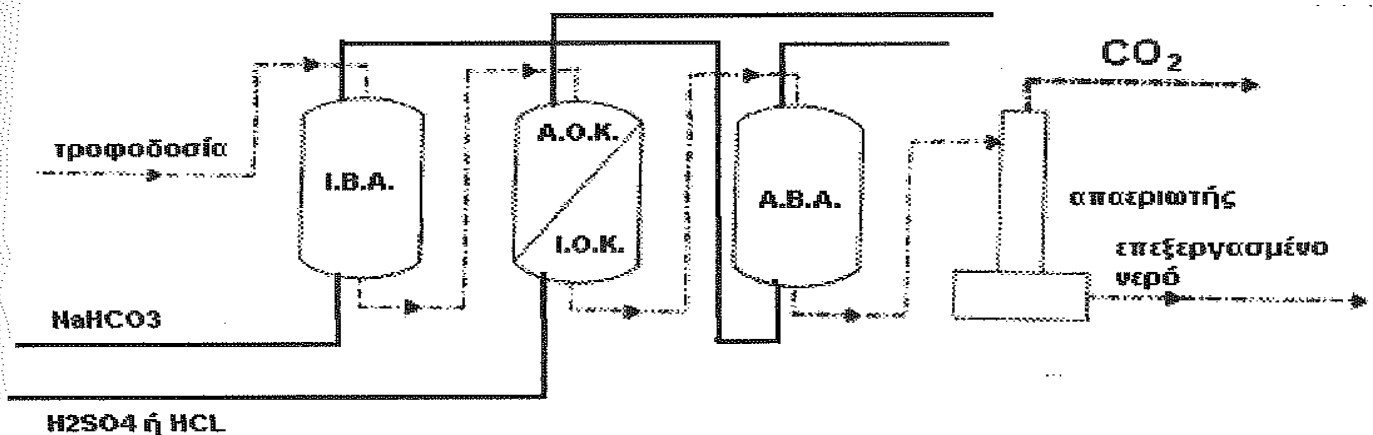


σχήμα 2.7: Two- unit

2.3.2 Μέθοδος RDI

Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται 4 διαφορετικές ρητίνες. Το νερό πρώτα περνά μέσω μιας ισχυρά βασικής ανιονικής ρητίνης όπου τα ισχυρά όξινα ανιόντα αντικαθίστανται από τα ανθρακικά ιόντα της ρητίνης. Στην συνέχεια διέρχεται μέσα από μια μονάδα ανταλλαγής ασθενώς και ισχυρά όξινης κατιονικής ρητίνης όπου το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το θείο απομακρύνονται, οι ανθρακικές ρίζες

μετατρέπονται σε ανθρακικό οξύ και το ουδέτερο άλας που διέφυγε από την προηγούμενη ανιονική μονάδα μετατρέπεται σε ανόργανη οξύτητα όπως νιτρικό, υδροχλωρικό και θειικό οξύ. Έπειτα το νερό περνά από μία ασθενώς βασική ανιονική ρητίνη όπου η ανόργανη οξύτητα προσροφάται αλλά το ανθρακικό οξύ περνά χωρίς καμία επίπτωση. Στην συνέχεια, γίνεται απαερίωση του νερού για την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα. Στην μέθοδο αυτή γίνεται αναγέννηση των ρητινών ώστε να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίησή τους. Στο σχήμα 2.8 φαίνεται η διαδικασία της μεθόδου RDI.



σχήμα 2.8: Μέθοδος RDI

2.4 Μέθοδος με ψύξη

Κατά την μέθοδο με ψύξη, τα διαλυμένα άλατα απομακρύνονται υπό μορφή κρυστάλλων. Αυτό επιτυγχάνεται με ψύξη του προς αφαλάτωση νερού. Όσο το νερό παγώνει και σε τακτά διαστήματα, οι κρύσταλλοι ξεπλένονται με την βοήθεια ειδικών διαλυμάτων ώστε να απομακρυνθεί το άλας. Στην συνέχεια ο κρύσταλλος λιώνει και έτσι παράγεται πόσιμο νερό. Αυτή είναι η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος.

Πλεονεκτήματα

- Πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια

- Μικρή πιθανότητα εμφάνισης διάβρωσης λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας
- Μικρή πιθανότητα εμφάνισης επικαθίσεων

Μειονεκτήματα

- Περιλαμβάνει χειρισμούς πάγου και διάφορες μίξεις νερού που είναι γενικά πολύπλοκες διαδικασίες
- Έχει αρκετά μεγάλο οικονομικό κόστος

2.5 Μελλοντικές δυνατότητες αφαλάτωσης

Πέντε είναι οι βασικοί άξονες στους οποίους πρέπει να κινηθούμε στο μέλλον ώστε να καταστήσουμε δυνατή την ακόμα μεγαλύτερη χρήση της αφαλάτωσης ως μεθόδου παραγωγής πόσιμου νερού. Αυτοί παρουσιάζονται παρακάτω με επιμέρους προτάσεις για τον καθένα:

Μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων της αφαλάτωσης

- Ανάπτυξη αρχών και σχεδίων για ευνοϊκότερη ενσωμάτωσή της μέσω της χρήσης διάφορων ενεργειακών πηγών όπως υβριδικών, ηλιακών και αιολικών συστημάτων
- Προσδιορισμός νέων σχεδίων βελτίωσης των υπαρχόντων τεχνολογιών αφαλάτωσης με λιγότερο ενεργειακό κόστος

Βελτιώσεις στις υπάρχουσες θερμικές τεχνολογίες

- Ανάπτυξη βελτιωμένων σχεδιαστικών και κατασκευαστικών τεχνολογιών για την μεταφορά θερμότητας με σκοπό την μείωση του κόστους επένδυσης

- Ανάπτυξη βελτιωμένων μεθόδων κατεργασίας του τροφοδοτικού νερού με σκοπό τον περιορισμό των φαινομένων δημιουργίας επικαθίσεων και επιστρώσεων
- Προτάσεις για αύξηση των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας με σκοπό την μείωση των επιφανειών μέσω των οποίων συμβαίνει αυτή
- Βελτίωση των μονάδων ελέγχου

Βελτιώσεις στις υπάρχουσες τεχνολογίες μεμβρανών

- Ανάπτυξη μεμβρανών που πετυχαίνουν καλύτερη απόδοση σε χαμηλές πιέσεις
- Ανάπτυξη καλύτερης τεχνολογίας προεργασίας του νερού
- Βελτίωση της αντίστασης των μεμβρανών
- Αύξηση του χρόνου ζωής των μεμβρανών
- Βελτίωση του μηχανισμού αποβολής άλατος από τις μεμβράνες
- Μείωση της συμπίεσης των μεμβρανών
- Ανάπτυξη αποδοτικότερων αντλιών και στροβίλων ανάκτησης θερμότητας

Ενσωμάτωση της αφαλάτωσης στο συνολικό σύστημα νερού

- Αύξηση της επαναχρησιμοποίησης του νερού μέσω των μεμβρανών
- Εστίαση σε διεργασίες που επιτρέπουν την εκμετάλλευση μολυσμένων υδάτων

- Εξέταση της περίπτωσης τροφοδοσίας νερού διαφορετικής ποιότητας από διάφορες καταναλωτικές ομάδες ή και βιομηχανίες

Μείωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με την αποβολή της άλμης

- Ανάπτυξη της αρχής της μηδενικής αποβολής φορτίου (άλμης)
- Ανάπτυξη φυσικών και όχι χημικών πρόσθετων κατά την φάση της προεργασίας

3. ΤΑΙΡΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Συχνά συμβαίνει σε γεωγραφικές περιοχές όπου το νερό είναι απαραίτητο να εμφανίζονται διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως αιολική, ηλιακή κ.α. Έτσι επόμενο είναι να συνδυάζονται αυτές οι πηγές ενέργειας με ένα σταθμό αφαλάτωσης, προκειμένου να παράγεται πόσιμο νερό όπως απαιτείται.

Ένα σύστημα αφαλάτωσης βασισμένο σε ΑΠΕ μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί τόσο εντός όσο και εκτός δικτύου ηλεκτροδότησης. Τελευταία τίθεται το θέμα της μεταβλητότητας των ΑΠΕ εξαιτίας του γεγονότος ότι πολλές από αυτές εμφανίζουν έλλειψη ενός μηχανισμού αποθήκευσης ενέργειας. Η παραγόμενη ισχύς μεταβάλλεται με το χρόνο μιας και η ταχύτητα του ανέμου ή η ηλιακή ακτινοβολία για παράδειγμα μεταβάλλονται. Η ενέργεια δηλαδή πρέπει να καταναλώνεται απευθείας ειδάλλως θα χαθεί. Καταναλωτής μπορεί να είναι μια διαδικασία αφαλάτωσης και εξαιτίας του ότι το νερό μπορεί να

αποθηκευτεί φθηνά, σε μεγάλες ποσότητες και για μεγάλα χρονικά διαστήματα, η προαναφερθείσα έλλειψη σταθερότητας δεν φαίνεται να είναι ιδιαίτερο πρόβλημα.

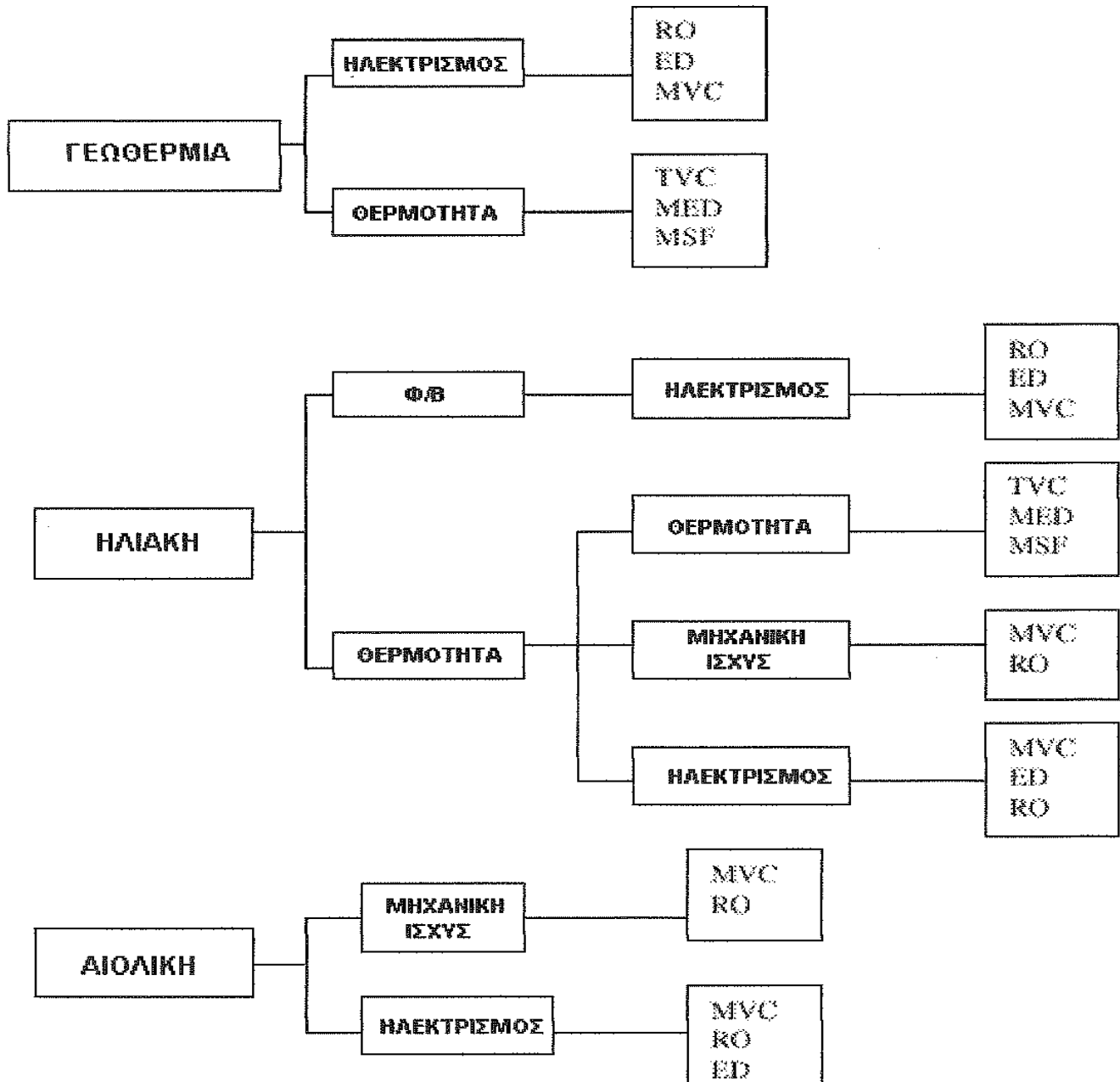
Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα αφαλάτωσης παραδοσιακά σχεδιάζονταν ώστε να λειτουργούν με σταθερή παροχή ισχύος. Έτσι οι απρόβλεπτες και ασταθείς συνθήκες που επικρατούν στις ΑΠΕ αναγκάζουν και τον σταθμό αφαλάτωσης να λειτουργεί σε μη κανονικές συνθήκες, πράγμα που δημιουργεί αρκετές φορές πρόβλημα. Αυτό συνήθως λύνεται με την προσθήκη ενός μικρού συστήματος αποθήκευσης ενέργειας αυξάνοντας όμως το κόστος της εγκατάστασης. Γενικά το ταίριασμα ΑΠΕ με μονάδες αφαλάτωσης είναι μία πρόκληση από τεχνικής άποψης.

Κατά τον σχεδιασμό ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης με ΑΠΕ, η αρχή που θα διέπει το ταίριασμα έχει κυρίαρχο ρόλο. Λόγω της έλλειψης οποιουδήποτε τύπου αποθήκευσης ενέργειας πρέπει η ενέργεια που παράγεται να εξισώνεται με την ενέργεια που καταναλίσκεται. Δυστυχώς κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα τόσο εύκολο. Έτσι η κύρια πρόκληση είναι η κατασκευή τέτοιων συστημάτων και η δημιουργία τέτοιων στρατηγικών ελέγχου που θα επιτρέπουν αυτήν την εξισορρόπηση.

Τρεις είναι κυρίως οι τρόποι που μπορούν να επιτρέψουν το ταίριασμα ΑΠΕ και συστημάτων αφαλάτωσης. Πρώτον, από πλευράς ισχύος, η παροχή ενέργειας στην μονάδα αφαλάτωσης κατ'απαίτηση. Αυτό σημαίνει ότι η μονάδα παροχής ισχύος πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να παράγει καθορισμένη ποσότητα ισχύος. Αυτό απαιτεί ένα υβριδικό πακέτο που θα έχει έναν αριθμό από διαφορετικά είδη παροχής ισχύος. Έτσι μπορεί να περιλαμβάνει τόσο ΑΠΕ όσο και συμβατές πηγές ενέργειας καθώς επίσης και μονάδες αποθήκευσης. Δεύτερον, ο σχεδιασμός ενός παροχής ισχύος που βασίζεται αποκλειστικά σε ΑΠΕ με σκοπό την μεταβολή των χαρακτηριστικών του φορτίου έτσι ώστε

ολόκληρη η παραγωγή ισχύος να απορροφάται από το φορτίο. Τρίτον, ο περιορισμός στο ελάχιστο της εξάρτησης του φορτίου από συμβατές πηγές ενέργειας.

Στο σχήμα 3.1 φαίνονται όλοι οι δυνατοί τρόποι συνδυασμού ΑΠΕ και τεχνολογιών αφαλάτωσης που είναι γνωστοί έως σήμερα.



σχήμα 3.1: Συνδυασμοί ΑΠΕ και αφαλάτωσης

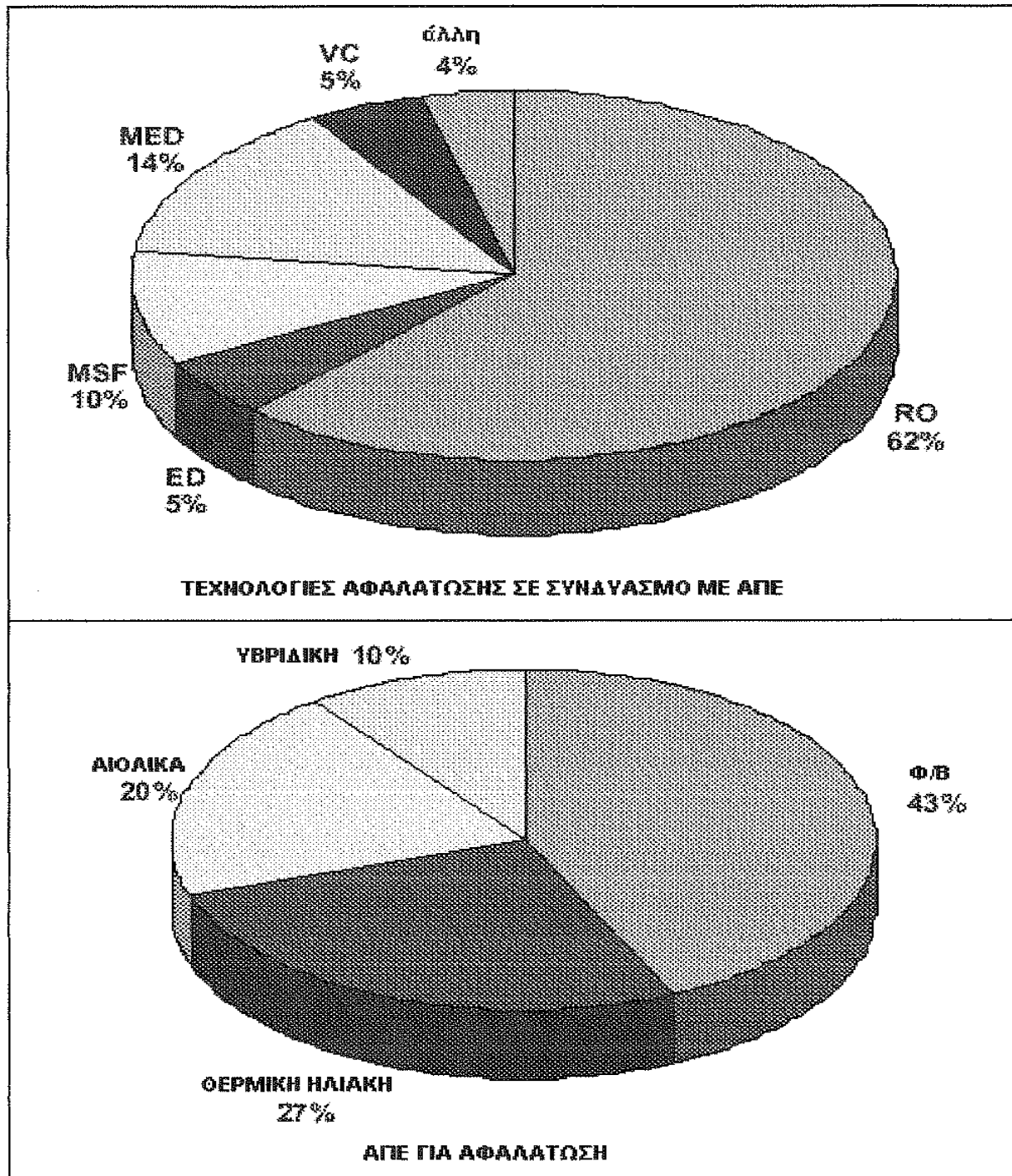
Όσον αφορά το είδος της ενέργειας που είναι καταλληλότερη για μια τέτοια εφαρμογή, η αιολική και ηλιακή ενέργεια φαίνεται να είναι οι επικρατέστερες. Η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό, και με ένα σύστημα αντίστροφης ώσμωσης είναι η

πιο ενδιαφέρουσα περίπτωση. Επιπλέον, διαθέσιμη φαίνεται να είναι και η γεωθερμία.

Γενικά η διαθεσιμότητα κάθε συστήματος αφαλάτωσης με ΑΠΕ κυρίως θα εξαρτηθεί στο μέλλον από:

- Το ανανεώσιμο ενεργειακό δυναμικό και το είδος της χρήσιμης ενέργειας που είναι διαθέσιμη μετά τον μετασχηματισμό από ανανεώσιμη σε θερμική, μηχανική, και ηλεκτρική
- Την απαιτούμενη χωρητικότητα παραγωγής από τον σταθμό αφαλάτωσης. Αυτή η χωρητικότητα κατά κάποιο τρόπο καθορίζει το μέγεθος του υποσυστήματος συλλογής ενέργειας
- Την διαθεσιμότητα έμπειρου προσωπικού και συντήρησης για την λειτουργία των σταθμών
- Το συνολικό κόστος του συστήματος

Στο σχήμα 3.2 φαίνεται το ποσοστό κάθε είδους ΑΠΕ σε σχέση με την διαδικασία της αφαλάτωσης καθώς και οι διαδικασίες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ΑΠΕ.



σχήμα 3.2

Στην παρούσα μελέτη θα ασχοληθούμε μόνο με την περίπτωση αφαλάτωση- αιολικά. Καλό θα ήταν όμως πριν γίνει αυτό, να κάνουμε μια αναφορά στις ανεμογεννήτριες αυτές καθ' αυτές και στον τρόπο λειτουργίας τους.



4. ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

4.1 Ο άνεμος

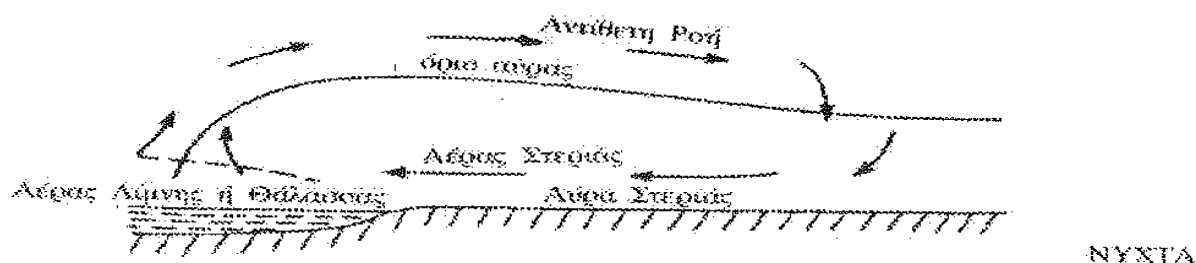
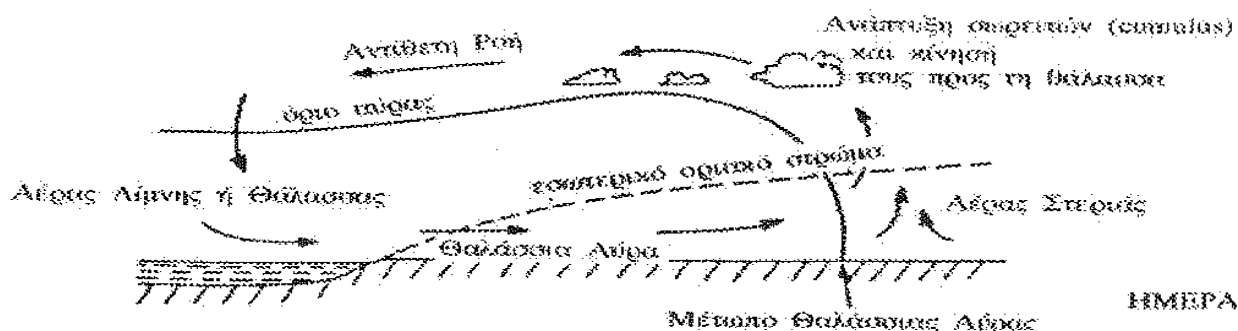
Οι άνεμοι της γης παράγονται κυρίως από την άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο. Ως γνωστό οι θάλασσες παρουσιάζουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, αφού, εκτός από την εξάτμιση, η θερμότητα μεταφέρεται προς τα κάτω μέσα στις υδάτινες μάζες. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας ο αέρας πάνω από λίμνες, θάλασσες και ωκεανούς παραμένει σχετικά κρύος, σε σχέση πάντα με τον αέρα που βρίσκεται πάνω από την ξηρά και που θερμαίνεται περισσότερο. Από τη θέρμανση του αέρα της ξηράς έχουμε ελάττωση της πυκνότητάς του με συνέπεια την ανύψωσή του. Και ο βαρύτερος κρύος αέρας που βρίσκεται πάνω από το νερό κινείται για να πάρει τη θέση του. Με τον τρόπο αυτό παράγονται τα τοπικά **παραλιακά ρεύματα**. Κατά τη διάρκεια της νύκτας τα παραλιακά αυτά ρεύματα αντιστρέφονται, επειδή η θερμοκρασία της ξηράς ελαττώνεται γρηγορότερα από αυτήν του νερού και έτσι ο ψυχρότερος, άρα και βαρύτερος αέρας της ξηράς κινείται προς τη θάλασσα όπου αναπληρώνει τον αέρα που ανυψώνεται από την επιφάνεια της θάλασσας.

Παρόμοια τοπικά ρεύματα συμβαίνουν στις βουνοπλαγιές κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν ο θερμός αέρας ανυψώνεται κατά μήκος των θερμών πλαγιών που θερμαίνονται από τον ήλιο. Κατά τη νύκτα ο σχετικά κρύος αέρας των πλαγιών κινείται κάτω προς τις πεδιάδες.

Κατά τον ίδιο τρόπο παράγονται οι **πλανητικοί άνεμοι**, λόγω της μεγαλύτερης θέρμανσης της επιφάνειας της γης κοντά στον Ισημερινό από ότι στους Πόλους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κρύοι επιφανειακοί άνεμοι να φυσούν από τους πόλους προς τον ισημερινό προς αντικατάσταση του

αέρα που ανυψώνεται στις τροπικές περιοχές και κινείται στην ανώτερη ατμόσφαιρα προς τους πόλους.

Υπάρχουν επίσης και οι εποχιακοί άνεμοι όπως οι Μουσσώνες καθώς και οι Ετήσιοι ή όπως διαφορετικά αποκαλούνται **μελτέμια**. Για τους τελευταίους θα αναφέρουμε λίγα ακόμα πράγματα λόγω του ενδιαφέροντος τους, αφού παρουσιάζονται κυρίως στην περιοχή του Αιγαίου. Είναι άνεμοι του καλοκαιριού, βόρειο-βορειοανατολικοί κυρίως στην περιοχή του Αιγαίου, μέχρι και βορειοδυτικής κυρίως διεύθυνσεως. Αρχίζουν να πνέουν από τις αρχές Μαΐου και εξασθενούν μέσα Οκτωβρίου, με μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα από τα μέσα Ιουλίου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου. Η ημερήσια διακύμανση τους παρουσιάζει ένα μέγιστο κατά τις απογευματινές ώρες ενώ η ένταση τους κατά τη νύκτα ελαττώνεται.



4.2 Αιολική ενέργεια

Ο άνεμος έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας από τα πανάρχαια χρόνια. Χώρες χρωστούσαν τον πλούτο και την ναυτιλιακή ικανότητα τους στον άνεμο που κινούσε τα ιστιοφόρα πλοία τους. Στην ξηρά εξ' άλλου χρησιμοποιήθηκε στους ανεμόμυλους άντλησης νερού ή άλεσης σιτηρών.

Η κινητική ενέργεια του ανέμου οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ισχύς των ανέμων σ' όλη τη γη υπολογίζεται σε $3,6 \cdot 10^9$ MW. Ενδεικτικά οι ενεργειακές ανάγκες των Η.Π.Α. είναι μόλις το 10% της ενέργειας των ανέμων που πνέουν εκεί, γεγονός που αποδεικνύει πόσο πλούσια πηγή ενέργειας είναι ο άνεμος. Η ισχύς ρεύματος γενικά είναι ανάλογη της πυκνότητάς του και του κύβου της ταχύτητάς του. Έτσι για την ίδια ταχύτητα και διατομή ένα ρεύμα αέρα θα έχει περίπου 800 φορές μικρότερη ενέργεια από αντίστοιχη δέσμη νερού. Η αιολική ενέργεια συνεπώς είναι μια «αραιή» ή «ήπια» μορφή ενέργειας, δηλαδή είναι μικρή η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί σε κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας που προσβάλλεται από τον άνεμο. Για παράδειγμα άνεμος εντάσεως 5 μποφόρ, περίπου $9,5 \text{ m/s}$, έχει ισχύ 500 W ανά m^2 προσβαλλόμενης επιφάνειας, ενώ ένας ανεμοκινητήρας (Α/Κ) μπορεί στην καλύτερη περίπτωση να δεσμεύσει το 48% αυτής της ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη κατασκευής μονάδων, μεγάλων διαστάσεων. Σ' αυτό το μειονέκτημα αντεπεξέρχεται με επιτυχία η σημερινή τεχνολογία με την κατασκευή ανεμοκινητήρων μεγάλων διαστάσεων που ανταγωνίζονται οικονομικά τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Παράλληλα η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα ότι δίνει απ' ευθείας μηχανική ενέργεια μία «αναβαθμισμένη» κατά την τεχνική

ορολογία, μορφή ενέργειας που με πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης και απλά μέσα μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί συνεπώς μια αστείρευτη πηγή ενέργειας με αξιοσημείωτο δυναμικό και με δωρεάν πρώτη ύλη στη διάθεση της ανθρωπότητας και προβάλλει σήμερα ως μία από τις πιο κατάλληλες εναλλακτικές πηγές για την παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά και για άλλες χρήσεις.

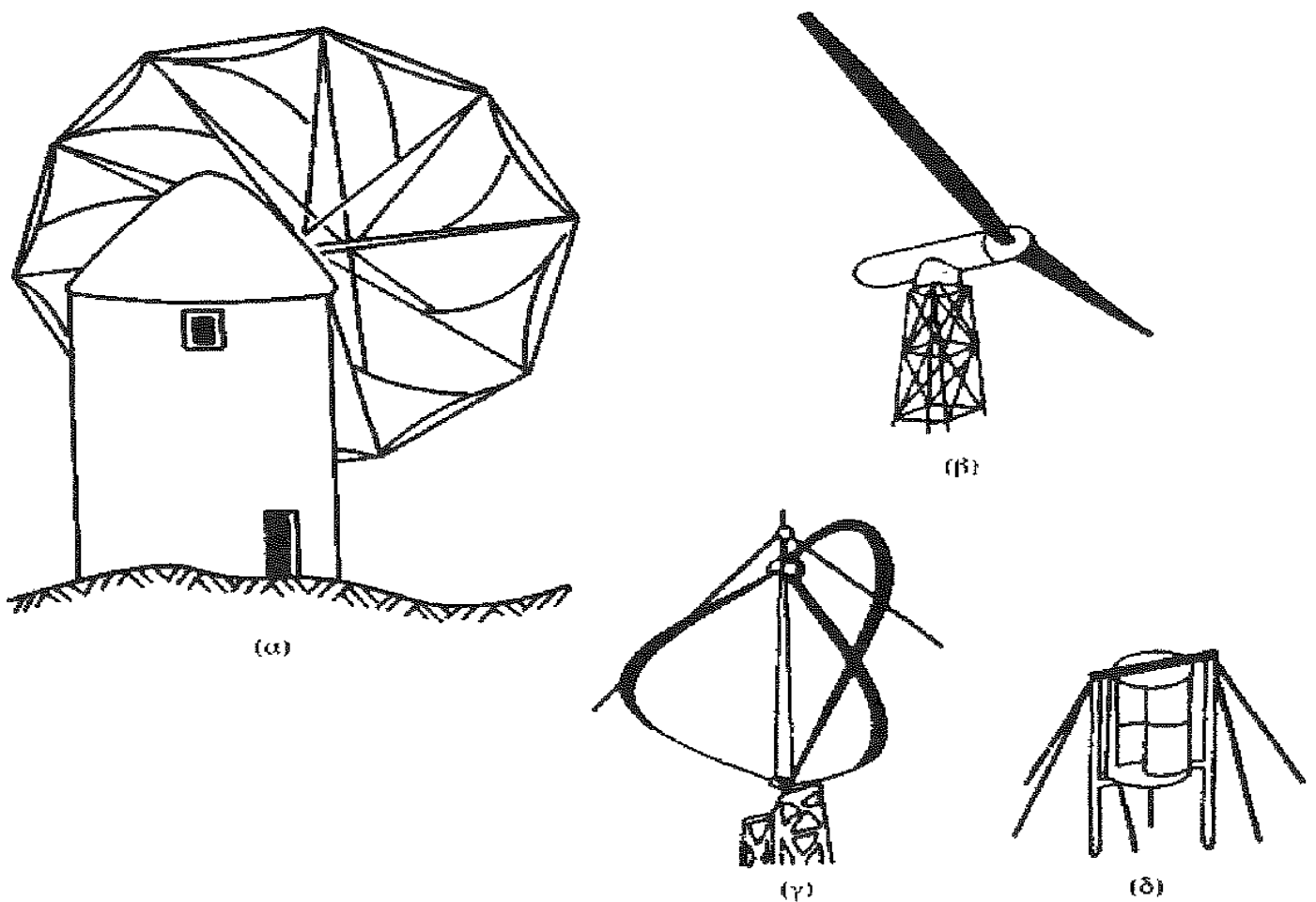
4.3 Γνωριμία με τους ανεμοκινητήρες

Οι ανεμοκινητήρες αναπτύχθηκαν από αρχαιοτάτων χρόνων και για πολλούς αιώνες χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα ιδιαίτερα σε αγροτικές εφαρμογές. Η εποχή άλλωστε, που έγινε πολύ εκτεταμένη χρήση ανεμόμυλων, είναι σχετικά πρόσφατη. Για παράδειγμα στις Η.Π.Α. κατασκευάστηκαν περίπου έξι εκατομμύρια ανεμόμυλοι ανάμεσα στα 1880 και στον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Μετά τον πόλεμο η χρήση τους αρχίζει να υποχωρεί και οι βασικοί λόγοι που οδήγησαν στο γεγονός αυτό είναι δύο. Ο πρώτος είναι η ανάπτυξη άλλων μορφών ενέργειας που παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα και ταυτόχρονα είναι απαλλαγμένες από τον στατιστικό χαρακτήρα του ανέμου, δηλαδή παρουσιάζουν μεγαλύτερη αξιοπιστία διαθεσιμότητας. Ο δεύτερος βρίσκεται στη δημιουργία εκτεταμένων ηλεκτρικών δικτύων, που φθάνουν ακόμα και στα πιο απομακρυσμένα και απομονωμένα μέρη. Με αυτά τα δεδομένα έπαυσε κάθε ενδιαφέρον γύρω από ανεμόμυλους για περίπου τριάντα χρόνια, μετά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Όμως την τελευταία δεκαετία το ενδιαφέρον σχετικά με την αιολική ενέργεια γνωρίζει νέα άνθιση. Έναυσμα έδωσε η πετρελαϊκή κρίση του 1973. Το κίνητρο ήταν καθαρά οικονομικό γιατί έπρεπε να βρεθούν και να αξιοποιηθούν νέες πηγές ενέργειας. Στη συνέχεια εμφανίστηκε και ένας νέος παράγοντας, που τη φορά αυτή ήταν οικολογικός. Η προστασία του

φυσικού περιβάλλοντος άρχισε να απασχολεί έντονα τόσο τους επιστήμονες όσο και την κοινή γνώμη.

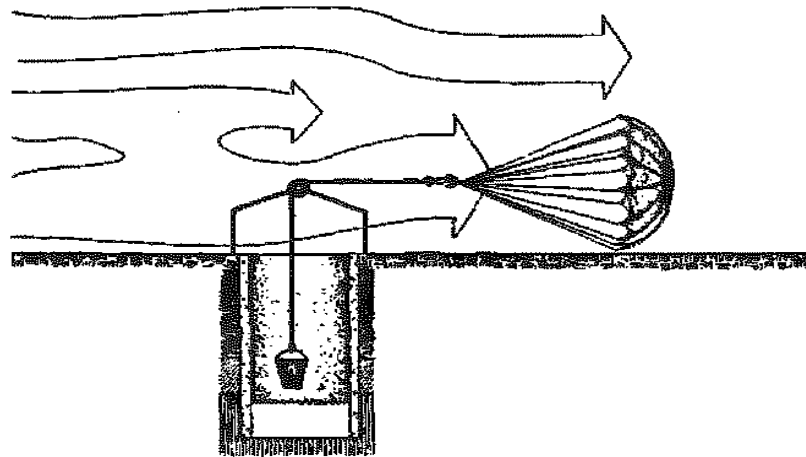
Έτσι δημιουργήθηκε νέο ενδιαφέρον για ήπιες μορφές ενέργειας, οι οποίες έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό που τις κάνει ιδιαίτερα ελκυστικές, είναι ανανεώσιμες. Κάτω από αυτές τις συνθήκες οι ανεμόμυλοι ξεπέρασαν το προηγούμενο στάδιο τους (που τους ήθελε σχεδόν αποκλειστικά σε αγροτικές εφαρμογές), και μπήκαν στη (συμ)παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.



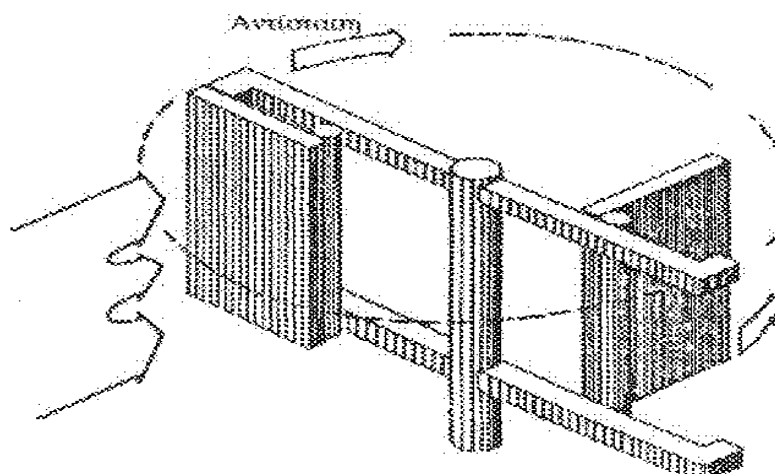
Σχήμα 4.1: Τύποι Ανεμοκινητήρων. (α) Παραδοσιακός νησιώτικος Α/Κ, (β) Διπτέρυγος Α/Κ οριζόντιου άξονα, (γ) Τριπτέρυγος Α/Κ Darrieus, (δ) Α/Κ τύπου Savonius

Η έρευνα πάνω σε θέματα αιολικής ενέργειας καθώς και η εξέλιξη της τεχνολογίας είχαν σαν αποτέλεσμα οι σημερινοί ανεμοκινητήρες να μοιάζουν ελάχιστα ή και καθόλου με τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους (βλέπε σχήμα 4.1α). Χαρακτηριστική είναι η διαφορά που υπάρχει

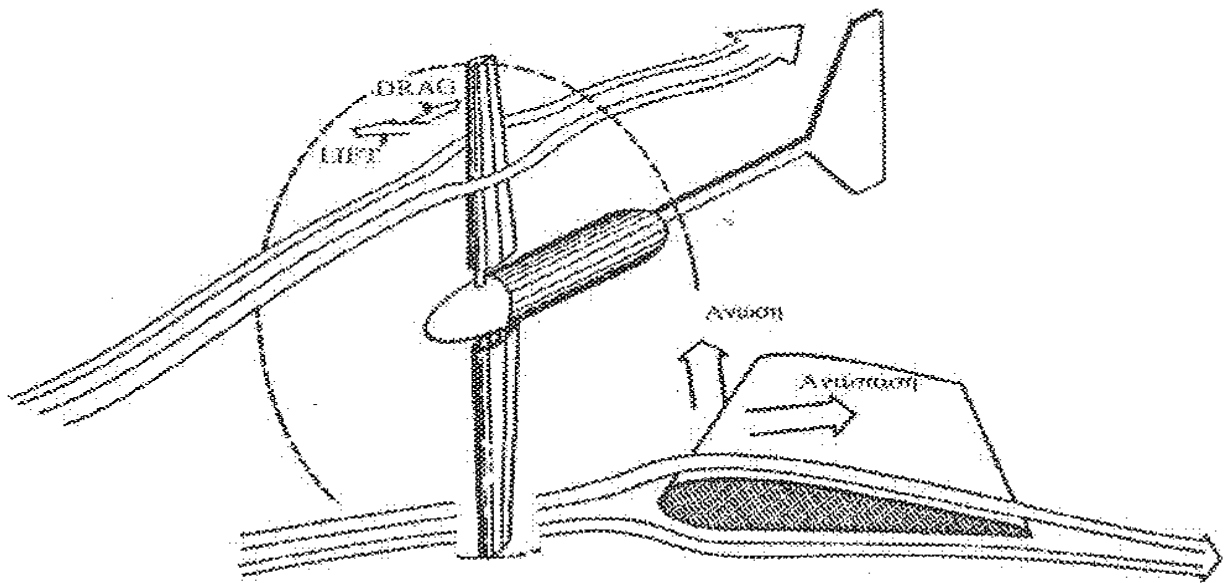
στην αρχή λειτουργία τους. Οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι κινούνται είτε με τη βοήθεια της αντίστασης των πτερυγίων τους στον άνεμο, είτε με (κακή) εκμετάλλευση της άνωσης που ασκείται πάνω τους, σχήματα 4.2α, και 4.2β. Στους σύγχρονους ανεμοκινητήρες (σχ. 4.1β και σχ. 4.1γ) η κίνηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άνωση. Η υπεροχή των σημερινών μονάδων γίνεται προφανής, αν ληφθεί υπ' όψη ότι σε μια αεροτομή η άνωση μπορεί να γίνει υπερδεκαπλάσια της αντίστασης, σχήματα 4.2γ.



Σχήμα 4.2α: Εκτέλεση έργου με εκμετάλλευση της αεροδυναμικής αντίστασης.



Σχήμα 4.2β: Εκμετάλλευση αντίστασης για παραγωγή έργου. Βελτίωση διάταξης 4.2α.



Σχήμα 4.2γ: Εκμετάλλευση άνωσης για παραγωγή έργου.

Ο βαθμός απόδοσης C_p , που ονομάζεται και συντελεστής ισχύος, εκφράζει την απόδοση του δρομέα και ορίζεται ως ο λόγος της δεσμευόμενης αιολικής ισχύος (στον άξονα του δρομέα) προς την ισχύ του ρεύματος του αέρα, που διέρχεται δια μέσου της μηχανής.

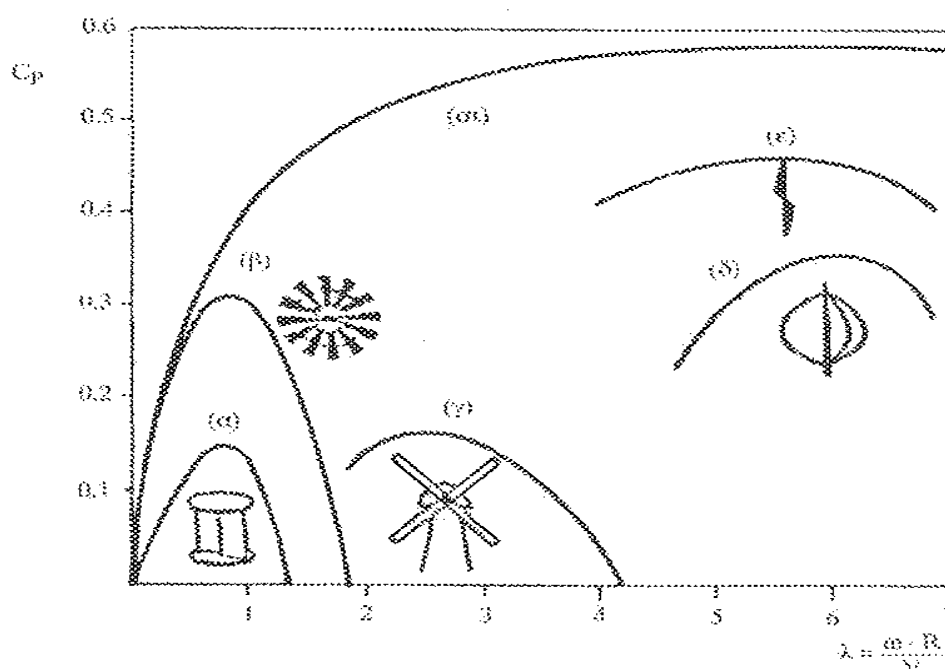
$$C_p = \frac{P}{1/2 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A}$$

Ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται από τον τύπο του ανεμοκινητήρα και από το λόγο της περιφερειακής ταχύτητας του ακροπτερυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου, λ . Για κάθε δρομέα υπάρχει ένα συγκεκριμένο διάγραμμα που δίνει πληροφορίες για την απόδοση του δρομέα σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Ενδεικτικά δίνονται στο σχήμα 4.2ε συγκεντρωμένα διαγράμματα απόδοσης για διάφορους τύπους ανεμοκινητήρων. Με τα διαγράμματα αυτά μπορούμε να συγκρίνουμε την απόδοση των διαφόρων τύπων στους λόγους λ ταχύτητας ακροπτερυγίου, οπότε προκύπτει και η διάκριση των ανεμοκινητήρων σε βραδύστροφους (π.χ. Savonious) και ταχύστροφους (π.χ. έλικες). Φαίνεται καθαρά ότι οι σύγχρονοι ανεμοκινητήρες υπερέχουν των παραδοσιακών διότι

παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές ισχύος και μάλιστα σε μεγάλες τιμές καταστάσεως λειτουργίας (μεγάλη περιφερειακή ταχύτητα δρομέα). Να σημειωθεί από τώρα, αν και θα αποδειχθεί αργότερα, ότι ο μέγιστος συντελεστής ισχύος ανεμοκινητήρα είναι στην ιδανικότερη των περιπτώσεων 59% περίπου. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από το λειτουργικό διάγραμμα απόδοσης των ανεμοκινητήρων είναι ότι ο ιδανικός ανεμοκινητήρας έχει άνω όριο στο συντελεστή ισχύος του ίσο με $19/27$, που καλείται και όριο του Betz. Η ισχύς που αποδίδεται από κάθε ανεμογεννήτρια εκφράζεται από τη σχέση:

$$P = C_p \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^3 \cdot A$$

όπου A η μετωπική επιφάνεια του ανεμοκινητήρα, V η ταχύτητα του ανέμου στον άξονα του δρομέα, ρ η πυκνότητα του αέρα. Η σχέση ισχύος υποδηλώνει ότι η παραγόμενη ενέργεια από την ανεμοκίνηση είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Αυτό σημαίνει ότι με διπλασιασμό της ταχύτητας του ανέμου οκταπλασιάζεται η παραγόμενη



Σχήμα 4. 2ε : Συντελεστής ισχύος ως συνάρτηση της ταχύτητας ακροπτερυγίου.

ενέργεια από τη μηχανή. Το σχήμα 4.2ε υποδεικνύει ότι ο ελικοφόρος ανεμοκινητήρας επιτυγχάνει συντελεστή ισχύος γύρω στα 40% έως 45%, ενώ ο κατακόρυφος άξονας τύπου Darrieus ελαφρώς μικρότερο. Με την αύξηση όμως των διαστάσεων των ανεμοκινητήρων αυτών και τη σχετική μείωση της επίδρασης του αριθμού Reynolds και του πάχους του οριακού στρώματος στο συντελεστή ισχύος, οι βαθμοί απόδοσης των Α/Κ αυτών τείνουν να εξισωθούν.

Στις μέρες μας ο πιο γνωστός τύπος ανεμοκινητήρα, που έχει εφαρμοστεί ευρύτατα στην πράξη, είναι δρομέα οριζοντίου άξονα, σχήμα 4.1β και θυμίζει έντονα έλικα αεροπλάνου ή ελικοπτερου. Όμως γύρω στα 1970 εμφανίζεται στο προσκήνιο ένας νέος τύπος ανεμοκινητήρα με δρομέα κατακόρυφου άξονα περιστροφής και καμπύλα πτερύγια. Ο ανεμοκινητήρας αυτός αποτελεί εξέλιξη μιας παλιάς ιδέας του Γάλλου G. Darrieus που είχε και τη σχετική πατέντα από το 1931, σχήμα 4.1γ. Η μορφή των πτερυγίων του δρομέα Darrieus είναι τέτοια ώστε να μην αναπτύσσονται καθόλου καμπτικές τάσεις από τις φυγόκεντρες δυνάμεις που δημιουργεί η περιστροφή και ουσιαστικά είναι η μορφή που παίρνει ένα σχοινί που περιστρέφεται γύρω από άξονα.

Συγκριτική αξιολόγηση των ανεμοκινητήρων αυτών θα γίνει στα επόμενα. Ένας τρίτος τύπος ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα είναι αυτός που φαίνεται στο σχήμα 4.1δ και καλείται Savonius. Ο ανεμοκινητήρας αυτός βασίζει την κίνηση του στην αντίσταση που παρουσιάζει στη ροή και όχι στην άνοση και γι' αυτό έχει πολύ χαμηλότερο βαθμό απόδοσης από τους άλλους δύο τύπους όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2ε (καμπύλη α).

4.4 Προοπτικές εφαρμογής Α/Κ στην Ελλάδα

Η χώρα μας βρίσκεται στην εύκρατη ζώνη όπου επικρατούν καλής ταχύτητας άνεμοι, συγχρόνως όμως έχει και ευνοϊκή διαμόρφωση εδάφους που συμβάλλει στην επαύξηση της αιολικής ενέργειας. Οι παραλιακές περιοχές, και ιδιαίτερα οι νησιώτικες, προσφέρονται για εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου, και εξασφαλίζουν ικανοποιητικό συντελεστή χρησιμοποίησης της εγκατάστασης. Επομένως τα νησιά μας διεκδικούν πρωταρχική θέση στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, γι' αυτό και εκεί παλαιότερα γίνονταν σε μεγάλη κλίμακα εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής, αλλά και γιατί δεν υπήρχαν πρωτογενείς μορφές ενέργειας.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας θα μπορούσε να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των αναγκών των νησιών μας και να γίνει πηγή εθνικού πλούτου. Στον νησιωτικό χώρο εξ' άλλου δεν εμφανίζονται τυφώνες και υπάρχει πνοή ανέμου όλο το χρόνο με ελάχιστες ημέρες άπνοιας.

Σήμερα οι ανάγκες των νησιών σε ενέργεια καλύπτονται από τους αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι είναι τοπικοί Δηζελοηλεκτρικοί σταθμοί, εκτός από Κρήτη και Ρόδο, ενώ μερικά νησιά που είναι κοντά στην ηπειρωτική πλευρά έχουν συνδεθεί και τροφοδοτούνται από τα κεντρικά δίκτυα. Ένας αριθμός νησιών έχουν συνδεθεί μεταξύ τους και τροφοδοτούνται από κεντρικούς αυτόνομους σταθμούς. Για πολλά χρόνια προβλέπεται ότι τα νησιά που είναι απομακρυσμένα από την ηπειρωτική Ελλάδα, θα στηρίζουν την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών στην αυτόνομη παραγωγή και θα παραμένουν ανεξάρτητα από το εθνικό δίκτυο.

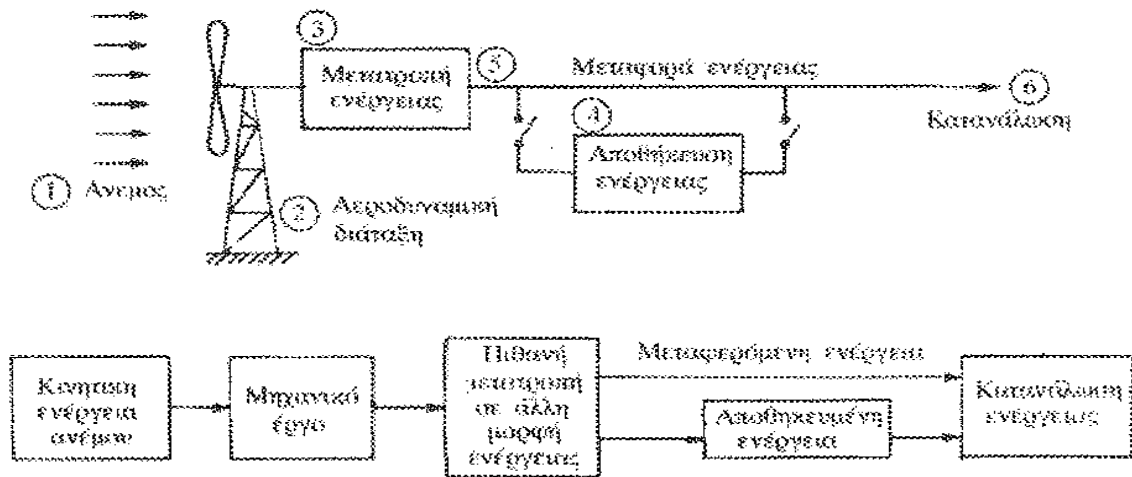
Οι δαπάνες για προμήθεια και εγκατάσταση μονάδων παραγωγής, αγορά και μεταφορά καυσίμων, λειτουργία και συντήρηση των μονάδων, στρεφόμενη και εγκαταστημένη εφεδρεία για την εξυπηρέτηση μικρών

φορτίων με μεγάλες μεταβολές, επιβαρύνουν υπέρμετρα το κόστος της παραγωγής. Αλλά και η ανάγκη επέκτασης των δικτύων για εξυπηρέτηση των διασπαρμένων καταναλωτών δημιουργεί κόστος. Για όλα αυτά χρειάζεται διερεύνηση και αναζήτηση της πιο πρόσφορης λύσης μέσα σε πλαίσιο οικονομικά αποδεκτό. Περιοχές που ευρίσκονται μακριά από τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ή μικρά νησάκια που δεν δικαιολογείται η εγκατάσταση αυτόνομου σταθμού μπορούν να εξυπηρετηθούν με μικρές ανεμογεννήτριες ικανές να καλύψουν ανάγκες φωτισμού, άντλησης νερού, θέρμανσης νερού και κατοικίας, και ψύξης για συντήρηση τροφίμων.

4.5 Τύποι και υποσυστήματα ανεμοκινητήρων

Ο ανεμοκινητήρας από την εποχή της εμφάνισής του μέχρι σήμερα έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο του (οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματα του (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.λ.π.). Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από τον ανεμοκινητήρα σε άλλη «αναβαθμισμένη» μορφή ενέργειας.

Μία εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καθώς και της ροής ενέργειας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.3: Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας

Η διάταξη αυτή είναι μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης (π.χ. μιας έλικας). Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (π.χ. άντληση νερού). Στη γενικότερη όμως περίπτωση απαιτείται η μετατροπή του σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, είτε γιατί δεν χρειαζόμαστε μόνο μηχανικό έργο, είτε γιατί ο τόπος της

κατανάλωσης δεν συμπίπτει με τον τόπο που είναι εγκατεστημένος ο ανεμοκινητήρας, δηλαδή απαιτείται η μεταφορά της δεσμευόμενης αιολικής ενέργειας. Σ' αυτήν την περίπτωση η πιο πρόσφορη διάταξη είναι εκείνη που μετατρέπει το μηχανικό έργο σε άλλη μορφή ενέργειας, που μπορεί να μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά στο τόπο της κατανάλωσης. Εδώ και πολύ καιρό μάλιστα οι περισσότερες έρευνες στρέφονται προς τη κατεύθυνση της μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα του ανεμοκινητήρα σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της ή της παραγωγής επί τόπου υδρογόνου (με ηλεκτρόλυση) που μπορεί να αποθηκευθεί ή να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η τελευταία περίπτωση αποτελεί ίσως και την βέλτιστη από πολλές απόψεις πρόταση αξιοποίησης γενικότερα των Ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, δεδομένου ότι είναι οικολογικά αποδεκτή διότι με την καύση του υδρογόνου παράγεται μόνο νερό.

Είναι γνωστές οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με το χρόνο. Είναι επίσης γεγονός ότι πολλές φορές δεν πνέει καθόλου άνεμος για ορισμένα χρονικά διαστήματα. Αυτά έχουν ως συνέπεια χρονική ασυμφωνία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής ενέργειας. Η λύση στο πρόβλημα βρίσκεται βασικά στην αποθήκευση της ενέργειας. Η αποθηκευμένη ενέργεια καλύπτει το ενεργειακό έλλειμμα που παρουσιάζεται, όταν η ισχύς του ανέμου πέφτει κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο. Το επίπεδο αυτό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ενεργειακής ζήτησης και τα χαρακτηριστικά των άλλων πηγών ενέργειας που υπάρχουν για την ικανοποίηση της ζήτησης αυτής π.χ. «στιβαρότητα του ηλεκτρικού δικτύου», είδος σταθμών παραγωγής κ.λ.π.

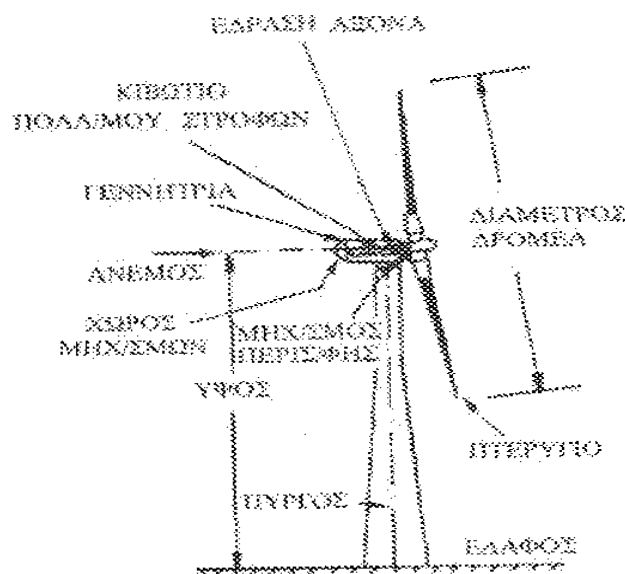
Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός πλήρους συστήματος εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνει:

- Μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του ανεμοκινητήρα και την πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας.
- Σχεδιασμός της αεροδυναμικής διάταξης, που να μετατρέπει κατά τον αποδοτικότερο τρόπο την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο.
- Μελέτη της περίπτωσης μετατροπής του μηχανικού έργου σε άλλη πιο συμφέρουσα μορφή ενέργειας και βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα.
- Εύρεση του καλύτερου τρόπου αντιμετώπισης των διακυμάνσεων της ενέργειας του ανέμου.
- Μελέτη του βέλτιστου τρόπου μεταφοράς ενέργειας, αν απαιτείται.
- Διερεύνηση της καλύτερης προσαρμογής της μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας του συστήματος προς την κατανάλωση.

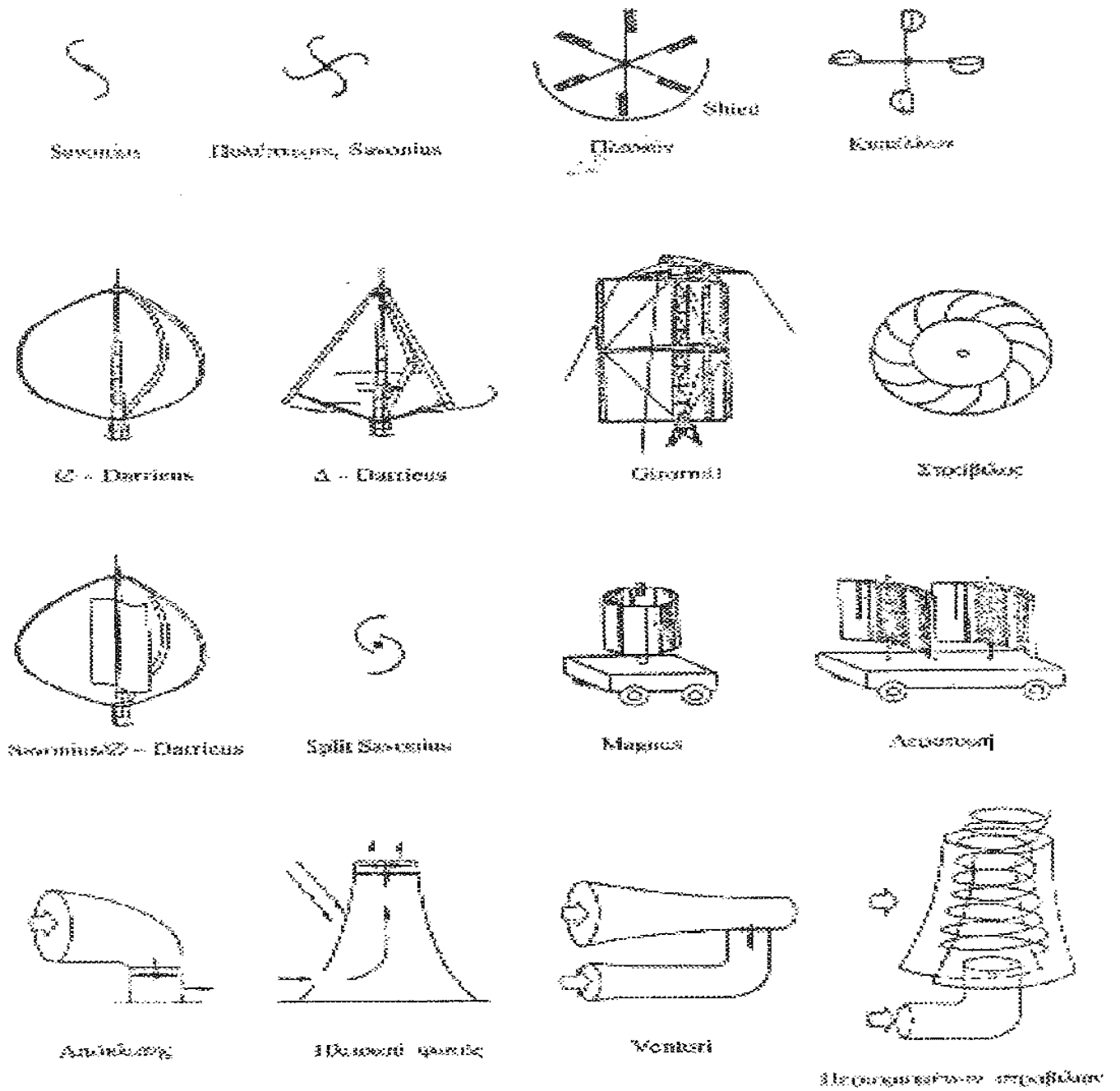
Οι λέξεις «καλύτερος», «βέλτιστος», υποδηλώνουν βελτιστοποίηση τόσο από τεχνικής όσο και (κυρίως) οικονομικής σκοπιάς. Μία οποιαδήποτε επιστημονική έρευνα ή και βέλτιστη διάταξη αιολικής εγκατάστασης θα έχανε το μεγαλύτερο μέρος της αξίας της, αν στους στόχους της δεν είχε να καταστήσει την αιολική ενέργεια οικονομικά ανταγωνιστική με τις άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας. Λέγεται ότι μέχρι σήμερα έχουν επινοηθεί και εφαρμοστεί στην πράξη περισσότεροι τύποι ανεμομηχανών από οποιοδήποτε άλλο τύπο εφεύρεσης. Οι ανεμοκινητήρες μπορούν να

ταξινομηθούν σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με την ροή του ανέμου σε:

- Οριζόντιου άξονα, στους οποίους ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου. (σχήμα 4.4)
- Οριζόντιου άξονα (Cross-Wind), στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης αλλά κάθετος στην κατεύθυνση της ροής του ανέμου.
- Καθέτου άξονα στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου. (σχήμα 4.5)



Σχήμα 4.4: Ανεμοκινητήρας οριζοντίου άξονα



Σχήμα 4.7: Τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα

5. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε αυτό το τμήμα της μελέτης, θα γίνει παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο γίνεται ο συγκερασμός της διαδικασίας της αφαλάτωσης με την αιολική ενέργεια. Αναλυτικότερα:

- Θα γίνει σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης μεταξύ τους όσον αφορά το κατά πόσο μπορούν να λειτουργήσουν αντλώντας ενέργεια από μία ανεμογεννήτρια
- Θα παρουσιασθεί το πλήρες σύστημα αφαλάτωσης (σύστημα ελέγχου, τρόπος λειτουργίας κ.λ.π.) με χρήση ανεμογεννήτριας
- Θα γίνει αναφορά σε ορισμένα προγράμματα και πειράματα σχετικά με αυτό το αντικείμενο

Από την μέχρι σήμερα δραστηριότητα στο τομέα της αφαλάτωσης νερού με χρήση αιολικής ενέργειας, προκύπτει ότι μόνον 3 από τις προαναφερθείσες μεθόδους έχουν κατά κύριο λόγο εφαρμογή:

- Η αντίστροφη ώσμωση(R.O.)
- Η ηλεκτροδιάλυση(EDR)
- Η εν κενό συμπίεση υδρατμών

Η σύγκριση λοιπόν θα γίνει μεταξύ των τριών αυτών μεθόδων και στηρίζεται στα πειραματικά αποτελέσματα ενός προγράμματος που έχει ξεκινήσει στις Κανάριες Νήσους και το οποίο ονομάζεται SDAWES (Seawater Desalination with an Autonomous Wind Energy System).

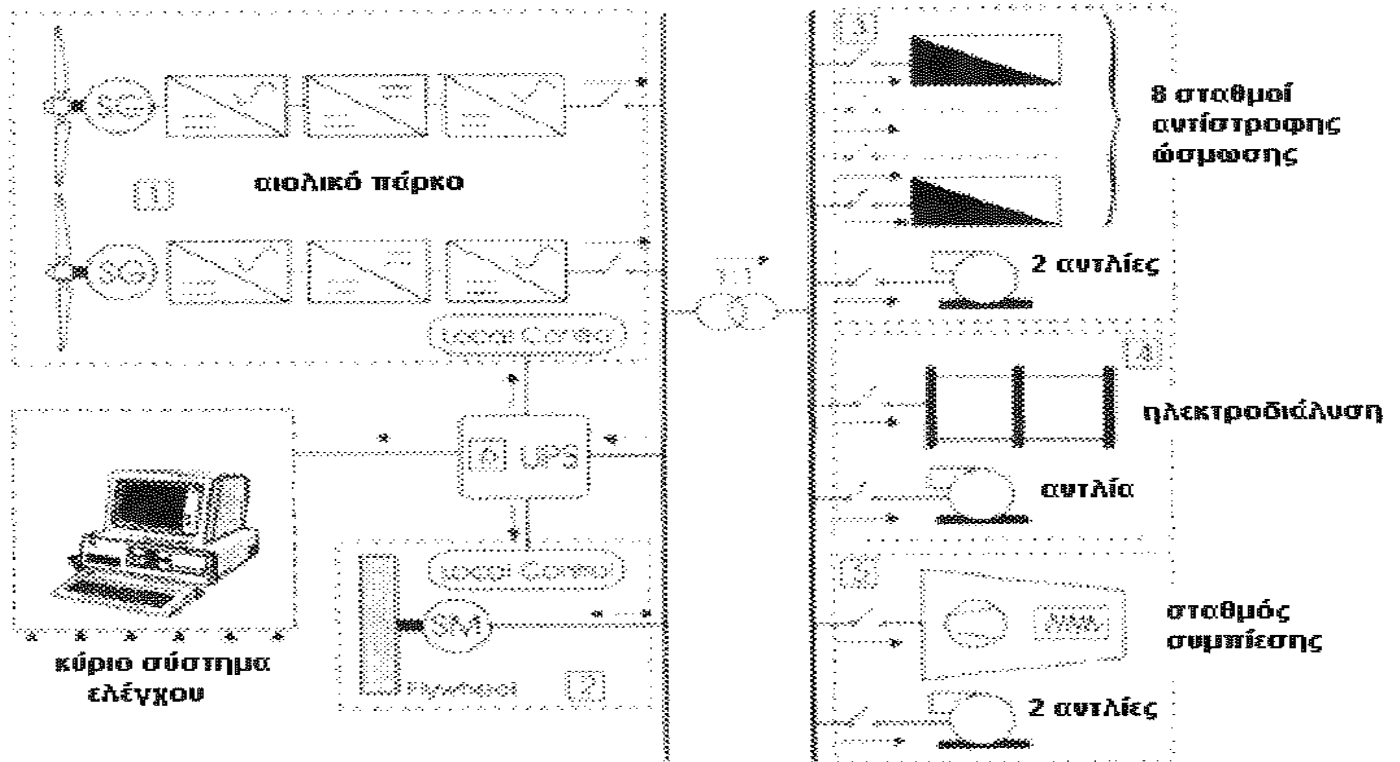
5.1 Σύγκριση 3 μεθόδων

Όσον αφορά την περίπτωση της ηλεκτροδιάλυσης, σκοπός του παραπάνω πειράματος ήταν να αναλύσει την τεχνική ικανότητα αυτής της τεχνολογίας στην αφαλάτωση υφάλμυρου νερού (με αλμυρότητα λιγότερη των 10000 ppm) όταν μεταβάλλονται οι λειτουργικές παράμετροι (τάση και ένταση του ρεύματος) μιας και η τροφοδοσία από ανεμογεννήτρια είναι μεταβαλλόμενη. Έτσι έγινε επιλογή δύο στηλών μεμβρανών και με μέγιστη χωρητικότητα 192 m³/ημέρα.

Στην περίπτωση της εν κενό συμπίεσης ατμών σκοπός ήταν η ανάλυση της τεχνικής ικανότητας αυτής της τεχνολογίας, όταν μεταβάλλεται η ταχύτητα του συμπιεστή λόγω της μεταβαλλόμενης τροφοδοσίας του από την ανεμογεννήτρια. Χρησιμοποιήθηκε ένας συμπιεστής με ονομαστική ισχύ 30 KW και αντίσταση 20 KW για την εκκίνηση και 10 KW όταν ο συμπιεστής έρθει σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Η χωρητικότητα του σταθμού είναι 50 m³/ημέρα.

Στην μελέτη της αντίστροφης ώσμωσης σκοπός ήταν η ανάλυση της τεχνικής ικανότητας της μεθόδου όταν μεταβάλλεται η παραγωγή προϊόντος, δηλαδή ο αριθμός των σταθμών αφαλάτωσης, αλλά με πρακτικά σταθερές λειτουργικές παραμέτρους. Έτσι έγινε επιλογή 8 σταθμών αντίστροφης ώσμωσης με χωρητικότητα 25 m³/ημέρα ο καθένας.

Η ισχύς παράχθηκε από δύο τρίπτερες ανεμογεννήτριες με μεταβλητά ταχύτητα και βήμα και με ονομαστική ισχύ 230 KW η καθεμία. Η μέση ετήσια ταχύτητα αέρα ήταν ίση με 7,9 m/s σε ύψος 10 m από το έδαφος. Στο σχήμα 5.1 φαίνεται ένα γενικό πλάνο της διάταξης.

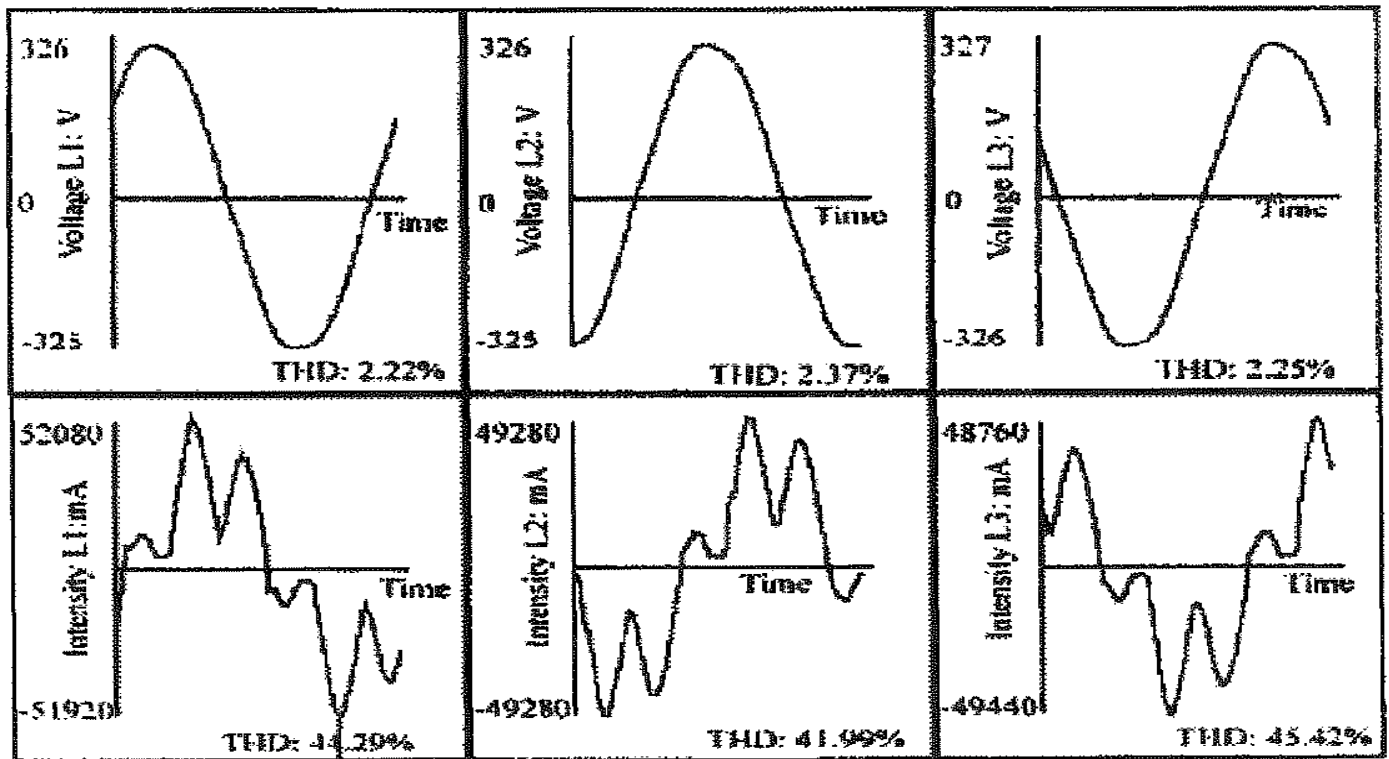


σχήμα 5.1: Πλάνο διάταξης SDAWES

5.1.1 Αποτελέσματα

- Ηλεκτροδιάλυση (EDR)

Από τα πειράματα προέκυψε ότι παρά την μεταβαλλόμενη κατανάλωση, αυτή η τεχνολογία επιτρέπει ταχύτατες εκκινήσεις. Ωστόσο έχει το μειονέκτημα ότι εμφανίζονται ηλεκτρικές αρμονικές διαταραχές. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.2 το συνεχές σήμα εμφανίζει καθαρό αρμονικό θόρυβο σε χαμηλές συχνότητες.



σχήμα 5.2: Αρμονικές διαταραχές στην μέθοδο EDR

Ως συνέπεια αυτού του θορύβου, αυξάνεται σημαντικά η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και η γωνία φάσης μεταξύ της τάσης και της έντασης του ρεύματος φτάνει τις 70° . Αυτό σημαίνει μια αύξηση του συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$) κατά 0,3 πράγμα που προκαλεί την ροή μεγάλων ρευμάτων στον σταθμό και υπερφορτώσεις στο ηλεκτρικό του δίκτυο. Αυτή η ροή μπορεί να περιοριστεί μόνο με την χρήση φίλτρων που όμως ανεβάζει κατά πολύ το κόστος του σταθμού. Επίσης στα μειονεκτήματα θα έπρεπε να προστεθούν τόσο το μικρό πεδίο εφαρμογών (η μέθοδος συνίσταται μόνο για υφάλμυρα νερά), όσο και η

τεράστια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης.

- Εν κενό συμπίεση ατμών (VVC)

Τα αποτελέσματα όσον αφορά τα πειράματα σε αυτόν τον σταθμό, έδειξαν έναν μεγάλο αριθμό μειονεκτημάτων. Κατ αρχήν η πολύ αργή εκκίνηση κατά την οποία απαιτούνταν 60 λεπτά για την δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για την ατμοποίηση του θαλασσινού νερού και επιπλέον 30 λεπτά για την θέρμανση και την επιτάχυνση του συμπιεστή. Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι η δημιουργία ασβεστούχων επικαθίσεων όταν η μονάδα δεν λειτουργούσε για περισσότερο από 24 ώρες. Όσον αφορά την δημιουργία αρμονικών θορύβων, ως αποτέλεσμα των μεταβολών στην ταχύτητα του συμπιεστή, αυτές ήταν πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες του σταθμού ηλεκτροδιάλυσης.

- Αντίστροφη ώσμωση (RO)

Τα προβλήματα που εμφανίστηκαν σε αυτή την περίπτωση, ήταν ποικίλα. Από την μία πλευρά το πολύ μεγάλο ποσό πληροφοριών που έρεαν μέσω του δικτύου ελέγχου ($2 \times 6 = 12$ τα σήματα από το αιολικό πάρκο, $8 \times 8 = 64$ τα σήματα από τις μονάδες αντίστροφης ώσμωσης και 5 σήματα από τις αντλίες τροφοδοσίας) και η περίοδος δειγματοληψίας, μπλόκαραν το σύστημα ελέγχου. Από την άλλη πλευρά, υπήρξαν επιπτώσεις στο πρόγραμμα ελέγχου οι οποίες επιβράδυναν το σύστημα ελέγχου παράγοντας, σε ορισμένες περιπτώσεις, εντολές που δημιουργούσαν προβλήματα επικοινωνίας μεταξύ του συστήματος ελέγχου και του αιολικού πάρκου. Επιπλέον, η σειριακή σύνδεση των μονάδων αντίστροφης ώσμωσης, αν και για μικρά χρονικά διαστήματα, δημιουργούσαν προβλήματα αστάθειας στο σύστημα. Ωστόσο δεν παρατηρήθηκε καμία δημιουργία αρμονικών και η αντίδραση του συστήματος στις απότομες διακοπές ρεύματος ήταν φυσιολογική. Επίσης ο χρόνος εκκίνησης της μονάδας ήταν πολύ μικρότερος των άλλων δύο

μεθόδων. Τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ των τριών μεθόδων φαίνονται στον πίνακα 5.1.

Μέθοδος αφαλάτωσης	Χρόνος εκκίνησης (min)	Αρμονικές (%)	Επιπτώσεις απότομης διακοπής ρεύματος	Αλμυρότητα παραγόμενου νερού (ppm)	Ειδική κατανάλωση (KWh/m ³)
RO	1	Καμία	Κανονικές	495	7,5
VVC	90	Χαμηλή	Σοβαρά προβλήματα	2	14,4
EDR	5	Πολύ υψηλή	Κανονικές	250	2,4

Πίνακας 5.1: Συγκριτικά αποτελέσματα των 3 μεθόδων

5.1.2 Συμπεράσματα

Η εν κενό συμπίεση ατμών, παρά το γεγονός ότι μπορεί να συνδεθεί με μεταβαλλόμενη παροχή ενέργειας, προς το παρόν εμφανίζει προβλήματα που σχετίζονται με την αργή εκκίνηση και την εμφάνιση αλάτων πράγμα που σημαίνει συχνή συντήρηση του εξοπλισμού. Η χρήση της μεθόδου αυτής δεν συνίσταται σε συστήματα που λειτουργούν αυτόνομα, όπως μια ανεμογεννήτρια, και οι απότομες μεταβολές στην παροχή ρεύματος είναι πολύ συχνές.

Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης μπορεί και αυτή να λειτουργήσει με μεταβαλλόμενη παροχή ενέργειας και έχει καλή αντίδραση στις απότομες μεταβολές. Ωστόσο, συνοδεύεται από την εμφάνιση αρμονικών θορύβων, σαν αποτέλεσμα της μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, και οι οποίοι θόρυβοι προκαλούν σημαντική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα.

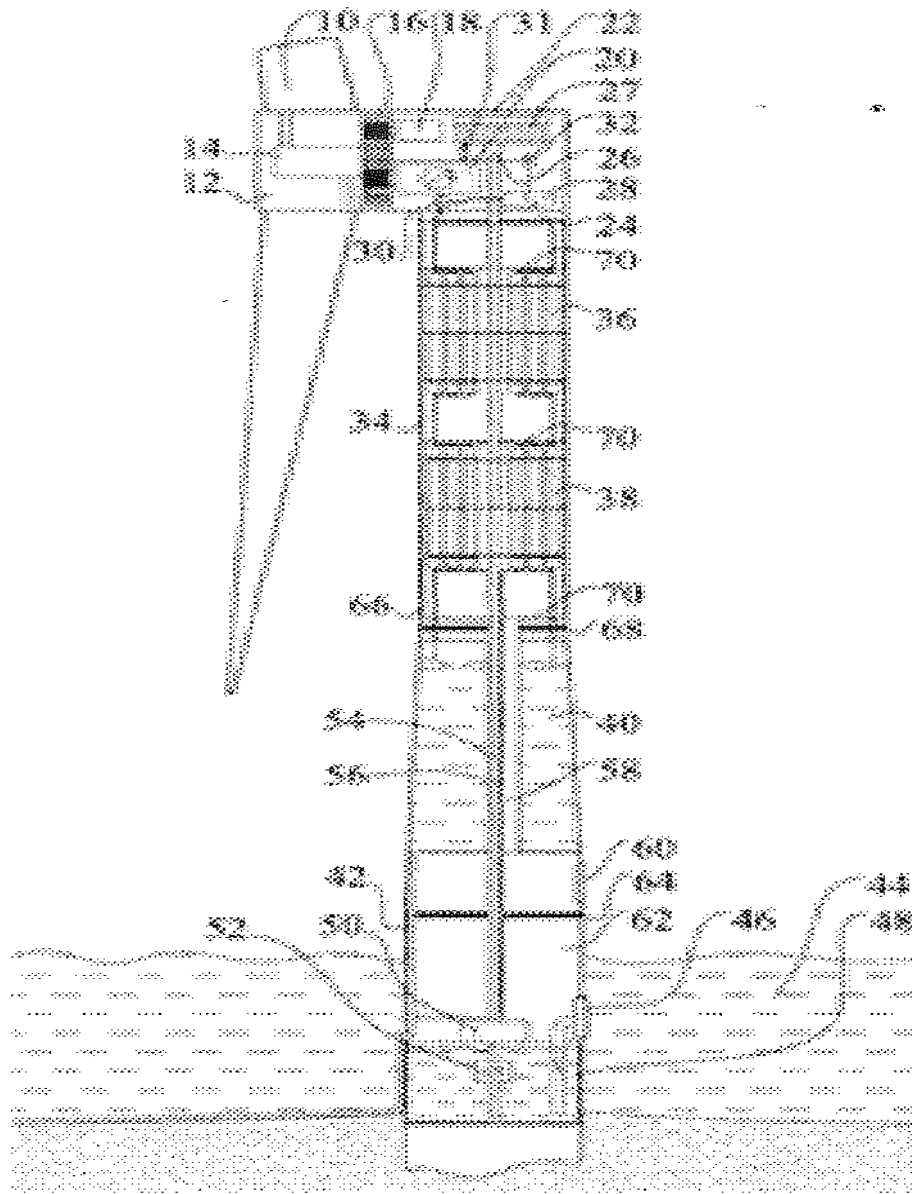
Τέλος, η αντίστροφη ώσμωση μοιάζει να είναι η καταλληλότερη μέθοδος που λειτουργεί με παροχή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια εκτός δικτύου, εφόσον μεταβάλλεται η χωρητικότητά της, παραμένουν όμως σταθερές τόσο η πίεση όσο και ο ρυθμός ροής.

5.2 Πλήρης παρουσίαση ενός συστήματος αφαλάτωσης με χρήση ανεμογεννήτριας

Σε αυτό το τμήμα της εργασίας, θα παρουσιασθεί ολοκληρωμένο το σύστημα αφαλάτωσης νερού με χρήση ανεμογεννήτριας και ανάλογα με την μέθοδο αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση. Θα γίνει αναφορά στο σύστημα ελέγχου, στον μηχανισμό που χρησιμοποιείται, στις ασφαλιστικές δικλείδες και γενικά σε ότι αφορά ένα τέτοιο σύστημα. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, λόγω του ότι περισσότερο χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι αντίστροφης ώσμωσης, ηλεκτροδιάλυσης και εν κενό συμπίεσης ατμών, θα γίνει ανάλυση του μηχανισμού αποκλειστικά αυτών των τριών μεθόδων.

5.2.1 Αιολικό σύστημα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση

Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στο σχήμα 5.3.



σχήμα 5.3: Αιολικό σύστημα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση

Η ανεμογεννήτρια μετατρέπει την κινητική ταχύτητα του αέρα σε περιστροφική ενέργεια μέσω των πτερυγίων του ρότορα (10), τα οποία με την σειρά τους είναι μονταρισμένα στο κέντρο αυτού(12). Η γωνία πτερύγωσης είναι μεταβαλλόμενη επιτρέποντας έτσι την αλλαγή της χαρακτηριστικής καμπύλης μέσω αλλαγής της γωνίας βήματος των πτερυγίων με την βοήθεια του οδηγητικού τους συστήματος (14). Στο κέντρο του ρότορα είναι προσαρμοσμένο ένα κιβώτιο ταχυτήτων (16) για την μεταφορά της περιστροφικής ενέργειας στην γεννήτρια (18). Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την γεννήτρια αποθηκεύεται

προσωρινά σε ένα σύστημα μπαταριών το οποίο τροφοδοτεί και το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας.

Αυτά τα στοιχεία είναι τοποθετημένα μέσα στο κάλυμμα (22) της ανεμογεννήτριας, το οποίο είναι συνεχώς ευθυγραμμισμένο με την διεύθυνση του αέρα, μέσω του συστήματος διεύθυνσης (24).

Η δεξαμενή καθαρού νερού (40), με την βοήθεια ενός αγωγού (58) που είναι τοποθετημένος στο κέντρο της, δουλεύει σαν ρεζερβουάρ για το παραγόμενο ύδωρ. Αυτός ο αγωγός είναι τοποθετημένος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η προσέγγισή του σε περίπτωση συντήρησης ή επιδιόρθωσης κάποιας βλάβης.

Τοποθετημένο στα θεμέλια του πύργου είναι ένα ρεζερβουάρ για το θαλασσινό νερό (48) με ένα φίλτρο, έναν εξοπλισμό προεπεξεργασίας του νερού και μία αντλία τροφοδοσίας.

Ο πύργος (66) συνδέεται με το τμήμα των θεμελίων του (62) μέσω μίας φλάντζας (64). Το κάτω μέρος του πύργου συνδέεται με το υπόλοιπο σύστημα μέσω της δεξαμενής από όπου λαμβάνουμε το πόσιμο νερό, ενώ το υψηλότερο μέρος του πύργου συνδέεται μέσω του φίλτρου και του μηχανισμού προεπεξεργασίας (36).

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού έχει ως εξής:

Το αλμυρό νερό εισέρχεται στο ρεζερβουάρ (48) αφού πρώτα περάσει από το φίλτρο (46). Εκεί γίνεται μια χημική επεξεργασία μέσω ενός μηχανισμού ηλεκτρόλυσης και χλωρίωσης (50). Μία ηλεκτρική ανυψωτική αντλία (52) μεταφέρει το νερό στην αντλία συμπίεσης (20), η οποία βρίσκεται μέσα στο κέλυφος (22), μέσω του αγωγού (54), του περιστρεφόμενου τμήματος (26) και της δεξαμενής αποθήκευσης (27).

Η περιστροφική ενέργεια της ανεμογεννήτριας μεταδίδεται μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων σε μία ή περισσότερες αντλίες στο εσωτερικό του κελύφους. Από την βάση του πύργου, οι απευθείας οδηγούμενες αντλίες (20) τροφοδοτούνται με το προς αφαλάτωση θαλασσινό νερό. Η

μονάδα αντίστροφης ώσμωσης (36) τροφοδοτείται με θαλασσινό νερό μέσω ενός συστήματος βαλβίδων.

Η πίεση που δημιουργείται μέσα στο σύστημα είναι ανάλογη του αριθμού των μονάδων αντίστροφης ώσμωσης και των συστήματος ελέγχου των βαλβίδων. Ο συσσωρευτής πίεσης (28) βοηθά στην εξισορρόπηση των φορτίων αιχμής και έτσι και στην ομαλοποίηση της πίεσης μέσα στο σύστημα. Τόσο η πίεση όσο και ο ρυθμός ροής, ελέγχονται μέσω μιας συσκευής ρύθμισης και είναι προσαρμοσμένες στις αντίστοιχες κάθε φορά συνθήκες. Η μονάδα ελέγχου ρυθμίζει τόσο τον ρυθμό ροής του πεπιεσμένου νερού με την βοήθεια μιας βαλβίδας ελέγχου (30) και την ισχύ του ρότορα μέσω του οδηγητικού συστήματος των πτερυγίων. Έτσι μέσω του μηχανισμού ρύθμισης, μπορούν να συνδεθούν και να απομονωθούν αντλίες και μονάδες αντίστροφης ώσμωσης ώστε να μπορεί να γίνει πλήρης εκμετάλλευση της παραγόμενης από τον ρότορα ισχύος.

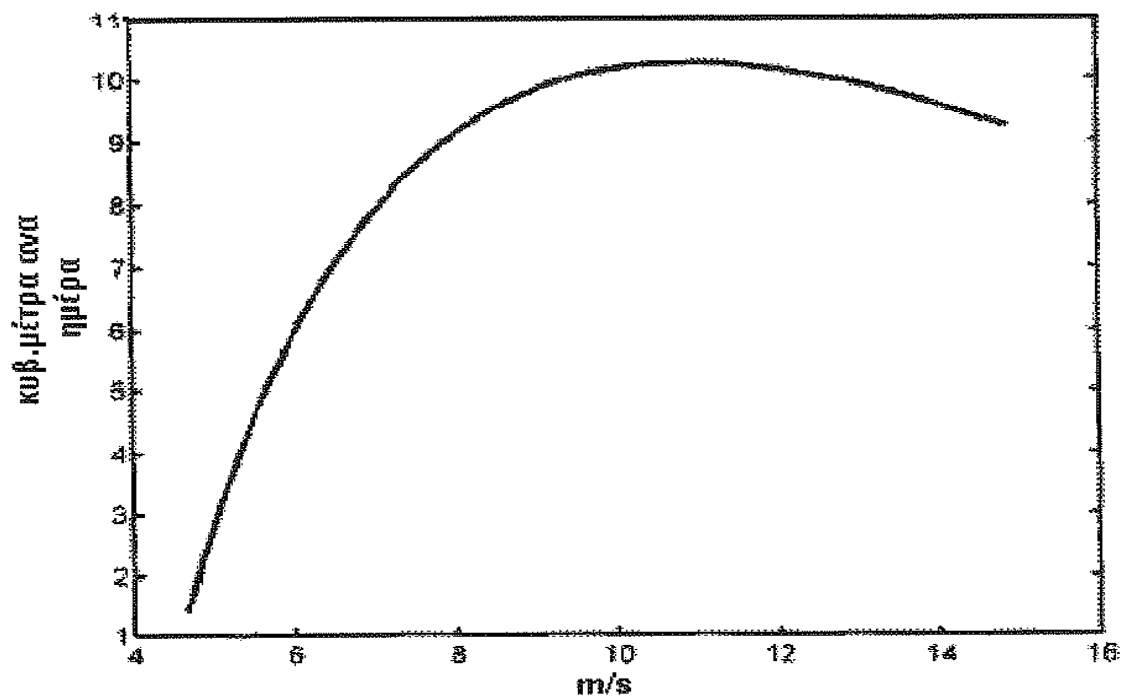
Τοποθετημένες κάτω από το κέλυφος και πάνω σε ένα πλαίσιο (34) που, περιστρέφεται μαζί με αυτό, είναι οι μονάδες φιλτραρίσματος (36) και ο εξοπλισμός της αντίστροφης ώσμωσης (38). Εφόσον αυτός ο μηχανισμός περιστρέφεται μαζί με το κέλυφος, θα πρέπει οι αγωγοί σύνδεσης μεταξύ των αντλιών, της μονάδας φιλτραρίσματος και του εξοπλισμού αντίστροφης ώσμωσης να είναι πολύ καλά στερεωμένοι. Ακριβώς κάτω από την μονάδα αντίστροφης ώσμωσης βρίσκεται η δεξαμενή πόσιμου νερού (40) η οποία χρησιμοποιείται σαν ρεζερβουάρ.

Λόγω του γεωδαιτικού ύψους της στήλης του νερού, δημιουργείται πίεση στον αγωγό αποβολής (42) του πόσιμου ύδατος πράγμα που διευκολύνει την μεταφορά του σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

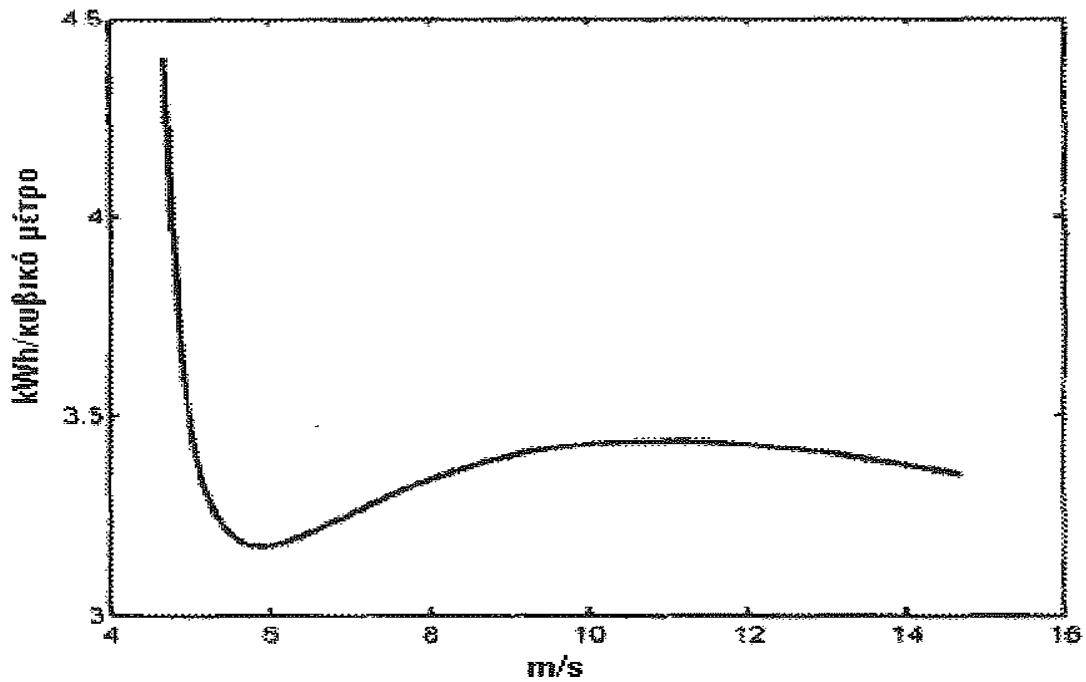
Το συμπύκνωμα με πολύ υψηλό ποσοστό άλμης απομακρύνεται μέσω του αγωγού απομάκρυνσης (56) και στην συνέχεια του αγωγού ανύψωσης (54) ο οποίος επίσης μεταφέρει και την λάσπη που έχει ήδη συσσωρευτεί στα φίλτρα που βρίσκονται έξω από την εγκατάσταση.

Για τις εργασίες συντήρησης τόσο στο τμήμα φιλτραρίσματος, όσο και στην μονάδα αντίστροφης ώσμωσης, υπάρχουν δύο πλατφόρμες (70) οι οποίες είναι προσαρμοσμένες στα περιστρεφόμενα πλαίσια (34) κάτω από τα αντίστοιχα στοιχεία.

Στα παρακάτω διαγράμματα 5.1 και 5.2 φαίνονται τόσο η παραγωγή νερού όσο και η ειδική κατανάλωση ενέργειας ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου.



διάγραμμα 5.1: Παραγωγή νερού συναρτήσει ταχύτητας ανέμου



διάγραμμα 5.2: Ειδική κατανάλωση ενέργειας συναρτήσει ταχύτητας ανέμου

Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα 5.1 η παραγωγή νερού εμφανίζει ένα άνω άκρο για την ταχύτητα περίπου των 10,5 m/s. Εκεί δηλαδή βρίσκεται ο βέλτιστος συνδυασμός παραγωγής πόσιμου νερού και ταχύτητας ανέμου αντίθετα από ότι θα περίμενε κανείς ότι δηλαδή όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου, τόσο θα αυξάνει και η παραγωγή ύδατος. Αυτό συμβαίνει μέχρι την ταχύτητα των 10,5 m/s. Από εκεί και πέρα η σχέση μεταξύ των δύο αυτών παραγόντων είναι αντιστρόφως ανάλογη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την επιπλέον ενέργεια για τον σκοπό που θέλουμε.

Από το διάγραμμα 5.2 προκύπτει ότι μέχρι την ταχύτητα των 6 m/s η ειδική κατανάλωση έχει πτωτική τάση. Κάτι τέτοιο όμως είναι πρακτικά άχρηστο διότι σε τέτοιες ταχύτητες η παραγωγή νερού είναι πολύ μικρή και δεν τίθεται θέμα λειτουργίας της εγκατάστασης. Από εκεί και πέρα εμφανίζει μία σχεδόν ομαλή κατανάλωση, με τις τιμές της να κυμαίνονται γύρω από τις 3,3 KWh/m³.

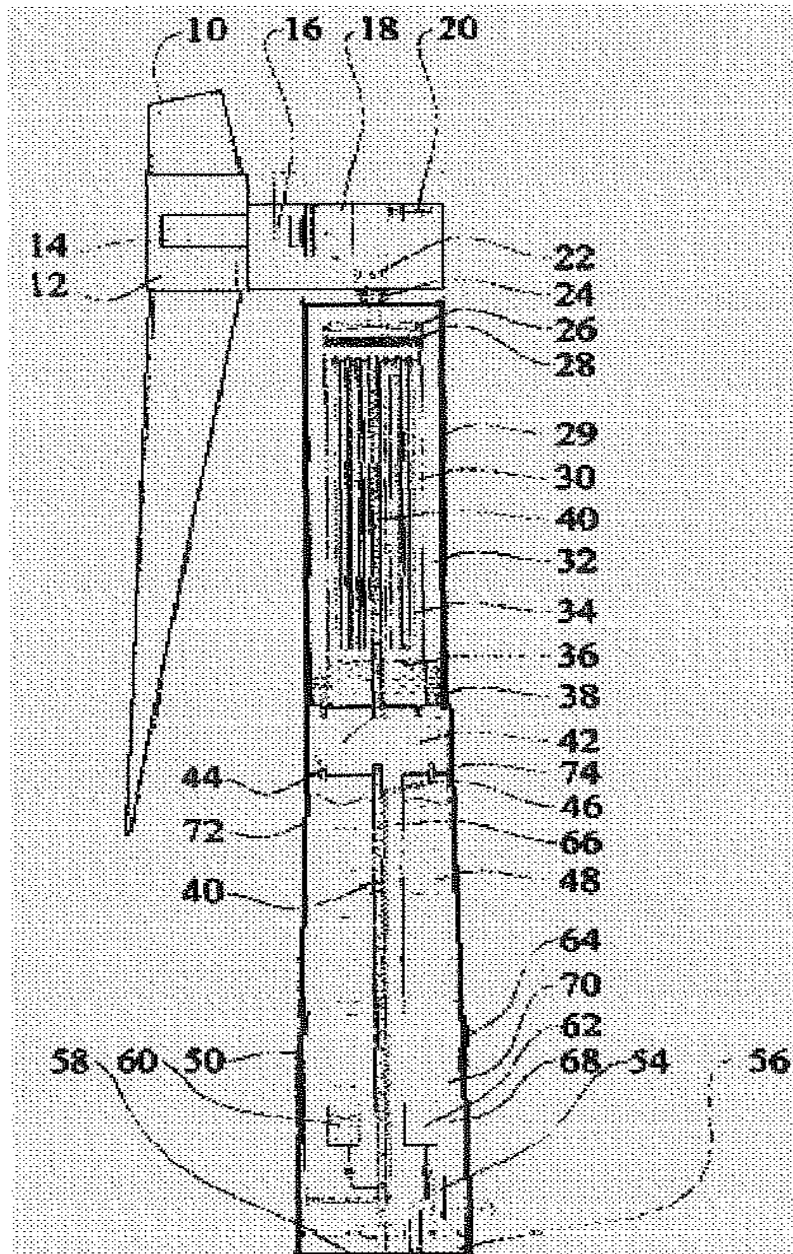
Όσον αφορά την ανεμογεννήτρια αυτήν καθ αυτήν, υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ανεμόμυλων: οι μεταβλητών πτερυγίων και οι υψηλών

ταχυτήτων με λεπτά πτερύγια. Οι μεν πρώτοι εφευρέθηκαν στις ΗΠΑ στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και με την πάροδο του χρόνου βελτιστοποιήθηκαν, και οι δεύτεροι χρησιμοποιήθηκαν μετέπειτα για την παραγωγή ηλεκτρισμού μιας και δεσμεύουν περισσότερη ενέργεια από τον αέρα.

Στην περίπτωση της αντίστροφης ώσμωσης λόγω της χρήσης αντλιών, οι οποίες απαιτούν μεγαλύτερη ροπή κατά την εκκίνηση, προτιμώνται οι ανεμόμυλοι με μεταβλητά πτερύγια που πληρούν αυτήν την προϋπόθεση.

5.2.2 Αιολικό σύστημα αφαλάτωσης με εν κενό συμπίεση ατμών

Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στο σχήμα 5.4.



σχήμα 5.4: Αιολικό σύστημα αφαλάτωσης με εν κενό συμπίεση ατμών

Η ενέργεια που απαιτείται σε ένα τέτοιο σύστημα αφορά την συμπίεση, την θερμότητα εκκίνησης, την άντληση και την τροφοδοσία του εξοπλισμού και του συστήματος ελέγχου.

Κατά την διεργασία αυτή, λαμβάνει χώρα μία προεργασία του νερού πριν εισέλθει στο σύστημα. Το κατεργασμένο αυτό νερό θερμαίνεται από μία ηλεκτρική αντίσταση κατά την εκκίνηση της διαδικασίας και, αφού επικρατήσουν κανονικές συνθήκες λειτουργίας,

από συσκευές ανταλλαγής θερμότητας (42). Η θερμότητα από την άλμη και από το απόσταγμα της διεργασίας μεταφέρεται στην είσοδο του συστήματος.

Το προθερμασμένο νερό αντλείται στην κορυφή της δέσμης των σωλήνων (34), δημιουργώντας ένα είδος ταινίας μέσα από την οποία γίνεται η εξάτμιση. Ειδικές διατάξεις στην κορυφή των σωλήνων εξασφαλίζουν την πλήρη επαφή αυτού του στρώματος με όλους τους σωλήνες ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα δημιουργίας στρωμάτων στην εσωτερική επιφάνειά τους.

Μέσω αυτού του είδους ταινίας, τα σταγονίδια του νερού εξατμίζονται και οδηγούνται προς τα πάνω μέσω ενός συμπιεστή (26), ο οποίος το πιέζει προς το κέλυφος θέρμανσης (32) έξω από την δέσμη των σωλήνων.

Λόγω της αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας του ατμού που περνά από τον συμπιεστή, το εξωτερικό μέρος των σωλήνων, το οποίο βρίσκεται στο θερμοκρασιακό επίπεδο του νερού τροφοδοσίας, αναγκάζει τον ατμό να συμπυκνωθεί. Η ενέργεια που απελευθερώνεται από την συμπύκνωση, οδηγεί την διαδικασία ατμοποίησης στο εσωτερικό των σωλήνων μέσω του κελύφους που τους καλύπτει. Το απόσταγμα συλλέγεται από τον πάτο του θαλάμου συμπύκνωσης (38) και οδηγείται μέσω της συσκευής ανταλλαγής θερμότητας (42) στην δεξαμενή απόσταξης.

Η συνολική μεταφορά θερμότητας τόσο από την συμπύκνωση όσο και από την ατμοποίηση είναι 50 φορές υψηλότερη από την ενέργεια που προέρχεται από τον συμπιεστή. Επιπλέον η θερμικώς οδηγούμενη διαδικασία ατμοποίησης απαιτεί μεγάλα ποσά νερού ψύξης για την συμπύκνωση του ατμού.

Το νερό που δεν ατμοποιείται στο εσωτερικό τμήμα των σωλήνων συλλέγεται ως άλμη σε δοχείο κάτω από τους σωλήνες. Η άλμη αποξηραίνεται μέσω της συσκευής ανταλλαγής θερμότητας εκτός

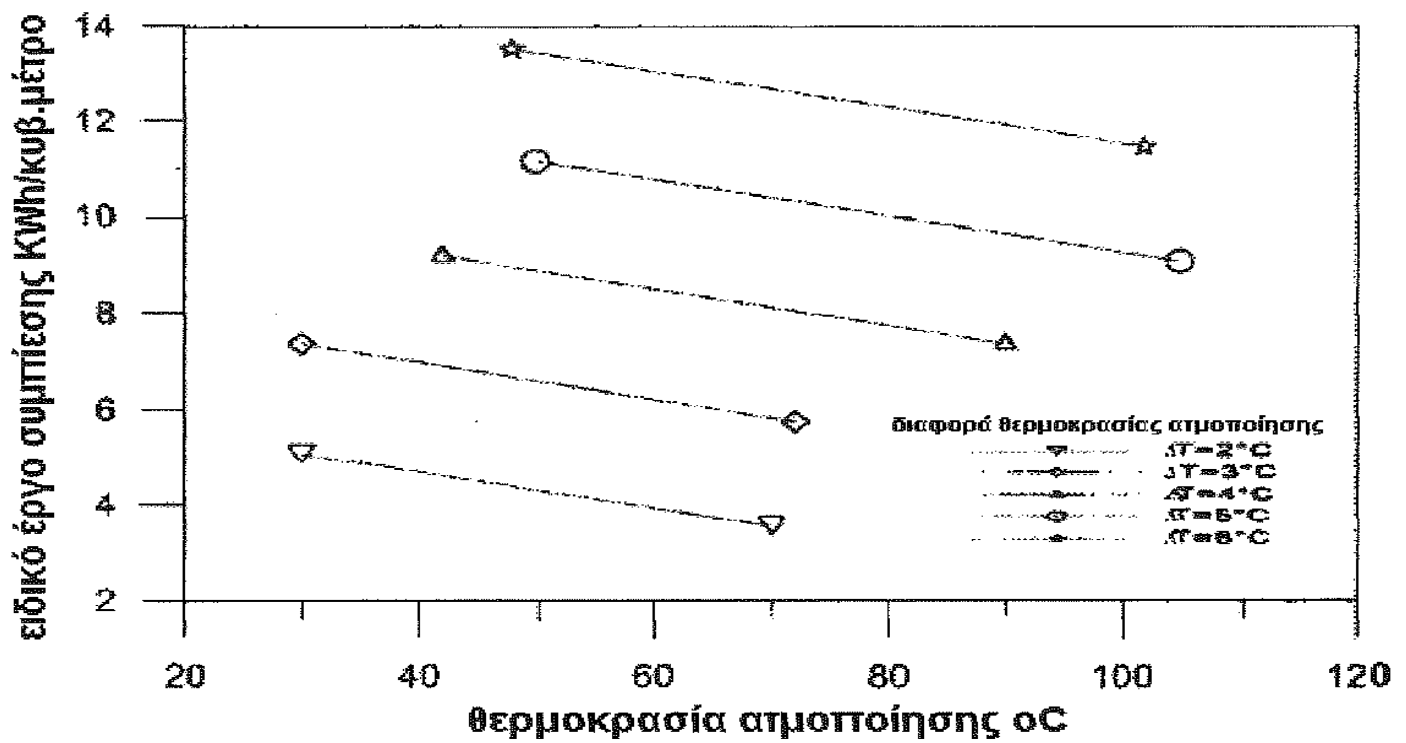
διαδικασίας ή μερικώς οδηγούμενη πίσω στην είσοδο του συστήματος η οποία βρίσκεται στην κορυφή της δέσμης των σωλήνων μειώνοντας έτσι τις απώλειες ενέργειας.

Όσον αφορά τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός συστήματος μηχανικής συμπίεσης ατμών αυτές δίνονται σε ικανοποιητικό βαθμό από την εξίσωση 1 των Spiegler και El-Sayed:

$$W=1.65- 0.038T_1 + 2.28\Delta T \quad (1)$$

όπου T σε $^{\circ}\text{C}$ και W σε KWh/m^3

Σε αυτήν την εξίσωση είναι γνωστά συνήθως το απαιτούμενο έργο συμπίεσης σε σχέση με την θερμοκρασία ατμοποίησης και η διαφορά θερμοκρασίας κατά μήκος των αγωγών ατμοποίησης. Η θερμοκρασία ατμοποίησης κυμαίνεται από 30 έως 105 $^{\circ}\text{C}$ με μία απόκλιση 2 έως 6 $^{\circ}\text{C}$. Το σφάλμα στην εξίσωση αυτή είναι της τάξης του $\pm 3.5\%$. όταν το ΔT κυμαίνεται από 2 έως 6 $^{\circ}\text{C}$ και η θερμοκρασία ατμοποίησης πάνω από 40 και κάτω από 103 $^{\circ}\text{C}$. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση το σφάλμα μπορεί να φθάσει έως και 6%. Το διάγραμμα 5.3 παρουσιάζει το ειδικό έργο συμπίεσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης και της διαφοράς θερμοκρασίας σε όλο το μήκος των αγωγών ατμοποίησης.



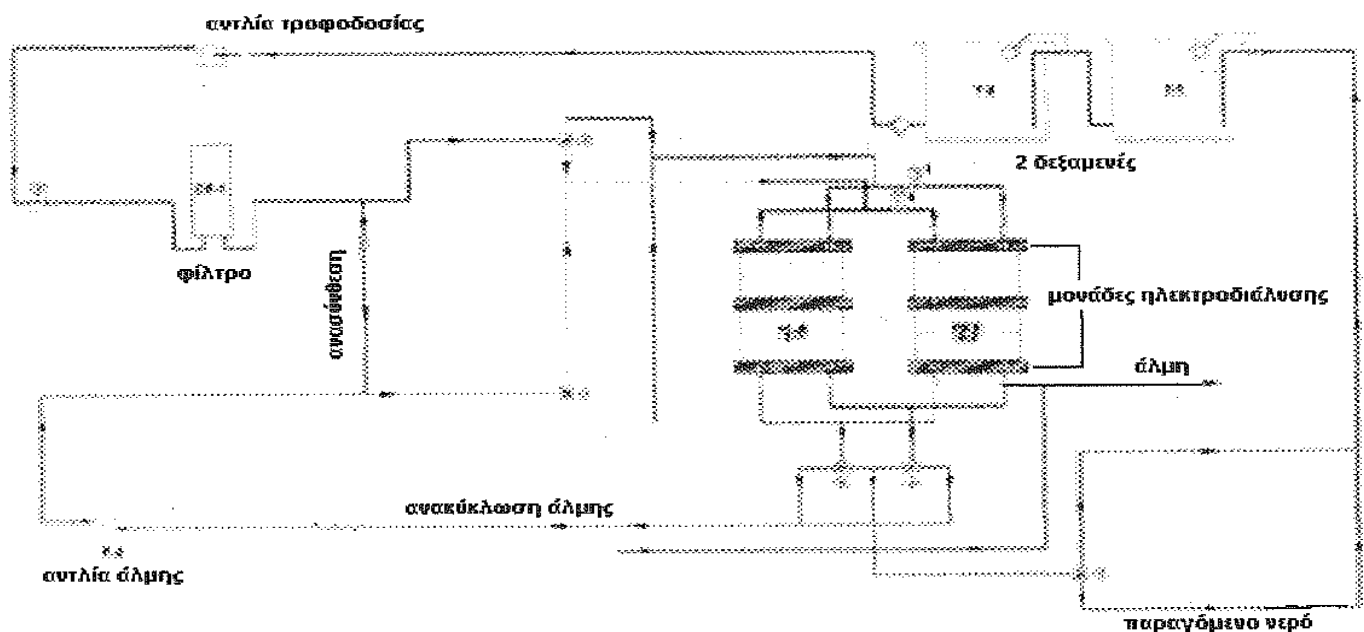
διάγραμμα 5.3: ειδικό έργο συμπίεσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ατμοποίησης και της διαφοράς θερμοκρασίας σε όλο το μήκος των αγωγών ατμοποίησης

Φαίνεται καθαρά ότι το ειδικό έργο συμπίεσης μειώνεται όσο μειώνεται και η θερμοκρασία ή η διαφορά θερμοκρασίας. Αυτό αποδίδεται στον ειδικό όγκο του ατμού που συμπιέζεται. Επιπλέον, όταν η θερμοκρασιακή διαφορά είναι μεγάλη, ο συμπιεστής χρειάζεται περισσότερο ειδικό έργο.

5.2.3 Αιολικό σύστημα αφαλάτωσης με αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση

Η περιγραφή ενός τέτοιου συστήματος στηρίζεται και πάλι στο πρόγραμμα SDAWES στο οποίο έγινε σύγκριση των τριών μεθόδων. Εμείς απομονώνουμε μόνο το τμήμα της ηλεκτροδιάλυσης και αναλύουμε κατά τον δυνατό τρόπο τις λειτουργικές παραμέτρους του.

Γενικά η ηλεκτροδιάλυση χρησιμοποιείται για αφαλάτωση υφάλμυρου και όχι θαλασσινού νερού. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και εδώ. Γίνεται χρήση υφάλμυρου νερού για την τροφοδοσία του συστήματος αφού πρώτα γίνει μια σχετική κατεργασία για την οποία μιλήσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στο σχήμα 5.5 φαίνεται το διάγραμμα ροής του νερού σε ένα τέτοιο σύστημα.

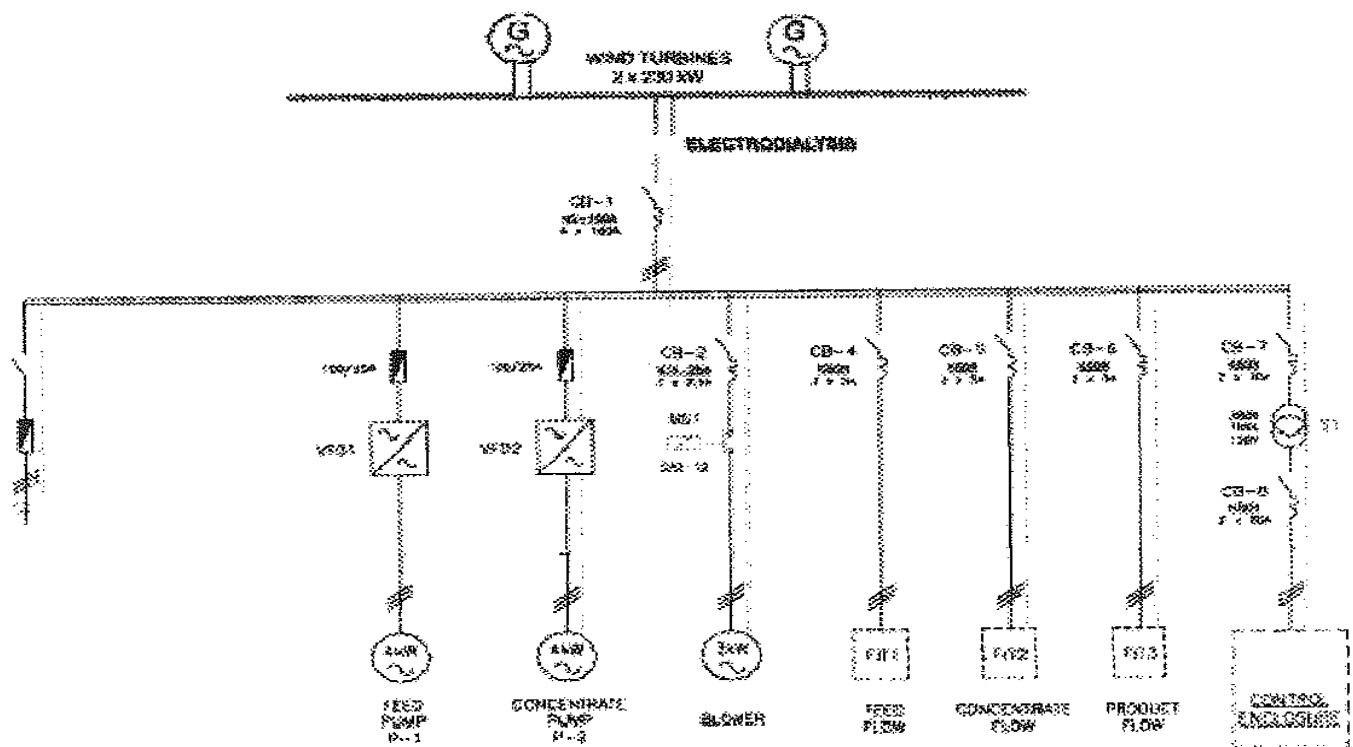


σχήμα 5.5: Διάγραμμα ροής σε σύστημα αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης

Όπως φαίνεται, υπάρχουν 2 δεξαμενές στις οποίες συγκεντρώνεται τόσο το τροφοδοτικό όσο και το παραγόμενο νερό ανάλογα με την πολικότητα που επικρατεί. Όπως έχουμε πει η φορά πολικότητας μετατρέπει τους αγωγούς πόσιμου νερού σε αγωγούς άλμης και το αντίθετο. Επομένως

από κάθε σωλήνα διέρχεται άλλοτε άλμη και άλλοτε καθαρό νερό. Μετά τις δεξαμενές βρίσκεται η αντλία τροφοδοσίας, μέσω της οποίας το νερό οδηγείται στο φίλτρο από όπου απομακρύνονται οι στερεές ενώσεις που μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στην συσκευή ηλεκτροδιάλυσης. Στην συνέχεια οδηγείται μέσα στην συσκευή από όπου και λαμβάνουμε από την μία πλευρά άλμη και από την άλλη παραγόμενο νερό.

Όσον αφορά την άλμη, ένα μέρος της αποβάλλεται ενώ ένα άλλο ανακυκλώνεται. Τόσο η αντλία τροφοδοσίας όσο και η αντλία ανακύκλωσης της άλμης λειτουργούν μέσω οδηγών μεταβλητής συχνότητας (VFD) οι οποίοι μπορούν να αλλάξουν την ταχύτητα της ανεμογεννήτριας με σκοπό τον έλεγχο της πίεσης τροφοδοσίας. Στο σχήμα 5.6 φαίνεται το ηλεκτρικό κύκλωμα ενός συστήματος με παροχή ισχύος από 2 ανεμογεννήτριες.



σχήμα 5.6: ηλεκτρικό κύκλωμα συστήματος EDR

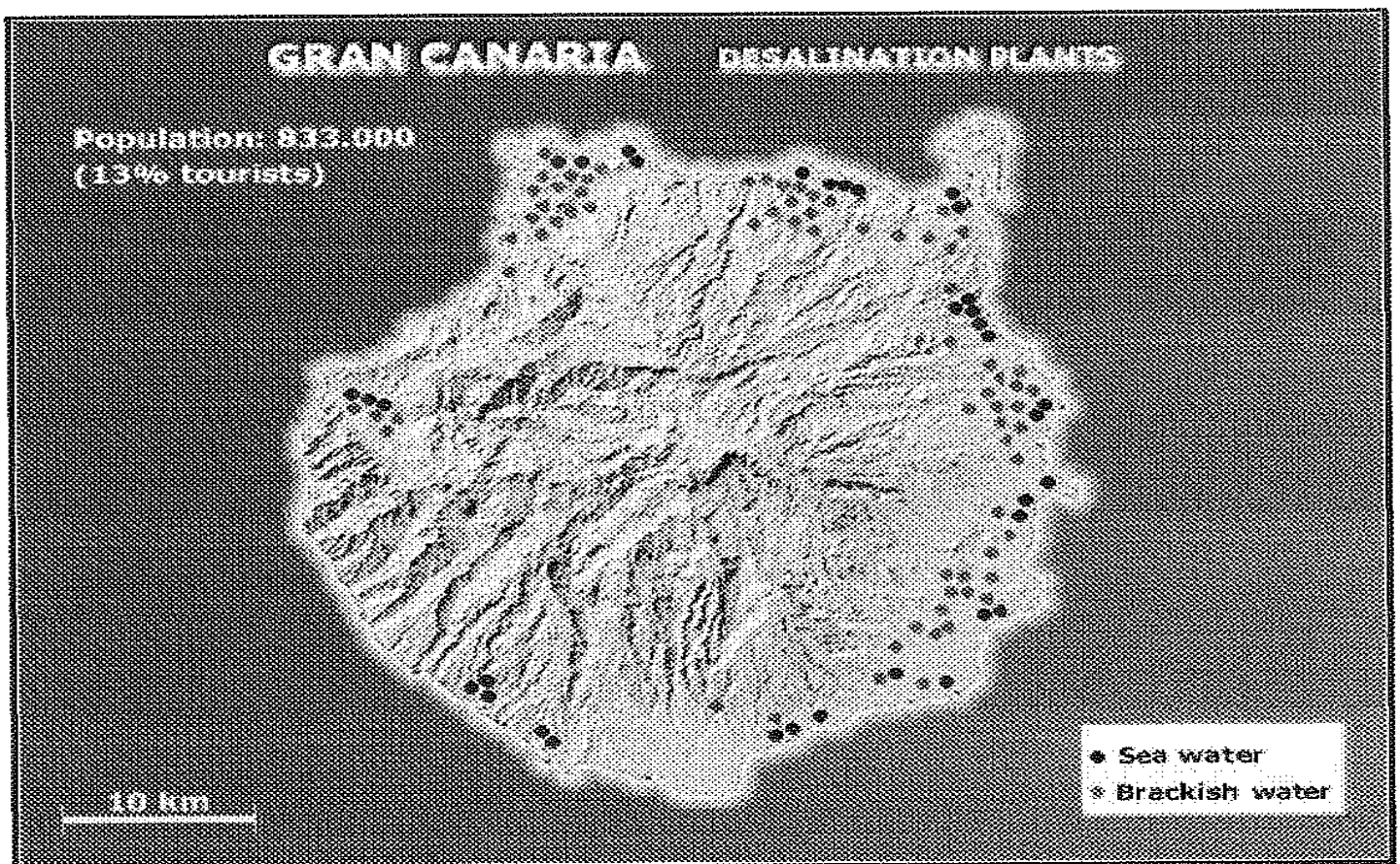
Επίσης πρέπει να τονισθεί το εξής: μια ανεμογεννήτρια παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα. Στις δύο προηγούμενες μεθόδους γινόταν απευθείας χρήση του. Στην περίπτωση όμως της ηλεκτροδιάλυσης

απαιτείται η χρήση συνεχούς ρεύματος οπότε υπάρχουν και ανορθωτικές διατάξεις που εκτελούν αυτήν την μετατροπή.

5.3 Προγράμματα και ερευνητικά κέντρα αιολικής αφαλάτωσης

Εδώ θα γίνει μία απλή αναφορά σε ορισμένα προγράμματα που έχουν γίνει σε διάφορες περιοχές του κόσμου με σκοπό την πληρέστερη κατανόηση του συγκερασμού αυτού αλλά και την πρακτική σημασία του.

Γρήγορα γίνεται αντιληπτό από οποιονδήποτε επιχειρήσει να ασχοληθεί με αυτό το θέμα ότι οι Κανάριοι Νήσοι είναι ίσως το μεγαλύτερο εργαστήριο με πειράματα επάνω στον τομέα της αφαλάτωσης. Στον χάρτη 5.1 φαίνονται οι τοποθεσίες στις οποίες είναι εγκατεστημένοι οι σταθμοί αυτοί.



χάρτης 5.1: Σταθμοί αφαλάτωσης στις Κανάριες Νήσους

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιοι σταθμοί αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας σε διάφορες περιοχές του κόσμου ακόμα και της Ελλάδας.

- SDAWES: Βρίσκεται στις Κανάριες Νήσους και συγκεκριμένα στο νησί Gran Canaria. Χρησιμοποιεί ως τεχνολογίες την αντίστροφη ώσμωση, την συμπίεση ατμών και την ηλεκτροδιάλυση για αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού. Τροφοδοτείται ενεργειακά από δύο Α/Γ με ονομαστική ισχύ 230 KW η καθεμία. Για το σχεδιασμό του προγράμματος συνεργάστηκαν το Canarian Technological Institute, το Las Palmas de Gran Canaria University και 4 συνεργάτες από την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Coconut Island, Hawaii: Γίνεται αφαλάτωση τόσο θαλασσινού όσο και υφάλμυρου νερού με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης. Η απόδοση του συστήματος είναι 35% και μπορεί να αφαλατώσει νερό με συγκέντρωση άλατος έως και 3000 mg/ lit για παροχή 13 lit/min.
- Σύρος, Ελλάδα. Κατασκευάστηκε το 1998 για αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Έχει χωρητικότητα 900 m³/day και χρησιμοποιεί Α/Γ 500 KW.
- RED SEA. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με μηχανική συμπίεση ατμών.
- BORKUM ISLAND: Βρίσκεται στην Γερμανία και χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση θαλάσσιου νερού με την μέθοδο της μηχανικής συμπίεσης. Η χωρητικότητα του σταθμού είναι 7.2 έως 48 m³/ημέρα.

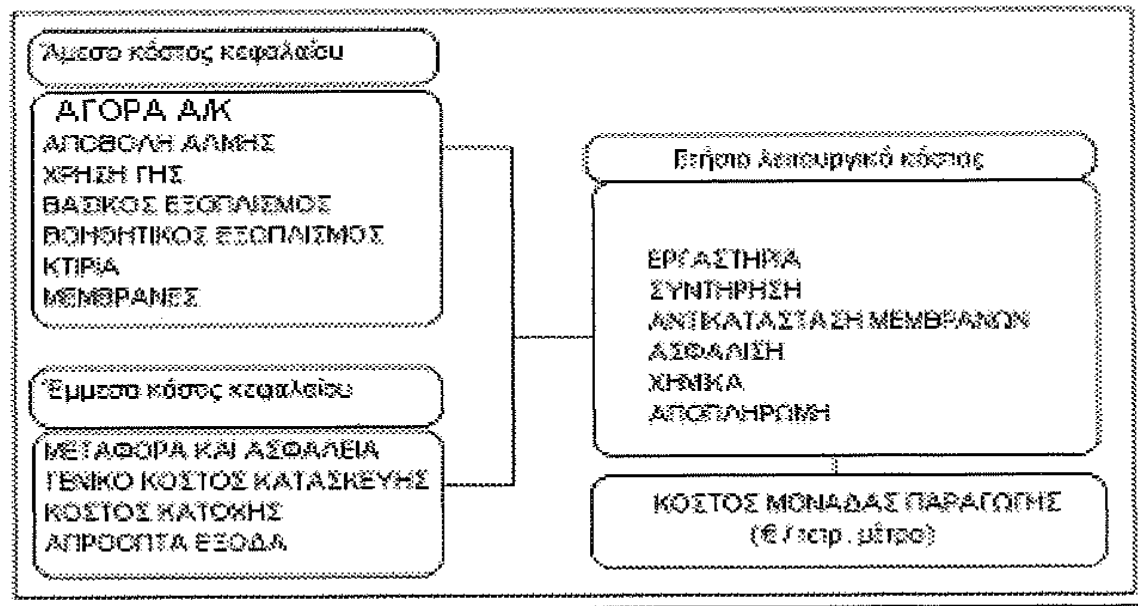
- RUEGEN ISLAND: Βρίσκεται και αυτός στην Γερμανία και είναι παρόμοιος με τον προηγούμενο. Η χωρητικότητά του είναι 48 έως 360 m³/ημέρα.
- Λιβύη: Χρησιμοποιεί την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και έχει χωρητικότητα 2000 m³/ημέρα.

6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

6.1 Στοιχεία των οικονομικών υπολογισμών

Ο υπολογισμός του κόστους της μονάδας παραγωγής εξαρτάται από την χωρητικότητα του σταθμού, από τα χαρακτηριστικά του χώρου εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης και από τον σχεδιασμό. Όσον αφορά την χωρητικότητα αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της χρησιμοποιούμενης διεργασίας, τις μονάδες άντλησης και, για τις περιπτώσεις της αντίστροφης ώσμωσης και της ηλεκτροδιάλυσης, την συνολική επιφάνεια των μεμβρανών. Τα χαρακτηριστικά του χώρου παίζουν σημαντικό ρόλο στον εξοπλισμό προεργασίας και στην θέση εγκατάστασής του καθώς επίσης και στον ρυθμό κατανάλωσης χημικών πρόσθετων. Ο τρόπος σχεδιασμού επηρεάζει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και χημικών.

Μια συνοπτική περιγραφή των στοιχείων κόστους μίας μονάδας αφαλάτωσης φαίνεται στο παρακάτω σκαρίφημα.



Παρακάτω γίνεται ξεχωριστή ανάλυση κάθε παράγοντα κόστους.

- Άμεσο κόστος κεφαλαίου

Το άμεσο κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει το κόστος αγοράς του βασικού και του βοηθητικού εξοπλισμού, την αγορά γης και της κατασκευής της μονάδας.

Αγορά γης. Το κόστος της γης μπορεί να μεταβληθεί από μηδέν (παραχωρήσεις χέρσων εκτάσεων από δήμους, κοινότητες κ.α.) μέχρι ενός ποσού που εξαρτάται από τα επιμέρους χαρακτηριστικά του τόπου. Οι μονάδες αφαλάτωσης που κατασκευάζονται από δημόσιους φορείς συνήθως έχουν μηδενικό κόστος αγοράς γης.

Κατασκευή δεξαμενής. Για μια μέση χωρητικότητα της τάξης των $500 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ το κόστος είναι περίπου ίσο με 550 € ανά μέτρο βάθους κατασκευής.

Βασικός εξοπλισμός. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει εξοπλισμό όπως την ανεμογεννήτρια, συστήματα ελέγχου και εγκατάσταση οργάνων, αγωγούς και βαλβίδες, ηλεκτρικά κυκλώματα, αντλίες, συστήματα καθαρισμού και συστήματα προεργασίας του νερού. Αυτά είναι μερικά από τα πιο ακριβά στοιχεία και το κόστος τους εξαρτάται από την μέθοδο που χρησιμοποιείται και την χωρητικότητα της μονάδας.

Κάποιες χαρακτηριστικές τιμές είναι 40 εκ.€ για μονάδα αντίστροφης ώσμωσης με χωρητικότητα 100.000 m³/ημέρα και 32 εκ. € για μονάδα συμπίεσης με χωρητικότητα 27.000 m³/ημέρα.

Βοηθητικός εξοπλισμός. Περιλαμβάνει φυσικές ή τεχνητές δεξαμενές, αγωγούς μεταφοράς, αποθηκευτικές δεξαμενές, γεννήτριες, διατάξεις μεταφοράς, αντλίες, αγωγούς και βαλβίδες.

Κατασκευή κτιρίων. Το κόστος εξαρτάται από τον τύπο του κτιρίου και πόσο πολύπλοκη είναι η κατασκευή του. Ενδεικτικά κυμαίνεται από 80 έως 800 €/m².

Μεμβράνες. Το κόστος τους κυμαίνεται από 400 έως 800 € για χωρητικότητες από 50 έως 100 m³/ημέρα.

- Έμμεσο κόστος κεφαλαίου

Το κόστος σε αυτήν την κατηγορία εκφράζεται σαν ποσοστό επί του συνολικού άμεσου κόστους κεφαλαίου.

Μεταφορά και ασφάλεια. Το κόστος τους είναι περίπου ίσο με το 5% του συνολικού άμεσου κόστους.

Γενικό κόστος κατασκευής. Περιλαμβάνει εφάπαξ και ασφάλιση, έξοδα εργαστηριακού εξοπλισμού, διευθυντικές εγκαταστάσεις, προσωρινές κατασκευές, βοηθητικά εργαλεία, κέρδη εργολάβου και διάφορα έξοδα. Αντιπροσωπεύουν περίπου το 15% των άμεσων εξόδων υλικού.

Κόστος κατοχής. Αυτό περιλαμβάνει αμοιβές μηχανικών και νομικών προσώπων και είναι ίσο με το 10% του άμεσου κόστους υλικών.

Απρόοπτα έξοδα. Υπολογίζονται περίπου στο 10% του άμεσου κόστους κεφαλαίου.

- Ετήσιο λειτουργικό κόστος

Πρόκειται για τα έξοδα μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης και κατά την διάρκεια λειτουργίας της. Περιλαμβάνει στοιχεία κόστους εργαστηρίων, ενέργειας, χημικών και ανταλλακτικών.

Εργαστήρια. Το κόστος εργαστηρίων είναι ειδικό για κάθε περίπτωση και εξαρτάται από το ιδιοκτησιακό καθεστώς της εγκατάστασης (ιδιωτικό ή δημόσιο). Περιλαμβάνει μισθούς μάνατζερ, μηχανικών και τεχνικών. Υπάρχει πάντως μια τάση μείωσης του εργαστηριακού προσωπικού γενικά σε οποιαδήποτε επιχείρηση.

Αντικατάσταση μεμβρανών. Ο ρυθμός αντικατάστασης είναι της τάξης του 5% ανά έτος για μεμβράνες υφάλμυρων νερών και 20% για μεμβράνες θαλασσινού νερού.

Συντήρηση και ανταλλακτικά. Το κόστος τους είναι γενικά λιγότερο του 2% του συνολικού κόστους κεφαλαίου σε ετήσια βάση.

Ασφάλιση. Αντιπροσωπεύει το 0,5% του συνολικού κόστους κεφαλαίου.

Αποπληρωμές. Περιλαμβάνει ετήσιες πληρωμές τόκων τόσο για άμεσα όσο και για έμμεσα κόστη. Προκύπτουν εάν πολλαπλασιαστούν αυτά κόστη με έναν συντελεστή αποπληρωμής ο οποίος δίνεται από την σχέση:

$$\alpha = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

όπου i είναι ο ετήσιος ρυθμός πληρωμής τόκων και n τα έτη. Από την μέχρι τώρα εμπειρία στις μονάδες αφαλάτωσης προκύπτει ότι ο χρόνος απόσβεσης είναι 30 έτη.

Χημικά. Τα χημικά που συνήθως χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των σταθμών αφαλάτωσης είναι το θειικό οξύ, η καυστική σόδα, διάφορα αντιδιαβρωτικά και το χλώριο. Το κόστος αυτών των χημικών επηρεάζεται από την διαθεσιμότητά τους στην αγορά. Επιπλέον, αυτό το κόστος είναι μεγαλύτερο για την αφαλάτωση με μεμβράνες από

ότι με τις θερμικές μεθόδους. Στον πίνακα 6.1 φαίνεται το κόστος κάθε είδους.

Χημικό	Τιμή μονάδας €/kg	Δοσολογία g/m ³	Ειδικό κόστος (€/m ³)
Θεικό οξύ	0.4	0.242	0,00976
Καυστική σόδα	0.56	0,140	0,00784
Αντιδιαβρωτικά	1.5	0,050	0,00782
Χλώριο	0.4	0,040	0,00154

Πίνακας 6.1: Κόστος χημικών

6.2 Αποτίμηση κόστους

Στον πίνακα 6.2 δίνονται τα κόστη ανά μονάδα παραγωγής για της διεργασίες της αντίστροφης ώσμωσης (RO), της συμπίεσης υδρατμών (MVC), της ηλεκτροδιάλυσης (ED), της απόσταξης με πολυεπίπεδη ατμοποίηση (MSF) και της απόσταξης πολλαπλών ενεργειών (MEE).

ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ €/m ³
MVC	
100 m ³ /ημέρα	4
1000 m ³ /ημέρα	1,2
20000 m ³ /ημέρα	0,368
RO	
4000 m ³ /ημέρα	1,6
40000 m ³ /ημέρα	0,64
113000 m ³ /ημέρα	0,44
MSF	
27000 m ³ /ημέρα	0,616
37000 m ³ /ημέρα	1
45000 m ³ /ημέρα	1,28
MEE	
22000 m ³ /ημέρα (απλή διεργασία)	0,72
22000 m ³ /ημέρα	1,5
37850 m ³ /ημέρα	0,9

Πίνακας 6.2: Κόστος ανά μονάδα παραγωγής για κάθε μέθοδο ξεχωριστά

ED	
50000 m ³ /ημέρα	0,65
100000 m ³ /ημέρα	0,56
150000 m ³ /ημέρα	0,4

Πίνακας 6.2 (συνέχεια)

Όπως προκύπτει από τον πίνακα το μέσο κόστος της αντίστροφης ώσμωσης είναι χαμηλότερο από τις υπόλοιπες διεργασίες εκτός της ηλεκτροδιάλυσης η οποία όμως χρησιμοποιείται για υφάλμυρα νερά και λιγότερο για θαλασσινό νερό. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τους οικονομικούς υπολογισμούς είναι οι παρακάτω:

- Συντελεστής αποπληρωμής:

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

- Ετήσια σταθερά έξοδα:

$$A_{\text{fixed}} = (a)(DC)$$

- Ετήσιο κόστος ισχύος:

$$A_{\text{steam}} = (s)(\lambda)(f)(m)(365)/[(1000)(PR)]$$

- Ετήσιο κόστος χημικών:

$$A_{\text{chemical}} = (k)(f)(m)(365)$$

- Ετήσιο κόστος εργασιών:

$$A_{\text{labor}} = (\gamma)(f)(m)(365)$$

- Συνολικό ετήσιο κόστος:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{fixed}} + A_{\text{steam}} + A_{\text{chemical}} + A_{\text{labor}} + A_{\text{membrane}}$$

Όπου:

a = συντελεστής αποπληρωμής

DC = άμεσο κόστος κεφαλαίου (€)

f = διαθεσιμότητα μονάδας

i = επιτόκιο

k = ειδικό κόστος χημικών (€/m³)

m = χωρητικότητα μονάδας (m³/ημέρα)

n = ημέρες

PR = βαθμός απόδοσης (kg προϊόντος/ kg ισχύος)

s = κόστος θερμότητας (€/ MkJ)

w = ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/ m³)

γ = ειδικό κόστος λειτουργίας εργαστηρίων

λ = μέση άδηλη θερμότητα (kJ/kg)

7.ΕΞΑΓΩΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό θα προσπαθήσουμε να εξάγουμε ένα απλό υπολογιστικό μοντέλο το οποίο θα στηρίζεται σε μια βασική παράμετρο. Η παράμετρος αυτή είναι ο πληθυσμός της περιοχής που θέλουμε να καλύψουμε. Βάσει αυτής της παραμέτρου θα υπολογίσουμε:

- Την ημερήσια απαίτηση σε νερό (m^3 /ημέρα)
- Τις ενεργειακές απαιτήσεις (kwh/ημέρα)
- Την μέση ετήσια ενεργειακή απαίτηση (kwh)
- Την ισχύ (kw)
- Την ονομαστική ισχύ P_R της Α/Γ (kw)

Από τον πίνακα 7.1 θα λάβουμε την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για ορισμένα νησιά της Ελλάδας, από την οποία θα προκύψει και η ονομαστική ταχύτητα της Α/Γ, και στην συνέχεια με την βοήθεια της στήλης του ίδιου πίνακα που αφορά την ετησίως δεσμευμένη αιολική ενέργεια θα υπολογίσουμε την διάμετρο του δρομέα της Α/Γ. Ο υπολογισμός θα γίνει ξεχωριστά για κάθε είδος αφαλάτωσης (RO, EDR, VVC) λόγω του ότι μεταβάλλεται η ειδική κατανάλωση (πίνακας 5.1).

Υπολογισμός για αντίστροφη ώσμωση

Έστω χ ο πληθυσμός που επιθυμούμε να καλύψουμε και μέση κατανάλωση ατόμου ανά ημέρα 20 lit. Τότε η ημερήσια απαίτηση νερού δίνεται από την σχέση:

- ημερήσια απαίτηση νερού = $0,02 * \chi$ (m³/ημέρα) (7.1)

Η ειδική κατανάλωση ενέργειας για την αντίστροφη ώσμωση είναι 7.5 kWh/ m³. Επομένως έχουμε:

- ενεργειακές απαιτήσεις = $7,5 * 0,02 * \chi$ (kWh/ημέρα) (7.2)

Άρα η μέση ετήσια ενεργειακή απαίτηση είναι:

- μέση ετ. ενεργ. απαίτηση = $365 * 7,5 * 0,02 * \chi$ (kWh) (7.3)

Έχοντας εκτιμήσει τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες μπορούμε τότε να εκτιμήσουμε την μέση ισχύ της Α/Γ:

- μέση ισχύς = $365 * 7,5 * 0,02 * \chi / 8760$ (kW) (7.4)

Συνήθως μια Α/Γ με ονομαστική ισχύ P_R φαίνεται σαν μηχανή συνεχούς ισχύος με

$$P_R = \text{μέση ισχύς} / 0,2 \quad (7.5)$$

Άρα: $P_R = 365 * 7,5 * 0,02 * \chi / 8760 * 0,2 = 0,03125 * \chi$ (kW)

Θέση	Μέση ταχύτητα (τυπική απόκλιση)			Ετησίως δεσμευμένη αιολική ενέργεια Kwh/m ²
	(3) (ΔΕΗ)	(4) (ΕΜΥ)	(5)	
Αθήνα		4.0 (+0.2)		141
Αθήνα (Αστεροσκοπείο)		2.3 (±0.1)		27
Αλεξανδρούπολη		3.5 (± 0.5)		94
Άνδρος		-	6.7	662
Βόλος		3.9 (± 0.4)		130
Ζάκυνθος		-	6.6	632
Ηράκλειο		4.6 (± 0.8)		14
Θεσσαλονίκη		2.90 (+ 0.6)		54
θήρα		6.6 (± 0.8)		632
Καβάλα		1.6 (+ 0.2)		9
Κύθηρα	6.2	5.4 (± 0.4)		429
Κύθνος		-	6.8	691
Κύμη		2.5 (+0.1)		34
Κως	6.2	6.2 (+ 0.5)		524
Λαύριο		-	6.4	576
Λήμνος	6.0	5.2 (± 0.4)		386
Μήλος		6.3 (+ 0.4)		550
Μυτιλήνη	5.2	5.0 (± 0.6)		291
Νάξος	7.0	7.2 (± 0.6)		787
Ναύπλιο		3.9 (± 0.7)		130
Ρόδος		5.3 (± 0.6)	5.7	366
Σάμος	6.0	6.3 (± 0.5)		511
Σκύρος	7.0	6.5 (+ 0.8)		677
Σητεία		3.3 (± 0.5)		79
Χανιά		2.4 (± 0.8)		30
Χίος		4.0 (± 0.3)	6.2	524

Πίνακας 7.1: Μέσες ταχύτητες ανέμου και ετησίως δεσμευμένη αιολική ενέργεια

Από τον πίνακα 7.1 προκύπτει, πέρα από κάποιες ταχύτητες ανέμων που πηγή τους είναι τόσο η ΕΜΥ όσο και η ΔΕΗ, και η ετησίως δεσμευμένη αιολική ενέργεια σε kWh/m² σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Γνωρίζοντας λοιπόν ήδη την μέση ετήσια ενεργειακή απαίτηση (εξ. 7.3) μπορούμε να υπολογίσουμε και την επιφάνεια που πρέπει να καλύπτει ο δρομέας και άρα και την διάμετρό του. Αυτό γίνεται ως εξής:

Έστω ότι ο πληθυσμός που θέλουμε να καλύψουμε είναι $\chi=500$ άτομα και κατοικεί στην Λήμνο. Άρα από την εξίσωση 7.3 προκύπτει ότι η μέση ετήσια ενεργειακή απαίτηση είναι 27375 kWh. Η ετησίως δεσμευμένη αιολική ενέργεια στην Λήμνο είναι 386 kWh/m². Άρα η επιφάνεια του δρομέα πρέπει να καλύπτει $27375/386=70$ m². Επομένως η διάμετρος του θα πρέπει να είναι:

$$\frac{\pi D^2}{4} = 70$$

ή $D=9,5$ m

Στο παραπάνω μοντέλο όμως μπορεί να προκύψουν τιμές διαμέτρου δρομέα οι οποίες είναι αδύνατο με τα σημερινά δεδομένα να κατασκευαστούν ή είναι ασύμφορη η κατασκευή τους. Έτσι στο σημείο αυτό θέτουμε και τον εξής περιορισμό: εφόσον η διάμετρος δρομέα ξεπεράσει την τιμή των 30 μέτρων, όπου πρόκειται για αρκετά μεγάλη ανεμογεννήτρια, αυτομάτως θα πρέπει να γίνει επιλογή και δεύτερης ώστε να καλυφθεί η απαιτούμενη ισχύς. Το μέγεθος της δεύτερης ανεμογεννήτριας θα προκύπτει από το συνολικό εμβαδόν επιφάνειας δρομέα που χρειαζόμαστε εκτελώντας μία απλή αφαίρεση. Ομοίως πράττουμε και για τρεις και πλέον ανεμογεννήτριες.

Ολόκληρη η παραπάνω διαδικασία αφορά την περίπτωση της αιολικής αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση. Για τις άλλες δύο μεθόδους, δηλαδή την ηλεκτροδιάλυση και την εν κενό συμπίεση

υδρατμών, ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία με διαφορετική όμως την τιμή της ειδικής κατανάλωσης ($14,4 \text{ kWh/m}^3$ για την εν κενό συμπίεση υδρατμών και $2,4 \text{ kWh/m}^3$ για την ηλεκτροδιάλυση).

Το υπολογιστικό μοντέλο και για τις 3 μεθόδους παρουσιάζεται σε υπολογιστικό φύλλο του EXCEL που συνοδεύει την παρούσα εργασία.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη έγινε μια εκτενής και εμπειριστατωμένη αναφορά στις τεχνολογίες που υπάρχουν σήμερα όσον αφορά την αφαλάτωση νερού, αλμυρού και υφάλμυρου, και στο κατά πόσο είναι δυνατό να ταιριαστούν με την αιολική ενέργεια τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής πλευράς. Οι διάφορες τεχνικές αφαλάτωσης που βρίσκονται είτε στο στάδιο εκμετάλλευσης είτε στο στάδιο της δοκιμής είναι:

- Μέθοδος απόσταξης με διάφορες μορφές εξατμίσεως
- Μέθοδος με μεμβράνες με εφαρμογή αντίστροφης ώσμωσης ή ηλεκτροδιάλυσης
- Μέθοδος με ψύξη
- Μέθοδος ανταλλαγής ιόντων

Προέκυψε λοιπόν ότι οι περισσότερο συμβατές μέθοδοι αφαλάτωσης με την αιολική ενέργεια είναι η αντίστροφη ώσμωση, η ηλεκτροδιάλυση, και η εν κενό συμπίεση υδρατμών. Από τις 3 αυτές μεθόδους και ύστερα από σχετική σύγκριση καταλληλότερη αλλά και ευρύτερα διαδεδομένη αποδείχθηκε η πρώτη, δηλαδή η RO χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιούνται οι άλλες δύο.

Η εν κενό συμπίεση ατμών, παρά το γεγονός ότι μπορεί να συνδεθεί με μεταβαλλόμενη παροχή ενέργειας, προς το παρόν εμφανίζει προβλήματα που σχετίζονται με την αργή εκκίνηση και την εμφάνιση αλάτων πράγμα που σημαίνει συχνή συντήρηση του εξοπλισμού. Η χρήση της μεθόδου αυτής δεν συνίσταται σε συστήματα που λειτουργούν αυτόνομα, όπως μια ανεμογεννήτρια, και οι απότομες μεταβολές στην παροχή ρεύματος είναι πολύ συχνές.

Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης μπορεί και αυτή να λειτουργήσει με μεταβαλλόμενη παροχή ενέργειας και έχει καλή αντίδραση στις απότομες μεταβολές. Ωστόσο, συνοδεύεται από την εμφάνιση αρμονικών θορύβων, σαν αποτέλεσμα της μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, και οι οποίοι θόρυβοι προκαλούν σημαντική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα.

Έτσι η αντίστροφη ώσμωση μοιάζει να είναι η καταλληλότερη μέθοδος που λειτουργεί με παροχή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια εκτός δικτύου, εφόσον μεταβάλλεται η χωρητικότητά της, παραμένουν όμως σταθερές τόσο η πίεση όσο και ο ρυθμός ροής.

Έπειτα έγινε μια γενική παρουσίαση των ανεμογεννητριών και του τρόπου λειτουργίας τους. Αναφέρθηκαν τα συστήματα και τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελούνται καθώς επίσης και τα είδη που υπάρχουν.

Στην συνέχεια έγινε η παρουσίαση κάθε συστήματος ξεχωριστά και αναφέρθηκαν αναλυτικά τα μέρη από τα οποία αποτελείται συνοδευόμενα όλα αυτά από τα σχετικά διαγράμματα που δείχνουν την παραγωγή νερού συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Από αυτά προέκυψε ότι υπάρχει μία βέλτιστη σχέση μεταξύ ταχύτητας ανέμου και παραγόμενου νερού. Ενώ δηλαδή θα περιμέναμε μία συνεχώς αύξουσα τάση παραγωγής νερού και αυξανόμενης ταχύτητας ανέμου, βλέπουμε ότι από κάποιο σημείο και έπειτα η καμπύλη παρουσιάζει φθίνουσα πορεία. Αυτό σημαίνει λοιπόν ότι δεν μπορεί να γίνει πλήρης

εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού της κάθε περιοχής, το οποίο σε μεγάλες ταχύτητες μπορεί να αποδειχθεί και ανεπιθύμητο.

Επίσης ιδιαίτερη αναφορά έγινε και στα προγράμματα που ήδη υπάρχουν και σχετίζονται με τον τομέα αυτό με σημαντικότερο το SDAWES που λαμβάνει χώρα στα Κανάρια Νησιά και θεωρείται από πολλούς το διεθνές εργαστήριο αφαλάτωσης.

Από την οικονομική παρατήρηση του προβλήματος προέκυψε ότι το μέσο κόστος της αντίστροφης ώσμωσης είναι χαμηλότερο από τις υπόλοιπες διεργασίες εκτός της ηλεκτροδιάλυσης η οποία όμως χρησιμοποιείται για υφάλμυρα νερά και λιγότερο για θαλασσινό νερό.

Τέλος επιχειρήθηκε η εξαγωγή ενός υπολογιστικού μοντέλου βασισμένο στο EXCEL και το οποίο χρησιμοποιεί ως παράμετρο τον πληθυσμό για να εξάγει μία σειρά από χαρακτηριστικά τόσο του συστήματος αφαλάτωσης όσο και της ανεμογεννήτριας.