



98

**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ**  
**ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**“ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ  
ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ  
ΣΤΗ ΝΗΣΙΩΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ ”**

**Επιβλέπων Καθηγητής:**  
**Σπουδαστής:**

Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος  
Χριστοφής Γεώργιος      ΑΜ: 31786

**Αιγάλεω**

**Σεπτέμβριος - 2011**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της παρούσας εργασίας μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Ψωμόπουλο Κωνσταντίνο για την στήριξη, τη βοήθεια, τις γνώσεις και τις συμβουλές που μου έδωσε προκειμένου να υλοποιηθεί η πτυχιακή μου. Επίσης ευχαριστώ τον καθηγητή κύριο Τσιώλη Σπυρίδων για την βοήθεια που μου παρείχε με σημειώσεις από το μάθημα Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον φίλο και πρώην συνεργάτη μου στην εταιρία Photovoltaic, Παπαδόπουλο Σπύρο για την πολύτιμη βοήθεια του στην επιλογή των υλικών για τον φωτοβολταϊκό σταθμό καθώς και την άμεση ανταπόκριση του στα αιτήματά μου για επιπλέον πληροφορίες για τα υλικά που χρησιμοποίησα στη μελέτη μου. Πολύτιμη ήταν και η βοήθεια που έλαβα από τον κύριο Λάμπρου Βασίλειο από την εταιρία Photovoltaic με τις τεχνικές πληροφορίες που μου έδωσε σχετικά με τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ευχαριστώ τον κύριο Βλαχόπουλο από την εταιρία ΤΕΜΑΚ για τις πληροφορίες που μου έδωσε σχετικά με τις μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης.

Επίσης θερμές ευχαριστίες στην κυρία Ευτυχία Τζεν από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετάσχω στο πρόγραμμα σεμιναρίων ProDes project καθώς και για όλες τις πληροφορίες και τις κατευθύνσεις που έλαβα σε θέματα που αφορούν τον συνδυασμό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με τις διάφορες τεχνολογίες αφαλάτωσης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου, τ'αδέρφια μου και την αρραβωνιαστικιά μου για την υπομονή και τη ηθική υποστήριξη που μου έδειξαν όλο αυτό τον καιρό.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>Ευχαριστίες.....</u>	<u>i</u>
<u>Περιεχόμενα.....</u>	<u>ii</u>
<u>Λίστα σχημάτων.....</u>	<u>iv</u>
<u>Λίστα πινάκων.....</u>	<u>v</u>
<u>Περίληψη.....</u>	<u>vi</u>
<u>Summary.....</u>	<u>vii</u>
<u>Πρόλογος.....</u>	<u>viii</u>

## 1ο Κεφάλαιο

<u>“Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ ”.....</u>	<u>1</u>
<u>1.1 Εισαγωγή.....</u>	<u>1</u>
<u>1.2 Η κατάσταση στο διεθνώς.....</u>	<u>2</u>
<u>1.3 Η κατάσταση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα και ειδικά στις Α- ΝΑ νησιωτικές περιοχές.....</u>	<u>6</u>

## 2ο Κεφάλαιο

<u>“ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ”.....</u>	<u>10</u>
<u>2.1 Η ιστορία της αφαλάτωσης.....</u>	<u>10</u>
<u>2.2 Εφαρμοσμένες τεχνολογίες αφαλάτωσης.....</u>	<u>12</u>
<u>2.2.1 Αφαλάτωση με εξάτμιση-απόσταξη (Θερμικές διεργασίες).....</u>	<u>13</u>
<u>2.2.1.1 Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flushing, MSF).....</u>	<u>14</u>
<u>2.2.1.2 Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED).....</u>	<u>15</u>
<u>2.2.1.3 Εξάτμιση με Επανασυμπίεση Ατμών (Vapour Compression, VC).....</u>	<u>17</u>
<u>2.2.1.3.1 Θερμική συμπίεση ατμού [TVC].....</u>	<u>17</u>
<u>2.2.1.3.2 Μηχανική συμπίεση ατμού [MVC].....</u>	<u>18</u>
<u>2.2.1.4 Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation).....</u>	<u>19</u>
<u>2.2.2 Αφαλάτωση με μεμβράνες.....</u>	<u>20</u>
<u>2.2.2.1 Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis, RO).....</u>	<u>21</u>
<u>2.2.2.2 Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED).....</u>	<u>25</u>

## 3ο Κεφάλαιο

<u>“Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ- ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ”.....</u>	<u>27</u>
<u>3.1 Χρήση της ηλιακής ενέργειας σε θερμικές τεχνολογίες αφαλάτωσης.....</u>	<u>28</u>
<u>3.2 Χρήση της ηλιακής ενέργειας σε τεχνολογίες αφαλάτωσης με μεμβράνες.....</u>	<u>30</u>
<u>3.3 Χρήση της αιολικής ενέργειας σε τεχνολογίες αφαλάτωσης.....</u>	<u>31</u>
<u>3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας.....</u>	<u>31</u>



## 4ο Κεφάλαιο

<b>“ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ-ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ”</b> .....	<b>33</b>
4.1 Μεθοδολογία υπολογισμού και διαστασιολόγησης μονάδων αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ	
4.2 Κριτήρια επιλογής και παράμετροι των χώρων του συστήματος.....	33
4.2.1 <u>Παράμετροι μονάδας αφαλάτωσης</u> .....	33
4.2.2 <u>Παράμετροι μονάδας ΑΠΕ</u> .....	34
4.2.3 <u>Σύνοψη παραμέτρων</u> .....	35

## 5ο Κεφάλαιο

<b>“ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ”</b> .....	<b>36</b>
5.1 Υπολογισμός μονάδας αφαλάτωσης .....	36
5.2 Υπολογισμός του Φ/Β σταθμού .....	37
5.2.1 <u>Θεωρητική προσέγγιση</u> .....	37
5.2.2 <u>Τεχνική μελέτη Φ/Β σταθμού</u> .....	40
5.3 Υπολογισμός πινάκων τροφοδοσίας και διανομής.....	51
5.3.1 Πίνακας εναλλασσομένου ρεύματος (AC).....	51
5.3.2 Πίνακας συνεχούς ρεύματος (DC).....	54
<b>Συμπεράσματα</b> .....	<b>57</b>
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>59</b>
<b>Παράρτημα 1 Αντλία τροφοδοσίας μονάδας CRT 2-2</b> .....	<b>60</b>
<b>Παράρτημα 2 Φωτοβολταϊκές γεννήτριες SW 235</b> .....	<b>63</b>
<b>Παράρτημα 3 Συσσωρευτές OPzs2000</b> .....	<b>65</b>
<b>Παράρτημα 4 Ρυθμιστής φόρτισης FM80</b> .....	<b>68</b>
<b>Παράρτημα 2 Αντιστροφέας ισχύος ΗΤΗ 6000-48</b> .....	<b>70</b>



## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<u>Σχήμα 1.1</u>	<u>Απεικόνιση του κινδύνου λειψυδρίας σε παγκόσμιο επίπεδο .....</u>	<u>2</u>
<u>Σχήμα 1.2</u>	<u>Κατανομή χρήσης νερού σε χώρες με χαμηλά και μεσαία εισοδήματα.....</u>	<u>4</u>
<u>Σχήμα 1.3</u>	<u>Κατανομή χρήσης νερού σε χώρες με υψηλά εισοδήματα.....</u>	<u>4</u>
<u>Σχήμα 1.4</u>	<u>Παγκόσμια κατανομή χρήσης νερού ανά δραστηριότητα .....</u>	<u>5</u>
<u>Σχήμα 1.5</u>	<u>Μονάδα αφαλάτωσης Δεκέλειας (Αντίστροφη όσμωση).....</u>	<u>6</u>
<u>Σχήμα 1.6</u>	<u>Απεικόνιση κινδύνου λειψυδρίας σε ευρωπαϊκό επίπεδο.....</u>	<u>7</u>
<u>Σχήμα 1.7</u>	<u>Μεταφερόμενες ποσότητες νερού ανά νησιωτικό σύμπλεγμα.....</u>	<u>9</u>
<u>Σχήμα 2.1</u>	<u>Ποσοστά ανά είδος νερού που επεξεργάζονται με μεθόδους αφαλάτωση παγκοσμίως.....</u>	<u>11</u>
<u>Σχήμα 2.2</u>	<u>Συνολική δυναμικότητα μονάδων αφαλάτωσης παγκοσμίως ανα έτος.....</u>	<u>11</u>
<u>Σχήμα 2.3</u>	<u>Σχηματικό διάγραμμα αφαλάτωσης.....</u>	<u>12</u>
<u>Σχήμα 2.4</u>	<u>Σχηματικό διάγραμμα αφαλάτωσης με πολυβάθμια εκτόνωση (MSF).....</u>	<u>14</u>
<u>Σχήμα 2.5</u>	<u>Σχηματικό διάγραμμα αφαλάτωσης με πολυβάθμια εξάτμιση (MED).....</u>	<u>15</u>
<u>Σχήμα 2.6</u>	<u>Μονάδα αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκτόνωσης (MED) στην Abutaraba της Λιβύης με δυναμικότητα 40.000 κβ/ημέρα.....</u>	<u>16</u>
<u>Σχήμα 2.7</u>	<u>Σχηματικό διάγραμμα αφαλάτωσης με θερμική συμπίεση ατμού (TVC).....</u>	<u>17</u>
<u>Σχήμα 2.8</u>	<u>Μονάδα αφαλάτωσης μηχανικής συμπίεσης ατμού (MVC) στην Alcludia της Ισπανίας με δυναμικότητα 1500 κβ/ημέρα.....</u>	<u>18</u>
<u>Σχήμα 2.9</u>	<u>Διαδικασία απόστασης με απλούς ηλιακούς συλλέκτες .....</u>	<u>19</u>
<u>Σχήμα 2.10</u>	<u>Διαδικασία απόστασης με ηλιακούς συλλέκτες τύπου θερμοκηπίου.....</u>	<u>20</u>
<u>Σχήμα 2.11</u>	<u>Ο ρόλος της μεμβράνης σε αφαλάτωση με τη μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης (ED) και με τη μέθοδο της αντίστροφη όσμωση (RO) .....</u>	<u>20</u>
<u>Σχήμα 2.12</u>	<u>Φυσική και αντίστροφη όσμωση.....</u>	<u>21</u>
<u>Σχήμα 2.13</u>	<u>Σχηματικό διάγραμμα αντίστροφης όσμωσης.....</u>	<u>22</u>
<u>Σχήμα 2.14</u>	<u>Επισκόπηση μονάδος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.....</u>	<u>24</u>
<u>Σχήμα 2.15</u>	<u>Μονάδα αντίστροφης όσμωσης στη Νίσυρο δυναμικότητας 300 κβ/ημέρα.....</u>	<u>25</u>
<u>Σχήμα 2.16</u>	<u>Διάσπαση των μορίων του θαλασσινού νερού-Διεργασία της αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση.....</u>	<u>26</u>
<u>Σχήμα 3.1</u>	<u>Αφαλάτωση με πολυβάθμια εξάτμιση (MED) με συνδυασμό ηλιακών συλλέκτων στην Alemgria της Ισπανίας. Δυναμικότητα μονάδος 72 κβ/ημέρα.....</u>	<u>29</u>
<u>Σχήμα 3.2</u>	<u>Αυτόνομη μονάδα αντίστροφης όσμωσης με φωτοβολταϊκά στην Τυνησία.....</u>	<u>30</u>
<u>Σχήμα 5.1</u>	<u>Φ/Β πλαίσιο SW 235 poly.....</u>	<u>43</u>
<u>Σχήμα 5.2</u>	<u>Μπαταρίες 2V OPzS.....</u>	<u>44</u>
<u>Σχήμα 5.3</u>	<u>Συνδεσμολογία μπαταριών 48V,6000 Ah.....</u>	<u>45</u>
<u>Σχήμα 5.4</u>	<u>Ρυθμιστής φόρτισης FM80.....</u>	<u>46</u>
<u>Σχήμα 5.5</u>	<u>Συνδεσμολογία ενός εκ των 2 ρυθμιστών με 21 Φ/Β γεννήτριες και τις μπαταρίες.....</u>	<u>47</u>
<u>Σχήμα 5.6</u>	<u>Αντιστροφέας ισχύος Studer XTH 6000-48.....</u>	<u>48</u>
<u>Σχήμα 5.7</u>	<u>Αρθωτές βάσεις για Φ/Β.....</u>	<u>49</u>
<u>Σχήμα 5.8</u>	<u>Μονογραμμικό σχέδιο πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος (AC).....</u>	<u>54</u>
<u>Σχήμα 5.9</u>	<u>Μονογραμμικό σχέδιο διατάξεων ασφαλείας συνεχούς ρεύματος (DC).....</u>	<u>55</u>
<u>Σχήμα 5.10</u>	<u>Μονογραμμικό σχέδιο σύνδεσης στοιχειοσειρών με τις ασφαλιστικές διατάξεις</u>	<u>56</u>

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<u>Πίνακας 1.1</u>	<u>Νερό που μεταφέρθηκε σε κ.μ. στα νησιά (α) από το 1997-2001.....</u>	<u>8</u>
<u>Πίνακας 1.2</u>	<u>Νερό που μεταφέρθηκε σε κ.μ. στα νησιά (β) από το 1997-2001.....</u>	<u>8</u>
<u>Πίνακας 1.3</u>	<u>Δαπάνες για το μεταφερόμενο νερό σε Κυκλάδες και Δωδεκάνησα για έτη 2002-09.....</u>	<u>9</u>
<u>Πίνακας 2.1</u>	<u>Τυπικά χαρακτηριστικά μεθόδων αφαλάτωσης.....</u>	<u>13</u>
<u>Πίνακας 2.2</u>	<u>Συσχέτιση πίεσης και θερμοκρασίας νερού.....</u>	<u>14</u>
<u>Πίνακας 3.3</u>	<u>Αποδοτικοί και ενδεικνύομενοι συνδυασμοί μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ..</u>	<u>28</u>
<u>Πίνακας 5.1</u>	<u>Πίνακας φορτίων του συστήματος.....</u>	<u>37</u>
<u>Πίνακας 5.2</u>	<u>Ηλιακά δεδομένα της περιοχής για γωνία 30<sup>0</sup>.....</u>	<u>38</u>
<u>Πίνακας 5.3</u>	<u>Κύκλοι φόρτισης - εκφόρτισης της μπαταρίας συναρτήσει του βάθους εκφόρτισης.....</u>	<u>45</u>
<u>Πίνακας 5.4</u>	<u>Διατομές αγωγών και ασφάλειες με βάση την επιτρεπόμενη ένταση.....</u>	<u>51</u>



## Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε μια καταγραφή για το πρόβλημα της λειψυδρίας τόσο και παγκόσμιο αλλά και σε εθνικό επίπεδο. Έγινε έρευνα για τις ανάγκες των ελληνικών νησιών σε πόσιμο νερό , με τους τρόπους και το κόστος που έχει αυτό για κάθε νησί. Μια λύση για την αντιμετώπιση της έλλειψης πόσιμου νερού ,είναι η αφαλάτωση.

Έγινε ανάλυση των τεχνολογιών αφαλάτωσης με τις επιμέρους εφαρμόσιμες μεθόδους, έμφαση δόθηκε στην αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση λόγω απόδοσης, διάδοσης, ευκολίας στην εγκατάσταση και στη μικρή συντήρηση που χρειάζεται. Αφού μελετήθηκε ο τρόπος λειτουργίας της κάθε μεθόδου, στη συνέχεια ομαδοποιήθηκαν με βάση τη δυνατότητα λειτουργίας τους με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Ορίστηκαν τα κριτήρια επιλογής για τις μονάδες αφαλάτωσης που μπορούν να τροφοδοτηθούν από ΑΠΕ, όπως ηλιακή και αιολική ενέργεια .

Τέλος έγινε μελέτη για μια μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, ικανής να καλύψει τις ανάγκες ενός νησιωτικού οικισμού 50 κατοίκων η οποία θα είναι ενεργειακά αυτόνομη. Επιλέχθηκε μια μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκές γεννήτριες για την κάλυψη των φορτίων. Αναπτύχθηκε μεθοδολογία για την διαστασιολόγηση του συστήματος και έγινε η μελέτη με βάση τα στοιχεία της ελληνικής αγοράς.

**Λέξεις κλειδιά:** Αφαλάτωση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), αντίστροφη όσμωση, λειψυδρία, άνυδρα νησιά.



## SUMMARY

In the present work became a recording for the problem of water shortage such in world as in national level. It became research for the needs of Greek islands in potable water, with the ways and the cost that has this for each island. A solution for the confrontation of lack of potable water, is the desalination technology. Became analysis of desalination technologies with the individual applicable methods, accent was given in the desalination with reverse osmosis reason of output, distribution, facility in the installation and in the small maintainance that it needs. After it was studied the way of operation of each method, afterwards they were grouped with base their possibility of operation with renewable energy sources (RES). Were fixed the criteria of choice for the units of desalination that can be supplied from RES, as solar and wind energy.

Finally became study for seawater desalination unit , capable to cover the needs of islander settlement of 50 residents which will be energy autonomous. It was selected one unit of desalination with reverse osmosis in combination with photovoltaic generators for the cover of charge. It was developed methodology for the system and became the study based on the elements of Greek market.

**Keywords:** Desalination, renewable energy sources (RES), reverse osmosis, water shortage,

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, θα γίνει έρευνα για τις μεθόδους που εφαρμόζονται παγκοσμίως στην αφαλάτωση του αλμυρού και του υφάλμυρου νερού. Θα γίνει ανάλυση της κάθε τεχνολογίας και αναφορά στις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης οι οποίες είναι εφαρμόσιμες. Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι μέθοδοι που μπορούν να συνδυαστούν με μη συμβατικές πηγές ενέργειας όπως η αιολική, ηλιακή ενέργεια. Θα δοθεί έμφαση στις μεθόδους αφαλάτωσης οι οποίες αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και θα κατηγοριοποιηθούν με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιούν.

Αφού περιγραφούν οι μέθοδοι, οι σχετικές τεχνολογίες και η διεθνή εμπειρία, θα αξιολογηθούν με βάση την ενεργειακή απαίτηση στο αντίστοιχο είδος ΑΠΕ, την ευκολία κατασκευής – λειτουργίας, φιλικότητα προς το περιβάλλον, κόστος κ.τ.λ. Θα εξεταστεί η δυνατότητα εφαρμογής τους στην Ελλάδα σε άνυδρα νησιά και θα επιλεγεί η καταλληλότερη γι' αυτά.

Τέλος θα γίνει μελέτη για μία αυτόνομη μονάδα αφαλάτωσης η οποία θα χρησιμοποιεί αποκλειστικά και μόνο την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της από ΑΠΕ και θα είναι ικανή να υδροδοτήσει ένα τυπικό νησιωτικό οικισμό για όλες τις ανάγκες του σε νερό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.



# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ ”

Στην ενότητα αυτή, γίνεται μία εισαγωγή στα υδάτινα αποθέματα, τον τρόπο διαχείρισης και την έλλειψη πόσιμου νερού στον πλανήτη. Γίνεται αναφορά σε διεθνές επίπεδο ενώ ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο Ελλαδικό χώρο και ειδικότερα στα νησιά του Αιγαίου όπου έχουμε και τα μεγαλύτερα προβλήματα στην μη επάρκεια του πόσιμου νερού. Γίνεται μια προσέγγιση για τους λόγους όπου οφείλεται το πρόβλημα αυτό βασιζόμενοι σε πραγματικά στοιχεία και καταγραφές αρμόδιων υπηρεσιών.

### 1.1 Εισαγωγή

Στη γήινη επιφάνεια κυριαρχεί το υγρό στοιχείο. Το νερό καλύπτει το 71% της γήινης επιφάνειας, από το οποίο 97% είναι θαλασσινό νερό και μόλις το 3% γλυκό νερό. Από το 3% του γλυκού νερού το 70-79% είναι δεσμευμένο στους παγετώνες, το 18-20% είναι υπόγειο νερό και μόνο το 1-2% είναι επιφανειακό νερό διαθέσιμο για άμεση χρήση.

Εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού της γης, της μαζικής κατανάλωσης, της σπατάλης του φυσικού αυτού αγαθού και της μόλυνσης του από παράγοντες της ανθρώπινης δραστηριότητας, έχει περιοριστεί η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού και δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε συνδυασμό με τις κλιματικές αλλαγές που συντελούνται τον τελευταίο αιώνα, ξηρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα σε κάποιες περιοχές, παρατεταμένες έντονες βροχοπτώσεις και καταγίδες, έχει προβάλλει το μειζόνων θέμα της λειψυδρίας.

Τα στοιχεία της UNESCO για την έλλειψη του πολύτιμου αγαθού είναι απογοητευτικά. Έτσι σύμφωνα με αυτά προβλέπεται ότι η έλλειψή του θα αναχθεί σε μείζον γεωπολιτικό θέμα, καθώς το 2050, ο παγκόσμιος πληθυσμός θα έχει ξεπεράσει τα 9 δισεκατομμύρια, ενώ η ζήτηση για νερό θα αυξηθεί κατά 64 δις. κυβικά μέτρα ετησίως. Παράλληλα το 2030, περισσότεροι από 5 δις άνθρωποι δεν θα έχουν πρόσβαση σε αξιόπιστο σύστημα καθαρισμού του νερού. Επίσης στις αναπτυσσόμενες χώρες το 80% των ασθενειών συνδέονται με το νερό, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τουλάχιστον 3 εκατομμύρια άνθρωποι να χάνουν τη ζωή τους κάθε χρόνο εξαιτίας της κακής ποιότητας πόσιμου νερού που καταναλώνουν.

Στον ελλαδικό ηπειρωτικό χώρο το φαινόμενο της λειψυδρίας δεν είναι τόσο έντονο, όμως είμαστε σ' ένα οριακό και κρίσιμο σημείο. Οι αλλαγές στο κλίμα μας, δεν είναι δραματικές αλλά είναι αισθητές και ικανές να μας αναδείξουν το πρόβλημα. Οι λιγότερες βροχές και περισσότερες θερμές μέρες έχουν ως συνέπεια τη μείωση στις στάθμες των λιμνών και των ποταμών. Στη νησιωτική Ελλάδα όμως τα δεδομένα είναι λίγο διαφορετικά, έχουμε αρκετά άνυδρα νησιά που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα των μειωμένων υδάτινων αποθεμάτων εδώ και αρκετά χρόνια. Ακόμη και νησιά του Αιγαίου

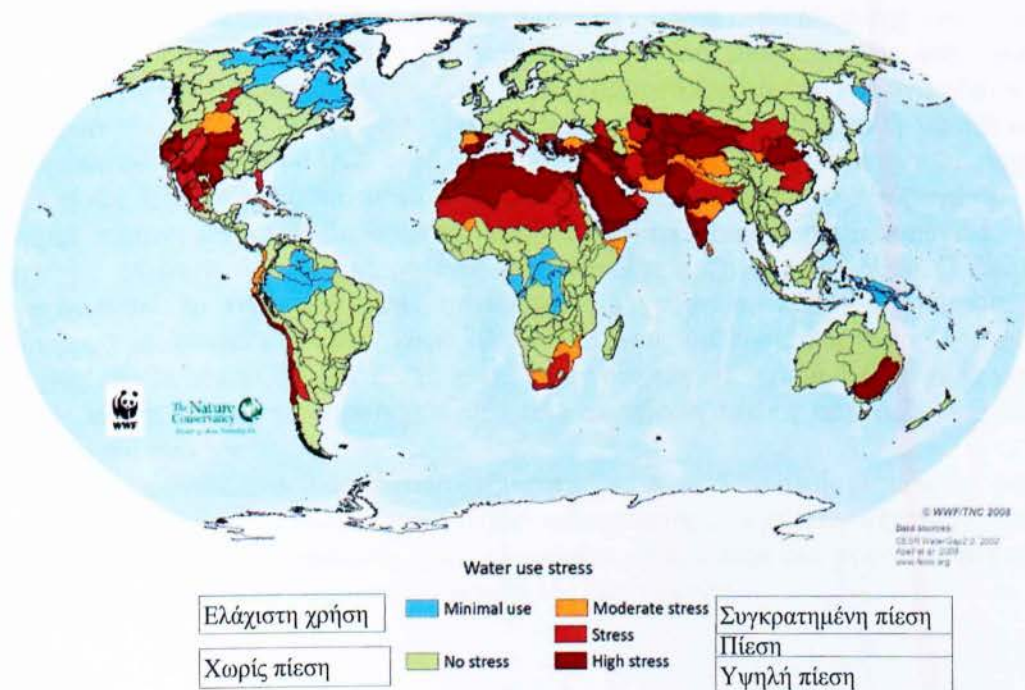


που δεν συγκαταλέγονται στα άνυδρα, αρχίζουν να έχουν προβλήματα μη επάρκειας των αποθεμάτων νερού, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες όπου η ζήτηση νερού αυξάνεται θεαματικά λόγω του τουρισμού. Η λύση στην οποία καταφεύγει η πολιτεία είναι η μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια προκειμένου να αντιμετωπιστεί η έλλειψη νερού.

Στη παρούσα εργασία, θα μελετηθεί η αφαλάτωση ως πιθανή λύση για την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού στα νησιά. Με δεδομένο ότι το κόστος της ηλεκτρικής κλιμακωτής είναι αρκετά υψηλό στα νησιά και σε συνδυασμό με τα ελλείμματα ενέργειας που παρουσιάζονται το καλοκαίρι, θα εξεταστούν βιώσιμες μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες να μπορούν να συνδυαστούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή, αιολική ενέργεια ακόμη και η γεωθερμική.

## 1.2 Η κατάσταση στο διεθνώς.

Είναι γεγονός ότι η έλλειψη πόσιμου νερού αλλά ακόμη και νερού κατάλληλου για άλλες χρήσεις όπως στη γεωργία και στις βιομηχανίες είναι ένα θέμα που απασχολεί σχεδόν όλο το κόσμο. Η μη επάρκεια αποθεμάτων νερού σε διάφορες περιοχές, παγκόσμιο επίπεδο, είναι αποτέλεσμα συνδυασμού διαφόρων παραγόντων.



Σχήμα 1.1 Απεικόνιση του κινδύνου λειψυδρίας σε παγκόσμιο επίπεδο.  
 Πηγή : Freshwater Ecoregions of the World, (FEOW)

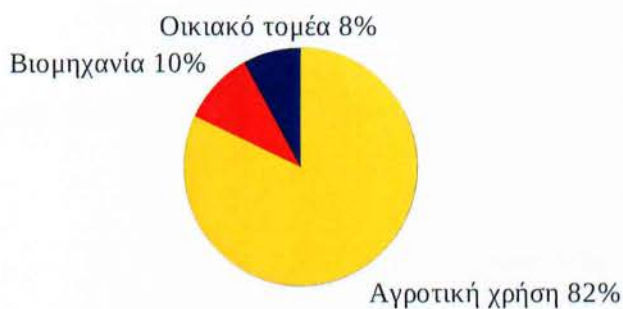


Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η ανισοκατανομή των υδάτινων πόρων. Για παράδειγμα, η Λατινική Αμερική διαθέτει 12 φορές περισσότερο πόσιμο νερό από τη νότια Ασία. Στη Βραζιλία και τον Καναδά υπάρχει πλεόνασμα στα αποθέματα νερού, ενώ οι χώρες που βρίσκονται στη βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή αντιμετωπίζουν προβλήματα, καθώς τα αποθέματα δεν φτάνουν να καλύψουν τις ανάγκες του πληθυσμού. Στη Μέση Ανατολή υπάρχει μόλις το 1% του γλυκού νερού του κόσμου, για να το μοιραστεί εκεί το 5% του παγκόσμιου πληθυσμού. Η Κίνα η οποία φιλοξενεί σχεδόν το 22% του παγκόσμιου πληθυσμού, διαθέτει μόλις το 8% των παγκόσμιων αποθεμάτων γλυκού νερού. Έτσι λοιπόν οι χώρες που παραδοσιακά αντιμετωπίζουν πρόβλημα, είναι οι χώρες της Μέσης Ανατολής όπου εκεί ο κύριος λόγος είναι η απουσία υδάτινων πόρων λόγω ξηρότητας του εδάφους και έχει να κάνει με τα φυσικά γεωλογικά στοιχεία των περιοχών αυτών.

Στις αναπτυσσόμενες χώρες το κύριο πρόβλημα είναι η μόλυνση των διαθέσιμων υδάτων από βιομηχανικές δραστηριότητες. Το 70% των βιομηχανικών αποβλήτων πετιούνται χωρίς επεξεργασία σε ποταμούς και λίμνες όπου μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Με στοιχεία του περιβαλλοντικού προγράμματος του ΟΗΕ (UNEP), χύνονται στη Γη ημερησίως 2 εκατομμύρια τόνοι μη επεξεργασμένων βοθρολυμάτων και βιομηχανικών και γεωργικών αποβλήτων, καταστρέφοντας αυτόματα τα υδάτινα συστήματα. Τα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα έγιναν αιτία να μολυνθεί ο υδροφόρος ορίζοντας και όλο το οικοσύστημα. Το πρόβλημα είναι σοβαρότατο αφού ο υδροφόρος ορίζοντας, τα ποτάμια, οι λίμνες και οι θάλασσες αποτελούν συγκοινωνούντα δοχεία. Ενώ στις ήδη αναπτυγμένες περιοχές του πλανήτη η κύρια αιτία έλλειψης είναι η αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου έχουν ως αποτέλεσμα την υπερκατανάλωση των ήδη ελλειμματικών για την περιοχή υδάτων. Ένα στοιχείο που το αποδεικνύει αυτό, είναι το παρακάτω : η καθημερινή απαίτηση ενός ανθρώπινου οργανισμού για νερό είναι 2-4 λίτρα και το αποτύπωμα σε νερό της ημερήσιας τροφής του, ανέρχεται σε 2000-5000 λίτρα, επίσης για την παραγωγή 1 κιλού ρυζιού απαιτούνται 1000-3000 λίτρα νερού. Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω κάποια στοιχεία σύμφωνα με διεθνής μελέτες των Ηνωμένων εθνών, της UNESCO και άλλων οργανισμών. Το νερό που είναι κατάλληλο για χρήση παγκοσμίως, χρησιμοποιείται σύμφωνα με στοιχεία ερευνών κατά 70% για ανάγκες άρδευση στη γεωργία, το 22% για τη βιομηχανία και το 8% για τις ανάγκες ενός νοικοκυριού σχήμα 1.4 . Ενώ ενδιαφέρον έχουν και τα παρακάτω γραφήματα τα οποία παρουσιάζουν τις καταναλώσεις με βάση οικονομικά κριτήρια.

Παρατηρώντας τα παρακάτω σχήματα 1.2 & 1.3 , επιβεβαιώνεται ότι στις αναπτυσσόμενες χώρες αλλά και τις αναπτυγμένες υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση νερού από άλλες χώρες και αυτό οφείλεται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου αλλά και στην ανάπτυξη της βιομηχανίας.

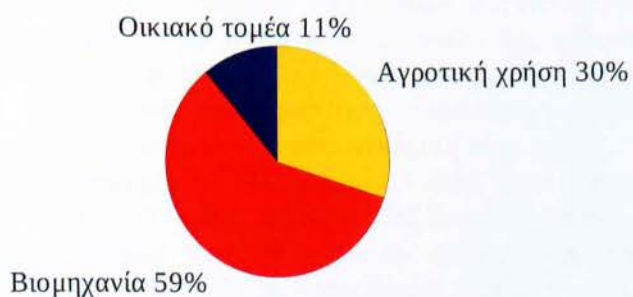
### Κατανάλωση νερού σε χώρες με χαμηλά και μεσαία εισοδήματα



Σχήμα 1.2 Κατανομή χρήσης νερού σε χώρες με χαμηλά και μεσαία εισοδήματα.

Πηγή : Extracted from the Executive summary of the WWDR. World Bank, 2001. Washington DC.

### Κατανάλωση νερού σε χώρες με υψηλά εισοδήματα

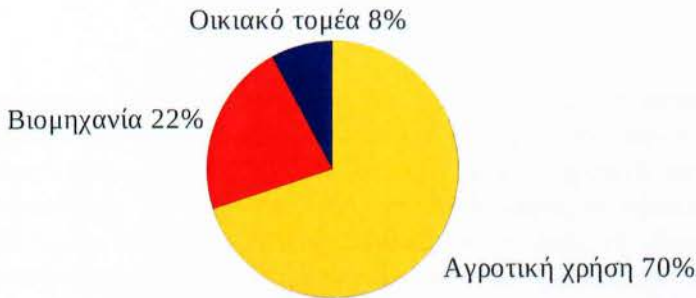


Σχήμα 1.3 Κατανομή χρήσης νερού σε χώρες με υψηλά εισοδήματα.

Πηγή : Extracted from the Executive summary of the WWDR. World Bank, 2001. Washington DC.



## Παγκόσμια κατανάλωση νερού



Σχήμα 1.4 Παγκόσμια κατανομή χρήσης νερού ανά δραστηριότητα.

Πηγή : Extracted from the Executive summary of the WWDR.  
World Bank, 2001. Washington DC.

Ένα άλλο αξιοσημείωτο στατιστικό είναι ότι στο 60% των ευρωπαϊκών πόλεων άνω των 100.000 κατοίκων, τα νερά χρησιμοποιούνται με τέτοιους ρυθμούς όπου είναι αδύνατο να αναπληρωθούν στον υδροφόρο ορίζοντα ή σε λίμνες κτλ.

Άλλη μια διάσταση του προβλήματος έβαλε το 2006 ο ΟΗΕ, ο οποίος μετά από μακροχρόνια έρευνα ανακοίνωσε πως υπάρχει αρκετό νερό στον πλανήτη για όλη την ανθρωπότητα, αλλά εκτός από τα προφανή προβλήματα για την έλλειψη σε κάποιες περιοχές του πλανήτη, ένας σημαντικός παράγοντας εντοπίζεται στην κακοδιαχείριση και στη διαφθορά. Σε πολλές χώρες, το πρόβλημα της λειψυδρίας γίνεται όλο και πιο έντονο λόγω της κακής διαχείρισης των υδάτινων αποθεμάτων, της καταστροφής των δασών, της μείωσης των βροχοπτώσεων λόγω κλιματικών αλλαγών, της μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα, της αύξησης του πληθυσμού των πόλεων, την άνοδο του βιοτικού επιπέδου κ.α. Η μόλυνση των υδάτων στερεί σημαντικές ποσότητες νερού από ολόκληρους πληθυσμούς που ζουν σε παραλίμνιες και παραποτάμιες περιοχές.

Συμπερασματικά οι παράγοντες έλλειψης του νερού, είναι η υπερκατανάλωση και η ρύπανση του αγαθού αυτού. Η γενική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου σε συνδυασμό με την πληθυσμιακή αύξηση των μεγάλων αστικών κέντρων έχει επιφέρει δυσανάλογη αύξηση της ζήτησης νερού και εξ' ίσου δυσανάλογη σπατάλη με αποτέλεσμα οι πηγές τροφодότησης με νερό χρήσης των μεγάλων περιοχών του πλανήτη να στερέψουν σταδιακά. Η αύξηση του πληθυσμού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μόλυνσης όλων σχεδόν των υδάτινων αποθεμάτων, τόσο από τα λύματα οικιακής χρήσης, τα φυτοφαρμάκων, τα ζιζανιοκτόνα, τα χημικά λιπασμάτων όσο και από τα απόβλητα των βιομηχανιών.

### 1.3 Η κατάσταση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα και ειδικά στις Α-ΝΑ νησιωτικές περιοχές.

Η κατάσταση στην Ελλάδα λόγω τις μορφολογίας του εδάφους της αλλά και το γεγονός ότι περιτριγυρίζεται από θάλασσα, δημιουργεί ένα σύνθετο τοπίο στο θέμα των υδάτων πόρων που ταυτίζεται με τους λόγος έλλειψης νερού σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στο μεγαλύτερο ποσοστό της ηπειρωτικής Ελλάδας οι υδάτινοι πόροι είναι αρκετοί για να καλύψουν τις ανάγκες του πληθυσμού σε όλες τις δραστηριότητες. Όμως σε περιοχές όπου η αγροτική δραστηριότητα είναι έντονη, όπως στο θεσσαλικό κάμπο και σε συνδυασμό με τις περιόδους ξηρασίας, δημιουργούν συχνά προβλήματα έλλειψης. Τα μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας αν και δεν έχουν μείνει ανεπηρέαστα από τη συνεχή αύξηση του πληθυσμού τους, εντούτοις δεν αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα προβλήματα, όμως αυτό δεν είναι αρκετό για να πει κανείς ότι υπάρχει επάρκεια καθώς τα αποθέματα μειώνονται. Ένα από τα χαρακτηριστικά που μας κάνουν γνωστούς στον κόσμο, είναι τα νησιά μας, τα οποία αντιμετωπίζουν προβλήματα με το νερό, καθώς δεν υπάρχουν μεγάλα αποθέματα πάνω σε αυτά και οι ανάγκες για χρήση νερού πολλαπλασιάζεται κατά τους θερινούς μήνες όπου ο τουρισμός αυξάνει τον πληθυσμό τους. Επιπλέον η αύξηση των γεωτρήσεων σε βάθη αρκετά κάτω της στάθμης της θάλασσας έχει προκαλέσει έντονο πρόβλημα υφαλμύρωσης.

Στην σχήμα 1.6 παρουσιάζεται ο κίνδυνος λειψυδρίας των ευρωπαϊκών χωρών και παρατηρείται ότι η μεσογειακές χώρες είναι σε κρίσιμο σημείο μεταξύ άλλων και η Ελλάδα ενώ η Κύπρος έχει πλέον έντονα προβλήματα έλλειψης νερού ενώ πρόσφατα εγκαταστάθηκαν μονάδες αφαλάτωσης στη Δεκέλεια σχήμα 1.5 προκειμένου να περιορίσουν το πρόβλημα.

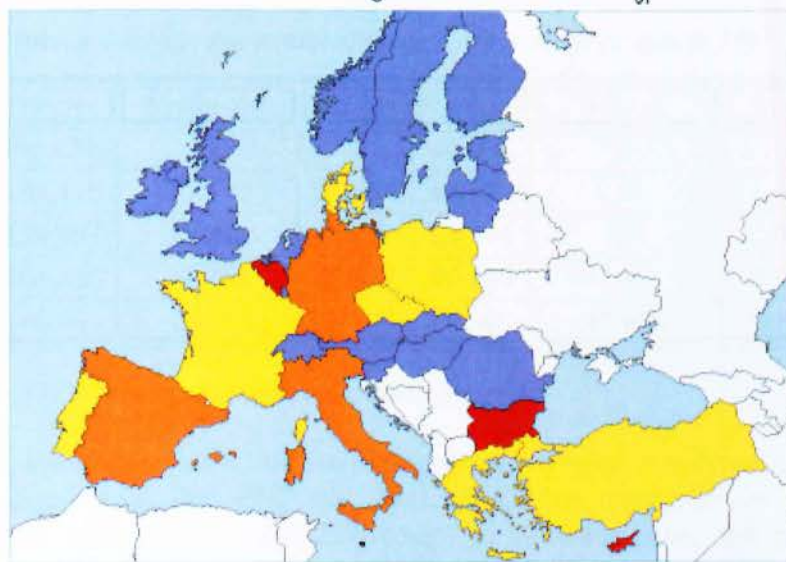
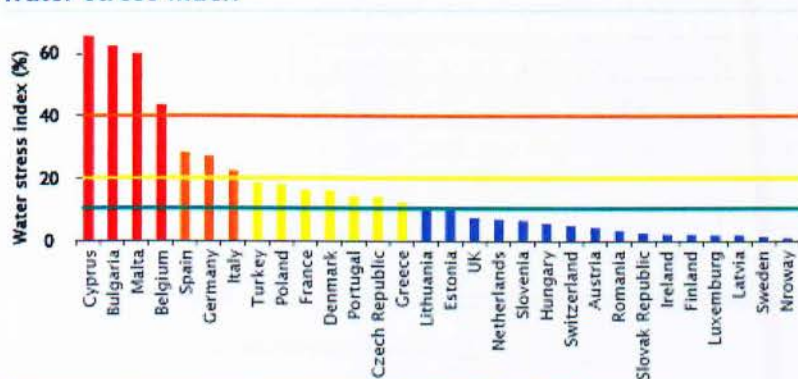


Σχήμα 1.5 Μονάδα αφαλάτωσης Δεκέλειας ( Αντίστροφη όσμωση )  
Πηγή : <http://www.sigmalive.com>



Άλλοι λόγοι που συντελούν στην έλλειψη νερού, είναι η σπατάλη σε όλους τους τομείς, η κακή διαχείριση των υδάτινων πόρων στην πηγή τους (λίμνες, ποτάμια) και η ελλιπής συντήρηση του δικτύου που έχει ως αποτέλεσμα να χάνονται σημαντικές ποσότητες κατά τη μεταφορά του νερού. Οι κλιματικές αλλαγές είναι επίσης ένας παράγοντας που παίζει σπουδαίο ρόλο στο κύκλο του νερού. Στην Ελλάδα είναι εμφανέστατη η μείωση των βροχοπτώσεων σε εθνικό επίπεδο αλλά και η αύξηση της θερμοκρασίας σε όλες τις εποχές του έτους. Οι ποτιστικές βροχές (μεγάλη διάρκεια και μικρή ποσότητα), στις μέρες είναι ελάχιστες έως και ανύπαρχτες. Σε κάποιες περιοχές, έχουν δώσει τη σκυτάλη σε έντονες βροχοπτώσεις μικρής διάρκειας και σε καταγίδες. Το αποτέλεσμα αυτού του παιχνιδιού της φύσης είναι καταστροφικές πλημμύρες σε νοικοκυριά και αγροτικές εκτάσεις, αφού το έδαφος δεν μπορεί να απορροφήσει το νερό που μας προσφέρεται και το νερό να καταλήγει στις θάλασσες, αυτό έχει ως συνέπεια ο υδροφόρος ορίζοντας να συρρικνώνεται ενώ τα ποτάμια και οι λίμνες στερεύουν.

### Water stress index



Source: AQUAREC, 2006 / Hochstrat et al, 2006  
(based on data of EEA and national state of the environment reports)

Σχήμα 1.6 Απεικόνιση κινδύνου λειψυδρίας σε ευρωπαϊκό επίπεδο  
Πηγή : AQUAREC 2006

Ειδικότερα για τα νησιά όπου το καλοκαίρι το νερό δεν επαρκεί λόγω της αυξημένης κατανάλωσης, οι τοπικοί άρχοντες σε συνεργασία με τα αρμόδια υπουργεία προσπαθούν να καλύψουν τη ζήτηση σε νερό, με τη μεταφορά του σε δεξαμενόπλοια. Σύμφωνα με το υπουργείο Αιγαίου και νησιωτικής πολιτικής στις Κυκλάδες υδροδοτούνται με πλωτά μέσα τα νησιά Αμοργός, Κουφονήσια, Κίμωλος, Ηρακλεία, Σχοινούσα, Φολέγανδρος, Τήνος, Σίκινος, Θηρασιά και Δονούσα με προμήθεια νερού από το δίκτυο της Ε.Υ.Δ.Α.Π. στην Αττική. Στα Δωδεκάνησα υδροδοτούνται με πλωτά μέσα τα νησιά Αγαθονήσι, Λειψοί, Μεγίστη, Νίσυρος, Πάτμος, Σύμη, Χάλκη Παληόνησος, Πλάτυ, Φαρμακονήσια, Γρίγος, Αρκοί, Μαράθι, Ψέριμος και Λέρος με προμήθεια νερού από τις Νομαρχιακές γεωτρήσεις της περιοχής Καλάθου Ρόδου ή σε περίπτωση αντίξωων συνθηκών από τη ΔΕΥΑ Ρόδου. Με τον τρόπο αυτό ο οποίος είναι αρκετά δαπανηρός και η ποιότητα νερού σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι η καλύτερη δυνατή, καταφέρνει σε μεγάλο βαθμό να δοθεί λύση στην έλλειψη νερού.

Πίνακας 1.1 Νερό που μεταφέρθηκε σε κ.μ. στα νησιά (α) από το 1997-2001

	Μεγίστη	Κουφονήσια	Αμοργός	Σύμη	Φολέγανδρος	Κίμωλος
1997	24.851	23.355	20.350	177.650	6.890	14.170
1998	36.856	28.620	21.130	201.512	5.580	17.990
1999	42.797	26.320	24.670	153.762	10.170	16.375
2000	46.168	29.351	13.570	175.639	12.730	24.538
2001	41.968	31.158	19.150	119.519	16.520	30.133

Πηγή :Υπ. Ναυτιλίας και νησιωτικής πολιτικής.

Πίνακας 1.2 Νερό που μεταφέρθηκε σε κ.μ. στα νησιά (β) από το 1997-2001

	Πάτμος	Αγαθονήσι	Χάλκη	Νίσυρος	Μήλος	Τήνος
1997	86.420	0	0	40.035	0	0
1998	106.178	10.738	56.654	44.778	0	0
1999	129.597	11.250	47.778	52.394	0	0
2000	164.366	11.763	42.937	80.108	0	37.531
2001	165.859	12.227	38.177	78.360	47.658	35.817

Πηγή :Υπ. Ναυτιλίας και νησιωτικής πολιτικής.

Στους πίνακες 1.1 και 1.2 φαίνονται οι μεταφορές νερού που έγιναν σε διάφορα νησιά του Αιγαίου για τα έτη 1997 έως 2001. Αξίζει να σημειωθεί ότι νερό άρχισε να μεταφέρεται στην Τήνο και στη Σίκινο από το 2000 και μετά, ενώ στη Μήλο και τη Θηρασιά από το 2001 και μετά. Αντίστοιχα, στη Λέρο, που δεν συγκαταλέγεται στα άνυδρα νησιά, μεταφέρθηκε μια σημαντική ποσότητα νερό από το 2004.

Τα παραπάνω στοιχεία στους πίνακες, μαρτυρούν ότι το πρόβλημα αμβλύνεται χρόνο με το χρόνο καθώς η ανάγκη συνεχώς αυξάνονται με εξαίρεση το 2009 όπου ήταν ένα έτος με ήπιες βροχές και σε συνδυασμό με κάποια έργα υποδομής που υλοποιήθηκαν μειώθηκε το μεταφερόμενο νερό.



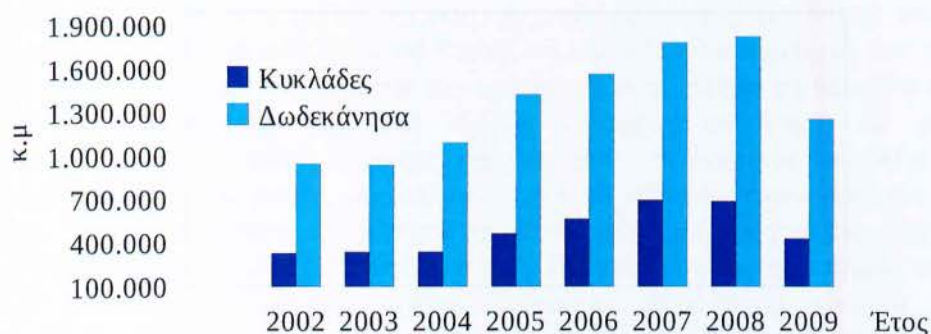
Στον πίνακα 1.3 φαίνονται συγκεντρωτικά ανά σύμπλεγμα νησιών οι δαπάνες της πολιτείας για τη μεταφορά νερού και γίνεται αναγωγή στο κόστος ανά κ.β.

Πίνακας 1.3 Δαπάνες για το μεταφερόμενο νερό σε Κυκλάδες και Δωδεκάνησα για έτη 2002-09.

Κυκλάδες				
Έτος	2002	2003	2004	2005
Δαπάνη €	2.561.278,36	2.772.718,04	2.787.235,66	4.006.916,45
Δαπάνη ανα κ.μ	7,78	8,23	8,23	8,63
Έτος	2006	2007	2008	2009
Δαπάνη €	4.677.686,54	5.802.509,26	5.721.921,92	3.569.904,00
Δαπάνη ανα κ.μ	8,24	8,32	8,32	8,32
Δωδεκάνησα				
Έτος	2002	2003	2004	2005
Δαπάνη €	3.109.358,65	3.214.680,89	4.034.203,29	5.082.935,63
Δαπάνη ανα κ.μ	5,03	5,31	5,31	5,24
Έτος	2006	2007	2008	2009
Δαπάνη €	4.905.044,06	5.403.900,34	5.765.706,20	4.175.895,50
Δαπάνη ανα κ.μ	4,88	4,91	5,05	5,05

Πηγή :Υπ. Ναυτιλίας και νησιωτικής πολιτικής.

Στο σχήμα 1.7 φαίνονται οι συνολικές ποσότητες νερού που μεταφέρονται στα νησιά του Αιγαίου. Είναι εμφανείς η αυξητική τάση στη μεταφορά νερού τόσο στα Δωδεκάνησα όσο και στις Κυκλάδες.



Σχήμα 1.7 Μεταφερόμενες ποσότητες νερού ανά σύμπλεγμα.  
Πηγή :Υπ. Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής.



## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ”

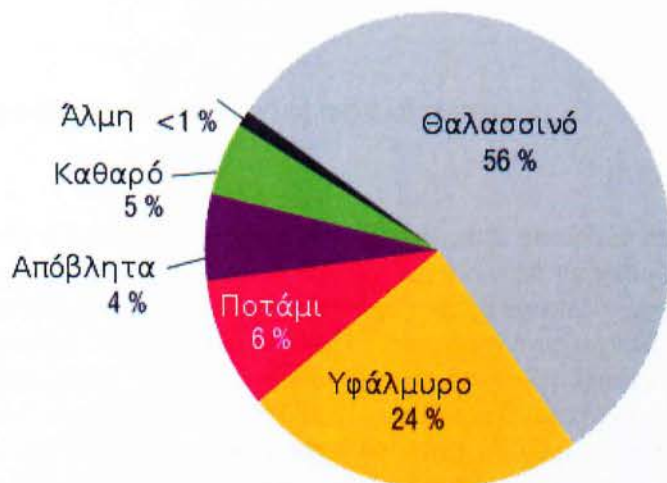
#### 2.1 Η ιστορία της αφαλάτωσης

Οι άνθρωποι εδώ και αρκετά χρόνια προσπαθούν να επεξεργαστούν το αλμυρό νερό έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατανάλωση και γεωργία. Η αφαλάτωση νερού της θάλασσας χρησιμοποιείται ήδη αιώνες πριν στα πλοία με τη μέθοδο της εξάτμισης προκειμένου να παραχθεί το γλυκό νερό, υπάρχουν ακόμη και περιγραφές από τον 4ο αιώνα π.χ σύμφωνα με τον Αριστοτέλη. Επίσης περιγραφή αφαλάτωσης αναφέρεται ως πραγματεία από Άραβα συγγραφέα του 8ου μ.Χ. αιώνα που βασίζεται στην απόσταξη του νερού. Οι πρώτες μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης δημιουργήθηκαν στην αρχή του 20ού αιώνα. Η πρώτη εγκατάσταση που χτίστηκε ήταν το 1912 στην Αίγυπτο με μέθοδο εξάτμισης 6 σταδίων, παράγοντας περίπου 75 κβ/μέρα του αφαλατωμένου νερού. Η περαιτέρω εμπορική ανάπτυξη των χερσαίων μονάδων απόσταξης νερού της θάλασσας πραγματοποιήθηκε την δεκαετία του '50 και στηρίχθηκε αρχικά στην τεχνολογία που αναπτύχθηκε για τους βιομηχανικούς εξεταμιστήρες και για τις εγκαταστάσεις απόσταξης που εγκαταστάθηκαν στα πολεμικά πλοία κατά τη διάρκεια του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου. Η ραγδαία αύξηση στη βιομηχανία αφαλάτωσης ακολούθησε την αύξηση της βιομηχανίας πετρελαίου τη δεκαετία του '70 και ιδιαίτερα στην περιοχή του Περσικού Κόλπου όπου διάφορες θερμικές εγκαταστάσεις χτίστηκαν προκειμένου να ικανοποιηθεί η γρήγορα αυξανόμενη ζήτηση νερού του τοπικού πληθυσμού και τους δόθηκε η μεγάλη διαθεσιμότητα της θερμικής ενέργειας με πολύ χαμηλότερο κόστος. Συνηθιζόταν να χρησιμοποιούν εγκαταστάσεις που στηρίζονται στη θερμική ενέργεια προκειμένου να αφαλατώσουν το θαλασσινό νερό, αλλά στη δεκαετία του '70, η πρόοδος που έγινε στις μεθόδους που χρησιμοποιούσαν μεμβράνες όπως η ηλεκτροδιάλυση και η αντίστροφη όσμωση, άρχισαν να κερδίζουν έδαφος και πλέον χρησιμοποιούνταν εκτενέστερα. Σε αυτό έπαιξε σημαντικό ρόλο η μείωση του κόστους τόσο των μεμβρανών αλλά κυρίως στην παραγωγή ενέργειας. Μέχρι τη δεκαετία του '80, η τεχνολογία αφαλάτωσης ήταν μια πλήρως εμπορική επιχείρηση και μονάδες εγκαθίστανται πλέον σε πολλές περιοχές της γης. Ενώ τη δεκαετία του '90 η χρήση τεχνολογιών αφαλάτωσης για τις την κάλυψη αναγκών σε νερό έγιναν ιδιαίτερα συχνές και πολλοί δημόσιοι οργανισμοί βασίστηκαν πάνω στις μεθόδους αυτές. Σήμερα οι μονάδες αφαλάτωσης σε αρκετές περιοχές, είναι ο βασικός τροφοδότης πόσιμου νερού σε ανεπτυγμένες και υπο ανάπτυξη πόλεις. Ενδεικτικό παράδειγμα είναι η μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού αντίστροφης όσμωσης (RO) με δυναμικότητα παραγωγής πόσιμου νερού 240,000 κβ/μέρα που κατασκευάστηκε το 2007 στην πόλη Αλικάντε της Ισπανίας η οποία έχει πληθυσμό 334.418 κατοίκους σύμφωνα με απογραφή του 2010.

Στο σχήμα 2.1 δίνεται το εύρος των δυνατοτήτων και εφαρμογών των μεθόδων αφαλάτωσης. Η χρήση γίνεται κατά κύριο λόγο σε θαλασσινό και υφάλμυρο νερό σε ποσοστό 80% ενώ ένα μικρό ποσοστό 4% αφαλατώνεται από απόβλητα βιομηχανιών



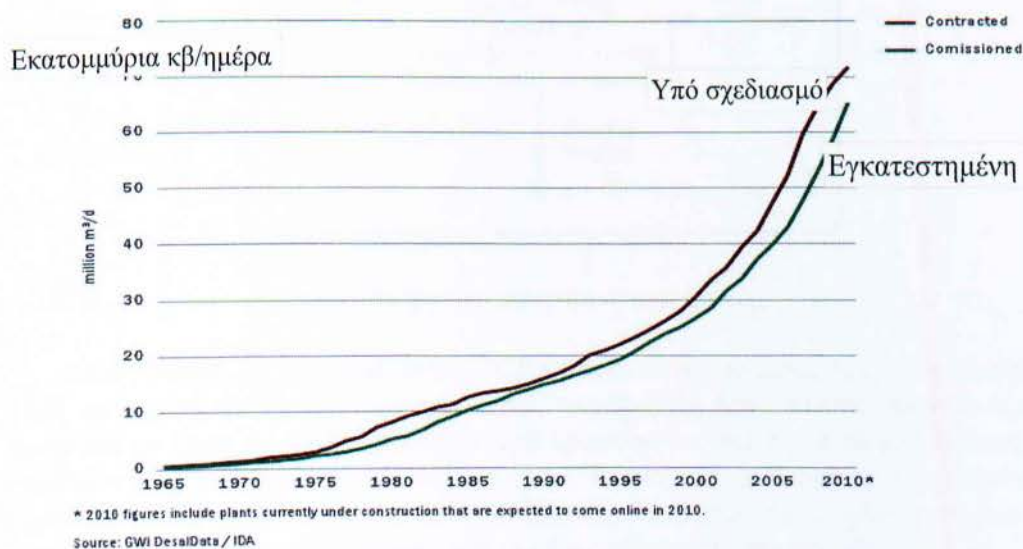
προκειμένου να επιτευχθεί μια ανάκτηση των νερών που χρησιμοποιούν. Επίσης υπάρχουν και κάποιες βιομηχανίες όπως οι σαπυνοποιίες και οι βιομηχανίες καλλυντικών οι οποίες αφαιρούν το ήδη πόσιμο νερό, σε ποσοστό 5%, προκειμένου να το χρησιμοποιήσουν στα προϊόντα τους.



Σχήμα 2.1 Ποσοστά ανά είδος νερού που επεξεργάζονται με μεθόδους αφαιμάτωσης παγκοσμίως.

Πηγή : P H Gleick World's water 2006-07 , p 56

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 2.2, το 2010 η συνολική δυναμικότητα των εγκατεστημένων μονάδων αφαιμάτωσης, ξεπερνούσε τα 65 εκατομμύρια κβ/ημέρα εκ των οποίων περίπου 85% βρίσκονται σε λειτουργία.



Σχήμα 2.2 Συνολική δυναμικότητα μονάδων αφαιμάτωσης παγκοσμίως ανά έτος.

Πηγή : IDA Desalination YearBook 2010-2011, DesalData

Παρατηρούμε επίσης ότι η συνολική δυναμικότητα αυξάνεται συνεχώς με γρήγορους ρυθμούς ενώ παράλληλα αυξάνεται και ο προγραμματισμός για νέες μονάδες. Σήμερα η αφαλάτωση χρησιμοποιείται σε πάνω από 120 χώρες. Σχεδόν το 50% της παγκόσμιας δυναμικότητας χρησιμοποιείται για αφαλάτωση θαλασσινού νερού στη Μέση Ανατολή και τη βόρεια Αφρική.

## 2.2 Εφαρμοσμένες τεχνολογίες αφαλάτωσης

Υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες αφαλάτωσης που αφαιρούν αποτελεσματικά τα άλατα από το αλμυρό ή το υφάλμυρο νερό, παράγοντας νερό με χαμηλή συγκέντρωση άλατος που είναι το κύριο προϊόν αλλά παράγεται επίσης και νερό με υψηλή συγκέντρωση σε άλατα η λεγόμενη άλμη ως κατάλοιπο. Οι εφαρμοσμένες τεχνολογίες στηρίζονται είτε σε θερμικές διαδικασίες μέσω της εξάτμισης είτε στο φιλτράρισμα μέσω μεμβρανών. Όλες οι τεχνολογίες στηρίζονται στο σχήμα 2.3 είτε είναι θερμικές είτε με μεμβράνες. Ανάλογα με το είδος του νερού που έχουμε προς αφαλάτωση αλλά και του νερού που επιθυμούμε να έχουμε ως προϊόν, επιλέγεται και η ανάλογη μέθοδος η οποία χρησιμοποιεί διαφορετικό είδος ενέργειας πχ οι θερμικές χρησιμοποιούν κυρίως θερμική ενέργεια ενώ με μεμβράνες χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 2.3 Σχηματικό διάγραμμα αφαλάτωσης

Στον πίνακα 2.4 φαίνεται ανά μέθοδο αφαλάτωσης το είδος του νερού τροφοδοσίας και τη μορφή ενέργειας που χρειάζεται η μέθοδος. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι μέθοδοι με βάση το καταλληλότερο νερό τροφοδοσίας για την καθεμιά. Επίσης όλες οι μέθοδοι χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια, ακόμη και οι θερμικές, όμως επειδή είναι χαμηλά τα ποσοστά σε σχέση με την θερμική, θεωρείται ότι η ηλεκτρική δεν είναι η κύρια μορφή ενέργειας και γιαυτό δεν αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα.



Πίνακας 2.1 Τυπικά χαρακτηριστικά μεθόδων αφαλάτωσης

Μέθοδος Αφαλάτωσης	Νερό τροφοδοσίας	Μορφή ενέργειας
Πολυβαθμια εκτόνωση (MSF)	Θαλασσινό	Θερμική
Πολυβαθμια εξάτμιση (MED)	Θαλασσινό	Θερμική
Εξάτμιση με Επανασυμπίεση Ατμών (VC)	Θαλασσινό	Ηλεκτρική
Αντίστροφη όσμωση (RO)	Θαλασσινό-Υφάλμυρο	Ηλεκτρική
Ηλεκτροδιάλυση (ED)	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική

Πηγή : Ε.Τζέν (ΚΑΠΕ)

### 2.2.1 Αφαλάτωση με εξάτμιση-απόσταξη (Θερμικές διεργασίες)

Η απόσταξη είναι μια μέθοδος με την οποία το υφάλμυρο νερό θερμαίνεται με σκοπό να παραχθεί υδρατμός, ο οποίος έπειτα συμπυκνώνεται για να παραγάγει το γλυκό νερό. Ουσιαστικά γίνεται μια εναλλαγή της κατάστασης του νερού από υγρό σε αέριο και από αέριο ξανά σε υγρό.

Οι πιο κοινές μέθοδοι αφαλάτωσης με απόσταξη, είναι η πολυβάθμια εκτόνωση (MSF), η πολυβάθμια εξάτμιση (MED) και η εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (VC). Όλες οι παραπάνω μέθοδοι λειτουργούν με τη γενική αρχή της πίεσης ατμού του νερού μέσα στη μονάδα έτσι ώστε να βράζει το νερό σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, χωρίς οποιαδήποτε πρόσθετη θερμότητα. Οι μονάδες απόσταξης χρησιμοποιούν συνήθως όσο το δυνατόν περισσότερη θερμική ενέργεια με την ανταλλαγή της θερμότητας από την συμπύκνωση και την θερμότητα της εξάτμισης.

Κατά τις μεθόδους αυτές, υπάρχει συνεχής αλληλεπίδραση μεταξύ πίεσης του νερού και της πρόσθετης θερμότητας που χρειάζεται για να βράσει το νερό, έτσι ώστε να γίνει όσο το δυνατόν αποδοτικότερη η μέθοδος. Όταν μειώνεται η πίεση τότε το σημείο βρασμού κατεβαίνει (πίνακας 2.5) και έτσι απαιτείται λιγότερη ενέργεια για να συνεχιστεί η εξάτμιση.

Πίνακας 2.2 Συσχέτιση πίεσης και θερμοκρασίας νερού

Πίεση (bar)	1	0,47	0,32*	0,25	0,1
Θερμοκρασία (C°)	100	80	70	65	45

\*Πίεση στην κορυφή του Έβερεστ

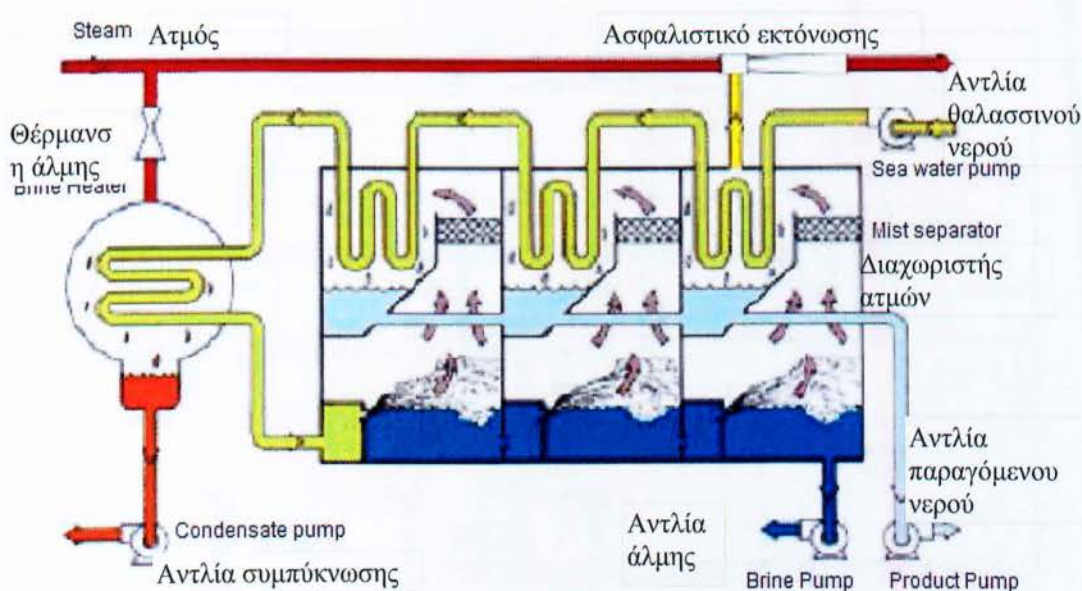
Πηγή : SIDEM

Η σωστή διαχείριση της πίεσης σε σχέση με την θερμοκρασία σε κάθε στάδιο των θερμικών μεθόδων αφαλάτωσης, δίνουν στη μονάδα την ευστάθεια που πρέπει να έχει το σύστημα χωρίς να διακόπτεται τη λειτουργία του.

### 2.2.1.1 Πολυβάθμια Εκτόνωση (Multi-Stage Flushing, MSF)

Η πολυβάθμια διαδικασία εκτόνωσης (MSF) είναι βασισμένη στην αρχή της στιγμιαίας εξάτμισης. Στη διαδικασία MSF το νερό της θάλασσας εξατμίζεται με τη μείωση της πίεσης σε αντιδιαστολή με την αύξηση της θερμοκρασίας, για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται αρκετές βαθμίδες με διαφορετικές πιέσεις στην καθεμιά για να επιτευχθεί η αφαλάτωση. Αρχικά το θαλασινό νερό θερμαίνεται κοντά στο σημείο βρασμού και στη συνέχεια οδηγείται σε θάλαμο με μικρότερη πίεση και έτσι δημιουργείται μια έντονη εκτόνωση του εισερχόμενου νερού που εξατμίζεται έως ότου υπάρξει ισορροπία της πίεσης στο θάλαμο. Τότε συλλέγονται οι υδρατμοί που ψύχονται στις σωληνώσεις του εισερχόμενου νερού και πλέον είναι αποσταγμένο νερό. Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται από βαθμίδα σε βαθμίδα ως ότου επέλθει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για να είναι δυνατή η συνέχεια της διαδικασίας θα πρέπει η πίεση στην επόμενη βαθμίδα να είναι μικρότερη εκείνης στην προηγούμενη έτσι ώστε να επέλθει ξανά νέος βρασμός, αυτή τη φορά σε μικρότερη θερμοκρασία.

Το απεσταγμένο νερό που παράγεται, συλλέγεται σε κάθε στάδιο και μεταφέρεται από στάδιο σε στάδιο παράλληλα με την άλμη και αντλείται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Το αφαλατωμένο νερό που παράγεται με τη διαδικασία MSF περιέχει 2-10 ppm TDS (Ολικά Διαλυόμενα στερεά).



Σχήμα 2.4 Σχηματικό διάγραμμα αφαλάτωσης με πολυβάθμια εκτόνωση (MSF)  
Πηγή : ACWA Power SASAKURA



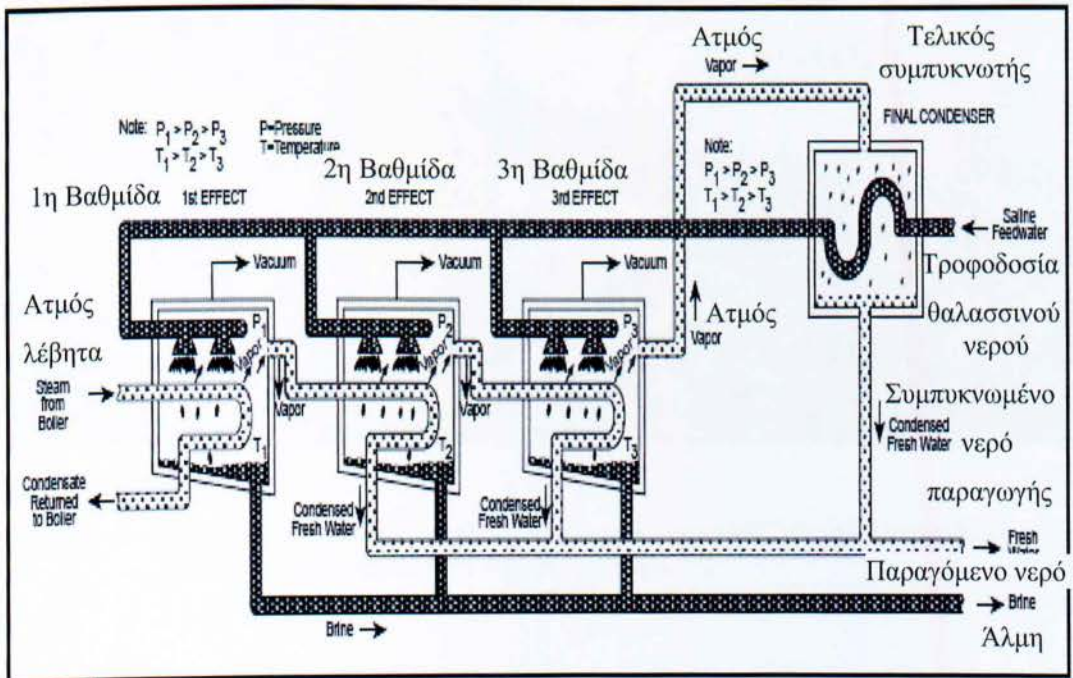
### 2.2.1.2 Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED)

Η πολυβάθμια εξάτμιση (MED), όπως και η πολυβάθμια εκτόνωση (MSF), πραγματοποιείται σε μία σειρά βαθμίδων μέχρι το επιθυμητό αποτέλεσμα και χρησιμοποιεί τις αρχές της συμπύκνωσης και της εξάτμισης μειώνοντας την περιβαλλοντική πίεση στις διάφορες βαθμίδες. Η κύρια διαφορά μεταξύ πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) και της πολυβάθμιας εξάτμισης (MED), είναι στη μέθοδο εξάτμισης και μεταφοράς της θερμότητας.

Στις εγκαταστάσεις πολυβάθμιας εξάτμισης (MED), χρησιμοποιείται ο ατμός που εισάγεται στην πρώτη βαθμίδα για να θερμαίνει το θαλασσινό νερό που εισάγεται, ως τους 100°C ψεκάζοντάς το πάνω στις σωλήνες που κυκλοφορεί ο ατμός και κατόπιν οδηγείται στην επόμενη βαθμίδα που βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση, συνεχίζοντας έτσι τη διαδικασία στις επόμενες βαθμίδες. Ο ατμός που δημιουργείται στο πρώτο στάδιο, είναι εκείνος που θα θερμάνει το νερό στη δεύτερη βαθμίδα με δεδομένο ότι έχει ήδη χάσει κάποια από την αρχική του θερμοκρασία, για να μπορέσει να εξατμίσει το νερό που θα δεχθεί η κάθε βαθμίδα έχει χαμηλότερη πίεση, τέτοια ώστε να εξατμίσει εκ νέου το νερό.

Υπάρχουν τρεις τύποι εργοστασίων που έχουν εξελιχθεί για τη διαδικασία πολυβάθμιας εξάτμισης (MED) και είναι βασισμένοι στην τοποθέτηση των σωλήνωνσεων.

- Με οριζόντια εγκατάσταση σωλήνων (Horizontal tube arrangement)
- Με κάθετη εγκατάσταση σωλήνων (Vertical tube arrangement)
- Με κάθετα συγκεντρωμένες δέσμες σωλήνων (Vertically stacked tube bundles)



Σχήμα 2.5 Σχηματικό διάγραμμα αφαλάτωσης με πολυβάθμια εξάτμιση (MED)  
Πηγή : Prodes project



Στη βιομηχανία της αφαλάτωσης η μέθοδος της πολυβάθμιας εξάτμισης (MED), ήταν η πρώτη τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή γλυκού νερού από το νερό της θάλασσας, αλλά προσπεράστηκε από την τεχνολογία πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF). Αυτό έγινε εξαιτίας των προβλημάτων που παρουσίαζαν οι σωληνώσεις και οι εξατμιστές, τα οποία δεν παρουσιάζονταν στην πολυβάθμια εκτόνωση (MSF). Σήμερα, λόγω των βελτιώσεων στα υλικά και την τεχνολογία, η διαδικασία της πολυβάθμιας εκτόνωσης (MED) γίνεται μια από τις αποδοτικότερες θερμικές τεχνολογίες αφαλάτωσης, ειδικά όταν συνδέονται με αντλίες θερμότητας ή θερμότητας που προέρχεται από απόρριψη βιομηχανικών διεργασιών (π.χ. από διυλιστήρια πετρελαίου, σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, μονάδες κάυσης-ενεργειακής αξιοποίησης απορριμάτων κ.α.). Οι εγκαταστάσεις MED χρησιμοποιείται πλέον ευρέως στη βιομηχανία.



Σχήμα 2.6 Μονάδα αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκτόνωσης (MED) στην Abutaraba της Λιβύης με δυναμικότητα 40.000 κβ/ημέρα  
Πηγή : Φωτογραφικό αρχείο SIDEM



### 2.2.1.3 Εξάτμιση με Επανασυμπίεση Ατμών (Vapour Compression, VC)

Η εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (VC), είναι μια θερμική διαδικασία που έχει χρήση σε μικρής και μεσαίας κλίμακας μονάδες, για αφαλάτωση κυρίως υφάλμυρου νερού ωστόσο αποδίδει και με θαλασσινό νερό. Αυτές οι μονάδες εκμεταλλεύονται την αρχή μείωσης της θερμοκρασίας εξάτμισης μειώνοντας την πίεση, αλλά η θερμότητα για την εξάτμιση του νερού προέρχεται από τη συμπίεση του ατμού και όχι με την άμεση ανταλλαγή της θερμότητας από τον ατμό που παράγεται σε κάποιον λέβητα, όπως στις άλλες θερμικές τεχνολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ο ατμός μπορεί να συμπιεστεί από είτε σε μηχανικό συμπιεστή είτε με την χρήση θερμικού συμπιεστή ατμού τύπου jet. Στις περισσότερες μονάδες χρησιμοποιείται μηχανικός συμπιεστής.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι συμπίεσης που χρησιμοποιούνται :

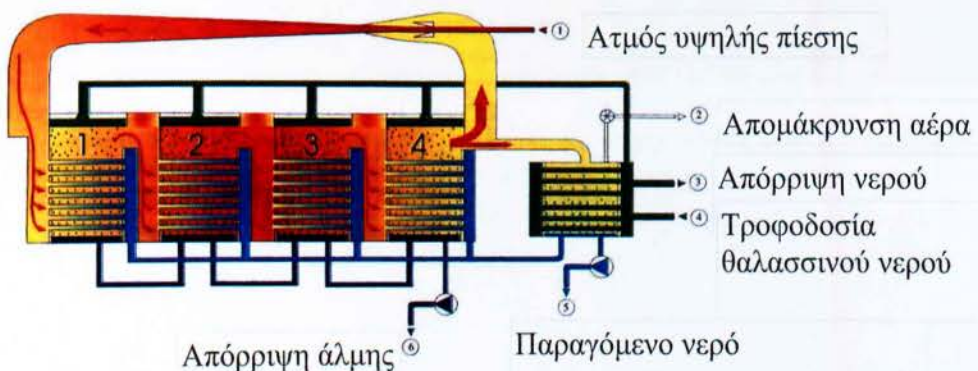
- Μηχανική συμπίεση ατμού [MVC]
- Θερμική συμπίεση ατμού [TVC]

Με την MVC, ο συμπιεστής χρησιμοποιεί μια ηλεκτρική μηχανή ή μια μηχανή diesel για να λειτουργήσει. Χρησιμοποιείται ατμός υψηλής πίεσης για να συμπιέσει τον ατμό που θα παραχθεί μέσα στη μονάδα. Ο συμπιεσμένος ατμός χρησιμοποιείται έπειτα ως πηγή θερμότητας για την περαιτέρω εξάτμιση του νερού.

Με την TVC, ο ατμός παράγεται στον εξατμιστή από τη μεταφορά της θερμότητας από το συμπιεσμένο ατμό. Ο καυτός ατμός βρίσκεται στο εσωτερικό των σωλήνων, ενώ το νερό τροφοδοσίας ψεκάζεται στις εξωτερικές επιφάνειες των σωλήνων. Με τον τρόπο αυτό ο ατμός που παράγεται συμπιέζεται έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί για τη θερμότητα στον εξατμιστή.

#### 2.2.1.3.1 Θερμική συμπίεση ατμού [TVC]

Η κύρια διαφορά των μεθόδων είναι η επίδραση που αφορά την παραγωγή του ατμού προκειμένου να εξατμιστεί το νερό τροφοδοσίας στους σωλήνες του εξατμιστή. Στις μονάδες θερμικής συμπίεσης ατμού (TVC) ένα μέρος του παραχθέντος ατμού βγαίνει από τον θάλαμο και οδηγείται σε ένα εκτοξευτή ατμού μεσαίας πίεσης, ο οποίος αναπαράγει τον ατμό πριν εισαχθεί ξανά για θέρμανση του ατμού στον εξατμιστή. Το άλλο μέρος του παραγόμενου ατμού στέλνεται στον συμπυκνωτή, όπου συμπυκνώνεται και με τον τρόπο αυτό προθερμαίνεται το νερό που τροφοδοτείται η μονάδα.



Σχήμα 2.7 Σχηματικό διάγραμμα αφαλάτωσης με θερμική συμπίεση ατμού (TVC)



### 2.2.1.3.2 Μηχανική συμπίεση ατμού [MVC]

Η μονάδα αποτελείται από έναν εξατμιστή, έναν συμπιεστή ατμού και από δυο εναλλάκτες θερμότητας. Στη μέθοδο μηχανικής συμπίεσης ατμού (MVC) όλος ο ατμός που παράγεται μέσα στον εξατμιστή, αποσύρεται στον συμπιεστή, επιτρέποντας τη χρήση του για τη θέρμανση του ατμού. Το απόσταγμα που συμπυκνώνεται στα τοιχώματα των σωλήνων του εξατμιστή, οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας για μείωση της θερμοκρασίας. Επιπλέον έχει ως χρήση την προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας. Το ίδιο γίνεται και για την απορριπτόμενη άλμη, ανακτώντας έτσι ένα ποσό θερμότητας.



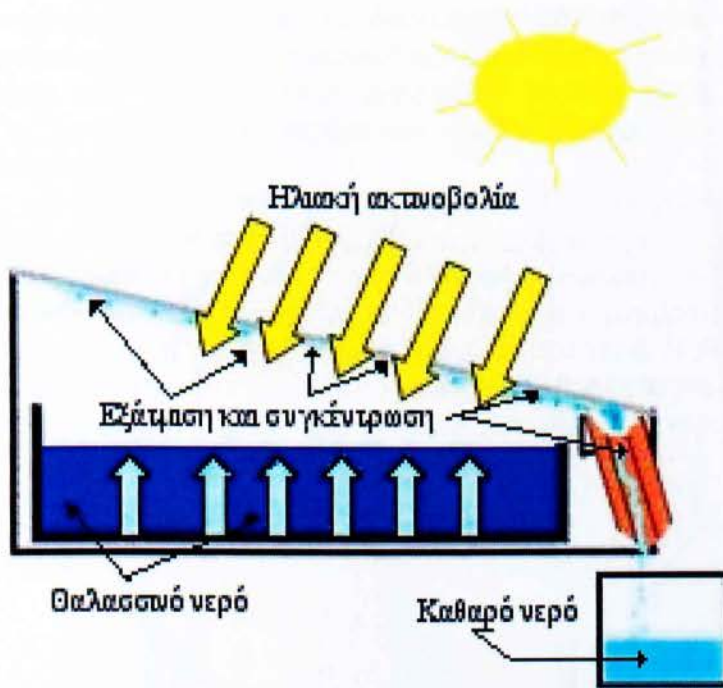
Σχήμα 2.8 Μονάδα αφαλάτωσης μηχανικής συμπίεσης ατμού (MVC) στην Alcudia της Ισπανίας με δυναμικότητα 1500 κβ/ημέρα.  
Πηγή : Φωτογραφικό αρχείο Entropie



#### 2.2.1.4 Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation)

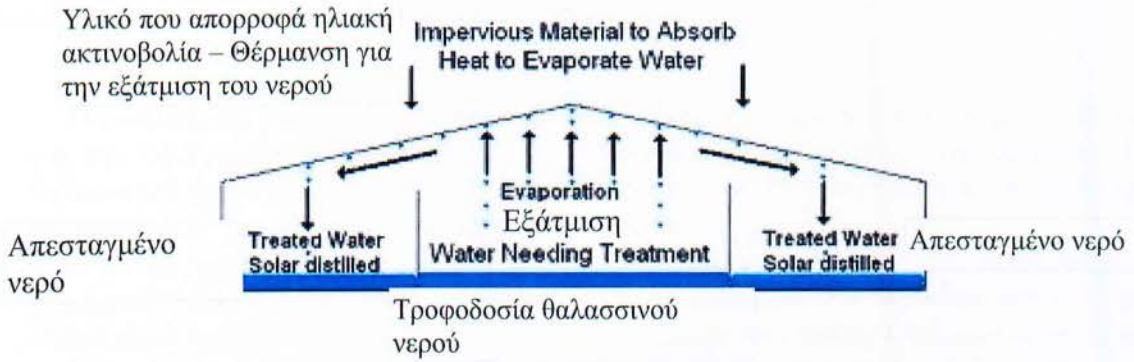
Οι αρχές κατασκευής και λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων είναι απλές. Το νερό περνά μέσα από πλαίσια με χρωματισμένη μαύρη την επιφάνεια τους, ώστε να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Συνεπώς, το νερό που περιλαμβάνεται στο πλαίσιο θερμαίνεται και εξατμίζεται.

Οι υδρατμοί αυξάνονται έως ότου έρχονται σε επαφή με την πιο δροσερή εσωτερική επιφάνεια. Εκεί συμπυκνώνεται το καθαρό νερό κατά μήκος των υδρορροών που υπάρχουν για τη συλλογή του. Στο σχήμα 2.9 φαίνεται ο βασικός τρόπος απόσταξης του θαλασσινού νερού με ηλιακούς αποστακτήρες προς μια κλίση, ενώ υπάρχουν και κάποιοι άλλοι τύποι συλλεκτών όπως αυτοί στο σχήμα 2.10 που μοιάζουν με θερμοκήπια τριγωνικής ή κοίλης οροφής. Ο τρόπος λειτουργίας είναι ακριβώς ο ίδιος με τη μόνη διαφορά ότι η συλλογή του αφαλατωμένου νερού, γίνεται σε 2 σημεία δεξιά και αριστερά αντί ενός με τον απλό αποστακτήρα.



Σχήμα 2.9 Διαδικασία απόσταξης με απλούς ηλιακούς συλλέκτες

Οι ηλιακοί αποστακτήρες χαρακτηρίζονται από την ευκολία της κατασκευής, την απλότητα στη λειτουργία ακόμη και από ανειδίκευτο προσωπικό, με ελάχιστη συντήρηση και σχεδόν κανένα κόστος λειτουργίας, με δεδομένο ότι η μόνη πηγή που χρειάζεται σε αυτή τη μέθοδο, είναι ο ήλιος ο οποίος είναι ανεξάντλητος. Όμως απαιτούν μεγάλες περιοχές εδάφους για την εγκατάσταση και έχουν χαμηλή παραγωγή. Αυτό συσχετίζεται, μεταξύ των άλλων, με το γεγονός ότι το ποσοστό παραγωγικότητάς τους εξαρτάται από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία.

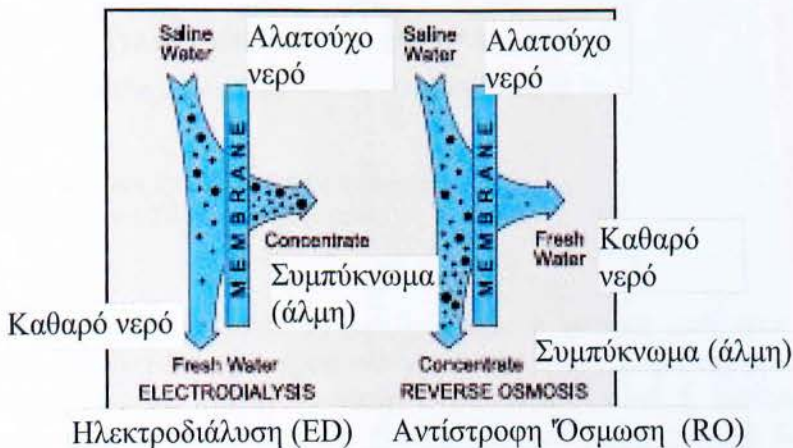


Σχήμα 2.10 Διαδικασία απόστασης με ηλιακούς συλλέκτες τύπου θερμοκηπίου  
 Πηγή : <http://sunpowereddreams.com>

### 2.2.2 Αφαλάτωση με μεμβράνες

Οι μεμβράνες διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στο διαχωρισμό των αλάτων από το νερό, συμπεριλαμβανομένης και της διαδικασίας διάλυσης και όσμωσης του. Οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται σε δύο εμπορικά και διαδεδομένες διαδικασίες αφαλάτωσης, στην ηλεκτροδιάλυση (ED) και στην αντίστροφη όσμωση (RO). Κάθε διαδικασία χρησιμοποιεί τη δυνατότητα των μεμβρανών για να διαχωρίσει τα άλατα από το υφάλμυρο ή το θαλασσίνο νερό.

Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης (ED) χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια ώστε να οδηγήσει τα άλατα επιλεκτικά μέσω μιας μεμβράνης, αφήνοντας το γλυκό νερό ως καθαρό απαλλαγμένο από άλατα. Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης (RO) στηρίζεται στην πίεση που ασκείται στο νερό οδηγώντας το διαμέσου των μεμβρανών, έτσι τα άλατα παραμένουν στην μεμβράνη και αφήνει να περάσει καθαρό νερό. Η βασική διαφορά των δύο μεθόδων είναι ότι στην ηλεκτροδιάλυση από την μεμβράνη περνάει νερό με μεγάλες ποσότητες άλατος ενώ στην αντίστροφη όσμωση η μεμβράνη ουσιαστικά φιλτράρει το θαλασσίνο - υφάλμυρο νερό και αφήνει να περάσει το καθαρό νερό.



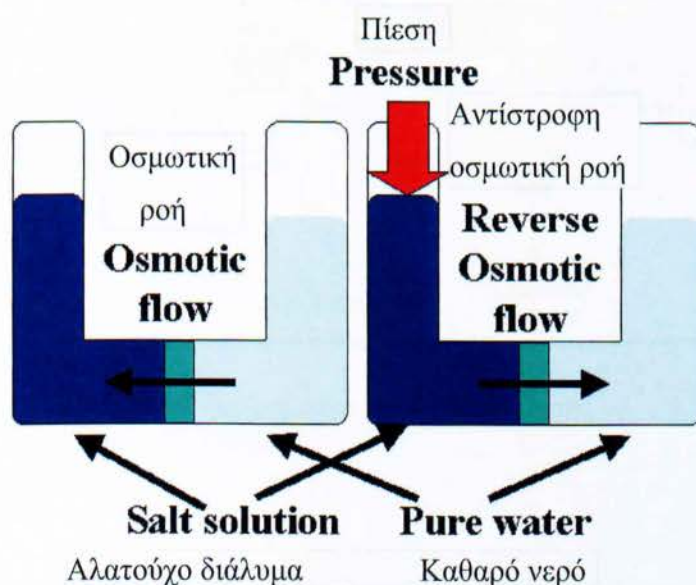
Σχήμα 2.11 Ο ρόλος της μεμβράνης σε αφαλάτωση με τη μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης (ED) και με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης (RO) .  
 Πηγή : ProDes project



### 2.2.2.1 Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis, RO)

Η αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση (RO) είναι μια ευρύτατα διαδεδομένη μέθοδος για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη μετάβαση του θαλασσινού νερού μέσω μιας μεμβράνης ενάντια στη φυσική οσμωτική πίεση έτσι ώστε να επιτευχθεί ο διαχωρισμός του νερού και των ιόντων.

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια μορφή φίλτραρίσματος, στην οποία πολύ απλά το φίλτρο είναι μια ημιδιαπερατή μεμβράνη η οποία επιτρέπει την διέλευση του καθαρού νερού αλλά όχι του αλατιού. Όταν σε μια τέτοια μεμβράνη υπάρχει θαλασσινό νερό από την μια πλευρά και καθαρό νερό από την άλλη, και με απουσία εφαρμοσμένης μηχανικής πίεσης, το νερό θα περάσει διαμέσου της μεμβράνης προς την πλευρά του θαλασσινού νερού, μειώνοντας έτσι την ποσότητα του καθαρού νερού. Αυτή είναι η φυσιολογική διαδικασία όσμωσης. Στην αφαλάτωση όμως ο σκοπός είναι να αυξηθεί η ποσότητα του καθαρού νερού και γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται μια αντλία για να αντιστρέψει την ροή, εξού και το όνομα της μεθόδου.



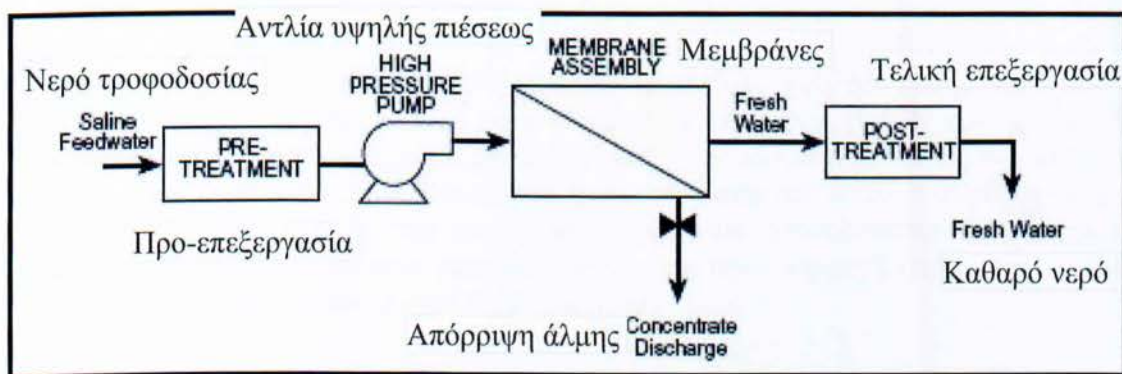
Σχήμα 2.12 Φυσική και αντίστροφη όσμωση  
Πηγή : The water treatments

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα, φαίνεται η φυσική ροή ενός υγρού και στη συγκεκριμένη περίπτωση του νερού που είναι από ένα αραιό διάλυμα προς ένα πυκνό. Δίπλα ακριβώς φαίνεται ασκώντας πίεση αντιστρέφεται αυτή η διαδικασία και από το πυκνό διάλυμα που είναι το θαλασσινό νερό, η ροή είναι προς το αραιό διάλυμα που είναι το καθαρό νερό μέσω της μεμβράνης.

Η σημαντικότερη ενέργεια που απαιτείται για την αφαλάτωση είναι για την πίεση του νερού τροφοδοσίας προς τις μεμβράνες. Ένα μέρος του νερού περνά μέσω της μεμβράνης και στο υπόλοιπο νερό τροφοδοσίας αυξάνεται η περιεκτικότητά του σε άλατα ακόμα ένα

μέρος απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσω της μεμβράνης, όταν πλέον το νερό τροφοδοσίας έχει μεγάλη συγκέντρωση άλατος. Το ποσό αφυδατωμένου νερού που μπορεί να ληφθεί κυμαίνεται μεταξύ 30% και 75% του όγκου του ύδατος εισαγωγής, εξαρτάται από την αρχική ποιότητα νερού, την ποιότητα που προδιαγράφεται να έχει το νερό που θα παραχθεί καθώς και από τις δυνατότητες των μεμβρανών.

Σε μια μονάδα αφυδάτωσης αντίστροφης όσμωσης το νερό τροφοδοσίας αναγκάζεται να περάσει από την επιφάνεια μεμβρανών με τη βοήθεια μιας αντλίας υψηλής πίεσεως. Για τυπικές μονάδες, η πίεση λειτουργίας ποικίλλει και κυμαίνεται από 14 έως 25 bar για το υφάλμυρο νερό και από 55 έως 80 bar για το θαλασσινό νερό. Μέρος του νερού τροφοδοσίας περνά μέσω της μεμβράνης αφαιρώντας την πλειοψηφία των διαλυμένων στερεών (άλατα). Μετά τη διαδικασία αυτή παράγεται νερό απαλλαγμένο από άλατα το οποίο οδηγείται για αποστείρωση, εμπλουτισμό με διάφορα μέταλλα και ιχνοστοιχεία, αν πρόκειται το παραγόμενο νερό να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, διαφορετικά ο εμπλουτισμός αυτός μπορεί και να παραληφθεί.



Σχήμα 2.13 Σχηματικό διάγραμμα αντίστροφης όσμωσης  
Πηγή : ProDes project

Η διαδικασία παραγωγής πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια επεξεργασίας:

Σε πρώτο στάδιο γίνεται η άντληση του θαλάσσιου νερού και το φιλτράρισμα (διήθηση) του νερού για την απαλλαγή του από διάφορα αδιάλυτα στερεά που βρίσκονται σε αυτό. Ακολούθως στο δεύτερο στάδιο εφαρμόζεται η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης για την απομάκρυνση των Ολικών Διαλυμένων Στερεών (Total Dissolved Solids, TDS) (άλατα). Κατά την τελική επεξεργασία που είναι το τρίτο στάδιο γίνεται ο εμπλουτισμός του νερού με ωφέλιμα μέταλλα και ιχνοστοιχεία που το καθιστούν πόσιμο.

Επιγραμματικά η διαδικασία αφυδάτωσης περιλαμβάνει τρία στάδια:

- 1) Στάδιο προεπεξεργασίας
- 2) Στάδιο αντίστροφης όσμωσης
- 3) Τελικό στάδιο επεξεργασίας



- Ανάλυση των τριών σταδίων

1) Στάδιο προεπεξεργασίας

Το στάδιο της προεπεξεργασίας εξασφαλίζει την καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών και γι αυτό το λόγο το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του θαλάσσιου νερού είναι πολύ σημαντικό. Κατά το στάδιο αυτό θα πρέπει να αφαιρεθούν τα αιωρούμενα στερεά, να καταστραφούν οι μικροοργανισμοί από το νερό που αντλείται από τη θάλασσα ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και η εναπόθεση αλάτων στις μεμβράνες. Η προεπεξεργασία του θαλάσσιου νερού συνήθως περιλαμβάνει:

Χλωρίωση (Υδροχλωρικό οξύ 2 ppm)

Φιλτράρισμα Προσθήκη θειικού οξέος (21 ppm)

Ακολουθεί φιλτράρισμα με διάφορα φίλτρα.

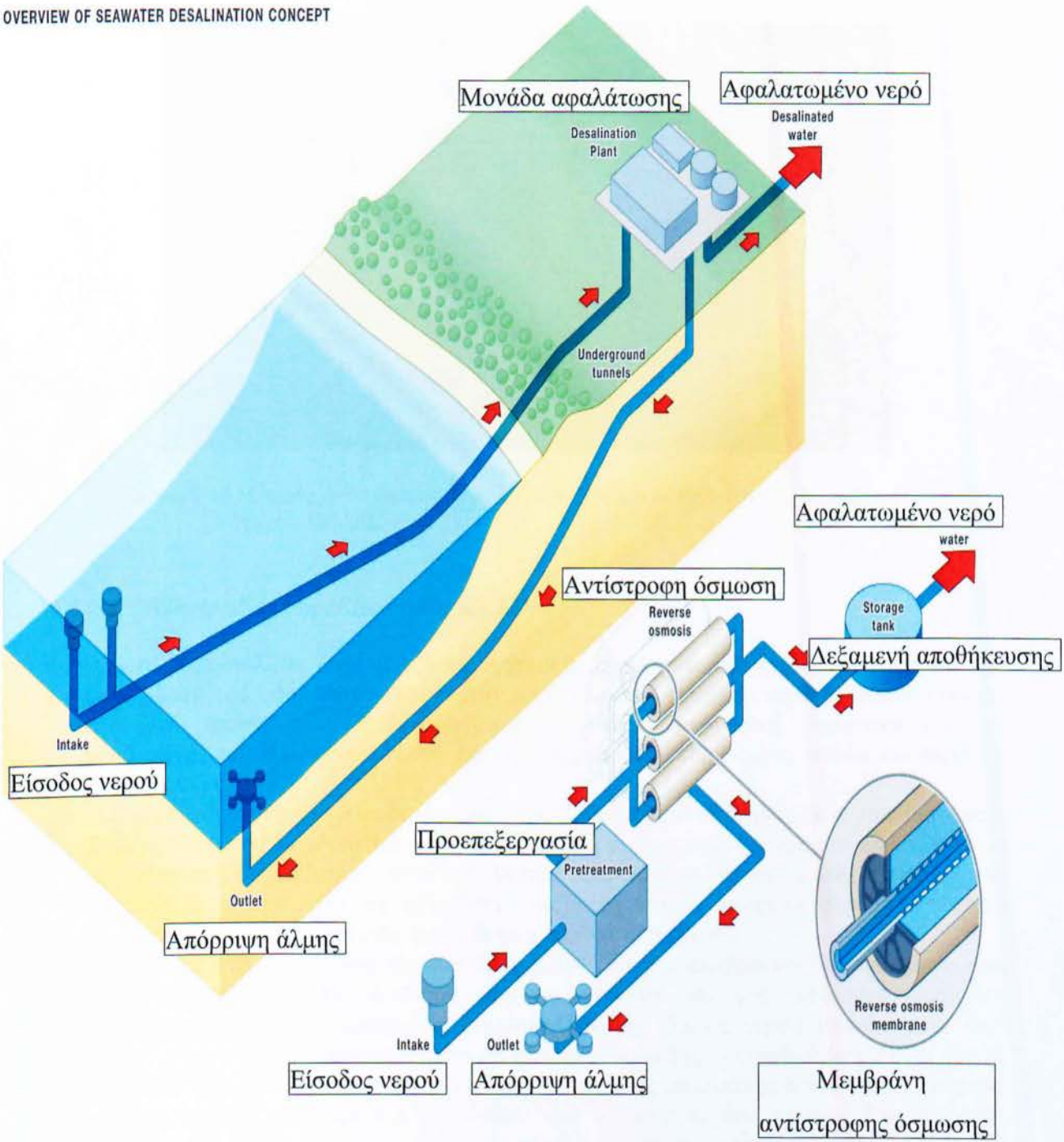
2) Στάδιο Αντίστροφη όσμωση

Στο στάδιο του διαχωρισμού στις μεμβράνες, αντλίες υψηλής πίεσης παρέχουν την πίεση που απαιτείται ώστε το νερό να περάσει μέσα από τις μεμβράνες και να απορρίψει τα άλατά του. Αυτή η πίεση είναι μεταξύ 54 και 80 ατμόσφαιρες. Καθώς ένα μέρος του νερού περνά μέσα από τις μεμβράνες, στο υπόλοιπο νερού αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων. Την ίδια στιγμή, ένα μέρος του νερού που τροφοδοτείται στις μεμβράνες απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσα από αυτές. Με την εφαρμογή υψηλής πίεσης και τη χρήση ειδικών μεμβρανών το νερό αφαλατώνεται.

3) Τελικό Στάδιο επεξεργασίας

Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας γίνεται σταθεροποίηση του παραγόμενου νερού και προετοιμασία του ώστε να γίνει πόσιμο. Στο αφαλατωμένο νερό προστίθενται ορισμένα χημικά, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το ασβέστιο, το υδροξείδιο του νατρίου και τέλος χλώριο. Η άλμη αποτελείται από θαλασσινό νερό με σχεδόν διπλάσια αλατότητα από το αρχικό και με τα χημικά τα οποία προστίθενται κατά την πρώτη επεξεργασία, εκτός εκείνων που αφαιρούνται κατά τη διαδικασία του φιλτραρίσματος.

OVERVIEW OF SEAWATER DESALINATION CONCEPT



Σχήμα 2.14 Επισκόπηση μονάδος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.  
Πηγή : <http://www.daviddarling.info>





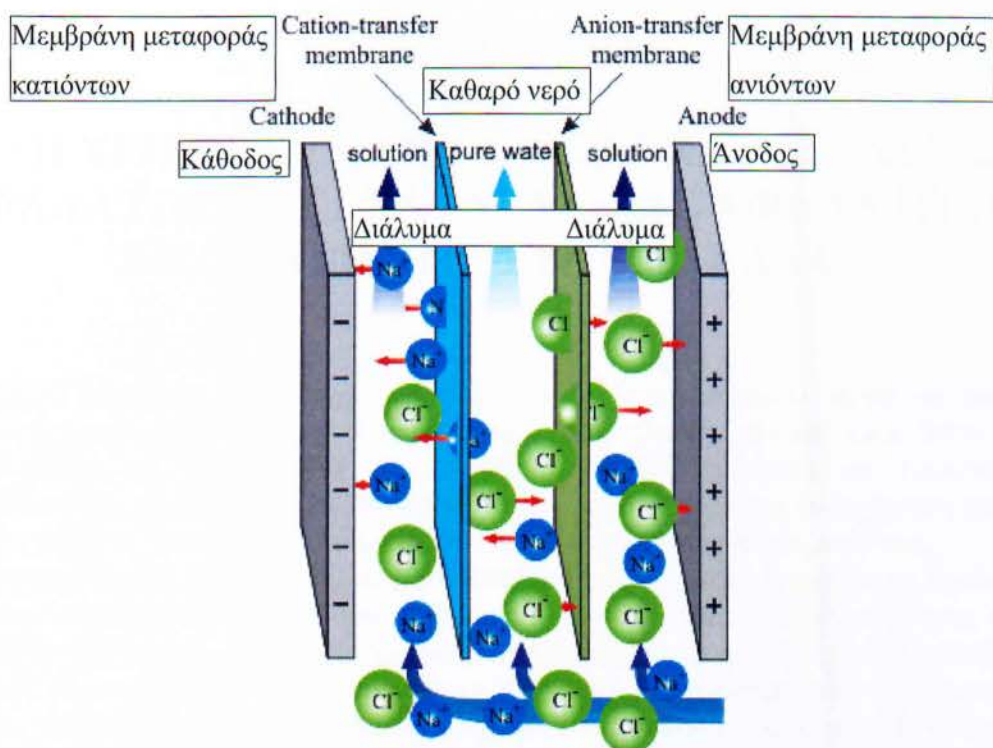
Σχήμα 2.15 Μονάδα αντίστροφης όσμωσης στη Νίσυρο δυναμικότητας 300 κβ/ημέρα.  
Πηγή : TEMAK

#### 2.2.2.2 Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis,ED)

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία και χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση του υφάλμυρου νερού. Λόγω της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στο νερό τροφοδοσίας, η μέθοδος αυτή δεν είναι οικονομικά ελκυστική για την αφαλάτωση του θαλάσσιου νερού και χρησιμοποιείται κυρίως στο υφάλμυρο νερό με χαμηλότερο κόστος.

Στη μέθοδο αυτή το τροφοδοτούμενο νερό βρίσκεται σένα δοχείο όπου τοποθετούνται 2 ηλεκτρόδια που διοχετεύεται συνεχές ρεύμα. Τα ιόντα κινούνται προς το ηλεκτρόδιο με την αντίθετη πολικότητα, έτσι τα θετικά φορτισμένα ιόντα μεταναστεύουν στο ηλεκτρόδιο με την αρνητική πολικότητα (κάθοδο) και τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα μεταναστεύουν στο ηλεκτρόδιο με τη θετική πολικότητα (άνοδο).

Ανάμεσα στα ηλεκτρόδια παρεμβάλλεται ένα ζευγάρι μεμβρανών αποτελούμενο από μια διαπερατή μεμβράνη ανιόντων που ακολουθείται από μια διαπερατή μεμβράνη κατιόντων, μεταξύ των μεμβρανών δημιουργείται μια δίοδος νερού απαλλαγμένο από άλατα. Αυτό είναι το νερό που παράγεται από τη μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης (ED). Η ροή του παραγόμενου νερού επιτυγχάνεται κατά μήκος μιας μεμβράνης που υπάρχει ανάμεσα στις μεμβράνες ανιόντων και κατιόντων και δημιουργεί ένα κανάλι. Στις μονάδες χρησιμοποιούνται περισσότερα από 1 ζευγάρια μεμβρανών μεταξύ των ηλεκτροδίων. Το νερό τροφοδοσίας περνά ταυτόχρονα μέσα από όλα τα ζευγάρια των μεμβρανών και έτσι παρέρχεται μια συνεχής ροή του παραγόμενου νερού καθώς και της άλμης η οποία απορρίπτεται. Στις εμπορικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση, η μονάδα αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό μεμβρανών μερικών χιλιάδων ζευγαριών. Παρακάτω στο σχήμα 2.16 φαίνεται ο τρόπος διάσπασης των μορίων του θαλασσινού νερού με τη μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης και πως μέσω των μεμβρανών γίνεται ο διαχωρισμός του καθαρού νερού από το υπόλοιπο διάλυμα (θαλασσινό νερό και άλμη).



Σχήμα 2.16 Διάσπαση των μορίων του θαλασσινού νερού-  
 Διεργασία της αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση.  
 Πηγή : <http://glossary.periodni.com>



### 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ-ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ”

Συχνά συμβαίνει σε περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη πόσιμου νερού να υπάρχουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην περιοχή, όπως ηλιακή, αιολική κ.τ.λ. Έτσι γίνεται προσπάθεια να συνδυαστούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, προκειμένου να παραχθεί πόσιμο νερό ή νερό για άλλη χρήση χωρίς να επιβαρυνθεί το περιβάλλον από τους ρύπους των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να σχεδιαστούν για να λειτουργήσουν είτε διασυνδεδεμένες με κάποιο δίκτυο ηλεκτροδότησης είτε ως αυτόνομες μονάδες. Στις αυτόνομες εγκαταστάσεις με απευθείας σύνδεση εκείνο που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά κατά τη μελέτη, είναι η μεταβλητότητα της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας ώστε να καλύπτονται πλήρως οι ενεργειακές ανάγκες της μονάδας. Αυτό επιβάλλεται επειδή η παραχθείσα ενέργεια μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της ανανεώσιμης ενέργειας και τη διαθεσιμότητα του αντίστοιχου ενεργειακού φορέα, όπως λόγω χάριν η ταχύτητα του αέρα ή το επίπεδο ηλιακής ακτινοβολίας της περιοχής, τα οποία αλλάζουν συνεχώς στη διάρκεια της ημέρας, επηρεάζουν την παραγωγή από τις ανεμογεννήτριες ή τα φωτοβολταϊκά. Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στην ενέργεια το παραγόμενο νερό μπορεί να αποθηκευτεί με χαμηλό κόστος σε μεγάλες ποσότητες και για τις μεγάλες περιόδους, έτσι η έλλειψη σταθερότητας μπορεί να ξεπεραστεί.

Όμως οι μονάδες αφαλάτωσης έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με σταθερή ενέργεια. Μια απρόβλεπτη και μη-σταθερή παροχή ενέργειας, όπως στην περίπτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αναγκάζουν τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης να λειτουργήσουν σε μη-βέλτιστες συνθήκες και μπορεί να προκληθεί πρόβλημα στη ομαλή λειτουργία της μονάδας. Με ένα επιπλέον κόστος για τη μονάδα, μπορεί να προστεθεί ένα σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης όπως είναι οι μπαταρίες, εξασφαλίζοντας έτσι πάντα μια σταθερή ποσότητα ενέργειας και κατά συνέπεια ομαλή λειτουργία στη μονάδα αφαλάτωσης.

Στο σχεδιασμό αυτόνομων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ανανεώσιμη πηγή είναι αυτή που θα επιτρέψει το συνδυασμό της με κάποια τεχνολογία αφαλάτωσης. Η έλλειψη οποιουδήποτε μέσου αποθήκευσης, σημαίνει ότι η παραγόμενη ισχύς από την εγκατάσταση ΑΠΕ πρέπει να ισούται με αυτή που καταναλώνεται με τη διαδικασία αφαλάτωσης. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δυστυχώς δεν υπάρχει μια φυσική ισορροπία δεδομένου ότι οι ενεργειακοί φορείς των περισσότερων ΑΠΕ είναι μεταβαλλόμενοι. Η βασική πρόκληση λοιπόν είναι να δημιουργηθούν συστήματα ικανά να επιτύχουν αυτήν την ισορροπία.



Πίνακας 3.1 Αποδοτικοί και ενδεικνύομενοι συνδυασμοί μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ

	Μέθοδος αφαλάτωσης				
	MSF	MED	VC	RO	ED
Είδος ενέργειας					
Αιολική			NAI	NAI	NAI
Φωτοβολταϊκά				NAI	NAI
Ηλιακοί συλλέκτες	NAI	NAI			
Γεωθερμία	NAI	NAI			

Η απαίτηση των τεχνολογιών αφαλάτωσης για σταθερή ισχύ και συνεχή λειτουργία προϋποθέτει ιδιαίτερο σχεδιασμό και χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα. Για τη μείωση του κόστους έχουν γίνει προσπάθειες να μην χρησιμοποιηθούν συσσωρευτές που εξασφαλίζουν αποθήκευση ενέργειας και σταθερή παροχή ισχύος στη μονάδα αφαλάτωσης σε αυτόνομα συστήματα. Συστήματα που αναπτύχθηκαν και λειτούργησαν χωρίς τη χρήση συσσωρευτών, είναι μόνο μικρές εγκαταστάσεις ικανές για τις ανάγκες 1-2 σπιτιών και κάποιες άλλες λίγο μεγαλύτερες που όμως δεν έχουν αποδείξει ότι μπορούν να λειτουργούν χωρίς προβλήματα και γι αυτό το λόγο δεν θεωρούνται αξιόπιστες.

### 3.1 Χρήση της ηλιακής ενέργειας σε θερμικές τεχνολογίες αφαλάτωσης

Οι ηλιακές θερμικές εγκαταστάσεις απόσταξης περιλαμβάνουν ηλιακούς συλλέκτες, όπου θερμαίνεται κάποιο υγρό το οποίο λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας και χρησιμοποιείται για να θερμάνει το νερό τροφοδοσίας που κυκλοφορεί μέσα στα στάδια των εγκαταστάσεων απόσταξης. Οι συλλέκτες πρέπει να είναι σε θέση να θερμάνουν το υγρό σε τέτοια θερμοκρασία έτσι ώστε το νερό που θα τροφοδοτεί την εγκατάσταση αφαλάτωσης να είναι μεταξύ 70 °C και 120 °C.

Η ηλιακή ενέργεια για θέρμανση μπορεί να αξιοποιηθεί με επίπεδους ή παραβολικούς συλλέκτες, αυτό εξαρτάται από την επιθυμητή θερμοκρασία του νερού και από το μέγεθος της εγκατάστασης. Ένα σημαντικό μέρος του συστήματος είναι κάποιο είδος συσώρευσης θερμότητας ή αποθήκευση της σε δεξαμενές, προκειμένου να διατηρηθεί το νερό τροφοδοσίας στην απαραίτητη θερμοκρασία και να μπορεί να λειτουργήσει η μονάδα κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε μέρες όπου υπάρχει συννεφιά.

Μια τέτοια μονάδα αφαλάτωσης μπορεί να λειτουργεί είτε με πολυβάθμια εκτόνωση (MSF) είτε με πολυβάθμια εξάτμιση (MED). Όπως σε όλες τις θερμικές διαδικασίες, έτσι



και στην απόσταξη απαιτείται υψηλό ποσό ενέργειας για την αλλαγή της θερμοκρασίας του νερού και στα στάδια της μονάδας. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται είναι ως επί των πλείστον για τις ανάγκες άντλησης της μονάδας καθώς και για τα συστήματα ελέγχου και λειτουργίας. Για τις μονάδες πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF), η αναλογία απόδοσης αυξάνεται με τη θερμοκρασία, έτσι προτιμώνται οι υψηλές θερμοκρασίες μέχρι 120 °C. Οι μονάδες MED λειτουργούν σήμερα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες περίπου 70 °C. Ο συνδυασμός ηλιακών θερμικών και αφαλάτωσης, ενδείκνυται για εγκαταστάσεις μεσαίας και μεγάλης δυναμικότητας γιατί προσφέρουν μεγάλη σταθερότητα στο σύστημα, κάτι που δε συμβαίνει με στις μικρές εγκαταστάσεις.



Σχήμα 3.1 Αφαλάτωση με πολυβάθμια εξάτμιση (MED) με συνδυασμό ηλιακών συλλέκτων στην ALEMRIA της Ισπανίας. Δυναμικότητα μονάδος 72 κβ/ημέρα.  
Πηγή : ProDes project

Εγκαταστάσεις σαν αυτές του σχήματος 3.1 που λειτουργούν με τη μέθοδο πολυβάθμιας εξάτμισης (MED) υπάρχουν στην Πάφο της Κύπρου, στο Ομάν 1 κβ/ημέρα, στη νήσο Takami της Ιαπωνίας 16 κβ/ημέρα, στο Abu Dhabi στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα 80-120 κβ/ημέρα. Ενώ με τη μέθοδο αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) υπάρχουν μονάδες στη νήσο Lampedusa νότια της Ιταλίας 7,2 κβ/ημέρα ,στην περιοχή La Paz στο Μεξικό 110 κβ/ημέρα, στην Safat στο Κουβέιτ 10 κβ/ημέρα. Υπάρχουν αρκετές ακόμη μικρότερης δυναμικότητας κυρίως στη Μέση Ανατολή.

Στην Ελλάδα στα νησιά Νίσυρος, Κίμωλος, Κεφαλλονιά, Ιθάκη και Καστελόριζο υπάρχουν εγκαταστάσεις ηλιακής απόσταξης για την ύδρευση με πόσιμο νερό με μέση επιφάνεια εξάτμισης 2.450 m<sup>2</sup>. Οι εγκαταστάσεις αυτές σχεδιάστηκαν να παράγουν ανάλογα με την κατασκευαστική διάταξη και το κλίμα από 7,5 μέχρι 15 κβ πόσιμο νερό ανά τετραγωνικό την ημέρα. Η παλαιότερη μονάδα αφαλάτωσης στην Πάτμο. Η μονάδα αυτή είχε επιφάνεια εξάτμισης 8,665 m<sup>2</sup> και παρήγαγε κατά μέσο όρο 25.000 λίτρα νερού την ημέρα. Η δεξαμενή που ήταν γεμάτη με θαλασσινό νερό είχε επενδυθεί με μαύρο φύλλο βουτυλικού ελαστικού. Το θαλασσινό νερό που επικαλυπτόταν με γυαλί είχε βάθος μόνο 2cm έφθανε τους 60-70° C με την θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και αλλαζόταν κάθε 2-4 ημέρες ανάλογα με την εποχή του έτους. Στα νησιά Σύμη και Αίγινα οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (που αργότερα σταμάτησαν να λειτουργούν) είχαν καλυφθεί με πλαστικό, ενώ στην Πάτμο με γυαλί. Σε σύγκριση με αυτές τις δύο πρωτοπόρους εγκαταστάσεις η εγκατάσταση της Πάτμου παρουσίαζε αξιοσημείωτες βελτιώσεις.



### 3.2 Χρήση της ηλιακής ενέργειας σε τεχνολογίες αφαλάτωσης με μεμβράνες

Οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με μεμβράνες, μπορούν να συνδυαστούν με φωτοβολταϊκά, τόσο με την μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης με απευθείας χρήση του συνεχούς ρεύματος που παράγεται όσο και για αντίστροφη όσμωση. Το κύριο πλεονέκτημα των συστημάτων αφαλάτωσης που συνδυάζουν φωτοβολταϊκά είναι η δυνατότητα να αναπτυχθούν από μικρές έως και μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης.

Η μονάδα παραγωγής ενέργειας αποτελείται από διάφορες φωτοβολταϊκές γεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς τάσης (DC). Οι κατάλληλες διαδικασίες αφαλάτωσης για αυτόν τον συνδυασμό πρέπει να χρησιμοποιήσουν την ηλεκτρική ενέργεια. Επομένως, η αντίστροφη όσμωση (RO) και η ηλεκτροδιάλυση (ED) εμφανίζονται ως καταλληλότερες επιλογές για να συνδεθούν με τα συστήματα φωτοβολταϊκών γεννητριών.

Η αντίστροφη όσμωση χρησιμοποιεί συνήθως το εναλλασσόμενο ρεύμα για τις αντλίες, το οποίο σημαίνει ότι χρησιμοποιούνται αναστροφείς DC/AC για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγουν τα φωτοβολταϊκά. Η ηλεκτροδιάλυση χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα (DC) για τα ηλεκτρόδια οπότε μπορεί να δεχτεί το ρεύμα των φωτοβολταϊκών χωρίς την μετατροπή του. Η αποθήκευση της ενέργειας είναι πάλι ένα θέμα που απασχολεί και τις δυο μεθόδους αφαλάτωσης και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μπαταρίες για την λειτουργία του συστήματος τόσο για τις περιόδους με μη ικανοποιητική ηλιακή ακτινοβολία όσο και για τη σταθερότητα που προσφέρουν στο σύστημα με τον καλύτερο έλεγχο και τη διαχείριση της ενέργειας.



Σχήμα 3.2 Αυτόνομη μονάδα αντίστροφης όσμωσης με φωτοβολταϊκά στην Τυνησία  
Πηγή : ProDes project, ITC



### 3.3 Χρήση της αιολικής ενέργειας σε τεχνολογίες αφαλάτωσης

Η αφαλάτωση με αιολική ενέργεια, χρησιμοποιείται ευρέως τόσο με συνδυασμό με αντίστροφη όσμωση αλλά και με μηχανική επανασυμπίεση ατμού. Και στις 2 μεθόδους, η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τις διεργασίες της αφαλάτωσης, είναι αυτή που παράγεται από ανεμογεννήτρια.

Στην περίπτωση της αντίστροφης όσμωσης το ρεύμα που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες καταναλώνεται στις αντλίες του συστήματος ενώ στην επανασυμπίεση ατμών, χρησιμοποιείται τόσο στις αντλίες όσο και στους συμπιεστές με τους οποίους παράγεται η απαραίτητη θερμότητα για την εξάτμιση του νερού.

Ορισμένες μονάδες αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια με μηχανική συμπίεση ατμού είναι σήμερα σε λειτουργία στο νησί Ruegen στη Γερμανία και μια άλλη εγκατάσταση υπάρχει στο νησί Gran Canaria στην Ισπανία.

### 3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας

Όταν η ζήτηση νερού είναι αυξημένη, όπως το καλοκαίρι όπου η τουριστική περίοδος αυξάνει τον πληθυσμό στα νησιά, είναι μεγάλη και η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ, όπως η ηλιακή ενέργεια και η αιολική. Οπότε αν συνδυαστεί με μια μονάδα αφαλάτωσης για την κάλυψη της ζήτησης σε νερό με κάποια μονάδα ΑΠΕ ώστε να καλύψει όλη την απαιτούμενη ενέργεια, τότε δεν επιβαρύνεται το δίκτυο ηλεκτροδότησης του νησιού με την ενέργεια που χρειάζεται η μονάδα για να λειτουργήσει. Παράλληλα δεν εκπέμπονται επιπλέον ρύποι μιας και οι ΑΠΕ δεν έχουν εκπομπές ρύπων. Είναι φιλικές προς το περιβάλλον εν αντιθέσει με τις ντιζελογεννήτριες που παραδοσιακά έχουν όλα τα νησιά προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες τους σε ηλεκτρισμό.

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά πάρκα δε χρειάζονται μεγάλη συντήρηση όπως οι ντιζελογεννήτριες οι οποίες προκειμένου να γίνει η συντήρησή τους, μένουν εκτός συστήματος αρκετές μέρες. Η διείσδυση των ΑΠΕ στις εφαρμογές αφαλάτωσης που υπάρχουν ανά τον κόσμο είναι σχετικά μικρή ακόμα, αν και τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση για ανατροπή αυτής της κατάστασης. Οι αιτίες για αυτή την μικρή συμμετοχή είναι ποικίλες και συχνά συνδέονται μεταξύ τους.

Ο πρώτος λόγος έχει να κάνει με τεχνολογικά ζητήματα, που αφορούν τόσο τις ΑΠΕ όσο και τις μεθόδους αφαλάτωσης. Αν και τα 2 βρίσκονται σ'ένα ώριμο στάδιο, υπάρχουν ακόμα περιθώρια για περαιτέρω βελτίωση. Ανασταλτικός παράγοντας είναι και το κόστος της επένδυσης, ειδικά όσο αφορά την παραγωγή της ενέργειας. Αν και οι τιμές είναι σε διαρκή καθοδική πορεία, το κόστος των τεχνολογιών ΑΠΕ και των έργων υποδομής γι αυτές, δημιουργούν έναν χρόνο απόσβεσης γύρω στα 10 χρόνια. Βέβαια η αξία του πόσιμου νερού σε περιοχές που δεν έχουν την δυνατότητα, δεν πρέπει να συνδέεται με οικονομικά μεγέθη.



Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υπάρχουν στο μεγαλύτερο ποσοστό τους παντού όπως αιολική, ηλιακή και λιγότερο οι υπόλοιπες, δεν εξαντλούνται, όμως τίθενται περιορισμοί στη μέγιστη αξιοποίηση τους. Η γεωγραφική τους διασπορά προκαλεί ένα ακόμα πρόβλημα καθώς η θέση στην οποία συμφέρει να γίνει η εκμετάλλευσή τους μπορεί να μην συμπίπτει με τον τόπο όπου υπάρχει το πρόβλημα της λειψυδρίας.

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

Πολύ σημαντική είναι και η επιλογή της μορφής ΑΠΕ που θα εφαρμοστεί με την κατάλληλη για αυτή μέθοδο αφαλάτωσης. Σε περίπτωση που δε γίνει η βέλτιστη επιλογή, το αποτέλεσμα είναι το σύστημα να έχει χαμηλότερη απόδοση, να υπολειτουργεί, να εμφανίζει προβλήματα και σφάλματα ακόμα και να προκληθεί καταστροφή κάποιων τμημάτων της μονάδας.

Ανάλογα με την πηγή ενέργειας που έχει επιλεγεί, η ενέργεια που θα παράγεται μπορεί να είναι και σε διαφορετική μορφή. Οι πιθανές μορφές είναι η θερμική, η ηλεκτρική και η μηχανική ενέργεια. Επίσης κάποιες φορές, για λόγους αξιοπιστίας και συνεχόμενης λειτουργίας, επιλέγεται συνδυασμός δύο πηγών ενέργειας, όπου αυτό είναι εφικτό, όχι όμως για μεγάλες μονάδες. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα είναι υβριδικό.

Όσο αφορά την προσαρμογή της μορφής ΑΠΕ που θα επιλεγεί με την μέθοδο αφαλάτωσης, με εξαίρεση κάποιους βασικούς κανόνες, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο γενικό συμπέρασμα. Οι τελικές επιλογές πρέπει να γίνουν με βάση κάποια τοπικά στοιχεία και παραμέτρους. Αυτά τα τοπικά στοιχεία είναι οι γεωγραφικές συνθήκες, η τοπογραφία της περιοχής, η χωρητικότητα της διάταξης και η ενέργεια που είναι διαθέσιμη σε χαμηλό κόστος, η ύπαρξη των τοπικών υποδομών, η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε άλατα και άλλα στερεά.

Κάποια πιο γενικά κριτήρια είναι η ανθεκτικότητα του συστήματος, η απλότητα της λειτουργίας, το χαμηλό κόστος συντήρησης, το μέγεθος της κατασκευής, η εύκολη μεταφορά του εξοπλισμού στην τοποθεσία, η διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας και η αντοχή του σε αντίξοες συνθήκες που ενδεχομένως να επικρατούν στις απομονωμένες περιοχές. Ο γενικός κανόνας πάντως είναι να συνδυάζονται τεχνολογίες θερμικής ενέργειας με θερμικές διαδικασίες αφαλάτωσης και ηλεκτρομηχανικές τεχνολογίες με διαδικασίες αφαλάτωσης που απαιτούν ηλεκτρική ή μηχανική ισχύ. Οι πιο συνήθεις εφαρμογές είναι η χρήση της αντίστροφης όσμωσης με αιολική ενέργεια ή ενέργεια από φωτοβολταϊκά και ηλιακή θερμική ενέργεια με τεχνολογίες απόσταξης. Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τυχαίος και παροδικός χαρακτήρας που έχουν οι περισσότερες από τις ΑΠΕ καθώς υπάρχει αδυναμία πρόβλεψης για το μέλλον και δυσκολίες στον προγραμματισμό. Αυτή η συμπεριφορά πάντως, δεν πρέπει να εκπλήσσει καθώς οι περισσότερες μορφές ΑΠΕ εξαρτώνται από στοιχεία της φύσης, όπως η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία, των οποίων οι ακριβείς τιμές είναι δύσκολο να προβλεφθούν.



## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ-ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ”

#### 4.1 Μεθοδολογία υπολογισμού και διαστασιολόγησης μονάδων αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ.

Η μεθοδολογία υπολογισμού και διαστασιολόγησης μιας μονάδας αφαλάτωσης με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως το είδος του νερού (θαλασσινό ή υφάλμυρο), τη διαθεσιμότητα της ανανεώσιμης πηγής που έχει να κάνει με την τοποθεσία, τις ανάγκες για πόσιμο νερό και τους οικονομικούς περιορισμούς οι οποίοι συνδέονται και με όλα τα παραπάνω. Στόχος πάντα είναι ένα βέλτιστο οικονομοτεχνικά σύστημα. Το σύστημα θα πρέπει να είναι αξιόπιστο, χωρίς δυσλειτουργίες που έχουν να κάνουν με τη μη επάρκεια της ενέργειας λόγω λανθασμένης μελέτης στον υπολογισμό του δυναμικού στην περιοχή της εγκατάστασης.

Μία σωστή διαστασιολόγηση, βασίζεται στον αριθμό των κατοίκων τις περιοχής και τις ανάγκες τους, καθώς και στα χαρακτηριστικά του προς αφαλάτωση νερού. Με βάση τα δεδομένα της περιοχής και κυρίως τα κλιματολογικά, επιλέγεται η ΑΠΕ η οποία θα τροφοδοτεί τη μονάδα αφαλάτωσης η οποία είναι η βέλτιστη για την κάλυψη των αναγκών σε νερό. Με βάση λοιπόν τις ανάγκες σε νερό, γίνεται ο υπολογισμός του μεγέθους της μονάδας αφαλάτωσης. Αφού υπολογιστεί η μονάδα συμπεριλαμβανομένων και των ενεργειακών αναγκών της, γίνεται υπολογισμός τόσο της απαιτούμενης ισχύος λειτουργίας όσο και της απαιτούμενης ενέργειας.

Όμως σε κάποιες περιπτώσεις η μεθοδολογία αυτή αντιστρέφεται ξεκινώντας ανάποδα όταν συντρέχουν οικονομικοί περιορισμοί με συνέπεια συμβιβασμό στο τελικό προϊόν. Για παράδειγμα σε περιοχές της Αφρικής όπου εκεί εκτός από τη έλλειψη υδάτινων πόρων, υπάρχει φτώχεια, έχουν εγκατασταθεί κάποιες μονάδες αφαλάτωσης οι οποίες δεν καλύπτουν όλες τις ανάγκες σε νερό αλλά μέρος αυτών. Έτσι σε τέτοιες περιπτώσεις γίνεται συμβιβασμός στην ποσότητα του νερού.

#### 4.2 Κριτήρια επιλογής και παράμετροι του συστήματος

##### 4.2.1 Παράμετροι μονάδας αφαλάτωσης

Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια μονάδα αφαλάτωσης έχει ένα σημαντικό κόστος, θα πρέπει στο μέτρο του δυνατού αυτό να μειωθεί. Ένας τρόπος για αυτό είναι η σωστή επιλογή της τοποθεσίας όπου θα γίνει η μονάδα. Για το λόγο αυτό εξετάζονται τα παρακάτω κριτήρια:

- i. Να είναι σχετικά κοντά οικισμό που θα υδροδοτηθεί
- ii. Να είναι κοντά παράκτιες περιοχές για να αποφευχθεί η διέλευση αγωγών θαλάσσιου νερού και άλμης διαμέσου γεωργικής ή άλλης γης με κίνδυνο τη ρύπανση σε περίπτωση ατυχήματος.
- iii. Η θαλάσσια περιοχή να προσφέρει καλής ποιότητας νερό, χωρίς αυξημένο κίνδυνο μόλυνσης ή ρύπανσης από παρακείμενες βιομηχανικές ή άλλες δραστηριότητες όπου θα έχει αποτέλεσμα να επηρεάζει την απόδοση και τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης. Για παράδειγμα μία ενδεχόμενη μόλυνση από πετρελαιοειδή, μπορεί να καταστρέψει από φίλτρα λήψης και προεργασίας ακόμη και τις μεμβράνες μιας μονάδας αν πρόκειται για αντίστροφη όσμωση, με αποτέλεσμα το παραγόμενο νερό είτε να μην είναι κατάλληλο για χρήση, είτε να μην είναι επαρκές μιας και η μονάδα ενδεχομένως θα υπολειτουργεί.
- iv. Ο χώρος να είναι κοντά σε άλλα δίκτυα υδροδότησης για την εύκολη και γρήγορη σύνδεση των μονάδων με τα κεντρικά συστήματα μεταφοράς νερού. Επίσης ένα αντλιοστάσιο κοντά στην εγκατάσταση, εξασφαλίζει εξοικονόμηση χρηματικών πόρων αφού δε θα γίνουν επιπλέον έργα προκειμένου να συνδεθεί η μονάδα με το υφιστάμενο δίκτυο.
- v. Ο χώρος να είναι εκτός περιοχών όπου υπάρχει συχνή ανθρώπινη παρουσία, όπως παραλίες που προσφέρονται για κολύμπι λόγω απόρριψης της άλμης.
- vi. Ο χώρος να είναι μακριά από περιοχές οι οποίες προστατεύονται περιβαλλοντικά από διεθνείς και εθνικές συνθήκες.

#### 4.2.2 Παράμετροι μονάδος ΑΠΕ

Η μονάδα ΑΠΕ είναι αυτή που θα προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια για να λειτουργήσει η αφαλάτωση και αποτελεί βασικό στοιχείο του συστήματος αφού το σύστημά θα λειτουργεί αυτόνομα. Για το λόγο αυτό εξετάζονται τα παρακάτω:

- i. Το σημείο που θα επιλεγεί θα πρέπει να έχει ικανό δυναμικό ΑΠΕ (αιολικό, ηλιακό, γεωθερμικό) ώστε να κατασκευαστεί μια μονάδα που θα επιτρέπει αφενός μεν να καλύπτονται οι ανάγκες σε ηλεκτροδότηση της μονάδας αφαλάτωσης και αφετέρου να εξασφαλίζει μια σταθερότητα στο σύστημα.
- ii. Να είναι κοντά στην μονάδα αφαλάτωσης (φορτίο) ώστε να είναι μικρό το κόστος μεταφοράς αλλά και να μειωθούν οι απωλειών.



- iii. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το υφιστάμενο δίκτυο διανομής εφόσον έχει την απαιτούμενη ικανότητα φόρτισης και γειτνιάζει με τη μονάδα αφαλάτωσης. Επίσης θα πρέπει να μην επέρχεται αστάθεια του δικτύου από τη χρήση ΑΠΕ με τη σύνδεση τους στο υφιστάμενο δίκτυο διανομής.
- iv. Να πληρεί τη νομοθεσία σχετικά με τα όρια από οικισμούς, από προστατευόμενες περιοχές κλπ.
- v. Να ληφθούν σοβαρά υπόψιν οι πιθανές αντιδράσεις της τοπικής κοινωνίας, οι οποίες κυρίως λόγω ελλιπούς ενημέρωσης γύρω από τις ΑΠΕ συχνά παρεμποδίζουν την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων με διάφορα προσχήματα όπως τα φωτοβολταϊκά είναι ραδιενεργά, ή οι ανεμογεννήτριες κόβουν τη θέα, ή από το γεωθερμικό πεδίο βγαίνουν οσμές κλπ.

#### 4.2.3 Σύνοψη παραμέτρων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι παράμετροι που επηρεάζουν το σύστημα αλληλεπιδρούν μεταξύ των 2 μονάδων και σε κάποιες περιπτώσεις ταυτίζονται. Υπάρχουν παράγοντες που δεν μπορούν να αγνοηθούν όπως είναι ο ανθρώπινος, η οικονομική διάσταση του συστήματος, η αξιοπιστία-καλή λειτουργία των μονάδων καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος.

Δεν υπάρχει ένας συνδυασμός παραμέτρων με τον οποίο προκύπτει το καλύτερο αποτέλεσμα, αλλά υπάρχουν οι βέλτιστοι συνδυασμοί για κάθε περίπτωση. Διαφορετικά ισχύουν αν σε ένα νησί αν επιλεγεί αντίστροφη όσμωση με φωτοβολταϊκά και διαφορετικά αν για το ίδιο νησί επιλεγεί αντίστροφη όσμωση με ανεμογεννήτριες. Εξετάζοντας τις παραμέτρους προκύπτουν κάποια συμπεράσματα που οδηγούν στο να γίνουν κάποιοι συμβιβασμοί προκειμένου να ικανοποιηθούν τα περισσότερα από τα κριτήρια που ορίστηκαν. Για κάθε συμβιβασμό που γίνεται πρέπει να υπολογίζεται ο αντίκτυπος που έχει, ο οποίος μπορεί να είναι οικονομικός, περιβαλλοντικός είτε με τη δυναμικότητα του συστήματος και την αξιοπιστία του.

## 5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ”

Στη παρούσα εργασία θα γίνει μελέτη μιας ενεργειακά αυτόνομης μονάδος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση για την κάλυψη αναγκών ενός νησιωτικού παράκτιου οικισμού. Οικισμός αυτός υδροδοτείται με υδροφόρο πλοίο 1 φορά την εβδομάδα, για το λόγο αυτό υπάρχει ένα αντλιοστάσιο στην περιοχή και δεξαμενές αποθήκευσης του νερού.

#### 5.1 Υπολογισμός μονάδας αφαλάτωσης

Αρχικά υπολογίζονται οι ανάγκες σε νερό για τον οικισμό. Για κάθε κάτοικο νησιωτικής περιοχής, αντιστοιχούν 160-200 λίτρα την ημέρα. Η ποσότητα αυτή καλύπτει όλες τις καθημερινές ανάγκες ενός σύγχρονου νοικοκυριού για πλύση ρούχων, πιάτων και μαγειρέματος. Επίσης περιλαμβάνεται η κατανάλωση νερού για πόση, για την ατομική καθαριότητα και υγιεινή των κατοίκων, καθώς και για πότισμα λουλουδιών ή μικρού κήπου ή άλλων χρήσεων.

Οπότε σε ένα νησιωτικό οικισμό 50 κατοίκων, με βάση τη μεγαλύτερη ημερήσια κατανάλωση θα έχουμε :

$$V_{οικ} = 50 * 200 \text{lt} = 10.000 \text{lt} = 10 \text{m}^3 / \text{day}$$

Άρα για να καλύψουμε τις ημερήσιες ανάγκες του οικισμού, χρειαζόμαστε μια μονάδα αφαλάτωσης με δυναμικότητα  $10 \text{m}^3 / \text{day}$  (κυβικά / ημέρα). Από τον κατάλογο της εταιρίας ΤΕΜΑΚ επιλέγουμε το μοντέλο TSW 19 το οποίο έχει δυναμικότητα παραγωγής πόσιμου νερού  $11 \text{m}^3 / \text{day}$  από θαλασσινό νερό με  $\text{TDS} = 42.000 \text{ppm}$ .

Υπολογίζουμε ότι η μονάδα θα βγαίνει εκτός παραγωγής για 30 λεπτά της ώρας μέσα στη διάρκεια της μέρας, προκειμένου να γίνει το ξέπλυμα των μεμβρανών με γλυκό νερό. Το ξέπλυμα διαρκεί περίπου 15 λεπτά της ώρας και καταναλώνεται νερό λιγότερο από  $0,5 \text{m}^3$ . Αυτή η διαδικασία είναι σημαντική για τη διάρκεια ζωής των μεμβρανών, καθώς με τον τρόπο αυτό προστατεύονται από τη φθορά που τους προκαλούν τα άλατα.

Η ισχύς που καταναλώνει η μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης TSW 19 είναι 2.200 Watt για την αντλία υψηλής πίεσης και περίπου 100 Watt για τις δοσομετρικές αντλίες, τα όργανα μέτρησης και λοιπές μικροκαταναλώσεις της μονάδας.



Ο υπολογισμός της αντλίας τροφοδοσίας γίνεται με βάση την αναλογία του νερού τροφοδοσίας προς το νερό παραγωγής της μονάδας.

Για  $100 \text{ m}^3$  θαλασσινό νερό που τροφοδοτείται η μονάδα αντίστροφης όσμωσης, παράγονται  $40 \text{ m}^3$  καθαρό αφαλατωμένο νερό και  $60 \text{ m}^3$  άλμη. Οπότε για να παραχθούν από τη μονάδα αντίστροφης όσμωσης  $11 \text{ m}^3$  θα απαιτηθεί μια αντλία η οποία θα έχει δυναμικότητα :

$$Q = 0,4 * 11 = 27,5 \text{ m}^3 / \text{day} = 1,15 \text{ m}^3 / \text{hour}$$

Θεωρούμε ότι η μονάδα αντίστροφης όσμωσης θα εγκατασταθεί σε παράκτια περιοχή (2 έως 5 m από την επιφάνεια της θάλασσας) ενώ το θαλασσινό νερό θα αντλείται από βάθος τουλάχιστον 5 m από την επιφάνεια της θάλασσας και 2 m από το βυθό της . Έτσι επιλέγεται μια αντλία κατάλληλη για θαλασσινό νερό με παροχή  $1,15 \text{ m}^3 / \text{hour}$  και μανομετρικό ύψος 15 m.

Η αντλία που επιλέγεται είναι η CRT 2-2 της Grundfos , η οποία δίνει παροχή νερού  $1,15 \text{ m}^3 / \text{hour}$  σε μανομετρικό ύψος 17,9 m και η ισχύς της είναι 0,37 kW

## 5.2 Υπολογισμός του Φ/Β σταθμού

### 5.2.1 Θεωρητική προσέγγιση

Για τον υπολογισμό του φωτοβολταϊκού σταθμού που θα ηλεκτροδοτήσει τη μονάδα αντίστροφης όσμωσης, πρέπει να υπολογίσουμε τις καταναλώσεις που έχει η μονάδα. Η μονάδα αντίστροφης όσμωσης, αποτελείται από μία αντλία υψηλής πίεσης, την αντλία που τροφοδοτεί τη μονάδα με θαλασσινό νερό, τις δοσομετρικές αντλίες και τα όργανα μέτρησης της μονάδος, επίσης στις καταναλώσεις περιλαμβάνουμε και τον φωτισμό του χώρου που θα εγκατασταθεί η μονάδα.

Πίνακας 5.1 Πίνακας φορτίων του συστήματος

Φορτίο	Ισχύς (Watt)
Αφαλάτωση (αντλία υψηλής πίεσης)	2200
Αντλία τροφοδοσίας	370
Δοσομετρικές + όργανα μέτρησης	100
Φωτισμός χώρου μονάδος	72
Αυτοκατανάλωση αντιστροφέα	25
ΣΥΝΟΛΟ	2767

Οπότε για την 24ωρη λειτουργία της μονάδος απαιτούνται

$$P_{0\lambda} = 2.767 \text{ W} * 24 \text{ h} = 66.408 \text{ Wh} = 66,41 \text{ kWh}$$

Πίνακας 5.2 Ηλιακά δεδομένα της περιοχής για γωνία 30°

Μήνας	Προσπίπτουσα ακτινοβολία (kWh/m <sup>2</sup> )	Μέση ημερήσια ακτινοβολία (kWh/m <sup>2</sup> )/day
Ιανουάριος	86,0	2,77
Φεβρουάριος	94,4	3,37
Μάρτιος	134	4,33
Απρίλιος	167	5,58
Μάιος	189	6,1
Ιούνιος	198	6,6
Ιούλιος	202	6,52
Αύγουστος	199	6,4
Σεπτέμβριος	173	5,77
Οκτώβριος	134	4,31
Νοέμβριος	84,6	2,82
Δεκέμβριος	71,4	2,3

Με την προϋπόθεση ότι η μονάδα θα λειτουργεί όλο τον χρόνο χρησιμοποιώ τη δυσμενέστερο μήνα του έτους που είναι ο Δεκέμβριος. Για τον υπολογισμό επιλέγουμε τη μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία του μήνα Δεκέμβρη . Οπότε για την ισχύ των Φ/Β, θα έχουμε :

$$P = \frac{E_{\phi}}{H_T} = \frac{66.408 \text{ Wh}}{\frac{2.300 \text{ Wh/m}^2}{1.000 \text{ W/m}^2}} = 28.873 \text{ W} = 28,9 \text{ kW}$$

όπου

$E_{\phi}$  = Κατανάλωση ενέργειας του φορτίου

$H_T$  = Μέση ημερήσια ακτινοβολία

$G_{STC}$  = Ακτινοβολία σε κανονικές συνθήκες (1.000 W / m<sup>2</sup>)



Άρα αν επιλέξω φ/β γεννήτριες με ισχύ 235 Watt τότε θα έχω :

$$\text{Αριθμός πλαισίων} = \frac{28.873 \text{ W}}{235 \text{ W}} = 123$$

Επειδή ο Φ/β σταθμός είναι 28,9 kW επιλέγεται τάση λειτουργίας τα 48 Volt για τον υπολογισμό των μπαταριών με στόχο να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερης χωρητικότητας μπαταρίες, καθώς τα στοιχεία μεγάλης χωρητικότητας (άνω των 2500Ah), δεν είναι εύκολο να κατασκευαστούν, έχουν μεγαλύτερο κόστος και βάρος. Αν για παράδειγμα επιλεγόταν η τάση των 24 Volt τότε θα χρειαζόμασταν διπλάσιας χωρητικότητας στοιχεία από αυτά που υπολογίζονται παρακάτω.

Τα συνολικά Ah που θα απορροφά το σύστημα την ημέρα είναι :

$$I = \frac{P_{ολ}}{V} = \frac{66.408}{48} = 1.383,5 \text{ Ah}$$

Για τους συσσωρευτές γίνεται η παραδοχή ότι θα καλύπτουν 4 συνεχόμενες σκοτεινές μέρες, δηλαδή η μονάδα αντίστροφης όσμωσης θα μπορεί να λειτουργεί και κατά τις μέρες με συννεφιά όπου η παραγωγή των φωτοβολταϊκών είναι μειωμένη. Οπότε τα συνολικά Ah που απαιτούνται είναι :

$$C = 1.383,5 * 4 = 5.534 \text{ Ah}$$

όμως οι μπαταρίες επηρεάζονται από τη βαθιά εκφόρτιση τους, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τον βαθμό απόδοσής τους. Η μέγιστη ημερήσια εκφόρτιση που προτείνεται από τους κατασκευαστές των συσσωρευτών, είναι 20-25 %.

Άρα για τη συνολική χωρητικότητα προκύπτει :

$$C_{ολ} = \frac{C * n_1}{n_2 * n_3} * n_4 = \frac{5.534 * 0,8}{0,85 * 0,976} * 1,2 = 6.403,86 \text{ Ah}$$

όπου

$n_1$ : Βάθος εκφόρτισης (DOD)

$n_2$ : Βαθμός απόδοσης συσσωρευτών

$n_3$ : Θερμοκρασιακός συντελεστής για 35° C

$n_4$ : Απώλειες συστήματος τροφοδοσίας μπαταριών

### 5.2.2 Τεχνική μελέτη Φ/Β σταθμού

Με βάση το φορτίο που υπολογίστηκε παραπάνω θα γίνει τεχνική μελέτη με τη βοήθεια του προγράμματος siemens sizing με τα διαθέσιμα από την αγορά προϊόντα. Το πρόγραμμα αυτό περιέχει βάσεις δεδομένων για ηλιακά δεδομένα καθώς και τεχνικά στοιχεία κάποιων υλικών.

Στο πρόγραμμα εισάγονται τα παρακάτω στοιχεία για την εγκατάστασή μας :

- 1) Την κατανάλωση του συστήματος όπως την υπολογίσαμε στο θεωρητικό μέρος με βάση τα φορτία και τις ώρες λειτουργία τους, σε Wh / day.
- 2) Τον αριθμό ημερών αυτονομίας που επιθυμούμε να έχει το σύστημα σε μέρες με μειωμένη ή χωρίς ηλιοφάνεια (σκοτεινές μέρες).
- 3) Την τοποθεσία του συστήματος
- 4) Την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος, (π.χ. όλο το χρόνο ή επιλεγμένους μήνες και ημέρες)
- 5) Την τάση λειτουργίας του συστήματος.
- 6) Την χωρητικότητα των μπαταριών κατα προσέγγιση με βάση τους θεωρητικούς υπολογισμούς

Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται ως βοηθητικό εργαλείο για μελέτες αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα αποτελέσματα που εξάγει στηρίζονται σε βάσεις δεδομένων που περιέχουν μεταξύ άλλων την προσπίπτουσα ακτινοβολία στην τοποθεσία που ορίσαμε, τη θερμοκρασία καθώς επίσης και την ακτινοβολία που αντανακλάται από τους διάφορους τύπους εδάφους. Επιπλέον η βάση δεδομένων περιλαμβάνει λεπτομερή στοιχεία για διάφορους τύπους και μοντέλα φωτοβολταϊκών γνωστών κατασκευαστών καθώς επίσης και μπαταριών. Ουσιαστικά με το πρόγραμμα αυτό έγινα κάποιοι επιπλέον υπολογισμοί που δεν θα μπορούσαν να γίνουν θεωρητικά απουσία της βάσης δεδομένων.

Εισάγοντας τα δεδομένα αυτά το πρόγραμμα μας βγάζει τα παρακάτω αποτελέσματα :



Siemens Solar

STAND-ALONE SYSTEM DESIGN PROGRAM (PV/BATTERY) Ver 5.3 1/14/91

-----  
DATE: CUSTOMER:  
OPER: ADDRESS:

APPLICATION: INDUSTRIAL D.C.

-----  
INSOLATION DATA LOCATION: CYCLADES ISLAND,GREECE

LATITUDE: N/A DEG N LONGITUDE: N/A DEG E  
GROUND REFLECTANCE: .27 (N)

SYSTEM VOLTAGE: 48 V.D.C.  
AVG. LOAD: 1384 AH/DAY (continuous)

SYSTEM OPERATION

-----  
DAYS : 365  
HOURS/DAY : 24  
-----

-----SELECTED SYSTEM DATA-----

VOLTAGE LOSS: .5 V. THROUGH CABLE.

-----ARRAY-----

TILT ANGLE : 30.0 DEGREES  
MAX. PWR. CURRENT : 266.9 A.  
MAXIMUM POWER : 23970.0 W.

SW 235 8.35 A. @ 37.0 V.  
3 (S) X 34 (P) = 102 TOTAL

-----BATTERY-----

MIN. DAYS OF AUTONOMY : 3.7 (FEB)  
MIN. BATT. TEMP : 9.7 C.  
TOTAL STORAGE : 6000.0 AH

heavy duty lead acid 2000 AH, 2 V.  
24 (S) X 3 (P) = 72 TOTAL

NOTE: ARRAY TO FACE TRUE SOUTH.  
-----

SYSTEM DESIGN ANALYSIS  
(BASED ON 95 % OF RATED OUTPUT)

MONTH	FLAT LANG	PANEL LANG	-AVG. AH/DAY- OUTPUT	LOAD	END OF MONTH CAPACITY
JAN	151	272	1332.1	1384.0	73.3 %
FEB	225	338	1634.7	1384.0	100.0 %
MAR	329	390	1856.6	1384.0	100.0 %
APR	443	419	1916.2	1384.0	100.0 %
MAY	551	439	1921.0	1384.0	100.0 %
JUN	588	433	1806.6	1384.0	100.0 %
JUL	592	451	1814.0	1384.0	100.0 %
AUG	532	469	1895.9	1384.0	100.0 %
SEP	418	459	1970.8	1384.0	100.0 %
OCT	291	407	1865.9	1384.0	100.0 %
NOV	200	353	1693.9	1384.0	100.0 %
DEC	146	283	1380.4	1384.0	98.1 %

PERFORMANCE OF SYSTEM AT INSTALLATION SITE WILL VARY DEPENDENT UPON WEATHER CONDITIONS AND ADEQUACY OF INSTALLATION AND MAINTENANCE.



Με βάση τους υπολογισμούς από το πρόγραμμα καταλήγουμε ότι θέλουμε 102 Φ/Β γεννήτριες ισχύος 235 Watt.

Οι Φ/Β γεννήτριες θα είναι το SW 235 poly της Solar World με τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά. Στο παράρτημα [2] δίνεται το τεχνικό φυλλάδιο της φωτοβολταϊκής γεννήτριας με όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.



Σχήμα 5.1 Φ/Β πλαίσιο SW 235 poly

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Maximum power Pmax	: 235 Wp
Open circuit voltage Uoc	: 37,0 V
Maximum power point voltage Umpp	: 30,0 V
Short circuit current Isc	: 8,35 A
Maximum power point current Impp	: 7,85 A

Ισχύς	: 235 Wp
Τεχνολογία	: Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο.
Τάση σημείου μέγιστης ισχύος (25 °C)	: 30,0 V
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (25 °C)	: 37,0 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	: 8,35 A
Ρεύμα σημείου μέγιστης ισχύος	: 7,85 A

Η συνδεσμολογία των Φ/Β πλαισίων θα αναλυθεί παρακάτω κατά την επιλογή των ρυθμιστών φόρτισης των μπαταριών.

Επιλέγονται συσσωρευτές OPzS – Solar 2000Ah ανοιχτού τύπου, σε διαφανή δοχεία, χαμηλής συγκέντρωσης αντιμονίου, αργής εκφόρτισης, μεγάλο βάθος εκφόρτισης και πολλών κύκλων φόρτισης, της εταιρίας ERGON. Παρακάτω δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών. Στο παράτημα [3] υπάρχει αναλυτικό τεχνικό φυλλάδιο των επιλεχθέντων συσσωρευτών.



Σχήμα 5.2 Μπαταρίες 2V OPzS

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τύπου Varta OPzS 2000 κατά DIN 40736/p1 & 40737p3  
 Χωρητικότητα: 2320 Ah/C10, 3100 Ah/C120  
 Ονομαστική τάση: 2 V

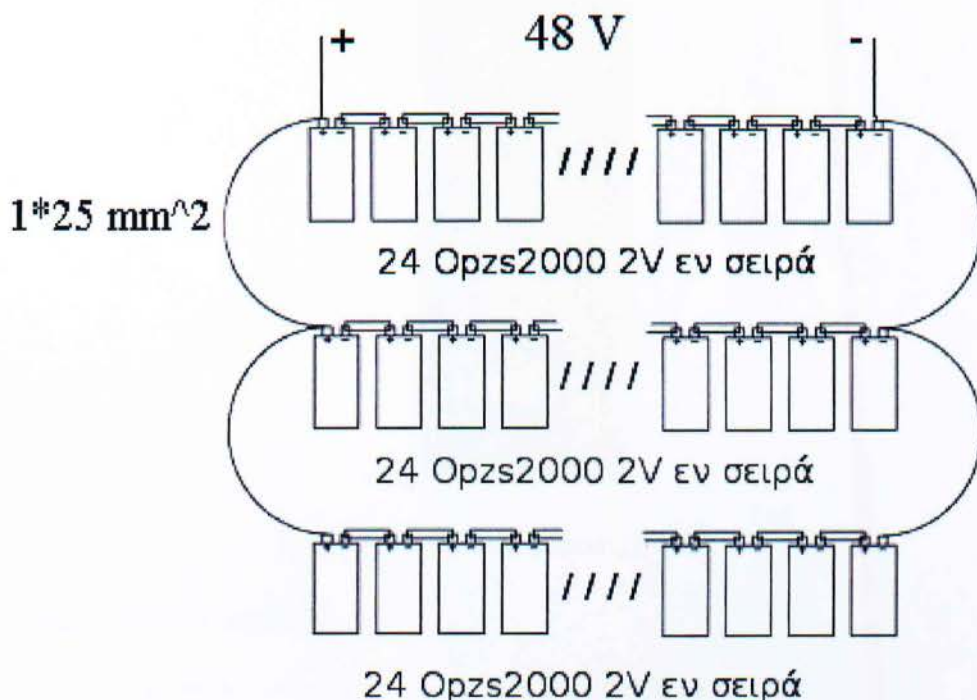
*Πίνακας 5.3 Κύκλοι φόρτισης - εκφόρτισης της μπαταρίας συναρτήσει του βάθους εκφόρτισης*

Βάθος εκφόρτισης %	Αριθμός κύκλων
80	1500
70	1700
60	2000
50	2400
40	2900
30	3600
20	4500



Η τάση λειτουργίας που επιλέχθηκε είναι 48 Volt. Για την επίτευξη αυτής της τιμής, θα χρησιμοποιηθούν 24 συσσωρευτές εν σειρά. Για την απαιτούμενη χωρητικότητα των 6000 Ah, θα χρησιμοποιηθούν 3 σειρές των 24 στοιχείων. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η συνδεσμολογία.

## Προς αντιστροφέα XTH 6000-48



Σχήμα 5.3 Συνδεσμολογία μπαταριών 48V,6000 Ah

Οι συσσωρευτές OPzS-Solar της EPON είναι σωληνωτού τύπου χαμηλής συντήρησης, ειδικά σχεδιασμένοι για κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, υψηλής αυτονομίας και ασφάλειας. Διακρίνονται για τη μεγάλη αντοχή τους σε κύκλους με μεγάλο χρόνο ζωής. Οι θετικές σωληνωτές πλάκες έχουν σκελετό από ειδικό κράμα μολύβδου τύπου “χαμηλού αντιμονίου” σύμφωνα με τα DIN 40736/p1 & 40737p3 ( προδιαγράφεται Sb < 3% ). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της συντήρησης των συσσωρευτών, καθότι συνεπάγεται χαμηλό ρεύμα συντήρησης και χαμηλή κατανάλωση νερού, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε αυτόνομα μη-επιτηρούμενα συστήματα ΑΠΕ. Την ίδια στιγμή οι πολύ στιβαρές σωληνωτές πλάκες εξασφαλίζουν ότι, ακόμα και στις περιπτώσεις όπου απαιτείται αυτονομία πολλών ημερών, η επανάκτηση της χωρητικότητας με τη φόρτιση είναι πλήρης. Η σειρά OPzS - Solar καλύπτει τις απαιτήσεις των προδιαγραφών IEC 60896-11 και IEC 61427 για συστήματα ΑΠΕ.

Για την φόρτιση των μπαταριών επιλέγω ρυθμιστή φόρτισης FLEXmax80 – FM80 της Outback Power Systems. Παρακάτω δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή φόρτισης. Στο παράτημα [4] υπάρχει αναλυτικό τεχνικό φυλλάδιο των επιλεχθέντων ρυθμιστών φόρτισης.



Σχήμα 5.4 Ρυθμιστής φόρτισης FM80

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Nominal Battery Voltages	12, 24, 36, 48, or 60 VDC
Maximum Output Current	80 amps @ 104o F (40oC) with adjustable current limit
Maximum Solar Array	48 VDC systems 5000 Watts
PV Open Circuit Voltage (VOC)	150 VDC absolute maximum coldest conditions / 145 VDC start-up and operating maximum
Power Conversion Efficiency	97,5 % in 48VDC
Όνομαστική τάση συσσωρευτή	: 12,24,48,60 V
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	: 80 A (40°C)
	(Δυνατότητα ρύθμισης μέγιστου ρεύματος)
Μέγιστη τάση εισόδου (Τάση ανοιχτού κυκλώματος Voc Φ/Β πλαισίων)	: 150 VDC
Βαθμός απόδοσης	: 97,5 % στα 48V
Τεχνολογία	: Maximum Power Point Tracking
	(30% μεγαλύτερη αποδοδόμενη ενέργεια)



Με βάση τα χαρακτηριστικά του ρυθμιστή θα γίνει και η συνδεσμολογία των Φ/Β πλαισίων. Οι περιορισμοί, είναι η μέγιστη τάση και η ισχύς που δέχεται ο φορτιστής. Η κάθε Φ/Β γεννήτρια έχει τάση ανοιχτού κυκλώματος 37 V οπότε θα πρέπει να γίνει ένας συνδυασμός Φ/Β ώστε να επιλεγεί το πλήθος των ρυθμιστών και οι συνδεσμολογίες.

Επιλέγονται 5 ρυθμιστές από τους οποίους :

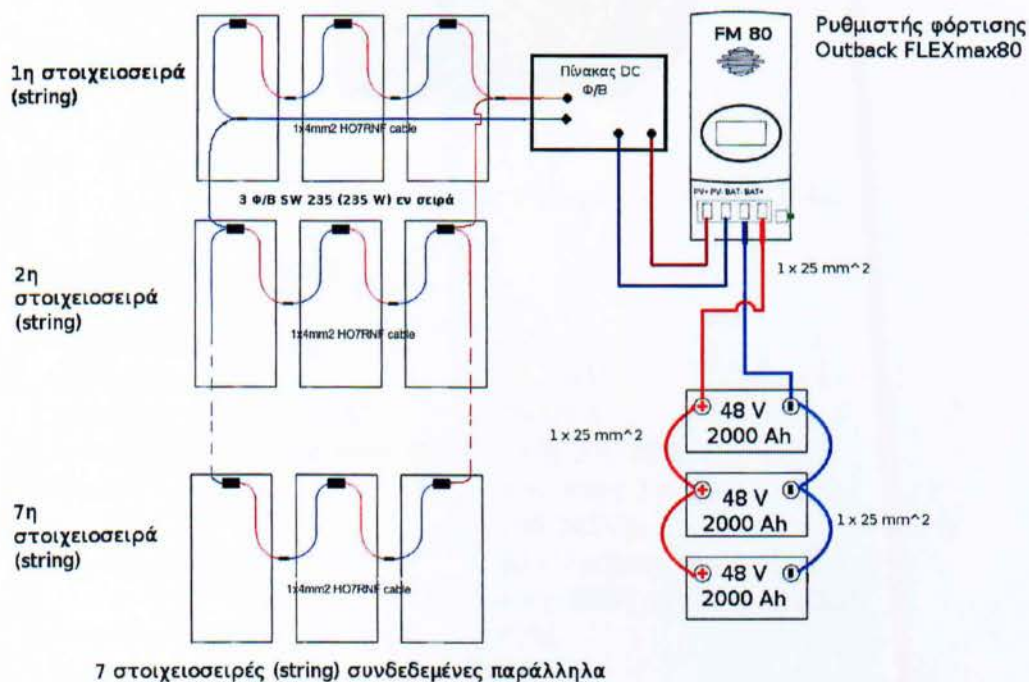
- 1) 3 θα αποτελούνται από 10 παράλληλες στοιχειοσειρές (string) των 2 Φ/Β
  - 2) 2 που θα αποτελούνται από 7 παράλληλες στοιχειοσειρές (string) των 3 Φ/Β.
- Δηλαδή :

Στην περίπτωση 1)

έχουμε τάση κάθε στοιχειοσειράς (string) είναι  $2 \times 37 \text{ V} = 74 \text{ V}$   
και συνολική ισχύ στην είσοδο του ρυθμιστή  $10 \times 2 \times 235 = 4.700 \text{ W}$

Στην περίπτωση 2)

έχουμε τάση κάθε στοιχειοσειράς (string) είναι  $3 \times 37 \text{ V} = 111 \text{ V}$  και  
συνολική ισχύ στην είσοδο του ρυθμιστή  $10 \times 2 \times 235 = 4.935 \text{ W}$



Σχήμα 5.5 Συνδεσμολογία ενός εκ των 2 ρυθμιστών με 21 Φ/Β γεννήτριες και τις μπαταρίες.

Η συνδεσμολογία και των υπόλοιπων ρυθμιστών φόρτισης, γίνονται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν του σχήματος 5.5. Ο κάθε ρυθμιστής συνδέεται με την ομάδα φ/β γεννητριών όπως ορίστηκε παραπάνω και στη συνέχεια όλοι οι ρυθμιστές συνδέονται παράλληλα πάνω στους συσσωρευτές των 48 V.

Επιλέχθηκε ο αντιστροφέας XTH 6000-48 της Studer. Παρακάτω δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα. Στο παράτημα [5] υπάρχει αναλυτικό τεχνικό φυλλάδιο του αντιστροφέα.



Σχήμα 5.6 Αντιστροφέας ισχύος Studer XTH 6000-48

Τεχνικά χαρακτηριστικά

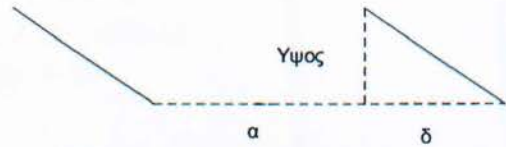
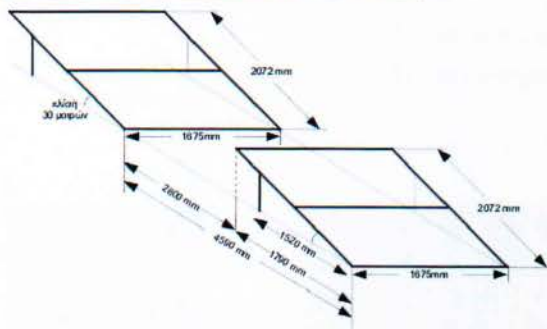
Nominal battery voltage	48V
Input voltage range	38 - 68V
Continuous power @ 25°C	5000VA
Consumption OFF/Stand-by/ON	1.6W/3W/22W
Output voltage	Sine wave 230Vac (+/- 2%) / 190-245Vac
Output frequency	50 Hz adjustable 45-65Hz +/- 0.05% (crystal controlled)
Harmonic distortion	<2%
Maximum efficiency	96%

Ισχύς συνεχόμενης λειτουργίας (25°C)	: 5000VA
Ονομαστική τάση εισόδου	: 48V
Εύρος τάσης εισόδου	: 38 - 68V
Ονομαστική τάση εξόδου	: 230 V, 50Hz sinewave (Καθαρή Ημιτονοειδής Κυματομορφή)
Αρμονική παραμόρφωση	: <2%
Κατανάλωση OFF/Stand-by/ON	: 1.6W/3W/22W
Βαθμός απόδοσης	: 96%



Βάσεις στήριξης Φ/Β πλαισίων. Παρακάτω δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των βάσεων.

**ΑΡΘΡΩΤΗ ΒΑΣΗ 2 Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ SolarWorld SW235**



**ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ ΒΑΣΕΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ  
Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ  
SolarWorld SW225 mono**  
ΥΨΟΣ:  $2072 \text{ mm} \times \sin 30 = 1036 \text{ mm}$   
 $\alpha = 1036 \text{ mm} \times 2,7 = 2800 \text{ mm}$   
 $\delta = 2072 \text{ mm} \times \cos 30 = 1790 \text{ mm}$   
 $\epsilon = \alpha + \delta = 4590 \text{ mm}$

Σχήμα 5.7 Αρθρωτές βάσεις για Φ/Β

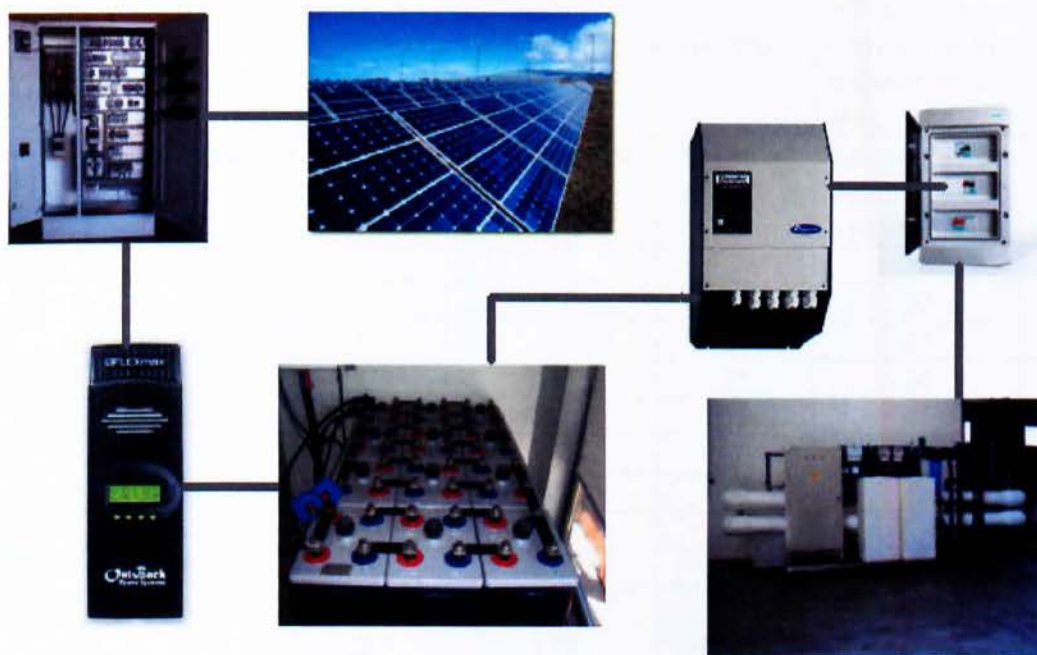
Τύπος: ΑΡΘΡΩΤΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ  
Κατάλληλες για 2 Φ/Β γεννήτριες SW 235 poly  
Γαλβανισμένες εν θερμώ (Πάχος κυκλοδοκού: 3mm)  
Δυνατότητα βαθμωτής αλλαγής κλίσης (από 30ο έως 60ο)  
για την βέλτιστη εποχιακή απόδοση των Φ/Β γεννητριών.

Σύνοψη αυτόνομης μονάδας αφαλάτωσης

Η αυτόνομη μονάδα αφαλάτωσης που μελετήθηκε, είναι ικανή να παρέχει πόσιμο νερό για ένα νησιωτικό οικισμό 50 κατοίκων χωρίς να καταναλώνει ενέργεια από το υφιστάμενο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδος αντίστροφης όσμωσης που επιλέχθηκε με βάση τις ανάγκες του οικισμού, καλύπτεται πλήρως από έναν φωτοβολταϊκό σταθμό ισχύος 23,97 KWp. Η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά αποθηκεύεται σε συσσωρευτές οι οποίοι παρέχουν σταθερή και αδιάλειπτη λειτουργία της μονάδας για διάστημα 4 ημερών χωρίς ηλιοφάνεια.

Έχουν επιλεγθεί υλικά γνωστών εταιριών με μεγάλους βαθμούς απόδοσης. Συγκεντρωτικά όλο το σύστημα παρακάτω :

- ✓ 1 Μονάδα αφαλάτωσης TSW 19
- ✓ 1 Αντλία τροφοδοσίας CRT 2-2
- ✓ 102 Φ/Β γεννήτριες SW235
- ✓ 5 Ρυθμιστές φόρτισης FM80
- ✓ 72 Συσσωρευτές OPzS2000
- ✓ 1 Αντιστροφέας XTH 6000-48
- ✓ 51 Βάσεις στήριξης Φ/Β



Σχήμα 5.8 Επισκόπηση συστήματος



## 5.3 Υπολογισμός πινάκων τροφοδοσίας και διανομής

### 5.3.1. Πίνακας εναλλασσομένου ρεύματος (AC)

Για τον υπολογισμό του πίνακα εναλλασσομένου πίνακα AC, θα λάβουμε υπόψιν τα φορτία του πίνακα 5.1 και θα υπολογιστούν η γραμμές για τη μονάδα αφαλάτωσης, την κύρια αντλία τροφοδοσίας, την εφεδρική αντλία τροφοδοσίας και τον φωτισμό. Οι διατομές των καλωδίων και οι ασφάλειες επιλέγονται από τον πίνακα

Πίνακας 5.4 Διατομές αγωγών και ασφάλειες με βάση την επιτρεπόμενη ένταση αγωγών.

Ονομαστική διατομή καλωδίων (mm <sup>2</sup> )	ΟΜΑΔΑ I		ΟΜΑΔΑ II		ΟΜΑΔΑ III	
	Ένας ή περισσότεροι αγωγοί στο ίδιο καλώδιο ή σωλήνα		Πολυπολικά, πεπλατυσμένα εύκαμπτα καλώδια		Μονοπολικά καλώδια στον αέρα, με ελάχιστη απόσταση τη διάμετρό τους	
	Επιτρεπόμενη ένταση αγωγού [A]	Ασφάλεια [A]	Επιτρεπόμενη ένταση αγωγού [A]	Ασφάλεια [A]	Επιτρεπόμενη ένταση αγωγού [A]	Ασφάλεια [A]
0,75	-	-	13	-	16	
1	12	-	16	15	20	20
1,5	16	10	20	20	25	25
2,5	21	16	27	25	34	35
4	27	20	36	35	45	50
6	35	25	47	50	57	60
10	48	35	65	60	78	90
16	65	63	87	80	104	100
25	88	80	115	100	137	125
35	110	100	143	125	168	160
50	140	120	178	160	210	200
70	175	160	220	225	260	260
95	210	200	265	260	310	300
120	250	300	310		365	
150			355		415	
185			405		475	
240			480		560	
300			555		645	
400			-		770	
500			-		880	

#### 1) Γραμμή μονάδας αφαλάτωσης

Η συνολική ισχύς της μονάδος είναι 2.200 W της αντλίας υψηλής πίεσης και 100 W για τις δοσομετρικές αντλίες και τα λοιπά όργανα μέτρησης της μονάδας. Η τάση τροφοδοσίας είναι 230 V.

$$P_1 = \frac{V}{I_1} \Leftrightarrow I_1 = \frac{P_1}{V} = \frac{2.200 + 100}{230} = 10 \text{ A}$$

Με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή η τροφοδοσία της μονάδας γίνεται με καλώδιο 3\*1,5 mm<sup>2</sup> για απόσταση από τον πίνακα 1-2 μέτρα. Όμως επειδή το ονομαστικό ρεύμα υπολογίστηκε παραπάνω 10A, επιλέγεται καλώδιο για την τροφοδοσία της μονάδος 3\*4 mm<sup>2</sup> και με ασφάλεια 20A για να προληφθούν τα ρεύματα εκκίνησης και να μην υπάρχει ο περιορισμός των 2 μέτρων από τον πίνακα.

#### 2) Γραμμή κύριας αντλίας τροφοδοσίας

Η ισχύς της κύριας αντλίας είναι 370 W και η τάση τροφοδοσίας είναι 230 V.

$$P_2 = \frac{V}{I_2} \Leftrightarrow I_2 = \frac{P_2}{V} = \frac{370}{230} = 1,61 \text{ A}$$

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή το ρεύμα εκκίνησης είναι 280% του ονομαστικού ρεύματος λειτουργίας που είναι 2,05A, άρα έχουμε ρεύμα εκκίνησης 7,79A

Η τροφοδοσία της αντλίας θα γίνει με καλώδιο 3\*1,5 mm<sup>2</sup> και με ασφάλεια 10A.

#### 3) Γραμμή εφεδρική αντλίας τροφοδοσίας

Η εφεδρική αντλία τροφοδοσίας είναι ίδιας δυναμικότητας με αυτήν της κύριας. Η ισχύς της εφεδρικής αντλίας είναι 370 W και η τάση τροφοδοσίας είναι 230 V.

$$P_3 = \frac{V}{I_3} \Leftrightarrow I_3 = \frac{P_3}{V} = \frac{370}{230} = 1,61 \text{ A}$$

Ομοίως με την κύρια αντλία τροφοδοσίας, η τροφοδοσία της αντλίας θα γίνει με καλώδιο 3\*1,5 mm<sup>2</sup> και με ασφάλεια 10A.

#### 4) Γραμμή φωτισμού

Η ισχύς του φωτισμού είναι 72 W και η τάση τροφοδοσίας είναι 230 V.

$$P_4 = \frac{V}{I_4} \Leftrightarrow I_4 = \frac{P_4}{V} = \frac{72}{230} = 0,31 \text{ A}$$



Η τροφοδοσία της γραμμής φωτισμού θα γίνει με καλώδιο  $3*1,5 \text{ mm}^2$  και με ασφάλεια 10A.

Άρα η συνολική ένταση του πίνακα είναι :

$$I_{ολ} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 10 + 1,61 + 1,61 + 0,31 = 13,53 \text{ A}$$

Συνολική ισχύς του πίνακα :

$$S = 2,2 + 0,37 + 0,37 + 0,72 = 3,01 \text{ KVA}$$

Υπολογισμός του μέσου συντελεστή ισχύος

$$\sigma_{\text{συνφ}_m} = \frac{\sum P_i * \sigma_{\text{συνφ}_i}}{\sum P_i} = \frac{2300 * 0,8 + 370 * 0,99 + 370 * 0,99 + 72 * 0,9}{2300 + 370 + 370 + 72} = 0,85$$

Το  $\sigma_{\text{συνφ}}$  της μονάδος αφαλάτωσης θεωρείται 0,8 λόγω έλλειψης στοιχείων

Το  $\sigma_{\text{συνφ}}$  της αντλία τροφοδοσίας είναι 0,99

Το  $\sigma_{\text{συνφ}}$  για τον φωτισμό θεωρείται 0,9

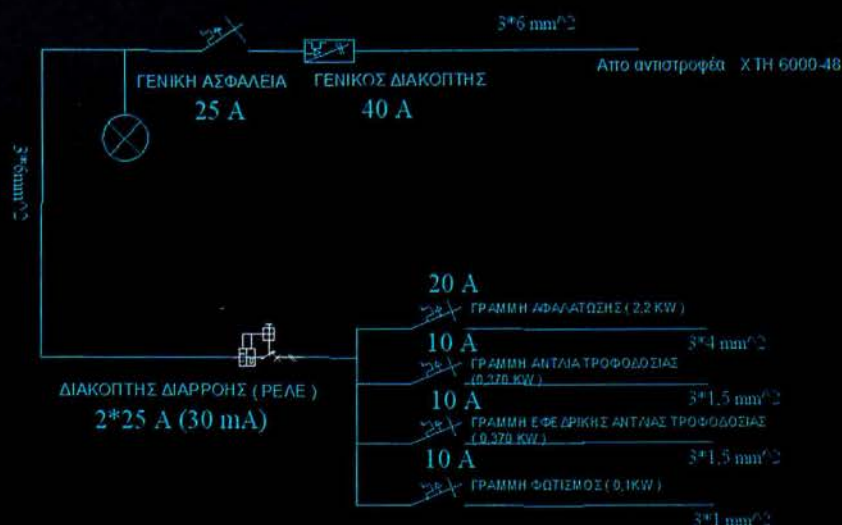
$$P_{ολ} = S * \sigma_{\text{συνφ}_m} = 3,01 * 0,85 = 2,56 \text{ KW}$$

Άρα σύμφωνα και με τους συντελεστές ισχύος, το συνολικό ρεύμα του πίνακα , είναι :

$$I_{ολ} = \frac{S}{U * \sigma_{\text{συνφ}_m}} = \frac{2560}{230 * 0,85} = 13,1 \text{ A}$$

Η τροφοδοσία του πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος (AC), θα γίνεται από τον αντιστροφέα Stunder XTH 6000-48 με καλώδιο  $3*6 \text{ mm}^2$ . Η γενική ασφάλεια στον πίνακα θα είναι 25 A, ο γενικός διακόπτης φορτίου 40 A και το ρελέ διαφυγής θα είναι  $2*25 \text{ A } 30\text{mA}$ .

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΑC



Σχήμα 5.9 Μονογραμμικό σχέδιο πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος (AC)

## 5.3.2. Πίνακας συνεχούς ρεύματος (DC) των Φ/Β

Ο πίνακας συνεχούς ρεύματος των φωτοβολταϊκών, περιλαμβάνει για κάθε ομάδα στοιχειοσειρών, κλέμες ή μπάρες χαλκού όπου καταλήγουν όλες οι στοιχειοσειρές (string) τις ομάδας στον πίνακα, ένα ασφαλειοαποζεύκτη με φυσίγγιο τήξεως και ένα διακόπτη.

Για το υπολογισμό του ασφαλειοαποζεύκτη υπολογίζουμε το συνολικό ρεύμα των στοιχειοσειρών. Η κάθε στοιχειοσειρά έχει ρεύμα ίσο με αυτό του ενός Φ/Β πλαισίου αφού είναι συνδεδεμένα παράλληλα. Έτσι για την συνδεσμολογία με τις 7 στοιχειοσειρές των 3 Φ/Β, υπολογίζεται :

$$I = N * I_{\phi/B} = 7 * 8,35 = 58,45 \text{ A}$$

όπου  $N$  = αριθμός στοιχειοσειρών,  $I_{\phi/B}$  = Ρεύμα Φ/Β πλαισίου

Άρα επιλέγεται ασφαλειοαποζεύκτης με φυσίγγιο τήξεως 63 A και διακόπτης 80 A.

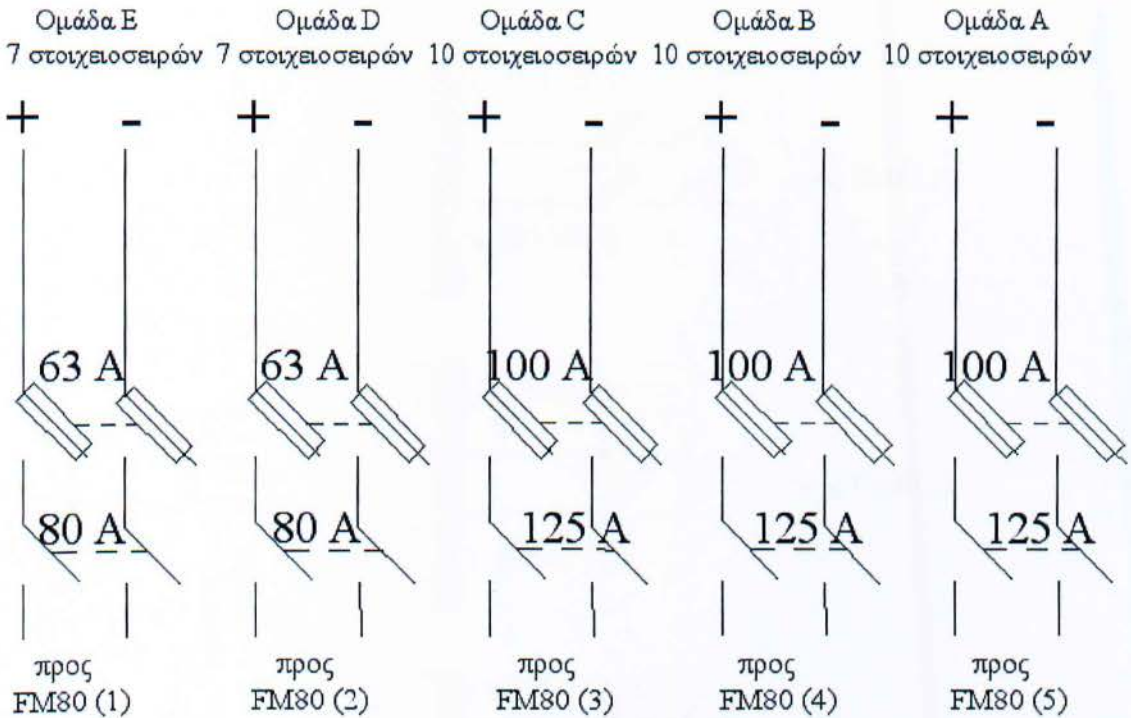


Ομοίως υπολογίζεται για την συνδεσμολογία με τις 10 στοιχειοσειρές των 2 Φ/Β, υπολογίζεται :

$$I = N * I_{\phi/B} = 10 * 8,35 = 83,5 \text{ A}$$

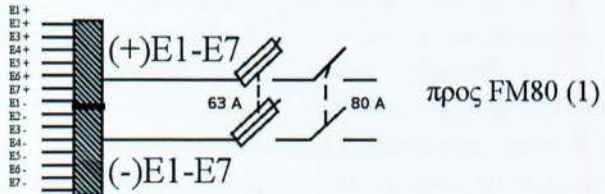
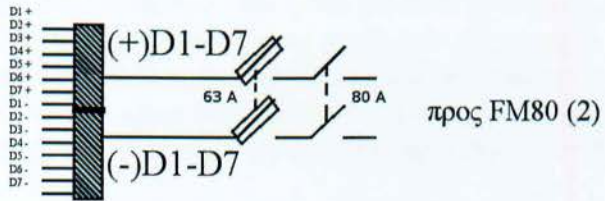
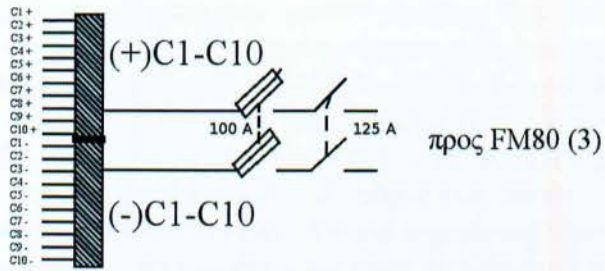
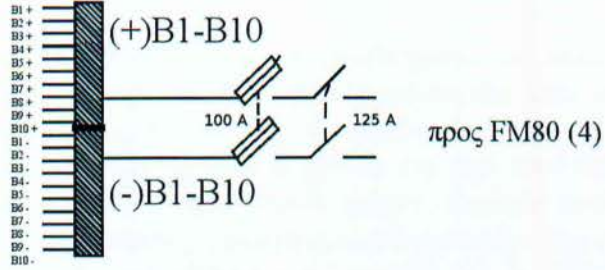
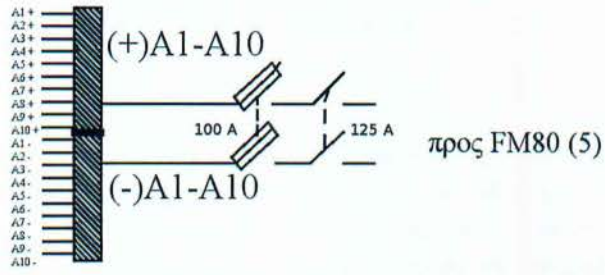
όπου  $N = \text{αριθμός στοιχειοσειρών}$ ,  $I_{\phi/B} = \text{Ρεύμα } \Phi/B \text{ πλαισίου}$

Άρα επιλέγεται ασφαλειοαποζεύκτης με φυσίγγιο τήξεως 100 A και διακόπτης 125 A.



Σχήμα 5.10 Μονογραμμικό σχέδιο διατάξεων ασφαλείας συνεχούς ρεύματος (DC)

Στο σχήμα 5.10 φαίνονται οι 5 ομάδες των φωτοβολταϊκών ( A , B , C , D , E ) με τις ασφαλιστικές τους διατάξεις. Μετά τις ασφάλειες οι ομάδες συνδέονται στους ρυθμιστές φόρτισης. Όπως αναφέρθηκε για την ομαλή φόρτιση των μπαταριών, επιλέχθηκαν 5 ρυθμιστές φόρτισης FM 80. Από τους οποίους οι FM 80 (1) & FM 80 (2) συνδέονται μέσω των ασφαλειών με 7 στοιχειοσειρές (string) αποτελούμενες από 3 φωτοβολταϊκά πλαίσια η καθεμιά. Ενώ οι ρυθμιστές φόρτισης FM 80 (3), FM 80 (4) & FM 80 (5) συνδέονται μέσω των ασφαλειών με 10 στοιχειοσειρές (string) αποτελούμενες από 2 φωτοβολταϊκά πλαίσια η καθεμιά. Στο σχήμα 5.11 φαίνεται ολόκληρος ο πίνακας του συνεχούς ρεύματος (DC).



Σχήμα 5.11 Μονογραμμικό σχέδιο σύνδεσης στοιχειοσειρών με τις ασφαλιστικές διατάξεις



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής, ήταν η παρουσίαση του προβλήματος της έλλειψης νερού στη νησιωτική Ελλάδα και μελέτη για μια μονάδα αφαλάτωσης η οποία θα καλύπτει τις ανάγκες σε πόσιμο νερό ενός νησιωτικού οικισμού, χωρίς να επιβαρύνεται το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Μελετήθηκαν όλες οι εφαρμόσιμες μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως και ιδιαίτερα εκείνες οι μέθοδοι που συνδυάζονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Σήμερα, οι κυριότεροι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος της έλλειψης νερού στα ελληνικά νησιά είναι αφενός η μεταφορά νερού με υδροφόρες και αφετέρου η σταδιακή εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Η μεταφορά του νερού πραγματοποιείται τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια και έχει αποτελέσει σημαντική λύση κυρίως κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, περίοδο που η ζήτηση για φρέσκο νερό πολλαπλασιάζεται. Μεγάλες ποσότητες νερού μεταφέρονται στις Κυκλάδες και στα Δωδεκάνησα κάθε χρόνο, με κόστος που ξεπερνά και τα 8€/m<sup>3</sup> και αυτό το κόστος αυξάνεται συνεχώς λόγω των ανατιμήσεων στα καύσιμα κ.ά. Καθίσταται λοιπόν σαφές πως η μεταφορά του νερού, λόγω του υψηλού κόστους δεν μπορεί να αποτελέσει μια μόνιμη λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού. Αντιθέτως, η αφαλάτωση μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση στο πρόβλημα της υδροδότησης των νησιών των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων, καθώς μπορεί να προσφέρει σημαντικές ποσότητες νερού σε πολύ χαμηλότερο κόστος από αυτό της μεταφοράς με υδροφόρα πλοία. Αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο, η αφαλάτωση αποτελεί πλέον την πιο σημαντική λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού. Το κόστος της έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης αλλά και της προσπάθειας για βελτιστοποίηση σε έναν κόσμο με συνεχώς μειούμενες ποσότητες και αυξανόμενες τιμές για τα ορυκτά καύσιμα. Τα συστήματα αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν συμβατικές μορφές ενέργειας με κόστος που μπορεί να κυμαίνεται από 0,30€/m<sup>3</sup> μέχρι και 3,00€/m<sup>3</sup> για θαλασσινό νερό τροφοδοσίας. Στην περίπτωση που το χρησιμοποιούμενο νερό είναι υφάλμυρο συνήθως το κόστος περιορίζεται στο μισό.

Για τη νησιωτική Ελλάδα, η καταλληλότερη μέθοδος αφαλάτωσης είναι αυτή της αντίστροφης όσμωσης, καθώς έχει μικρό κόστος συντήρησης και παραγωγής, δεν απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις προκειμένου να λειτουργήσει. Μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε τοποθεσία ακόμη σε κοντινέρ με δυνατότητα φορητότητας, η επέκτασή της γίνεται σχετικά εύκολα μιας και δεν καλύπτει μεγάλες επιφάνειες. Ένα άλλο στοιχείο που την κάνει ιδανική για τα νησιά μας, είναι η ευκολία στη λειτουργία, η επιτήρηση αλλά και η συντήρησή της μπορεί να γίνει από προσωπικό χωρίς ιδιαίτερες τεχνικές γνώσεις, αυτό είναι πολύ σημαντικό για παράδειγμα σ'έναν νησιωτικό Δήμο ο οποίος κατά τη θερινή περίοδο έχει αυξημένες ανάγκες λόγω του τουρισμού και δεν υπάρχει πλεόνασμα σε προσωπικό.

Όπως προαναφέρθηκε η μονάδα αφαλάτωσης θα είναι αυτόνομη ενεργειακά, δε θα εξαρτάται καθόλου από το δημόσιο δίκτυο ηλεκτροδότησης, έτσι συνδυάζοντας μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης με φωτοβολταϊκά ή ανεμογεννήτριες μπορούμε να πετύχουμε το στόχο αυτό. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε και μελετήθηκε ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών και αντίστροφης όσμωσης ως μια λύση αποδοτική και με ποιοτικό

αποτέλεσμα. Το φωτοβολταϊκό σύστημα επιλέχθηκε να λειτουργεί με μπαταρίες και όχι με απ'ευθείας σύνδεση με την μονάδα αντίστροφης όσμωσης. Με το τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η σταθερότητα στη μονάδα και η ομαλή της ηλεκτροδότηση, επίσης υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστούν με τέτοιο τρόπο οι μπαταρίες ώστε να καλύπτουν το φορτίο της μονάδος σε μέρες που υπάρχει συννεφιά.

Ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών και αντίστροφης όσμωσης για αυτόνομα συστήματα είναι ο επικρατέστερος και ο πιο αξιόπιστος. Συνίσταται για την παραγωγή έως 30 m<sup>3</sup> πόσιμου νερού την ημέρα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


- ◆ Peter H. Gleick and Gary Wolff (2006), Desalination, with a grain of salt a California perspective , Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security
- ◆ O.K. Buros , The ABCs of desalting , second edition, International Desalination Association IDA
- ◆ German Aerospace Center (DLR) , Institute of Technical Thermodynamics and Section Systems Analysis and Technology Assessment (2005), Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region ,Final Report
- ◆ Co-ordination Action for Autonomous Desalination Units Based on Renewable Energy Systems (2006),Institutional and Policy Framework Analysis GREECE , ADU-RES Project
- ◆ Joshua Schwarz (2000), Beach well intakes for small seawater reverse osmosis plants , Middle East Desalination Research Center MEDRC
- ◆ Platon Baltas (2005), Design and development of a small packaged reverse osmosis system driven by a hybrid power supply system, Middle East Desalination Research Center - MEDRC Series of R&D Reports 00-AS-019
- ◆ Rolf Oldach (2001), Matching Renewable Energy with Desalination Plants , Middle East Desalination Research Center - MEDRC Series of R&D Reports 97-AS-006a
- ◆ Dr. Karsten Burges (2003), Pv powered desalination , Middle East Desalination Research Center - MEDRC Series of R&D Reports 98-BS-033
- ◆ Ian C. W Atson (2006), Reverse osmosis water treatment systems -Design guidelines manual, Middle East Desalination Research Center MEDRC
- ◆ L. B. Begrambekov (2004), The small solar med-desalination plant , Middle East Desalination Research Center - MEDRC Series of R&D Reports 98-AS-024a
- ◆ Eftihia Tzen (2009), Desalination technologies , ProDes project
- ◆ Eftihia Tzen (2009), Desalination market, ProDes project
- ◆ Eftihia Tzen (2009), Selection of desalination technologies , ProDes project
- ◆ Eftihia Tzen (2009), Selection of desalination technologies , ProDes project

- ◆ Eftihia Tzen (2010, Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία , Ημερίδα “Αειφόρος ανάπτυξη των νησιών του Αιγαίου: Βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων”
- ◆ Eftihia Tzen (2010), PV Membrane Processes , ProDes project
- ◆ Eftihia Tzen (2010), Solar Thermal Desalination , ProDes project
- ◆ Eftihia Tzen (2010), Wind Desalination , ProDes project
- ◆ Stylianos Loupasis (2002), Technical analysis of existing RES desalination schemes , Renewable energy driven desalination systems – REDDES Contract number 4.1030/Z/01-081/2001 Altener programme
- ◆ Cynthia Graber, Desalination in Spain, Trade Commission of Spain
- ◆ Mousa Abu-Arabi (2006), Status and prospects for solar desalination in the MENA region , Workshop on Solar Desalination for the 21st Century



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

[1] Αντλία τροφοδοσίας μονάδος CRT 2-2

Position	Qty.	Description	Single Price
	1	<p><b>CRT 2-2 A-P-A-E-AUUE</b></p>  <p><b>Note!</b> Product picture may differ from actual product</p> <p>Product No.: 96100265 Vertical, non-self-priming, multistage, in-line, centrifugal pump for installation in pipe systems and mounting on a foundation.</p> <p><b>The pump has the following characteristics:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impellers, intermediate chambers and outer sleeve are made of</li> <li>- Pump head cover and base are made of</li> <li>- The shaft seal has assembly length according to EN 12756.</li> <li>- Power transmission is via cast iron split coupling.</li> <li>- Pipework connection is via PJE flanges/couplings.</li> </ul> <p>The motor is a 1-phase AC motor.</p> <p><b>Liquid:</b> Liquid temperature range: -20 .. 120 °C Liquid temp: 20 °C Density: 998.2 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Technical:</b> Speed for pump data: 2900 rpm Actual calculated flow: 1.15 m<sup>3</sup>/h Resulting head of the pump: 17.9 m Shaft seal: AUUE Approvals on nameplate: CE</p> <p><b>Materials:</b> Pump housing: Titanium ASTM B 265 Impeller: Titanium ASTM B 265</p> <p><b>Installation:</b> Maximum ambient temperature: 40 °C Max pressure at stated temp: 25 bar / 120 °C 25 / -20 bar / °C Flange standard: PJE Pipe connection: 42,4 mm</p>	On request



Company name: -  
Created by: -  
Phone: -  
Fax: -  
Date: -

Position	Qty.	Description	Single Price
		Flange size for motor: FT85	
		<b>Electrical data:</b>	
		Motor type: 71A	
		IE Efficiency class: NA	
		Number of poles: 2	
		Rated power - P2: 0,37 Kw	
		Power (P2) required by pump: 0,37 Kw	
		Mains frequency: 50 Hz	
		Rated voltage: 1 x 220-230/240 V	
		Rated current: 2,05/2,00 A	
		Starting current: 280 %	
		Cos phi - power factor: 0,99	
		Rated speed: 2800 rpm	
		Enclosure class (IEC 34-5): 55	
		Insulation class (IEC 85): F	
		<b>Others:</b>	
		Net weight: 13.4 kg	
		Gross weight: 18.4 kg	



**96100265 CRT 2-2 50 Hz**



[2] Φωτοβολταϊκές γεννήτριες SW 235



## Sunmodule<sup>+</sup>

SW 220/225/230/235/240 poly

### German quality standards

Fully-automated production lines and seamless monitoring of the process and material ensure the quality that the company sets as its benchmark for its sites worldwide.

### Outstanding products

SolarWorld modules have received top marks in numerous independent performance tests. In Photon test laboratory's endurance test, SolarWorld's modules occupied first place in 2008 and in 2009 and were assessed by the ÖKO-TEST consumer magazine as "very good".

### SolarWorld Plus sorting

Plus-sorting guarantees the highest system efficiency. Only modules that achieve the designated nominal performance or greater in performance tests are dispatched.

### 25 years linear performance guarantee\*

SolarWorld guarantees a maximum degeneration in performance of 0.7% p.a. for more than 25 years - a clear additional benefit compared with the conventional two-stage industry guarantees. In addition there is a product workmanship warranty that covers 5 years.

<sup>1)</sup>in accordance with the applicable SolarWorld service certificate at purchase  
[www.solarworld.com/service-certificate](http://www.solarworld.com/service-certificate)



[www.solarworld.com](http://www.solarworld.com)



We turn sunlight into power.



# Sunmodule<sup>+</sup>

## SW 220/225/230/235/240 poly

### PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

		SW 220	SW 225	SW 230	SW 235	SW 240
Maximum power	$P_{max}$	220 Wp	225 Wp	230 Wp	235 Wp	240 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	36,6 V	36,8 V	36,9 V	37,0 V	37,2 V
Maximum power point voltage	$U_{mp}$	29,2 V	29,5 V	29,8 V	30,0 V	30,2 V
Short circuit current	$I_{sc}$	8,08 A	8,17 A	8,25 A	8,35 A	8,44 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	7,54 A	7,63 A	7,72 A	7,85 A	7,96 A

\*STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5

### PERFORMANCE AT 800 W/m<sup>2</sup>, NOCT, AM 1.5

		SW 220	SW 225	SW 230	SW 235	SW 240
Maximum power	$P_{max}$	157,3 Wp	160,9 Wp	164,4 Wp	170,4 Wp	174,2 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	33,1 V	33,3 V	33,4 V	33,5 V	33,7 V
Maximum power point voltage	$U_{mp}$	26,2 V	26,5 V	26,7 V	27,1 V	27,4 V
Short circuit current	$I_{sc}$	6,68 A	6,75 A	6,82 A	6,73 A	6,80 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	6,01 A	6,08 A	6,15 A	6,28 A	6,37 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200W/m<sup>2</sup>, 95% (+/- 3%) of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved.

### COMPONENT MATERIALS

Cells per module	60
Cell type	Poly crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	tempered glass (EN 12150)

### SYSTEM INTEGRATION PARAMETERS

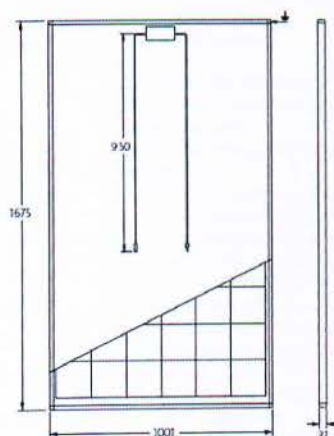
Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	16 A
Increase snowload acc. to IEC 61215	5,4 kN/m <sup>2</sup>
Number of bypass diodes	3

### THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
$TCU_{oc}$	0,034 %/K
$TCU_{sc}$	-0,34 %/K
$TC P_{mp}$	-0,48 %/K

### ADDITIONAL DATA

Measuring tolerance	+/- 3 %
Junction box	IP65
Connector	MC4
SolarWorld Plus-Sorting <sup>1)</sup>	$P_{nom} \geq P_{max}$



Compliant: IEC 61215  
Safety tested: IEC 61730  
Periodic inspection



Photovoltaic Module - Panel

- 1) Temporarily, also modules with a frame height of 34 mm can be supplied. Please inquire with your dealer.
- 2) The output identified by SolarWorld ( $P_{nom}$ ) is always higher than the nominal output ( $P_{max}$ ) of the module.
- 3) Depending on the market. SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice. This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

14.12.2020 EN



# Σειρά OPzS – Solar

## Μοναδική Αξιοπιστία και Διάρκεια Ζωής

Οι μόνιμοι συσσωρευτές **OPzS - Solar** της ERGON είναι **ΣΩΛΗΝΩΤΟΥ** τύπου χαμηλής συντήρησης, ειδικά σχεδιασμένοι για κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης υψηλής αυτονομίας και ασφάλειας.

Οι συσσωρευτές αυτοί χρησιμοποιούνται ως **αποθήκη ενέργειας** στα συστήματα εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) δηλαδή Φωτοβολταϊκά συστήματα, Ανεμογεννήτριες, Υδροηλεκτρικά, κλπ.

Διακρίνονται για την μεγάλη αντοχή τους σε κύκλους και το μεγάλο χρόνο ζωής τους, ακόμη και σε αντίθετες συνθήκες, όπως αυτές που συναντώνται σε **Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά** και Υβριδικά συστήματα ΑΠΕ.

Οι συσσωρευτές **OPzS - Solar** της ERGON είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές **DIN** για μόνιμους συσσωρευτές τύπου OPzS τεχνολογίας "**χαμηλού αντιμονίου**".

Οι **θετικές σωληνωτές** πλάκες έχουν σκελετό από ειδικό κράμα μολύβδου τύπου "χαμηλού αντιμονίου" σύμφωνα με τα DIN (προδιαγράφεται Sb < 3%). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την **ελαχιστοποίηση της συντήρησης** των συσσωρευτών, καθώς συνεπάγεται χαμηλό ρεύμα συντήρησης και χαμηλή κατανάλωση νερού, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε αυτόνομα μη-επιτηρούμενα συστήματα ΑΠΕ.

Την ίδια στιγμή οι πολύ στιβαρές σωληνωτές πλάκες εξασφαλίζουν ότι, ακόμη και στις περιπτώσεις όπου απαιτείται αυτονομία πολλών ημερών, η επανόρθωση της χωρητικότητας με τη φόρτιση είναι πλήρης.

Η σειρά OPzS - Solar καλύπτει τις απαιτήσεις των προδιαγραφών IEC 60896-11 και IEC 61427 για συστήματα ΑΠΕ.

### Κατασκευή - Προδιαγραφές

Θετικές πλάκες	Σωληνωτού τύπου (OPzS - DIN), σκελετός κράματος χαμηλού αντιμονίου (Sb<3%-Se). Σωληνώσεις από πολυεστέρα
Αρνητικές πλάκες	Επίπεδου τύπου (σχήμα)
Χωριστήρες	Μικροπορώδεις
Δοχείο	Τελείως ΔΙΑΦΑΝΕΣ, Styrene-Acryl-Nitrite (SAN), υλικό πολύ ανθεκτικό σε κρούσεις.
Καπάκι	SAN, γκρι χρώματος
Ηλεκτρολύτης	Διάλυμα θειικού οξέως, καθαρότητας κατά DIN 43530/p.2
Πόλοι / Στεγανότητα	Βιδωτός πόλος με χάλκινο εμφύτευμα M10 και ειδική ελαστική ροδέλλα στεγανοποίησης. Η στεγανότητα ελέγχεται 100% με +0,1 bar
Συνδέσεις	Βιδωτού τύπου, χυτές μολύβδινες μπάρες μονωμένες από πάνω με πλαστικό ή ειδικά μονωμένα καλώδια. Βίδες κλπ. ανοξείδωτα
Πώματα	Κανονικά πώματα αναπνοής που εμποδίζουν την εξάτμιση. Προαιρετικά : Αντιεκρηκτικά
Θερμοκρασία λειτουργίας	Επιτρεπτά όρια : -20°C ... +55°C Συνιστώμενη : +10°C ... +30°C
Τυποποίηση προϊόντων	DIN 40736/p1 - Στοιχεία 2V DIN 40737/p3 - Συσσωρευτές 6 & 12V
Τυποποίηση δοκιμών	IEC 60896-11 IEC 61427 ειδικά για συστήματα ΑΠΕ

### Εγκαταστάσεις - Χαρακτηριστικά

Όλοι οι τύποι εγκατάστασης κατά EN 50272-2 είναι εφαρμόσιμοι.

Εφόσον ζητηθεί προσφέρονται ειδικά οξυγόνα βάρθρα έδρασης.

#### ● Φόρτιση – Εκφόρτιση

Το ρεύμα φόρτισης μπορεί να κυμαίνεται από 0,1 Α έως 50 Α ανά 100Ah χωρητικότητας C120 και η μέγιστη τάση φόρτισης πρέπει να περιορίζεται από 2,35 - 2,40V/στοιχ., με χρήση ειδικού ρυθμιστή φόρτισης τύπου IU. Η μέγιστη προβλεπόμενη καθημερινή εκφόρτιση να μην ξεπερνά το 25% της χωρητικότητας C120 (όριο στρωματοποίησης του ηλεκτρολύτη) ή να προβλέπεται χρήση του συστήματος ανάδευσης του ηλεκτρολύτη **ECS**.

#### ● Αντοχή σε ΚΥΚΛΟΥΣ φόρτισης – εκφόρτισης

Βάθος Εκφόρτισης 80% - κύκλοι > 1500

Βάθος Εκφόρτισης 60% - κύκλοι > 2000

Βάθος Εκφόρτισης 30% - κύκλοι > 3600

Βάθος Εκφόρτισης 20% - κύκλοι > 4500

Μέγιστη συνιστώμενη επιτρεπτή εκφόρτιση : 80% της ονομαστικής.

Οι εκφορτίσεις πέραν του 80% δεν καταστρέφουν το συσσωρευτή (αυτό είναι βασικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας σωληνωτού τύπου) σταδιακά όμως μειώνουν τη χωρητικότητα αν δεν ακολουθεί εξισωτική φόρτιση.

#### ● Συμπλήρωση στάθμης ηλεκτρολύτη

Σε εφαρμογές με ημερήσιους κύκλους προβλέπεται **κάθε 6-12 μήνες** να γίνεται επιτήρηση και προσθήκη απιονισμένου νερού.

#### ● Αυτοεκφόρτιση

Εφόσον ο συσσωρευτής δε βρίσκεται σε φόρτιση, η αυτοεκφόρτισή του είναι μικρότερη από 3% / μήνα στους 20°C, χωρίς υγρασία.



**Συσσωρευτές με σωληνωτές θετικές πλάκες DIN 40736p1 & 40737p3  
OPzS - Solar χαμηλού αντιμονίου ( LA ) • Χαμηλής Συντήρησης**

Τύπος Συσσωρευτή	Χωρητικότητα <b>C10</b> [°]	Χωρητικότητα <b>C120</b> [°]	Αρ. πόλων M10 ανά σεισμή	Διαστάσεις συσσωρευτή ( σε mm )				Βάρος με η/λη (kg) ± 5%
				Μήκος Μήκος εγκλιμένο	Πλάτος	Ολικό Υψος		
2 V 1 OPzS 50 Solar LA-b	64	90	2	103	113	206	400	13.1
2 V 2 OPzS 100 Solar LA-b	125	175	2	103	113	206	400	14.4
2 V 3 OPzS 150 Solar LA-b	170	240	2	103	113	206	400	15.7
2 V 4 OPzS 200 Solar LA-b	219	305	2	103	113	206	400	17.0
2 V 5 OPzS 250 Solar LA-b	273	380	2	124	134	206	400	21.0
2 V 6 OPzS 300 Solar LA-b	325	450	2	145	155	206	400	24.4
2 V 5 OPzS 350 Solar LA-b	390	550	2	124	134	206	515	27.3
2 V 6 OPzS 420 Solar LA-b	468	660	2	145	155	206	515	32.1
2 V 7 OPzS 490 Solar LA-b	545	765	2	166	176	206	515	36.8
2 V 6 OPzS 600 Solar LA-b	695	990	2	145	155	206	695	45.5
2 V 7 OPzS 700 Solar LA-b	825	1170	4	210	220	191	695	59.6
2 V 8 OPzS 800 Solar LA-b	925	1320	4	210	220	191	695	63.2
2 V 10 OPzS 1000 Solar LA-b	1160	1650	4	210	220	233	695	75.8
2 V 11 OPzS 1100 Solar LA-b	1290	1840	4	210	220	275	695	85.6
2 V 12 OPzS 1200 Solar LA-b	1390	1980	4	210	220	275	695	89.2
2 V 11 OPzS 1375 Solar LA-b	1630	2190	4	210	220	275	845	108.4
2 V 12 OPzS 1500 Solar LA-b	1750	2350	4	210	220	275	845	112.6
2 V 16 OPzS 2000 Solar LA-b	2320	3100	6	212	220	399	815	155.8
2 V 20 OPzS 2500 Solar LA-b	2880	3850	8	212	220	487	815	193.5
2 V 22 OPzS 2750 Solar LA-b	3180	4300	8	212	220	576	815	218.0
2 V 24 OPzS 3000 Solar LA-b	3450	4600	8	212	220	576	815	228.0
6 V 1 OPzS 50 Solar LA-b	62	87	2	225	235	230	395	27.0
6 V 2 OPzS 100 Solar LA-b	122	172	2	225	235	230	395	32.0
6 V 3 OPzS 150 Solar LA-b	167	235	2	225	235	230	395	37.0
6 V 4 OPzS 200 Solar LA-b	206	280	2	272	285	205	385	42.0
6 V 5 OPzS 250 Solar LA-b	259	360	2	380	390	205	385	58.0
6 V 6 OPzS 300 Solar LA-b	309	420	2	380	390	205	385	65.0
12 V 1 OPzS 50 Solar LA-b	55	78	2	272	285	205	385	36.0
12 V 2 OPzS 100 Solar LA-b	103	140	2	272	285	205	385	47.0
12 V 3 OPzS 150 Solar LA-b	155	210	2	380	390	205	385	66.0

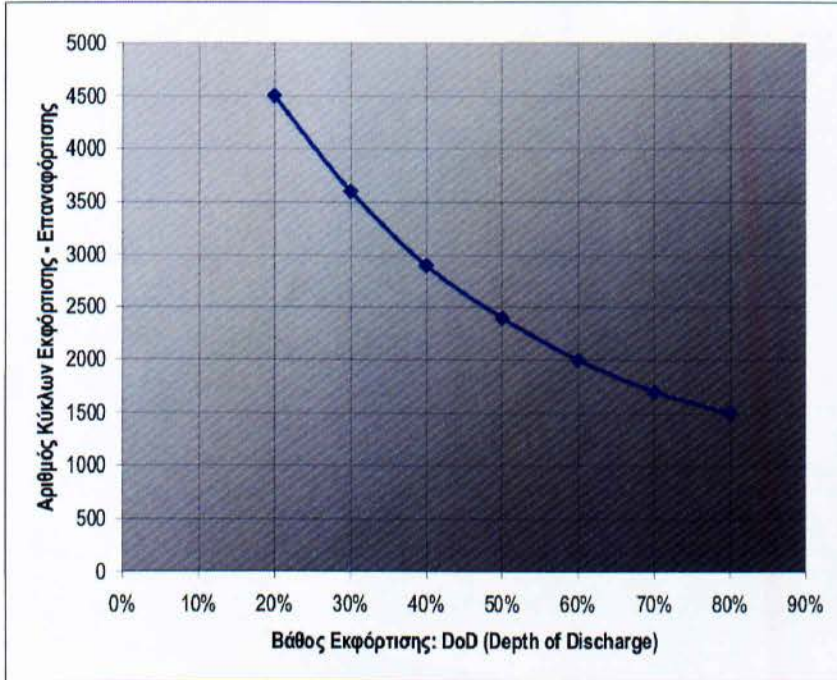
[1] Χωρητικότητες 10-ωρης (C10) και 120-ωρης (C120) εκφόρτισης κατά IEC 61427 σε 25°C και τάση τέλους 1,80 V/ιστ και 1,85 V/ιστ αντίστοιχα.



## Σειρά OPzS



Αντοχή σε Κύκλους σε σχέση με το Βάθος Εκφόρτισης



DoD	Αριθμός Κύκλων
80%	1500
70%	1700
60%	2000
50%	2400
40%	2900
30%	3600
20%	4500

- Δοκιμή κατά IEC 60896-11, παρ. 16
- Θερμοκρασία αναφοράς = 20°C



[4] Ρυθμιστής φόρτισης FM80



**FLEXmax™**

Continuous Maximum Power Point Tracking Charge Controllers

- Increases PV Array Output by up to 30%
- Advanced Continuous Maximum Power Point Tracking
- Full Power Output in Ambient Temperatures up to 104°F (40°C)
- Battery Voltages from 12 VDC to 60 VDC
- Fully OutBack Network Integrated and Programmable
- Programmable Auxiliary Control Output
- Built-in 128 days of Data Logging
- Standard 5 Year Warranty



The FLEXmax family of charge controllers is the latest innovation in Maximum Power Point Tracking (MPPT) charge controllers from OutBack Power Systems. The innovative FLEXmax MPPT software algorithm is both continuous and active, increasing your photovoltaic array power yield up to 30% compared to non-MPPT controllers. Thanks to active cooling and intelligent thermal management cooling, both FLEXmax charge controllers can operate at their full maximum current rating, 60 Amps or 80 Amps respectively, in ambient temperatures as high as 104°F (40°C).

Included in all of the FLEXmax Charge Controllers are the revolutionary features first developed by OutBack Power, including

support for a wide range of nominal battery voltages and the ability to step-down a higher voltage solar array to recharge a lower voltage battery bank. A built-in, backlit 80 character display shows the current status and logged system performance data for the last 128 days at the touch of a button. The integrated OutBack network communications allows FLEXmax series Charge Controllers to be remotely programmed and monitored via a MATE system display and provides unrivaled complete system integration.

FLEXmax MPPT Charge Controllers are the only choice when you demand a high performance, efficient and versatile charge controller for your advanced power system.

**OutBack**  
Power Systems™  
[www.outbackpower.com](http://www.outbackpower.com)

## FLEXmax Specifications

	☉ FLEXmax 80 - FM80-150VDC	☉ FLEXmax 60 - FM60-150VDC
Nominal Battery Voltages	12, 24, 36, 48, or 60VDC (Single model - selectable via field programming at start-up)	12, 24, 36, 48, or 60 VDC (Single model - selectable via field programming at start-up)
Maximum Output Current	80 amps @ 104°F (40°C) with adjustable current limit	60 amps @ 104°F (40°C) with adjustable current limit
Maximum Solar Array STC Nameplate	12VDC systems 1250 Watts / 24 VDC systems 2500 Watts / 48 VDC systems 5000 Watts / 60 VDC Systems 7500 Watts	12 VDC systems 900 Watts / 24 VDC systems 1800 Watts / 48 VDC systems 3600Watts / 60VDC Systems 4500 Watts
NEC Recommended Solar Array STC Nameplate	12 VDC systems 1000 Watts / 24 VDC systems 2000 Watts / 48 VDC systems 4000 Watts / 60 VDC Systems 5000 Watts	12 VDC systems 750 Watts / 24 VDC systems 1500 Watts / 48 VDC systems 3000Watts / 60VDC Systems 3750 Watts
PV Open Circuit Voltage (VOC)	150 VDC absolute maximum coldest conditions / 145 VDC start-up and operating maximum	150 VDC absolute maximum coldest conditions / 145 VDC start-up and operating maximum
Standby Power Consumption	Less than 1 Watt typical	Less than 1 Watt typical
Power Conversion Efficiency	97.5% @ 80 Amps in a 48VDC System - Typical	98.1% @ 60 Amps in at 48 VDC system voltage - Typical
Charging Regulation	Five Stages: Bulk, Absorption, Float, Silent and Equalization	Five Stages: Bulk, Absorption, Float, Silent and Equalization
Voltage Regulation Setpoints	10 to 60 VDC user adjustable with password protection	10 to 60 VDC user adjustable with password protection
Equalization Charging	Programmable Voltage Setpoint and Duration - Automatic Termination when completed	Programmable Voltage Setpoint and Duration - Automatic Termination when completed
Battery Temperature Compensation	Automatic with optional RTS installed / 5.0 mV per °C per 2V battery cell	Automatic with optional RTS installed / 5.0 mV per °C per 2V battery cell
Voltage Step-Down Capability	Can charge a lower voltage battery from a higher voltage PV array - Max 150 VDC input	Can charge a lower voltage battery from a higher voltage PV array - Max 150 VDC input
Programmable Auxiliary Control Output	12 VDC output signal which can be programmed for different control applications (Maximum of 0.2 amps DC)	12 VDC output signal which can be programmed for different control applications (Maximum of 0.2 amps DC)
Status Display	3.1" (8 cm) backlit LCD screen - 4 lines with 80 alphanumeric characters total	3.1" (8 cm) backlit LCD screen - 4 lines with 80 alphanumeric characters total
Remote Display and Controller	Optional Mate or Mate2 with RS232 Serial Communications Port	Optional Mate or Mate2 with RS232 Serial Communications Port
Network Cabling	Proprietary network system using RJ 45 Modular Connectors with CAT 5e Cable (8 wires)	Proprietary network system using RJ 45 Modular Connectors with CAT 5e Cable (8 wires)
Data Logging	Last 128 days of Operation - Amp Hours, Watt Hours, Time in Float, Peak Watts, Amps, Solar Array Voltage, Max Battery Voltage Min Battery Voltage and Absorb for each day along with total Accumulated Amp Hours, and kW Hours of production	Last 128 days of Operation - Amp Hours, Watt Hours, Time in Float, Peak Watts, Amps, Solar Array Voltage, Max Battery Voltage Min Battery Voltage and Absorb for each day along with total Accumulated Amp Hours, and kW Hours of production
Hydro Turbine Applications	Consult factory for approved Turbines	Consult factory for approved Turbines
Positive Ground Applications	Requires two Pole Breakers for switching both positive and Negative Conductors on both Solar Array and Battery Connections (HUB 4 and HUB 10 can not be used for use in positive ground applications)	Requires two Pole Breakers for switching both positive and Negative Conductors on both Solar Array and Battery Connections (HUB 4 and HUB 10 can not be used for use in positive ground applications)
Operating Temperature Range	Minimum -40° to maximum 60° C. (Power capacity of the controller is automatically derated when operated above 40° C)	Minimum -40° to maximum 60° C. (Power capacity of the controller is automatically derated when operated above 40° C)
Environmental Rating	Indoor Type 1	Indoor Type 1
Conduit Knockouts	One 1" (35mm) on the back; One 1" (35mm) on the left side; Two 1" (35mm) on the bottom	One 1" (35mm) on the back; One 1" (35mm) on the left side; Two 1" (35mm) on the bottom
Warranty	Standard 5 year / Available 10 Year	Standard 5 year / Available 10 Year
Weight	- Unit 12.20 lbs (5.56 kg)	11.65 lbs (5.3 kg)
Dimensions	- Unit 16.25" x 5.75" x 4" (41.3 x 14 x 10 cm) - (H x W x D)	13.5 x 5.75 x 4" (40 x 14 x 10 cm)
	- Shipping 21" x 10.5" x 9.75" (53 x 27 x 25 cm)	18 x 11 x 8" (46 x 30 x 20 cm)
Options	Remote Temperature Sensor (RTS), HUB 4, HUB 10, MATE, MATE 2	Remote Temperature Sensor (RTS), HUB 4, HUB 10, MATE, MATE 2
Menu Languages	English & Spanish	English & Spanish

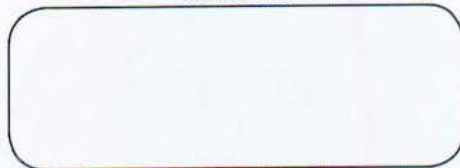
**OutBack**  
Power Systems™

**Main Office:**  
19009 62nd Avenue NE  
Arlington, WA 98223 USA  
Phone: (360) 435.6030  
Fax: (360) 435.6019

**European Office:**  
C/ Castelló, 17  
08830 - Sant Boi de Llobregat  
BARCELONA, España  
Phone: +34.93.654.9568

[www.outbackpower.com](http://www.outbackpower.com)

Available From:

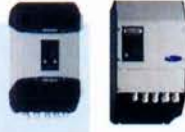


7/02/08



[5] Αντιστροφέας ισχύος HTH 6000-48

**Xtender  
series**



Model	XTM 2000-12	XTH 3000-12	XTM 3500-24	XTH 5000-24	XTM 4000-48	XTH 6000-48	XTH 8000-48
Inverter (factory setting/range adjustable with RCC-02 or RCC-03)							
Nominal battery voltage	12V		24V		48V		
Input voltage range	9.5 - 17V		19 - 34V		38 - 68V		
Continuous power @ 25°C	1600VA	2500VA	3000VA	4500VA	3500VA	5000VA	7000VA
Power 30 min. @ 25°C	2000VA	3000VA	3500VA	5000VA	4000VA	6000VA	8000VA
Power 5 sec. @ 25°C	4.8kVA	7.5kVA	9kVA	12kVA	10.5kVA	15kVA	21kVA
Power Smart-Boost 30 min. @ 25°C	2000VA	3000VA	3500VA	5000VA	4000VA	6000VA	8000VA
Maximum load	Up to short-circuit						
Maximum asymmetric load	Up to Pcont.						
Load detection (stand-by)	2 to 25 W						
Cos phi	0.1-1						
Maximum efficiency	93%		94%		96%		96%
Consumption OFF/Stand-by/ON	1.2W/2.2W/9W	1.7W/2.2W/14W	1.3W/2.5W/11W	1.3W/2.5W/20W	1.6W/3W/12W	1.6W/3W/22W	1.6W/3.8W/30W
Output voltage	Sine wave 230Vac (+/- 2%) / 190-245Vac						
Output frequency	50 Hz adjustable 45-65Hz +/- 0.05% (crystal controlled)						
Harmonic distortion	<2%						
Dynamic behaviour	1 ms (on load change 0 to 100%)						
Overload and short-circuit protection	Automatic disconnection with 3 time restart attempt						
Overheat protection	Warning before shut-off - with automatic restart						
Battery charger 6 step adjustable : 1-U-Uo-Equalize-Uo/low-U/periodic							
Charging current adjustable	0 - 85A	0 - 160A	0 - 75A	0 - 140A	0 - 65A	0 - 100A	0 - 120A
Input current balance adjustment	1 - 50A						
Maximum input voltage	265Vac						
Input AC voltage range	Adjustable threshold from 150 to 230Vac						
Input frequency	45 - 69Hz						
Power Factor Correction (PFC)	EN 61000-3-2						
Battery control (factory setting/range adjustable with RCC-02 or RCC-03)							
Absorption end	By duration 2 / 0.25 - 10h or by current - / 4 - 30A						
Absorption voltage	14.4 / 9.5 - 17V		28.8 / 19 - 34V			57.5 / 38 - 68V	
Periodic absorption voltage	- / 9.5 - 17V		- / 19 - 34V			- / 38 - 68V	
Floating voltage	13.6 / 9.5 - 17V		27.2 / 19 - 34V			54.4 / 38 - 68V	
Reduced floating voltage	- / 9.5 - 17V		- / 19 - 34V			- / 38 - 68V	
Equalization	By number of cycles (- / 1 - 100) or at set interval (- / 52 weeks)						
Equalization end	By duration 4 / 0.25 - 10h or by current - / 4 - 30A						
Equalization voltage	- / 9.5 - 17V		- / 19 - 34V			- / 38 - 68V	
Deep-discharge protection	10.8 / 9.5 - 17V		21.6 / 19 - 34V			43.2 / 38 - 68V	
Reduced floating time	- / 0 - 32 days						
Periodic absorption time	- / 0 - 10 hours						
Temperature compensation	-5 / 0 to -8mV/°C/Cell (only with optional BTS-01)						
General data							
Multifunction contact adjustable	2 independent contacts 16A/250Vac (potential free 3 points)						
Max. current on transfer relay	50A / 11.5kVA						
Transfer time	<15ms						
Weight	18.5kg	34kg	21.2kg	40kg	22.9kg	42kg	46kg
Dimension h x l x L [mm]	133x222x466	230x300x500	133x322x466	230x300x500	133x222x466		230x300x500
Protection index	IP23						
Conformity	EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 55014, EN 55022, EN 61000-3-2, Dir. 89/336/EEC, LVD 73/23/EEC						
Operating temperature range	-20 to 55°C						
Ventilation	Forced from 55°C						
Acoustic level	<40dB / <45dB (without/with ventilation)						
Warranty	2 years						
Options							
Remote control and programming centre RCC-02 or RCC-03	•			•		•	•
Communication cable for 3ph and parallel CAB-RJ45-8-2 (2 m)	•			•			•
Battery temp. Sensor BTS-01 (5 m)	•			•		•	•
Remote command module RCM-10 + 3 m cable	•		•		•		

Data may change without any notice.