

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ  
ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ  
ΜΕ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ : ΣΑΧΤΟΥΡΗ Δ. ΚΑΛΛΙΟΠΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΧΡΗΣΤΑΚΗΣ  
ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

***Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ***

***ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ***

***ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2008***

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ  
ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ  
ΜΕ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

Εθεωρήθη  
Ο Εισηγητής:  
Χρηστάκης Δημήτρης

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ : ΣΑΧΤΟΥΡΗ Δ. ΚΑΛΛΙΟΠΗ (Α.Μ.:3191)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΧΡΗΣΤΑΚΗΣ  
ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

***T.E.I. ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2008***

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το τέλος της παρούσας εργασίας θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλο το προσωπικό του εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων για την βοήθεια που μου παρείχαν κατά την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κοζυράκη Γιώργο για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε, δίνοντας μου απλόχερα γνώσεις, πολύτιμες πληροφορίες, κουράγιο και υποστήριξη.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου Δημήτρη και Ταξιαρχούλα, τον αδερφό μου Σταύρο, αλλά και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη αλλά και την υπομονή που έδειξαν όλο αυτό τον καιρό.

Ηράκλειο, Ιούνιος 2008  
Καλλιόπη Δ. Σαχτούρη



## Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	
Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α .....	- 1 -
Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η .....	- 3 -
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	- 4 -
1.1 Γενικά.....	- 4 -
1.2 Οι Τεχνολογίες της Αφαλάτωσης .....	- 6 -
1.2.1 Η Αφαλάτωση με Απλή ή Πολλών Βαθμίδων Απόσταξη .....	- 6 -
1.2.2 Η Αφαλάτωση με Πολυβάθμια Ακαριαία Εξάτμιση .....	- 12 -
1.2.3 Η Αφαλάτωση με Ηλιακή Εξάτμιση.....	- 14 -
1.2.4 Η Αφαλάτωση με Ηλεκτροδιάλυση.....	- 16 -
1.2.5 Η Αφαλάτωση με Υπερδιήθηση .....	- 17 -
1.2.6 Η Αφαλάτωση με Μικροδιήθηση .....	- 17 -
1.2.7 Η Αφαλάτωση με Νανοδιήθηση .....	- 18 -
1.2.8 Η Γεωθερμική Αφαλάτωση .....	- 18 -
1.2.9 Η Αφαλάτωση με Αντίστροφη Όσμωση.....	- 19 -
1.2.10 Η σύγκριση των μεθόδων της Αφαλάτωσης.....	- 33 -
1.3 Οι Τεχνολογίες των Αιολικών Πάρκων .....	- 35 -
1.3.1 Τα Χερσαία Αιολικά Πάρκα .....	- 37 -
1.3.2 Τα Παράκτια Αιολικά Πάρκα .....	- 37 -
1.3.3 Τα Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα .....	- 38 -
1.4 Η επιλογή των Τεχνολογιών .....	- 40 -
1.4.1 Η επιλογή της Τεχνολογίας της Αφαλάτωσης .....	- 40 -
1.4.2 Η επιλογή της Τεχνολογίας του Αιολικού Πάρκου .....	- 40 -
2 Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ .....	- 42 -
2.1 Οι παράμετροι λειτουργίας .....	- 42 -
2.2 Το κυρίως σύστημα Αντίστροφης Όσμωσης.....	- 44 -
2.3 Ο υδροδυναμικός σχεδιασμός.....	- 44 -
2.4 Ο υπολογισμός των αντλητικών συστημάτων .....	- 44 -
2.5 Οι βοηθητικές εγκαταστάσεις.....	- 45 -
2.5.1 Η προκατεργασία .....	- 45 -



---

2.5.2	Η μετεπεξεργασία .....	- 45 -
3	Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ .....	- 46 -
3.1	Ο Υπολογισμός της απαιτούμενης Ισχύος του Αιολικού Πάρκου .....	- 46 -
3.2	Η Διερεύνηση της Ευρύτερης Περιοχής για την Εγκατάσταση του Αιολικού Πάρκου.....	- 46 -
3.3	Η Ψηφιοποίηση.....	- 47 -
3.4	Η Επεξεργασία των Ανεμολογικών Δεδομένων .....	- 48 -
3.5	Ο Χάρτης της Τραχύτητας του εδάφους.....	- 51 -
3.6	Η ανάλυση του Αιολικού Δυναμικού .....	- 52 -
3.7	Ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης εγκατάστασης του Αιολικού Πάρκου... -	52 -
3.8	Η Χωροθέτηση των Ανεμογεννητριών (Α/Γ).....	- 53 -
3.9	Η Ανάλυση Παραγωγής για το προτεινόμενο Αιολικό Πάρκο στη θέση Καταλύματα .....	- 56 -
4	ΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	- 60 -
4.1	Η μονάδα Αφαλάτωσης .....	- 60 -
4.2	Το Αιολικό Πάρκο .....	- 60 -
4.3	Οι σωληνώσεις.....	- 60 -
4.4	Οι αντλίες.....	- 61 -
4.5	Η γη.....	- 61 -
4.6	Το συνολικό κόστος του έργου .....	- 61 -
4.7	Η τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού.....	- 61 -
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	- 63 -
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	- 64 -
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	- 84 -



---

## Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παραγωγή νερού άρδευσης στην περιοχή της Ιεράπετρας. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση μιας μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, της οποίας η καταναλισκόμενη ενέργεια θα προέρχεται από ένα Αιολικό Πάρκο. Η μονάδα αφαλάτωσης χρησιμοποιεί την τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης. Η μονάδα θα αφαλατώνει το νερό της θάλασσας με σκοπό την παραγωγή νερού άρδευσης, το οποίο θα διοχετεύεται στο φράγμα των Μπραμιανών.

Το Αιολικό Πάρκο είναι συνδεδεμένο με το εθνικό δίκτυο της Δ.Ε.Η. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι η αδυναμία απευθείας σύνδεσής του με την μονάδα αφαλάτωσης εξαιτίας των αλλαγών της ταχύτητας του ανέμου οι οποίες προκαλούν διακυμάνσεις στην παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες.



# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενικά

Ανομβρία είναι το φαινόμενο έλλειψης βροχής. Είναι αποκλειστικά κλιματολογικό φαινόμενο. Αν ανατρέξουμε στα μετεωρολογικά στατιστικά στοιχεία, θα δούμε χρονιές με πολύ χαμηλό ύψος βροχοπτώσεων. Ταυτόχρονα, αποτελεί πλέον κοινή διαπίστωση ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες και ειδικότερα οι αυξημένες καύσεις προκαλούν τις κλιματικές αλλαγές που καταγράφονται.

Η ξηρασία είναι αποτέλεσμα της ανομβρίας. Εξ' αιτίας της έλλειψης βροχής δημιουργούνται ελλείμματα τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια νερά. Ως λειψυδρία ορίζεται η έλλειψη ή η ανεπάρκεια του νερού.

Σε όλο τον κόσμο, η έλλειψη νερού αναγνωρίζεται ως παρούσα ή μελλοντική απειλή στην ανθρώπινη δραστηριότητα και κατά συνέπεια, μια καθορισμένη τάση ανάπτυξης των εναλλακτικών υδάτινων πόρων όπως είναι η αφαλάτωση μπορεί να παρατηρηθεί αν σκεφτούμε ότι οι ωκεανοί αποτελούν 97% του παγκόσμιου ανεφοδιασμού του νερού.

Ένας επιπλέον λόγος ανάπτυξης της τεχνολογίας της αφαλάτωσης για την παραγωγή νερού είναι και η συνεχής αύξηση των τιμολογίων του νερού άρδευσης που σήμερα κυμαίνεται σε τιμές από 0,10 €/m<sup>3</sup> έως 1 €/m<sup>3</sup> για τον Νομό Ηρακλείου, περίπου 0,2 €/m<sup>3</sup> για την περιοχή της Ιεράπετρας και φτάνει μέχρι και τα 0,70 €/m<sup>3</sup> σε άλλα μέρη της χώρας μας.

Με τη μέθοδο της αφαλάτωσης, το αλμυρό νερό αφαλατώνεται προκειμένου να ληφθεί νερό που θα είναι κατάλληλο για την άρδευση, ή, εάν σχεδόν όλα τα άλατα αφαιρούνται, για την ανθρώπινη κατανάλωση.

Η μέθοδος της αφαλάτωσης δεν μπορεί εφαρμοστεί σε περιοχές που βρίσκονται στο εσωτερικό μιας ηπείρου ή σε πολύ μεγάλο υψόμετρο. Αυτό συμβαίνει γιατί το κόστος θα είναι πολύ μεγαλύτερο και άρα το έργο δεν θα είναι βιώσιμο. Έτσι, κατανοούμε ότι είναι λύση μόνο για περιοχές που πληρούν τις προδιαγραφές. Στη χώρα μας βέβαια, λόγω της μορφολογίας και της κατανομής του υδάτινου πλούτου είναι ελάχιστες οι περιοχές οι οποίες θεωρείται ότι δεν πληρούν τις προδιαγραφές.



Η μεγάλης κλίμακας αφαλάτωση απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας τα οποία βέβαια εξαρτώνται από την αλατότητα του νερού λήψης, την απαιτούμενη ποιότητα του νερού παραγωγής, και την εκάστοτε τεχνολογία αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται.

Αυτό όμως, την καθιστά πολύ δαπανηρή γνωρίζοντας το μεγάλο ενεργειακό πρόβλημα των ημερών μας.

Το μεγάλο αυτό κόστος ενέργειας θα μπορούσε να ελαχιστοποιηθεί με την εκμετάλλευση των Ήπιων Μορφών Ενέργειας και συγκεκριμένα με την Αιολική ή την Ηλιακή Ενέργεια.



*Εικόνα 1.1: Αριστερά: Αιολικό Πάρκο στην Μήλο. Δεξιά: Ηλιακό Πάρκο στην Ήπειρο.*

Συγκρίνοντας τις δυο αυτές μορφές ενέργειας προκύπτει ο παρακάτω πίνακας του οποίου τα στοιχεία αναφέρονται στο νομό Λασιθίου η οποία αποτελεί και την περιοχή ενδιαφέροντος.

	<b>Αιολική Ενέργεια</b>	<b>Ηλιακή Ενέργεια</b>
<b>Μέση ετήσια απόδοση</b>	40,0 %	17,5 %
<b>Πυκνότητα ισχύος στο έδαφος</b>	300 m <sup>2</sup> /MW	30.000 m <sup>2</sup> /MW
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>	1.600 €/kW	5.000 €/kW
<i>Πίνακας 1.1: Συγκριτικός πίνακας Αιολικής και Ηλιακής Ενέργειας.</i>		





Από τον πίνακα βλέπουμε ότι η Αιολική Ενέργεια είναι αποδοτικότερη αλλά και οικονομικότερη από την Ηλιακή. Τα στοιχεία αυτά καθώς και το ότι η εκμετάλλευση της Αιολικής Ενέργειας είναι αναπτυγμένη και δοκιμασμένη εδώ και πολλά χρόνια, συντέλεσαν στη λήψη της απόφασης να εκμεταλλευτούμε το Αιολικό δυναμικό και όχι την Ηλιακή Ενέργεια στην περιοχή της Ιεράπετρας.

Η ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης μπορεί να παραχθεί εξ' ολοκλήρου από ένα Αιολικό Πάρκο το οποίο θα είναι είτε συνδεδεμένο άμεσα με τη μονάδα είτε – λόγω της απρόβλεπτης και μη συνεχής παραγωγής ενέργειας - συνδεδεμένο με το εθνικό δίκτυο της Δ.Ε.Η.

## **1.2 Οι Τεχνολογίες της Αφαλάτωσης**

Η μέθοδος της αφαλάτωσης έχει αναπτυχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια και δεν περιορίζεται σε μία μόνο τεχνολογία, αλλά αντίθετα, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι.

Μερικές από αυτές είναι:

1. Με Απλή ή Πολλών Βαθμίδων Απόσταξη (MED)
2. Με Πολυβάθμια Ακαριαία Εξάτμιση (MSF)
3. Με Ηλιακή Εξάτμιση
4. Με Ηλεκτροδιάλυση (ED)
5. Με Υπερδιήθηση (UF)
6. Με Μικροδιήθηση
7. Με Νανοδιήθηση
8. Με Γεωθερμία
9. Με Αντίστροφη Όσμωση (RO)

Οι διαφορετικές αυτές τεχνολογίες και οι διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας που εφαρμόζουν, παρουσιάζονται στις παρακάτω παραγράφους.

### **1.2.1 Η Αφαλάτωση με Απλή ή Πολλών Βαθμίδων Απόσταξη**

Η μέθοδος αφαλάτωσης με απόσταξη στηρίζεται στο γεγονός ότι η θέρμανση του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού εξαερώνει το νερό ενώ τα εν διαλύσει στερεά παραμένουν αμετάβλητα στο υπόλοιπο διάλυμα. Αυτό βεβαίως όταν η θερμοκρασία λειτουργίας της διεργασίας της απόσταξης δεν υπερβαίνει τους 300 °C. Επειδή για να



έχουμε απόσταξη απαιτείται με τον ένα ή με τον άλλο τρόπο μετάδοση θερμότητας, δίνονται παρακάτω οι βασικές αρχές της μετάδοσης θερμότητας.

Η θερμότητα διαδίδεται στο χώρο με τρεις βασικούς τρόπους: με αγωγή, με μεταφορά ή συναγωγή και με ακτινοβολία. Σε πρακτικές εφαρμογές είναι δυνατόν να παρατηρηθεί διάδοση θερμότητας ταυτόχρονα και με τους τρεις τρόπους.

Αγωγή είναι ο τρόπος διάδοσης θερμότητας από ένα σημείο σε ένα άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας, του ίδιου σώματος ή άλλου σώματος που βρίσκεται σε φυσική επαφή με αυτό. Η αγωγή αποτελεί τον κύριο τρόπο διάδοσης θερμότητας σε στερεά σώματα. Συναγωγή είναι ο τρόπος διάδοσης θερμότητας από ένα σημείο ενός ρευστού, αέριου ή υγρού σε ένα άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας δι' αναμείξεως ενός μέρους του ρευστού με ένα άλλο μέρος. Ακτινοβολία είναι ο τρόπος διάδοσης θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων, τα οποία δεν βρίσκονται σε φυσική επαφή, με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές στις οποίες πραγματοποιείται η διεργασία μεταφοράς θερμότητας από ένα ρευστό υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας. Τα ρευστά μπορεί να είναι υγρά ή αέρια. Συνήθως τα δύο ρευστά διαχωρίζονται με μεταλλικό τοίχωμα, που μπορεί να είναι π.χ. μία επίπεδη πλάκα, ένας σωλήνας ή μία διάταξη σωλήνων μέσα σε άλλο σωλήνα ή μέσα σε κιβώτιο κλπ.

Για την εκτέλεση της διεργασίας της απόσταξης είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιας πηγής ενέργειας, καυσίμου, που θα χρησιμεύσει για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι θερμότητες καύσεως διαφόρων καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας για την απλή απόσταξη του νερού και η απαιτούμενη ποσότητά τους για την παραγωγή 1 m<sup>3</sup> νερού. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι οι ποσότητες του πίνακα είναι για ιδανικές συνθήκες. Συνήθως έχουμε και απώλειες ενέργειας της τάξεως του 20%. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η απορριπτόμενη άλμη βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία έχοντας σημαντικό ενεργειακό περιεχόμενο που δεν χρησιμοποιείται. Έτσι, η απλή απόσταξη έχει εφαρμογή σε εκείνες τις περιπτώσεις που το μικρό μέγεθος και η συμπαγής μορφή είναι ο ζητούμενος στόχος, ενώ υπάρχει φτηνή διαθέσιμη ενέργεια.

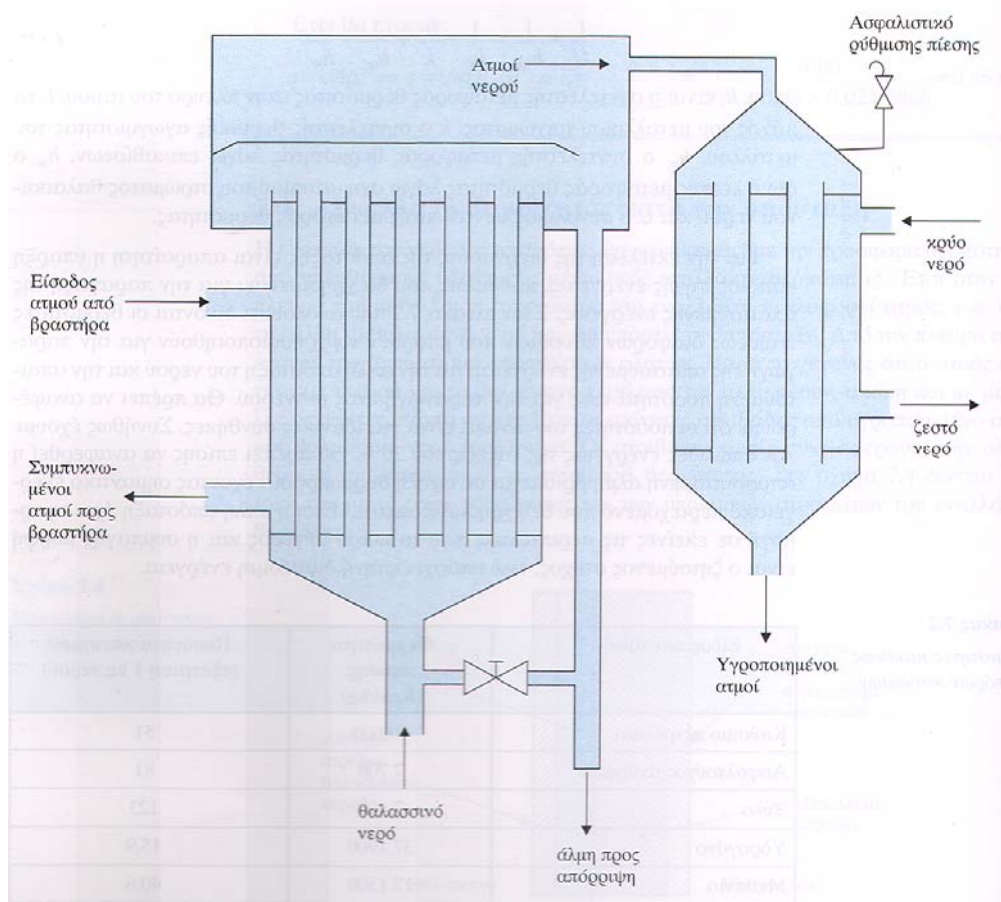


Είδος καυσίμου	Θερμότητα καύσης	Ποσότητα καυσίμου για εξάτμιση 1 m <sup>3</sup> νερού
Καύσιμο πετρέλαιο	10.600 Kcal/kg	51 kg
Ασφαλτούχος άνθρακας	7.700 Kcal/kg	81 kg
Ξύλο	7.400 Kcal/kg	123 kg
Υδρογόνο	37.190 Kcal/kg	15,9 kg
Μεθάνιο	17.130 Kcal/kg	40,6 kg

*Πίνακας 1.2: Θερμότητες καύσεως διαφόρων καυσίμων και η απαιτούμενη ποσότητά τους για την παραγωγή 1 m<sup>3</sup> νερού.*

### 1.2.1.1 Η Διεργασία της Αφαλάτωσης με Απλή Απόσταξη

Η διεργασία αφαλάτωσης με απλή απόσταξη δίνεται παραστατικά στο σχήμα που ακολουθεί. Το θαλασσινό ή το υφάλμυρο νερό, εισάγεται από το κάτω μέρος ενός εναλλάκτη θερμότητας.



**Εικόνα 1.2: Διεργασία αφαλάτωσης με απλή απόσταξη.**

Το θαλασσινό νερό θερμαίνεται στον εναλλάκτη από ατμούς νερού σε θερμοκρασία βρασμού ή υπέρθερμους, οι οποίοι υγροποιούνται και επιστρέφουν στο βραστήρα στην ίδια θερμοκρασία. Το αλατούχο νερό φτάνει στο σημείο βρασμού του, οπότε ατμοί νερού αρχίζουν να ανέρχονται στην αποστακτική στήλη. Η θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού θα πρέπει να είναι οπωσδήποτε μεγαλύτερη από το σημείο βρασμού του αλατούχου νερού. Επειδή πολλές φορές η θερμοκρασία των υπέρθερμων ατμών είναι σταθερή και μη ελεγχόμενη, θα πρέπει να ρυθμίζουμε την πίεση στον αποστακτήρα ώστε το σημείο βρασμού του αλατούχου διαλύματος να είναι μικρότερο από τη θερμοκρασία των υπέρθερμων ατμών. Καθώς το νερό εξατμίζεται και ανέρχεται στην αποστακτική στήλη η συγκέντρωση του αλατούχου νερού αυξάνει και τελικά ανάλογα με το σχεδιασμό που έχουμε κάνει, απορρίπτεται από την έξοδο ως άλμη.

Οι παραγόμενοι ατμοί του νερού με τη βοήθεια ενός συμπυκνωτή υγροποιούνται προς νερό, το οποίο με την κατάλληλη μετεπεξεργασία διατίθεται στην κατανάλωση.

**1.2.1.2 Η Διεργασία της Αφαλάτωσης με Απόσταξη Πολλών Βαθμίδων**

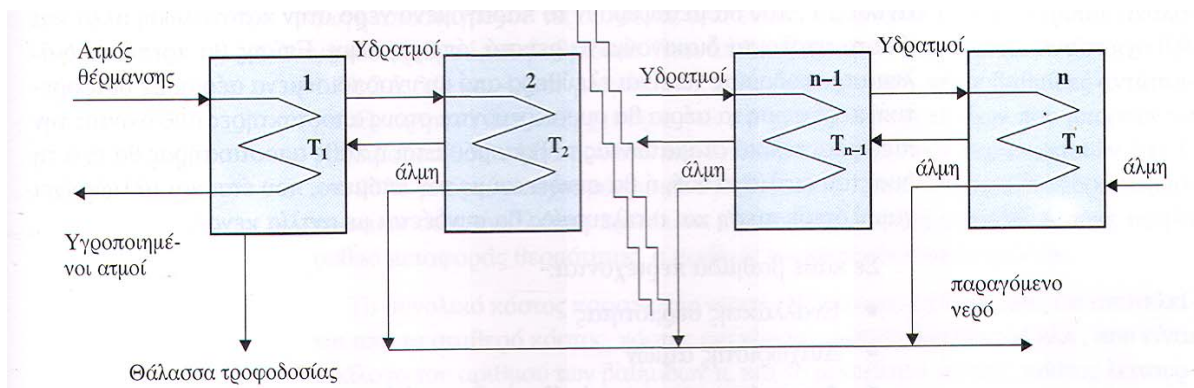
Η χρησιμοποίηση πολυβάθμιων αποστακτήρων γίνεται με στόχο την ελάττωση του κόστους παραγωγής νερού μέσω της αύξησης της αποδοτικότητας του αποστακτήρα και της μείωσης της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Από την άλλη πλευρά δεν απορρίπτεται στο περιβάλλον άλμη και νερό ψύξης υψηλού θερμικού περιεχομένου που αποτελεί θερμική μόλυνση για το περιβάλλον.

Η βασική αρχή λειτουργίας των πολυβάθμιων αποστακτήρων είναι ότι μειώνοντας την πίεση λειτουργίας κάθε βαθμίδας μειώνεται και το σημείο βρασμού του αποσταζόμενου διαλύματος. Έτσι, οι παραγόμενοι ατμοί από τον πρώτο αποστακτήρα ψύχονται στον δεύτερο αποστακτήρα και η θερμότητα που παράγεται χρησιμοποιείται για το βράσιμο του θαλασσινού νερού στον δεύτερο αποστακτήρα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται και στις επόμενες βαθμίδες. Με απλά λόγια ο δεύτερος εξατμιστήρας λειτουργεί ως συμπυκνωτής για τον πρώτο, ο τρίτος για τον δεύτερο κλπ. Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες θερμότητας είναι προφανές ότι η θερμοκρασία βρασμού και συνεπώς η πίεση του διαλύματος τροφοδοσίας θα

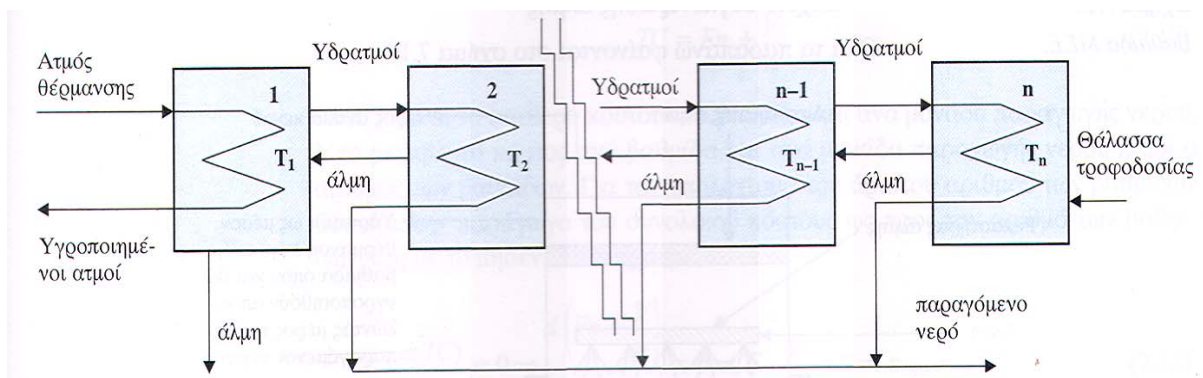


μειώνεται συνεχώς. Η παραγόμενη άλμη από την πρώτη βαθμίδα, που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία αποτελεί το διάλυμα τροφοδοσίας στη δεύτερη βαθμίδα κλπ. Έτσι δεν απαιτείται η θέρμανση του διαλύματος τροφοδοσίας μέχρι το σημείο ζέσεώς του, διότι το σημείο ζέσεως σε κάθε επόμενη βαθμίδα είναι μικρότερο της προηγούμενης.

Στα παρακάτω σχήματα δίνονται σχηματικά τρεις τρόποι εγκατάστασης πολυβάθμιας απόσταξης. Η επιλογή του τρόπου εξαρτάται από τη μεταβολή της διαλυτότητας των αλάτων σε σχέση με τη θερμοκρασία της άλμης και της μέγιστης συγκέντρωσής της.

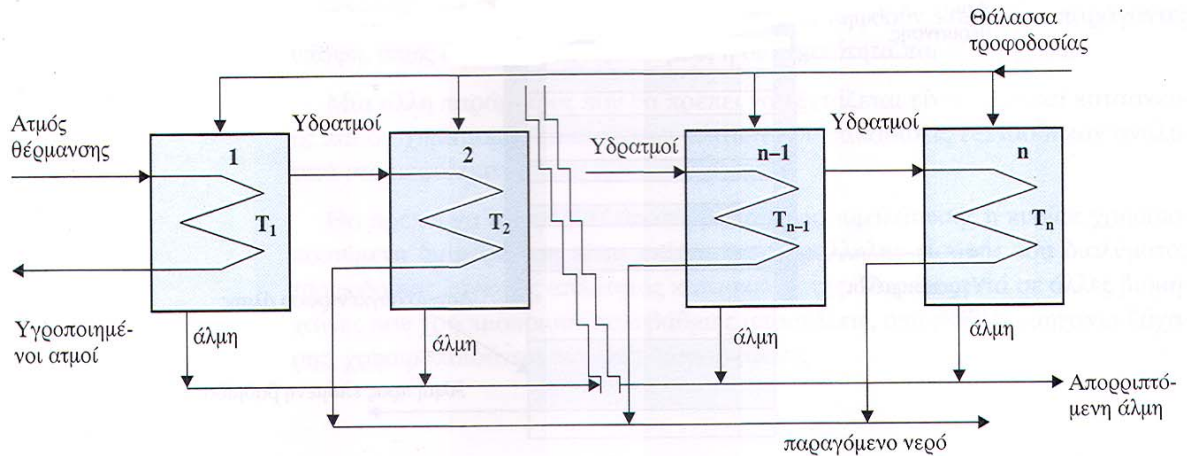


Εικόνα 1.3: Διεργασία αφαλάτωσης πολυβάθμιας απόσταξης με ατμούς και άλμη στην ίδια κατεύθυνση.



Εικόνα 1.4: Διεργασία αφαλάτωσης πολυβάθμιας απόσταξης με ατμούς και άλμη σε αντίθετη κατεύθυνση.





**Εικόνα 1.5:** Διεργασία αφαλάτωσης πολυβάθμιας απόσταξης παράλληλης τροφοδοσίας.

Η πίεση σε όλους τους αποστακτήρες είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής και συνεπώς απαιτούνται αντλίες κενού. Ακόμη θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αντλίες που θα μεταφέρουν το παραγόμενο νερό στην κατανάλωση αλλά και όλα τα υπόλοιπα διακινούμενα ρευστά, όπως η άλμη. Επίσης θα πρέπει το διάλυμα τροφοδοσίας να είναι ελεύθερο από μη υγροποιούμενα αέρια. Σε διαφορετική περίπτωση, τα αέρια θα συσσωρεύονται στους αποστακτήρες αυξάνοντας την πίεση και τελικά σταματώντας το βρασμό. Έτσι, ο κάθε αποστακτήρας θα έχει τη δική του αντλία κενού, ή θα συνδέεται με τον επόμενο, που έτσι και αλλιώς έχει χαμηλότερη πίεση και ο τελευταίος θα συνδέεται με αντλία κενού.

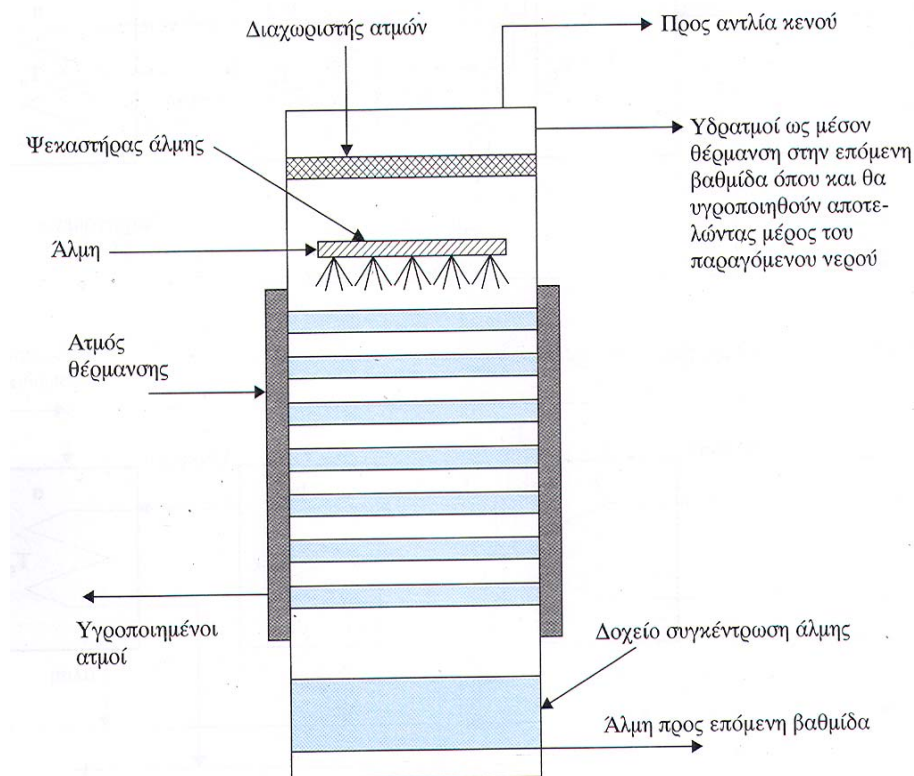
Σε κάθε βαθμίδα περιέχονται:

- Ο εναλλάκτης θερμότητας
- Ο διαχωριστής των ατμών
- Τα ακροφύσια ψεκασμού της άλμης
- Το δοχείο συγκέντρωσης της άλμης

Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί.







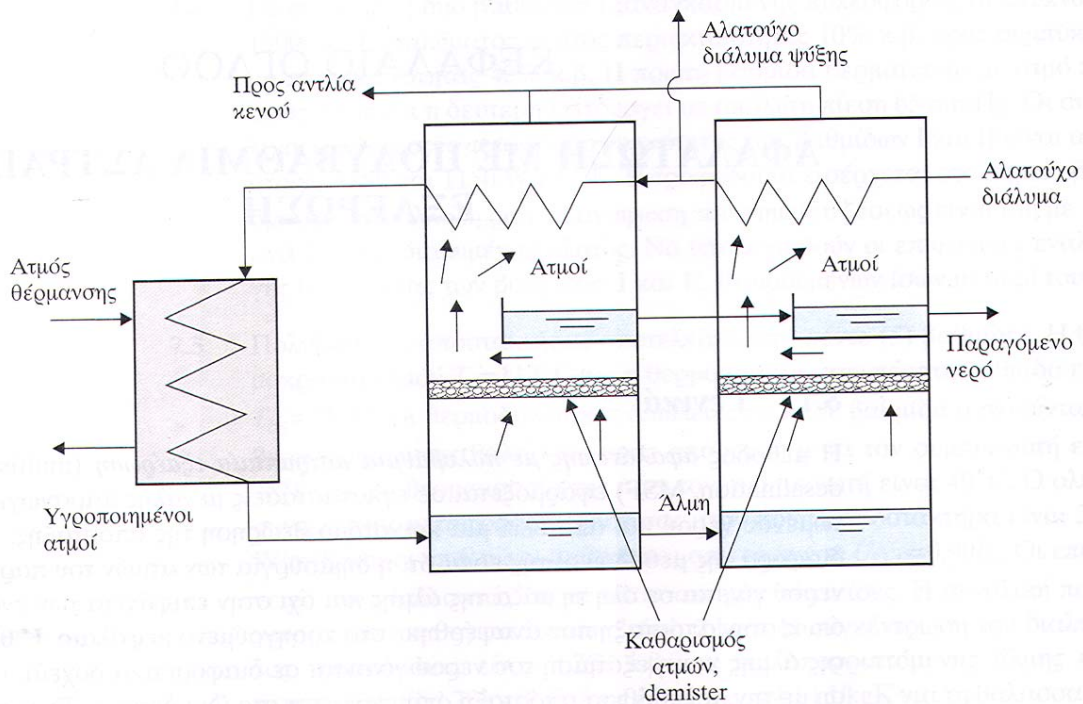
Εικόνα 1.6: Βαθμίδα αφαλάτωσης πολυβάθμιας απόσταξης.

## 1.2.2 Η Αφαλάτωση με Πολυβάθμια Ακαριαία Εξάτμιση

Η μέθοδος αφαλάτωσης με πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις μεγάλης παραγωγής αφαλατωμένου νερού και αποτελεί μία καινοτόμο θεώρηση της απόσταξης. Η βασική διαφορά της μεθόδου αυτής είναι ότι η δημιουργία των ατμών του παραγόμενου νερού γίνεται σε όλη τη μάζα της άλμης και όχι στην επιφάνεια των εναλλακτών όπως στην απόσταξη. Η θέρμανση της άλμης και η εξάτμιση του νερού γίνονται σε διαφορετικά δοχεία, σε αντίθεση με την πολυβάθμια απόσταξη όπου γίνονται στο ίδιο δοχείο. Έτσι, στην πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση το αλμυρό νερό θερμαίνεται με έναν εναλλάκτη θερμότητας κάτω από πίεση έτσι ώστε να αποφεύγεται ο βρασμός και κατόπιν διοχετεύεται σε ένα δοχείο χαμηλής πίεσης όπου και λαμβάνει χώρα η εξάτμιση του νερού.

Η διεργασία αφαλάτωσης με πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση δίνεται παραστατικά στο σχήμα που ακολουθεί.





**Εικόνα 1.7:** Διεργασία αφαλάτωσης με πολυβάθμια Ακαριαία εξάτμιση.

Το νερό τροφοδοσίας, θαλασσίνο ή υφάλμυρο, με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιεί θερμούς ατμούς για μέσο θέρμανσης, θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία. Το νερό τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας θερμότητας έχει προθερμανθεί από τους παραγόμενους ατμούς. Η πίεση παραμένει λίγο μεγαλύτερη από την τάση των ατμών για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία. Στη συνέχεια το θερμό πλέον διάλυμα τροφοδοσίας εισέρχεται σε δοχείο όπου η επικρατούσα πίεση είναι μικρότερη από εκείνη του εναλλάκτη. Έτσι το διάλυμα αρχίζει να εξατμίζεται ακαριαία από όλη τη μάζα του, μέχρις ότου η πίεση γίνει ίση με την τάση κορεσμένων ατμών του διαλύματος. Κατά τη διάρκεια του βρασμού απαιτείται σημαντικό ποσό θερμότητας, το οποίο προσφέρεται από το θερμό διάλυμα τροφοδοσίας το οποίο και ψύχεται. Αποτέλεσμα της ψύξης του διαλύματος είναι η μείωση τελικά της τάσης κορεσμένων ατμών του έτσι ώστε τελικά να έχουμε παύση του βρασμού. Οι παραγόμενοι ατμοί υγροποιούνται στον συμπυκνωτήρα, ο οποίος χρησιμοποιεί ως μέσον ψύξεως το εισερχόμενο διάλυμα τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας κατανάλωσης ενέργειας. Η παραγόμενη άλμη διοχετεύεται στο επόμενο στάδιο όπου και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.





Η καλή και αποδοτική λειτουργία της διεργασίας αφαλάτωσης με πολυβάθμια ακαριαία εξάτμιση περιλαμβάνει παρεμβάσεις όπως:

- Προ-κατεργασία του διαλύματος τροφοδοσίας έτσι ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο η πιθανότητα δημιουργίας επικαθίσεως αλάτων ή επιστρώματος λάσπης.
- Αποφυγή συσσώρευσης αερίων στους χώρους ακαριαίας απόσταξης με τη χρήση αντλιών κενού. Η συσσώρευση αερίων θα αυξήσει την πίεση και επομένως θα μειώσει το βρασμό.
- Χρησιμοποίηση πολλών βαθμίδων. Με τον τρόπο αυτό αυξάνουμε την απόδοση της εγκατάστασης, ενώ χρησιμοποιείται μικρότερη επιφάνεια στους εναλλάκτες θερμότητας.
- Χρησιμοποίηση της παραγόμενης άλμης και του παραγόμενου νερού για προθέρμανση του διαλύματος τροφοδοσίας.
- Επαναχρησιμοποίηση της άλμης σε ανάμειξη με θαλασσινό νερό. Η ενέργεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους προ-κατεργασίας και τη μείωση δαπάνης ενέργειας διότι το θερμικό περιεχόμενο της άλμης δεν απορρίπτεται.

### 1.2.3 Η Αφαλάτωση με Ηλιακή Εξάτμιση

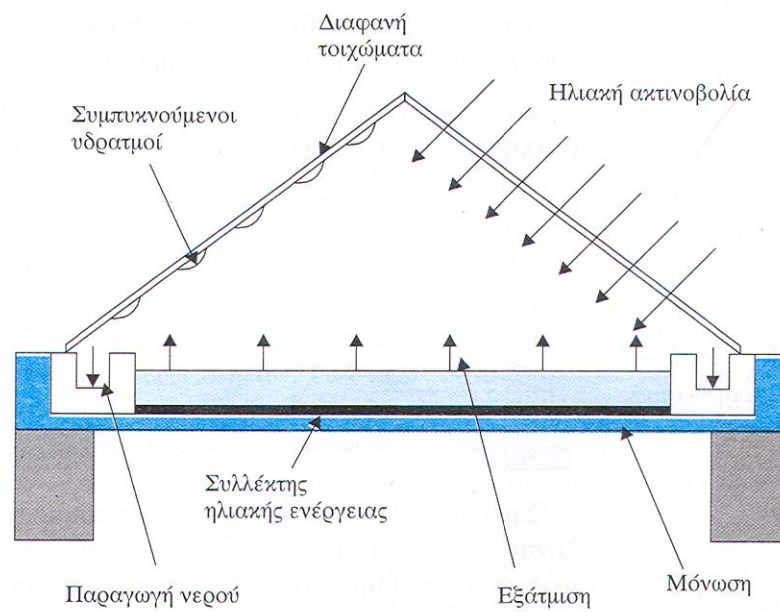
Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία ανεξάντλητη και χωρίς κόστος μορφή ενέργειας. Αφού για την αφαλάτωση απαιτούνται σημαντικά ποσά ενέργειας είναι λογικό να χρησιμοποιήσει κανείς την ηλιακή ενέργεια ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Η χρησιμοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει άμεσα στους ηλιακούς αποστακτήρες, όπου το νερό εξατμίζεται και οι παραγόμενοι ατμοί συμπυκνώνονται προς το παραγόμενο αφαλατωμένο νερό.

Ο ηλιακός αποστακτήρας είναι απλός στην κατασκευή και τοποθέτησή του. Αποτελείται από έναν “δίσκο” (pan) που η επιφάνειά του έχει μεγάλη απορροφητικότητα σε ηλιακή ακτινοβολία, στον οποίο τροφοδοτείται το θαλασσινό νερό, και ένα κάλυμμα το οποίο επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας από αυτό. Η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει το αλατούχο διάλυμα τροφοδοσίας, το νερό εξατμίζεται και ανέρχεται προς τα πάνω. Συμπυκνώνεται στη διάφανη επιφάνεια η



οποία είναι συνήθως κατασκευασμένη από γυαλί, σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα που ρέει προς τη βάση όπου και συλλέγεται.

Η μορφή ενός ηλιακού αποστακτήρα δίνεται παραστατικά στο σχήμα που ακολουθεί.



**Εικόνα 1.8: Ηλιακός αποστακτήρας.**

Η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται από τα διαφανή τοιχώματα και απορροφάται από τη βάση του “δίσκου”. Η βάση του “δίσκου” έχει καλυφθεί από ένα φωτοαπορροφητικό υλικό. Το υλικό αυτό είναι συνήθως χρωστική μαύρου χρώματος ή διάφορα πολυμερή υλικά. Ο “δίσκος” πληρούται από το διάλυμα προς αφαλάτωση, το ύψος του οποίου μπορεί να ποικίλει. Λεπτό στρώμα έχει ως αποτέλεσμα γρήγορη εξάτμιση κατά τις ώρες άμεσης ηλιακής πρόσπτωσης, ενώ σχεδόν μηδενική εξάτμιση κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αντίθετα, στρώμα διαλύματος υψηλής στάθμης έχει ως αποτέλεσμα εξάτμιση μικρής ταχύτητας που διατηρείται όμως για περισσότερες ώρες.

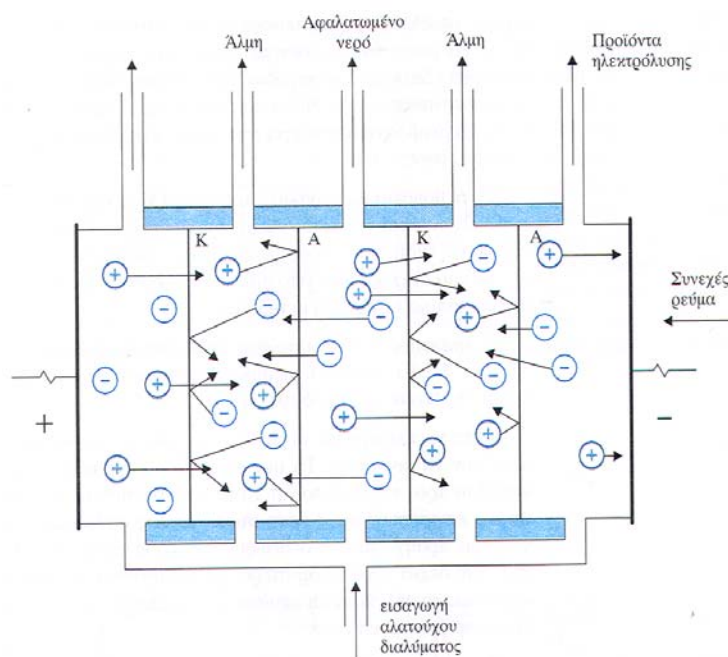
Γενικά η χρήση της ηλιακής ενέργειας για παραγωγή αφαλατωμένου νερού εφαρμόζεται σε μονάδες μικρής δυναμικότητας και κυρίως στις περιπτώσεις εκείνες που δεν είναι διαθέσιμη άλλη μορφή ενέργειας.



### 1.2.4 Η Αφαλάτωση με Ηλεκτροδιάλυση

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μια διεργασία αφαλάτωσης στην οποία τα άλατα υπό μορφή ιόντων απομακρύνονται από την κύρια μάζα του διαλύματος μέσω μεμβρανών και έτσι το παραμένον διάλυμα περιέχει άλατα μικρότερης συγκέντρωσης. Κινητήριος δύναμη που απομακρύνει τα ιόντα είναι η ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από ένα συνεχές ρεύμα. Έτσι, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης των ιόντων στο αλατούχο διάλυμα.

Η κατασκευή και η λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



*Εικόνα 1.9: Δέσμη ηλεκτροδιάλυσης σε λειτουργία.*

Η μονάδα ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται από μία σειρά στενών θαλάμων πάχους 0,1 cm, δια μέσω των οποίων εισάγεται και κινείται με τη βοήθεια αντλίας το αλατούχο διάλυμα προς αφαλάτωση. Ο λόγος του μικρού πάχους των θαλάμων είναι η μείωση της ηλεκτρικής αντίστασής τους και η ελαχιστοποίηση του φαινομένου της συγκέντρωσης πόλωσης. Τα τμήματα αυτά χωρίζονται μεταξύ τους εναλλακτικά από ανιονικές (A) και κατιονικές (K) μεμβράνες δηλαδή μεμβράνες που επιτρέπουν τη



δίοδο μόνο των αρνητικών ή θετικών ιόντων αντίστοιχα. Τα εξωτερικά τμήματα φέρουν ηλεκτρόδια στα οποία διοχετεύεται συνεχές ρεύμα.

Όταν τα ηλεκτρόδια συνδεθούν με μια πηγή συνεχούς ρεύματος, τα ιόντα αρχίζουν να κινούνται. Τα ανιόντα κινούνται προς την άνοδο και τα κατιόντα προς την κάθοδο. Κατά την κίνησή τους συναντούν τις μεμβράνες οι οποίες όμως επιτρέπουν μόνο στο ένα είδος από αυτά να διέλθει. Η εναλλαγή των μεμβρανών δεν επιτρέπει την είσοδο των ιόντων που εγκαταλείπουν ένα θάλαμο να αντικατασταθούν από ομοειδή τους από τον δίπλα θάλαμο. Κάθε μονάδα ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται από δεκάδες μέχρι εκατοντάδες θαλάμους. Το αποτέλεσμα της διόδου του ηλεκτρικού ρεύματος είναι η παραγωγή εναλλάξ στους θαλάμους αφαλατωμένου νερού και άλμης. Στους δύο ακραίους θαλάμους έχουμε προϊόντα ηλεκτρόλυσης και γι αυτό το λόγο τα προϊόντα των θαλάμων αυτών απορρίπτονται επίσης.

Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης εφαρμόζεται κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου και όχι θαλασσινού νερού.

### 1.2.5 Η Αφαλάτωση με Υπερδιήθηση

Η υπερδιήθηση είναι μία τεχνική διαχωρισμού με τη χρήση μεμβρανών και άσκησης πίεσης. Οι μεμβράνες υπερδιήθησης χρησιμοποιούν χαμηλή πίεση και λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή της διήθησης. Οι μεμβράνες υπερδιήθησης διαθέτουν πόρους στην επιφάνειά τους και η απόρριψη των ουσιών μεγέθους 0,3 – 0,01  $\mu\text{m}$  οφείλεται στο γεγονός ότι το μέγεθος των πόρων είναι μικρότερο από 0,01  $\mu\text{m}$ . Η διεργασία απορρίπτει όλα τα ευδιάλυτα μεγαλομόρια, μικροοργανισμούς, αιωρούμενα στερεά και κolloειδή.

### 1.2.6 Η Αφαλάτωση με Μικροδιήθηση

Η μικροδιήθηση είναι μία τεχνική διαχωρισμού με τη χρήση μεμβρανών και άσκησης πίεσης. Οι μεμβράνες μικροδιήθησης χρησιμοποιούν χαμηλή πίεση και λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή της διήθησης. Οι μεμβράνες μικροδιήθησης διαθέτουν πόρους στην επιφάνειά τους και η απόρριψη των ουσιών μεγέθους 1 – 0,1



μm οφείλεται στο γεγονός ότι το μέγεθος των πόρων είναι μικρότερο από 0,1 μm. Η διεργασία απορρίπτει παθογόνους μικροοργανισμούς και αιωρούμενα στερεά.

### 1.2.7 Η Αφαλάτωση με Νανοδιήθηση

Η νανοδιήθηση είναι μία τεχνική διαχωρισμού με τη χρήση μεμβρανών και άσκησης πίεσης. Οι μεμβράνες νανοδιήθησης δεν διαθέτουν πόρους στην επιφάνειά τους και συνεπώς η απόρριψη των ουσιών και των αλάτων καθώς και η δίοδος του νερού οφείλονται σε φαινόμενα διάχυσης – διάλυσης. Στη νανοδιήθηση η απόρριψη μονοσθενών αλάτων είναι μικρή και άρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αφαλάτωση.

### 1.2.8 Η Γεωθερμική Αφαλάτωση

Γεωθερμία είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Η Ελλάδα λόγω των ειδικών γεωλογικών συνθηκών της είναι πλούσια σε αυτή τη μορφή ενέργειας.



*Εικόνα 1.10: Περιοχή Σοκίων Άρτας.*

Η γεωθερμική αφαλάτωση είναι μια αποδεδειγμένη διαδικασία υπό ανάπτυξη για την παραγωγή του γλυκού νερού που χρησιμοποιεί την ενέργεια θερμότητας. Τα οφέλη αυτής της μεθόδου αφαλάτωσης είναι ότι απαιτεί τη λιγότερη συντήρηση από τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης και ότι η εισαγωγή αρχικής ενέργειας είναι από τη γεωθερμική θερμότητα, η οποία είναι μια πηγή χαμηλού περιβαλλοντικού αντίκτυπου ενέργειας.



## 1.2.9 Η Αφαλάτωση με Αντίστροφη Όσμωση



*Εικόνα 1.11: Μονάδες αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση.*

### 1.2.9.1 Η αρχή λειτουργίας της Αντίστροφης Όσμωσης

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

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

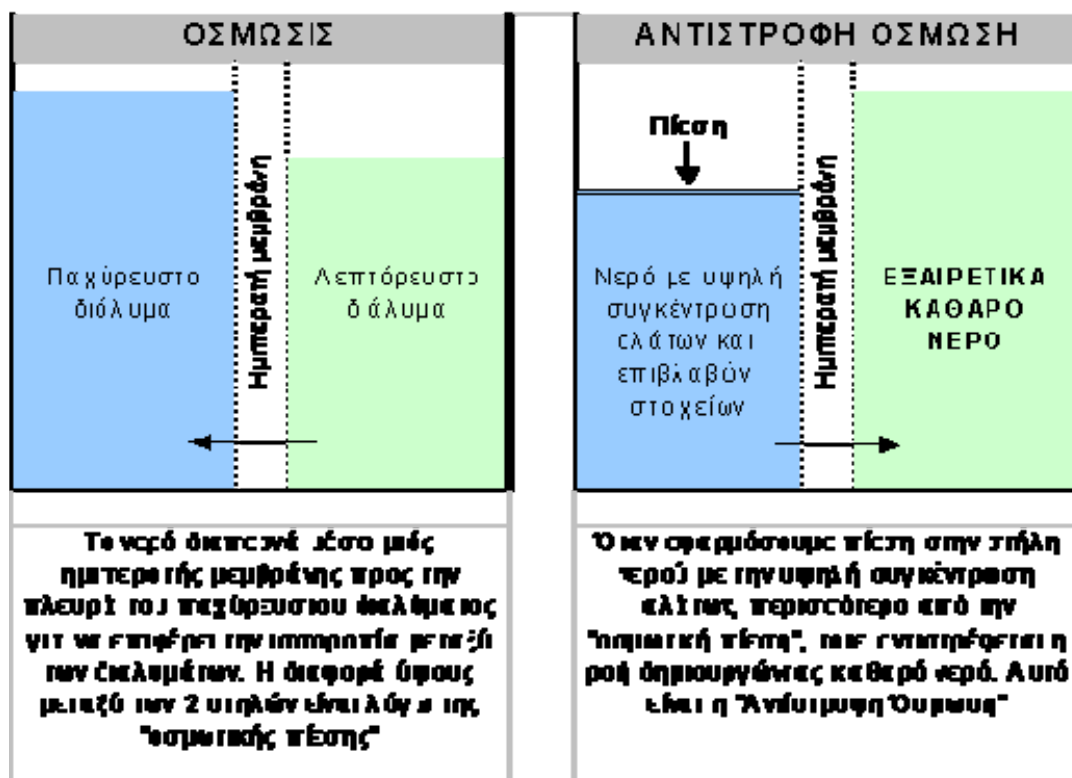
Η διάχυση είναι η μετακίνηση των μορίων από μια περιοχή της χαμηλότερης συγκέντρωσης σε μια περιοχή της υψηλότερης συγκέντρωσης. Η όσμωση είναι μια ειδική περίπτωση της διάχυσης στην οποία τα μόρια είναι νερό και η κλίση συγκέντρωσης εμφανίζεται πέρα από μια ημιπερατή μεμβράνη. Η ημιπερατή μεμβράνη επιτρέπει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

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



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

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



Εικόνα 1.12: Η διαδικασία της όσμωσης και της αντίστροφης όσμωσης.

### 1.2.9.2 Οι μεμβράνες της Αντίστροφης Όσμωσης

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

- Μεγάλη απόρριψη αλάτων με υψηλή διαπερατότητα διαλύτη.
- Ικανότητα να σχηματίζει λεπτά διαχωριστικά στρώματα μεγάλης αντοχής.
- Ικανότητα κατασκευής με μεγάλο λόγο επιφάνειας προς όγκο.

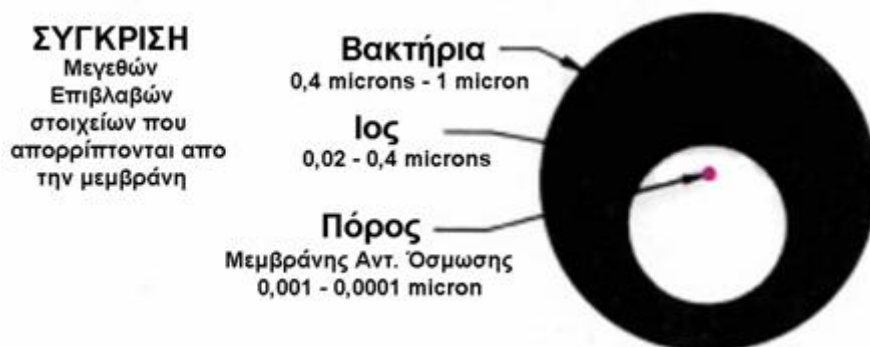




- Μεγάλο εύρος λειτουργικών παραμέτρων, πίεσης, θερμοκρασίας και είδους διαλύματος τροφοδοσίας.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής. Η διάρκεια ζωής κυμαίνεται από 3-5 χρόνια, εξαρτώμενη από την ποιότητα του νερού προς επεξεργασία και τον τρόπο χρήσης και καθαρισμού.
- Μεγάλη αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια και βιολογικές επιθέσεις.
- Ικανότητα λειτουργίας σε μεγάλο εύρος pH.
- Χαμηλό κόστος.  
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης:
- Οι ασύμμετρες μεμβράνες
- Οι σύνθετες μεμβράνες.

### 1.2.9.3 Οι απορρίψεις στοιχείων από τις μεμβράνες

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

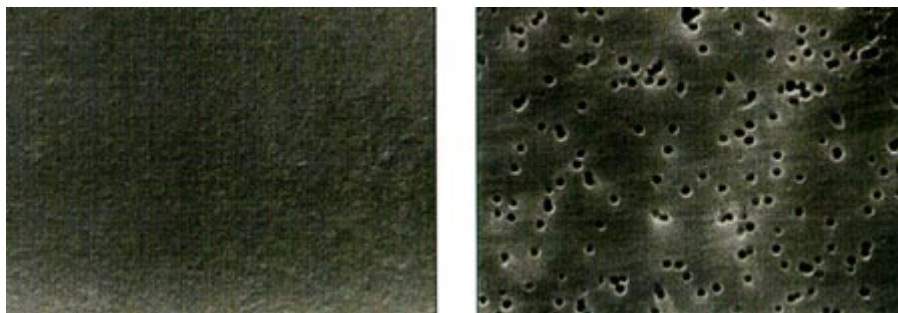


Εικόνα 1.13: Εικόνα του μεγέθους των πόρων της μεμβράνης.

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







*Εικόνα 1.14: Σύγκριση πόρων αντίστροφης όσμωσης και μικροφίλτρου.*

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

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

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



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

*Πίνακας 1.3: Τοπικές απορρίψεις στοιχείων από τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης.*

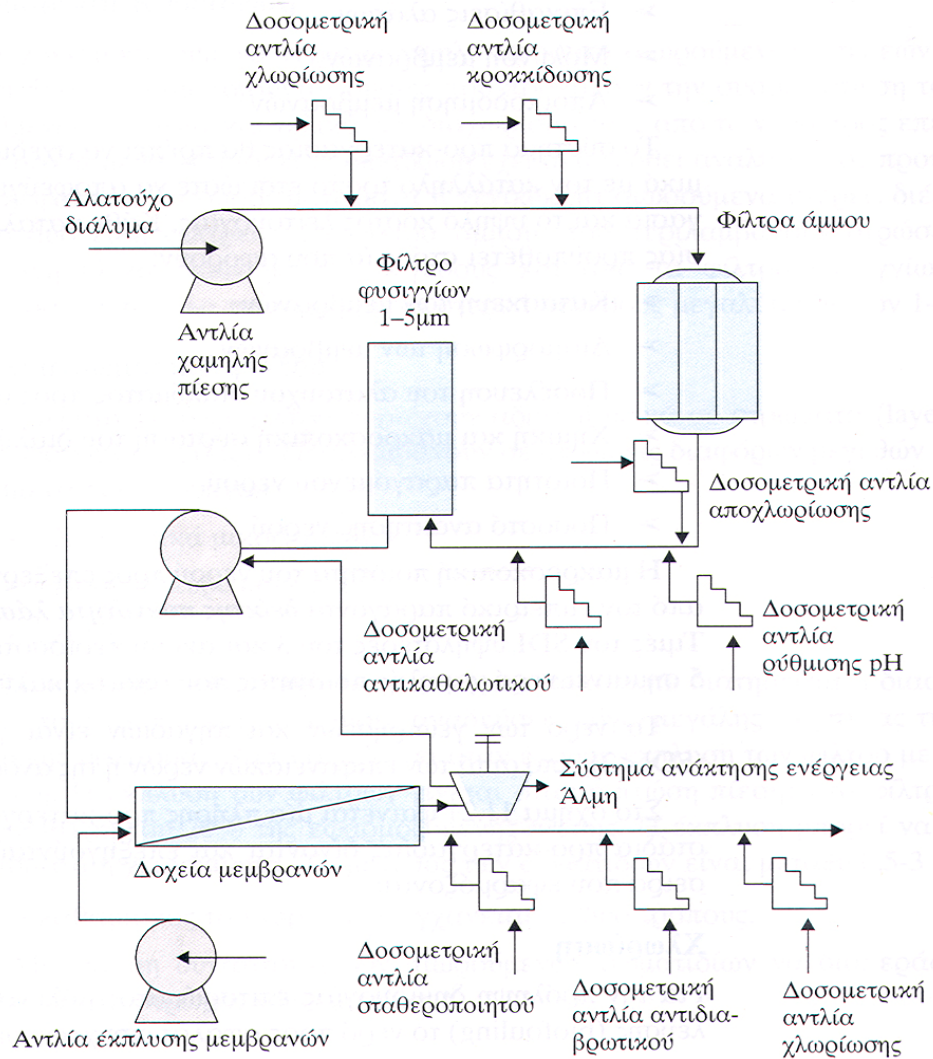
#### 1.2.9.4 Ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων της Αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση

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

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

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





**Εικόνα 1.15: Διάγραμμα μονάδας διεργασίας αντίστροφης όσμωσης.**

### **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 τον 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.

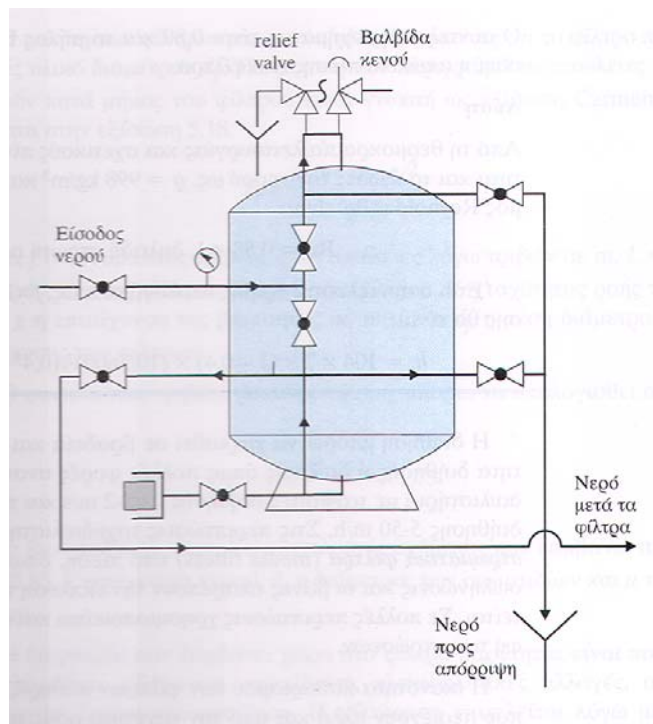
Ο καθαρισμός του νερού επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:



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.



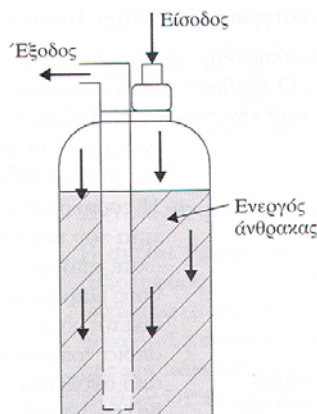
**Εικόνα 1.16: Πολυστρωματικά φίλτρα.**

**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:





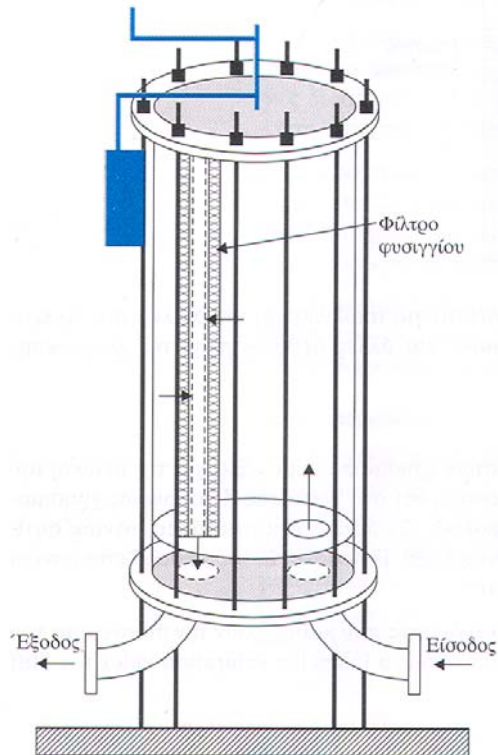
*Εικόνα 1.17: Φίλτρο ενεργού άνθρακα.*

**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 φαίνεται ένα τέτοιο φίλτρο φυσιγγίων.





Εικόνα 1.18: 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.

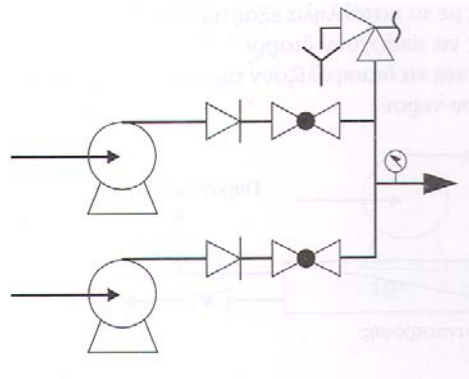
Λαμβάνει το αλατούχο διάλυμα, θάλασσα ή υφάλμυρο νερό, απευθείας από την πηγή τροφοδοσίας ή από δεξαμενή εξισορρόπησης.

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 1.19: 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.

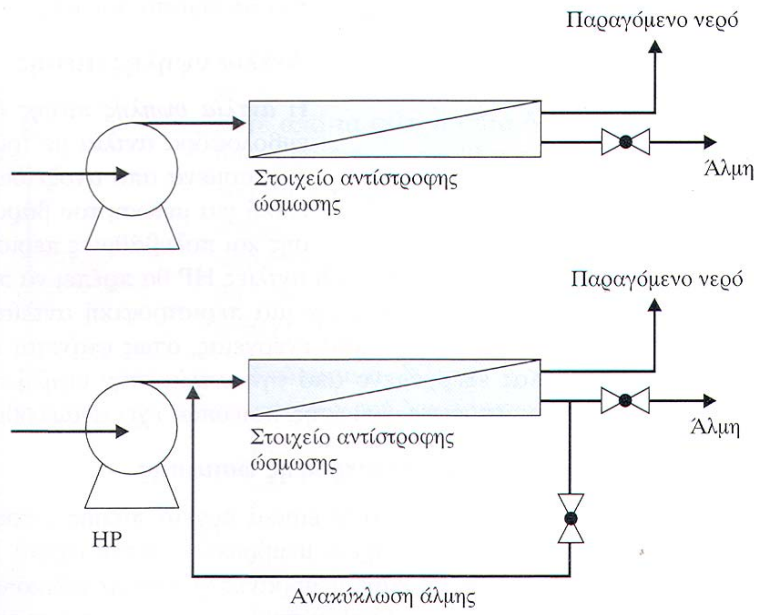
**Στοιχεία αντίστροφης όσμωσης:** Αποτελούνται από ειδικά δοχεία πίεσης εντός των οποίων τοποθετούνται σε σειρά 1 – 7 στοιχεία μεμβρανών. Ο έλεγχος της ποιότητας παραγωγής κάθε μεμβράνης γίνεται με ειδικό σωλήνα που τοποθετείται εσωτερικά των μεμβρανών στο σωλήνα παραγόμενου νερού.

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 η 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.

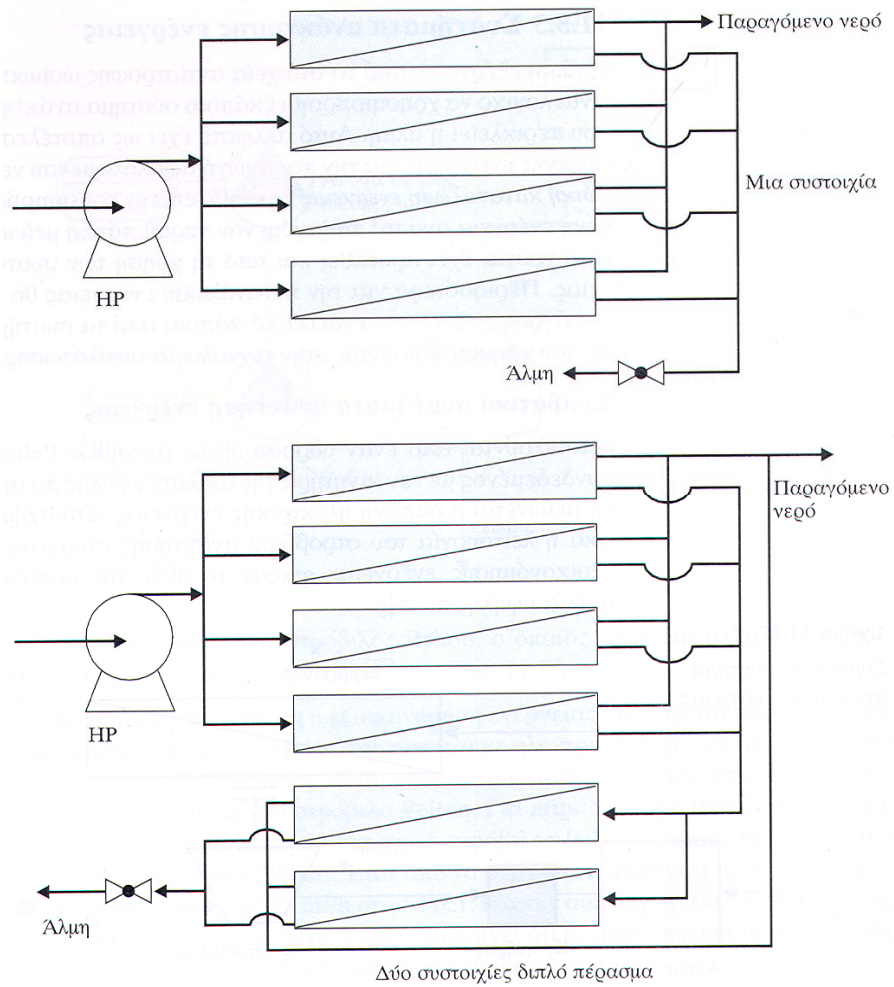
Διάφορες διαμορφώσεις του κυρίως συστήματος αφαλάτωσης με διάφορους λόγους ανάκτησης και ποιότητας παραγόμενου νερού, φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:







**Εικόνα 1.20: Σύστημα αφαλάτωσης με ένα στοιχείο αντίστροφης όσμωσης.**



**Εικόνα 1.21: 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 ισχυρά 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 όξινου ανθρακικού νατρίου. Η δοσολογία ρυθμίζεται ανάλογα με το pH του παραγόμενου νερού και την επιθυμητή τιμή. Για να μειωθούν οι διαβρωτικές ιδιότητες του αφαλατωμένου νερού, προστίθεται αντιδιαβρωτικό όπως είναι διάφορες πολυφωσφορικές ενώσεις,

**Ρύθμιση σκληρότητας:** Η αύξηση της σκληρότητας μπορεί να γίνει με προσθήκη μέσω δοσομετρικής αντλίας  $\text{CaCl}_2$  και  $\text{MgCl}_2$  ή διαβίβαση του νερού μέσα από ειδικές στήλες που περιέχουν ορυκτό Calcite, που περιλαμβάνει άλατα μαγνησίου και ασβεστίου. Η δεύτερη λύση κρίνεται πλέον ικανοποιητική διότι με την αύξηση της σκληρότητας δεν αυξάνεται η συγκέντρωση ιόντων χλωρίου.

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



### 1.2.9.5 Τα χαρακτηριστικά της αντίστροφης όσμωσης

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

➤ Απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων

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

➤ Τεχνική διαχωρισμού για εξοικονόμηση ενέργειας

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

➤ Εύχρηστη ως μέθοδος συγκέντρωσης και αποκατάστασης

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

➤ Συμπαγής εξοπλισμός

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

➤ Απλός χειρισμός και έλεγχος

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



### 1.2.10 Η σύγκριση των μεθόδων της Αφαλάτωσης

Συγκρίνοντας τις μεθόδους αφαλάτωσης, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Μέθοδος	Επένδυση €/m <sup>3</sup> μέρα	Ενέργεια €/ m <sup>3</sup>	Αναλώσι μα €/ m <sup>3</sup>	Εργατικά €/ m <sup>3</sup>	Συντήρηση €/ m <sup>3</sup>	Σύνολο €/ m <sup>3</sup>
Process	Investment Euro/m <sup>3</sup> day	Energy Euro/m <sup>3</sup>	Consumable Euro/m <sup>3</sup>	Labour Euro/m <sup>3</sup>	Maintenance Euro/m <sup>3</sup>	Total O & M cost Euro/m <sup>3</sup>
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 1.4: Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης.*

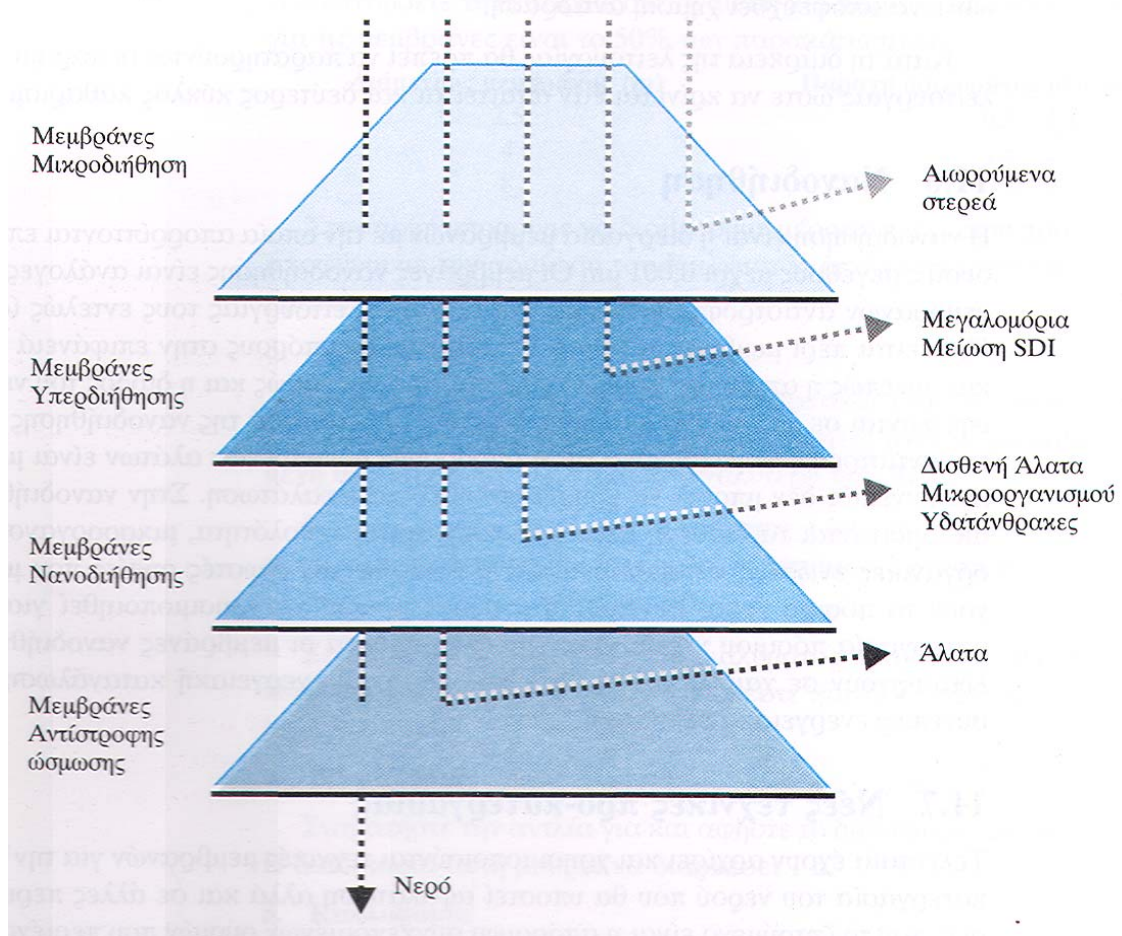
Συγκρίνοντας ως προς το μέγεθος των απορριπτόμενων στοιχείων, τις μεθόδους αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν μεμβράνες, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Κατηγορία	Μέγεθος απορριπτόμενων
1. Μικροδιήθηση (microfiltration)	1–0,1 μm
2. Υπερδιήθηση (Ultrafiltration)	0,3–0,01 μm
3. Νανοδιήθηση (Nanofiltration)	0,01–0,001 μm
4. Αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis)	0,001–0,0001 μm

*Πίνακας 1.5: Μέγεθος απορριπτόμενων ουσιών ανά κατηγορία μεμβρανών.*

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





**Εικόνα 1.22: Είδος απορριπτόμενων ουσιών ανά κατηγορία μεμβρανών.**



### **1.3 Οι Τεχνολογίες των Αιολικών Πάρκων**

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 1.23: 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 έναν μετασχηματιστή σε ένα σύστημα μετάδοσης υψηλής τάσης.



*Εικόνα 1.24: 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 την 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 την 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.

Υπάρχουν τρεις τεχνολογίες αιολικών πάρκων:

- Χερσαία αιολικά πάρκα
- Παράκτια αιολικά πάρκα
- Θαλάσσια αιολικά πάρκα



### 1.3.1 Τα Χερσαία Αιολικά Πάρκα



*Εικόνα 1.25: Χερσαίο Αιολικό Πάρκο στην Κρήτη.*

Οι χερσαίες εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών σε λοφώδεις ή ορεινές περιοχές τείνουν να είναι σε κορυφογραμμές. Οι τοπικοί άνεμοι ελέγχονται συχνά για ένα έτος ή περισσότερα με τα ανεμόμετρα και τους λεπτομερείς αιολικούς χάρτες που κατασκευάζονται προτού να εγκατασταθούν οι ανεμογεννήτριες.

### 1.3.2 Τα Παράκτια Αιολικά Πάρκα



*Εικόνα 1.26: Παράκτιο Αιολικό Πάρκο στη Δανία.*

Οι εγκαταστάσεις (ανεμογεννήτριες) των παράκτιων αιολικών πάρκων είναι στο έδαφος σε απόσταση τριών χιλιομέτρων από μια ακτή ή στο νερό σε απόσταση δέκα χιλιομέτρων από την ακτή. Αυτές οι περιοχές είναι καλές περιοχές για την





εγκατάσταση ανεμογεννητριών, λόγω των ανέμων που προκύπτουν από την άνιση θέρμανση του εδάφους και της θάλασσας κάθε ημέρα. Οι ταχύτητες στο μερίδιο αυτών των ζωνών εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του χερσαίου και παράκτιου ανέμου, ανάλογα με την κατεύθυνση επικρατούντος ανέμου.

### 1.3.3 Τα Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα



*Εικόνα 1.27: Θαλάσσιο Αιολικό Πάρκο κοντά στην Κοπεγχάγη.*

Οι θαλάσσιες ζώνες ανάπτυξης αέρα θεωρούνται γενικά σε απόσταση δέκα χιλιομέτρων ή περισσότερο από την ακτή. Οι ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται στις θαλάσσιες ζώνες είναι λιγότερο αδιάκριτες από τις ανεμογεννήτριες στο έδαφος, δεδομένου ότι το μέγεθος και ο θόρυβός τους μπορούν να μετριαστούν από την απόσταση. Επειδή το νερό έχει χαμηλότερη τραχύτητα επιφάνειας από το έδαφος (ειδικά πιο μεγάλα θαλάσσια βάθη), η μέση ταχύτητα ανέμου είναι συνήθως αρκετά υψηλότερη. Οι παράγοντες ικανότητας (ποσοστά χρησιμοποίησης) είναι αρκετά υψηλότεροι απ' ό,τι για τις χερσαίες και παράκτιες θέσεις.

Η θαλάσσια εγκατάσταση είναι ακριβότερη από τη χερσαία αλλά αυτό εξαρτάται από τις ιδιότητες της περιοχής. Οι πυλώνες των θαλάσσιων ανεμογεννητριών είναι γενικά πιο ψηλοί από αυτούς των χερσαίων αν περιληφθεί το καταδυόμενο ύψος. Τα θεμέλια θαλάσσιων ανεμογεννητριών είναι ακριβότερα για να κατασκευαστούν. Η μετάδοση δύναμης από τις θαλάσσιες ανεμογεννήτριες είναι μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου. Οι θαλάσσιες εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν την άμεση τρέχουσα λειτουργία υψηλής τάσης εάν πρόκειται να καλυφθεί σημαντική απόσταση. Το θαλασσινό νερό επίσης αυξάνει τις δαπάνες συντήρησης με τη διάβρωση των πύργων, αλλά δεν ισχύει το ίδιο για τους πύργους εντός του γλυκού νερού μεγάλων λιμνών. Οι επισκευές και η συντήρηση είναι



συνήθως δαπανηρότερες απ' ό,τι στις χερσαίες ανεμογεννήτριες. Οι θαλάσσιες ανεμογεννήτριες εξοπλίζονται με επιπλέον μέτρα προστασίας διάβρωσης όπως είναι τα επιστρώματα και η καθοδική προστασία, μέτρα τα οποία δεν μπορούν να απαιτηθούν στις θέσεις γλυκού νερού.



## **1.4 Η επιλογή των Τεχνολογιών**

### **1.4.1 Η επιλογή της Τεχνολογίας της Αφαλάτωσης**

Εξετάζοντας αναλυτικά την κάθε τεχνολογία αφαλάτωσης με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα έκαστης, καταλήξαμε στην τεχνολογία αντίστροφης όσμωσης.

Η επιλογή αυτή οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως:

- η τεχνογνωσία της μεθόδου λόγω της μεγάλης ανάπτυξης της τα τελευταία χρόνια,
- η μικρή δαπάνη ενέργειας συγκριτικά με άλλες μεθόδους,
- η αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα της μεθόδου όπως αυτή προκύπτει από την ευρεία χρησιμοποίησή της σε ανάλογα έργα σε πολλές περιοχές,
- η ειδίκευση της μεθόδου για αφαλάτωση θαλασσινού νερού,
- το μικρό οικονομικό κόστος συγκρινόμενο με τα κόστη των άλλων μεθόδων,
- τα προβλήματα διάβρωσης που αντιμετωπίζουν οι μονάδες της αντίστροφης όσμωσης είναι κατά πολύ μικρότερα από αυτά των υπολοίπων μεθόδων,
- η αποδοτικότητα της μεθόδου είναι μεγαλύτερη από κάθε άλλη μέθοδο και φτάνει σε ποσοστό μέχρι και 40% για θαλασσινό νερό,
- οι εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης καταλαμβάνουν τη λιγότερη περιοχή επιφάνειας από τις εγκαταστάσεις των άλλων μεθόδων για το ίδιο ποσό παραγόμενου νερού.

### **1.4.2 Η επιλογή της Τεχνολογίας του Αιολικού Πάρκου**

Εξετάζοντας αναλυτικά την κάθε τεχνολογία Αιολικού Πάρκου με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα έκαστης, καταλήξαμε στην τεχνολογία χερσαίου Αιολικού Πάρκου.

Η επιλογή αυτή οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως:



- 
- η τεχνογνωσία της μεθόδου λόγω της μεγάλης ανάπτυξης των χερσαίων Αιολικών Πάρκων τα τελευταία χρόνια,
  - το κατά πολύ μικρότερο οικονομικό κόστος συγκρινόμενο με τα κόστη των άλλων μεθόδων,
  - η αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα των χερσαίων Αιολικών Πάρκων όπως αυτή προκύπτει από την ευρεία εγκατάστασή τους σε ανάλογα έργα σε πολλές περιοχές,
  - η ύπαρξη αρκετών κορυφογραμμών στις οποίες εμφανίζεται κατάλληλο αιολικό δυναμικό στην ευρύτερη περιοχή.



## 2 Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

### 2.1 Οι παράμετροι λειτουργίας

Για την μελέτη εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης, είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι παράμετροι λειτουργίας της καθώς και ο προσδιορισμός της θέσης εγκατάστασής της. Έτσι, οι παράμετροι λειτουργίας διαμορφώνονται ως εξής:

**Ποιότητα νερού τροφοδοσίας:** Θαλασσινό νερό.

**Ποιότητα παραγόμενου νερού:** Νερό για άρδευση. Το παραγόμενο νερό θα διοχετεύεται στο φράγμα των Μπραμιανών.

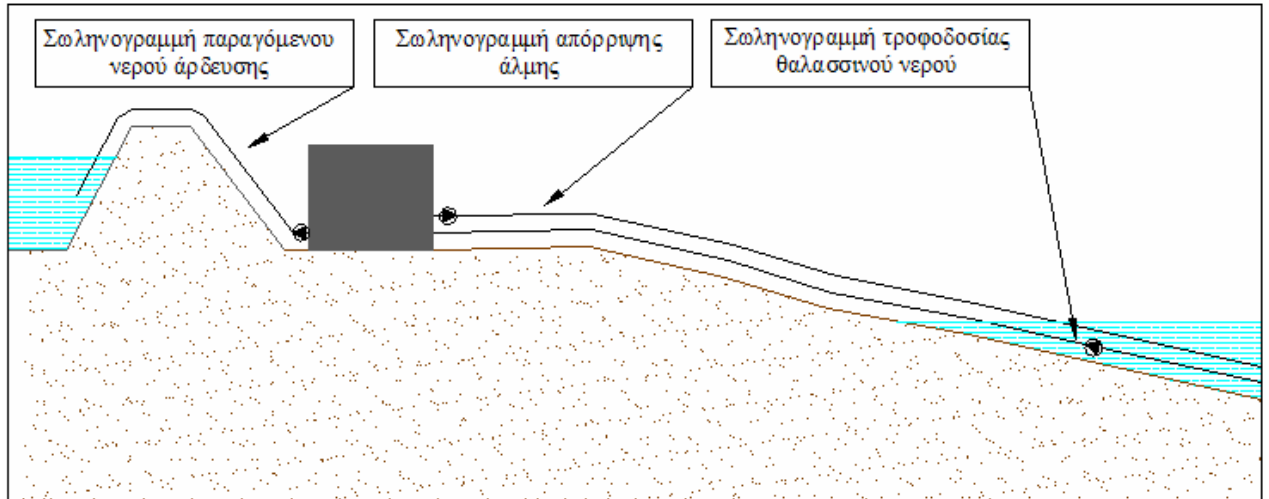
**Απαιτούμενη ποσότητα παραγόμενου νερού:** Απαιτείται παραγωγή ίση με  $8 \cdot 10^6 m^3$  ετησίως. Έτσι, προσεγγιστικά απαιτείται παραγωγή ίση με  $23 \cdot 10^3 m^3$  ημερησίως ή  $2300 m^3$  την ώρα λαμβάνοντας υπόψιν ότι η μονάδα αφαλάτωσης θα είναι σε λειτουργία για 10 ώρες ημερησίως όπως ισχύει σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις στο εξωτερικό (Μήλος, Λάρνακα – Κύπρου, Δεκέλεια – Κύπρου).

**Προσδιορισμός της θέσης της μονάδας:** Η μονάδα θα εγκατασταθεί νότια του φράγματος των Μπραμιανών. Η μονάδα απέχει από το φράγμα περίπου 250 m και από τη θάλασσα περίπου 2000 m. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ της μονάδας και του φράγματος είναι περίπου 25 m, ενώ της μονάδας και της στάθμης της θάλασσας περίπου 35 m.

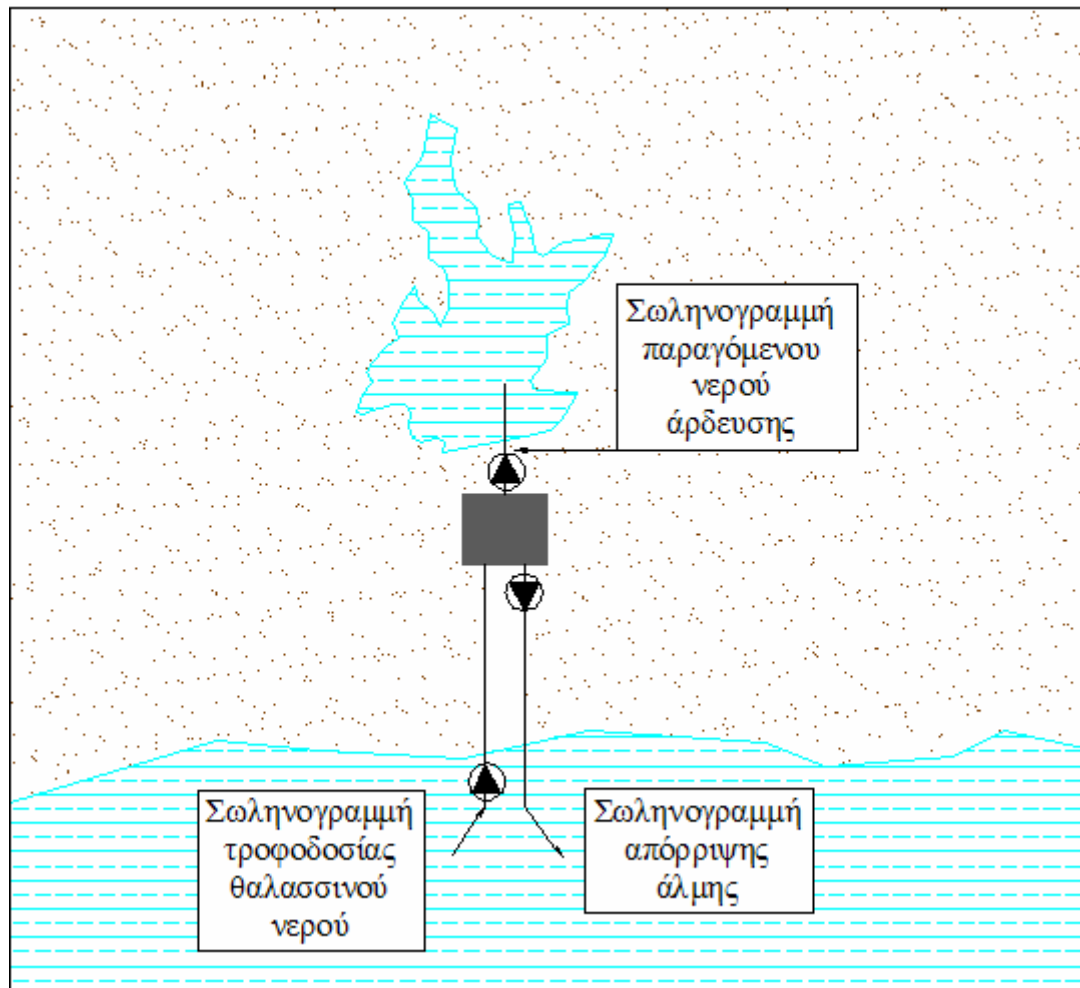
**Τμήματα εγκατάστασης μονάδας:** Δύο αγωγοί μεταφοράς θαλασσινού νερού, ένας αγωγός απόρριψης άλμης, εργοστάσιο αφαλάτωσης και ένας αγωγός μεταφοράς νερού άρδευσης για τη διοχέτευσή του στο φράγμα.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η εγκατάσταση σε σκαρίφημα.





Εικόνα 2.1: Σκαρίφημα μηκτομής της μονάδας αφαλάτωσης.



Εικόνα 2.1: Σκαρίφημα της μονάδας αφαλάτωσης.



## **2.2 Το κυρίως σύστημα Αντίστροφης Όσμωσης**

Η μονάδα της αφαλάτωσης θα τροφοδοτείται με  $46000m^3/d$  θαλασσινό νερό και θα παράγει  $23000m^3/d$  νερό άρδευσης. Αυτό συμβαίνει γιατί η απόδοση της μονάδας είναι 50%. Μετά από μελέτη προσδιορίζεται ο ακριβής αριθμός και η διευθέτηση των μεμβρανών κλπ.

Η μονάδα της αφαλάτωσης μπορεί να τοποθετηθεί σε containers όπως έχει γίνει σε πολλές εγκαταστάσεις τέτοιου είδους.

## **2.3 Ο υδροδυναμικός σχεδιασμός**

Με τον όρο υδροδυναμικός σχεδιασμός εννοούμε τον υπολογισμό των διαστάσεων των σωληνώσεων. Ο υπολογισμός γίνεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση της συνέχειας  $Q = U \cdot A$  όπου, Q η παροχή του νερού στον κάθε αγωγό, U η ταχύτητα του νερού στους αγωγούς (προσεγγιστικά είναι ίση με 2 m/s) και A η επιφάνεια διατομής του κάθε αγωγού. Εφαρμόζοντας τον τύπο για κάθε ένα αγωγό, προκύπτει:

Ο κάθε αγωγός μεταφοράς θαλασσινού νερού με παροχή  $2300 m^3/s$  θα είναι διαμέτρου  $D=600mm$ , πάχους  $\omega=45mm$  και μήκους L περίπου 3000m (τα 1000m υποθαλάσσια), ο αγωγός μεταφοράς νερού άρδευσης με παροχή  $2300 m^3/s$  θα είναι διαμέτρου  $D=600mm$ , πάχους  $\omega=45mm$  και μήκους L περίπου 250 m και ο αγωγός απόρριψης άλμης με παροχή  $2300 m^3/s$  θα είναι διαμέτρου  $D=600mm$ , πάχους  $\omega=45mm$  και μήκους L περίπου 3000 m(τα 1000m υποθαλάσσια).

## **2.4 Ο υπολογισμός των αντλητικών συστημάτων**

Για τον υπολογισμό των αντλητικών συστημάτων είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης για τον κάθε ένα αγωγό. Για αγωγό κυλινδρικής διατομής διαμέτρου D και μήκους L ,η πτώση πίεσης  $\Delta P$  υπολογίζεται από τον τύπο

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot U^2}{2}$$
 όπου f ο συντελεστής τριβής του αγωγού, ρ η πυκνότητα του

ρευστού, και U η ταχύτητά του. Ο συντελεστής τριβής του αγωγού προκύπτει από το διάγραμμα του Moody γνωρίζοντας τον αριθμό Reynolds και τη σχετική τραχύτητα





του αγωγού. Ο αριθμός Reynolds δίνεται από τον τύπο  $Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$  όπου  $\nu$  το ιξώδες του νερού που είναι ίσο με  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Η σχετική τραχύτητα του αγωγού προσεγγιστικά είναι ίση με 0,0002. Αφού υπολογιστεί η πτώση πίεσης στη συνέχεια από τον τύπο  $P = Q \cdot (\rho \cdot g \cdot h + \Delta P)$ , υπολογίζεται η ισχύς εξόδου της κάθε αντλίας. Με μία προσαύξηση του 10% προκύπτει η πραγματική τιμή ισχύος εξόδου της αντλίας. Η προσαύξηση γίνεται λόγω των καμπυλοτήτων των αγωγών τις οποίες δεν τις έχουμε λάβει υπόψη μας. Τέλος, γνωρίζοντας τον βαθμό απόδοσης της αντλίας ( $n \sim 0,8$ ) καταλήγουμε στην απαιτούμενη ισχύ εισόδου  $P_{\text{απαιτ}}$  από τον τύπο  $n = \frac{P}{P_{\text{απαιτ}}}$ .

Στην εγκατάσταση που μελετάμε απαιτούνται δύο υποβρύχιες αντλίες (πομόνες) στους αγωγούς τροφοδοσίας θαλασσινού νερού, μία αντλία στον αγωγό απόρριψης άλμης και μία αντλία στον αγωγό παραγόμενου νερού άρδευσης. Εφαρμόζοντας τους παραπάνω τύπους για κάθε ένα αγωγό και κάθε μία αντλία, προκύπτει:

Η κάθε μία υποβρύχια αντλία θα έχει ισχύ εισόδου 425 KW, η αντλία στον αγωγό απόρριψης άλμης θα έχει ισχύ εισόδου 90 KW και η αντλία του αγωγού παραγόμενου νερού άρδευσης θα έχει ισχύ εισόδου 230 KW.

## **2.5 Οι βοηθητικές εγκαταστάσεις**

### **2.5.1 Η προκατεργασία**

Στα πλαίσια της μελέτης που πραγματοποιείται καθορίζονται τα στάδια εκείνα της προκατεργασίας που είναι απαραίτητα για την παραγωγή νερού κατάλληλου για άρδευση.

### **2.5.2 Η μετεπεξεργασία**

Στα πλαίσια της μελέτης που πραγματοποιείται καθορίζονται τα στάδια εκείνα της μετεπεξεργασίας που είναι απαραίτητα για την παραγωγή νερού κατάλληλου για άρδευση.



### 3 Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

#### 3.1 Ο Υπολογισμός της απαιτούμενης Ισχύος του Αιολικού Πάρκου

Γνωρίζοντας ότι για την παραγωγή  $1m^3$  νερού, απαιτείται δαπάνη ενέργειας ίση με  $3KWh$  υπολογίζουμε ότι για την παραγωγή  $8 \cdot 10^6 m^3$  νερού άρδευσης ετησίως απαιτείται δαπάνη ενέργειας ίση με:

$$3 \frac{KWh}{m^3} \cdot 8 \cdot 10^6 m^3 = 24 \cdot 10^6 KWh$$

Ο μέσος όρος λειτουργίας των ανεμογεννητριών και κατά συνέπεια του αιολικού πάρκου, είναι  $3000h$

Η ισχύς του αιολικού πάρκου για την κάλυψη της μονάδας αφαλάτωσης είναι περίπου:

$$\frac{24 \cdot 10^6 KWh}{3000h} = 8 \cdot 10^3 KW = 8MW$$

Τα αντλητικά συστήματα επίσης, έχουν απαίτηση ενέργειας. Η συνολική ισχύς των αντλητικών συστημάτων είναι  $1,17 MW$ . Αν προστεθούν κι αυτά στην ισχύ του Αιολικού Πάρκου καταλήγουμε στο ότι η απαιτούμενη ισχύς του Αιολικού Πάρκου είναι  $9,17 MW$ . Προσεγγιστικά, το Αιολικό Πάρκο που θα μελετηθεί θα είναι ισχύος  $10 MW$ .

#### 3.2 Η Διερεύνηση της Ευρύτερης Περιοχής για την Εγκατάσταση του Αιολικού Πάρκου

Από την αντίστοιχη διανομή χαρτών για κάθε κλίμακα, βρήκαμε και επιλέξαμε τους κωδικούς του κάθε χάρτη που χρησιμοποιήσαμε και έγινε η παραγγελία των χαρτών στην Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.).



Για την περιοχή της Ιεράπετρας, χρησιμοποιήσαμε χάρτες κλίμακας 1:50.000, οι κωδικοί των οποίων αναγράφονται παρακάτω:

<b>Χαρτογραφικά Διαγράμματα 1:50.000</b>		
	<b>Όνομασία</b>	<b>Φύλλο χάρτου</b>
<b>1</b>	Άγιος Νικόλαος	009
<b>2</b>	Ιεράπετρα	121
<b>3</b>	Κάτω Χωρίον	155
<i><b>Πίνακας 3.1: Κωδικοί χαρτών 1:50.000.</b></i>		

Μετά από συνεννόηση με τον υπεύθυνο καθηγητή για μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων έγινε παραγγελία χαρτών στην Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:5.000, οι κωδικοί των οποίων αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Χαρτογραφικά Διαγράμματα 1:5.000</b>	
	<b>Κωδικός</b>
<b>1</b>	96454
<b>2</b>	96456
<b>3</b>	96463
<b>4</b>	96465
<i><b>Πίνακας 3.2: Κωδικοί χαρτών 1:5.000.</b></i>	

### **3.3 Η Ψηφιοποίηση**

Η μέθοδος της ψηφιοποίησης μετατρέπει αναλογικά χωρικά δεδομένα σε ψηφιακά με τη χρήση H/Y και κατάλληλων λογισμικών πακέτων. Η ψηφιοποίηση έγινε με το πακέτο λογισμικού AutoCAD 2007.

Χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες που αναφέρονται παραπάνω. Στους χάρτες, η αναπαράσταση του ανάγλυφου γίνεται με τη βοήθεια ισοϋψών καμπύλων. Η ισοϋψής καμπύλη είναι μία νοητή γραμμή που περνάει από όλα τα σημεία που έχουν το ίδιο υψόμετρο. Η υψομετρική διαφορά ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ισοϋψείς λέγεται ισοδιάσταση. Η ψηφιοποίηση που πραγματοποιήσαμε από τους χάρτες που είχαμε στην διάθεση μας έγινε με ισοδιάσταση 20 m.



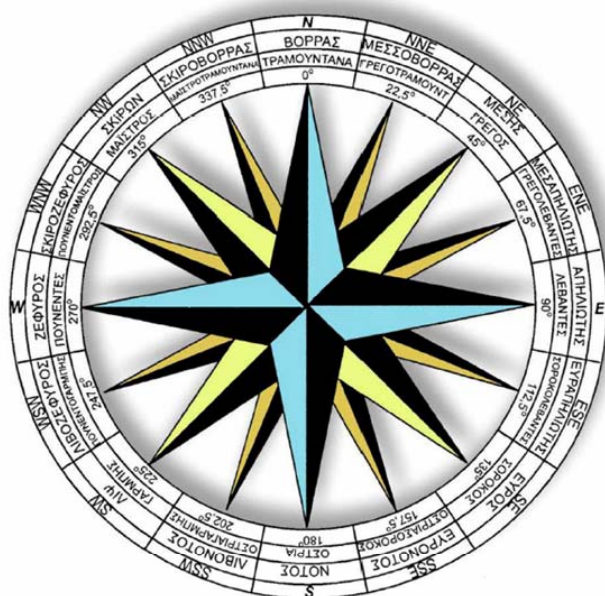
### **3.4 Η Επεξεργασία των Ανεμολογικών Δεδομένων**

Η επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων είναι μια από τις σημαντικότερες διαδικασίες μιας τέτοιας μελέτης. Τα ανεμολογικά δεδομένα περιλαμβάνουν τιμές της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου σε μέση δεκάλεπτη βάση. Η λήψη αυτών των μετρήσεων πραγματοποιείται με την χρήση ανεμογράφου στην εκάστοτε περιοχή.

**Ταχύτητα ανέμου:** Η καταγραφή των τιμών της ταχύτητας του ανέμου γίνεται με την χρήση οργάνων τα οποία ονομάζονται ανεμόμετρα. Το καταγραφικό σύστημα του ανεμολογικού ιστού αποθηκεύει τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου με δειγματοληψία δευτερολέπτου και τις αποθηκεύει σε αρχεία H/Y (σε μορφή χαρακτήρων ASCII) για χρόνο που έχουμε ορίσει και συνήθως είναι δεκάλεπτες, μισάωρες ή ωριαίες τιμές. Για μία ασφαλή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής χρειαζόμαστε μέσες τιμές ταχύτητας για χρονικό διάστημα τουλάχιστον έξι μηνών, ενώ σε μελέτες απαιτείται χρονικό διάστημα τουλάχιστον ενός έτους.

**Διεύθυνση ανέμου:** Η καταγραφή των μετρήσεων της διεύθυνσης του ανέμου πραγματοποιείται με παρόμοια μέθοδο όπως και στην ταχύτητα του ανέμου. Οι μετρήσεις λαμβάνονται με την χρήση του διευθυνσιομέτρου, το οποίο είναι προσαρμοσμένο στον ανεμολογικό ιστό και μετρά την στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου. Η διεύθυνση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται συνεχώς, καθορίζεται δε, με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με τη θέση μέτρησης. Η διεύθυνση του ανέμου μετράται κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μοίρες. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια οι μετρήσεις της διεύθυνσης κατατάσσονται σε διακριτούς τομείς, για παράδειγμα 12, 16 ή 24. Αν παρατηρήσουμε την διεύθυνση του ανέμου μπορούμε να χαράξουμε σε «πολικό διάγραμμα» (ή ροδόγραμμα) τις συχνότητες πνοής ανέμου συγκεκριμένης ταχύτητας και διεύθυνσης.





*Εικόνα 3.1 : Ανεμολόγιο.*

Η διεύθυνση του ανέμου επηρεάζεται από το ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής το οποίο μπορεί να αποτελείται από βουνά, κοιλάδες, λόφους, κ.α. Η διεύθυνση του ανέμου της υπό μελέτη περιοχής με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, ονομάζεται κύρια διεύθυνση. Στην καταγραφή των δεδομένων συμπεριλαμβάνεται η ελάχιστη και την μέγιστη ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου σε δεκάλεπτη βάση και οι ριπές και στην συνέχεια δύναται να υπολογιστεί η ένταση της τύρβης του ανέμου της θέσης.

Ως ριπή του ανέμου ορίζεται η ξαφνική και μικρής διάρκειας αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Η ταχύτητα του ανέμου μετά το πέρας της ριπής επανέρχεται στα προηγούμενα επίπεδα. Η ριπή μπορεί να φτάνει ταχύτητες της τάξης των 120 m/sec.

Τα εμπόδια στο έδαφος συχνά δημιουργούν στροβίλους. Οι στρόβιλοι επηρεάζουν τόσο την παρεχόμενη ισχύ από τον άνεμο όσο και την όλη εγκατάσταση του συστήματος μιας ανεμογεννήτριας.

Τέλος, η ένταση της τύρβης είναι ένα από τα βασικότερα μεγέθη τα οποία πρέπει να γνωρίζει κανείς όταν πρόκειται να εγκαταστήσει μια ανεμογεννήτρια, γιατί δεν επιδρά μόνο στην αποδιδόμενη ισχύ, αλλά και σε όλη την εγκατάσταση του συστήματος. Η ένταση τύρβης είναι η διακύμανση της ταχύτητας του αέρα γύρω από τη μέση τιμή.



Τα ανεμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη είναι από τρεις Ανεμολογικούς Ιστούς ύψους 30 m. Οι θέσεις των ανεμογράφων αυτών είναι:

Ο πρώτος ανεμογράφος έχει εγκατασταθεί στο νησί της Κρήτης σε περιοχή ήπιου ανάγλυφου στο νότιο κεντρικό τμήμα του νομού Λασιθίου, ανατολικά της Ιεράπετρας. Το σημείο είναι κοντά στο Λυβικό πέλαγος, το οποίο περιβάλλει τον ανεμογράφο από τον νοτιοανατολικό μέχρι τον νοτιοδυτικό τομέα του ροδογράμματος. Το ύψος τραχύτητας της ηπειρώτικης περιοχής είναι παντού 10cm. Δεν υπάρχουν εμπόδια κοντά στο σημείο. Το σημείο σύμφωνα με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ'87) έχει συντεταγμένες  $X = 663138.5$ ,  $\Psi = 3874965.4$ , και  $Z = 65\mu$ .

Ο δεύτερος ανεμογράφος έχει εγκατασταθεί στο νησί της Κρήτης σε ένα μικρό ύψωμα 55μ. κοντά στην Παχιά Άμμο στο κεντρικό τμήμα του νομού Λασιθίου. Ο ανεμογράφος είναι κοντά σε θάλασσα, τοποθετημένος εσωτερικά του κόλπου του Μιραμβέλου. Η θάλασσα περιβάλλει τον ανεμογράφο από τα βορειοδυτικά μέχρι τα ανατολικά μέσω του βορρά. Το ύψος τραχύτητας της ηπειρώτικης περιοχής είναι 10 cm παντού. Δεν υπάρχουν εμπόδια κοντά στο σημείο. Το σημείο σύμφωνα με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ'87) έχει συντεταγμένες  $X = 664013.1$ ,  $\Psi = 3886838.1$ , και  $Z = 55\mu$ .

Ο τρίτος ανεμογράφος έχει εγκατασταθεί στο νησί της Κρήτης στην πλαγιά ενός λόφου κοντά στην Επισκοπή, στο βόρειο κεντρικό τμήμα του νομού Λασιθίου. Είναι εγκατεστημένος κεντρικά στη δυτική πλευρά ενός φυσικού καναλιού που δημιουργείται από βουνά που κατευθύνονται από νότια – νοτιοδυτική προς βόρεια – βορειοανατολική διεύθυνση. Το περιβάλλον ανάγλυφο του ανεμογράφου έχει σύνθετη τοπογραφία που οφείλεται στις απόκρημνες πλαγιές που υπάρχουν νοτιοδυτικά. Το ύψος τραχύτητας της ηπειρώτικης περιοχής είναι 10 cm παντού. Δεν υπάρχουν εμπόδια κοντά στο σημείο. Το σημείο σύμφωνα με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ'87) έχει συντεταγμένες  $X = 663304.1$ ,  $\Psi = 3881286.4$ , και  $Z = 185\mu$ .



### 3.5 Ο Χάρτης της Τραχύτητας του εδάφους

Για την πραγματοποίηση της μελέτης απαιτείται η δημιουργία ψηφιακού χάρτη της περιοχής. Η διαδικασία πραγματοποιείται με το πρόγραμμα Wasp Map Editor από την ψηφιοποίηση.

Η σκοπιμότητα της δημιουργίας του χάρτη τραχύτητας είναι για να κατανοήσουμε το ανάγλυφο και τις χρήσεις γης (χορτολιβαδικές εκτάσεις, δάση, χωριά, πόλεις κ.λπ.) της εκάστοτε περιοχής.

Οι τιμές της τραχύτητας επιλέχθηκαν με βάση τους κανονισμούς του βιβλίου European Wind Atlas μερικοί από τους οποίους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ύψος τραχύτητας (m)	Χαρακτηριστικά ανάγλυφου	Κλίμακα τραχύτητας
1,00	Πόλεις, δάση	
0,50	Προάστια	3
0,30	Ζώνες σκίασης	
0,20	Πυκνή βλάστηση	
0,10	Κλειστές αγροτικές εκτάσεις	2
0,05	Ανοιχτές αγροτικές εκτάσεις	1
0,03	Περιοχές με λίγα κτίρια, δέντρα κλπ	
0,01	Αεροδιάδρομοι, γρασίδι	
$5 \cdot 10^{-3}$	Γεώδεις επιφάνειες	
$10^{-3}$	Χιονισμένες επιφάνειες	
$3 \cdot 10^{-4}$	Αμμώδεις επιφάνειες	0
$10^{-4}$	Θάλασσα, λίμνες	
<b>Πίνακας 3.3: Τιμές τραχύτητας σύμφωνα με το βιβλίο European Wind Atlas.</b>		





### **3.6 Η ανάλυση του Αιολικού Δυναμικού**

Η ανάλυση Αιολικού δυναμικού πραγματοποιείται με το πρόγραμμα Wasp (Wind Atlas Analysis and Application Programme) εισάγοντας σε αυτό, το ανάγλυφο της περιοχής, τα επεξεργασμένα ανεμολογικά δεδομένα και τον χάρτη τραχύτητας.

Το μέγεθος του Αιολικού δυναμικού μίας περιοχής σχετίζεται άμεσα με την βιωσιμότητα μίας επένδυσης. Για το σκοπό αυτό, γίνονται εκτεταμένες χρονικά μετρήσεις της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου στις υποψήφιες περιοχές.

Παράλληλα, χρησιμοποιούνται κατάλληλα μοντέλα με στόχο την πρόβλεψη του Αιολικού δυναμικού μίας περιοχής με βάση τα στοιχεία μετρήσεων. Για τις ανάγκες υπολογισμού του διαθέσιμου Αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν επαρκεί η γνώση της μέσης τιμής του ανέμου της περιοχής, αλλά μας χρειάζονται και αναλυτικές πληροφορίες και για την κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των διαφόρων τιμών ταχύτητας του ανέμου μέσα στο χρόνο, με έμφαση στην καταγραφή των περιόδων νηνεμίας καθώς και των περιόδων εμφάνισης πολύ ισχυρών ανέμων. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων είναι η κατανομή Weibull της τάχυτητας και το ροδόγραμμα της διεύθυνσης του ανέμου.

Τα γραφήματα στα οποία απεικονίζονται τα ροδογράμματα και οι κατανομές Weibull για τη θέση Καταλύματα των ανεμολογικών δεδομένων των τριών ανεμογράφων, στα οποία εμφανίζονται οι μέσες ταχύτητες ανέμου ανά διεύθυνση παρατίθενται στο παράρτημα 1.

### **3.7 Ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης εγκατάστασης του Αιολικού Πάρκου**

Με τα δεδομένα που έχουμε στην διάθεση μας από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους το οποίο δημιουργήθηκε από την ψηφιοποίηση και μετά από την ανάλυση αιολικού δυναμικού, έχουμε την δυνατότητα να προχωρήσουμε στην ανεύρεση του βέλτιστου σημείου εγκατάστασης του αιολικού πάρκου. Σύμφωνα με τα κριτήρια χωροθέτησης, βρήκαμε μια περιοχή η οποία είναι ιδανική για την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου διότι είναι κορυφογραμμική και έχει υψηλό αιολικό δυναμικό. Η περιοχή αυτή είναι στην κορυφογραμμική «Καταλύματα» με υψόμετρο 800 m, με

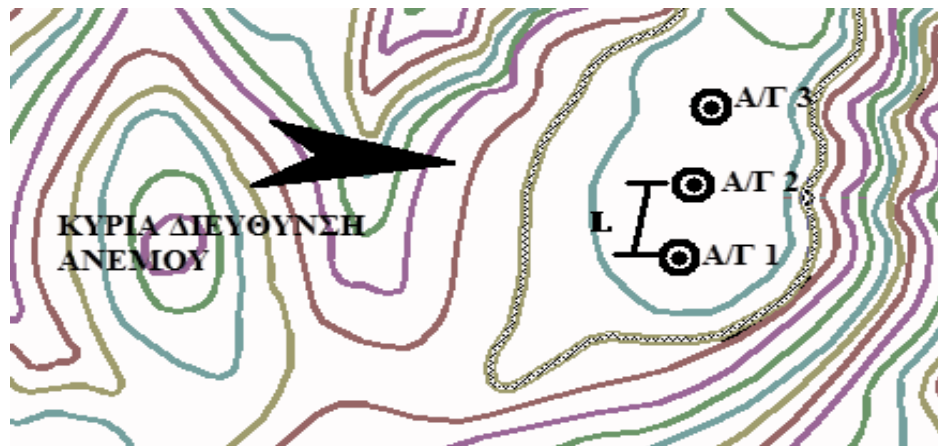


ένταση ανέμου 9 - 10 m/s και βρίσκεται βορειοανατολικά της θέσης εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης σε απόσταση περίπου 6 Km.

### 3.8 Η Χωροθέτηση των Ανεμογεννητριών (Α/Γ)

Για την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών λαμβάνουμε υπόψη το ανάγλυφο και το Αιολικό δυναμικό της ευρύτερης περιοχής, έτσι ώστε να γίνει σωστή επιλογή της θέσης της εγκατάστασης. Οι ανεμογεννήτριες θα πρέπει να χωροθετούνται σε κορυφογραμμές με υψηλό αιολικό δυναμικό και κάθετα στην κύρια διεύθυνση του ανέμου σε απόσταση τέτοια ώστε να μην εμφανίζονται έντονα φαινόμενα σκίασης γιατί έτσι θα έχουμε απώλειες στην παραγωγή ενέργειας. Τα βασικότερα κριτήρια χωροθέτησης ανεμογεννητριών είναι:

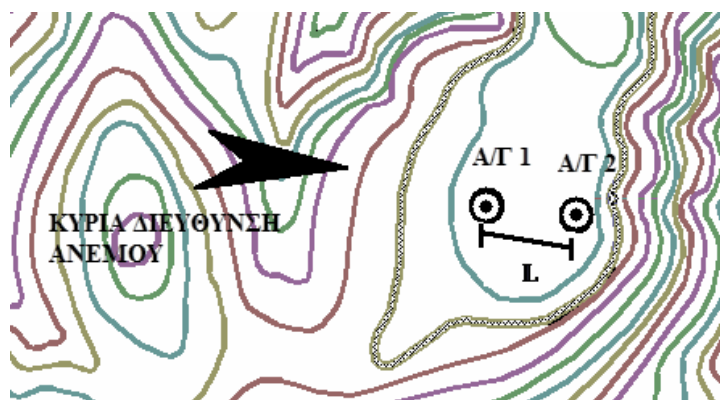
- Οι Α/Γ τοποθετούνται σε θέσεις υψηλού αιολικού δυναμικού.
- Η χωροθέτηση πρέπει να γίνεται επί της κορυφογραμμής.
- Εάν οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες σε σειρά σε σχέση τον προσανατολισμό της κύριας διεύθυνσης του ανέμου, τότε η μεταξύ τους απόσταση είναι  $L=2,5D$ , όπου  $D$  διάμετρος πτερωτής.



Εικόνα 3.2 : Χωροθέτηση μηχανών με διάταξη σε σειρά

- Τέλος, αν οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες κάθετα, η μεταξύ τους απόσταση είναι  $L=7-8*D$ , όπου  $D$  διάμετρος πτερωτής.





Εικόνα 3.3 : Χωροθέτηση μηχανών με διάταξη κάθετη

Για την τεκμηριωμένη επιλογή της θέσεως εγκατάστασης συνιστάται η χρήση πολυπαραμετρικής μεθόδου αξιολόγησης των υποψήφιων περιοχών, που θα πρέπει να συμπληρώνεται από την απαραίτητη ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων.

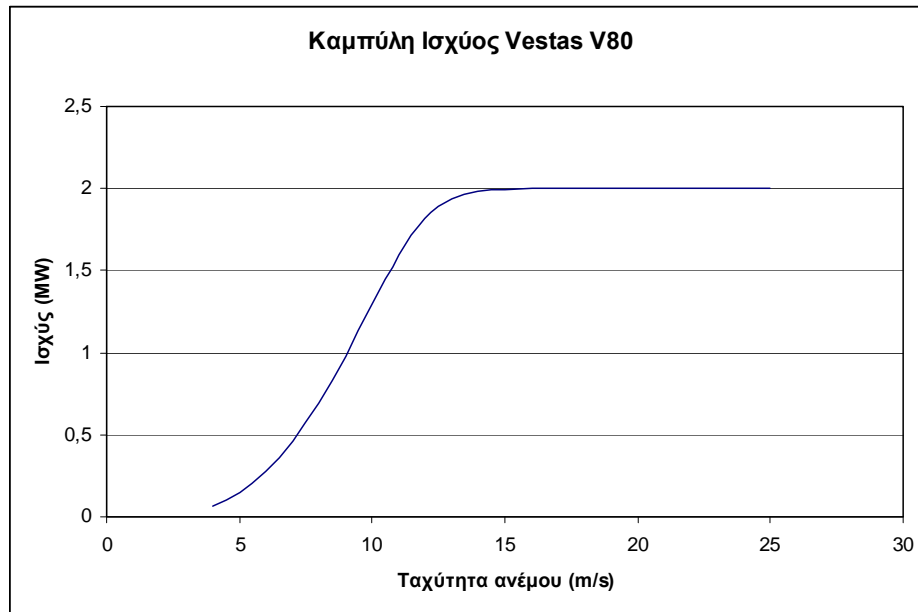
Μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τα χαρακτηριστικά της περιοχής της Ιεράπετρας, καταλήξαμε να χωροθετήσουμε στη θέση Καταλύματα πέντε (5) ανεμογεννήτριες Vestas V80 ισχύος 2000 KW (2 MW) έκαστη, οι οποίες συνηστούν Αιολικό Πάρκο συνολικής εγκατεστημένη ισχύος 10MW. Στον πίνακα που ακολουθεί υπάρχουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως το ύψος πλήμνης και διάμετρος πτερωτής της ανεμογεννήτριας που επιλέξαμε.

Εταιρία:	VESTAS	
Μοντέλο:	V80-2 MW	
Χαρακτηριστικά:	Ισχύς	2 MW
	Διάμετρος πτερωτής	80 m
	Επιφάνεια σάρωσης	5.027 m <sup>2</sup>
	Ταχύτητα περιστροφής	9 rpm – 19 rpm
	Αριθμός πτερυγίων	3
	Μήκος πτερυγίων	40 m
	Ύψος πλήμνης	80 m

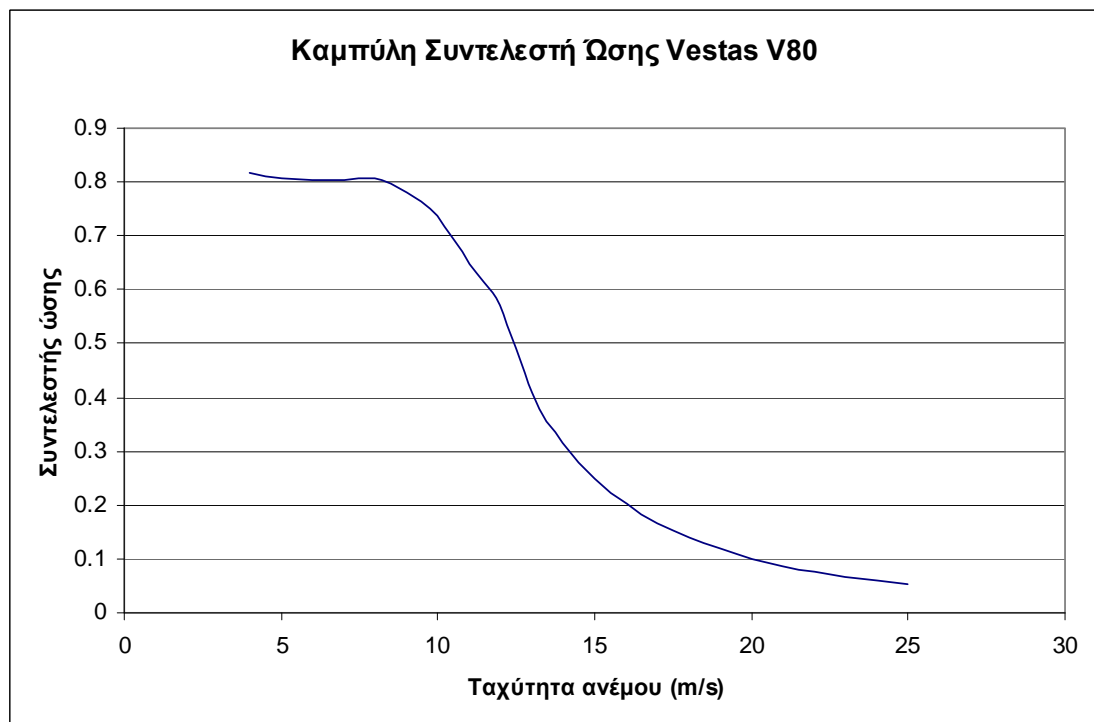
**Πίνακας 3.4: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Α/Γ Vestas V80.**

Στις εικόνες που ακολουθούν υπάρχουν η καμπύλη ισχύος καθώς επίσης και η καμπύλη ώσης για την ανεμογεννήτρια που επιλέξαμε.





Εικόνα 3.4: Καμπύλη Ισχύος Α/Γ Vestas V80.



Εικόνα 3.5: Καμπύλη Συντελεστή Ώσης Α/Γ Vestas V80.



### **3.9 Η Ανάλυση Παραγωγής για το προτεινόμενο Αιολικό Πάρκο στη θέση Καταλύματα**

Παρακάτω βλέπουμε τα αποτελέσματα μετά από την ανάλυση παραγωγής για το Αιολικό Πάρκο στην θέση Καταλύματα.

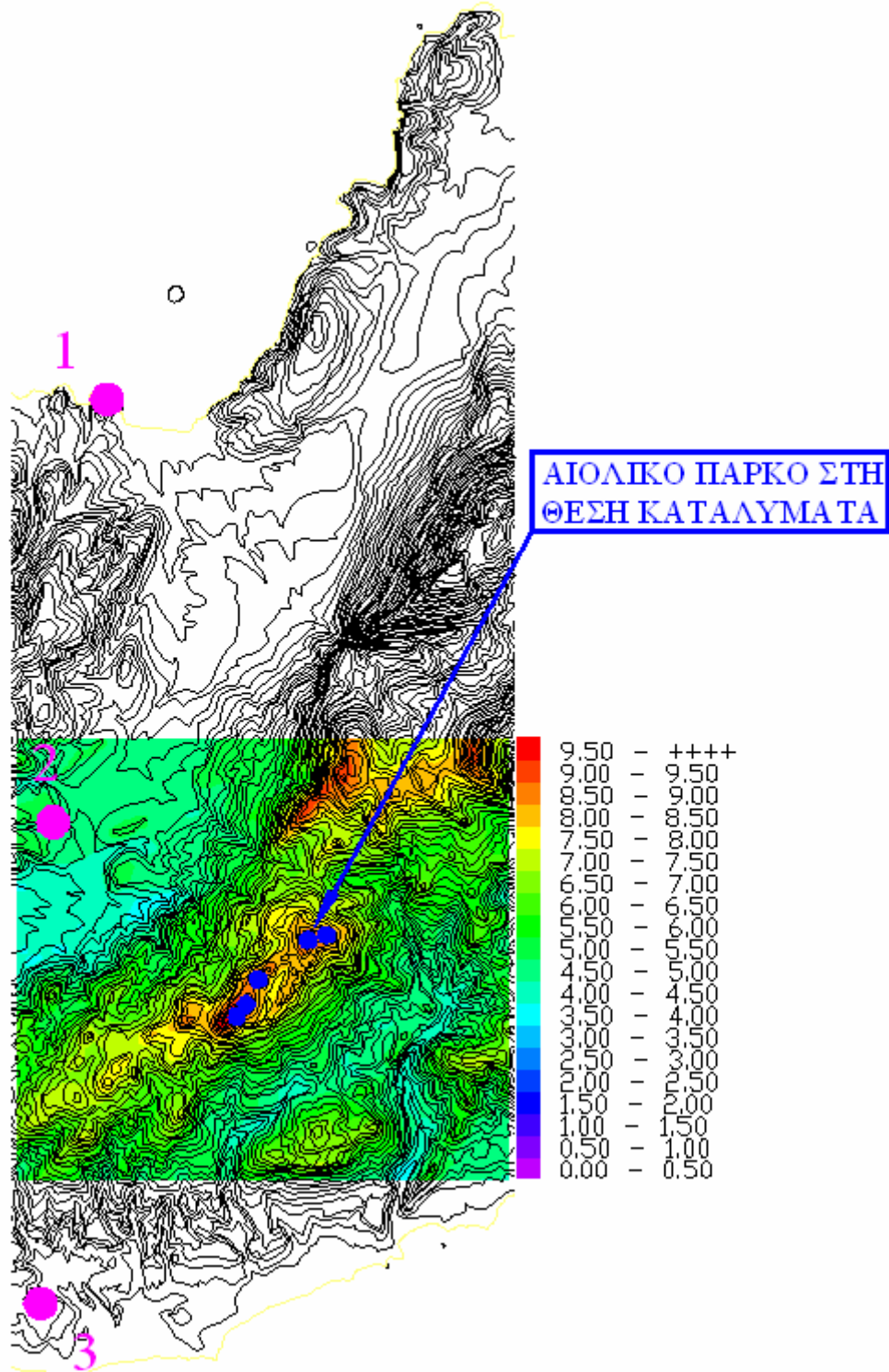
Παράμετροι	Σύνολο	Μέσος Όρος	Ελάχιστο	Μέγιστο
Ετήσια παραγωγή διοχετευόμενης ενέργειας στο δίκτυο (GWh)	34.663	6.933	6.795	7.009
Ετήσια συνολική παραγωγή ενέργειας (GWh)	34.953	6.991	6.824	7.064
Απώλειες [%]	0.83	-	-	-

*Πίνακας 3.5: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την ανάλυση παραγωγής για το Αιολικό Πάρκο στη θέση Καταλύματα.*

Η αναλυτική αναφορά υπολογισμών από το Wasp παρατίθεται στο παράρτημα 2.

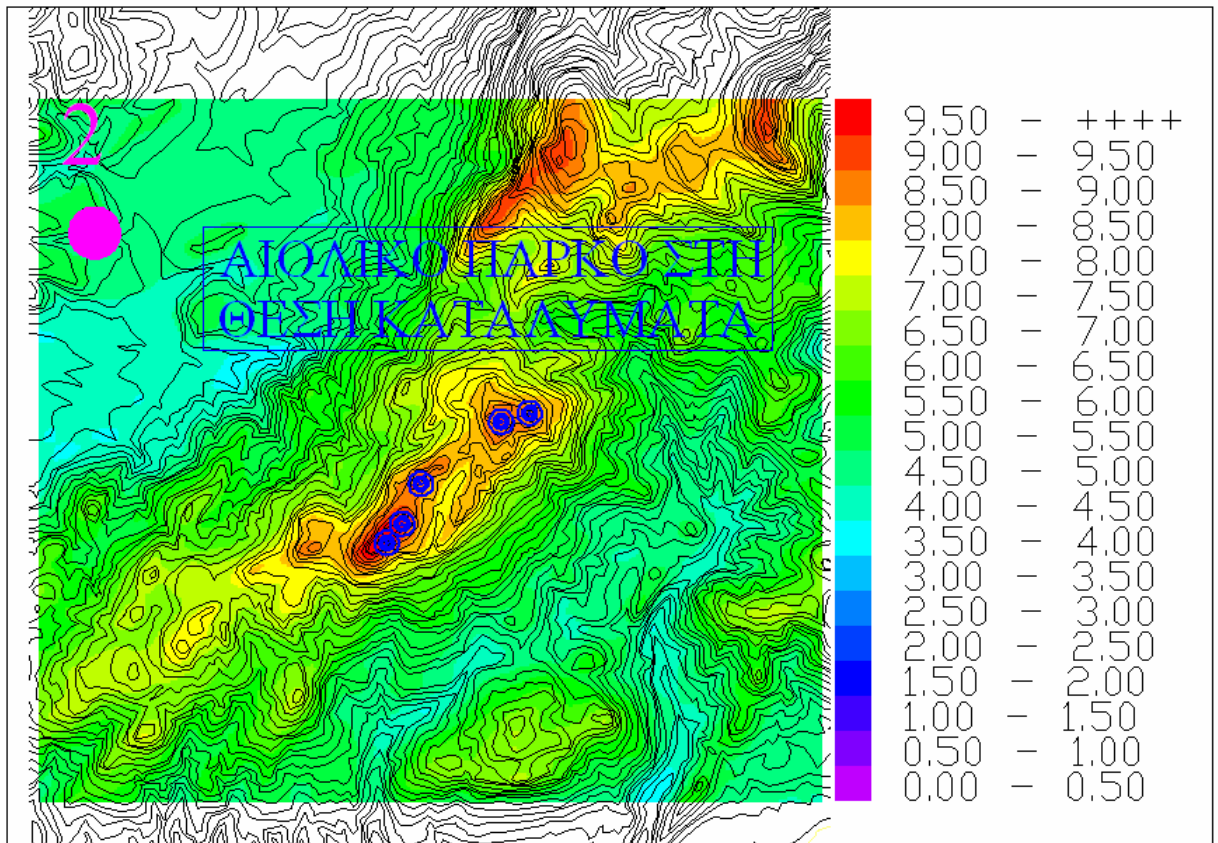
Στον παρακάτω ψηφιοποιημένο χάρτη της περιοχής της Ιεράπετρας φαίνονται οι θέσεις των ανεμογράφων, η ανάλυση του αιολικού δυναμικού της περιοχής, και οι προτεινόμενες θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν.





*Εικόνα 3.6: Ψηφιοποιημένος χάρτης περιοχής Ιεράπετρας. Σημείο (1): Ανεμογράφος Παχιάς Άμμου, σημείο (2): Ανεμογράφος Επισκοπής, σημείο (3): Ανεμογράφος Ιεράπετρας.*

Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει τον Αιολικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής του Αιολικού Πάρκου μαζί με την χρωματική κλίμακα όπως αυτός συντάχθηκε με χρήση του προγράμματος WAsP και για ανεμολογικά δεδομένα από ανεμογράφο που είναι εγκατεστημένος στην περιοχή της Ιεράπετρας του οποίου η ακριβής θέση έχει περιγραφεί παραπάνω.



*Εικόνα 3.7: Ο Αιολικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Αιολικού Πάρκου.*





Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η ευρύτερη περιοχή με τις θέσεις εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης και του Αιολικού Πάρκου καθώς και η οδευση του αγωγού.



*Εικόνα 3.8: Χάρτης ευρύτερης περιοχής με τις θέσεις εγκατάστασης.*

## 4 ΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Ο υπολογισμός των οικονομικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε με βάση στατιστικά δεδομένα από άλλες παρόμοιες εγκαταστάσεις, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο ρεαλιστικά και να έχουμε μια καλύτερη εικόνα για την βιωσιμότητα των επενδύσεων.

### 4.1 Η μονάδα Αφαλάτωσης

Προσεγγιστικά, θεωρούμε ότι το κόστος κατασκευής και λειτουργίας συμπεριλαμβανομένων και των έργων υποδομής μίας μονάδας αφαλάτωσης, ανέρχεται στα 1000€/m<sup>3</sup>/d).

Επομένως, το συνολικό κόστος της μονάδας αφαλάτωσης της παρούσας εργασίας είναι 1000€/m<sup>3</sup>/d \* 30000 m<sup>3</sup>/d = 30x10<sup>6</sup> €

### 4.2 Το Αιολικό Πάρκο

Προσεγγιστικά, θεωρούμε ότι το κόστος κατασκευής και λειτουργίας συμπεριλαμβανομένων και των έργων υποδομής ενός Αιολικού Πάρκου, ανέρχεται στα 1600€ / KW.

Επομένως, το συνολικό κόστος του Αιολικού Πάρκου της παρούσας εργασίας είναι 1600€ / KW \* 10000 KW = 16x10<sup>6</sup> €

### 4.3 Οι σωληνώσεις

Προσεγγιστικά, θεωρούμε ότι το ειδικό κόστος των χαλύβδινων σωληνώσεων ανέρχεται στα 0,8 €/Kg. Ο όγκος του υλικού που χρησιμοποιείται για τους αγωγούς δίνεται από τον τύπο:

$$V = \left( \frac{\pi \cdot (D + 2\omega)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot L$$

Εφαρμόζοντας τον τύπο αυτόν για τους αγωγούς προκύπτει ότι ο όγκος υλικού που θα χρησιμοποιηθεί είναι V = 850 m<sup>3</sup>. Γνωρίζοντας την πυκνότητα του χάλυβα ρ = 6000 Kg/ m<sup>3</sup>, υπολογίζουμε την απαιτούμενη μάζα: M = ρ · V = 850Kg .



Οπότε, το κόστος των σωληνώσεων είναι: Ειδικό κόστος x Μάζα υλικού. Δηλαδή ανέρχεται στα 4.080.000 €.

#### **4.4 Οι αντλίες**

Προσεγγιστικά, θεωρούμε ότι το ειδικό κόστος των αντλιών είναι 600 €/KW. Επομένως, το κόστος των αντλιών της παρούσας εργασίας είναι:  $600\text{€/KW} * 1170\text{KW} = 702.000\text{€}$

#### **4.5 Η γη**

Στα κόστη πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και το κόστος της γης, δηλαδή της έκτασης που θα καταλαμβάνουν οι αγωγοί. Οι τρεις αγωγοί που θα εκτίνονται από την μονάδα της αφαλάτωσης μέχρι τη θάλασσα καταλαμβάνουν επιφάνεια ίση με 4m πλάτος x 2000m μήκος = 8.000 m<sup>2</sup>. Ο αγωγός μεταφοράς του νερού άρδευσης καταλαμβάνει επιφάνεια ίση με 1m πλάτος x 250m μήκος = 250 m<sup>2</sup>. Επομένως, η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνουν οι αγωγοί είναι 8.250 m<sup>2</sup>.

Το κόστος αυτό δεν μπορούμε να το υπολογίσουμε γιατί τα στοιχεία που έχουμε στη διάθεσή μας δεν είναι επαρκή.

#### **4.6 Το συνολικό κόστος του έργου**

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το συνολικό κόστος του έργου (Σ.Κ.) είναι το άθροισμα του κόστους της μονάδας αφαλάτωσης (Κ.Μ.Α.), του κόστους του Αιολικού Πάρκου (Κ.Α.Π.), του κόστους των σωληνώσεων (Κ.Σ.) και του κόστους των αντλιών (Κ.Α.). Δηλαδή:

$$\text{Σ.Κ.} = \text{Κ.Μ.Α} + \text{Κ.Α.Π.} + \text{Κ.Σ.} + \text{Κ.Α.} = (30+16+4,08+0,702)*10^6\text{€} = 50,782*10^6\text{€}.$$

#### **4.7 Η τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού**

Η αναμενόμενη τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού άρδευσης προέκυψε βάσει στοιχείων άλλων αντίστοιχων εγκαταστάσεων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία της μονάδας αφαλάτωσης που βρίσκεται στην Δεκέλεια της Κύπρου.



Αναλυτικά για την μονάδα αφαλάτωσης στη Δεκέλεια ισχύει: Η τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού είναι 0,6 €/m<sup>3</sup>. Από αυτά τα 0,3 €/m<sup>3</sup> είναι κόστος του νερού λόγω λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης και τα υπόλοιπα 0,3 €/m<sup>3</sup> είναι κόστος ηλεκτρικής ενέργειας αφού η τιμή της KWh στην Κύπρο ανέρχεται στα 0,1€.

Στην εγκατάσταση που μελετάται στην παρούσα εργασία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από το Αιολικό Πάρκο. Μετά την πραγματοποίηση της οικονομοτεχνικής μελέτης (παράρτημα 3) του Αιολικού Πάρκου προέκυψε ότι το ειδικό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στα 0,052 €/KWh. Γνωρίζοντας ότι για την παραγωγή 1 m<sup>3</sup> νερού απαιτούνται 3 KWh, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0,156€/m<sup>3</sup>.

Η τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού άρδευσης προκύπτει από το άθροισμα του κόστους του νερού λόγω λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης και του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και διαμορφώνεται στην τιμή των 0,456 €/m<sup>3</sup>. Η τιμή αυτή είναι προσεγγιστική και υπερτιμημένη γιατί η μονάδα αφαλάτωσης της Δεκέλειας παράγει πόσιμο νερό που απαιτεί μεγαλύτερη προκατεργασία και μετεπεξεργασία, διεργασίες που αυξάνουν το κόστος του νερού λόγω λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης. Συνοψίζοντας, τα κόστη του μελετώμενου έργου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

<b>Μονάδα Αφαλάτωσης:</b>	<b>30.000.000</b>
<b>Αιολικό Πάρκο:</b>	<b>16.000.000</b>
<b>Σωληνώσεις:</b>	<b>4.080.000</b>
<b>Αντλίες:</b>	<b>702.000</b>
<b>Γη:</b>	<b>-</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ:</b>	<b>50.782.000</b>
<b>Τιμή πώλησης νερού:</b>	<b>&lt;0,456€/m<sup>3</sup></b>
<i>Πίνακας 4.1: Το έργο με αριθμούς</i>	



## Σ Υ Μ Π Ε Ρ Α Σ Μ Α Τ Α

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό την μελέτη σκοπιμότητας ανάπτυξης μίας μονάδας αφαλάτωσης με Αιολική Ενέργεια.

Τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της εργασίας επιβεβαιώνουν την σκοπιμότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στις μονάδες αφαλάτωσης.

Η αναμενόμενη τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού είναι χαμηλότερη των 0,456 €/m<sup>3</sup> και αναμένεται να μειωθεί ακόμα περισσότερο με την πάροδο του χρόνου λόγω της βελτιστοποίησης των μεθόδων αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται ήδη και της ανάπτυξης νέων. Η τιμή αυτή είναι αρκετά χαμηλή αλλά όχι η χαμηλότερη. Το μειονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται πρώτον από το ότι η καταναλισκόμενη ενέργεια από την μονάδα αφαλάτωσης παράγεται εξ' ολοκλήρου από Αιολικό Πάρκο και δεύτερον από το ότι τα αποθέματα νερού δεν εξαρτώνται πλέον από το ύψος βροχόπτωσης αλλά είναι άφθονα λόγω της μονάδας αφαλάτωσης και του θαλασσινού νερού.

Επίσης από τέτοιου είδους έργα δημιουργούνται νέοι οικονομικοί πόροι και νέες θέσεις εργασίας για την τοπική κοινωνία βελτιώνοντας την οικονομική ανάπτυξη του τόπου.



---

Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Τ Α

1.

**ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ WEIBULL ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΘΕΣΗ «ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΑ»**

2.

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΣΤΗ ΘΕΣΗ «ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΑ» ΑΠΟ WAsP**

3.

**ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗ ΘΕΣΗ «ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΑ»**

4.

**Α) ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ**

**Β) ΧΑΡΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΑ 80μ. α.σ.ε.**



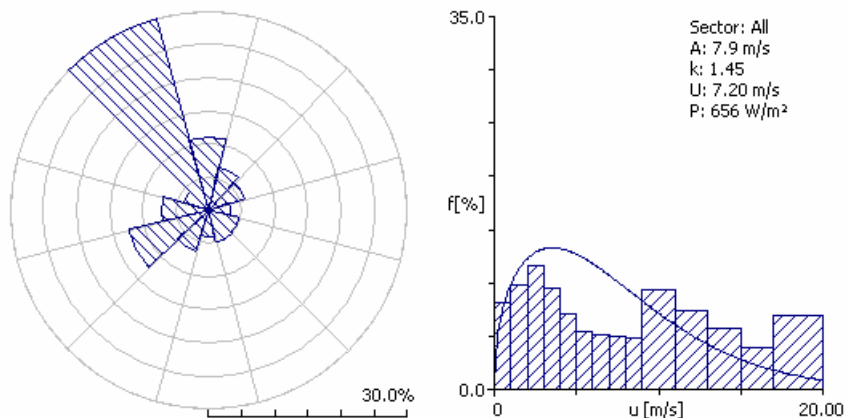
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1**

**ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΡΟΛΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ  
ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ WEIBULL ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΘΕΣΗ  
«ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΑ»**





### Ανεμογράφος Ιεράπετρας



60m α.σ.θ., 30m α.σ.ε.

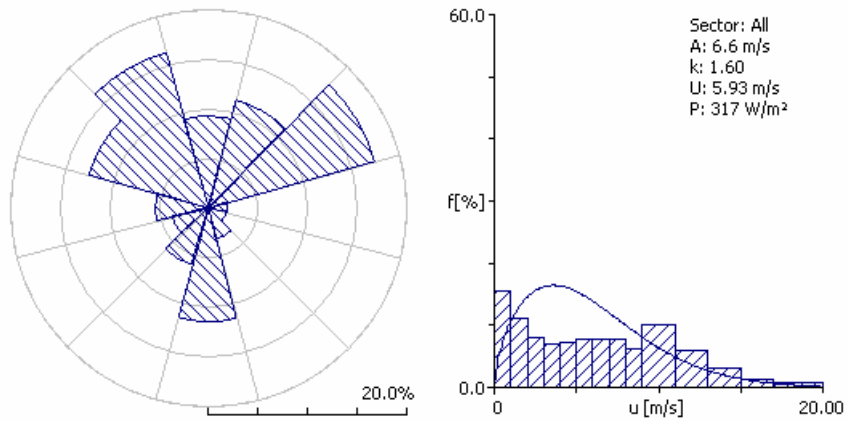
### Περιοχή Καταλύματα

Site	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m <sup>2</sup> ]	RIX [%]
S1	15,3	1,3	14,18	6001	28,4
S2	14,3	1,26	13,34	5289	26,3
S3	14,1	1,24	13,16	5231	25,5
S4	14,7	1,23	13,76	6048	26,1
S5	15,3	1,24	14,28	6681	25,4

*Ροδόγραμμα και κατανομή Weibull για τη θέση Καταλύματα από την θέση Ιεράπετρα.*



**Ανεμογράφος Παχιάς Άμμου**



**60m α.σ.θ., 30m α.σ.ε.**

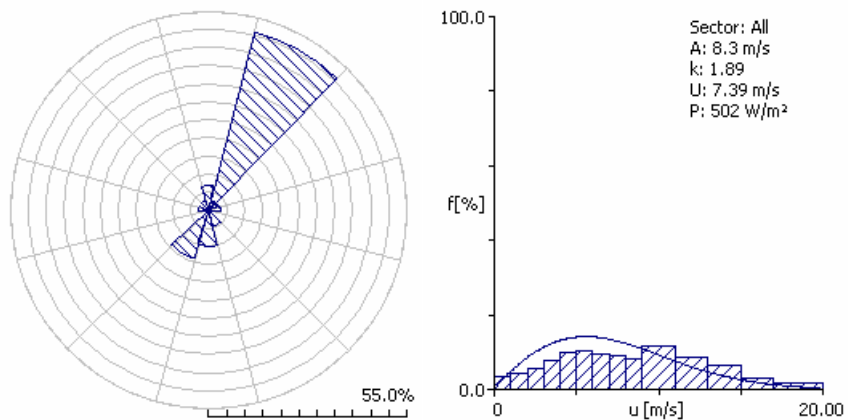
**Περιοχή Καταλύματα**

Site	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m <sup>2</sup> ]	RIX [%]
S1	11,5	1,58	10,31	1695	28,4
S2	10,3	1,54	9,25	1273	26,3
S3	9,9	1,5	8,91	1180	25,5
S4	10,2	1,49	9,25	1336	26,1
S5	10,7	1,5	9,68	1513	25,4

*Ροδόγραμμα και κατανομή Weibull για τη θέση Καταλύματα από την θέση Παχιά Άμμος.*



**Ανεμογράφος Επισκοπής**



**60m α.σ.θ., 30m α.σ.ε.**

**Περιοχή Καταλύματα**

Site	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m <sup>2</sup> ]	RIX [%]
S1	17,1	1,63	15,26	5248	28,4
S2	15,1	1,5	13,6	4197	26,3
S3	14,4	1,43	13,09	4010	25,5
S4	14,9	1,42	13,58	4560	26,1
S5	15,7	1,44	14,24	5138	25,4

*Ροδόγραμμα και κατανομή Weibull για τη θέση Καταλύματα από την θέση Επισκοπή.*



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2**

### **ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΑΠΟ WAsP**



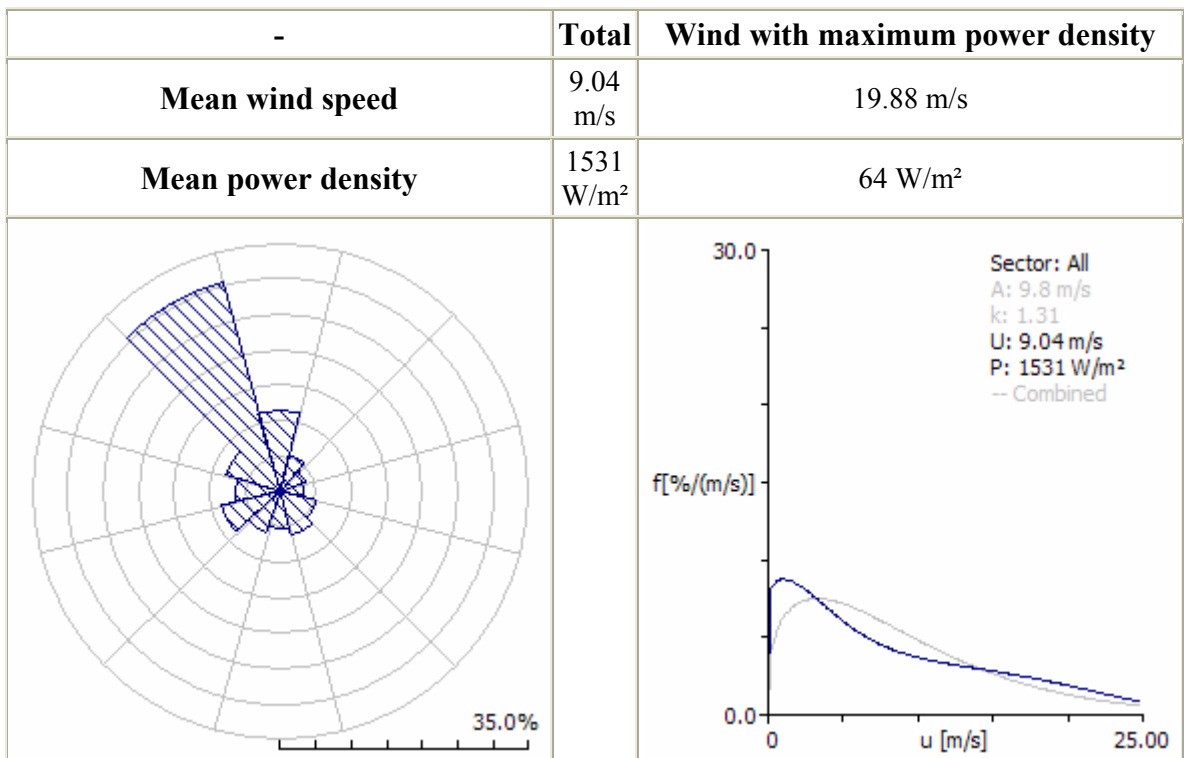
## 'S1' Turbine site

### Site information

#### Location in the map

The turbine is located at co-ordinates (666881,3879797). The site elevation is 800,0 m a.s.l.

#### The predicted wind climate at the turbine site



### Results

Site	Location [m]	Turbine	Height [m]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
S1	(666880.8,3879797.0)	Vestas V80 2MW Class I	80	6.981	1.04



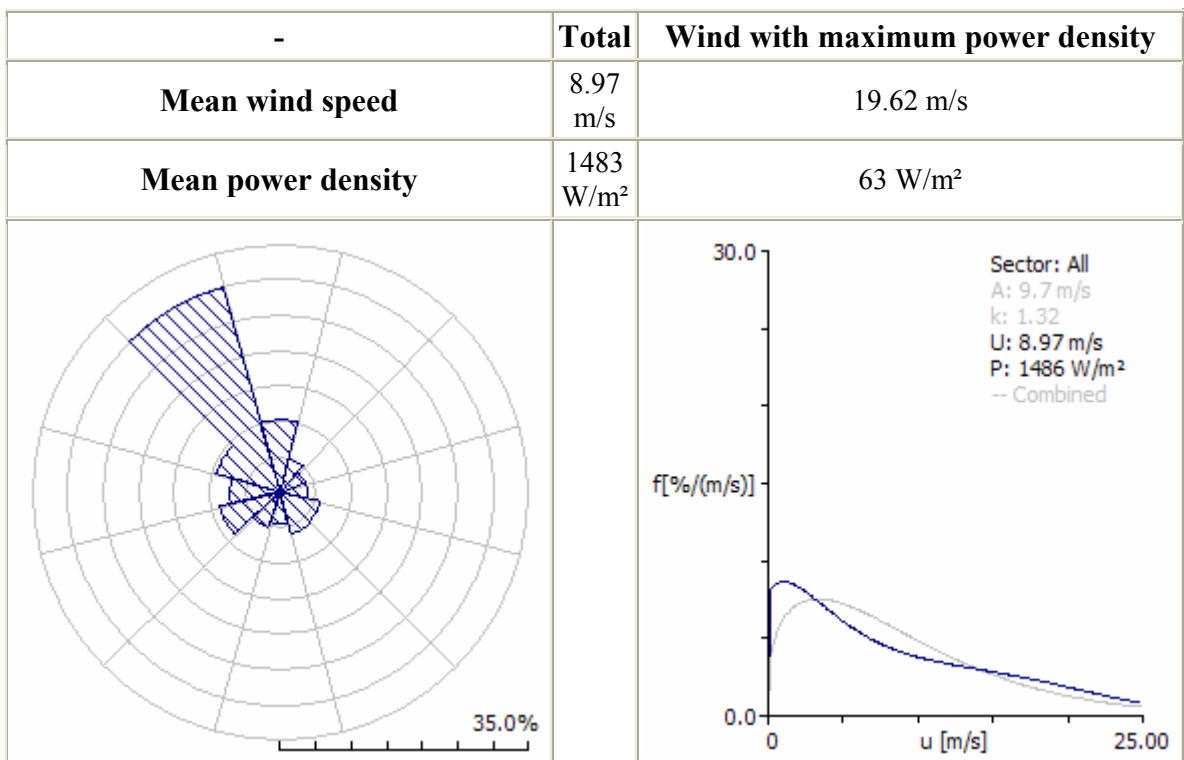
## 'S2' Turbine site

### Site information

#### Location in the map

The turbine is located at co-ordinates (666646,3879787). The site elevation is 800,0 m a.s.l.

### The predicted wind climate at the turbine site



### Results

Site	Location [m]	Turbine	Height [m]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
S2	(666646.4,3879787.0)	Vestas V80 2MW Class I	80	7.009	0.78



## 'S3' Turbine site

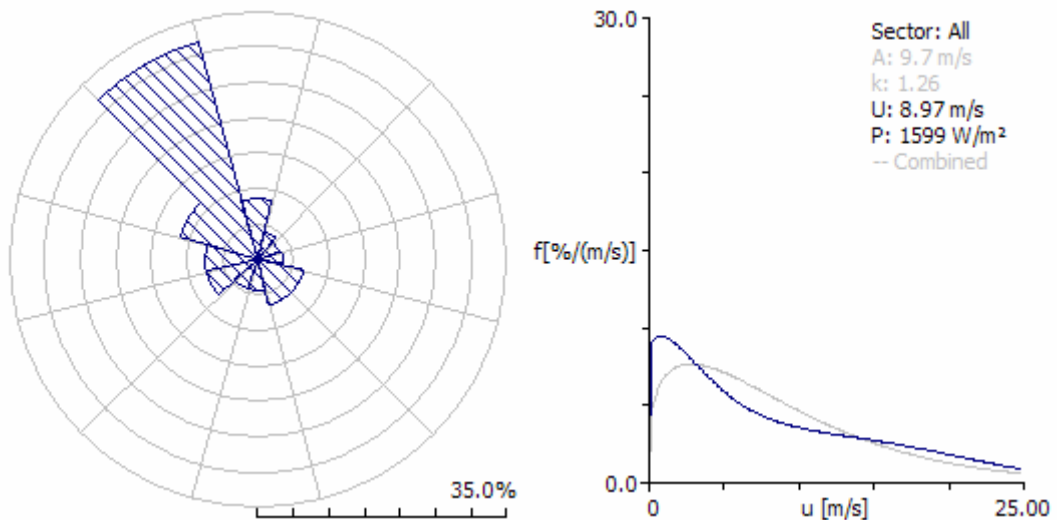
### Site information

#### Location in the map

The turbine is located at co-ordinates (665984,3879215). The site elevation is 736,0 m a.s.l.

#### The predicted wind climate at the turbine site

-	Total	Wind with maximum power density
Mean wind speed	8.97 m/s	20.45 m/s
Mean power density	1597 W/m <sup>2</sup>	63 W/m <sup>2</sup>



### Results

Site	Location [m]	Turbine	Height [m]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
S3	(665983.6,3879215.0)	Vestas V80 2MW Class I	80	6.795	0.42





## 'S4' Turbine site

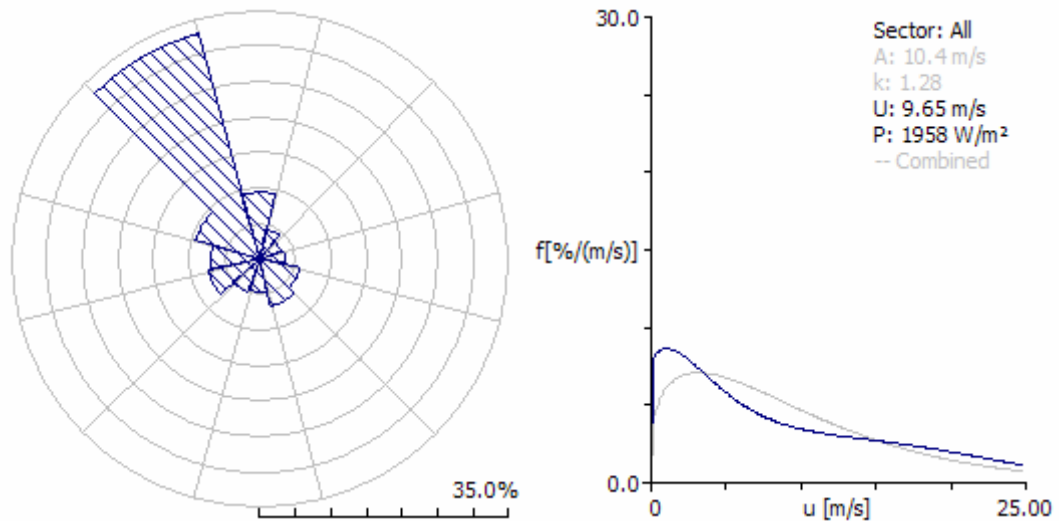
### Site information

#### Location in the map

The turbine is located at co-ordinates (665832,3878884). The site elevation is 763,0 m a.s.l.

#### The predicted wind climate at the turbine site

-	Total	Wind with maximum power density
<b>Mean wind speed</b>	9.65 m/s	21.81 m/s
<b>Mean power density</b>	1958 W/m <sup>2</sup>	73 W/m <sup>2</sup>



### Results

Site	Location [m]	Turbine	Height [m]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
S4	(665831.6,3878884.0)	Vestas V80 2MW Class I	80	6.910	1.22



## 'S5' Turbine site

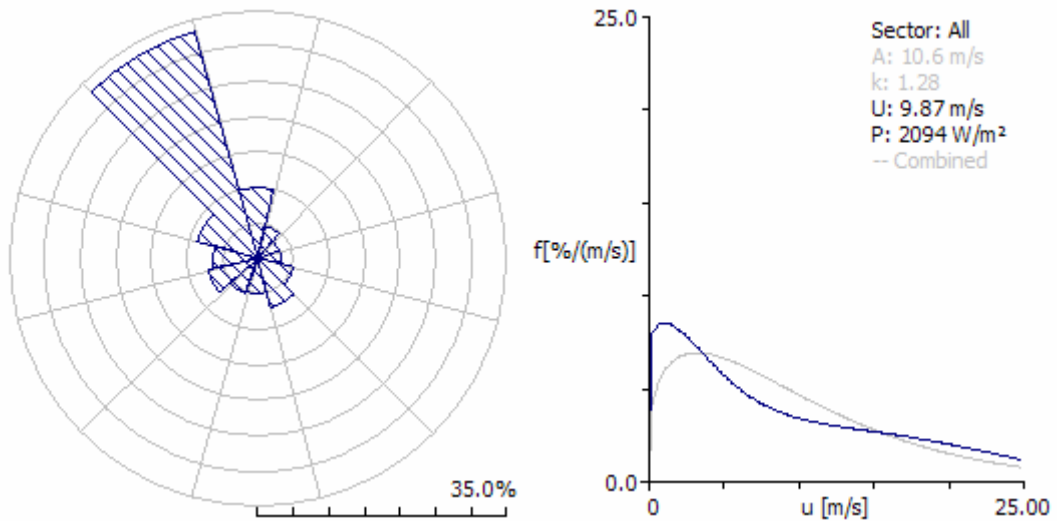
### Site information

#### Location in the map

The turbine is located at co-ordinates (665705,3878727). The site elevation is 757,0 m a.s.l.

### The predicted wind climate at the turbine site

-	Total	Wind with maximum power density
Mean wind speed	9.87 m/s	22.30 m/s
Mean power density	2093 W/m <sup>2</sup>	76 W/m <sup>2</sup>



### Results

Site	Location [m]	Turbine	Height [m]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
S5	(665705.4,3878727.0)	Vestas V80 2MW Class I	80	6.967	0.68



### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3**

## **ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗ ΘΕΣΗ «ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΑ»**



ΕΡΓΟ		
Περιοχή	Καταλύματα Ιεράπετρας Κρήτης	
Περιγραφή	VESTAS V80/ 2 MW	
Είδος Επένδυσης	Ανεξάρτητη παραγωγή	
Διάρκεια	20	Έτη
Συντελεστής Φορολογίας	35	%

Ανεμολογικά Δεδομένα		
Πηγή Δεδομένων:	Δεδομένα Wasp	
Ύψος από επιφ. Εδάφους	80	m
S1	(x=666880,8, ψ=3879797, z=800)	
Weibull C	9,80	m/s
Weibull k	1,31	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	9,04	m/s
S2	(x=666646,4, ψ=3879787, z=800)	
Weibull C	9,74	m/s
Weibull k	1,32	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	8,97	m/s
S3	(x=665983,6, ψ=3879215, z=736)	
Weibull C	9,65	m/s
Weibull k	1,26	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	8,97	m/s
S4	(x=665831,6, ψ= 3878884, z=763)	
Weibull C	10,41	m/s
Weibull k	1,28	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	9,65	m/s
S5	(x=665705,4, ψ=3878727, z= 757)	
Weibull C	10,64	m/s
Weibull k	1,28	-
Μέση Ταχύτητα ανέμου	9,87	m/s



<b>Παραγωγή Ενέργειας</b>					
<b>Ετος</b>	<b>Υπολ. Παραγωγή (Kwh)</b>	<b>Μηχανική Διαθ. (%)</b>	<b>Συντελεστής Διείσδυσης (%)</b>	<b>Απώλειες Μεταφοράς (%)</b>	<b>Παραγωγή (Kwh)</b>
1	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
2	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
3	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
4	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
5	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
6	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
7	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
8	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
9	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
10	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
11	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
12	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
13	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
14	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
15	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
16	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
17	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
18	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
19	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
20	31.402.150	95,00	90,00	4,59	25.616.476
<b>Σύνολο:</b>					<b>512.329.528</b>
<b>Απόδοση:</b>					<b>29,24%</b>



<b>Αρχικό Κόστος Αιολικού Πάρκου</b>		
Αγορά Α/Γ, πυλώνων κ.τ.λ.	16.000.000	€
<b>Σύνολο</b>	<b>16.000.000</b>	€
<b>Ειδικό Κόστος / KW</b>		
	<b>1.600</b>	€/KW

<b>Χρηματοδότηση</b>		
Ίδια κεφάλαια (25%)	4.000.000	€
Επιχορηγήσεις (35%)	5.600.000	€
Δανειακά κεφάλαια (40%)	6.400.000	€
<b>Σύνολο (100%)</b>	<b>16.000.000</b>	€



Έτος	Έσοδα από Πωλήσεις Ενέργειας (€)	Χρηματοροές		Κέρδη προ Αποσβ. Τόκων και Φόρων (€)	Τόκοι Δανείων (€)
		Συντήρηση (€)	Λειτουργικές Δαπάνες (Σύνολο) (€)		
1	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	352.000
2	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	324.661
3	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	295.818
4	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	265.389
5	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	233.287
6	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	199.418
7	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	163.687
8	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	125.991
9	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	86.221
10	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	44.265
11	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
12	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
13	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
14	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
15	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
16	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
17	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
18	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
19	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
20	2.239.392	250.000	250.000	1.989.392	
<b>Σύνολο</b>	<b>44.787.847</b>	<b>5.000.000</b>	<b>5.000.000</b>	<b>39.787.847</b>	<b>2.090.737</b>





<b>Χρηματοροές</b>				
<b>Έτος</b>	<b>Αποσβέσεις (€)</b>	<b>Φορολογητέο (€)</b>	<b>Φορολογία (€)</b>	<b>Πληρωμές Δανείων (€)</b>
1	1.040.000	597.392	209.087	849.074
2	1.040.000	624.731	218.656	849.074
3	1.040.000	653.574	228.751	849.074
4	1.040.000	684.003	239.401	849.074
5	1.040.000	716.106	250.637	849.074
6	1.040.000	749.974	262.491	849.074
7	1.040.000	785.705	274.997	849.074
8	1.040.000	823.401	288.191	849.074
9	1.040.000	863.171	302.110	849.074
10	1.040.000	905.128	316.795	849.074
11		1.989.392	696.287	
12		1.989.392	696.287	
13		1.989.392	696.287	
14		1.989.392	696.287	
15		1.989.392	696.287	
16		1.989.392	696.287	
17		1.989.392	696.287	
18		1.989.392	696.287	
19		1.989.392	696.287	
20		1.989.392	696.287	
<b>Σύνολο</b>	<b>10.400.000</b>	<b>27.297.110</b>	<b>9.553.989</b>	<b>8.490.737</b>



Έτος	Χρηματοροές			Παρούσα Αξία (€)	
	Σύνολο (€)	Εισροής	Καθαρή Χρηματική Ροή (€)		Κ.Χ.Ρ (Αθροιστική) (€)
1		931.231	931.231	931.231	862.251
2		921.663	921.663	1.852.894	790.177
3		911.568	911.568	2.764.462	723.632
4		900.918	900.918	3.665.379	662.201
5		889.682	889.682	4.555.061	605.502
6		877.828	877.828	5.432.889	553.180
7		865.322	865.322	6.298.210	504.907
8		852.128	852.128	7.150.339	460.378
9		838.209	838.209	7.988.547	419.313
10		823.524	823.524	8.812.071	381.451
11		1.293.105	1.293.105	10.105.176	554.591
12		1.293.105	1.293.105	11.398.281	513.510
13		1.293.105	1.293.105	12.691.386	475.472
14		1.293.105	1.293.105	13.984.491	440.252
15		1.293.105	1.293.105	15.277.596	407.641
16		1.293.105	1.293.105	16.570.701	377.445
17		1.293.105	1.293.105	17.863.806	349.486
18		1.293.105	1.293.105	19.156.912	323.598
19		1.293.105	1.293.105	20.450.017	299.628
20		1.293.105	1.293.105	21.743.122	277.433
<b>Σύνολο</b>		<b>21.743.122</b>	<b>21.743.122</b>		<b>9.982.049</b>



<b>Χρηματοροές</b>	
<b>Έτος</b>	<b>Παρούσα Αξία (Αθροιστική) (€)</b>
1	862.251
2	1.652.428
3	2.376.060
4	3.038.262
5	3.643.764
6	4.196.944
7	4.701.851
8	5.162.230
9	5.581.543
10	5.962.994
11	6.517.584
12	7.031.094
13	7.506.566
14	7.946.818
15	8.354.458
16	8.731.904
17	9.081.390
18	9.404.988
19	9.704.616
20	9.982.049
<b>Σύνολο</b>	

<b>Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης</b>
--

Καθαρή Παρούσα Αξία (8%):	<b>5.982.049</b>	€
Χρόνος Αποπληρωμής:	<b>4,376</b>	Έτη
Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής:	<b>5,644</b>	Έτη
Εσωτερικός Ρυθμός Απόδοσης:	<b>23,223</b>	%
Ειδικό Κόστος Παραγωγής:	<b>0,05203</b>	€/MW



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4**

- Α) ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΙΟΛΙΚΟΥ  
ΠΑΡΚΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ**
- Β) ΧΑΡΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ  
ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΑ 80μ. α.σ.ε.**



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σταμάτης Α. Αυλωνίτης, «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ», Εκδόσεις ΙΩΝ, 2006.
2. Αλέξανδρος Αλεξάκης, «ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ», Εκδόσεις Σιδέρη Μιχάλη, 2003.
3. Cliff Morel, «BASIC PRINCIPLES OF WATER TREATMENT», Tall oak publishing inc., 1996.
4. M. Hammer, «WATER AND WASTEWATER TECHNOLOGY», Prentice hall, 1996
5. Δρ. Γεώργιος Σ. Σταυρακάκης, Τριανταφυλλιά Γ. Νικολάου, «ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΗΡΥ 416)».
6. Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης, «ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ», Αθήνα 1995.
7. 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.
8. Ευγενίδιο Ίδρυμα, «ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΠΗΓΕΣ–ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ–ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ», Αθήνα 1996.
9. Γ. Μπεργελές, «ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ», Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ, 1994.
10. Ιωάννης Κλεάνθης Καλδέλλης, «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ», Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 1999.
11. Donald R. Pitts, Leighton E. Sissom, «SCHAUM'S OUTLINE OF THEORY AND PROBLEMS OF HEAT TRANSFER», Μετάφραση Κυριάκος Πανόπουλος, Εκδόσεις Τζιόλα, 2001.
12. Ib Troen, Erik Lundtang Petersen, «EUROPEAN WIND ATLAS», published by Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark.
13. Erik Lundtang Petersen, Lars Landberg, Niels G. Mortensen, «EUROPEAN WIND ATLAS, Measurements and Modelling in Complex Terrain», published by Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark.
14. Χρ. Χαλδούπης, «ΕΡΕΥΝΑ – ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΚΡΗΤΗΣ», Ηράκλειο, Μάιος 1993



15. Ιωάννης Μαυρουδής, «ΑΝΤΑΙΕΣ ΚΑΙ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ», Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2000.
16. Γραφείο Διασύνδεσης του ΤΕΙ Κρήτης: [www.liaison.teiher.gr](http://www.liaison.teiher.gr)
17. Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας & Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων: [www.wel.gr](http://www.wel.gr)
18. Υπουργείο Ανάπτυξης: [www.ypan.gr](http://www.ypan.gr)
19. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.): [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
20. <http://urila.tripod.com>
21. [www.desline.com](http://www.desline.com)
22. [www.energy-recovery.com](http://www.energy-recovery.com)
23. Άνοδος α.ε.: [www.anodosae.com](http://www.anodosae.com)
24. Aqua-pure: [www.aquapure.gr](http://www.aquapure.gr)
25. Ro-man: [www.ro-man.gr](http://www.ro-man.gr)
26. Smart Technical Solutions: [www.sts.gr](http://www.sts.gr)
27. SPS-Hellas: [www.spshellas.gr](http://www.spshellas.gr)
28. Sychem α.ε.: [www.sychem.gr](http://www.sychem.gr)
29. Universal Aqua-plus: [www.aquaplus.gr](http://www.aquaplus.gr)
30. Vector: [www.windfarm.gr](http://www.windfarm.gr)
31. Ν. Σαπουντζής α.ε.: [www.grohe.gr](http://www.grohe.gr)
32. Οικολογική α.ε.: [www.ecologiki.gr](http://www.ecologiki.gr)
33. ΤΕΜΑΚ: [www.temak.gr](http://www.temak.gr)
34. ΥΔΡΟΘΕΡΜ: [www.hydrotherm.gr](http://www.hydrotherm.gr)
35. Χαραλαμπίδης: [www.water-filters.gr](http://www.water-filters.gr)
36. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.): [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
37. Βικιπαίδεια, Ηλεκτρονική Εγκυκλοπαίδεια: <http://en.wikipedia.org>
38. Vestas: [www.vestas.com](http://www.vestas.com)
39. [www.membranes.com](http://www.membranes.com)
40. [www.Filmtec.com](http://www.Filmtec.com)
41. [www.Osmonics.com](http://www.Osmonics.com)

