ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΥΒΡΙΔΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΑΓΓΕΛΟΣ ΚΛΩΘΑΚΗΣ

ΕΛΕΝΗ ΒΡΑΚΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΟΥΣΤΑΚΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2011

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Το νερό είναι μία από τις πιο άφθονες πηγές στη Γη, καλύπτοντας περίπου τα τρία τέταρτα της επιφάνειάς της. Από αυτό, περίπου το 97% είναι θαλασσινό νερό, ενώ μόλις το 3% προέρχεται από υπόγειες πηγές, ποτάμια και λίμνες, όντας κατάλληλο για πόση και άρδευση.

Η σημαντικότητα του νερού είναι τεράστιας σημασίας. Εκατομμύρια θάνατοι σημειώνονται ετησίως στις υποανάπτυκτες χώρες εξαιτίας της έλλειψης πόσιμου νερού, κακής διανομής του ή εξαιτίας της εσφαλμένης χρήσης του. Επιπλέον, το 80% των ασθενειών είναι άμεσα συνδεδεμένες με τα προβλήματα του πόσιμου νερού, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το 50% των ανθρώπων δεν έχει πρόσβαση σε καθαρό νερό.

Συγκεκριμένα, στις νότιες Μεσογειακές χώρες υποφέρουν από τις περιορισμένες πηγές νερού, μερικές φορές κάτω από το επίπεδο ανεφοδιασμού ενώ επιδεινώνεται η κατάσταση λόγω της αποψίλωσης, της υποβάθμισης, της εγκατάλειψης και της μόλυνσης της γης. Λόγω της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού της Γής, 2% ετησίως, καθώς επίσης και του επιπέδου διαβίωσης, η ζήτηση σε πόσιμο νερό αυξάνεται διαρκώς. Συγκεκριμένα, από 13 εκατομμύρια κυβικά το χρόνο που βρίσκεται τώρα, το 2025 αναμένεται να ξεπεράσει τα 20 εκατομμύρια κυβικά το χρόνο.

Στην Ελλάδα, η ανομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων έχει ως αποτέλεσμα έντονο πρόβλημα λειψυδρίας, κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού που το πρόβλημα αμβλύνεται λόγω των αυξημένων αναγκών της άρδευσης. Ένας ακόμη παράγοντας, τεράστιας οικονομικής σημασίας, που επιτάσσει σε ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες για πόσιμο νερό, είναι οι τουρίστες που επισκέπτονται κατά την καλοκαιρινή περίοδο τη χώρα μας.

Πολλές εναλλακτικές προτάσεις έχουν μελετηθεί για την πιο αποτελεσματική διαχείριση των αποθεμάτων νερού, όπως η κατασκευή δεξαμενών για την αποθήκευση του νερού, καθώς επίσης και φραγμάτων ,έτσι ώστε να μην χάνεται σημαντική ποσότητα νερού λόγω εκβολής των ποταμών στη θάλασσα. Ακόμη, προτείνεται η αξιοποίηση των υπόγειων πηγών νερού καθώς επίσης και η αφαλάτωση του γλυκού και υφάλμυρου νερού.

Η ανάγκη για παραγωγή πόσιμου νερού μέσω της διαδικασίας της αφαλάτωσης δεν έγκειται μόνο στο γεγονός των περιορισμένων πηγών πόσιμου νερού, αλλά και στην ποιότητά του. Ως επί το πλείστον, το νερό που αντλείται από υπόγειες πηγές νερού είναι υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα, πράγμα που σημαίνει ότι προκειμένου να χρησιμοποιηθεί απαιτείται να αφαλατωθεί.

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας ευνοεί την εξοικονόμηση της απαιτούμενης ενέργειας για την αφαλάτωση του αλμυρού και υφάλμυρου νερού, μέσω της χρήσης ΑΠΕ, χρησιμοποιώντας ανεξάντλητες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή ακτινοβολία και ο αέρας. Συγκεκριμένα, στις νότιες περιοχές της Ελλάδας, η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να φτάσει και τα 350 $cal/cm^2/day$. Στις παράκτιες περιοχές η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου υπερβαίνει τα 5-6 m/sec.

Η αφαλάτωση μέσω ΑΠΕ είναι μια κατάλληλη λύση παραγωγής πόσιμου νερού σε έναν αριθμό περιοχών της Ελλάδας και της Μεσογείου γενικότερα. Η λύση αυτή γίνεται ιδιαίτερα ανταγωνιστική σε απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές. Ακόμη, θεωρείται συμφέρουσα λύση για τα νησιά που η πρόσβαση του νερού μέχρι τώρα γινόταν με πλοία, έχοντας ιδιαίτερα αυξημένο κόστος ανά κυβικό μέτρο νερού. Στην εποχή μας, δεδομένων των πλεονεκτημάτων των τεχνολογιών αφαλάτωσης, μικρές και μεσαίου μεγέθους μονάδες αφαλάτωσης μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν. Αυτές οι μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες 60-70^{o}C, γεγονός που κάνει την χρήση ΑΠΕ ακόμη ευκολότερη.

Θετικό είναι το γεγονός ότι με το πέρασμα του χρόνου το κόστος παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές προοδευτικά μειώνεται. Ωστόσο υπάρχουν ακόμη κάποιοι ανασταλτικοί παράγοντες που εμποδίζουν την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ανεπαρκής πρόσβαση σε επενδυτικά κεφάλαια, οι αγορές ενέργειας και η ανεπαρκής ικανότητα για εμπορευματοποίηση ώριμων τεχνολογιών. Για μια πραγματική επανάσταση στην παγκόσμια στρατηγική της ενέργειας με χρήση ΑΠΕ πρέπει να ικανοποιηθούν τέσσερις παράγοντες: η τεχνική βιωσιμότητα, η οικονομική ανταγωνιστικότητα, η περιβαλλοντική επίδραση και η πολιτική θέληση.

Στη παρούσα εργασία θα εξετάσουμε την δημιουργία ενός συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού το οποίο θα καλύψει πλήρως τις ανάγκες σε υδροδότηση στο νησί της Σικίνου. Πιο συγκέκριμένα όπως θα δούμε παρακάτω πρόκειται για ένα σύστημα αφαλάτωσης το οποίο θα παράγει μέχρι 600 m^3 (τις περιόδους αιχμής) πόσιμου νερού την ημέρα. Η λειτουργία του θα βασίζεται εξ'ολοκλήρου σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενω την περισσεύουμενη ενέργεια θα την διοχετεύει στο δίκτυο ηλεκτροδότησης του νησιού. Αναλυτικότερα, σ'αυτή την εργασία θα μιλήσουμε στο Κεφάλαιο2 για τις διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που υπάρχουν σήμερα κα πως αυτές αξιοποιούνται. Στο Κεφάλαιο 3 θα κάνουμε μια εκτενή αναφορά στα συστήματα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού που υπάρχουν μέχρι σήμερα, θα δούμε τον τρόπο λειτουργίας τους και σε ποια περίπτωση χρησιμοποιείται το καθένα από αυτά. Έπειτα, στο 4^{ο} Κεφάλαιο θα αναλύσουμε την αφαλάτωση χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στο 5^{ο} Κεφάλαιο θα δούμε κάποια χαρακτηριστικά του νησιού της Σικίνου, όπως τους υδροφόρους ορίζοντες του νησιού και την υδροδότηση του σήμερα. Στο 6^{ο} Κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση για το μέγεθος της μονάδας που θα χρειαστεί για την περίπτωση της Σικίνου και στο 7^{ο} Κεφάλαιο ακολουθεί η ανάλυση για την ενεργειακή κάλυψη της μονάδας αφαλάτωσης. Στο 8^{ο} κεφάλαιο θα δούμε τον αλγόριθμο βάσει του οποίου θα δουλεύει η μονάδα αφαλάτωσης ώστε να αξιοποιεί κατα βέλτιστο τρόπο την ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές. Στο 9^{ο} Κεφάλαιο ακολουθεί η οικονομοτεχνική ανάλυση της μονάδας. Τέλος, στα Παραρτήματα Ι και ΙΙ παρουσιάζονται το εγχειρίδιο χρήσης της ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιήσαμε και οι πίνακες από την επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων από το πρόγραμμα Windrose, που μας δείχνουν την μηνιαία κατανομή ταχυτήτων καθώς και την πιθανότητα αυτής αλλά και την εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας για κάθε ημέρα του χρόνου.

Κεφάλαιο 2
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Για χιλιάδες χρόνια η ανθρωπότητα βασιζόταν στην αξίωση ότι οι φυσικοί πόροι θα είναι διαθέσιμοι όποτε τους χρειάζονταν. Εκμεταλλεύτηκε αλόγιστα τα φυσικά καύσιμα για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Η ελάττωση αυτών των πεπερασμένων πόρων δεν αποτελούσε αντικείμενο ενδιαφέροντος μέχρι τα τέλη του 20ου αιώνα.

Η μόλυνση του περιβάλλοντος, ο υποβιβασμός της ποιότητας του αέρα και του νερού και η απειλή της παγκόσμιας αλλαγής του κλίματος, επικέντρωσε το ενδιαφέρον των επιστημόνων, των πολιτικών και των καταναλωτών στους υπερβολικά γοργούς ρυθμούς κατανάλωσης των φυσικών πηγών ενέργειας από τις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες. Ενώ κάποιοι συμφωνούσαν ότι η κατανάλωση του φυσικού καυσίμου αποτελεί τη βάση για την υγεία και την οικονομική ανάπτυξη, κάποιοι άλλοι επέκριναν την καύση αυτών των πρώτων υλών για την παραγωγή ενέργειας αντί της διάδοσης τους για σκοπούς υψηλότερης αξίας και για τις επόμενες γενεές.

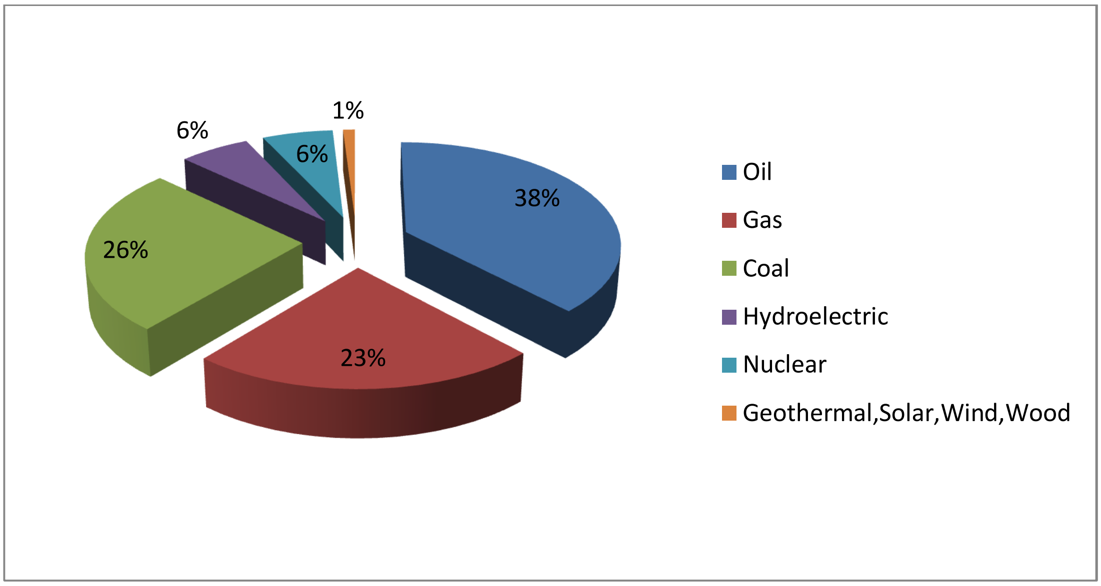
Ο Earth Summit στο Rio de Janeiro το 1992, επεσήμανε την ανάγκη της αλλαγής των οικονομικών συστημάτων από την ανάπτυξη οικονομιών μεγιστοποίησης κέρδους σε οικονομίες παρατεινόμενης ανάπτυξης. Για να επιτευχθεί ο στόχος οικονομικών δραστηριοτήτων μεγάλης περιόδου, χωρίς να καταστραφεί η βάση της ανθρώπινης ζωής, θεωρήθηκε ως προϋπόθεση η δημιουργία νέων τεχνολογιών και η υπεύθυνη χρήση των φυσικών πόρων.

Η ηλιακή ακτινοβολία και ο αέρας είναι οι μόνες πηγές ενέργειας οι οποίες είναι διαθέσιμες σε μεγάλη κλίμακα, χωρίς να ελαττώνονται. Με την ηλιακή ακτινοβολία δημιουργούνται απεριόριστα αποθέματα ενέργειας, χάρη στη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων υψηλής τεχνολογίας με μειωμένες απώλειες ενέργειας. Με χρήση ανεμογεννητριών γίνεται η εκμετάλλευση του αέρα, παράγοντας τεράστια ποσά ενέργειας, ικανά να παράγουν και να τροφοδοτήσουν με ενέργεια μονάδες παραγωγής ή ακόμη να συμβάλλουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τροφοδότηση νησιών, απομονωμένων περιοχών, κ.α.

2.1 Παγκόσμια Αποθέματα Ενέργειας

Οι σύγχρονες κοινωνίες και ιδιαίτερα οι βιομηχανοποιημένες εξαρτώνται απόλυτα από τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, που προέρχεται, ως επί το πλείστον, από φυσικά καύσιμα. Το 1992, εκτιμήθηκε ότι η συνολική παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ήταν περίπου 400 EJ, που ισοδυναμεί περίπου με 9,5 δισεκατομμύρια τόνους πετρελαίου(Σχήμα 2.2.1). Υποθέτοντας ότι ο πληθυσμός αυτόν τον χρόνο ήταν περίπου 5,3 δισεκατομμύρια, υπολογίζεται ότι η ετήσια μέση τιμή κατανάλωσης φυσικών καυσίμων ανά κάτοικο ήταν περίπου 1,8 τόνοι πετρελαίου.

Το μέγεθος του ενεργειακού προβλήματος που θα αντιμετωπίσουν οι επόμενες γενιές μπορεί να παρουσιαστεί με έναν απλό υπολογισμό. Η τάση αύξησης του πληθυσμού δείχνει ότι το 2025 αναμένεται να φτάσει γύρω στα 10 με 12 δισεκατομμύρια. Η μεγαλύτερη αύξηση θα παρουσιαστεί στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες. Η παρούσα κατάσταση παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 2.2.1, από τον οποίο παρατηρείται ότι οι αναπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούν διπλάσιες ποσότητες καυσίμων από τις λιγότερο αναπτυγμένες, παρόλο που αποτελούν μόλις το ένα τρίτο του συνολικού πληθυσμού της Γής.



Σχήμα 2.2.1 Ετήσια παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας(πηγή: www.beyondthemine.com)

Παρατηρούμε ότι το επικρατέστερο καύσιμο είναι το πετρέλαιο με ποσοστό 38%, ακολουθεί ο άνθρακας με ποσοστό 26%, το φυσικό αέριο με 23%, με ποσοστό 6% ακολουθούν η υδροηλεκτρική και η πυρηνική ενέργεια αντίστοιχα, ενώ μόλις με 1% έπεται η γεωθερμική, η ηλιακή, η αιολική ενέργεια και το ξύλο.

2.2 Τα Ενεργειακά Προβλήματα των Σύγχρονων Κοινωνιών

Τα προβλήματα που σχετίζονται με την ενέργεια σήμερα είναι κυρίως περιβαλλοντικά. Πριν από είκοσι χρόνια ήταν προβλήματα διατήρησης που αφορούσαν την εξάντληση των αποθεμάτων ενέργειας. Τα προβλήματα διατήρησης, βέβαια , παραμένουν, αλλά με την ανησυχία ότι οι χώρες που τα εξάγουν μπορεί να αναπτύξουν εχθρική συμπεριφορά. Τέλος, η ενέργεια δημιουργεί και κοινωνικά προβλήματα, τα οποία πολύ συχνά εμφανίζονται στην επικαιρότητα.

2.2.1 Περιβαλλοντικά προβλήματα

2.2.1.1 Διοξείδιο του Άνθρακα και το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Αρκετά περιβαλλοντικά προβλήματα έχουν πάρει μεγάλες διαστάσεις λόγω υπερβολικής χρήσης καυσίμων. Ένα από τα σημαντικότερα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης. Οι περισσότεροι επιστήμονες πιστεύουν ότι η αύξηση αυτή γίνεται με ρυθμό $0{,}3^{O}$ C ανά δεκαετία. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης των «αερίων του θερμοκηπίου» στην ατμόσφαιρα. Το πιο σημαντικό συστατικό αυτών είναι το CO_2 (διοξείδιο του άνθρακα) το οποίο απελευθερώνεται κατά την καύση καυσίμων.

Η ατμόσφαιρα της γης όταν δημιουργήθηκε πριν από 5 δισεκατομμύρια χρόνια, ήταν κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα χωρίς καθόλου οξυγόνο. Έμοιαζε αρκετά με την ατμόσφαιρα του Άρη και της Αφροδίτης που οι ατμόσφαιρες τους αποτελούνται από 90% διοξείδιο του άνθρακα.

Η πρώτη μορφή ζωής στη γη, πριν από 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια ήταν βακτηρίδια. Ακολούθησαν οι πρόγονοι των πρασινογάλαζων φυκιών και διάφορα άλλα φωτοσυνθετικά βακτηρίδια τα οποία χρησιμοποιούσαν την ηλιακή ενέργεια. Εγκλώβιζαν το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο ένωναν με το υδρογόνο του νερού και «έφτιαχναν» υδρογονάνθρακες. Το οξυγόνο τότε ήταν ένα βιολογικό παραπροϊόν. Η παραπάνω διαδικασία λέγεται **φωτοσύνθεση** κι είναι βασική για την ζωή όλων των φυτών του πλανήτη.

Το διοξείδιο του άνθρακα ανακυκλωνόταν τότε από οργανισμούς που κατανάλωναν οξυγόνο και εκπέμπανε διοξείδιο του άνθρακα. Κάποιες ποσότητες διοξειδίου δεσμεύονταν από πέτρες σαν άλατα ανθρακικού οξέως ή θάβονταν σε στρώματα υπολειμμάτων νεκρών οργανισμών στα βάθη των ωκεανών. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας μετά την πάροδο δισεκατομμυρίων ετών ήταν η μείωση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα στα σημερινά επίπεδα και η σταδιακή ανάπτυξη του οξυγόνου στο σημερινό επίπεδο του 21%.

Τα υπολείμματα της θαμμένης αυτής αρχαίας ζωής, τελικά σχημάτισαν ανθρακούχες πέτρες. Τα θαμμένα κατάλοιπα δασών κι άλλων ζωντανών οργανισμών από την εποχή του Άνθρακα, 350 έως 280 εκατομμύρια χρόνια πριν, μετατράπηκαν σε κάρβουνο, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, τα οποία χρησιμοποιούνται στις μέρες μας ως καύσιμα. Κατά την καύση τους επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ο άνθρακας που είχε αποσπαστεί από την πρωτόγονη ζωή.

Η θερμοκρασία γενικότερα τη γης επηρεάζεται από την εισερχόμενη ακτινοβολία του ηλίου και την εξερχόμενη ακτινοβολία από την γη. Ο ήλιος είναι αρκετά πιο ζεστός από την γη κι έτσι η ακτινοβολία του φτάνει σε αρκετά υψηλότερες συχνότητες ορατού φωτός. Η θερμοκρασία της γης είναι κατά μέσο όρο περίπου 15^{O} C και σαν συνέπεια αυτού είναι η ακτινοβολία της να φτάνει στις χαμηλότερες συχνότητες της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Το ισοζύγιο μεταξύ της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ακτινοβολίας επηρεάζεται από την απορρόφηση ή την αντανάκλαση που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα το κάλυμμα που σχηματίζουν τα σύννεφα ανακλά μεγάλη ποσότητα ακτινοβολίας πριν φτάσει στην επιφάνεια της γης κι έτσι διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα η θερμοκρασία στον πλανήτη. Τα μόρια οξυγόνου κι αζώτου που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της ατμόσφαιρας, σχηματίζονται από δύο μόνο άτομα το καθένα κι έτσι δεν απορροφούν τα μεγάλα μήκη κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όμως, πιο σύνθετα μόρια της ατμόσφαιρας απορροφούν τα μεγάλα μήκη κύματος κι έτσι παγιδεύουν την υπέρυθρη ακτινοβολία κοντά στην επιφάνεια της γης, διατηρώντας έτσι πιο υψηλές θερμοκρασίες.

Τα άτομα με πολύπλοκη δομή που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα(CO_2), το νερό(H_2O), το μεθάνιο(CH_4) και οι χλωροφθοράνθρακες, ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου και απορροφούν περισσότερο την υπέρυθρη ακτινοβολία σε σχέση με τα απλούστερα άτομα της ατμόσφαιρας. Ακόμη και σε πολύ μικρές ποσότητες έχουν σημαντική επίδραση στη θερμοκρασία της Γής. Εκτιμάται ότι χωρίς την παρουσία τους η θερμοκρασία της Γής θα ήταν περίπου 32^{o}C χαμηλότερη.

Το πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα($CO_{2)}$. Ο ρυθμός εκπομπής του αυξάνεται κατά 1,5 ppm το χρόνο. Το επόμενο πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου είναι το μεθάνιο(CH_4). Είναι ένα παραπροϊόν της καύσης βιομάζας και κάρβουνου. Προέρχεται από αναθυμιάσεις του φυσικού αερίου κι επίσης απελευθερώνεται από το εσωτερικό ζωντανών οργανισμών κι από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών σε βάλτους κι ορυζώνες. Η συγκέντρωση του σήμερα είναι διπλάσια από την συγκέντρωση στην προ-βιομηχανική περίοδο. Το μεθάνιο είναι πολύ πιο δραστικό αέριο από το διοξείδιο όμως η επίδραση του στο φαινόμενο είναι μικρότερη γιατί η συγκέντρωση του είναι υποπολλαπλάσια του διοξειδίου.

Διαφορετικά καύσιμα παράγουν διαφορετικές ποσότητες CO_2 ανά μονάδα ενέργειας που απελευθερώνεται. Το κάρβουνο είναι στην πλειοψηφία του άνθρακας, με αποτέλεσμα τα περισσότερα προϊόντα καύσης του να είναι CO_2. Ακολουθεί το πετρέλαιο με αμέσως μεγάλη ποσότητα παραγωγής CO_2 κατά την καύση του και, τελευταίο στην κατάταξη είναι το φυσικό αέριο με πιο χαμηλά επίπεδα παραγωγής CO_2, γι' αυτόν τον λόγο και προτιμάται έναντι των άλλων δύο καυσίμων.

Σύμφωνα λοιπόν με όλα τα παραπάνω είναι προφανές ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επηρεάσει κατά πολύ την αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με συμπεράσματα του Διακυβερνητικού Πλαισίου Αλλαγής του Κλίματος(Intergovernmental Panel on Climate Change,IPCC), «όσον αφορά τις παρατηρούμενες αλλαγές, έχει γίνει μια πραγματική αλλά ανώμαλη αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γής, από 0,3 έως $0.6^{o}C$ τα τελευταία 100 χρόνια, μία αξιοσημείωτη αλλά ανώμαλη πτώση της πλειοψηφίας των παγετώνων της Γροιλανδίας και μία αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας από 1 έως 2 mm ανά έτος».

Χρησιμοποιώντας πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα κι υποθέτοντας διπλασιασμό της συγκέντρωσης του CO_2 ή άλλου ισοδύναμου αερίου, κάτι το οποίο είναι πολύ πιθανό να έχει συμβεί μέχρι το 2050, οι μελέτες προβλέπουν μια μέση αύξηση της θερμοκρασίας από $1{,}5^{o}$ μέχρι $4{,}5^{o}$ C .

2.2.1.2 Όξινη Βροχή

Άλλο ένα πρόβλημα που προκύπτει από την καύση των φυσικών καυσίμων είναι η όξινη βροχή. Κάποια αέρια που απελευθερώνονται κατά την καύση, πιο συγκεκριμένα το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, ενώνονται με το νερό στην ατμόσφαιρα σχηματίζοντας θειικό και νιτρικό οξύ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την όξινη βροχή. Η όξινη βροχή μπορεί να προκαλέσει ζημιές στα φυτά, να επηρεάσει την ανάπτυξη των δασών και να διαβρώσει μεταλλικά αντικείμενα.

Στην Μεγάλη Βρετανία περίπου το 70% του θειικού οξέως που απελευθερώνεται προέρχεται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Αυτοί οι σταθμοί καίνε κυρίως κάρβουνο μαζί με πετρέλαιο, το οποίο περιέχει θείο σε συγκεντρώσεις περίπου 0,5%-5% κατ' όγκο. Ένας δεύτερος παράγοντας που προκαλεί όξινη βροχή είναι τα οξείδια του αζώτου. Αυτά τα οξείδια προέρχονται από καύσεις υψηλής θερμοκρασίας, εν μέρει από την παρουσία αζωτούχων υλικών στα καύσιμα, όπως στο κάρβουνο ή στο ξύλο, αλλά κι εν μέρει από την οξείδωση του αζώτου στον αέρα. Τα οξείδια του αζώτου παράγονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τις μηχανές των οχημάτων παρά από σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

2.2.1.3 Μόλυνση Θαλασσών

Τα επίπεδα παραγωγής πετρελαίου αυξήθηκαν πολύ κατά τον $20^{ο}$ αιώνα κι αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί επίσης πολύ η διακίνηση του πετρελαίου μέσω των θαλασσών. Προκειμένου λοιπόν να αντιμετωπισθεί αυτή η αύξηση,δεδομένου του υψηλού οικονομικού ανταγωνισμού, αυξήθηκε υπερβολικά το μέγεθος των πετρελαιοφόρων πλοίων με αποτέλεσμα σήμερα να θεωρούνται τα μεγαλύτερα εμπορικά πλοία. Βέβαια ακόμα και στην συνηθισμένη λειτουργία των πλοίων αυτών απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες πετρελαίου στις θάλασσες. Αυτό γίνεται ως εξής, τα πετρελαιοφόρα κατά την επιστροφή τους γεμίζουν με νερό τις δεξαμενές τους με αποτέλεσμα όταν αυτό αδειάζεται να απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες πετρελαίου.

Παρ' όλο που η μεταφορά πετρελαίου είναι γενικώς μια ασφαλής βιομηχανία, το μέγεθος αυτής και των πετρελαιοφόρων έχει σαν αποτέλεσμα όταν συμβεί κάποιο ατύχημα να έχει μεγάλη επίδραση. Αν κι ο αριθμός των ατυχημάτων είναι αρκετά μικρός σε σχέση με τα δρομολόγια των πετρελαιοφόρων, κάθε χρόνο καταγράφονται χιλιάδες περιστατικά που εμπλέκονται με το πετρέλαιο που χύνεται από αυτά κατά τις διαδικασίες αποθήκευσης κι εφοδιασμού των πλοίων. Χαρακτηριστικά μεταξύ 1970 και 1985 συνέβησαν 186 ατυχήματα πετρελαιοφόρων που είχαν σαν αποτέλεσμα την έκχυση 1800 τόνων πετρελαίου από το καθένα.

Έχει δημιουργηθεί η εντύπωση ότι οι θάλασσες μπορούν να παρομοιαστούν με τεράστιες δεξαμενές ικανές να απορροφήσουν τεράστιες ποσότητες πετρελαίου. Στην πραγματικότητα όμως ο βαθμός μόλυνσης από το πετρέλαιο είναι τέτοιος που συμπαγείς μάζες πετρελαίου είναι συνηθισμένες σχεδόν σε κάθε ωκεανό της γης.

2.2.1.4 Ραδιενεργά Απόβλητα και Προβλήματα Διακοπής Λειτουργίας των Πυρηνικών Σταθμών

Η πυρηνική ενέργεια αναπτύχθηκε στα προγράμματα των πυρηνικών όπλων κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο και παρουσιάστηκε σαν μια λύση για το πρόβλημα της καύσης των φυσικών καυσίμων. Στην ουσία αυτό αποτελούσε μια δικαιολογία για τους κινδύνους των πυρηνικών όπλων. Ένα ουσιαστικό πρόβλημα της πυρηνικής ενέργειας είναι ο σχηματισμός νέων στοιχείων ή ισοτόπων γνωστών στοιχείων. Μερικά από τα παραπροϊόντα των πυρηνικών σταθμών είναι πολύ ραδιενεργά και κάποια από αυτά παραμένουν ραδιενεργά για δεκάδες χιλιάδες χρόνια.

Σε όλα αυτά τα χρόνια λειτουργίας των πυρηνικών σταθμών παραγωγής ενέργειας, έχει συμβεί μόνο ένα σημαντικό ατύχημα, αυτό του Τσερνομπίλ το 1986. Το αμέσως προηγούμενο σε έκταση ατύχημα στο νησί Three Mile στις ΗΠΑ το 1983 έφτασε πολύ κοντά στο να αποβεί η σημαντικότερη καταστροφή και να επηρεάσει χιλιάδες ανθρώπους. Παρόλο που τέτοια περιστατικά γίνονται σπάνια, έχουν συμβεί εκατοντάδες δευτερεύοντα ατυχήματα κατά τα οποία απελευθερώθηκαν σημαντικές ποσότητες ραδιενέργειας.

Η απάντηση της πυρηνικής βιομηχανίας στα διάφορα μείζονα και δευτερεύοντα προβλήματα ήταν η αύξηση του επιπέδου ασφαλείας, με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας.

Σήμερα, η πυρηνική ενέργεια είναι η κύρια παραγωγή ενέργειας στην Γαλλία και το Βέλγιο που προμηθεύουν με ηλεκτρική ενέργεια και άλλες χώρες. Σε παγκόσμιο επίπεδο είναι σχετικά δευτερεύουσα πηγή ενέργειας, αποτελώντας λιγότερο από το 6% της παγκόσμιας ενέργειας.

2.2.1.5 Προβλήματα Διαθεσιμότητας

Στο σημείο αυτό ας δούμε πώς είναι κατανεμημένα τα φυσικά καύσιμα στη Γη.

Το πετρέλαιο, ή αλλιώς «μαύρος χρυσός», κατά 60% είναι διαθέσιμο στη Μέση Ανατολή, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το 25% των αποθεμάτων βρίσκεται στη Σαουδική Αραβία.

Η κατάσταση του φυσικού αερίου είναι κάπως διαφορετική, εξαιτίας των μεγάλων αποθεμάτων στην πρώην Σοβιετική Ένωση, η οποία και διαθέτει το 40% των παγκόσμιων αποθεμάτων φυσικού αερίου. Επίσης, ακόμη ένα μέρος του της τάξης του 40%, βρίσκεται στην περιοχή OPEC.

Τέλος τα αποθέματα σε κάρβουνο είναι πολύ μεγαλύτερα και ευρέως κατανεμημένα. Ωστόσο, η καύση του δεν προτιμάται εξαιτίας της μεγάλης παραγωγής CO_2.

2.2.1.6 Κοινωνικά προβλήματα

Μερικά από τα κοινωνικά προβλήματα που δημιουργούνται είναι οι πολιτικές και οικονομικές τάσεις λόγω των συγκεντρωμένων αποθεμάτων, η οικολογική ευαισθησία λόγω της συγκέντρωσης των αποθεμάτων καθώς επίσης και οι στρατιωτικοί κίνδυνοι από την πυρηνική εξάπλωση.

2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τον όρο ανανεώσιμη ενέργεια, όπως:

Οι Twidell και Weir to 1986 , όρισαν την ανανεώσιμη ενέργεια ως την ενέργεια που εξασφαλίζεται από την επαναληπτική ή συνεχή κυκλοφορία της ενέργειας που επαναλαμβάνεται στο φυσικό περιβάλλον.

Ο Sorensen to 1979 όρισε την ανανεώσιμη ενέργεια ως την ενέργεια που ρέει και ανανεώνεται με τον ίδιο ρυθμό που αυτή χρησιμοποιείται, προσθέτοντας ότι ο όρος ανανεώσιμη ενέργεια μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση κάθε ενέργειας που είναι αποθηκευμένη και ξαναγεμίζεται με συγκρίσιμους ρυθμούς με αυτούς της εξαγωγής.

Πιο πρόσφατα, ο συμβουλευτικός όμιλος ανανεώσιμης ενέργειας της Μεγάλης Βρετανίας (Renewable Energy Advisory Group, REAG) όρισε την ανανεώσιμη ενέργεια ως την έκφραση που χρησιμοποιείται για να καλυφτεί η κυκλοφορούμενη ενέργεια, η οποία απαντάται στη φύση, επαναλαμβάνεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς όφελος του ανθρώπου. Οι βασικές πηγές αυτής της ενέργειας είναι ο ήλιος, η βαρύτητα και η περιστροφή της γης.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία, τον άνεμο, τα παλιρροιακά κύματα που δημιουργούνται λόγω της έλξης της σελήνης και τη γεωθερμική ενέργεια που προέρχεται από την παραγόμενη θερμότητα στο εσωτερικό της Γής. Επίσης, στον όρο ΑΠΕ μπορεί να συμπεριλυφθεί και η ενέργεια που προέρχεται από τα απόβλητα όλων των ειδών.

Η χρήση των ΑΠΕ σε ένα πιο σημαντικό επίπεδο θα μπορούσε να αντικαταστήσει ένα σημαντικό μέρος της χρήσης φυσικών και πυρηνικών καυσίμων, έτσι ώστε να μειωθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι ότι σχεδόν σε καμία από αυτές δεν απελευθερώνονται μολυσμένα αέρια ή υγρά κατά τη λειτουργία τους.

Αξίζει να σημειωθεί πρόκειται για ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, με την έννοια ότι δεν υπάρχει πρόβλημα μείωσης των αποθεμάτων, έχοντας, παράλληλα, τη δυνατότητα να προσθέσουν ποικιλία στον ενεργειακό εφοδιασμό. Σε περιπτώσεις μεγάλων παλιρροιακών και υδροηλεκτρικών μονάδων, μπορούν να συντηρήσουν αυτόνομα εργοστάσια ενέργειας, πολύ μεγαλύτερα από από τους σταθμούς φυσικών και πυρηνικών καυσίμων. Μικρότερα εργοστάσια ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν οικονομία στον χρόνο υλοποίησης του σχεδιασμού και της κατασκευής, μειώνοντας παράλληλα τα κόστη μεταφοράς και μετάδοσης της ενέργειας.

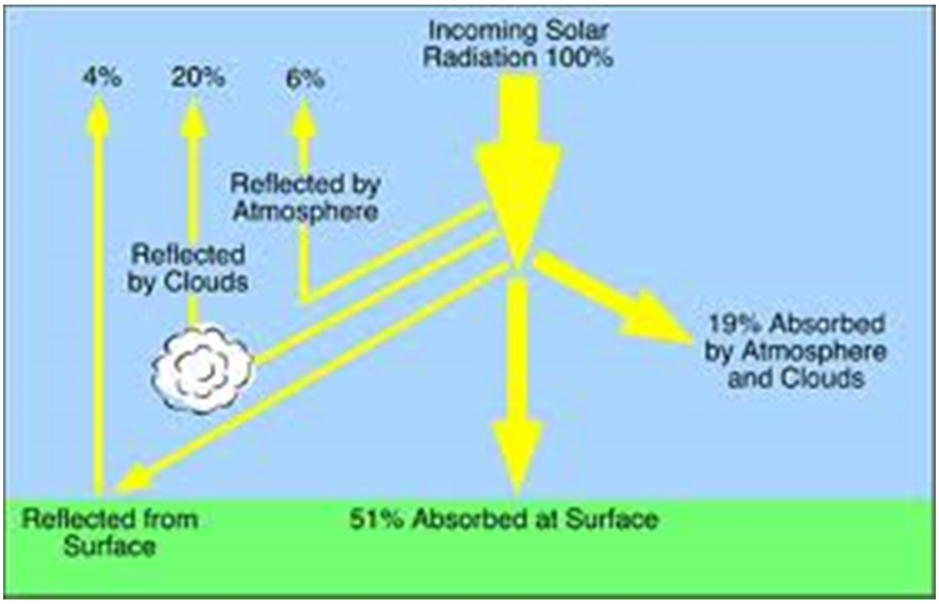
2.3.1 Αρχές και Μέγεθος των ΑΠΕ

2.3.1.1 Τεχνολογίες Ηλιακής Προέλευσης

Το συνολικό μέγεθος της ροής της ηλιακής ενέργειας από και προς τη Γή και την ατμόσφαιρά της είναι τεράστιο. Η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει κάθε χρόνο στη γη είναι:

- ισοδύναμη με 160 φορές της αποθηκευμένης ενέργειας των παγκοσμίων αποδεδειγμένων αποθεμάτων των φυσικών καυσίμων
- ισοδύναμη με περισσότερο από 15000 φορές της παγκόσμιας ετήσιας κατανάλωσης των φυσικών και πυρηνικών καυσίμων και της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.4.1) φαίνεται η κατανομή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη γη. Το 30% αυτής αντανακλάται στο διάστημα, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας που παραμένει απορροφάται από την επιφάνεια της γης (51%), την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα (19%). Σχετικά μικρές ποσότητες ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ανέμων και κυμάτων καθώς επίσης και στη φωτοσύνθεση των φυτών. Τελικά, όλη η ενέργεια που χρησιμοποιείται στη γη εκπέμπεται στο διάστημα με μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.4.1 Η κατανομή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

(πηγή: Wikipedia.org)

2.3.2 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμη ενέργεια άμεσα, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες. Μπορεί να απορροφηθεί από ηλιακούς συλλέκτες για την θέρμανση του νερού σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τα κτήρια μπορούν να κατασκευαστούν με υλικά που επιτρέπουν την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, συμβάλλοντας στην οικονομικότερη θέρμανση του εσωτερικού χώρου. Η χρήση παραβολικών καθρεπτών συμβάλλει στην παραγωγή υψηλών θερμοκρασιών, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για σκοπούς θέρμανσης, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σταθμοί ηλιακής θερμικής ενέργειας βρίσκονται σε εμπορική λειτουργία στις ΗΠΑ. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετατραπεί έμμεσα σε χρήσιμη ενέργεια, μέσω άλλων μορφών ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι αυτή που καθορίζει τον καιρό στην επιφάνεια της γης. Ένα μεγάλο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφάται από τους ωκεανούς, οι οποίοι θερμαίνονται και εξατμίζονται προσθέτοντας υγρασία στον αέρα. Η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει περισσότερο κάθετα στις τροπικές περιοχές σε σχέση με τις πολικές, με αποτέλεσμα οι τροπικές περιοχές να είναι θερμότερες. Εφόσον η θερμότητα ρέει από τις θερμότερες προς τις ψυχρότερες περιοχές, δημιουργείται μια μαζική ροή θερμότητας προς τους πόλους. Αυτή η ροή ζέστης υγρού αέρα προς τους πόλους, όταν υπόκειται στην περιστροφή της γης, δημιουργεί τους γνωστούς σχηματισμούς των μεγάλων στροβίλων που φαίνονται στους χάρτες του καιρού, οι οποίοι εμφανίζονται ως κοιλότητες χαμηλής πίεσης και περιοχές υψηλής πίεσης και συνοδεύονται από καταιγίδες. Συγκεκριμένα, αυτοί οι στρόβιλοι μεταφράζονται σε ανέμους, από τους οποίους μπορεί να αποσπαστεί μέρος της ενέργειας τους από τις ανεμογεννήτριες.

Το νερό που εξατμίζεται από τον ήλιο συγκεντρώνεται με τη μορφή της βροχής για να τροφοδοτήσει ρυάκια και ποταμούς, στα οποία μπορούμε να βάλουμε φράγματα και στροβίλους για να αποσπάσουμε μέρος της ενέργειάς τους. Επιπλέον, όταν οι άνεμοι περνούν πάνω από τους ωκεανούς δημιουργούν ταλαντώσεις πάνω από τις επιφάνειες τους, γνωστές ως κύματα. Με κατάλληλους μηχανισμούς μπορεί να αποσπαστεί μέρος της ενέργειάς τους.

Συνεπώς, ο αέρας, το κύμα και η ενέργεια του νερού αποτελούν έμμεσες μορφές της ηλιακής ενέργειας.

2.3.1.3 Αιολική Ενέργεια

Περισσότερες από 20000 ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και περισσότερες από ένα εκατομμύριο για την άντληση νερού. Υπάρχουν πολλές περιοχές στις οποίες η αιολική ενέργεια είναι άφθονη.

2.3.1.4 Κυματική Ενέργεια

Μια μεγάλη ποικιλία μηχανισμών κατάλληλων για την απόσπαση ενέργειας από τα κύματα υπάρχει στην αγορά, ωστόσο το κόστος της επένδυσης παραμένει ακόμα αρκετά υψηλό.

2.3.1.5 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι πολύ καλά εδραιωμένη, σαν μία από τις κύριες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας στον κόσμο, παρέχοντας περίπου το 20% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας. Στις αναπτυγμένες χώρες το ποσοστό φτάνει το 40%. Η δυναμικότητα μεγάλων υδροηλεκτρικών μονάδων μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών σταθμών ενέργειας. Είναι αποδοτικές, αξιόπιστες και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Επίσης είναι ελεγχόμενες και διαθέτουν στοιχεία αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, αντισταθμίζοντας τις μεταβολές της ζήτησης. Παρά το γεγονός ότι η κατασκευή φραγμάτων και τεχνιτών λιμνών εμπεριέχει σημαντικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιδράσεις, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κατασκευαστεί μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα σε διάφορες περιοχές. Επιπλέον, υπάρχουν μηχανισμοί κατάλληλοι για την απόσπαση ενέργειας από μικρούς και μεσαίους ποταμούς και ρυάκια, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε συνδυασμό με φράγματα.

2.3.1.6 Βιομάζα

Μια σημαντική κατηγορία ΑΠΕ προερχόμενη από τον ήλιο είναι βιολογική. Τα πράσινα φυτά είναι απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία στη φωτοσύνθεση, η οποία χρησιμοποιεί διοξείδιο του άνθρακα και νερό για την παραγωγή σακχάρων, τα οποία με τα σειρά τους αποτελούν τη βάση για όλα τα σύνθετα μόρια των φυτών. Το παραπάνω ονομάζεται βιομάζα από τα φυτά και είναι μια από τις κύριες πηγές καυσίμων στον κόσμο, ειδικότερα στον Τρίτο Κόσμο, που καλύπτει το 40% των αναγκών τους. Σημαντική είναι η χρήση της και σε χώρες πλούσιες σε πράσινο, όπως στη Σουηδία (8%) και τον Καναδά (14%). Η αρχή του βιολογικού καυσίμου είναι το ξύλο, το άχυρο και η κοπριά των ζώων. Τα καύσιμα από ξύλα αποτελούν ανανεώσιμη πηγή εφόσον ο ρυθμός με τον οποίο καταναλώνονται δεν ξεπερνά τον ρυθμό που ανανεώνονται. Συχνό φαινόμενο είναι η καταστροφή των δασών από την αλόγιστη χρήση, με συνέπεια την ερήμωση του περιβάλλοντος αλλά και την δημιουργία μολυσμένων περιοχών.

Τα αέρια και υγρά καύσιμα μπορούν επίσης να προέλθουν από βιολογικές πηγές. Περισσότερες από επτά εκατομμύρια μονάδες βιοαερίου έχουν κατασκευαστεί στην Κίνα. Οι περισσότερες από αυτές είναι μικρές μονάδες που επεξεργάζονται βιολογικά απόβλητα, παράγοντας βιοαέριο, κυρίως μεθάνιο. Μεγαλύτερες μονάδες έχουν κατασκευαστεί στις βιομηχανικές χώρες. Υπάρχουν, επίσης, διάφορες μέθοδοι για την παραγωγή υγρών καυσίμων είτε από ειδικά αναπτυσσόμενες την παραγωγή αλκοόλ από ζαχαροκάλαμα, ώστε να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο, είναι καθοδόν από τα μέσα της δεκαετίας του ’70. Τα καύσιμα από αλκοόλ χρησιμοποιούνται σε μεγάλο αριθμό αυτοκινήτων. Αρχικά, η βενζίνη αναμείχθηκε με αλκοόλ, αλλά χρησιμοποιείται και ανόθευτο αλκοόλ από αυτοκίνητα που έχουν μετατραπεί για να το καίνε. Συγκεκριμένα φυτικά λάδια χρησιμοποιούνται σαν υποκατάστατο του πετρελαίου. Άλλα σημαντικά προγράμματα έχουν αναπτυχθεί στις ΗΠΑ, τη Γερμανία και τη Γαλλία, με σκοπό την παραγωγή βιολογικών υγρών καυσίμων.

2.3.1.7 Ενέργεια από τα Απόβλητα

Η ενέργεια από τα απόβλητα εμπεριέχεται στη βιομάζα, αφού πολλά από αυτά έχουν άμεση ή έμμεση οργανική προέλευση, όπως το χαρτί, τα υπολείμματα φαγητών, τα νερά των υπονόμων, κ.α.. Τα απόβλητα θεωρούνται περισσότερο ως μειονέκτημα παρά ως πλεονέκτημα. Η τάση για επιχωμάτωσή τους είναι η συνηθέστερη λύση. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί κάποια προγράμματα ανακύκλωσης χαρτιού, γυαλιού, τενεκέδων και μερικών πλαστικών.

Η επιχωμάτωση των σκουπιδιών αποτελεί από μόνη της έναν τρόπο παραγωγής χρήσιμης ενέργειας. Μια προσέγγιση είναι να σχεδιαστούν χώροι υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, με σκοπό την ενθάρρυνση της αποσάθρωσης και παραγωγής μεθανίου, το οποίο μπορεί να αντληθεί με ρηχά πηγάδια. Αυτό αποτελεί μια προσοδοφόρα βιομηχανία στις ΗΠΑ. Μια άλλη προσέγγιση είναι η αποτέφρωση των αποβλήτων και η ανάκτηση της θερμότητας, είτε με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε με άλλους τρόπους. Πολλά απόβλητα συνηθίζεται να αποτεφρώνονται σε εργοστάσια σήμερα, αλλά αυτό γίνεται για την μείωση των αποβλήτων και όχι για την παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας.

2.3.1.8 Παλιρροιακή Ενέργεια

Η περιστροφή της σελήνης γύρω από τη γη είναι αποτέλεσμα των βαρυτικών δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Οι βαρυτικές δυνάμεις είναι, επίσης, υπεύθυνες για την παλίρροια που εμφανίζεται στη θάλασσα εξαιτίας της φυγοκεντρικής δύναμης που αναπτύσσεται λόγω της περιστροφής. Εκτός από τη σελήνη, επίδραση στο φαινόμενο της παλίρροιας έχει και ο ήλιος. Οι σχετικές θέσεις της γης, του ήλιου και της σελήνης είναι αυτές που καθορίζουν την ισχύ και το μέγεθος των παλιρροιακών κυμάτων.

Σε συγκεκριμένες περιοχές, όπως το Seven Estuary, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά σχηματίζουν φυσικά χωνιά και περιοχές συντονισμού, τα οποία συγκεντρώνουν και ενισχύουν τις παλίρροιες. Στην Εύβοια, χαρακτηριστική είναι η παλίρροια των νερών του Ευρίπου ή αλλιώς των ‘τρελών νερών’. Η θάλασσα κινείται άλλοτε προς τον Βόρειο Ευβοϊκό και άλλοτε προς τον Νότιο Ευβοϊκό, με περίοδο 6 ώρες.

Με μεγάλους υδροηλεκτρικούς σχεδιασμούς, σε αυτές τις τοποθεσίες, υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσης, όσης και σε μεγάλους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής. Η απόδοση των σταθμών παλιρροιακής ενέργειας είναι μεταβλητή, αλλά προβλέψιμη, και δεν συμπίπτει απαραίτητα με τις μεταβολές της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πιο διαδεδομένη προσέγγιση για τη χρησιμοποίηση της παλιρροιακής ενέργειας είναι τα φράγματα που τοποθετούνται στις εκβολές των ποταμών και, ταυτόχρονα, οι στρόβιλοι που χρησιμοποιούνται για την απόσπαση της ενέργειας. Ο μεγαλύτερος σταθμός παλιρροιακής ενέργειας βρίσκεται στο La Rance, στη Βρετάνη και έχει δυναμικότητα 240 MW. Υπάρχει ένας αριθμός μικρότερων τεχνητών φραγμάτων στον Καναδά, στην πρώην Σοβιετική Ένωση και στην Κίνα.

Ωστόσο, η απόσπαση της παλιρροιακής ενέργειας τείνει, με το πέρασμα του χρόνου, να αυξήσει την τριβή της περιστροφής της γης και, τελικά, να μειωθεί η ταχύτητα περιστροφής της. Πρακτικά, όμως, η ποσότητα της ενέργειας που αποσπάται θεωρείται αμελητέα, συγκρινόμενη με τις πηγές της παλιρροιακής ενέργειας, οπότε η περιβαλλοντική επίδραση θεωρείται και αυτή αμελητέα.

2.3.1.9 Γεωθερμική Ενέργεια

Στο εσωτερικό της γης επικρατούν θερμοκρασίες πολλών χιλιάδων βαθμών Κελσίου. Αυτή η υψηλή θερμοκρασία εκτιμάται ότι προήλθε από τη βαρυτική συστολή της γης όταν δημιουργήθηκε. Ωστόσο, αυτή έχει αυξηθεί λόγω της εκλυόμενης θερμοκρασίας από τη διάσπαση μικρών ποσοτήτων ραδιενεργών υλικών που περιέχονται στον πυρήνα της γης. Λόγω αυτής της υψηλής θερμοκρασίας, υπάρχουν περιοχές που σχηματίζονται πηγές υπόγειων θερμών υδάτων, οι οποίες παρέχουν ζεστό νερό ή ατμό για αιώνες. Πάνω από 20 χώρες συνολικά χρησιμοποιούν γεωθερμικό ατμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ πολλές άλλες τον χρησιμοποιούν για την θέρμανση του νερού.

Η συνηθέστερη μέθοδος είναι η χρήση του φυσικώς παραγόμενου ατμού, ο οποίος αντλείται από φυσικές πηγές βαθιά στο έδαφος. Είναι επίσης, δυνατό να γίνουν γεωτρήσεις, να εισαχθούν εκρηκτικά ή άλλοι μηχανισμοί ώστε να σπάσει η πέτρα και να αντληθεί το νερό, μέσω της θραύσης, για την απόσπαση της θερμότητας.

Αν ο ατμός ή το νερό αντλείται με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι η θερμότητα αναπληρώνει τις περιβάλλουσες πέτρες, στη γεωθερμική περιοχή θα μειωθεί η δραστηριότητα της, με αποτέλεσμα μετά από μερικά χρόνια να εξαντληθεί. Θα πρέπει, τότε, να γίνουν νέες γεωτρήσεις στην περιοχή. Όταν λειτουργεί έτσι, η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη. Ωστόσο, είναι δυνατή η άντλησή της με ανανεώσιμο τρόπο, διατηρώντας τον ρυθμό απόσπασης χαμηλότερο από τον ρυθμό ανανέωσης.

2.4 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.4.1 Οι Τεχνολογίες των Αιολικών Πάρκων

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

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

Εικόνα 2.1. Αιολικό πάρκο (πηγή: egpaid.blogspot.org)

Η σημερινή τεχνολογία αιολικών πάρκων βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων. Αρχικά ανυψώνεται ο πυλώνας και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια. Μετά ανυψώνεται η πλήμνη στην κορυφή του πυλώνα. Στη βάση του πυλώνα συναρμολογείται ο άξονας της πτερύγωσης (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η πλήμνη περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο άξονας ανυψώνεται και συνδέεται στην πλήμνη. Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις.

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

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

Υπάρχουν τρεις τεχνολογίες αιολικών πάρκων:

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

2.4.2 Τα Χερσαία Αιολικά Πάρκα

Εικόνα 2.2. Χερσαίο αιολικό πάρκο(πηγή: parakalamoscity.blogspot.com)

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

2.4.3 Τα Παράκτια Αιολικά Πάρκα

Εικόνα 2.3. Παράκτιο αιολικό πάρκο στη Κύπρο (πηγή: www.econews.gr)

Οι εγκαταστάσεις (ανεμογεννήτριες) των παράκτιων αιολικών πάρκων είναι στο έδαφος σε απόσταση τριών χιλιόμετρων από μια ακτή ή στο νερό σε απόσταση δέκα χιλιόμετρων από την ακτή. Αυτές οι περιοχές είναι καλές περιοχές για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, λόγω των ανέμων που προκύπτουν από την άνιση θέρμανση του εδάφους και της θάλασσας κάθε ημέρα. Οι ταχύτητες στο μερίδιο αυτών των ζωνών εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του χερσαίου και παράκτιου ανέμου, ανάλογα με την κατεύθυνση του επικρατούντος ανέμου.

2.4.4 Τα Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα

Εικόνα 2.4. Θαλάσσιο αιολικό πάρκο (πηγή: bioenergynews.capitalblogs.gr)

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

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

Οι άνεμοι αποτελούν κίνηση αέριας μάζας και κυρίως προκαλούνται από την ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικότερα, είναι αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών που δημιουργούνται στην Τροπόσφαιρα είτε λόγω γεωγραφικού πλάτους είτε λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης (Μπεργελές, 2005).

Όπως θα αναφέρουμε και παρακάτω, το κύριο χαρακτηριστικό του ανέμου είναι η ταχύτητα του. Άλλωστε, ένδειξη για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής αποτελεί η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όμως, επειδή η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος, για να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη διαφορετικών περιοχών, είτε πρέπει να λαμβάνονται μετρήσεις στο ίδιο ύψος, είτε να ανάγονται στο ίδιο ύψος σύμφωνα με το εκθετικό νόμο:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^a$$

Όπου V_2 η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z_2, V_1 η μετρούμενη ταχύτητα σε ύψος z_1. Ο εκθέτης α είναι ενδεικτικός της επιφάνειας του εδάφους. Για παράδειγμα για ανοιχτά πεδία είναι α=0.17, για μικρές πόλεις με μικρές κατασκευές είναι α=0.2, ενώ για μεγάλες πόλεις με μεγάλες κατασκευές α=0.25.

Βέβαια ο εκθετικός νόμος, χρησιμοποιείται και για την αναγωγή της μετρούμενης ταχύτητας στο ύψος της ανεμογεννήτριας (Α/Γ), αφού σε αυτό το ύψος γίνεται η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, όπου έχουμε διαφορετικά δεδομένα σε σχέση με το ύψος μέτρησης.

Η ενέργεια που μεταφέρεται από τον άνεμο είναι κινητική και ορίζεται ως:

$$\mathrm{E} = \frac{1}{2} m V^2$$

Αν αντικαταστήσουμε την μάζα με τη σχέση της πυκνότητας: $\dot{m} = \rho \mathrm{A} V$

όπου $\dot{m}$ η μάζα του αέρα που διέρχεται από μια επιφάνεια Α ανά δευτερόλεπτο και ρ η πυκνότητα του αέρα που, τότε προκύπτει η κινητική ενέργεια του ανέμου ανά δευτερόλεπτο ή αλλιώς ισχύς του ανέμου:

$$P = \dot{E} = \frac{1}{2}\rho \mathrm{A} V^3$$

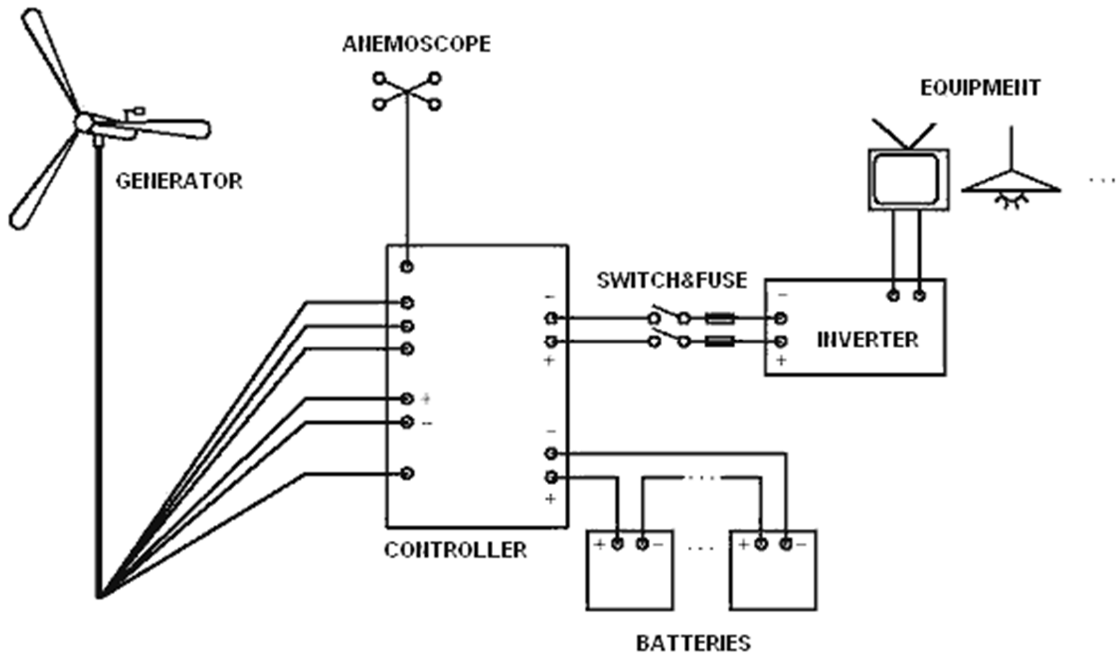
Παρατηρούμε ότι, η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη της επιφάνειας που διέρχεται ο άνεμος (δηλαδή, την επιφάνεια που καλύπτουν τα πτερύγια της Α/Γ), και ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του. Τέλος, να πούμε ότι η ισχύς του ανέμου μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμη μόνο κατά ένα ποσοστό, λόγω των σημαντικών απωλειών κατά τη διαδικασία της δέσμευσης της από την Α/Γ.

2.4.6 Ανεμογεννήτριες

2.4.6.1 Γενικά στοιχεία

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω των ανεμογεννητριών. Η κινητική ενέργεια, λοιπόν, μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης. Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (άντληση), και έτσι να αποφευχθούν οι απώλειες από τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας. Το σύνηθες, όμως, είναι να μετατρέπεται το μηχανικό έργο σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της στον τόπο κατανάλωσης και της ικανότητας αποθήκευσης της (μπαταρίες, σύστημα αντλιοταμίευσης). Βέβαια, το μηχανικό έργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή επί τόπου υδρογόνου που μπορεί να αποθηκευθεί ή να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η παραπάνω λύση αποτελεί τη βέλτιστη πρόταση αξιοποίησης λόγω του ότι δεν έχει καμία επίπτωση στο περιβάλλον, αφού κατά την καύση του υδρογόνου παράγεται μόνο νερό σε μορφή υδρατμών (Μπεργελές, 2005).

Η αρχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας και η αλληλουχία των βημάτων για την παραγωγή μέχρι την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας, χονδρικά, για ένα τυπικό αυτόνομο σύστημα (Σχήμα 1) έχουν ως εξής:



Σχήμα 2.1. Αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια (πηγή: energotech.gr)

- Καθώς ο άνεμος αλληλεπιδρά με τον δρομέα της Α/Γ προκαλείται μια ροπή
- Η σχετικά χαμηλή συχνότητα περιστροφής του δρομέα αυξάνεται μέσω ενός μετατροπέα στροφών, του οποίου ο άξονας εξόδου περιστρέφει μια γεννήτρια
- Το μεταβλητής συχνότητας ρεύμα που παράγει η γεννήτρια, μετατρέπεται σε συνεχές (DC) μέσω ενός μετατροπέα (rectifier) και φορτίζει τις μπαταρίες, που αποτελούν το πιο κλασικό μέσο αποθήκευσης και συμβάλουν στη σταθερότητα του συστήματος.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες οφείλουν την κίνηση των πτερυγίων τους στην άνωση που ασκείται πάνω τους από τον άνεμο. Σε αυτή την ιδέα στηρίχθηκε η ανάπτυξη των
ανεμογεννητριών γενικά και ειδικότερα των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα, οι οποίες έχουν γνωρίσει την μεγαλύτερη εμπορική ανάπτυξη. Μια τυπική ανεμογεννήτρια σήμερα είναι οριζόντιου άξονα με ισχύ από 800 kW έως 3000 kW.

Σημαντικό χαρακτηριστικό κάθε ανεμογεννήτριας αποτελεί ο συντελεστής ισχύος C_p:

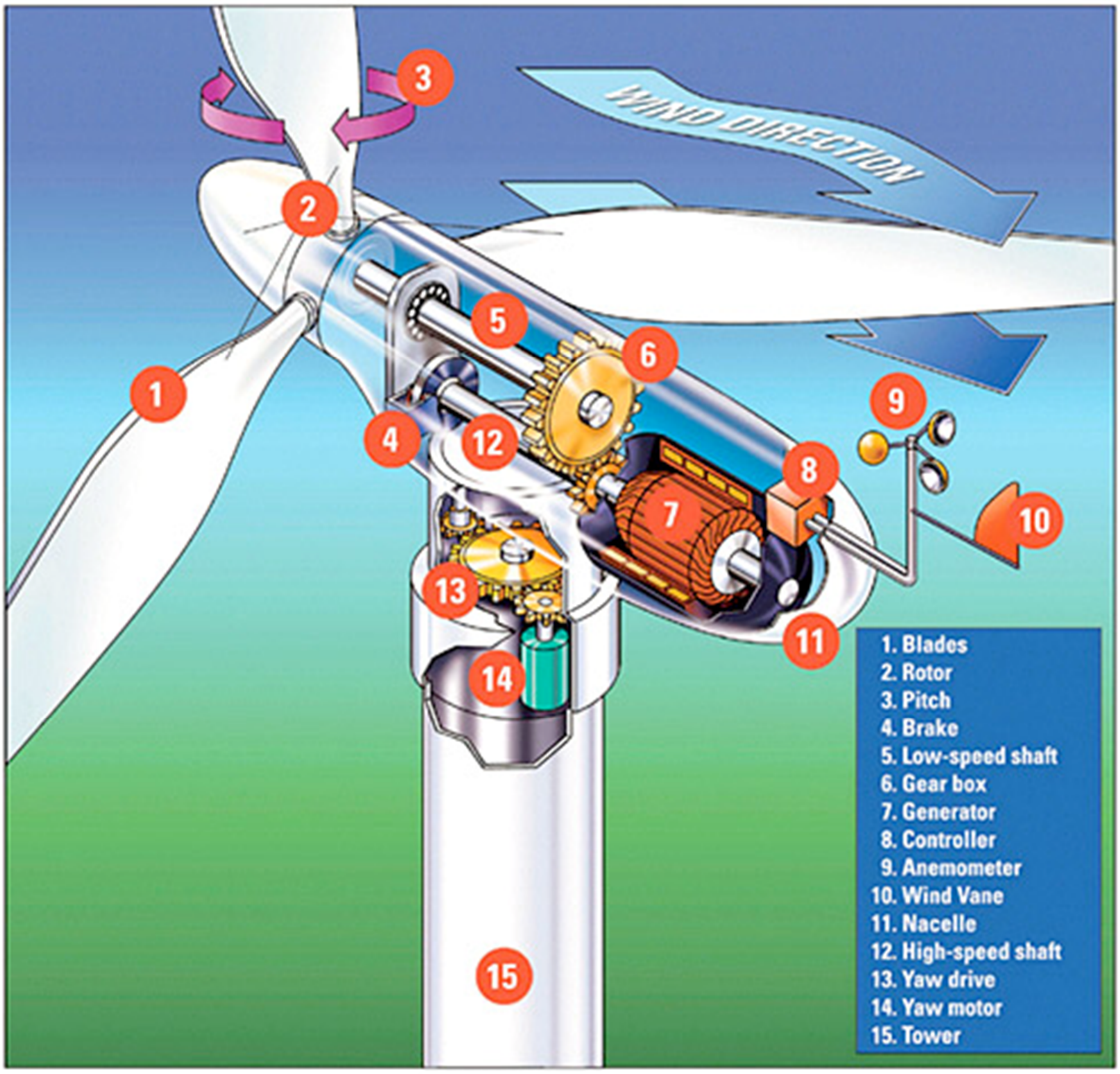
$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho \mathrm{A} V^3} \Leftrightarrow P = \frac{1}{2} C_p \rho \mathrm{A} V^3$$

που ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που αποδίδεται από την ανεμογεννήτρια P προς την ισχύ του ανέμου που διέρχεται από την επιφάνεια Α. Ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μηχανής. Έτσι, η αεροδυναμική σχεδίαση των πτερυγίων των σύγχρονων μηχανών, έχει οδηγήσει σε υψηλότερους συντελεστές ισχύος και μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή για δεδομένη ταχύτητα ανέμου. Όπως φαίνεται από τη σχέση του συντελεστή ισχύος, η αποδιδόμενη ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου. Για να υπολογίσουμε, λοιπόν, την ισχύ που παράγει μια συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια, χρειαζόμαστε μόνο την στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του δρομέα. Επίσης πρέπει να σημειώσουμε ότι ο συντελεστής ισχύος έχει ως άνω όριο, όπως έδειξε ο Betz, την τιμή $C_p = \frac{19}{27}$ που ονομάζεται όριο του Betz. Συνεπώς, η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού από την ανεμογεννήτρια μπορεί να γίνει μόνο μέχρι ένα ποσοστό της τάξης του 59%. Η μέγιστη τιμή αυτή, στην πράξη, δεν μπορεί να επιτευχθεί λόγω διαφόρων απωλειών κατά την αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου, και ένα τυπικό εύρος τιμών του συντελεστή είναι 20-40%.

2.4.6.2 Χαρακτηριστικά Ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη προσανατολισμό του άξονα, σε οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα. Έχοντας μεγαλύτερη, κατά πολύ, ανάπτυξη, θα δώσουμε παρακάτω, συνοπτικά, κάποια χαρακτηριστικά των Α/Γ οριζοντίου άξονα.

Στο σχήμα 2.2 σημειώνονται πιο λεπτομερώς τα κύρια μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.



Σχήμα 2.2. Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (πηγη: alternative-energy-news.info)

Τα κύρια μέρη των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα είναι ο δρομέας, το σύστημα αύξησης στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων), το σύστημα πέδησης, τα έδρανα του άξονα και οι ελαστικοί σύνδεσμοι, η ηλεκτρική γεννήτρια, το σύστημα προσανατολισμού, ο πύργος στήριξης και τα θεμέλια.

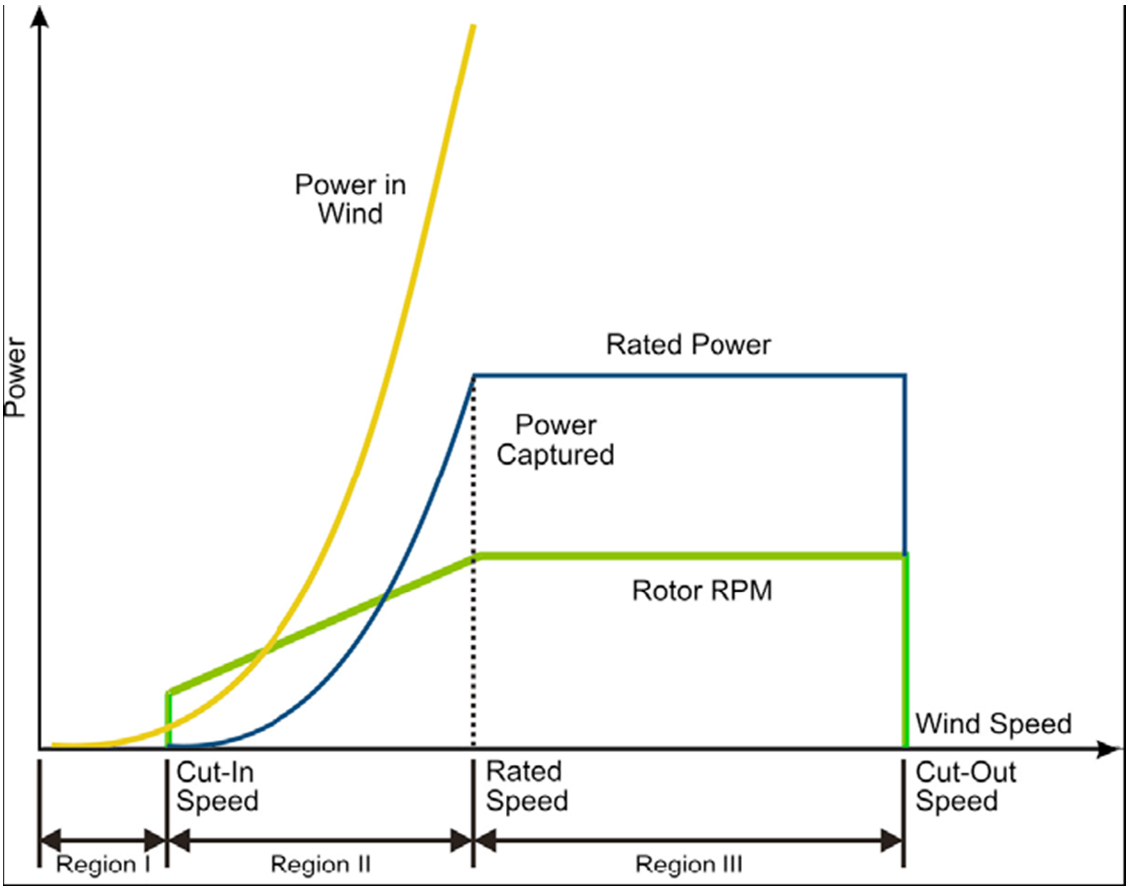
Ο δρομέας είναι ίσως το πιο βασικό ζήτημα στη σχεδίαση του όλου συστήματος. Αποτελείται από την πλήμνη και τα πτερύγια. Το πτερύγιο έχει αεροδυναμικό σχήμα και μπορεί να είναι ενιαίο ή να διαθέτει ακροπτερύγιο. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους, επιλογή αεροτομής, συστροφή) προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης. Η ηλεκτρική γεννήτρια μπορεί να είναι ασύγχρονη ή σύγχρονη γεννήτρια. Γενικά προτιμούνται οι ασύγχρονες γεννήτριες λόγω της απλότητας κατασκευής, αν και οι ασύγχρονες έχουν καλύτερη συμπεριφορά σε αδύνατα δίκτυα (Ζερβός, 2007). Το σύστημα προσανατολισμού είναι ένας σερβοκινητήρας ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και αναγκάζει το δρομέα να παρακολουθεί την κατεύθυνση του ανέμου και να παραμένει κάθετος σε αυτήν. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας στηρίζει τη νασέλλα και το δρομέα. Μπορεί να είναι τύπου δικτυώματος, σωληνωτός και σπανιότερα σκυρόδεμα. Η θεμελίωση γίνεται με οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω στο οποίο τοποθετείται με βίδες ο πύργος. Ο πύργος έχει σχήμα κώνου που εξυπηρετεί στην αύξηση της αντοχής και στην εξοικονόμηση υλικών με τη διάμετρο να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε τη βάση. Μεγάλης σημασίας έχει η γείωση που πρέπει να έχει η μεταλλική κατασκευή της ανεμογεννήτριας.

2.4.6.3 Παραγωγή Ενέργειας

2.4.6.3.1 Καμπύλη ισχύος

Η παραγωγή ισχύος μιας Α/Γ μεταβάλλεται με την ταχύτητα του ανέμου, και κάθε μηχανή χαρακτηρίζεται από την καμπύλη ισχύος της, η οποία εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και το σχεδιασμό της. Η καμπύλη ισχύος χαρακτηρίζεται από τρεις τιμές ταχύτητας:

- V_{cut-in} Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας
- V_F Ταχύτητα διακοπής λειτουργίας
- V_R Ονομαστική ταχύτητα



Σχήμα 2.3. Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας *(πηγη: alternative-energy-news.info)*

Το σχήμα 3 είναι χαρακτηριστικό της παραγόμενης ισχύος από την Α/Γ σε σχέση με την ταχύτητα και την ισχύ του ανέμου. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι μια ανεμογεννήτρια ξεκινάει να παράγει ισχύ στην ταχύτητα έναρξης λειτουργίας V_{cut-in}, σταματάει την λειτουργίας της για λόγους ασφαλείας σε ταχύτητες λίγο μικρότερες της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας V_F, ενώ παράγει την ονομαστική της ισχύ σε ταχύτητες λίγο μεγαλύτερες της V_R. Γνωρίζοντας λοιπόν την στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου μπορούμε να πούμε πόση ισχύ μπορεί να παράγει μια Α/Γ, μέσω της καμπύλης ισχύος της.

2.4.6.4 Απώλειες ενέργειας

Μια Α/Γ δεν μπορεί να αξιοποιήσει όλη την ετήσια ενέργεια του ανέμου για τους εξής λόγους (Μπεργελές, 2005):

- Αποδίδει ισχύ μόνο όταν η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου (τριβές, άξονα, μειωτήρα, γεννήτριας). Έτσι, σε περιόδους με ταχύτητες μικρότερες της V_{cut-in}, η ενέργεια του ανέμου μένει ανεκμετάλλευτη, αφού δεν είναι σε θέση να δώσει ροπή στον δρομέα

- Για ταχύτητες μεγαλύτερης της ονομαστικής, επιδιώκεται να διατηρηθεί η παραγόμενη ισχύς σταθερή, αλλάζοντας τη γωνία κλίσης των πτερυγίων ή με τα πτερύγια ή με την αλλαγή της γωνιακής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο ή την αλλαγή της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα, ανάλογα φυσικά με την γεννήτρια που έχει το σύστημα. Άρα για ταχύτητες μεγαλύτερες της V_R, χάνεται ένα ποσό του αιολικού δυναμικού.

- Για υψηλές ταχύτητες ανέμου, η Α/Γ παύει να λειτουργεί για λόγους ασφαλείας. Συνεπώς, η ενέργεια του ανέμου σε αυτές τις περιπτώσεις μένει τελείως αναξιοποίητη.

- Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας έχουμε αεροδυναμικές απώλειες (συντελεστής ισχύος).

- Κατά τη λειτουργία έχουμε ακόμα μηχανικές απώλειες στον άξονα, στον μειωτήρα και στη γεννήτρια. Ένα ποσοστό της τάξεως του 10% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής είναι αντιπροσωπευτικό των μηχανικών απωλειών.

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι, εκτός των απωλειών ενέργειας του ανέμου, παρατηρούνται απώλειες της παραγόμενης ενέργειας από την ανεμογεννήτρια κατά τη μεταφορά (καλώδια) αλλά και την μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος (αναστροφείς, συστήματα ελέγχου) έτσι ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί με ασφάλεια και αξιοπιστία από τα φορτία.

Έτσι αν υποθέσουμε ως E την παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια ενέργεια, όπως υπολογίζεται από την καμπύλη ισχύος της για δεδομένη ταχύτητα ανέμου, τότε η ενέργεια που θα παρέχεται στα φορτία E_{net} θα είναι μειωμένη κατά ένα ποσοστό και θα δίνεται από τη σχέση:

$$E_{wind} = nE$$

όπου n ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ανεμογεννητριών με τυπική τιμή 0.90.

2.5 Ηλιακή Ενέργεια

2.5.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο και φτάνει ως τη γη με τη μορφή ηλιακής ακτινοβολίας, είναι η κύρια πηγή ενέργειας γι' αυτήν, αφού συντελεί στη διατήρηση της θερμοκρασίας της, τροφοδοτεί τις άλλες πηγές ενέργειας και δίνει, μέσω της φωτοσύνθεσης, ζωή στα φυτά και, συνακόλουθα, στα ζώα. Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στα όρια της ατμόσφαιρας είναι παντού σταθερή, δεν συμβαίνει το ίδιο με αυτή που φθάνει στο έδαφος, η ισχύς της οποίας σπάνια ξεπερνά τα 1000 W ανά τετραγωνικό μέτρο. Καθημερινά, προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μια τεράστια ποσότητα ηλιακής ενέργειας, η οποία αν και αποτελεί ένα μικρό μόλις μέρος της ολικής ενέργειας που παράγεται από τον ήλιο, εντούτοις είναι 20.000 φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα σε ολόκληρο τον κόσμο και με οποιαδήποτε μορφή. Η προσπίπτουσα στο έδαφος ακτινοβολία εξαρτάται από την εποχή του έτους, την ώρα της ημέρας, την παρουσία νεφών, ομίχλης και σκόνης, ενώ εξασθενεί τόσο περισσότερο όσο μικρότερη είναι η γωνία πρόσπτωσης της στην επιφάνεια του εδάφους και συνεπώς όσο μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα.

Η ηλιακή ακτινοβολία γίνεται άμεσα αντιληπτή ως θερμότητα. Στο παρελθόν, αποτελούσε τη κύρια πηγή για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του ανθρώπου. Στην Ελλάδα, λόγω της γεωγραφικής της θέσης και της υψηλής ηλιοφάνειας, προσπίπτουν ετησίως 1570 kWh ηλιακής ενέργειας σε κάθε τετραγωνικό μέτρο της οριζόντιας επιφάνειας της. Έτσι, είναι δυνατή η, οικονομικά επωφελής, εφαρμογή τεχνολογιών εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, κάτι που αποδεικνύεται από την ευρεία χρήση ηλιακών συλλεκτών.

Όμως, στη σύγχρονη εποχή, η ποιότητα ζωής των ανθρώπων βασίζεται στην εξασφάλιση των ενεργειακών τους αναγκών μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτό το σημείο, η αποδοτική εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να συμβάλει στην προσπάθεια για διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Τα τελευταία χρόνια, συστήματα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, ονομαζόμενα ως φωτοβολταϊκά, γνωρίζουν ραγδαία ανάπτυξη. Αυτό οφείλεται στη βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών αλλά και στη μείωση του κόστους τους λόγω της μαζικότερης παραγωγής τους. Τα φωτοβολταϊκά ,αν και δεν μπορούν να αποτελέσουν την κύρια πηγή ηλεκτροπαραγωγής μιας περιοχής, εντούτοις μπορούν να αντικαταστήσουν κατά ένα σημαντικό ποσοστό τις συμβατικές εφαρμογές (Κ.Α.Π.Ε., 2001). Άλλωστε, για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας από φωτοβολταϊκά, απαιτούνται για την εγκατάσταση τους μεγάλες εκτάσεις γης. Παρόλα αυτά, σε περιοχές με υψηλή ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια του έτους, ενδείκνυται η εφαρμογή τους αφού κρίνεται οικονομικά συμφέρουσα με την ισχύουσα νομοθεσία. Ακόμα, δίνει την δυνατότητα ενεργειακής αυτονομίας σε μη διασυνδεδεμένες περιοχές. Το μέλλον κρίνεται ευοίωνο για τα συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας, αφού υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την βελτίωση της λειτουργίας τους και γενικότερα για την μεγαλύτερη συνεισφορά τους στην ενεργειακή παραγωγή της χώρας.

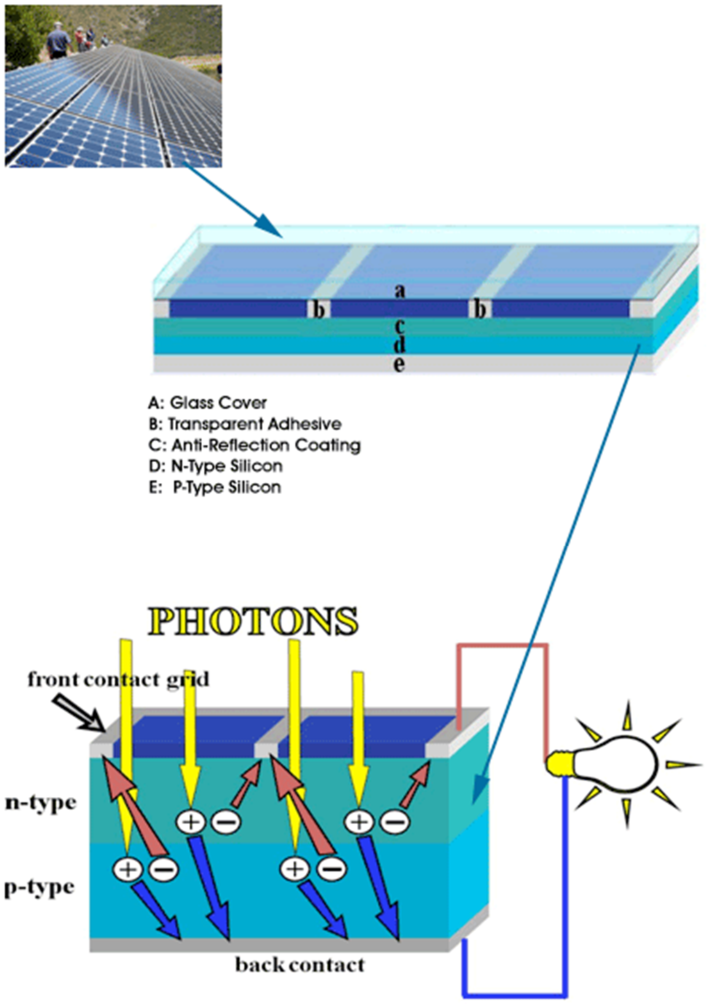
2.5.2 Φωτοβολταϊκά

256.2.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το ηλιακό φως αποτελείται από ενεργειακά σωματίδια που ονομάζονται φωτόνια, τα οποία έχουν κοινή ταχύτητα αλλά διαφορετική ενέργεια, ανάλογα με το μήκος κύματος της περιοχής του ηλιακού φάσματος στην οποία ανήκουν. Αυτά όταν προσπίπτουν επάνω σε υλικό με ημιαγώγιμες ιδιότητες, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται, ανάλογα με την ενέργεια που μεταφέρουν. Τα φωτόνια με μεγάλη ενέργεια, τα οποία απορροφώνται , προκαλούν την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Όσα δεν απορροφώνται (υπέρυθρη ακτινοβολία), διαπερνούν τον ημιαγωγό χωρίς καμία επίδραση.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4, η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου έχει ως εξής (Κ.Α.Π.Ε., 2001):

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία, προσπίπτει σε κρυστάλλους πυριτίου, ένα φωτόνιο διεισδύει σ’ ένα άτομο πυριτίου και εκδιώκει ένα ηλεκτρόνιο από την τροχιά του, δημιουργώντας έναν κενό δεσμό, μια οπή στην τετραεδρική κρυσταλλική δομή. Το απελευθερωμένο ηλεκτρόνιο, αρχίζει να κινείται μέσα στους κρυστάλλους αναζητώντας την οπή του, ένα θετικό φορτίο. Η οπή, όμως, κινείται επίσης, αλλάζοντας θέσεις με κοντινά ηλεκτρόνια, αρχικά, και στη συνέχεια, με πιο απομακρυσμένα ηλεκτρόνια. Έτσι, το ηλεκτρόνιο και η οπή του θα διαχωρίζονταν για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, πριν ξαναενωθούν και απολέσουν την ενέργεια του φωτός, υπό μορφή θερμότητας. Αν όμως, μερικά άτομα πυριτίου αντικατασταθούν στη μια πλευρά του κρυστάλλου με άτομα βορίου και στην άλλη με άτομα φωσφόρου, η μια πλευρά εμφανίζει σταθερά θετικά φορτία και η άλλη σταθερά αρνητικά.



Σχήμα 2.4. Αρχή λειτουργίας φωτοβολταικού στοιχείου (πηγή: buildinggreen.com)

Στο σημείο επαφής των δύο αντιθέτως φορτισμένων πλευρών δημιουργείται ένα πολύ μικρού πάχους ενεργειακό φράγμα όπου, λόγω της ισχυρής διαφοράς δυναμικού που εμφανίζεται εκεί, τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν από τη θετικά στην αρνητικά φορτισμένη πλευρά, αλλά όχι κατά την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτή είναι η βασική ιδιότητα ενός ημιαγωγού. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο μόνιμος διαχωρισμός των ηλεκτρονίων από τις οπές τους, αφού αυτές συσσωρεύονται στην αρνητικά φορτισμένη πλευρά του κρυστάλλου πυριτίου, ενώ οι οπές συσσωρεύονται στη θετικά φορτισμένη πλευρά του.

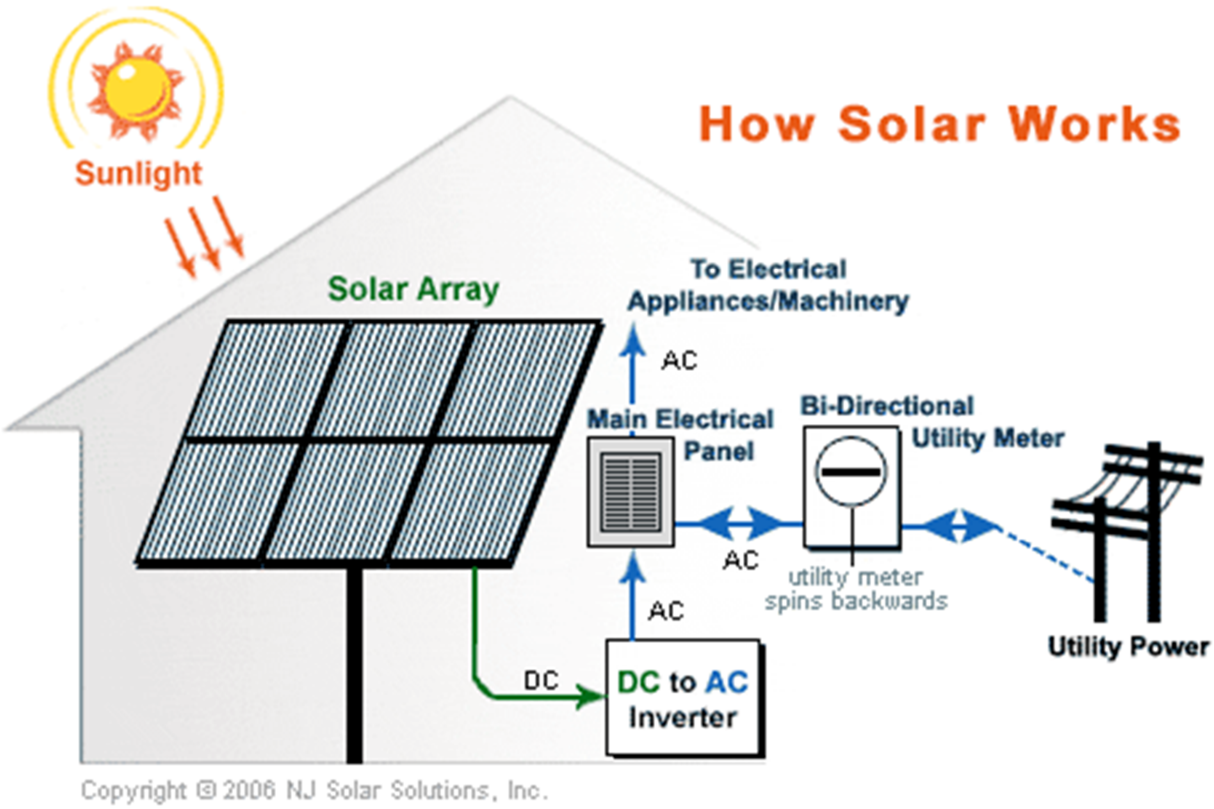
Αυτός ο ημιαγωγός ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο. Εάν στις δύο πλευρές συνδεθούν ακροδέκτες και το κύκλωμα «κλείσει» με μια ηλεκτρική συσκευή, τα ηλεκτρόνια διοχετεύονται στο κύκλωμα, διέρχονται από τη συσκευή όπου παράγουν έργο. Έτσι παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα με τη χρήση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος συνεχίζεται όσο προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία στο στοιχείο, ενώ και σε περιόδους συννεφιάς έχουμε παραγωγή με πολύ, όμως, μειωμένη απόδοση. Σοβαρό μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών αποτελεί η μειωμένη απόδοση τους σε περιόδους καύσωνα, καθώς η υψηλή θερμοκρασία επηρεάζει αρνητικά τον βαθμό απόδοσης τους.

2.5.2.2 Τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Η ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι περιορισμένη. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να παραχθεί σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία μαζί συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρονικά, σχηματίζοντας μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Κ.Α.Π.Ε., 2001). Για λόγους μηχανικής αντοχής και ευχρηστίας, τα στοιχεία αυτά έχουν ενσωματωμένα στο περίγραμμα τους μεταλλικά ελάσματα ανωδιωμένου αλουμινίου και για λόγους προστασίας, είναι αεροστεγώς και υδατοστεγώς κλεισμένα μέσα σε ειδικό τζάμι και ειδικά μονωτικά πλαστικά. Η συνολική ηλεκτρική ισχύς μιας γεννήτριας είναι ίση με το άθροισμα της ισχύος των φωτοβολταϊκών στοιχείων που την αποτελούν. Πολλές φωτοβολταϊκές γεννήτριες, συνδεδεμένες παράλληλα μεταξύ τους σχηματίζουν μια φωτοβολταϊκή συστοιχία.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται επάνω σε στρεφόμενα στηρίγματα που ακολουθούν την τροχιά του ήλιου. Έτσι μεγιστοποιείται η προσπίπτουσα ακτινοβολία και συνακόλουθα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως τα πλαίσια τοποθετούνται σε σταθερά στηρίγματα, σχηματίζοντας παράλληλες σειρές. Σχετικά με τον προσανατολισμό τους, στις περισσότερες εφαρμογές επιλέγεται να είναι από νοτιοανατολικός μέχρι και νοτιοδυτικός (Ζερβός, 2007). Ενώ η κλίση τις επιφάνειας, συνήθως, επιλέγεται να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης, έτσι ώστε η ακτινοβολία να πέφτει κάθετα το μεσημέρι του Μαρτίου και του Σεπτεμβρίου (Ζερβός, 2007). Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην απόσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, προκειμένου να περιορίζεται η σκίαση τους στις πρώτες πρωινές ώρες ή στις τελευταίες απογευματινές.

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες, συνδυαζόμενες με άλλες συσκευές σχηματίζουν τα λεγόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο κύριος διαχωρισμός των συστημάτων αυτών είναι σε αυτόνομα και διασυνδεμένα, ανάλογα με το αν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο ή όχι. Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη περιγραφή ενός τυπικού αυτόνομου συστήματος (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5. Λειτουργία αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος (πηγή: aaasip.com)

Ένα τυπικό αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

- Τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα συνεχούς τάσης.
- Τη διάταξη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, που συνήθως είναι κάποια μπαταρία.
- Τον ηλεκτρικό ρυθμιστή φόρτισης, ο οποίος προστατεύει τις μπαταρίες από έντονη φόρτιση και από έντονη εκφόρτιση.
- Τον αντιστροφέα, ο οποίος μετατρέπει τη συνεχή τάση του παραγόμενου ρεύματος σε εναλλασσόμενη, που απαιτεί η πλειονότητα των φορτίων.

Η παραγόμενη (ωριαία/ημερήσια/μηνιαία) ηλεκτρική ενέργεια ενός φωτοβολταϊκού συστήματος υπολογίζεται από τη σχέση (Κτενίδης, 2008):

$$E_{pv} = G_T S_k a$$

Όπου ,

- G_T, η (ωριαία/ημερήσια/μηνιαία) ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο γωνίας και προσανατολισμού ίσο με αυτό που έχουν εγκατασταθεί τα φωτοβολταϊκά πλαίσια

- $S_k = NS$, η συνολική ενεργός επιφάνεια πλαισίων (Ν ο αριθμός των πλαισίων, S ενεργός επιφάνεια κάθε πλαισίου)

- α , η συνολική απόδοση της εγκατάστασης

Η απόδοση της εγκατάστασης επηρεάζεται από παράγοντες όπως:

- Την ονομαστική απόδοση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, n_{mod}. Η τιμή της δίδεται από τον κατασκευαστή, μετρούμενη σε πρότυπες συνθήκες

- Τον βαθμό απόδοσης των αντιστροφέων, n_{inv} (συνήθης τιμή 0.95).
- Τις απώλειες των καλωδίων , a_{cab} (συνήθης τιμή 0.01).
- Τις απώλειες λόγω σκίασης , a_{sh} (συνήθης τιμή 0.01).
- Τον συντελεστή θερμότητας του πλαισίου, σ_ρ (συνήθης τιμή 0.95).
- Τον θερμοκρασιακό συντελεστή, σ_θ .

Αν T_c μέση (ωριαία/ημερήσια/μηνιαία) θερμοκρασία του στοιχείου, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι μεταβάλλεται γραμμικά με τη μέση (ωριαία/ημερήσια/μηνιαία) θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a, σύμφωνα με τη σχέση:

$$T_c = T_a + h_w G_T$$

όπου h_w ο χαρακτηριστικός συντελεστής φωτοβολταϊκών πλαισίων με τυπική τιμή 0.03 m^2 / W .

Ο θερμοκρασιακός συντελεστής έτσι: υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_\theta = 1 - 0{,}005(\mathrm{T}_c - 25)$$

Τελικά, η συνολική απόδοση της εγκατάστασης δίνεται από την σχέση:

$$a = n_{\text{mod}} n_{inv} (1 - a_{cab})(1 - a_{sh}) \sigma_\rho \sigma_\theta$$

2.5.3 Υβριδικά συστήματα

Η διακύμανση της παραγόμενης ενέργειας των αιολικών μηχανών, λόγω της στοχαστικότητας του ανέμου, αλλά και η, σχεδόν συγκεκριμένη παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών συστημάτων κατά την διάρκεια της ημέρας, αποτελούν εμπόδιο στην εκτεταμένη εκμετάλλευση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας σε μη διασυνδεμένα νησιά (Ζερβός, 2007).

Ένα ηλεκτρικό σύστημα χαρακτηρίζεται από την παραγωγή (προσφορά) και την κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια έχει το χαρακτηριστικό να μη μπορεί να αποθηκεύεται σε μεγάλες ποσότητες , αφού κάτι τέτοιο αυξάνει αρκετά το κόστος. Αυτό σημαίνει ότι η προσφορά πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή ισορροπία με τη ζήτηση. Όπως προαναφέραμε, όμως, τόσο οι ανεμογεννήτριες όσο και τα φωτοβολταϊκά δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσουν την απαίτηση αυτή, για το λόγο ότι στηρίζονται σε μη προβλέψιμα μετεωρολογικά δεδομένα.

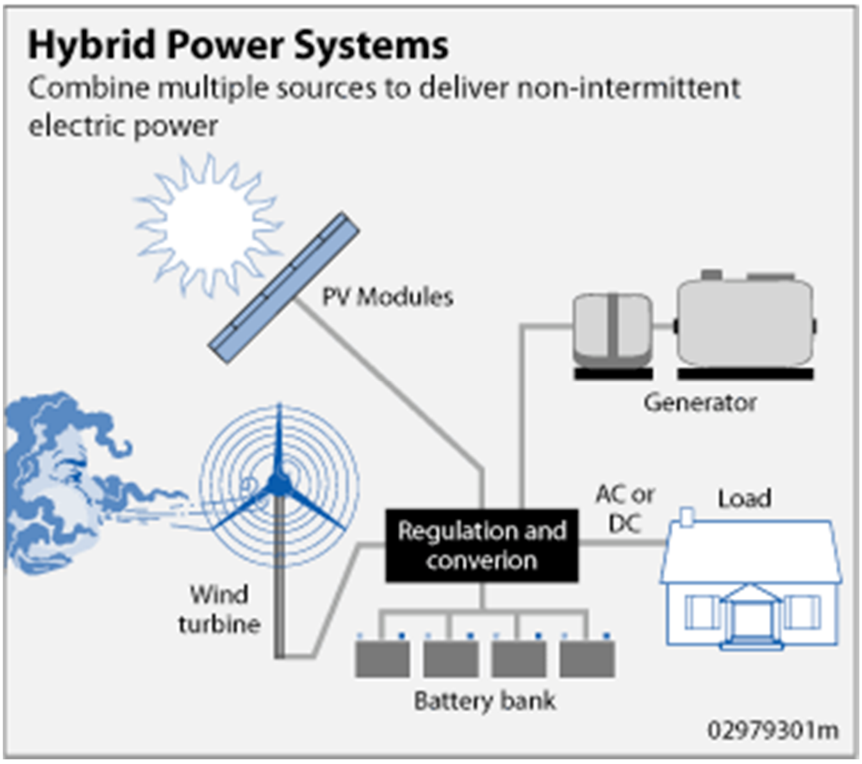
Το πρόβλημα είναι ακόμα πιο έντονο σε μικρά αυτόνομα συστήματα, όπως πολλά ελληνικά νησιά, όπου η ζήτηση παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις. Η έλλειψη τοπικής βιομηχανίας που να καταναλώνει σημαντική ενέργεια τη νύχτα, καθώς και η κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω του τουρισμού και της εκτεταμένης χρήσης κλιματιστικών συσκευών, προκαλούν έντονες ανομοιομορφίες στο προφίλ της ζήτησης (Ζερβός, 2007).

Να τονίσουμε σε αυτό το σημείο, ότι ένα σύστημα αφαλάτωσης παρουσιάζει παρόμοια διακύμανση στη ζήτηση ενέργειας, αφού οι ανάγκες σε πόσιμο νερό, σε ημερήσιο επίπεδο, ουσιαστικά παρουσιάζονται την ημέρα, και σε μηνιαίο επίπεδο, παρουσιάζουν ραγδαία αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω του τουρισμού και της αύξησης της θερμοκρασίας.

Η ανομοιομορφία της ζήτησης τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και του έτους, αλλά και η στοχαστικότητα παραγωγής ενέργειας από τις Α/Γ και τα Φ/Β, καθιστούν την εγκατάσταση τους σ' ένα μη διασυνδεδεμένο νησί, μη αποδοτική και συνεπώς ασύμφορη οικονομικά. Έτσι, λοιπόν, απαιτείται ο συνδυασμός τεχνολογιών ή/και η χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.

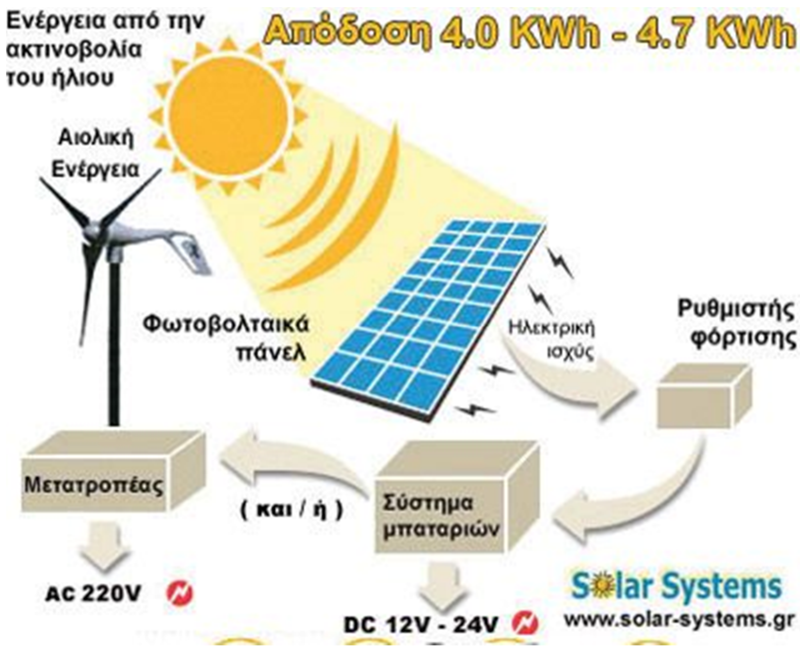
Ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών, είτε συμβατικών, είτε ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ονομάζεται υβριδικό σύστημα. Τέτοια συστήματα, μελετώνται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, στην κατεύθυνση για παραγωγή ενέργειας από φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες αλλά και συγχρόνως, για αξιόπιστη και ασφαλή προσφορά ενέργειας στον καταναλωτή. Πρόκληση, λοιπόν, αποτελεί η απαλοιφή των μειονεκτημάτων των τεχνολογιών ΑΠΕ και η αύξηση της διείσδυσης τους, με εφαρμογή υβριδικών συστημάτων ή/και με συνδυασμό τους με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Μια ευρύτατα εφαρμοσμένη τεχνολογία είναι η παράλληλη χρήση αιολικών συστημάτων με μηχανές εσωτερικής καύσης diesel (Σχήμα 2.6). Σε τέτοια συστήματα οι αιολικές μηχανές λειτουργούν ως εφεδρεία και η χρήση τους αποσκοπεί στην εξοικονόμηση καυσίμου και στη μείωση της ρύπανσης που προκαλείται, αλλά όχι στην μείωση της εγκατεστημένης ισχύος των μηχανών diesel. Είναι γεγονός, ότι σε πολλά νησιά της Ελλάδας, είναι εγκατεστημένες μηχανές diesel για την κάλυψη της ζήτησης. Συνεπώς, η εγκατάσταση Α/Γ ή/και Φ/Β θα οδηγήσει σ' ένα ποσοστό στην απεξάρτηση του νησιού από την αγορά καυσίμου.



Σχήμα 2.6. Υβριδικό σύστημα με Diesel και μπαταρίες(πηγη: energysavers.gov)

Ακόμα, υπάρχουν τύποι υβριδικών συστημάτων που συνδυάζουν μόνο τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Σχήμα 2.7). Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι ο συνδυασμός Α/Γ με Φ/Β με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης, Α/Γ και Φ/Β με αφαλάτωση, ενώ η παράλληλη χρήση μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος, λόγω της προβλέψιμης λειτουργίας και της γρήγορης απόκρισης τους. Σε περιπτώσεις εφαρμογής υβριδικών συστημάτων γίνεται βελτιστοποίηση στη διαστασιολόγηση των μονάδων, και δίνεται έμφαση στο σύστημα ελέγχου.



Σχήμα 2.7. Υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας με μπαταρίες (πηγή: solar-systems.gr)

Κεφάλαιο 3
Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης

3.1 Εισαγωγή

3.1.1 Το πρόβλημα του νερού

Το νερό είναι ένα από τα πολυτιμότερα αγαθά που υπάρχουν στη φύση. Είναι απαραίτητο για την διατήρηση και την εξέλιξη κάθε μορφής ζωής στον πλανήτη. Αποτελεί πηγή ζωής, γι' αυτό και οι πρώτοι πολιτισμοί από τα αρχαία χρόνια αναπτύχθηκαν κοντά σε θάλασσες, ποταμούς και λίμνες. Η πρόσβαση σε πόσιμο νερό ήταν αυτή που καθόρισε την οικονομία των αρχαίων πολιτισμών συντελώντας στην ανάπτυξη των γεωργικών καλλιεργειών. Παράλληλα, οι πολιτισμοί που είχαν αναπτυχθεί σε παραθαλάσσιες περιοχές είχαν πρόσβαση σε τροφές από είδη της θάλασσας. Σιγά σιγά, ξεκίνησε το εμπόριο και η ανταλλαγή προϊόντων μεταξύ των διαφόρων κοινωνιών, καθώς επίσης και τα πρώτα βήματα της οικονομίας.

Στη σημερινή εποχή τα πράγματα διαφέρουν αρκετά. Η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και η ολοένα και μεγαλύτερη πληθυσμιακή αύξηση των μεγάλων αστικών κέντρων έχει ως αποτέλεσμα την δυσανάλογη αύξηση της ζήτησης του νερού, και, σε συνδυασμό με την αλόγιστη χρήση του, οδηγεί μοιραία στην έλλειψη των αποθεμάτων. Επιπλέον, η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού έχει επιφέρει το πρόβλημα της μόλυνσης σχεδόν όλων των υδάτινων πηγών, η οποία προήλθε από λύματα των νοικοκυριών, αλλά κυρίως από βιομηχανικά απόβλητα τα οποία καταλήγουν στις λίμνες, τα ποτάμια και τη θάλασσα. Ακόμη και σε περιπτώσεις που αυτά έχουν υποστεί μερικό καθαρισμό, υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση βλαβερών ουσιών για τους ανθρώπους, αλλά και για όλο το οικοσύστημα. Το πρόβλημα της μόλυνσης των υδάτων αυξάνει με την χρήση φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων από τους γεωργούς. Αυτές οι χημικές ουσίες συμπαρασύρονται με τα νερά της βροχής μολύνοντας όχι μόνο τα επιφανειακά ύδατα, αλλά και τα υπόγεια.

Αυτή η απερίσκεπτη χρήση του νερού επιδεινώνει την κατάσταση, αν σκεφτεί κανείς ότι σε κάποιες περιοχές του ένα ποτήρι νερού είναι πιο πολύτιμο από την ίδια ποσότητα σε χρυσό. Η ξηρασία και η έλλειψη του νερού συναντάται στις ερήμους, στις χώρες του Τρίτου Κόσμου και σε περιοχές του δυτικού ημισφαιρίου.

Η κατάσταση θεωρείται κρίσιμη και, δυστυχώς ο άνθρωπος αναλαμβάνει τις ευθύνες του μόνο όταν απειλείται άμεσα η ζωή του. Είναι επιτακτική η ανάγκη δημιουργίας οικολογικής συνείδησης και ευαισθησίας για την διαφύλαξη του πολυτιμότερου αγαθού και συνεπώς για την διαφύλαξη της ίδιας της ζωής.

Αξίζει να τονιστεί ότι μόλις το 3% του νερού του πλανήτη είναι πόσιμο ή υφάλμυρο, ενώ το υπόλοιπο 97% είναι θαλασσινό.

3.1.1.1 Ζήτηση του νερού

Η ζήτηση του νερού ποικίλει από περιοχή σε περιοχή. Εξαρτάται από την γεωγραφική τοποθεσία, τον αριθμό των κατοίκων και από το πολιτιστικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο των ομάδων που το χρησιμοποιούν. Συνεπώς, η ζήτηση του νερού μπορεί να καταταγεί σε 4 ομάδες χρήσης:

- οικιακή χρήση
- κοινοτική χρήση
- βιομηχανική χρήση
- γεωργική χρήση

Η οικιακή χρήση έχει να κάνει με το πόσιμο νερό, το νερό καθαρισμού σπιτιών, καταστημάτων, κήπων, αυτοκινήτων, το νερό που χρησιμοποιείται για την προσωπική υγιεινή καθώς επίσης και το νερό που χρησιμοποιείται στο μαγείρεμα.

Η κοινοτική χρήση αφορά το νερό που χρησιμοποιείται για το πότισμα των δημόσιων χώρων, το νερό που χρησιμοποιείται για την πυρόσβεση, κ.α.

Η βιομηχανική χρήση του νερού αναφέρεται στη χρήση του από βιομηχανίες χημικές ή μη, οι οποίες χρησιμοποιούν άμεσα το νερό κατά την διαδικασία της παραγωγής ή έμμεσα για την ψύξη. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ρεύματος.

Στην τελευταία κατηγορία βρίσκεται η γεωργική χρήση του νερού που περιλαμβάνει την γεωργία και την κτηνοτροφία, δύο πολύ ευαίσθητους παράγοντες ως προς την ποιότητα του νερού και την αλιεία.

Κάθε ομάδα χρήσης έχει διαφορετικά κριτήρια ποιότητας του νερού ανάλογα με την χρήση, έτσι οι γενικές προδιαγραφές σε περιεκτικότητα αλάτων άλλοτε μπορεί να είναι περισσότερο ελαστικές και άλλοτε όχι.

3.1.1.2 Κριτήρια Ποιότητας

Η καταλληλότητα του νερού, ανάλογα με τη χρήση, καθορίζεται από διεθνή πρότυπα που αναφέρουν το είδος και τα όρια στην περιεκτικότητα των αλάτων. Για νερά που αφορούν τη βιομηχανική και την κοινοτική χρήση υπάρχει κάποια ελαστικότητα στις προδιαγραφές που καθορίζονται συχνά από τις βιομηχανίες ανάλογα με τις διαθέσιμες πηγές νερού. Για παράδειγμα, οι φαρμακευτικές βιομηχανίες, ορισμένες βιομηχανίες τροφίμων και οι ατμολέβητες υψηλών πιέσεων χρησιμοποιούν αφαλατωμένο ή απιονισμένο νερό αυστηρών προδιαγραφών, ενώ το νερό ψύξης έχει ελάχιστες ή καθόλου προδιαγραφές. Για την γεωργία, η ποιότητα του νερού εξαρτάται από το είδος του γεωργικού προϊόντος, την ποιότητα του εδάφους και του τοπικού κλίματος.

Όσον αφορά το πόσιμο νερό, οι προδιαγραφές είναι αυστηρές και έχουν δοθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization,WHO), η έδρα του οποίου βρίσκεται στη Γενεύη. Αυτός ο οργανισμός εκδίδει κατά καιρούς πρότυπα περιεκτικότητας σε διάφορα άλατα ή σε ουσίες μόλυνσης των νερών, που καθορίζουν την καταλληλότητα του. Εκτός από τον WHO, ο οποίος ελέγχει κυρίως το νερό των χωρών του Τρίτου Κόσμου, υπάρχουν και άλλοι οργανισμοί που έχουν αναπτύξει τα διάφορα κράτη και καθορίζουν τις προδιαγραφές ανάλογα με την ποιότητα των αποθεμάτων τις κάθε χώρας, και την κρατική ελαστικότητα.

Για το αφαλατωμένο νερό τηρούνται οι προδιαγραφές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. Το νερό κατεργάζεται κατάλληλα ώστε να είναι εύγεστο και απολυμαίνεται, εφ’ όσον προορίζεται για πόσιμο.

3.1.1.3 Ανακύκλωση του Νερού

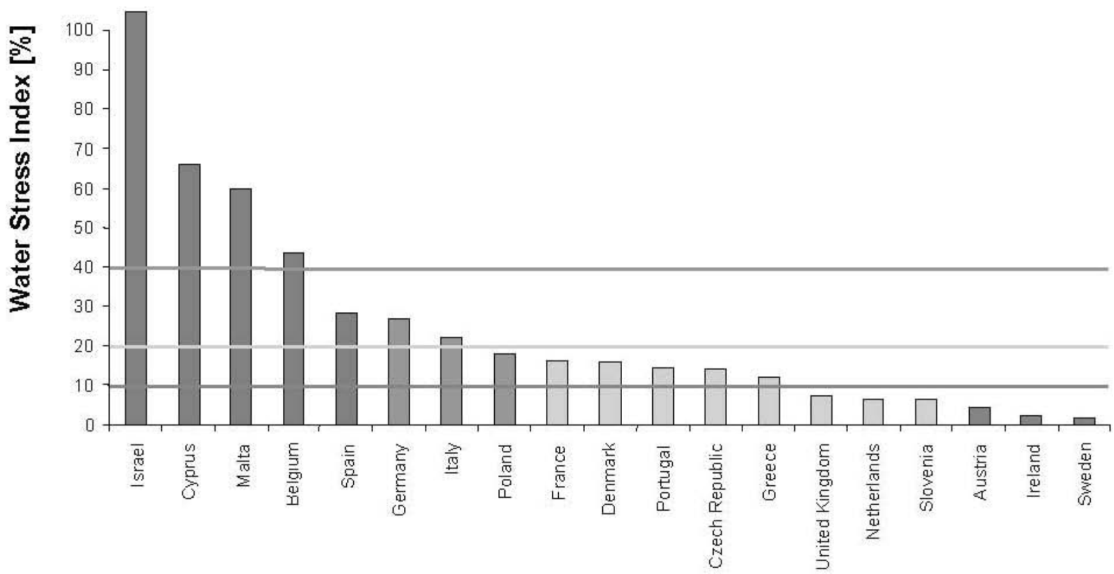
Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού που περιέχεται σε κάθε είδους λύματα και υγρά απόβλητα, αποτελεί ένα έμμεσο τρόπο αύξησης των αποθεμάτων νερού. Η ανάκτηση του νερού από τα μολυσμένα διαλύματα προϋποθέτει διάφορες μεθόδους καθαρισμού με χαμηλό κόστος λειτουργίας και συνεχή έλεγχο της καθαρότητας του νερού, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές επαναχρησιμοποίησης του. Διαλύματα εκροής από διάφορες βιομηχανίες επαναχρησιμοποιούνται είτε στις ίδιες κατεργασίες, είτε στην διαδικασία της ψύξης. Τα κοινοτικά υγρά απόβλητα χρησιμοποιούντα ,έπειτα από καθαρισμό, είτε ως πόσιμο νερό και νερό οικιακής χρήσης, είτε για γεωργική χρήση.

Ανάλογα με τη μόλυνση των υγρών αποβλήτων, τη συγκέντρωση και το είδος των συστατικών, καθώς επίσης και τον κλάδο επαναχρησιμοποίησης, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι καθαρισμού, όπως οι κοινές μέθοδοι καθαρισμού των λυμάτων και η αφαλάτωση του νερού. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης του νερού όπως η απόσταξη, η αντίστροφη ώσμωση, και η ηλεκτροδιάλυση. Σε πολλές περιπτώσεις γίνεται συνδυασμός των συμβατικών μεθόδων καθαρισμού με μια μέθοδο αφαλάτωσης ώστε να επιτευχθεί καλύτερο αποτέλεσμα.

3.2 Αφαλάτωση

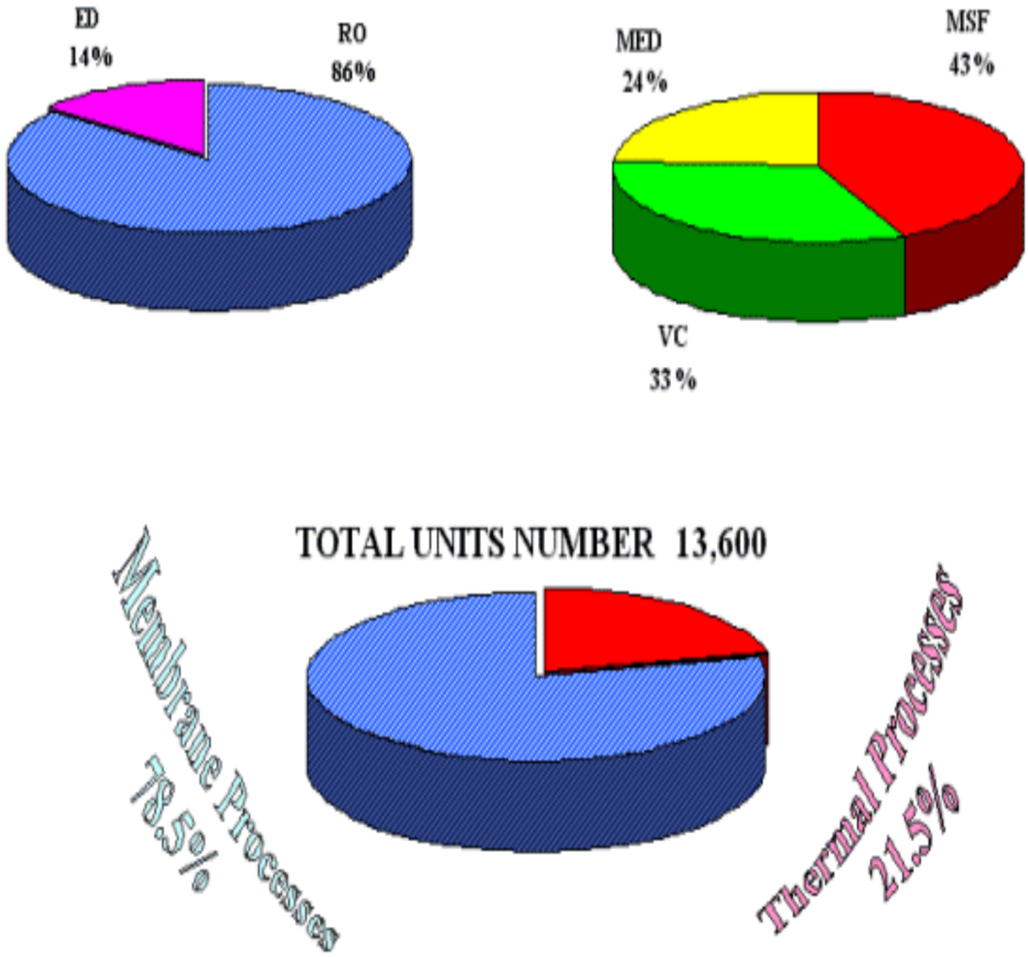
3.2.1 Στατιστικά Στοιχεία

Αναμφίβολα, το συνεχώς διογκωμένο πρόβλημα της λειψυδρίας, οδηγεί σε αναζήτηση τρόπων αντιμετώπισης του. Όπως προαναφέραμε στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η αφαλάτωση αποτελεί μια νέα τάση προς αυτή την κατεύθυνση και μια περιοχή που επιδέχεται περαιτέρω έρευνας.
Η έλλειψη πόσιμου νερού, όχι μόνο σε άνυδρες περιοχές, ουσιαστικά είναι η διαφορά προσφοράς και ζήτησης (Σχήμα 2.1). Η μείωση των αποθεμάτων νερού οφείλεται στη ρύπανση και στην χωρίς μέτρο εκμετάλλευση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτινων πόρων. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του πληθυσμού, ο νέος τρόπος ζωής που επιβάλλει μεγαλύτερη κατανάλωση αλλά και η αύξηση της βιομηχανικής και αγροτικής δραστηριότητας, είναι οι αιτίες για μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό.



Σχήμα 3.1 Λόγος ζήτησης και προσφοράς πόσιμου νερού σε διάφορες χώρες(πηγή: lactivist.net)

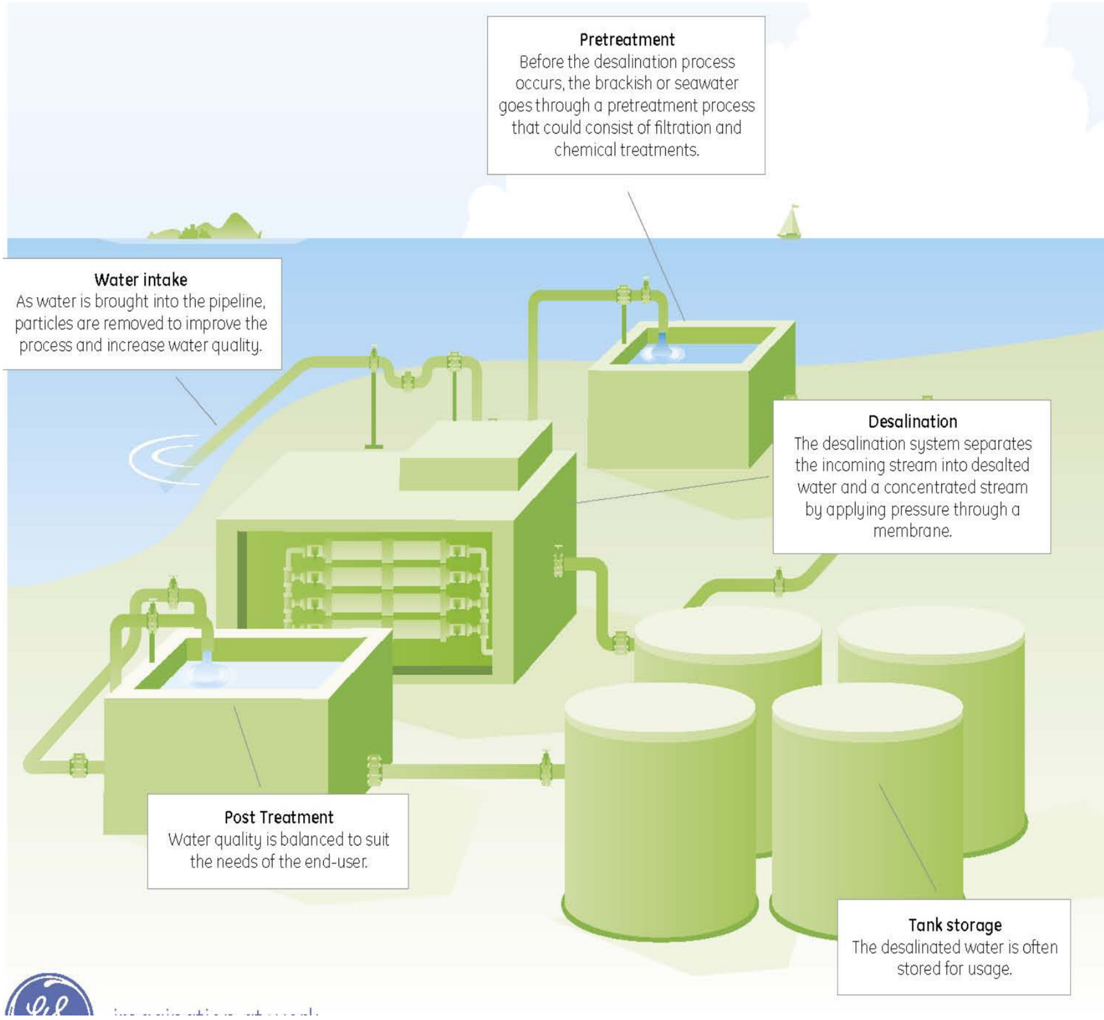
Παρόλο που οι άμεσα εκμεταλλεύσιμοι υδάτινοι πόροι ολοένα και δεν επαρκούν, υπάρχουν πηγές που βρίσκονται σε αφθονία αλλά πρέπει να επεξεργαστούν για να δοθούν για κατανάλωση. Δεν πρέπει, λοιπόν, να ξεχνάμε ότι το 97% των υδάτινων πόρων του πλανήτη είναι το θαλασσινό νερό. Ασφαλώς, το θαλασσινό νερό λόγω της σύστασης του είναι ακατάλληλο για κάθε είδους χρήση. Σε αυτό το σημείο, βασίζεται ουσιαστικά η ιδέα της αφαλάτωσης. Άλλωστε, ο στόχος της αφαλάτωσης είναι μέσω μιας σειράς διαδικασιών, αφαίρεση των αλάτων και μετάλλων από το θαλασσινό νερό, προκειμένου να είναι κατάλληλο για κατανάλωση. Πρέπει να πούμε ότι, μια μονάδα αφαλάτωσης μπορεί να επεξεργαστεί εκτός από θαλασσινό, υφάλμυρο νερό αλλά και επεξεργασμένα λύματα. Έτσι, η αφαλάτωση μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική πηγή προσφοράς πόσιμου νερού ,το οποίο ειδάλλως θα έμενε ανεκμετάλλευτο, σε περιοχές που παρουσιάζεται πρόβλημα, για ιδιωτική, βιομηχανική και αγροτική χρήση. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται το συνολικό μέγεθος των εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης μέχρι το 2006, καθώς και η προβλεπόμενη ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια, σε διάφορες περιοχές της γης.



Σχήμα 3.2 Ποσοστό παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που βασίζονται σε διεργασίες μεμβρανών και σε θερμικές διεργασίες για το έτος 2006 (πηγή: news.lubipumps-na.com)

3.2.2 Αρχές Λειτουργίας

Αν και έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω, η βασική διαδικασία και τα επί μέρους στάδια όλου του συστήματος παραμένουν ίδια. Σε αυτή την ενότητα, θα γίνει προσπάθεια να περιγραφεί ένα τυπικό σύστημα αφαλάτωσης (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3 Αναπαράσταση ενός συστήματος αφαλάτωσης (πηγή: chowrangi.com)

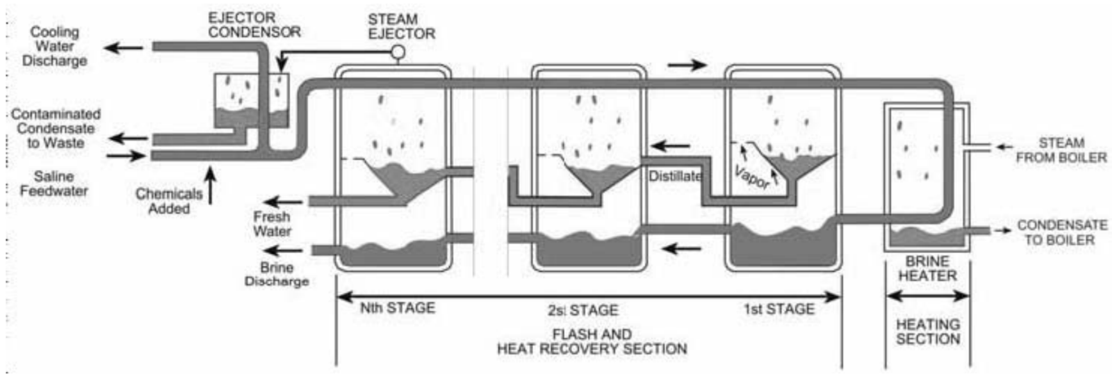
Αρχικά, λοιπόν, το θαλασσινό νερό συλλέγεται μέσω σωληνώσεων, ενώ συγχρόνως αφαιρούνται σωματίδια προκειμένου να έχει καλύτερη απόδοση η διαδικασία αλλά και να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού (<u>Water intake</u>). Στη συνέχεια, το ρεύμα θαλασσινού νερού διέρχεται από μια διαδικασία, ο οποία προηγείται της αφαλάτωσης, όπου φιλτράρεται ή και επεξεργάζεται χημικά αναλόγως τη μέθοδο αφαλάτωσης (<u>Pretreatment</u>). Το νερό μετά από αυτό το στάδιο είναι έτοιμο για να «περάσει» από το κύριο μέρος της εγκατάστασης (<u>Desalination</u>). Εδώ, το σύστημα αφαλάτωσης διαχωρίζει το ρεύμα εισόδου σε ένα ρεύμα με αφαλατωμένο νερό και σε ένα ρεύμα με συμπυκνωμένη άλμη. Η μέθοδος με την οποία διαχωρίζεται το ρεύμα θαλασσινού νερού ποικίλει. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές διεργασίες αφαλάτωσης, των οποίων στοιχεία θα αναλυθούν στην αντίστοιχη ενότητα. Αξίζει να αναφέρουμε επίσης, ότι η απόρριψη αυτής της άλμης στη θάλασσα, είναι πιθανόν να έχει επιπτώσεις στη θαλάσσια πανίδα. Συνεπώς η εκμετάλλευση της είναι αναγκαία (παραγωγή άλατος). Επανερχόμενο στη διαδικασία, το αφαλατωμένο νερό επεξεργάζεται εκ νέου, για να ικανοποιηθούν κάποιες απαιτήσεις ποιότητας, προκειμένου να είναι κατάλληλο για χρήση (<u>Post Treatment</u>). Τέλος, πολλές φορές, το παραγόμενο νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενές στην περίπτωση που η εκμετάλλευση του δεν απαιτείται να είναι άμεση (<u>Water Storage</u>).

3.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω και του αυξημένου ενδιαφέροντος, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης, άλλες σε θεωρητικό επίπεδο και άλλες εφαρμόσιμες στην πράξη. Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε τις μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί και παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.
Οι μέθοδοι αφαλάτωσης μπορούν τα ταξινομηθούν, ανάλογα τον μηχανισμό διαχωρισμού , σε αυτές όπου το μέσο αλλάζει φάση εκμεταλλευόμενο κάποια πηγή θερμότητας και σε αυτές που μέσω μεμβρανών, ύστερα από επιβολή πίεσης, γίνεται ο διαχωρισμός του θαλασσινού νερού. Αναφέρουμε συνοπτικά τις μεθόδους αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται:

- **Αλλαγής φάσης (Phase-change processes)**
  - Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (MSF)
  - Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME)
  - Απόσταξη με αποσυμπίεση ατμών (VC)
  - Ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)
  - Πάγωμα
  - Ύγρανση/Αφύγρανση
- **Διεργασίες Μεμβρανών (Membrane Based Desalination Technologies)**
  - Αντίστροφη ώσμωση (RO)
  - Ηλεκτροδιάλυση (ED)
  - Νανόφιλτρα (NF)

3.3.1 Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων - MSF



Σχήμα 3.4 Αρχή λειτουργίας μεθόδου MSF (πηγή: replant.org)

Η άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων βασίζεται στη δημιουργία ατμού από το θαλασσινό νερό, η οποία οφείλεται σε μια απότομη μείωση της πίεσης όταν το ρεύμα του θαλασσινού νερού εισέρχεται σε έναν θάλαμο κενού (Kalogirou, 2005). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, έχοντας χαμηλότερη πίεση από θάλαμο σε θάλαμο.

Η μέθοδος απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία ατμού θερμοκρασίας περίπου 100 βαθμών κελσίου. Η απόδοση της περιορίζεται, λόγω του μέγιστου της θερμοκρασίας που επιτρέπεται, εξ' αιτίας της συγκέντρωσης άλατος. Παρακάτω αναλύεται η λειτουργία της μεθόδου, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.4.

Αναλυτικά, η άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων αποτελεί μια μέθοδο αφαλάτωσης με επί μέρους στάδια επεξεργασίας (συνήθως 10-30 στάδια). Σε κάθε στάδιο, συμπύκνωμα ατμού χρησιμοποιείται για να προθερμάνει το τροφοδοτούμενο θαλασσινό νερό. Με τον «διαχωρισμό» της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στη θερμή πηγή και στο θαλασσινό νερό, σε ένα μεγάλο αριθμό από στάδια (2^oC πτώση ανά στάδιο), το σύστημα αποκτά την ιδανική ολική λανθάνουσα θερμότητα.

Το σύστημα, πρακτικά, διαιρείται σε ένα τμήμα ανάκτησης θερμότητας και σε ένα τμήμα απόρριψης θερμότητας (Kalogirou, 2005). Το θαλασσινό νερό τροφοδοτείται μέσω του τμήματος απόρριψης θερμότητας, το οποίο απορρίπτει θερμότητα από την μονάδα και αποβάλλει το παραγόμενο ρεύμα και το ρεύμα της άλμης στη χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία. Το θαλασσινό νερό αναμιγνύεται με μεγάλης μάζας νερό, το οποίο ανακυκλοφορεί συνεχώς μέσα στην μονάδα. Το αναμεμιγμένο ρεύμα ,στη συνέχεια, διέρχεται μέσα από μια σειρά εναλλακτών θερμότητας για να αυξήσει την θερμοκρασία του. Μετά τους εναλλάκτες θερμότητας, το ρεύμα διέρχεται από τον θερμαντή της άλμης προκειμένου να αυξήσει την θερμοκρασία του τόσο ώστε να πλησιάσει την θερμοκρασία κορεσμού στη μέγιστη για το σύστημα πίεση. Έπειτα, εισάγεται στο πρώτο στάδιο μέσω μιας οπής (orifice) όπου έχουμε πτώση πίεσης. Έτσι , από τη στιγμή που βρισκόταν σε θερμοκρασία κορεσμού για υψηλότερη πίεση, τώρα υπερθερμαίνεται και μεταπίπτει σε ατμό. Ο παραγόμενος ατμός περνά μέσα από ένα διάτρητο δίσκο (demister) για να αφαιρεθούν υπολείμματα άλατος, και από εκεί στον εναλλάκτη θερμότητας (1ο στάδιο) όπου συμπυκνώνεται και συλλέγεται. Ποσότητα που δεν ατμοποιείται, περνά στο δεύτερο στάδιο όπου επικρατεί χαμηλότερη πίεση, μειώνοντας ,έτσι, το σημείο βρασμού. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, στα επόμενα στάδια. Ο ατμός που συμπυκνώνεται σε κάθε στάδιο συλλέγεται, ενώ μετά το τελευταίο στάδιο, έχουμε την απόρριψη της άλμης.

Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται όταν υπάρχει απαίτηση για μεγάλη ημερήσια παραγωγή νερού, υψηλής ποιότητας και είναι διαθέσιμη κάποια πηγή θερμότητας. Εκτός των συμβατικών πηγών, έχουν χρησιμοποιηθεί ηλιακοί συλλέκτες ως πηγή θερμότητας. Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι η ατμοποίηση προέρχεται από ρεύμα θαλασσινού νερού τροφοδοσίας και όχι από τις θερμαινόμενες επιφάνειες στις οποίες η εξάτμιση προκαλεί σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης και επομένως σταδιακή μείωση των συντελεστών μετάδοσης θερμότητας (Σταματόπουλος, 2007). Μειονέκτημα της μεθόδου η αργή εκκίνηση, και η αυξημένη ειδική κατανάλωση ενέργειας.

3.3.2 Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης – ΜΕ

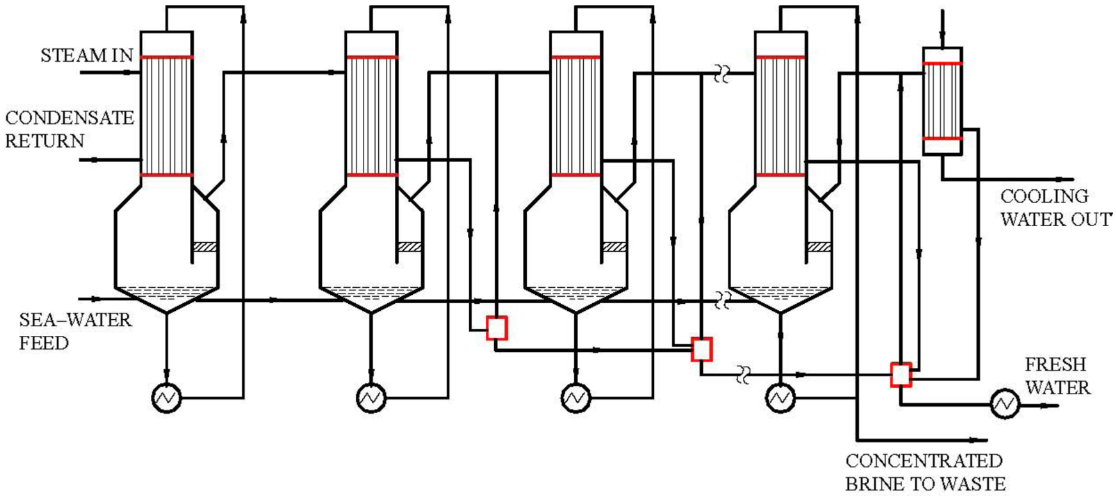


Fig. 9. Long tube vertical (LTV) MEB plant.

Σχήμα 3.5 Αρχή λειτουργίας μεθόδου ΜΕ(πηγή: membrane and desalination technnolies handbook)

Η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης είναι η παλαιότερη μέθοδος αφαλάτωσης και με μεγάλο θερμικό βαθμό απόδοσης. Το σχήμα 3.5 είναι αντιπροσωπευτικό της αρχής λειτουργίας της μεθόδου. Η μέθοδος, λοιπόν, λαμβάνει χώρα σε μια σειρά από ατμοποιητές, αποκαλούμενα ως στάδια (effects), και χρησιμοποιεί την αρχή μειούμενης πίεσης περιβάλλοντος στα διάφορα στάδια (Khawaji κλπ, 2007). Αυτή η διαδικασία, επιτρέπει στο ρεύμα τροφοδοσίας να «υποβληθεί» σε πολλαπλή ατμοποίηση χωρίς να χρειάζεται πρόσδωση θερμότητας μετά το πρώτο στάδιο. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται στο πρώτο στάδιο και φτάνει στο σημείο βρασμού μετά την προθέρμανση του στους σωλήνες. Μάλιστα ψεκάζεται στην επιφάνεια των σωλήνων του ατμοποιητή προκειμένου να επιταχυνθεί η ατμοποίηση. Οι σωλήνες μέσω των οποίων μεταφέρεται ο ατμός, απορροφούν θερμότητα από τον ατμό που κυκλοφορεί. Ο ατμός (περίπου 70^{o} C) συνήθως παρέχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό. Στο εσωτερικό των σωλήνων ο ατμός συμπυκνώνεται, ενώ το συμπύκνωμα ατμού επιστρέφει στον θερμοηλεκτρικό σταθμό. Μόνο ένα μέρος του θαλασσινού νερού που ψεκάζεται στο πρώτο στάδιο ατμοποιείται. Το υπόλοιπο διοχετεύεται στο δεύτερο στάδιο και ψεκάζεται στη συστοιχία σωλήνων. Αυτοί οι σωλήνες, με τη σειρά τους, θερμαίνονται από τον ατμό που έχει δημιουργηθεί στο πρώτο στάδιο. Ο ατμός συμπυκνώνεται σε καθαρό νερό το οποίο συλλέγεται, ενώ προσδίδει θερμότητα για να ατμοποιηθεί το υπόλοιπο θαλασσινού νερού στο επόμενο στάδιο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από στάδιο σε στάδιο σε ολοένα χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία.

Όπως και στη μέθοδο MSF, απαιτείται ποσότητα ατμού, κάτι το οποίο προϋποθέτει γειτονική θερμοηλεκτρική μονάδα ή ηλιακούς συλλέκτες. Έχει μικρότερη κατανάλωση ισχύος σε σχέση με την MSF και συγχρόνως υψηλότερο λόγο απόδοσης. Ως μειονέκτημα θα μπορούσαμε να αναφέρουμε, την εξάτμιση που γίνεται στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας και καθιστά την διεργασία επιρρεπή στο σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης (Σταματόπουλος, 2007).

3.3.3 Απόσταξη με συμπίεση ατμών - VC

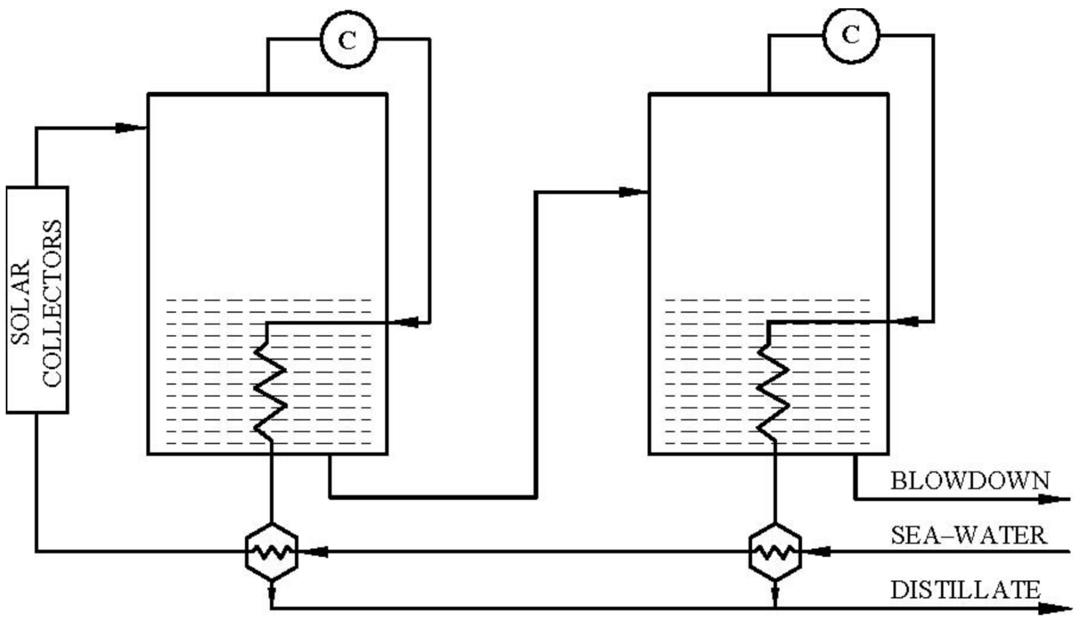


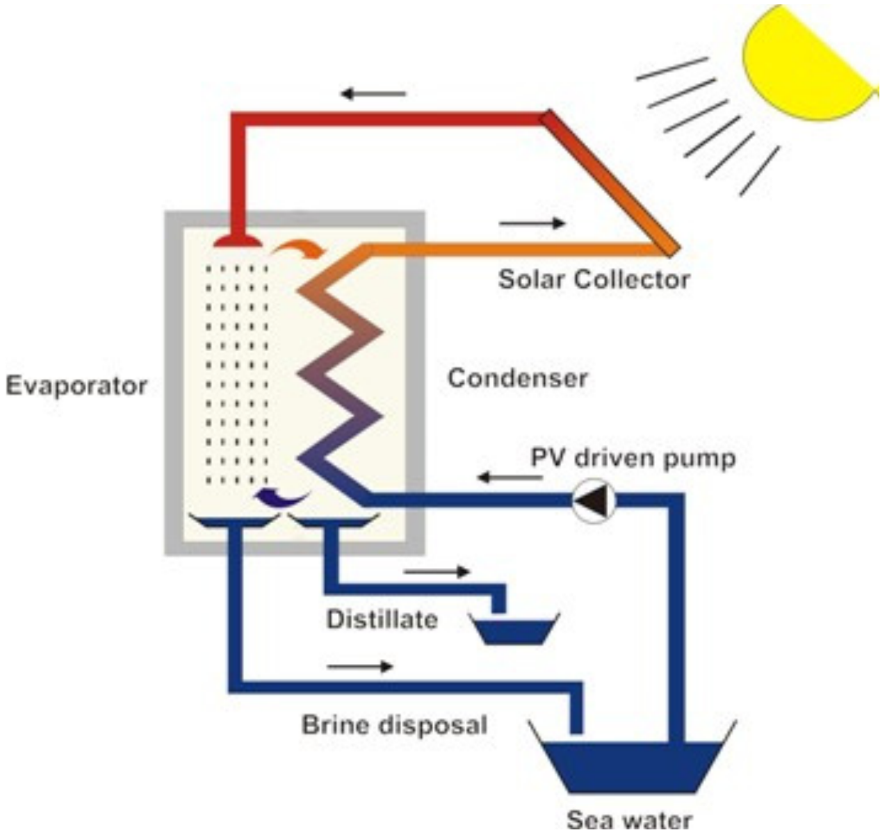
Fig. 11. Principle of operation of a vapour-compression (VC) system.

Σχήμα 3.6 Αρχή λειτουργίας μεθόδου VC (πηγή: evaporator.com)

Στην απόσταξη με συμπίεση ατμών (Σχήμα 3.6), η θερμότητα για την ατμοποίηση του θαλασσινού νερού προέρχεται από τη συμπίεση του ατμού. Η μέθοδος εκμεταλλεύεται την αρχή σύμφωνα με την οποία , η μείωση της θερμοκρασίας σημείου βρασμού επιτυγχάνεται μειώνοντας την πίεση (Khawaji κλπ, 2007). Για την συμπύκνωση του ατμού, που θα προσδώσει θερμότητα προκειμένου να ατμοποιηθεί το θαλασσινό νερό, χρησιμοποιείται ένας συμπιεστής. Ο συμπιεστής δημιουργεί κενό στον ατμοποιητή και στη συνέχεια συμπιέζει τον ατμό, προερχόμενο από τον ατμοποιητή, και τον συμπυκνώνει μέσα στη συστοιχία σωλήνων. Το θαλασσινό νερό ψεκάζεται στην επιφάνεια των σωλήνων και ατμοποιείται μερικώς, παράγοντας περισσότερο ατμό.

Αποτελεί μια μέθοδο απλή, αξιόπιστη και αποδοτική η οποία απαιτεί μόνο ισχύ. Έχοντας μεγάλης ισχύος συμπιεστή, η διαδικασία γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 70^{o}C , οπότε αποφεύγεται σ ένα βαθμό η διάβρωση. Χρησιμοποιείται για μεσαίου μεγέθους μονάδες αφαλάτωσης, ενώ έχει χαμηλότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους.

3.3.4 Ηλιακή απόσταξη - SD

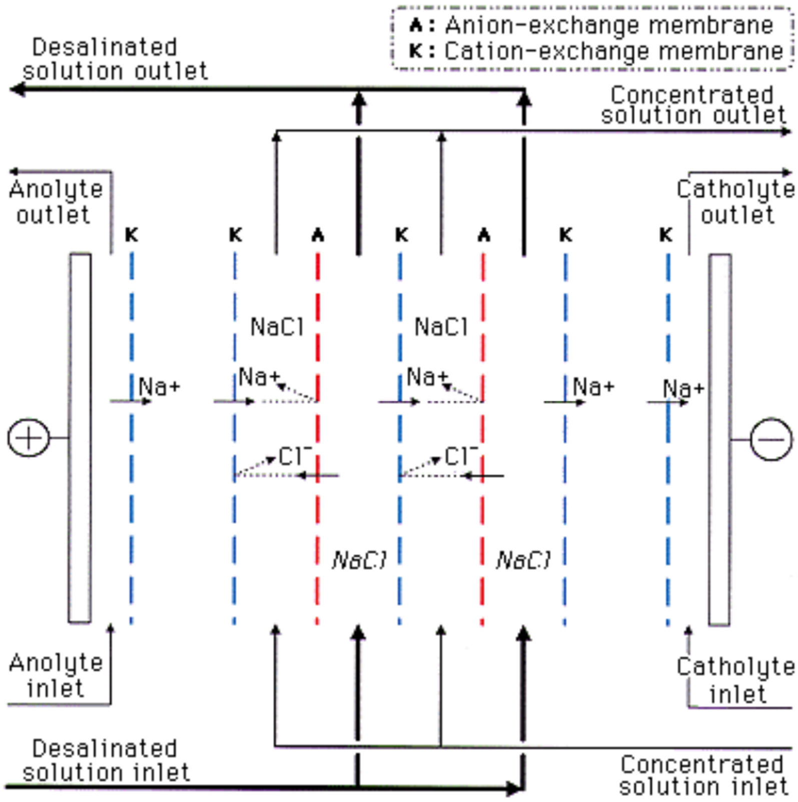


Σχήμα 3.7 Αρχή λειτουργίας μεθόδου SD (πηγή: membrane and desalination technologies handbook)

Η μέθοδος αποτελεί κομμάτι του υδρολογικού κύκλου. Το θαλασσινό νερό, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7, διοχετεύεται μέσω σωλήνων στο εσωτερικό του ηλιακού συλλέκτη, όπου θερμαίνεται από τις ακτίνες του ήλιου και παράγεται ατμός (Khawaji κλπ, 2007). Στη συνέχεια, ο ατμός συμπυκνώνεται σε μια ψυχρή επιφάνεια και το συμπύκνωμα συλλέγεται ως πόσιμο νερό.

Η ηλιακή απόσταξη εφαρμόζεται σε περιοχές με υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του έτους, αλλά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια και η χαμηλή απόδοση της.

3.3.5 Ηλεκτροδιάλυση - ED



Σχήμα 3.8 Αρχή λειτουργίας μεθόδου ED (πηγή: aecheproceedings.org)

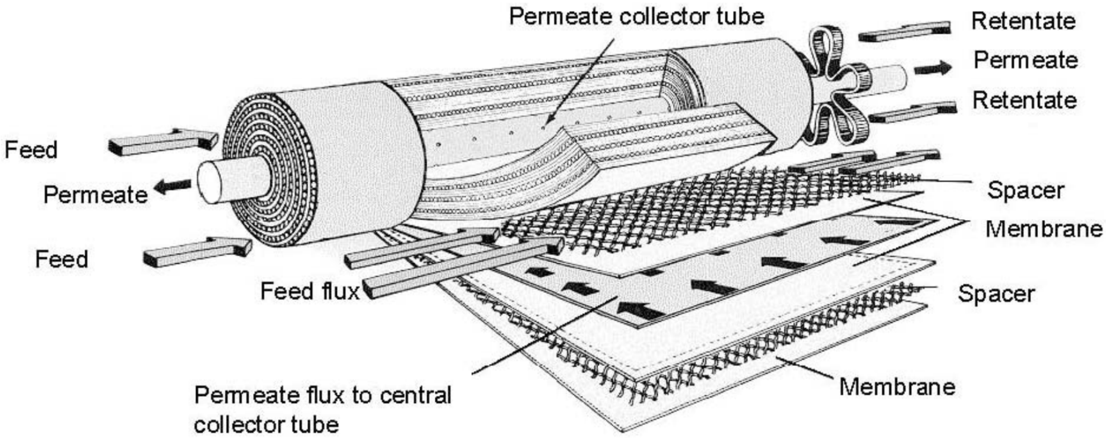
Η ηλεκτροδιάλυση πραγματοποιείται, μειώνοντας την αλατότητα του νερού με μεταφορά ιόντων (Σχήμα 3.8). Αυτό γίνεται μέσω μεμβρανών, υπό την επιρροή ηλεκτρικού πεδίου. Το αλμυρό νερό τροφοδοσίας περιέχει διαλυμένα άλατα με θετικά και αρνητικά ιόντα. Τα ιόντα θα μετακινηθούν προς το αντίθετο φορτισμένο ηλεκτρόδιο περνώντας μέσα από μεμβράνες. Η κίνηση των ιόντων μειώνει τη συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας του θαλάμου στο οποίο προϋπήρχαν ενώ αυξάνει την συγκέντρωση στους γειτονικούς θαλάμους. Δεκάδες τέτοιοι θάλαμοι συναποτελούν μια μονάδα ηλεκτροδιάλυσης και δημιουργούν εναλλασσόμενα τμήματα καθαρού νερού και άλμης.

Για την αποφυγή δημιουργίας στρωμάτων επικάλυψης, αντιστρέφεται η φορά της διεργασίας, αντιστρέφοντας τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος κάθε 20 min. Έτσι προλαμβάνεται η συσσώρευση ποσότητας άλατος στις μεμβράνες (Kalogirou, 2005).

Η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για υφάλμυρο νερό, ενώ η απαίτηση για συνεχές ρεύμα καθιστά τα φωτοβολταϊκά ιδανική λύση για τη λειτουργία της μεθόδου (περισσότερες λεπτομέρειες για τη συνεργασία Α.Π.Ε και μονάδων αφαλάτωσης θα δοθούν σε επόμενο κεφάλαιο).

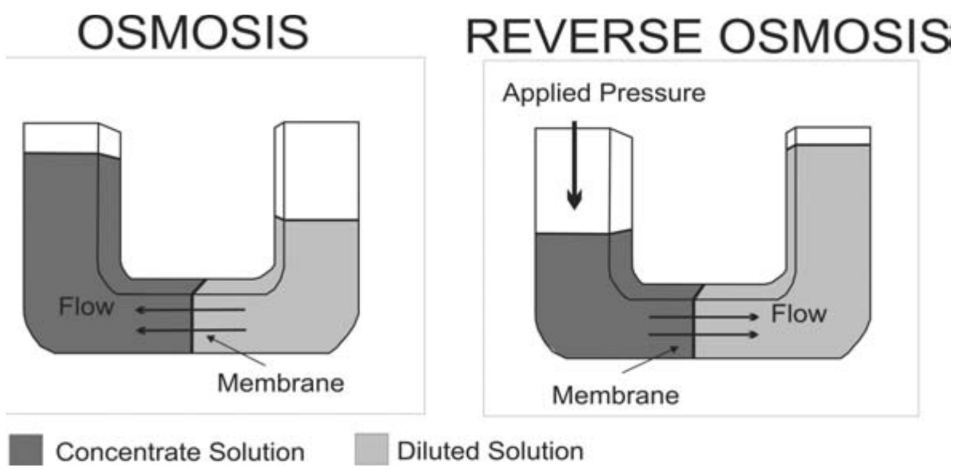
3.3.6 Αντίστροφης ώσμωσης - RO

3.3.6.1 Αρχή λειτουργίας



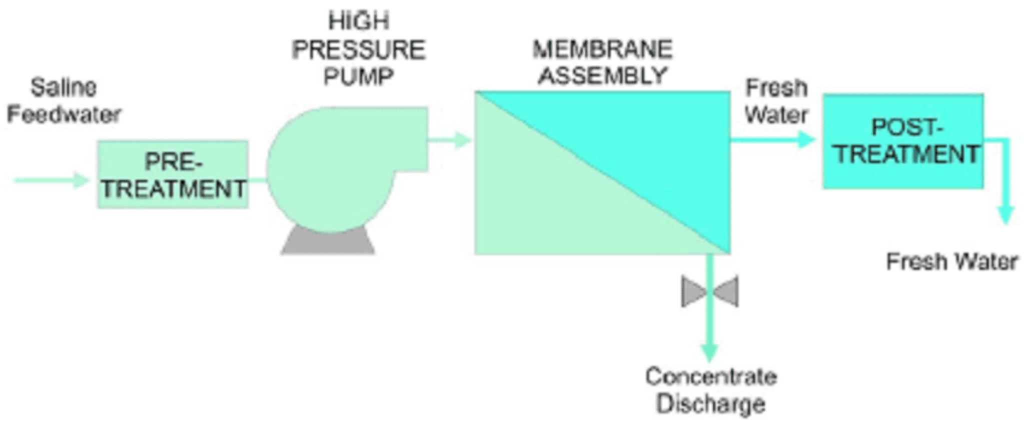
Σχήμα 3.9 Διαμόρφωση μεμβράνης μεθόδου RO(πηγή Wikipedia.org)

Η μέθοδος βασίζεται στην επιλεκτική διαπερατότητα ορισμένων πολυμερών. Ενώ, λοιπόν, είναι πολύ διαπερατά στο νερό, καθιστούν δύσκολη τη διέλευση διαφόρων ουσιών. Εφαρμόζοντας διαφορά πίεσης δια μέσου της μεμβράνης, το ρεύμα του θαλασσινού νερού αναγκάζεται να διέλθει από τη μεμβράνη(Σχήμα 3.9). Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονιστεί ότι η εφαρμοζόμενη πίεση είναι αναγκαίο να υπερβαίνει την ωσμωτική πίεση που δημιουργείται εκατέρωθεν της μεμβράνης προκειμένου να είναι δυνατή η διέλευση του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας. Σε θαλασσινού νερού εφαρμογές, η απαιτούμενη πίεση συνήθως κυμαίνεται από 55 έως 68 bar (Fritzmann κλπ, 2006).



Σχήμα 3.10 Το φαινόμενο της ώσμωσης και η επίτευξη της αντίστροφης ώσμωσης (πηγή: thewatertreatments.com)

Το φαινόμενο της ώσμωσης (Σχήμα 3.10) εμφανίζεται όταν μια ημι-περατή μεμβράνη χωρίζει δύο υδάτινα ρεύματα διαφορετικής συγκέντρωσης. Σε μηδενική διαφορά πίεσης και θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο πλευρές, η φορά ροής είναι από αυτή της μικρότερης σε αυτή της μεγαλύτερης συγκέντρωσης, μέχρι να ισοσταθμιστούν οι συγκεντρώσεις τους. Αυτή η διαδικασία, συνεχίζεται μέχρι η διαφορά πίεσης ανάμεσα στις δύο πλευρές να πάρει μια συγκεκριμένη τιμή που εξαρτάται από την αντίστοιχη διαφορά συγκεντρώσεων και ονομάζεται ωσμωτική πίεση.
Στη μέθοδο αυτή, γίνεται προσπάθεια να «εξαλειφθεί» το φαινόμενο, εφαρμόζοντας διαφορά πίεσης μεγαλύτερη της ωσμωτικής, έτσι ώστε να αντιστραφεί η ροή από την πλευρά της μεγαλύτερης συγκέντρωσης προς αυτή της μικρότερης. Η πίεση που εφαρμόζεται στη πλευρά τροφοδοσίας είναι συνεχώς αυξανόμενη, καλύπτοντας την ωσμωτική. Έτσι προκύπτει ρεύμα εξόδου αμελητέας συγκέντρωσης σε σχέση με το ρεύμα εισόδου. Η μονάδα αποτελείται από συστοιχία μεμβρανών για την παραγωγή καλύτερου ποιοτικά προϊόντος. Στο σχήμα 3.11 δίνεται μια γενική απεικόνιση ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης. Το ρεύμα θαλασσινού νερού αφού προεπεξεργάζεται (πχ αφαίρεση αντικειμένων), αντλείται σε υψηλή πίεση για να είναι σε θέση να διαπεράσει την συστοιχία των μεμβρανών. Έτσι, προκύπτουν δύο ρεύματα. Το ρεύμα της άλμης που απορρίπτεται, αν δεν υπάρχει μέσο εκμετάλλευσης του, και το ρεύμα του πόσιμου νερού το οποίο αφού επεξεργαστεί τελικώς, είναι διαθέσιμο για χρήση.



Σχήμα 3.11 Αλληλουχία υποσυστημάτων ενός συστήματος αφαλάτωσης RO (πηγή membrane and desalination technologies handbook)

3.3.6.2 Συστήματα ανάκτησης ενέργειας

Την επιτυχία της η μέθοδος την οφείλει, κατά πολύ, στο χαμηλό σχετικά κόστος αλλά και στις χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Αυτό επιτεύχθηκε, με την εφαρμογή και την ανάπτυξη συστημάτων ανάκτησης ενέργειας. Τα συστήματα αυτά, γενικά, εκμεταλλεύονται, την απομένουσα ενέργεια του ρεύματος της άλμης, που ειδάλλως απορρίπτεται, συμβάλλοντας στην παροχή της απαιτούμενης πίεσης από την αντλία. Έτσι, μειώνεται η ισχύς της αντλίας ανύψωσης της πίεσης του ρεύματος τροφοδοσίας και συγχρόνως οι ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας.

Τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας (energy recovery systems - ER) που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές αντίστροφης ώσμωσης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες (Fritzmann κλπ, 2006):

- «Εναλλάκτες πίεσης» (Pressure exchangers), οι οποίοι μεταφέρουν άμεσα πίεση από την άλμη σε μέρος του ρεύματος τροφοδοσίας (Σχήμα 3.12).
- Συστήματα στροβίλων (Turbine systems), οι οποίοι μετατρέπουν την ενέργεια του ρεύματος της άλμης σε μηχανική, είτε τροφοδοτώντας την αντλία σαν συμπλήρωμα, είτε άμεσα το ρεύμα τροφοδοσίας.

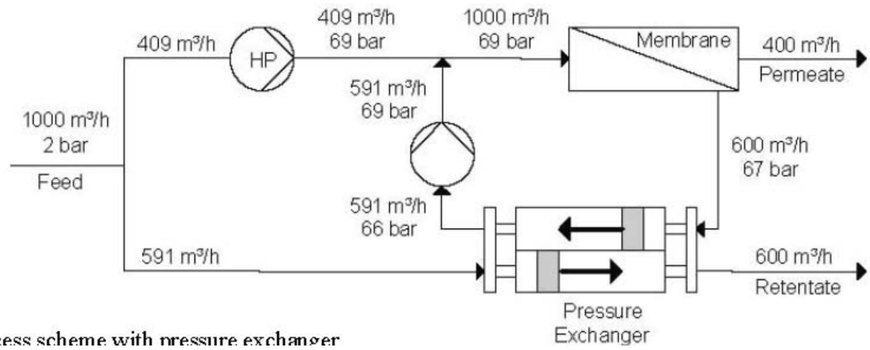
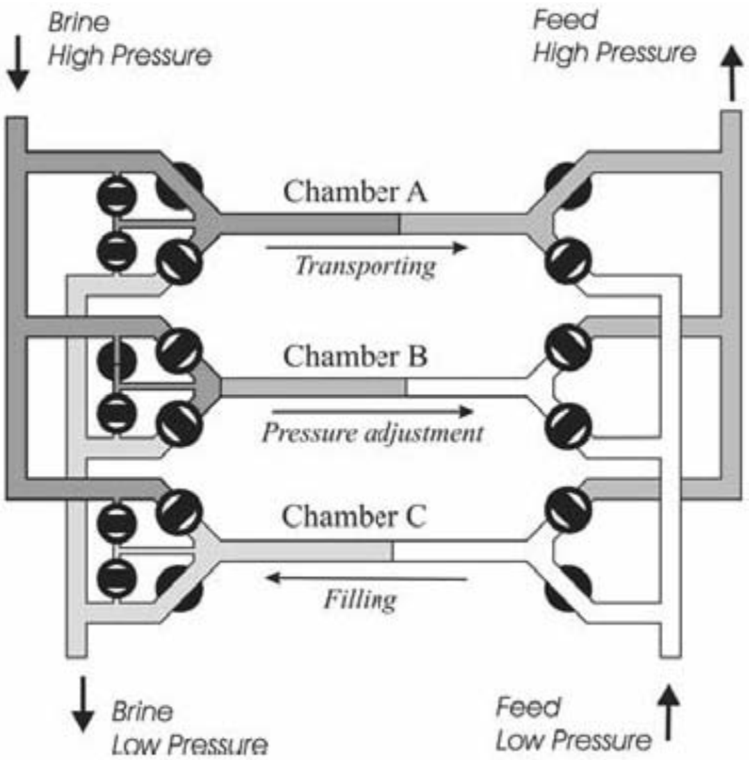


Fig. 32. Process scheme with pressure exchanger

Σχήμα 3.12 Μέθοδος RO με εναλλάκτη πίεσης (πηγή membrane and desalination technologies handbook)

Η γενική αρχή λειτουργίας των εναλλακτών πίεσης (Σχήμα 3.13) έχει ως εξής: Το θαλασσινό νερό οδηγείται σε έναν αγωγό που στη συνέχεια κλείνει από μια βάνα. Μια άλλη βάνα ανοίγει, και επιτρέπει το υψηλής πίεσης ρεύμα άλμης να εισαχθεί στον αγωγό.

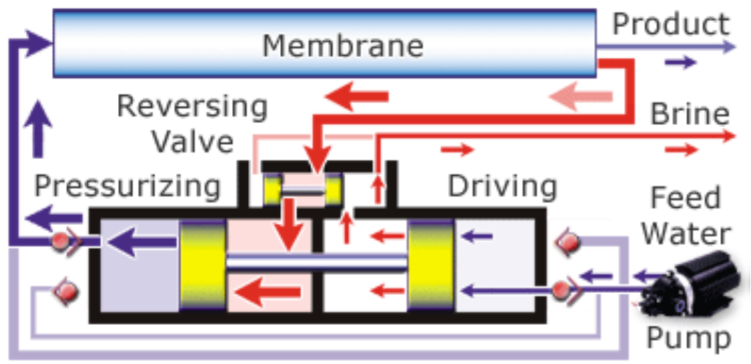


Σχήμα 3.13 Αρχή λειτουργίας εναλλάκτη πίεσης(πηγή nextenergynews.com)

Με αυτόν τον τρόπο, το ρεύμα τροφοδοσίας αυξάνει την πίεση του. Στην συνέχεια, αναμιγνύεται με το ρεύμα τροφοδοσίας από την αντλία υψηλής πίεσης και οδηγούνται στις μεμβράνες. Χρησιμοποιώντας εναλλάκτες πίεσης, μόνο ένα μέρος της συνολικής τροφοδοσίας χρειάζεται ανύψωση της πίεσης του από την αντλία.

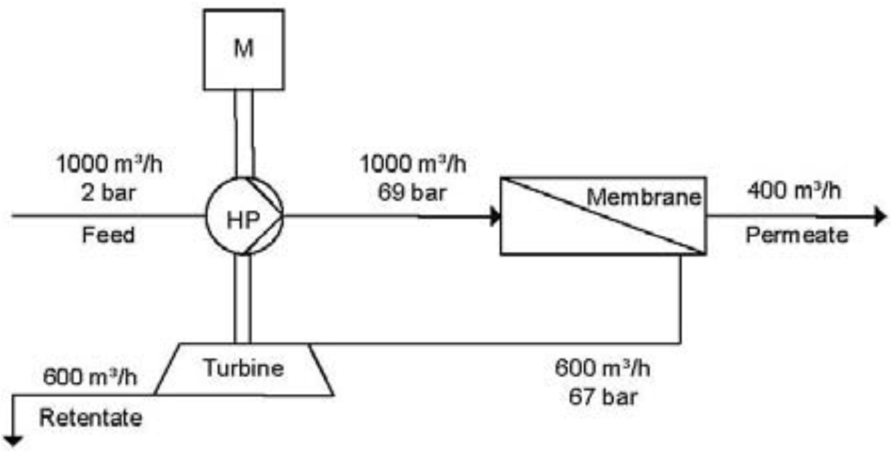
Να αναφέρουμε ότι, ένας εναλλάκτης πίεσης που χρησιμοποιείται στην πλειονότητα των εφαρμογών είναι ο Clark pump της εταιρείας Spectra Watermakers (Σχήμα 3.14). Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης τα τελευταία χρόνια οφείλεται, κατά ένα μεγάλο βαθμό, στην ενσωμάτωση Clark pump.

Ο εναλλάκτης Clark pump χρησιμοποιεί δύο αντίθετα τοποθετημένους κυλίνδρους και έμβολα που ενώνονται με μία ράβδο. Η πίεση του νερού τροφοδοσίας χρησιμοποιείται από τον ένα κύλινδρο για να εξαναγκάσει τον άλλον να δώσει πίεση και να κυκλοφορήσει το υφάλμυρο νερό προς την μεμβράνη. Η πρόσδοση πίεσης επιτυγχάνεται όταν η ράβδος, όπως «σπρώχνεται» μέσα στον κύλινδρο, οδηγεί το νερό στο κλειστό βρόγχο. Η πίεση, στιγμιαία, αυξάνει σε σημείο που ο εκτοπιζόμενος όγκος νερού απορρίπτεται από τη μεμβράνη ως αφαλατωμένο νερό. Όταν το έμβολο ενός κυλίνδρου ακουμπά στη βάση, η διαδικασία αντιστρέφεται.



Σχήμα 3.14 Αρχή λειτουργίας Clark pump (πηγή: membrane and desalination technologies handbook)

Από την άλλη, στα συστήματα στροβίλων, η αντλία υψηλής πίεσης έχει να κάνει με το σύνολο του ρεύματος τροφοδοσίας. Τα συστήματα αυτά είναι είτε ένα στρόβιλος Pelton είτε ένα σύστημα συνεργασίας αντλίας-στροβίλου (turbocharger).



Σχήμα 3.15 Μέθοδος RO με στρόβιλο Pelton (πηγή: membrane and desalination technologies handbook)

Στο σύστημα ανάκτησης ενέργειας με στρόβιλο Pelton (Σχήμα 3.15), το απορριπτόμενο ρεύμα άλμης υψηλής πίεσης εισέρχεται στο στρόβιλο μέσω ενός ακροφύσιου. Η πίεση του ρεύματος μεταφέρεται στον ρότορα του στροβίλου, που με τη σειρά του μεταφέρει ισχύ στην αντλία υψηλής πίεσης μέσω της κοινής τους ατράκτου. Η άλμη απορρίπτεται σε πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.

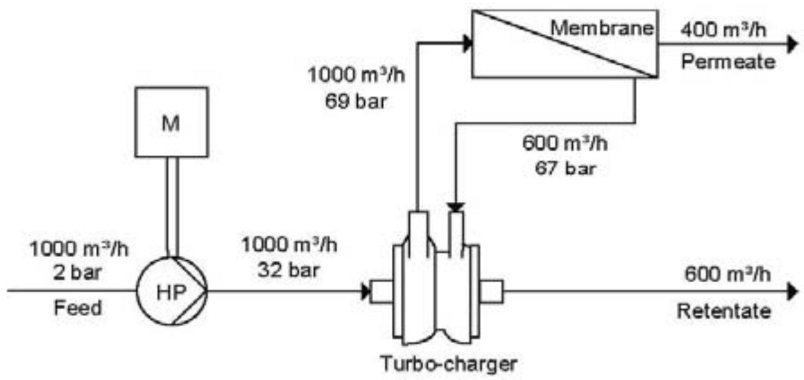


Fig. 34. Process scheme with turbocharger.

Σχήμα 3.16 Μέθοδος RO με turbocharger (πηγή membrane and desalination technologies handbook)

Οι turbochargers αποτελούνται από μια αντλία και ένα στρόβιλο συνδεδεμένα σε ένα κιβώτιο. Τόσο η αντλία όσο και ο στρόβιλος περιέχουν μία απλή βαθμίδα ρότορα. Η υδραυλική ενέργεια του ρεύματος της άλμης μετατρέπεται σε μηχανική από τον ρότορα του στροβίλου. Στη συνέχεια, η αντλία ξαναμετατρέπει την ενέργεια σε πίεση με την οποία τροφοδοτεί το ρεύμα του θαλασσινού νερού. Η διεργασία παρουσιάζεται στο σχήμα 3.16, όπου η αντλία υψηλής πίεσης αυξάνει την πίεση της τροφοδοσίας σε μια μέση τιμή και στη συνέχεια αυξάνεται περαιτέρω από το σύστημα ανάκτησης ενέργειας(turbocharger).

Συγκριτικά, οι turbochargers αποτελούν την επικρατούσα τεχνολογία στο χώρο αυτό, παρόλο που οι εναλλάκτες πίεσης έχουν αρκετά πλεονεκτήματα όσων αφορά την απόδοση της μονάδας. Οι εναλλάκτες πίεσης διατηρούν τον βαθμό απόδοσης τους ανεξάρτητα από οποιεσδήποτε αλλαγές μπορούν να συμβούν λόγω χρόνων λειτουργίας της μονάδας ή συντήρησης, σε αντίθεση με τους στροβίλους που με μια τέτοια αλλαγή, μπορεί να μεταβάλει το σημείο λειτουργίας τους και να λειτουργούν με μειωμένη απόδοση (εκτός του κανονικού σημείου λειτουργίας). Όμως, οι εναλλάκτες πίεσης απαιτούν κάποιο πρόσθετο εξοπλισμό, όπως κυκλοφορητές. Έτσι αυξάνονται τα κόστη εξοπλισμού και συντήρησης. Επίσης, ο τρόπος λειτουργίας τους αυξάνει την αλατότητα του ρεύματος με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή συστημάτων ανάκτησης πίεσης, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης της μονάδας. Σε μονάδες εφοδιασμένες με συστήματα ανάκτησης ενέργειας η ενεργειακή απαίτηση κυμαίνεται στις αρκετά χαμηλές τιμές των 2-4 kWh/m^3 για θαλασσινό νερό (Fritzmann κλπ, 2006).

3.3.7 Παράμετροι επιλογής μεθόδου αφαλάτωσης

Κατά τη μελέτη εγκατάστασης μιας μονάδας αφαλάτωσης, πρέπει να εξετάζονται διαφορές παράμετροι, για να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος. Οι παράμετροι αυτές είναι (Kalogirou, 2005):

- Πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας μονάδας
- Ενεργειακές απαιτήσεις
- Το μέγεθος της παραγωγής και η ποιότητα του πόσιμου νερού
- Απαιτήσεις επεξεργασίας θαλασσινού νερού
- Το κόστος εξοπλισμού
- Η επιφάνεια γης που απαιτείται για την εγκατάσταση του εξοπλισμού

Στις επόμενες ενότητες, δίνονται στοιχεία σχετικά με τις παραμέτρους επιλογής που θα εξεταστούν σε αυτή τη διπλωματική εργασία.

3.3.7.1 Ενεργειακές απαιτήσεις – Πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας μονάδας

Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση μιας μεθόδου, ίσως αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα για την επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης. Στον πίνακα 3.1, δίνονται κάποια στοιχεία σχετικά με τις απαιτήσεις σε μορφές ενέργειας των μεθόδων. Εύκολα μπορούν εξαχθούν κάποια γενικά συμπεράσματα.

Process	**Heat input (kJ/kg)**	**Mechanical power input (kWh/m3)**	**Prime energy consumption (kJ/kg)a**
MSF	294	2.5–4 (3.7)	338.4
MEB	123	2.2	149.4
VC	–	8–16 (16)	192
RO	–	5–13 (10)	120
ER-RO	–	4–6 (5)	60
ED	–	12	144
Solar still	2330	0.3	2333.6
a	Θεωρώντας απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:30%		

Πίνακας 3.1 Μέθοδοι και ενεργειακές απαιτήσεις (πηγή: membrane and desalination technologies handbook)

Όπως έχουμε προαναφέρει, οι διεργασίες αλλαγής φάσης (MSF,MEB,Solar still), απαιτούν για την λειτουργία τους παροχή ατμού. Αυτό προσθέτει ένα μειονέκτημα στις θερμικές μεθόδους, αφού είναι αναγκαία η παραγωγή ατμού που συνήθως γίνεται με την θερμότητα ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, ότι η λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης αλλαγής φάσης σε περιοχές χωρίς σταθμούς, όπως είναι πολλά νησιά του Αιγαίου, είναι αδύνατη. Βέβαια, θα πρέπει να τονίσουμε ότι σε περίπτωση ύπαρξης προεγκατεστημένου σταθμού παραγωγής ενέργειας, η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης αποτελεί μια πολύ καλή λύση για την εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας του σταθμού. Σε αυτό συμβάλει και η χαμηλή απαίτηση μηχανικής ενέργειας που έχουν αυτές οι μέθοδοι. Η αλήθεια είναι ότι, τέτοιου είδους μονάδες μπορούν να τροφοδοτηθούν και από εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως η γεωθερμία και η ηλιακή ενέργεια (Kalogirou, 2005). Μάλιστα, έχει μελετηθεί ότι μονάδες αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται από γεωθερμία, είναι το ίδιο συμφέρουσες με αυτές που τροφοδοτούνται από μεγάλους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Επικρατέστερη επιλογή από τις θερμικές διεργασίες αποτελεί η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ΜΕ), με την μικρότερη κατανάλωση ανάμεσα τους.

Όσον αφορά τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις, η μέθοδος που υπερτερεί είναι της αντίστροφης ώσμωσης με ανάκτηση ενέργειας (ER-RO), έχοντας την μικρότερη κατανάλωση. Αυτό το χαρακτηριστικό, καθιστά την μέθοδο RO, την πρώτη επιλογή για μια μονάδα αφαλάτωσης, κάτι το οποίο δείχνει και η διείσδυση της στην αγορά τα τελευταία χρόνια. Ακολουθούν στη συνέχεια, η αντίστροφης ώσμωσης χωρίς ανάκτηση ενέργειας (RO), η ηλεκτροδιάλυση (ED), και η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME).

Σχετικά με την τροφοδοσία της αφαλάτωσης με μεθόδους που δεν απαιτούν παροχή ατμού, όπως η αντίστροφης ώσμωσης και η ηλεκτροδιάλυση, οι επιλογές ποικίλουν. Συνήθως όταν η περιοχή είναι διασυνδεδεμένη, η μονάδα τροφοδοτείται από το δίκτυο. Όμως, η ανάγκη για απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, καθώς και οι ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής (μετεωρολογικά χαρακτηριστικά, τρόπος παροχής ηλεκτρισμού), καθιστούν τη συνεργασία Α.Π.Ε και μονάδων αφαλάτωσης αρκετά αποδοτική επιλογή. Παρακάτω παραθέτουμε τον πίνακα 3.2 (Tzen και Morris, 2003) με πιθανούς συνδυασμούς μεθόδων αφαλάτωσης και τεχνολογιών εκμετάλλευσης Α.Π.Ε.

RES technology	**Feed water salinity**	**Desalination technology**
Solar thermal	Seawater Seawater	Multi-effect distillation (MED) Multi-stage flashing (MSF)
Photovoltaics	Seawater -Brackish Brackish	Reverse osmosis (RO) Electrodialysis (ED)
Wind energy	Seawater -Brackish Seawater	Reverse osmosis (RO) Mechanical vapor compression (MVC)
Geothermal	Seawater	Multi-effect distillation (MED)

Πίνακας 3.2 Συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης – ΑΠΕ (πηγή: membrane and desalination technologies handbook)

Κλείνοντας την υποενότητα, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης παρατηρείται να είναι η επικρατέστερη αφού έχει τη χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση αλλά και μπορεί να συνεργαστεί με τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες Α.Π.Ε ,όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες.

Η εφαρμογή των μελετών αυτού του επιστημονικού χώρου, αποτελεί ιδανική λύση για πολλά από τα νησιά του Αιγαίου, που παρουσιάζεται, ακόμα και σήμερα, έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας και συγχρόνως το αιολικό και ηλιακό δυναμικό αφθονεί.

3.3.7.2 Κόστος εξοπλισμού - Κόστος παραγωγής πόσιμου νερού

Για όλες τις μεθόδους, τα διάφορα κόστη έχουν μειωθεί σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό, τις τελευταίες δεκαετίες. Η μείωση του κόστους οφείλεται στην προσπάθεια για βελτιστοποίηση της λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης αλλά και στη μαζικότερη παραγωγή του απαιτούμενου εξοπλισμού.

Ένα ενδεικτικό εύρος κόστους εξοπλισμού, που ορίζεται ως ο λόγος του κόστους επένδυσης προς την ημερήσια δυνατότητα παραγωγής, για τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης (Kalogirou, 2005), δίνεται στον πίνακα 3.3.

Item	**MSF**	**MEB**	**VC**	**RO**	**Solar still**
Scale of application	Medium–large	Small–medium	Small	Small–large	Small
Equipment price (€/m3/day)	950–1900	900–1700	1500–2500	900–2500 membrane replacement every 4-5 years	800–1000

Πίνακας 3.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης και κόστος εξοπλισμού (πηγή: membrane and desalination technologies handbook)

Να σημειώσουμε ότι οι μικρότερες τιμές του ειδικού κόστους εξοπλισμού αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο μέγεθος μονάδας κάθε μεθόδου. Παρατηρούμε ότι, το χαμηλότερο κόστος εμφανίζεται στην ηλιακή απόσταξη, αλλά η μέθοδος μειονεκτεί στο ότι απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης για την εγκατάσταση. Οι υπόλοιπες μέθοδοι κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης να παρουσιάζει μεγαλύτερο κόστος εξοπλισμού στις μικρές μονάδες αλλά να είναι σε θέση να λειτουργήσει για κάθε μέγεθος εφαρμογής.

Σχετικά με το κόστος παραγωγής νερού, σύμφωνα με έρευνα (Karagiannis, Soldatos, 2007), ο πίνακας 3.4 δείχνει την διακύμανση του κόστους παραγωγής σε σχέση με το είδος της μεθόδου. Τα στοιχεία έχουν προκύψει από διάφορες εφαρμογές.

Desalination method	Size of plant (m3/day)	Cost (€ /m3)
MED	<100	2-8
	12.000-55.000	0,76-1,56
	>91.000	0,42-0,81
MSF	23.000-528.000	0,42-1,40
VC	1000-1200	1,61-2,13
RO	<100	1,2-15
	250-4800	0,56-3,14
	15.000-320.000	0,36-0,53

Πίνακας 3.4 Μέθοδοι αφαλάτωσης – Μέγεθος – Κόστος Παραγωγής νερού (πηγή: membrane and desalination technologies handbook)

Από τον πίνακα, αντιλαμβανόμαστε ότι μια μονάδα αφαλάτωσης κρίνεται συμφέρουσα όσο μεγαλύτερη είναι. Γενικά, μικρού μεγέθους μονάδες παρουσιάζουν αρκετά υψηλό κόστος. Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης είναι αρκετά ανταγωνιστική, ειδικά σε μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις, σε σχέση με τις θερμικές διεργασίες. Μάλιστα, τα στοιχεία για την αντίστροφη ώσμωση δείχνουν πολύ μικρή διακύμανση του κόστους στα μεγάλα μεγέθη μονάδων.

Τέλος, να επισημάνουμε ότι ο παράγοντας του κόστους παραγωγής νερού είναι ο πλέον κρίσιμος για την απόφαση της εγκατάστασης μιας μονάδας, αφού αποτελεί το σημείο σύγκρισης με την υφιστάμενη κατάσταση παροχής νερού στην περιοχή και συγκεκριμένα στον ελλαδικό χώρο όπου χρησιμοποιούνται υδροφόρες με κόστος μεταφοράς νερού της τάξης των 5-8 € /m^3.

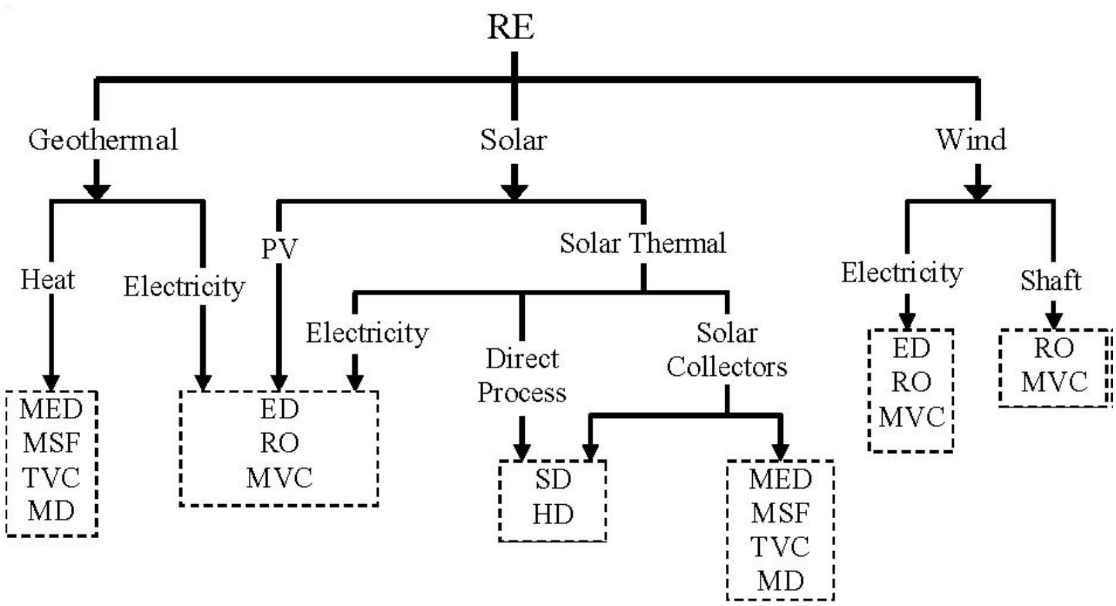
Κεφάλαιο 4

Αφαλάτωση και Α.Π.Ε.

4. Αφαλάτωση και Α.Π.Ε.

4.1 Εισαγωγή

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και οι μονάδες αφαλάτωσης αποτελούν δύο διαφορετικές τεχνολογίες, οι οποίες όμως μπορούν να συνεργασθούν. Η συνεργασία τους στηρίζεται στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης με την ενέργεια που παράγουν συστήματα που εκμεταλλεύονται τις ΑΠΕ (Mathioulakis κλπ, 2006). Αυτή η ενέργεια μπορεί να είναι θερμική, ηλεκτρική ή μηχανική αναλόγως τη μέθοδο της αφαλάτωσης και των διαθέσιμων πηγών ενέργειας. Οι δυνατοί συνδυασμοί τεχνολογιών ΑΠΕ και μεθόδων αφαλάτωσης δίνονται στο παρακάτω σχήμα 4.1.



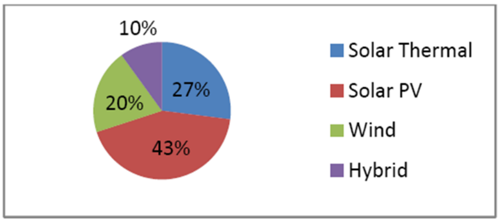
Σχήμα 4.1 Δυνατοί συνδυασμοί κύριων τεχνολογιών εκμετάλλευσης ΑΠΕ-μεθόδων αφαλάτωσης (πηγή membrane and desalination technologies handbook)

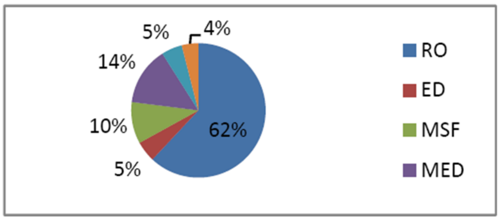
Η γενικότερη τάση στο συνδυασμού μεθόδων αφαλάτωσης και ΑΠΕ, είναι η συνεργασία τεχνολογιών παραγωγής θερμικής ενέργειας (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία) με θερμικές μεθόδους (MSF,ME, SD), ενώ τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας (Α/Γ,Φ/Β) συνδυάζονται με μεθόδους που απαιτούν ηλεκτρική ή μηχανική ισχύ (RO,ED,VC).

Η επιλογή της ΑΠΕ που θα τροφοδοτήσει μια μονάδα αφαλάτωσης εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την περιοχή εγκατάστασης (μετεωρολογικά δεδομένα, τοπογραφία κτλ). Πολλές φορές, ειδικά σε μη διασυνδεδεμένες περιοχές, χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα ενώ επιβάλλεται η χρήση αποθηκευτικού μέσου, αφού οι μονάδες αφαλάτωσης απαιτούν σταθερή ισχύ τροφοδοσίας και οι ΑΠΕ χαρακτηρίζονται από μεταβαλλόμενη παραγωγή.

Σχετικά με τη μέθοδο αφαλάτωσης, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, επιλέγουμε τη μέθοδο που έχει τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, παράγει νερό σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και μπορεί να συνεργαστεί με τεχνολογίες ΑΠΕ που αφθονούν στην περιοχή.

Βέβαια, δεν αποτελούν όλοι οι συνδυασμοί, αποδοτικά οικονομικά συμφέροντα αλλά και πρακτικά εφαρμόσιμα συστήματα. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι κάποιοι συνδυασμοί να παρουσιάζουν περισσότερο ενδιαφέρον για έρευνα και να αποτελούν την πρώτη επιλογή για πιθανή εγκατάσταση. Στο σχήμα 4.2 δίνονται κάποια στατιστικά στοιχεία ενδεικτικά των προτιμήσεων σε εφαρμογές τέτοιου είδους συστημάτων.





Σχήμα 4.2 Προτίμηση ΑΠΕ σε μονάδες αφαλάτωσης (αριστερά) και προτίμηση μεθόδων σε μονάδες τροφοδοτούμενες από ΑΠΕ (δεξιά) (πηγή gigaom.com)

Παρατηρούμε από τα σχήματα ότι, η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης (RO) επικρατεί σε εφαρμογές ΑΠΕ. Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί μόνο ηλεκτρική ή μηχανική τροφοδοσία, κάτι που καθιστά τη συνεργασία της με Φ/Β ή/και Α/Γ δυνατή. Από τεχνολογικής άποψης, ο συνδυασμός αυτός αποτελεί την πιο ώριμη επιλογή. Η συνεχόμενη αύξηση της απόδοσης των τεχνολογιών ΑΠΕ σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους τους αλλά και η βελτίωση των ενεργειακών απαιτήσεων της μεθόδου RO είναι οι λόγοι που πλέον αποτελεί τον επικρατέστερο συνδυασμό αφαλάτωσης και ΑΠΕ. Παρότι ο συνδυασμός αυτός προτιμάται, υπάρχουν ακόμα πολλά περιθώρια βελτίωσης του. Έτσι, πολλές έρευνες έχουν δημοσιευθεί, στις οποίες μελετώνται διάφοροι συνδυασμοί τεχνολογιών αλλά και διαφορετικές λογικές λειτουργίας των συστημάτων με σκοπό πάντα την παροχή σταθερής ισχύος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε συστήματα ΑΠΕ-RO, έχει το θέμα της αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, αφού η στοχαστικότητα των ΑΠΕ είναι απαγορευτική για την παροχή σταθερής ισχύος στην αφαλάτωση.

Επιγραμματικά, τα αντικείμενα των μελετών γι' αυτόν το συνδυασμό, συνήθως, είναι :

- Συνεργασία διαφορετικών τεχνολογιών εκμετάλλευσης ΑΠΕ.
- Εισαγωγή βελτιωμένων ή νέων μέσων αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας.
- Βέλτιστη διαχείριση των μονάδων αφαλάτωσης ανάλογα με τη διαθέσιμη ενέργεια.
- Εφαρμογή νέων μεθόδων ελέγχου και διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας.
- Χρήση διάφορων συστημάτων ανάκτησης ενέργειας στις μονάδες αφαλάτωσης.

Στην επόμενη υποενότητα, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση μελετών και εφαρμογών για μονάδες αφαλάτωσης τροφοδοτούμενες από Α/Γ ή/και Φ/Β. Τέλος, να σημειώσουμε ότι και άλλοι συνδυασμοί αφαλάτωσης – ΑΠΕ ερευνώνται και μάλιστα δείχνουν ενθαρρυντικές προοπτικές για το μέλλον.

4.2 Παρουσίαση μελετών/εφαρμογών συστημάτων ΑΠΕ αφαλάτωσης RO

4.2.1 Εισαγωγή

Θεωρήθηκε αναγκαίο, πριν αναλυθεί το προτεινόμενο σύστημα από την εργασία, να γίνει μια σύντομη ανασκόπηση των δημοσιεύσεων και των διπλωματικών, που έχουν ως θέμα μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης τροφοδοτούμενες από ΑΠΕ. Θα πρέπει να τονιστεί ότι αυτές οι μελέτες αποτέλεσαν οδηγό για την ιδέα αλλά και την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας αυτής. Τέλος, γίνεται αναφορά σε διάφορες είτε ερευνητικές είτε επιχειρηματικές εφαρμογές που έχουν λάβει χώρα παγκοσμίως.

4.2.2 Παρουσίαση μελετών

- *A direct coupled photovoltaic seawater reverse osmosis desalination system toward battery based systems — a technical and economical experimental comparative study (Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis, E. Mathioulakis, V. Belessiotis-2007)*

Στο άρθρο αυτό, δοκιμάζεται πειραματικά ένα σύστημα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με σύστημα ανάκτησης ενέργειας, το οποίο τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκά αλλά δεν περιλαμβάνει μπαταρίες, ως προσπάθεια για ανάλυση της λειτουργίας συστήματος μικρότερου κόστους επένδυσης. Στον πίνακα 4.1 δίνονται τα αποτελέσματα μεγεθών για τα δύο συγκρινόμενα συστήματα (με ή χωρίς μπαταρίες).

Results summary		
Battery based system		**Direct coupled system**
Available solar energy (kWh/day)	32.8	29.2
PV energy production (kWh/day)	2.9	1.6
DC motor energy consumption (kWh/day)	2.6	1.6
Solar energy transformed to electricity (%)	8.8	5.5
Total product (m^3/day)	0.6	0.35
Specific energy consumption (kWh/m^3)	4.3	4.6
Annual water production for the same amount of DC energy consumption (m^3/year)	321	300
Product quality (μS/cm)	350	390
Water production cost ($/$m^3$)	8.00	7.8
Total system efficiency (motor energy/solar energy) (%)	8	5.5

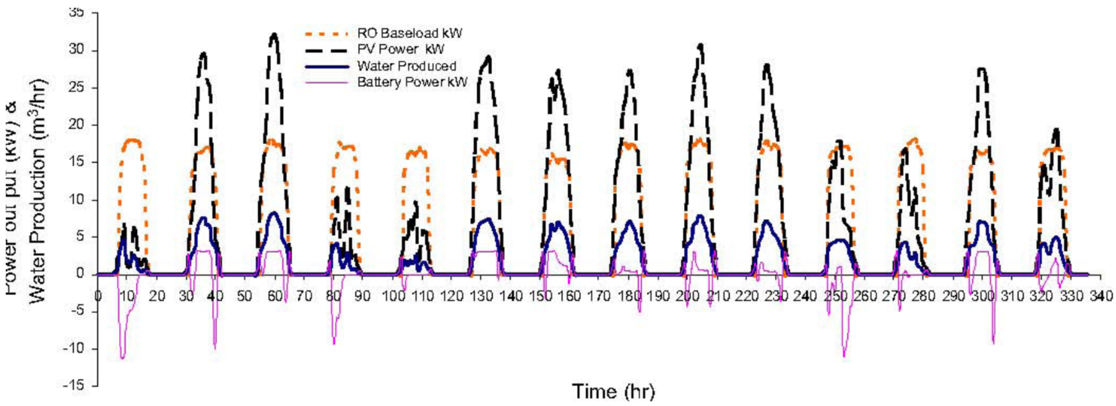
Πίνακας 4.1 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

Το σύστημα αναμένεται να παράγει 0,35 m^3/day το χειμώνα με ειδική ενεργειακή κατανάλωση 4,6 kWh/ m^3 και κόστος 7,8 €/ m^3. Τέλος, γίνεται σύγκριση με το σύστημα που περιλαμβάνει μπαταρίες, χωρίς να παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές, αφού αποτελούν αρκετά μικρά συστήματα.

Summary of power and water costs for different energy options									
Energy options	W_B	W_PV_B	W_D_B	W_PV_D_B	W_D	W_PV_D	PV	D	PV_B
Power cost ($/kWh) Water cost ($/m^3)	0.18 0.53	0.18 0.57	0.26 0.74	0.27 0.74	0.29 0.79	0.30 0.82	0.30 0.82	0.40 1.04	0.40 1.05
Note: W_B: wind and battery; W_PV_B: wind, photovoltaic, and battery; W_D_B: wind diesel battery; W_PV_D_B: wind, photovoltaic, diesel, and battery; W_D: wind and diesel; W_PV_D: wind, photovoltaic, and diesel; PV: photovoltaic; D: diesel only; and PV_B: photovoltaic and battery.									

Πίνακας 4.2 Συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη παραγωγής ισχύος και νερού για τα διάφορα εναλλακτικά συστήματα

Μελετώνται διάφορες περιπτώσεις όπως υβριδικά συστήματα με Α/Γ ή/και Φ/Β ή/και γεννήτρια Diesel με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), και υπολογίζεται η μεταβολή, σημαντικών για μια επένδυση, μεγεθών όπως το κόστος παραγωγής νερού (Πίνακας 4.2), ενώ αναπαριστάται η παραγωγή ενέργειας και νερού σε σχέση με το χρόνο (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3 Μεταβολή φορτίου αφαλάτωσης, παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β και από τις μπαταρίες , παραγόμενου νερού, για 2 εβδομάδες του Ιανουαρίου

- *Economic feasibility of alternative designs of a PV-RO desalination unit for remote areas in the United Arab Emirates (A.M. Helal, S.A. Al-Malek, E.S. Al-Katheeri – 2007)*

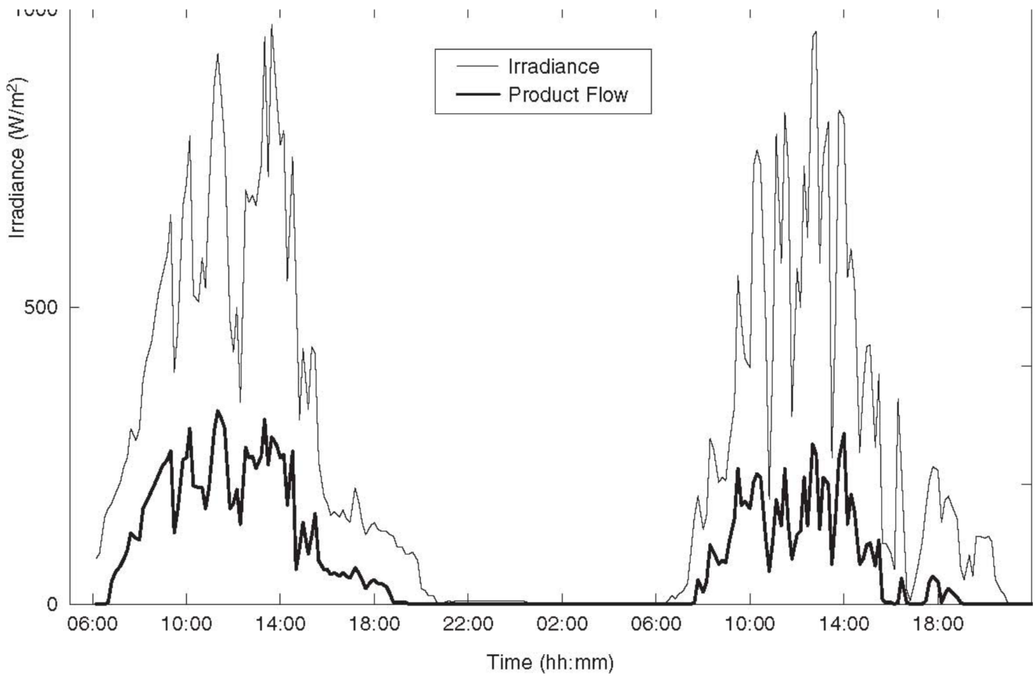
Ένα μοντέλο προσομοίωσης αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης δυναμικής 20 m^3/day. Εξετάζονται 3 περιπτώσεις τροφοδοσίας του συστήματος, αποκλειστικά από γεννήτρια Diesel, υβριδικό σύστημα από γεννήτρια και φωτοβολταϊκά, και αποκλειστικά από φωτοβολταϊκά χωρίς μπαταρίες. Υπολογίζονται τεχνοοικονομικά μεγέθη (Πίνακας 4.3) και προκύπτουν τιμές για το κόστος παραγόμενου νερού 7,21-7,64-7,34 €/ m3 αντίστοιχα.

Specific costs	**Diesel assisted**	**Fully diesel driven**	**Fully solar driven**	
Water cost	7.21	7.64	7.34	$/m^3$
Specific power consumption	7.73	7.74	7.33	kWh/m^3
Specific Energy cost [including fuel + generators + panels cost]	1.81	2.14	1.31	$/m^3$
Specific capital cost	14874.29	14875.76	18277.59	$/m^3$/day

Πίνακας 4.3 Ειδικά κόστη ανάλογα με τις περιπτώσεις τροφοδοσίας της αφαλάτωσης

- *Laboratory demonstration of a photovoltaic-powered seawater reverse-osmosis system without batteries(Murray Thomson, David Infield – 2005)*

Αποτελεί την παρουσίαση των αποτελεσμάτων μιας εργαστηριακής εγκατάστασης στο πανεπιστήμιο Loughborough. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει μονάδα αφαλάτωσης που λαμβάνει ισχύ από φωτοβολταϊκά χωρίς μπαταρίες.



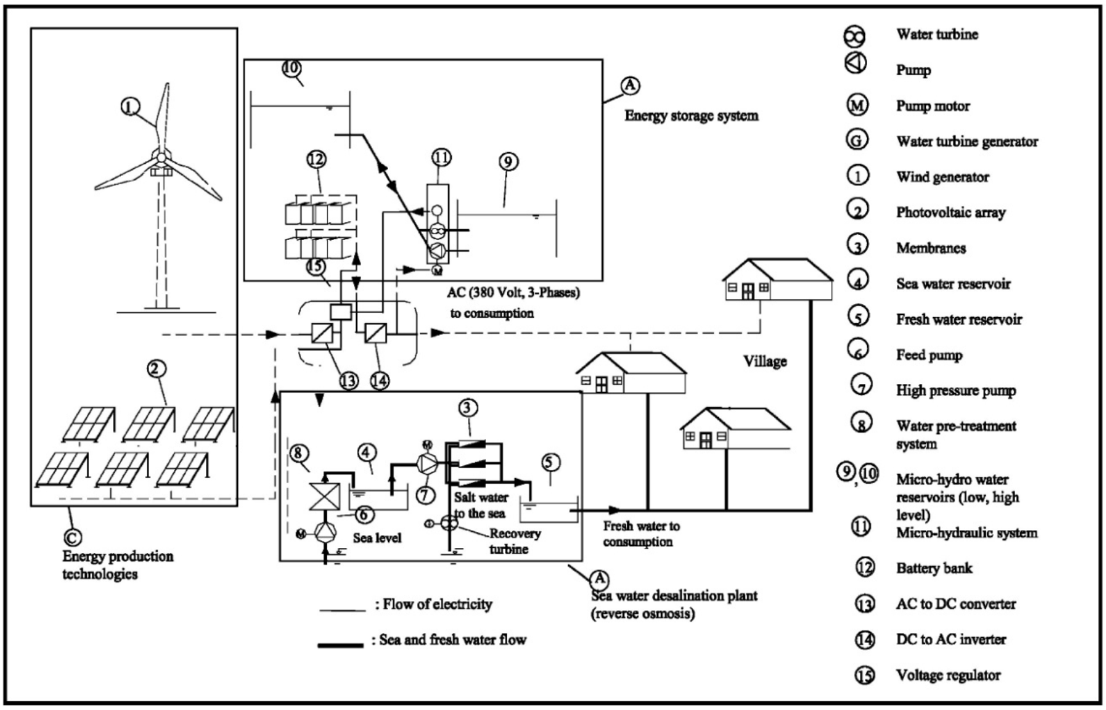
Σχήμα 4.4 Ηλιακή ακτινοβολία και παροχή παραγόμενου νερού για 2 ημέρες

Η παραγωγή νερού γίνεται ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (Σχήμα 4.4). Η μονάδα περιλαμβάνει σύστημα ανάκτησης ενέργειας Clark pump. Λαμβάνονται μετρήσεις για 2 ημέρες λειτουργίας και προκύπτει ειδική κατανάλωση ενέργειας λιγότερο από 4 kWh/m^3.

- *A wind-powered seawater reverse-osmosis system without batteries (Marcos S. Miranda, David Infield – 2002)*

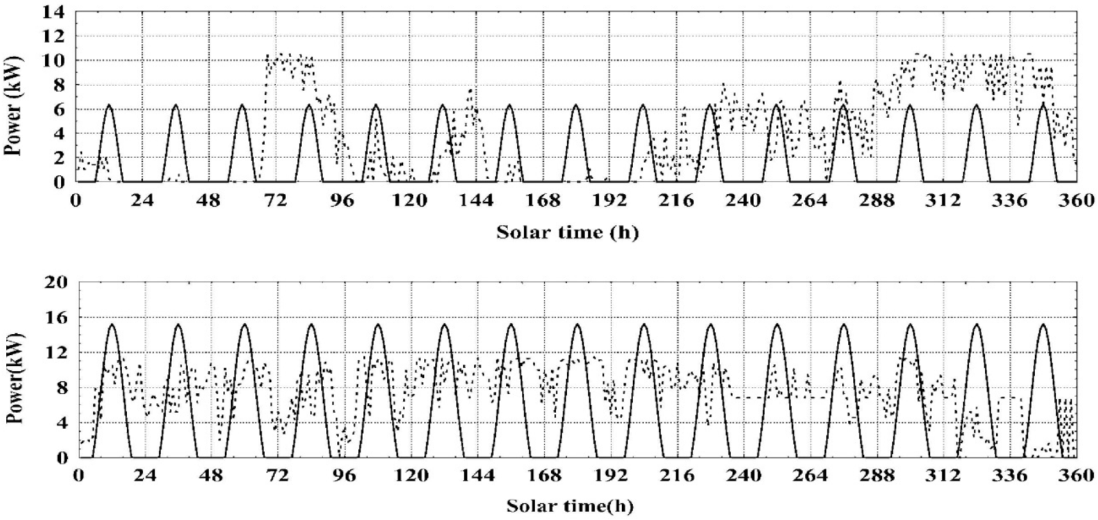
Μοντέλο προσομοίωσης συστήματος με σύστημα ανάκτησης ενέργειας, Clark pump, τροφοδοτούμενο αποκλειστικά από Α/Γ χωρίς μπαταρίες. Η αφαλάτωση λειτουργεί ανάλογα με τη παρεχόμενη ισχύ από την Α/Γ, ενώ χρησιμοποιείται λογική ελέγχου με σκοπό την μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας και του παραγόμενου νερού. Τέλος υπολογίζεται μια μέση τιμή για την ενεργειακή κατανάλωση της τάξεως των 3,4 kWh/m^3.

- *A simulation-optimization programme for designing hybrid energy systems for supplying electricity and fresh water through desalination to remote areas Case study: the Merssini village, Donoussa island, Aegean Sea, Greece (D. Manolakos, G. Papadakis, D. Papantonis, S. Kyritsis - 1998)*

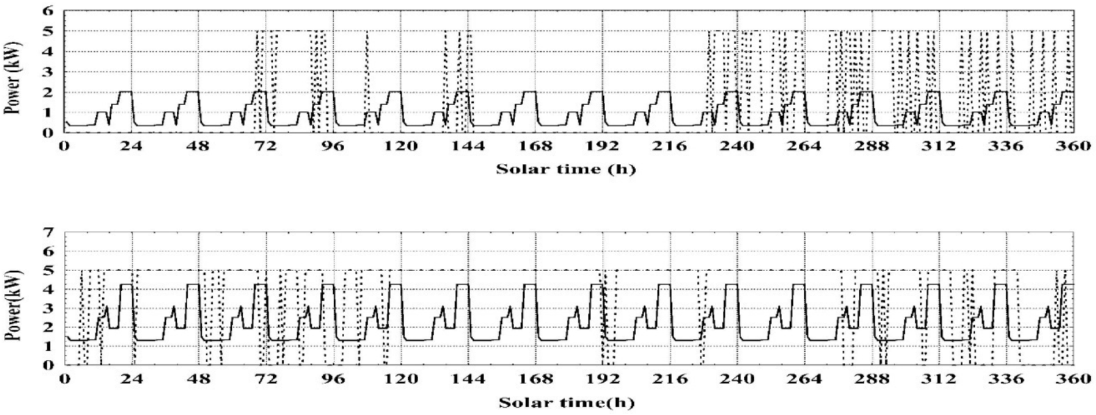


Σχήμα 4.5 Σχηματική απεικόνιση προτεινόμενου συστήματος

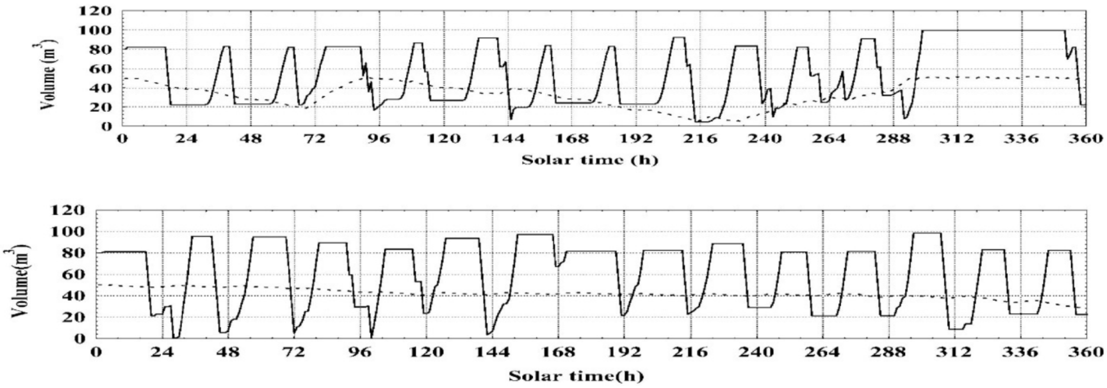
Ένα πρόγραμμα προσομοίωσης μονάδας αφαλάτωσης τροφοδοτούμενη από υβριδικό σύστημα ΑΠΕ. Το υβριδικό σύστημα περιέχει Α/Γ, Φ/Β, σύστημα αντλιοταμίευσης και μπαταρίες (Σχήμα 4.5). Έκτος της παροχής νερού, το σύστημα διαστασιολογείται και για παροχή ηλεκτρισμού σε μια περιοχή. Προτείνεται μια συγκεκριμένη φιλοσοφία λειτουργίας και μάλιστα, μελετάται η περίπτωση χωριού της νήσου Δονούσας. Θα μπορούσαμε να πούμε, το θέμα της διπλωματικής έχει αρκετά κοινά στοιχεία με τη συγκεκριμένη έρευνα. Τα σχήμα 4.6,4.7,4.8 είναι ενδεικτικά της προσομοίωσης:



Σχήμα 4.6 Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (διακεκομμένη) και από Φ/Β (συνεχής) για τον Ιανουάριο (πάνω) και τον Ιούλιο (κάτω)



Σχήμα 4.7 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (συνεχής) και κατανάλωση ενέργειας από την αφαλάτωση (διακεκομμένη) για τον Ιανουάριο (πάνω) και τον Ιούλιο (κάτω)



Σχήμα 4.8 Μεταβολή αποθηκευμένου όγκου νερού στον αντλιοταμιευτήρα (συνεχής) και στην δεξαμενή πόσιμου νερού (διακεκομμένη) για τον Ιανουάριο (πάνω) και τον Ιούλιο (κάτω)

- *Autonomous reverse osmosis units driven by RE sources experiences and lessons learned (E. Tzen, D. Theofilloyianakos, Z. Kologios – 2007)*

Αναφορά στο υπό λειτουργία σύστημα αφαλάτωσης, το οποίο λαμβάνει ισχύ από υβριδικό σύστημα Α/Γ και Φ/Β (Σχήμα 4.9), που έχει εγκατασταθεί στο Λαύριο από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Γίνεται παρουσίαση των μετρήσεων που έχουν ληφθεί στα χρόνια λειτουργίας του, αλλά και περιγράφονται προβλήματα που παρουσιάστηκαν, το πώς αντιμετωπίστηκαν, και τι επιπτώσεις είχαν αυτές οι αλλαγές στη λειτουργία του συστήματος. Τέλος, γίνεται αναφορά σε παρόμοιες εγκαταστάσεις στον κόσμο.

Σχήμα 4.9 Εγκατεστημένο αιολικό πάρκο 900 W (δεξιά) και μονάδα αφαλάτωσης (αριστερά) από το ΚΑΠΕ (πηγή cres.gr)

- *Design, simulation, and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics (Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis – 2003)*

Ένα υβριδικό σύστημα από Α/Γ και Φ/Β τροφοδοτεί μια μονάδα αφαλάτωσης που περιλαμβάνει σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Δημιουργείται απλοποιημένο μοντέλο προσομοίωσης που αναλύει τεχνοοικονομικά τη λειτουργία του συστήματος και καταλήγει σε κόστος παραγωγής νερού 5,2 €/ m^3.

- *Hybrid wind/PV and conventional power for desalination in Libya—GECOL's facility for medium and small scale research at Ras Ejder (Sultan A. Kershman, Jurgen Rheinlander, Thomas Neumann, Olaf Goebel – 2005)*

Μελέτη ομάδας συμβούλων για ερευνητική εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης δυναμικότητας 300 m^3/day και υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας με Α/Γ και Φ/Β. Το σύστημα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο, ενώ σε περίπτωση άπνοιας και χωρίς ηλιακή ακτινοβολία, στο σύστημα παρέχουν ενέργεια μπαταρίες και μια γεννήτρια Diesel.

Εξετάζονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί και εξάγονται συμπεράσματα μέσω ενός μοντέλου προσομοίωσης τόσο για τη λειτουργία αλλά και για το ειδικό κόστος του κάθε συστήματος. Να πούμε ότι το ειδικό κόστος που προέκυψε κυμαίνεται από 1,41 €/m^3 (τροφοδοσία μόνο από το δίκτυο) μέχρι 2,76 €/m^3 (τροφοδοσία μόνο από φωτοβολταϊκά ισχύος 200 kW).

- *Renewable energy driven desalination systems modeling (C. Koroneos, A. Dompros, G. Roumbas – 2005)*

Περιγραφή προγράμματος προσομοίωσης που μελετά τεχνοοικονομικά τη συνεργασία μεθόδων αφαλάτωσης με Α/Γ και Φ/Β. Το σχήμα 4.10 παρουσιάζει τα υπολογιζόμενα κόστη παραγωγής πόσιμου νερού για τους διάφορους συνδυασμούς μεθόδων αφαλάτωσης – ΑΠΕ.

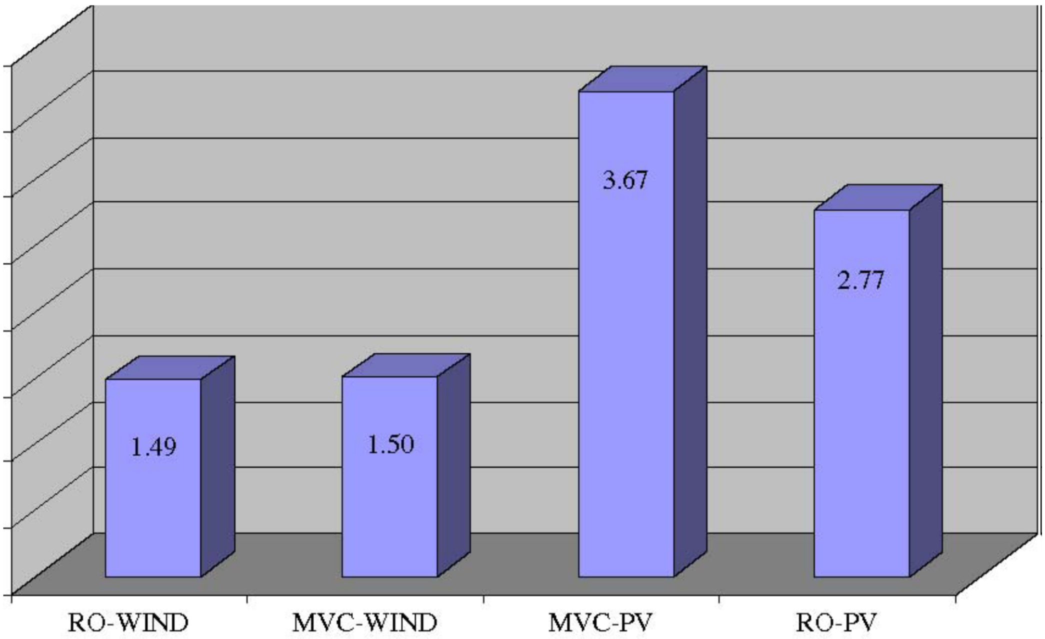


Fig. 13. Water production cost.

Σχήμα 4.10 Υπολογιζόμενο ειδικό κόστος παραγωγής μονάδας όγκου νερού σε € για διάφορους συνδυασμούς ΑΠΕ- μεθόδων αφαλάτωσης.

- *Συνδυασμός παραγωγής ηλεκτρισμού και πόσιμου νερού με αφαλάτωση από αιολική ενέργεια. Εφαρμογή στη Νίσυρο (Χρ. Σταματόπουλος – 2007)*

Μεταπτυχιακή εργασία που μελετά την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού και νερού με αφαλάτωση από Α/Γ. Η καινοτομία της εργασίας έγκειται στη μηχανική σύνδεση της Α/Γ με την αντλία της αφαλάτωσης, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι απώλειες κατά την μετατροπή της ενέργειας. Εξετάζεται ως πιθανός τόπος εγκατάστασης, η νήσος Νίσυρος και αξιολογείται οικονομικά η επένδυση. Η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα δεδομένου κάποιων ετήσιων αυξήσεων στην τιμή πώλησης του νερού (1 €/m^3) και ταυτόχρονης διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

- *Προοπτικές αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια στην Κύπρο (Φρ. Ταβέλης – 2004)*

Διπλωματική εργασία που μελετά το ενδεχόμενο εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης τροφοδοτούμενης από Α/Γ στην Κύπρο, βάσει προγράμματος προσημείωσης Excel. Γίνεται εκτεταμένη αναφορά στην μεταβολή οικονομικών δεικτών συναρτήσει με άλλα μεγέθη του συστήματος. Ακόμα λαμβάνεται υπ’ όψη η περίπτωση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

- *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μονάδες αφαλάτωσης. Προοπτικές ένταξης στο ν. Δωδεκανήσου (Β. Χαντζιάρας – 2000)*

Διπλωματική εργασία που εξετάζει την τροφοδοσία μονάδων αφαλάτωσης είτε από Α/Γ είτε από Φ/Β στα Δωδεκάνησα. Χρησιμοποιείται το πρόγραμμα MedCoDesal και μελετάται κάθε νησί ξεχωριστά για αιολικό και για φωτοβολταϊκό πάρκο. Η βέλτιστη τιμή πώλησης νερού κυμαίνεται από 0.021 € (Λειψοί - Αιολικό πάρκο) μέχρι 1,763 € (Αγαθονήσι - Ηλιακό πάρκο).

4.2.3 Παρουσίαση εφαρμογών

Εκτός των εφαρμογών που παρουσιάζονται σε κάποιες από τις παραπάνω δημοσιεύσεις, κρίθηκε απαραίτητο να αναφέρουμε επιγραμματικά και άλλες προσπάθειες που έχουν γίνει στο χώρο αυτό. Είναι αλήθεια ότι οι περισσότερες εφαρμογές συστημάτων αφαλάτωσης, με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, σε συνεργασία με τεχνολογίες ΑΠΕ έχουν γίνει στα Κανάρια νησιά στην Ισπανία. Ενδεικτικά αναφέρονται εγκατεστημένες μονάδες τόσο στην Ισπανία αλλά και γενικότερα στον πλανήτη (Kalogirou,2005-Mathioulakis κλπ,2006-Tzen,2001):

- Μονάδα τροφοδοτούμενη από Αιολική ενέργεια δυναμικής 200 m3/day στα Κανάρια νησιά.

- Στη περιοχή Lampedousa της Ιταλίας , φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 100 kW τροφοδοτεί μονάδα δυναμικής 5 m^3/h.

- Μονάδα ικανότητας παραγωγής 2,5 m^3/h στην Almeria της Ισπανίας, λειτουργεί με ενέργεια παραγόμενη από Φ/Β ισχύος 23,5 kW.

- Υβριδικό σύστημα γεννήτριας Diesel και Α/Γ παρέχει ισχύ στην αφαλάτωση (56 m^3/day) και στο τοπικό δίκτυο της Pahara (νησί Fuerteventura).

- Πιλοτικό πρόγραμμα με μονάδα τροφοδοτούμενη από Α/Γ χωρίς σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο των Κανάριων νήσων.

- Επίσης, από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο των Κανάριων νήσων αναπτύχθηκε αυτόνομο σύστημα, δεχούμενο ισχύ από Α/Γ, δυναμικής από 5 m^3/day μέχρι 50 m^3/day.

- Υβριδικό σύστημα γεννήτριας Diesel και Α/Γ παρέχει ισχύ στην αφαλάτωση (25 m^3/day) στην Μέση Ανατολή.

- Σε νησί της Δαλματίας έχει εγκατασταθεί μονάδα αντίστροφης ώσμωσης τροφοδοτούμενη από Α/Γ.

- Υβριδικά συστήματα Φ/Β και Α/Γ συνδεδεμένα με μονάδες αφαλάτωσης έχουν εγκατασταθεί στο Ισραήλ (3 m^3/day) και στο Ομάν (1 m^3/h).

Όσον αφορά την Ελλάδα, το 1995 τέθηκε σε λειτουργία σύστημα Α/Γ που τροφοδοτούσε μονάδα αφαλάτωσης στο Δρέπανο της Αχαΐας. Τα τελευταία χρόνια, έχει οξυνθεί σε αρκετά μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της λειψυδρίας στη νησιά, και είναι επιτακτική η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης. Προς αυτή την κατεύθυνση, το 2007 ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης στη Μήλο δυναμικότητας 2600 m^3/day με ορίζοντα επέκτασης το 2015 κατά 1120 m^3/day. Το σύστημα τροφοδοτείται από το υφιστάμενο αιολικό πάρκο στο οποίο προστέθηκε Α/Γ ισχύος 850 kW για να αντισταθμίζεται η ισχύς που καταναλώνει η αφαλάτωση από το δίκτυο. Τέλος, ένα πολύ σημαντικό έργο και ιδιαίτερα πρωτοποριακό σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι η κατασκευή αυτόνομης πλωτής μονάδας αφαλάτωσης (Σχήμα 4.11), η οποία εκμεταλλευόμενη την ενέργεια που παράγουν το ενσωματωμένο υβριδικό σύστημα Α/Γ και Φ/Β, είναι σε θέση να παράγει 70 m3/day. Η δυνατότητα κίνησης της μονάδας αποτελεί πλεονέκτημα αφού μπορεί να ικανοποιήσει ανάγκες πολλών μικρών άνυδρων νησιών. Ακόμα, εκτός των θετικών επιπτώσεων που θα έχει στον ελλαδικό χώρο, είναι ένα πρώτο βήμα για την κατασκευή πλωτών μονάδων.

Σχήμα 4.11 Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης εγκατεστημένη στην Ηρακλειά (πηγή: thezeitgeistmovement.gr)

Κεφάλαιο 5
Χαρακτηριστικά της νήσου Σικίνου

5.1 Γενικά – τοπογραφικά στοιχεία

Εικόνα 5.1 Χάρτης Κυκλάδων (πηγή clubs.pathfinder.gr)

Εικόνα 5.2 Χάρτης της Σικίνου (el-gr.facebook.com)

Η Σίκινος είναι ένα μικρό νησί των Κυκλάδων ανάμεσα στην Ίο και τη Φολέγανδρο. Έχει έκταση 49 τ.χλμ. και μόνιμο πληθυσμό περίπου 250 (απογραφή του 2001). Διοικητικά είναι Κοινότητα που είναι όμως ανεξάρτητη, σαν Δήμος και ανήκει στο Νομό Κυκλάδων, Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου. Το σχήμα της είναι μακρόστενο και το έδαφός της είναι κυρίως ορεινό και βραχώδες. Το μήκος της από το ακρωτήριο Μάλτα στα βορειοανατολικά μέχρι το ακρωτήριο Κάστελλος ή Καρρά στα ΝΔ είναι 14,5 χλμ. ενώ το πλάτος της είναι 4,8 χλμ. Ομαλή η νοτιοανατολική πλευρά της ανηφορίζει συνεχώς προς τα βορειοδυτικά για να καταλήξει σε ένα απότομο γκρεμό ύψους 300 μέτρων πάνω από τη θάλασσα. Τα κυριότερα βουνά της Σικίνου είναι ο Τρούλος (559μ.) στη μέση του νησιού και κοντά του ο Άγιος Μάμας, νοτιότερα η Αγία Μαρίνα και το Ψηλό Πετάλι και κοντά στη Χώρα το Φρούδι του Μοναστηριού. Το έδαφος της Σικίνου είναι πετρώδες και σε ένα τμήμα του καλύπτεται από ελαιόδεντρα.

Οι σημαντικότεροι οικισμοί της Σικίνου είναι η Αλοπρόνοια, που είναι και το μοναδικό λιμάνι, ενώ στα ορεινά βρίσκεται η Χώρα ή Σίκινος, που αποτελεί συνένωση τριών παλαιοτέρων οικισμών, του Χωριού, του Κάστρου και του Βουνίου. Ο μοναδικός ασφαλτοστρωμένος δρόμος του νησιού είναι αυτός που συνδέει το λιμάνι με τη Χώρα.

Πάντως η Σίκινος, λόγω της απομόνωσης και της γραφικότητάς της, αναλλοίωτη απ' την οικιστική ανάπτυξη των τουριστικών κυκλαδονήσων, αποτελεί πόλο έλξης τουριστών που αναζητούν την ηρεμία και τη γαλήνη, ενώ μερικοί από αυτούς την επιλέγουν τελικά και ως μόνιμη κατοικία. Οι κάτοικοι φημίζονται για τη φιλικότητα προς τους ξένους, ενώ ο τουρισμός δεν έχει καταστρέψει την παραδοσιακή εικόνα του νησιού, με τα πέτρινα σοκάκια και τα παλιά αρχοντικά. Οι ντόπιοι απασχολούνται με τον τουρισμό, την αλιεία, την καλλιέργεια της ελιάς και τη μελισσοκομία, ενώ κάποιοι είναι δημόσιοι και δημοτικοί υπάλληλοι.

Η Σίκινος επίσης διαθέτει: διθέσιο Δημοτικό σχολείο, Γυμνάσιο με τάξεις Λυκείου, Πολυδύναμο Περιφερειακό Ιατρείο – Οδοντιατρείο (το οποίο όμως στελεχώνεται από έναν αγροτικό γιατρό), ένα ελικοδρόμιο, ένα ξενοδοχείο, δυο μουσεία, 120 περίπου ενοικιαζόμενα δωμάτια και λίγα εμπορικά καταστήματα.

Εδώ και λίγα χρόνια τροφοδοτείται με ρεύμα από την Πάρο με υποβρύχιο καλώδιο της ΔΕΗ και νερό παίρνει από υδροφόρες που έρχονται από το Λαύριο, κατόπιν σύμβασης με το Υπουργείο Αιγαίου, καθώς και από λίγες πηγές και πηγάδια του νησιού.

Η Σίκινος συνδέεται ακτοπλοϊκώς με την ηπειρωτική Ελλάδα με το λιμάνι του Πειραιά, από το οποίο απέχει 113 ναυτικά μίλια και το ταξίδι διαρκεί περίπου εννιά ώρες. Επικοινωνεί, επίσης, με την Ίο, τη Σαντορίνη, τη Θηρασιά, τη Σύρο, την Ανάφη και το Λαύριο.

Εικόνα 5.3 Πανοραμική άποψη των οικισμών Χωριό και Κάστρο (πηγή tvzapping.gr)

5.2 Ιστορία

Σύμφωνα με τη μυθολογία, το όνομα του νησιού προέρχεται από τον Σίκινο, το γιο του βασιλιά της Λήμνου, Θόαντα, και μιας νύμφης. Ο μύθος αυτός αρχίζει από τη Λήμνο, όταν οι γυναίκες αποφάσισαν μυστικά να σκοτώσουν όλους τους άνδρες στο νησί γιατί, όπως έλεγαν, τις παραμελούσαν. Η Υψιπύλη, όμως, η κόρη του βασιλιά, που ήθελε να σώσει τον πατέρα της, τον έβαλε μέσα σε ένα ξύλινο στεγανό κιβώτιο και τον πέταξε στη θάλασσα. Τα κύματα έφεραν το κιβώτιο στη Σίκινο, όπου το βρήκαν ψαράδες και έσωσαν το Θόαντα. Από την ένωση του Θόαντα με μια τοπική νύμφη γεννήθηκε ο Σίκινος από τον οποίο πήρε το όνομά του το νησί. Το νησί όμως λεγόταν παλιά και Οινόη, προφανώς επειδή ευδοκιμούσαν εκεί τα αμπέλια και υπήρχε παραγωγή κρασιού.

Σύμφωνα με πολλές επιγραφές η Σίκινος αποικήθηκε πρώτα από τους Ίωνες, γύρω στο 10ο αιώνα π.Χ. Πιθανόν οι Ίωνες να κατέβηκαν από τη Λήμνο, πράγμα που δικαιολογεί τον μύθο. Πάντως τα γειτονικά νησιά Μήλος, Φολέγανδρος και Θήρα κατοικούνταν από Δωριείς, οι οποίοι μάλλον είχαν καταλάβει και τη Σίκινο για κάποια περίοδο. Την εποχή του 5ου και 6ου αιώνα π.Χ. η Σίκινος θεωρούνταν μικρής σημασίας και ισχύος και αυτό φαίνεται από τα λόγια του Σόλωνα του Αθηναίου που αναφέρει χαρακτηριστικά ότι θα προτιμούσε να ήταν Σικινιώτης ή Φολεγάνδριος παρά Αθηναίος, θέλοντας έτσι να προσβάλλει τους συμπολίτες του για την υποχώρησή τους στη μάχη με τους Μεγαρείς. Αργότερα οι Σικινιώτες συμμάχησαν με τους Αθηναίους το 478 π.Χ. οι οποίοι όμως έπειτα φέρθηκαν δεσποτικά και ζήτησαν φόρο από τη Σίκινο 1000 αττικές δραχμές, το 425 π.Χ. Μετά την ήττα των Αθηναίων από τον Φίλιππο Β’ το 338 π.Χ. στη Χαιρώνεια, η Σίκινος πέρασε στην κυριαρχία των Μακεδόνων βασιλέων.

Όταν οι Ρωμαίοι κατέλαβαν τις Κυκλάδες τον 1ο αιώνα π.Χ. η Σίκινος άρχισε να περνάει στην αφάνεια και μάλιστα επί πολλά έτη θεωρούνταν τόπος εξορίας. Αλλά και επί Βυζαντίου, δεν γνώρισε άνθηση και, μάλιστα, τη λυμαίνονταν συχνά πειρατές, με ορμητήριο το φυσικό λιμάνι της γειτονικής Ίου.

Η Σίκινος πέρασε σε Ενετικά χέρια, μαζί με τα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων, όταν ο Ενετός Μάρκος Σανούδος κατέλαβε το 1207 μ.Χ. τη Νάξο, το μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων και ίδρυσε το δουκάτο της Νάξου ή του Αρχιπελάγους, λίγα μόλις χρόνια μετά την άλωση της Κωνσταντινούπολης από τους Φράγκους, το 1204. Η Σίκινος με τα άλλα νησιά παρέμειναν υπό την κυριαρχία των διαδόχων του Σανούδου, ο οποίος πέθανε το 1227, μέχρι το 1269 όταν ο Ιταλός ναύαρχος Λικάριος κατόρθωσε να αποσπάσει από το δουκάτο τα νησιά Ίο, Σίκινο, Φολέγανδρο και Σίφνο, για λογαριασμό του βυζαντινού αυτοκράτορα Μιχαήλ Η’ του Παλαιολόγου, οπότε και πέρασαν σε βυζαντινά χέρια. Αυτό κράτησε 38 μόλις χρόνια γιατί το 1307 την κατέλαβε ο Ισπανός Γιαννούλης Δακορόνια, που ανήκε στο τάγμα των Ιωαννιτών. Μαζί με τη Σίκινο ο Δακορόνια κατέλαβε τη Σίφνο και άλλα μικρά νησιά, τα οποία κράτησε ανεξάρτητα τόσο από τους Σανούδους όσο και από τους Ιωαννίτες.

Τους Δακορόνια διαδέχτηκαν οι Φράγκοι Γοζαδίνοι που παρέμειναν στη Σίκινο από το 1467 μέχρι το 1617, οπότε το νησί καταλήφθηκε από τους Τούρκους. Κατά τη διάρκεια της Τουρκοκρατίας τη Σίκινο διοικούσε βοεβόδας, που τις περισσότερες φορές ήταν Έλληνας, μαζί με ντόπιους προύχοντες. Τούρκοι υπάλληλοι ή στρατιωτικοί έρχονταν στο νησί μόνο για την είσπραξη των φόρων. Το σοβαρότερο πρόβλημα της εποχής ήταν οι πειρατικές επιδρομές, οι οποίες έγιναν συχνότερες από το 1771 που οι Ρώσοι κατέλαβαν τη Σίκινο μαζί με τις υπόλοιπες Κυκλάδες, όπου και παρέμειναν μέχρι το 1774, όταν υπογράφτηκε η συνθήκη ειρήνης μεταξύ της Αικατερίνης της Ρωσίας και των Τούρκων. Στο μεταξύ είχε προηγηθεί ο σύντομος ρωσοτουρκικός πόλεμος και η καταστροφή του οθωμανικού στόλου από τους Ρώσους. Στα χρόνια της επανάστασης του 1821 τη Σίκινο διοικούσαν οι δημογέροντες και απελευθερώθηκε επίσημα το 1829.

5.3 Γεωλογία – Υδρογεωλογία

α) Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

Γεωτεκτονικά η Σίκινος ανήκει στην Αττικοκυκλαδική ζώνη που περιλαμβάνει κυρίως μεταμορφωμένα πετρώματα. Η στρωματογραφική σειρά περιλαμβάνει εναλλαγές γνευσιοσχιστόλιθων και σχιστόλιθων με μάρμαρα και είναι η ίδια που παρατηρείται και στη γειτονική Φολέγανδρο. Στο ΒΑ τμήμα του νησιού οι διευθύνσεις των στρωμάτων είναι κάθετες στον επιμήκη άξονα της νήσου, ενώ στο ΝΑ τμήμα, πιθανώς λόγω τεκτονικών διαταραχών, η διάταξη αλλάζει.

Σαν κατώτερος ορίζοντας στη σειρά αυτή θεωρείται ο σχηματισμός των γνευσιοσχιστόλιθων (χλωριτικός, επιδοτικός, γλαυκοφανιτικός γνευσιοσχιστόλιθος). Αμέσως πάνω σε αυτόν βρίσκεται η σειρά των σχιστόλιθων (μοσχοβίτικος σχιστόλιθος που συχνά εναλλάσσεται με μοσχοβίτικο, γλαυκοφανιτικό επιδοτικό σχιστόλιθο). Τη σειρά κλείνει ο σχηματισμός του μαρμάρου. Η όλη σειρά είναι δυνατόν να επαναληφθεί πολλές φορές. Τα μάρμαρα εμφανίζονται με χρώματα κυανόφαιο έως λευκόφαιο.

β) Περατότητα σχηματισμών

Από τους παραπάνω σχηματισμούς οι σχιστόλιθοι και γνευσιοσχιστόλιθοι θεωρούνται πρακτικά σαν στεγανοί σχηματισμοί. Μόνο σε περιοχές που εμφανίζονται επιφανειακά και υπάρχει επιφανειακή ροή του νερού, σε περιόδους βροχόπτωσης, είναι δυνατόν από τη διάβρωση που έχουν υποστεί να σχηματίσουν μια σαθρή οροφή με πρωτογενές πορώδες, που επιτρέπει την κίνηση του νερού. Στα χαμηλότερα τοπογραφικά, εκεί που συναντάται το υγιές πέτρωμα ή άλλος αδιαπέρατος σχηματισμός, το νερό αναγκάζεται να διακόψει την ημιυπόγεια διαδρομή του και να εμφανιστεί σαν πηγή, ονομαζόμενη πηγή σαθρούς οροφής.
Τα μάρμαρα, πρωτογενώς αδιαπέρατοι σχηματισμοί, είναι δυνατόν να αναπτύξουν μια δευτερογενή υδροπερατότητα, που οφείλεται κυρίως στην αρχική ύπαρξη ρηγμάτων και κατακλάσεων στο πέτρωμα και στη μετέπειτα δράση του νερού της βροχής που διεύρυνε τα αρχικά ανοίγματα και βαθμιαία σχημάτισε υπόγειους αγωγούς, έγκοιλα και στα χαμηλότερα τοπογραφικά υδροαποθεματικές ζώνες. Τα

φαινόμενα αυτά ονομάζονται καρστικά και οι υδροφορείς που σχηματίζονται καρστικοί.

Οι προσχωματικές (αλλουβιακές) αποθέσεις, είναι ψαθυροί σχηματισμοί, άμμοι, χάλικες, κροκάλες, ιλύς. Είναι προϊόντα αποσαθρώσεως, μεταφέρθηκαν με τη μηχανική ενέργεια του νερού και αποτίθενται στα χαμηλότερα τοπογραφικά. Στο νησί καταλαμβάνουν την έκταση των λίγων παράκτιων πεδιάδων.

γ) Σχηματισμός πηγών – πηγές

Υπάρχουν τρεις τύποι πηγών στην περιοχή. Ο πρώτος τύπος είναι ο τύπος της πηγής σαθρούς οροφής σχιστόλιθου, της οποίας ο μηχανισμός γενέσεως και λειτουργίας περιγράφηκε προηγουμένως. Τέτοιου τύπου πηγή είναι και η πηγή του Χριστού, η κυριότερη πηγή του νησιού. Αυτή αναπτύσσεται σε σχιστολιθική περιοχή που καταλαμβάνει έκταση 2 Km^2, χωρίς επικάλυψη από μάρμαρα. Από αυτό το λόγο συμπεραίνεται ότι η πηγή προέρχεται από την επαφή της σαθρούς επιφάνειας του σχιστόλιθου και του συμπαγούς κατώτερου ορίζοντα.

Είναι γεγονός όμως ότι η κίνηση των νερών στη Σίκινο παρατηρείται σχεδόν πάντα στην επαφή σχιστόλιθων και μαρμάρων, με διεύθυνση πάντοτε αυτή που ορίζεται από την κλίση των σχιστόλιθων. Ο σχιστόλιθος στην περίπτωση αυτή παίζει το ρόλο της στεγανής βάσεως πάνω στην οποία κινείται το νερό. Είναι προφανές επίσης ότι η τροφοδοσία σε νερό των υδροφορέων αυτών εξασφαλίζεται από το νερό της βροχής που διεισδύει μέσα από τα καρστικά ανοίγματα των μαρμάρων και εμπλουτίζει τον υδροφορέα. Σε όσα σημεία η κίνηση του νερού στον υδροφορέα αυτό αναγκάζεται να διακοπεί (είτε λόγω παρεμβολής στεγανού πετρώματος είτε λόγω αλλαγής της τοπογραφίας) και να βγει στην επιφάνεια, δίνει πηγές του δεύτερου τύπου, επαφής σχιστόλιθου – μαρμάρου, που είναι και οι περισσότερες. Συνήθως δε, επειδή οι επαφές σχιστόλιθων – μαρμάρων στο νησί καλύπτονται από παχιά στρώματα πλευρικών κορημάτων, των οποίων το πάχος κυμαίνεται από 1 - 6 μέτρα, τις περισσότερες φορές η ανεύρεση και αξιοποίηση των νερών επαφής γίνεται με ανόρυξη πηγαδιού, του οποίου το βάθος θα πρέπει να φθάνει μέχρι το βάθος του υγιούς σχιστόλιθου της βάσεως.

Ένα τρίτο είδος πηγών είναι οι καρστικές πηγές. Σε αυτές η κίνηση του νερού γίνεται μέσα από καρστικούς αγωγούς και η εμφάνιση των νερών στην επιφάνεια οφείλεται σε κάποιο γεωλογικό ή τεκτονικό γεγονός. Τέτοιο είδος πηγών δεν παρατηρήθηκαν από σχετικές έρευνες, θα πρέπει όμως να υπάρχουν στο επίπεδο της θάλασσας ή και χαμηλότερα ακόμη, οπότε δημιουργούν αντίστοιχα παράκτιες ή υποθαλάσσιες πηγές.

Το σύνολο των πηγών και πηγαδιών που έχουν απογραφεί μαζί με τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής:

1. πηγή Χριστός, υψόμετρο 100 μ., παροχή 60 – 100 m^3/ημέρα

2. πηγή Αγ. Στέφανος, υψόμετρο 320 μ., παροχή ασήμαντη

3. πηγάδι, υψόμετρο περίπου 220 μ., παροχή άγνωστη

4. δυο πηγάδια, υψόμετρο περίπου 220 μ., παροχή μικρή

5. πηγή, υψόμετρο περίπου 150 μ., παροχή άγνωστη

6. πηγάδι δίπλα στο δρόμο, απόσταση 150 – 200 μ. από τη θάλασσα, υφάλμυρο

7. πηγάδι, απόσταση 100 – 150 μ. από τη θάλασσα, υφάλμυρο
Κόλπος Αγ. Παντελεήμονα

8. πηγάδι, υψόμετρο 120μ., χρησιμοποιείται κυρίως από τα κοπάδια

9. πηγάδι, δίπλα στη θάλασσα, υφάλμυρο

<u>Κόλπος Αγ. Ιωάννη</u>
10. μικρή πηγή
11. μικρή πηγή

<u>Κόλπος Καρά</u>
12. πηγάδι

<u>Κόλπος Τριών Πηγαδιών</u>
13. πηγάδι

Υπάρχουν και πολλές πηγές στη ΒΔ πλευρά, είναι όμως δύσκολο, λόγω προσπέλασης, να αξιοποιηθούν. Έχουν παρατηρηθεί και πολλές υποθαλάσσιες αναβλύσεις.

δ) Σχηματισμός υδροφορέων

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι ο υδροφορέας σαθρής σχιστολιθικής οροφής, που περιγράψαμε προηγουμένως, δεν θεωρείται σαν αμιγής υδροφορέας με την πλήρη, υδρογεωλογικά, σημασία της λέξεως. Διακινεί νερό, δίνει πηγές, αλλά δεν σχηματίζει υπολογίσιμους υδροφορείς.

Αντίθετα, υπολογίσιμοι σχετικά υδροφορείς, στην έκταση της περιοχής, είναι οι καρστικοί και λιγότερο οι προσχωματικοί.

Οι καρστικοί σχηματισμοί οφείλουν τη γένεσή τους, όπως είδαμε, στη δευτερογενή περατότητα των μαρμάρων. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η κίνηση του υδροφορέα ελέγχονται από τις επαφές περατού / αδιαπέρατου, που στην προκειμένη περίπτωση είναι επαφές μαρμάρου / σχιστόλιθου. Στα χαμηλότερα τοπογραφικά, κάτω από ειδικές συνθήκες, το ρόλο του επιπέδου βάσεως είναι δυνατό να παίξει το θαλασσινό νερό. Τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα – όπως έχει αποδειχθεί και από άλλες περιοχές της Ελλάδας – ποικίλουν κατά πολύ.

Υπάρχουν δυο παράγοντες που περιορίζουν κατά πολύ το ρόλο των μαρμάρων στην περιοχή, σαν ικανού υδροφορέα. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

α. Η επί πολλούς γεωλογικούς αιώνες (τουλάχιστον από το Μεσοζωικό ή το Τριτογενές) παραμονή της Κυκλαδίτικης μάζας σε ανάδυση, είχε σαν αποτέλεσμα την αποσάθρωση του μαρμάρινου καλύμματος και κατά συνέπεια τον περιορισμό της έκτασης και του πάχους του σχηματισμού αυτού. Αυτό πάλι είχε σαν συνέπεια τη μείωση του συνολικού ποσού του ατμοσφαιρικού νερού που διεισδύει και γίνεται υπόγειο. Παρατηρείται δηλαδή ότι – σε αντίθεση με την υπόλοιπη Ελλάδα – η καρστικότητα του σχηματισμού αυτού είναι μειωμένη στην περιοχή και βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας, δεν παρατηρούνται π.χ. δολίνες και πόλγες.

β. Η ύπαρξη διαστρώσεων γνευσιοσχιστόλιθου μέσα στον σχηματισμό του μαρμάρου, περιορίζει ακόμη περισσότερο το ρόλο τους σαν υδροφορέα, αφού εισαγάγει στεγανά επίπεδα σε υδροπερατό σχηματισμό.

Οι προσχωματικοί υδροφορείς καταλαμβάνουν μικρές εκτάσεις στην περιοχή και ο ρόλος τους ως εκ τούτου είναι περιορισμένος. Εμφανίζονται κυρίως στις ελάχιστες παράκτιες περιοχές του νησιού και έχουν τοπική σημασία: ανόρυξη π.χ. πηγαδιού σε παράκτια και προμήθεια μετρημένου γλυκού νερού, ελάχιστη υπερβολή στην άντληση έχει σαν αποτέλεσμα την μη αναστρέψιμη υφαλμύρυνση του πηγαδιού.

ε) Υδρολογικός κύκλος – κίνηση νερού

Πηγή νερού για την τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής είναι το νερό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και κυρίως εκείνου της βροχής, μια και το χιόνι σπάνια παρατηρείται στο νησί.

Ο μέσος ετήσιος βροχομετρικός δείκτης για το νησί είναι 385 mm και θεωρείται πολύ χαμηλός, εάν σκεφτούμε ότι ο αντίστοιχος δείκτης για την ηπειρωτική Ελλάδα κυμαίνεται στα 600 – 800 mm.

Από το νερό της βροχής που πέφτει στο νησί, ένα μέρος διεισδύει στους περατούς σχηματισμούς και γίνεται υπόγειο νερό, ένα μέρος απορρέει επιφανειακά και ένα τρίτο μέρος χάνεται δια της εξατμισοδιαπνοής. Αυτός είναι ο λεγόμενος υδρολογικός κύκλος του νερού.

Στην έκταση του νησιού διείσδυση γίνεται μόνο μέσα από τα ενεργά καρστικά συστήματα του σχηματισμού του μαρμάρου. Σε άλλες περιοχές της Ελλάδας ο συντελεστής διείσδυσης στους σχηματισμούς κυμαίνεται στο 45 – 60%. Στο νησί όμως, επειδή ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται λιγότερο καρστικοποιημένος, ο συντελεστής διείσδυσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 30%.

Το νερό της βροχής που απορρέει επιφανειακά κινείται δια της βαρύτητας στα χαμηλότερα τοπογραφικά και επειδή στο νησί δεν υπάρχουν ανεπτυγμένες παράκτιες πεδιάδες, το μεγαλύτερο ποσοστό χύνεται τελικά στη θάλασσα και θεωρείται απώλεια για τον υδρολογικό κύκλο. Μόνο ένα μικρό ποσοστό διεισδύει κατά τα γνωστά, εάν συμβεί το απορρέον νερό να περάσει από περατούς σχηματισμούς.

Η έλλειψη παράκτιων πεδιάδων οφείλεται κυρίως στην ορεινή διάρθρωση του νησιού και στην ανάπτυξη του κοιλαδικού συστήματος κάθετα στον κύριο άξονα του νησιού. Έτσι η διαδρομή του υδρογραφικού δικτύου περιορίζεται (μέχρι 4 mm), με αποτέλεσμα ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό 30 – 40% να χάνεται στη θάλασσα.

Η εξάτμιση είναι έντονη στην περιοχή, λόγω του κλίματος, ενώ η διαπνοή δεν παίζει σημαντικό ρόλο, λόγω του μικρού βαθμού φυτοκάλυψης που παρατηρείται.

Από το νερό που κινείται υπόγεια, ένα μέρος εξέρχεται στην επιφάνεια σαν πηγές, ένα μέρος χύνεται στη θάλασσα σαν παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές και ένα άλλο μέρος σχηματίζει τοπικούς υδροφορείς με επίπεδο βάσεως ανάλογα ή στεγανό σχηματισμό (σχιστόλιθο) ή στα χαμηλότερα τοπογραφικά την θάλασσα.

5.4 Δημογραφικά στοιχεία – τουρισμός

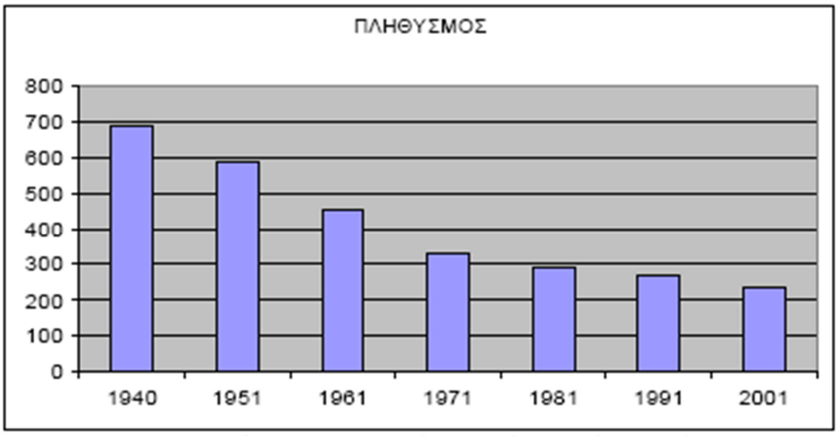
Όπως φαίνεται απ’ τον παρακάτω πίνακα, ο πληθυσμός της Σικίνου φθίνει διαρκώς με τα χρόνια και σήμερα είναι σχεδόν το ένα τρίτο αυτού που ήταν το 1940. Σύμφωνα με την επίσημη απογραφή του 2001 οι μόνιμοι κάτοικοι της Σικίνου ανέρχονται σε 238, αριθμός που δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά μέχρι σήμερα και φαίνεται να έχει επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ αυτών που εγκαταλείπουν το νησί για τα αστικά κέντρα και αυτών που είχαν στο παρελθόν εγκαταλείψει το νησί για διάφορους λόγους και αρχίζουν να επιστρέφουν για να εγκατασταθούν, μόνιμα πια, για να ασχοληθούν πιθανότατα με τον τουρισμό, που είναι ιδιαίτερα ανθηρός. Ο ρυθμός μείωσης του πληθυσμού παρατηρούμε ότι φθίνει τις τελευταίες δεκαετίες(Εικόνα 5.4), με κύριο υπεύθυνο γι’ αυτό την ανάπτυξη του τουρισμού που αποτελεί τη σημαντικότερη, ίσως, πηγή εσόδων για τους κατοίκους, αλλά και τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης με την συνεχή ροή νερού και ηλεκτρισμού που έχει αποκατασταθεί τα τελευταία χρόνια, με τις υδροφόρες και τα υποβρύχια καλώδια της ΔΕΗ, αντίστοιχα.

Ανέλιξη πληθυσμού αρχιπελάγους Κυκλάδων

ΕΤΗ:		1940	1951	1961	1971	1981	1991	Μεταβολή 1991 προς 1951%	Ακτογραμμή (χλμ.)
1)	Άνδρος	17.926	14.705	12.928	10.457	9.020	8.781	-40	177
2)	Αμοργός	3.069	2.505	2.096	1.822	1.718	1.630	-35	112
3)	Δονούσα	213	272	210	149	116	111	-59	37 (Υ.Υ.)
4)	Ηράκλεια	227	189	155	129	95	115	-39	29 (Υ.Υ.)
5)	Θηρασία	600	501	399	291	245	233	-53	17 (Υ.Υ.)
6)	Ίος	2.041	1.753	1.343	1.270	1.451	1.654	-6	81
7)	Σχοινούσσα	239	226	196	197	140	122	-46	25 (Υ.Υ.)
8)	Κουφονήσιον	243	282	277	238	232	275	-2	14 (Υ.Υ.)
9)	Κάτω Κουφονήσιον	32	16	15	6	5	-		16 (Υ.Υ.)
10)	Κέρος	10	2	8	7	-	-		27 (Υ.Υ.)
11)	Ανάφη	785	532	471	353	292	261	-51	32
12)	Γραμβούσσα (Κ. Αρκ. Αμ.)	-	-	-	-	-	-		
13)	Θήρα	9.704	9.332	7.751	6.196	7.083	9.360	-	69
14)	Κέα	3.749	3.108	2.361	1.666	1.648	1.787	-43	81
15)	Μακρόνησος	36	4.484	12	12	4	-	-100	37 (Υ.Υ.)
16)	Κύθνος	2.688	2.536	2.064	1.586	1.502	1.632	-36	98
17)	Σέριφος	2.749	1.851	1.878	1.083	1.133	1.095	-41	81
18)	Σίφνος	3.325	2.773	2.258	2.043	2.087	1.960	-29	70
19)	Κίμωλος	1.900	1.536	1.412	1.086	786	728	-53	38
20)	Άγιος Γεώργιος Κιμώλου	-	-	-	-	-	-		
21)	Άγιος Ευστάθιος Κιμώλου	1	1	-	-	-	-		
22)	Πολύαιγος	10	14	6	4	1	-		27 (Υ.Υ.)
23)	Ακράθιον Μήλου	3	2	4	4	2	-		
24)	Σίκινος	688	590	453	331	290	267	-55	41
25)	Φολέγανδρος	1.095	862	778	646	567	558	-35	40
26)	Μήλος	6.045	5.586	4.910	4.499	4.554	4.390	-21	126
27)	Νάξος	20.132	18.593	16.703	14.201	14.037	14.838	-20	148
28)	Πάρος	8.993	9.022	7.830	6.776	7.881	9.591	+6	118
29)	Αντίπαρος	606	680	631	538	635	819	+20	57
30)	Σύρος	25.918	23.130	19.570	18.642	19.668	19.870	-14	87
31)	Γυάρος	31	7.139	244	2	-	-	-100	33 (Υ.Υ.)
32)	Διδύμη Σύρου	3	-	3	4	1	-		
33)	Δήλος	38	27	38	16	16	9		14 (Υ.Υ.)
34)	Τραγονήσιον Κοιν/τος Άνω Μεράς Μυκόνου	6	-	-	-	-	-		
35)	Χταπόδιον Κοιν/τος Άνω Μεράς Μυκόνου	-	-	-	-	-	-		
36)	Καλόγερος Δήμ. Άνδρου	6	-	-	-	-	-		
37)	Τουρλίτης Δήμ. Άνδρου	3	-	-	-	-	-		
38)	Ρήνεια	58	128	47	24	11	-	-100	43 (Υ.Υ.)
39)	Μύκονος	4.458	3.391	3.633	3.823	5.503	6.170	+82	81
40)	Τήνος	11.380	10.187	9.273	8.232	7.730	7.747	-24	106
41)	Δύσβατον	3	2	2	4	1	-		
42)	Πάνορμος ή Πλανήτης	2	2	-	-	-	-		
43)	Κάτω Αντικέρι		-	-	-	4	2		6 (Υ.Υ.)
		129.015	125.959	99.959	86.337	88.458	94.005		-25 ή -18(α)
Αριθμός νησιών που κατοικούνται		39	35	34	34	33	26		
Πληθυσμός Σύρου ως ποσοστό επί του συνόλου		20,1%	18,4%(β)	19,6%	21,6%	22,2%	21,1%		

(α) η μείωση είναι 23% (1981) και 18% (1991) εφόσον αφαιρεθεί ο πληθυσμός των στρατοπέδων (1951) Μακρονήσου και Γυάρου.
(β) ή 20,2% εφόσον δε ληφθεί υπόψη ο πληθυσμός των στρατοπέδων Μακρονήσου και Γυάρου.

Εικόνα 5.4 Μεταβολή του πληθυσμού των νησιών των Κυκλάδων ανά δεκαετία (πηγή «Φολέγανδρος – Σίκινος», εκδόσεις Μ. Τουμπής Α.Ε. Αθήνα (2001))



Μεταβολή του πληθυσμού της Σικίνου ανά δεκαετία

Σχήμα 5.1 Μεταβολή του πληθυσμού της Σικίνου ανα δεκαετία (πηγή «Φολέγανδρος – Σίκινος», εκδόσεις Μ. Τουμπής Α.Ε. Αθήνα (2001)

Παρά τη μικρή έκτασή της και τους λιγοστούς κατοίκους της, η Σίκινος συγκεντρώνει πλήθος τουριστών το καλοκαίρι, αλλά και τον υπόλοιπο χρόνο, με αποτέλεσμα ο πληθυσμός της να πολλαπλασιάζεται, παρασύροντας μαζί του τη ζήτηση σε νερό και ενέργεια. Ενδεικτικά παρατίθενται στοιχεία των αφίξεων και αναχωρήσεων στο λιμάνι του νησιού, που αποτελεί και τον μοναδικό τρόπο πρόσβασης, κατά τα έτη 1998 και 2007.

ΑΦΙΞΕΙΣ – ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΙ ΠΡΟΣ ΤΗ ΣΙΚΙΝΟ				
	1998 (*)		2007 (**)	
	ΑΦΙΞΕΙΣ	ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΙΣ	ΑΦΙΞΕΙΣ	ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΙΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	141	78	274	237
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	64	44	269	302
ΜΑΡΤΙΟΣ	110	77	375	323
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	100	69	394	330
ΜΑΙΟΣ	135	104	468	397
ΟΥΝΙΟΣ	264	222	1114	720
ΙΟΥΛΙΟΣ	362	326	1939	1361
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	815	999	2704	1752
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	410	566	409	1037
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	518	337	273	317
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	85	103	220	291
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	75	48	165	240

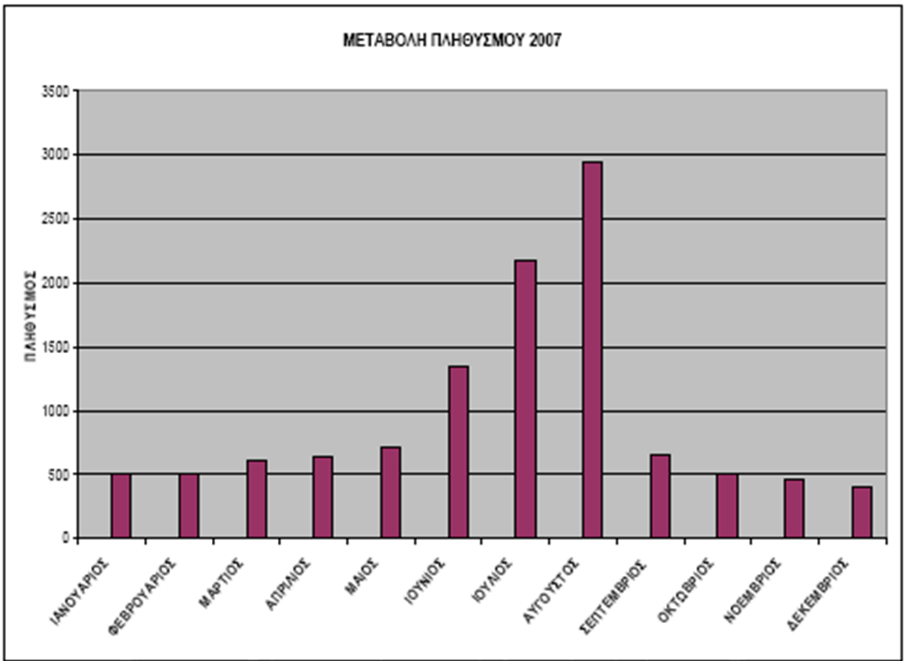
(*) Εθνική Στατιστική Υπηρεσία
(**) Λιμεναρχείο Ίου

Πίνακας 5.1 Αφίξεις και αναχωρήσεις από και πρός τη Σίκινο (πηγή «Φολέγανδρος – Σίκινος», εκδόσεις Μ. Τουμπής Α.Ε. Αθήνα (2001))

Παρατηρούμε ότι σε διάστημα μιας δεκαετίας περίπου, η τουριστική κίνηση στο νησί σχεδόν πενταπλασιάστηκε. Βάσει του παραπάνω πίνακα με τα στοιχεία του

2007 μπορούμε να καταστρώσουμε ένα νέο πίνακα με το μέγιστο πληθυσμό κάθε μήνα (δηλαδή προσθέτοντας μόνο τις αφίξεις) που είναι και το δυσμενέστερο σενάριο για την κατανάλωση νερού και ενέργειας, θεωρώντας αμετάβλητο το μόνιμο πληθυσμό.

ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΣΙΚΙΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007			
	ΜΟΝΙΜΟΙ ΚΑΤΟΙΚΟΙ	+ ΑΦΙΞΕΙΣ	= ΣΥΝΟΛΟ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	238	274	512
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	238	269	507
ΜΑΡΤΙΟΣ	238	375	613
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	238	394	632
ΜΑΙΟΣ	238	468	706
ΙΟΥΝΙΟΣ	238	1114	1352
ΙΟΥΛΙΟΣ	238	1939	2177
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	238	2704	2942
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	238	409	647
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	238	273	511
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	238	220	458
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	238	165	403



Πίνακας και διάγραμμα μέγιστου πληθυσμού ανά μήνα στη Σίκινο

Σχήμα 5.2 Μέγιστος πληθυσμός και μεταβολή του πληθυσμού της Σικίνου (πηγή: «Φολέγανδρος – Σίκινος», εκδόσεις Μ. Τουμπής Α.Ε. Αθήνα (2008))

Παρατηρούμε ότι παρόλο που οι μόνιμοι κάτοικοι είναι μετά βίας 250, κάθε μήνα στο νησί υπάρχουν τουλάχιστον 500 άνθρωποι, ενώ τον Αύγουστο αγγίζουν τους 3000, δηλαδή 12πλάσια αύξηση, αλλά και το μήνα Ιούλιο ξεπερνούν τους 2000. Οι άλλες περίοδοι αιχμής, δηλαδή Χριστούγεννα- Πρωτοχρονιά και Πάσχα (μήνες

Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Απρίλιος και Μάϊος), δεν συγκεντρώνουν πάνω από 700 ανθρώπους και εμπίπτουν στο χαμηλό μέσο όρο όλης της χρονιάς.

Εκτιμήσεις για την αύξηση ή τη μείωση του τουρισμού τα επόμενα χρόνια είναι δύσκολο να γίνουν με ασφάλεια, παρόλα αυτά, δεδομένων των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του νησιού (απομόνωση, ησυχία, γραφικότητα) και του ότι το επίπεδο ζωής των μονίμων κατοίκων και των τουριστών διαρκώς βελτιώνεται (έχουν γίνει έργα υποδομής και θα γίνουν κι άλλα στο άμεσο μέλλον με ιδιωτικά, κρατικά και ευρωπαϊκά κονδύλια), είναι βέβαιο πως οι επισκέπτες στο νησί έρχονται αναζητώντας κάτι το ιδιαίτερο, συνεπώς οι αριθμοί του παραπάνω πίνακα δεν αναμένεται να μεταβληθούν προς τα κάτω.

5.5 Η υδροδότηση στη Σίκινο σήμερα και στο πρόσφατο Παρελθόν

α) Το πρόβλημα του νερού στα ελληνικά νησιά

Όπως είδαμε, στην παράγραφο της Υδρογεωλογίας, τα νησιά των Κυκλάδων βρίσκονται σε εξαιρετικά δυσμενή θέση, όσον αφορά το πόσιμο νερό. Αυτό οφείλεται τόσο στις αραιές βροχοπτώσεις όσο και στη γεωλογία της περιοχής, που δεν σχηματίζει υδροφόρους ορίζοντες. Το ότι αποτελούν δημοφιλέστατους τουριστικούς προορισμούς για εγχώριους και αλλοδαπούς τουρίστες δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο τη θέση τους, αφού η ζήτηση τους καλοκαιρινούς μήνες εκτοξεύεται στα ύψη. Η έλλειψη επαρκούς ποσότητας νερού, εκτός από τα προφανή προβλήματα επιβίωσης, ζημιώνει ανεπανόρθωτα τον τουρισμό, που είναι το κυριότερο έσοδο των κατοίκων των νησιών, αλλά και ένα σημαντικό προϊόν για όλη τη χώρα.

Η κατανάλωση του νερού στα ελληνικά νησιά έχει αλλάξει δραματικά ως αποτέλεσμα των αλλαγών που συντελέστηκαν στις καθημερινές συνήθειες των ανθρώπων, αλλά και λόγω του ραγδαία αυξανόμενου τουρισμού. Σύμφωνα με μελέτη του ΕΜΠ είκοσι νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων αναμένεται να αντιμετωπίσουν αύξηση των ελλειμμάτων νερού από 25 – 40% στα επόμενα χρόνια. Στα άνυδρα νησιά συγκαταλέγονται τα νησιά των Κυκλάδων Τήνος, Κίμωλος, Μήλος, Αμοργός, Φολέγανδρος, Σίκινος, Σχοινούσσα, Δονούσα, Κουφονήσι, Ηρακλειά, Θηρασία και τα νησιά των Δωδεκανήσων Λειψοί, Μεγίστη, Αγαθονήσι, Νίσυρος, Πάτμος, Σύμη, Χάλκη, Κάλυμνος και Ψέριμος.

Την τελευταία οκταετία μεταφέρθηκαν με πλοία – υδροφόρες $6*10^6$ m^3 νερού από τη Ρόδο, το Λαύριο και την Ελευσίνα. Παρ' όλα αυτά αναμένεται μέσα στην επόμενη δεκαετία το υδατικό έλλειμμα στις Κυκλάδες να φτάσει τα $1,3*10^6$ m^3 και στα Δωδεκάνησα το $1,6*10^6$ m3 αν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις στην κατανάλωση νερού. Το 2004 δαπανήθηκαν $13*10^6$ € από το Υπουργείο Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής για τη μεταφορά νερού στα νησιά των Κυκλάδων και $20*10^6$ € για τη μεταφορά νερού στα νησιά των Δωδεκανήσων που αντιμετωπίζουν πρόβλημα.

Τη ζήτηση σε νερό των άνυδρων νησιών έρχονται να καλύψουν οι εξής λύσεις:

- Γεωτρήσεις
- Αφαλάτωση
- Υδροφόρα πλοία
- Όμβρια ύδατα

Οι γεωτρήσεις γίνονται είτε από ιδιώτες είτε απ' τον δήμο (ανάλογα με το μέγεθος και την τοποθεσία - ιδιοκτησία της γεώτρησης) και είναι μια οικονομική λύση, αλλά δυστυχώς η υπεράντληση μετά από μερικά χρόνια «τραβάει» θάλασσα και η γεώτρηση αχρηστεύεται.

Η αφαλάτωση είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος που μεν αποτελεί ανεξάντλητη πηγή ποσίμου νερού, είναι όμως δαπανηρή και ενεργοβόρα με υψηλά λειτουργικά κόστη, ανάλογα με τη μέθοδο. Στα ελληνικά νησιά θεωρείται πάντως η επικρατέστερη στο μέλλον για να λυθεί μόνιμα το πρόβλημα της ύδρευσης, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) και το Υπουργείο Αιγαίου το έχει αναγνωρίσει αυτό και προχωρά σε σχετικές μελέτες. Ας μην ξεχνάμε ότι άνυδρες περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως η αραβική χερσόνησος, η βόρεια Αφρική, το Ισραήλ και η Μάλτα, χρησιμοποιούν αφαλάτωση ως βασική πηγή ποσίμου νερού.

Τα υδροφόρα πλοία που μεταφέρουν νερό απ' την ηπειρωτική Ελλάδα είναι προς το παρόν η μοναδική επιλογή για πολλά νησιά που δεν έχουν άλλους τρόπους ύδρευσης, αλλά ακόμα και για τα νησιά που έχουν, είναι απαραίτητες το καλοκαίρι λόγω των αυξημένων αναγκών από τον τουρισμό. Είναι ίσως η «λύση απελπισίας» ελλείψει άλλων μεθόδων, λόγω του κόστους αγοράς και μεταφοράς (ενδεικτική τιμή είναι 8 - 10 €/ m^3), αλλά και διότι καθιστά το νησί εξαρτημένο απ' τη διαθεσιμότητα νερού της ηπειρωτικής χώρας. Πέρυσι ιδιαίτερα (καλοκαίρι 2010) φάνηκε ότι δεν περίσσευε αρκετό νερό για να καλύψει και τις καλοκαιρινές ανάγκες πολλών νησιών, με συνέπεια να γίνονται συνεχείς διακοπές και να υπάρχει πληθώρα προβλημάτων. Οι δυσμενείς προβλέψεις των περιβαλλοντολόγων για παγκόσμια προβλήματα ξηρασίας και ανομβρίας, που δυστυχώς έχουν ήδη κάνει την εμφάνισή τους και στη χώρα μας, θα επιδεινώσουν την κατάσταση, όταν το νερό δεν θα είναι αρκετό για την ηπειρωτική Ελλάδα.

Τέλος η συγκέντρωση των όμβριων υδάτων μπορεί μεν να είναι η πιο οικονομική λύση απ' όλες, αφού ο κάθε κάτοικος αρκεί να διαθέτει ειδικά διαμορφωμένη στέγη και μια δεξαμενή, αλλά δεν μπορεί να σταθεί ως αποκλειστική λύση, λόγω της στοχαστικότητας των βροχοπτώσεων, ενώ και πάλι καλύπτει μεν μέρος των αναγκών των κατοίκων το χειμώνα (που βρέχει), το καλοκαίρι δε (που δεν βρέχει) δεν επαρκεί για τις ανάγκες του τουρισμού.

β) Το πρόβλημα του νερού στη Σίκινο και η υφιστάμενη κατάσταση ύδρευσης

Μέχρι το έτος 2000 περίπου η Σίκινος υδρευόταν κυρίως από μια πηγή, η οποία όμως τράβηξε θάλασσα απ' την υπεράντληση και οι κάτοικοι εξαρτώνταν σχεδόν αποκλειστικά απ' τις υδροφόρες. Τα πηγάδια που υπάρχουν στο νησί εξυπηρετούν κυρίως μερικούς ιδιώτες και όχι το σύνολο του νησιού. Υπήρχαν σχέδια για γεωτρήσεις, τα οποία όμως είχαν κολλήσει στη χρηματοδότηση, σύμφωνα με τον τότε Κοινοτάρχη κ. Γιώργο Μάναλη, διότι πολλές απ' αυτές ήταν σε δυσπρόσιτα σημεία του νησιού. Αργότερα ανοίχτηκε μια γεώτρηση και μέχρι σήμερα αποτελεί την κύρια πηγή ποσίμου νερού, η οποία καλύπτει σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες του νησιού κατά το χειμώνα. Δυστυχώς η παροχή της πηγής και η ποιότητα του νερού της δεν είναι γνωστές. Οι κάτοικοι, όπως και στα περισσότερα νησιά, συλλέγουν όμβρια ύδατα μέσω ειδικά διαμορφωμένων σκεπών, τα οποία βοηθούν στο πρόβλημα του νερού. Η ποσότητα των ομβρίων υδάτων δεν μπορεί να εκτιμηθεί, όχι μόνο λόγω της στοχαστικότητας των βροχοπτώσεων, αλλά και λόγω της διαφορετικής ποσότητας που συλλέγει κάθε ιδιώτης ανάλογα με την εγκατάσταση που έχει κάνει. Πάντως οι κάτοικοι λένε ότι «με μια-δυο καλές βροχές οι δεξαμενές γεμίζουν». Σύμφωνα με το Εθνικό Πρόγραμμα Προστασίας και Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων – ΙΤΙΑ η μέση ετήσια βροχόπτωση στις νότιες Κυκλάδες το έτος 2007 ήταν περίπου 400 mm, δηλαδή αρκετά μικρή.

Σήμερα η Σίκινος υδρεύεται κατά βάση από τα υδροφόρα πλοία, τα οποία εκτελούν δρομολόγια τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Το κόστος του νερού ανέρχεται σε 10 €/ m^3 και δεν το επωμίζονται οι κάτοικοι του νησιού, αλλά το κράτος. Οι κάτοικοι χρεώνονται περίπου 3 €/ m^3 απ' την Κοινότητα για την κατανάλωση (συντήρηση και λειτουργικά κόστη δικτύου, μισθοί τεχνιτών και υπαλλήλων) με σταθερό τιμολόγιο. Ο νυν Κοινοτάρχης σκοπεύει να το μετατρέψει σε κλιμακωτό σύντομα. Το υδρευτικό δίκτυο του νησιού αποτελούν 7 δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 2200 m^3, σύστημα αντλιών και σωληνώσεων που αναλαμβάνουν τη μεταφορά του νερού από το λιμάνι, όπου παραλαμβάνεται απ' τις υδροφόρες, μέχρι και τη Χώρα, που βρίσκεται σε υψόμετρο 400 m και φυσικά δίκτυο σωλήνων για την ύδρευση των κατοίκων και των δυο οικισμών (Αλοπρόνοια και Χώρα). Το υδρευτικό δίκτυο αποτελείται από πλαστικούς και σιδερένιους γαλβανιζέ σωλήνες, είναι γενικά σε καλή κατάσταση και εκτελούνται συχνά έργα συντήρησης, όπου χρειάζεται, με τμηματική αντικατάσταση σωλήνων και καθαρισμό των δεξαμενών το χειμώνα για να είναι έτοιμες το καλοκαίρι. Το νερό απ' τις υδροφόρες είναι ήδη επεξεργασμένο απ' την ΕΥΔΑΠ και δεν υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία στη Σίκινο. Πάντως υπάρχει η σκέψη να μπουν μετρητές χλωρίωσης στο άμεσο μέλλον.

Όσον αφορά την άρδευση, η Σίκινος έχει μόνο ξερικές καλλιέργειες (κυρίως ελιές), δηλαδή δεν χρειάζονται πότισμα, μόνο την υγρασία του εδάφους. Αυτό είναι φυσικά ευτύχημα, διότι πιθανόν τα πράγματα να ήταν τελείως διαφορετικά με τη ζήτηση νερού και βέβαια προς το χειρότερο. Οι κήποι που πιθανόν έχουν οι κάτοικοι στα σπίτια τους δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στις καλλιέργειες και δεν μπορεί να εκτιμηθεί η ποσότητα νερού που χρειάζονται. Πάντως το πιθανότερο είναι να καλύπτεται από πηγάδια και γεωτρήσεις και όχι από πόσιμο νερό δικτύου.

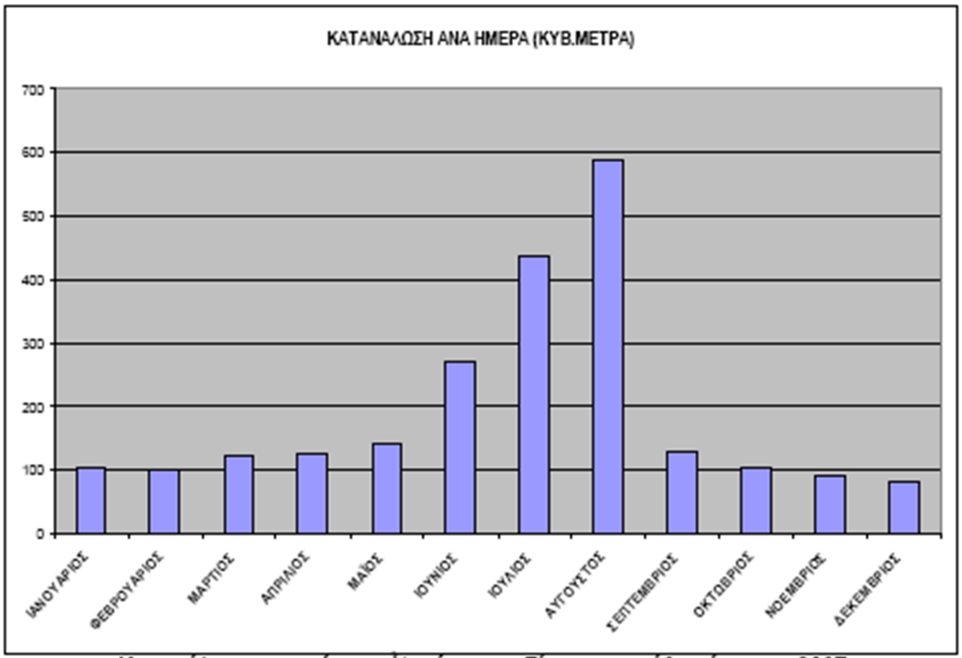
Σύμφωνα με τον Κοινοτάρχη δεν γίνονται εσκεμμένα διακοπές στην παροχή του νερού για οικονομία, ακόμα και στις αιχμές της ζήτησης. Αυτό γίνεται για ψυχολογικούς λόγους, αφού μετά την αποκατάσταση της ροής θα γίνει υπερκατανάλωση και θα αναιρεθούν τα όποια οφέλη της διακοπής. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι ενώ πολλά νησιά φέτος (καλοκαίρι 2010) είχαν προβλήματα με τις υδροφόρες (χαρακτηριστικά λένε ότι «ζούμε με την αγωνία πότε θα' ρθει το καραβάκι»), στη Σίκινο τα δρομολόγια ήταν τακτικά και η ροή του νερού συνεχής. Στο άμεσο μέλλον το Υπουργείο Αιγαίου σκοπεύει να εγκαταστήσει στο νησί μονάδα αφαλάτωσης σε συνεργασία με ΑΠΕ (όπως και στα περισσότερα νησιά άλλωστε) και η Κοινότητα της Σικίνου βρίσκεται σε αναμονή των σχετικών προτάσεων.

γ) Η κατανάλωση νερού στη Σίκινο

Η ζήτηση του νερού κατά το καλοκαίρι εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 1500 –1800 m^3 ανά δέκα μέρες, δηλαδή 150 – 180 m^3/ημέρα. Μπορούμε να προσεγγίσουμε διαφορετικά την απαιτούμενη ποσότητα νερού, υπολογίζοντας τις ημερήσιες ανάγκες ενός ατόμου. Σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση της UNESCO ο μέσος καταναλωτής των ανεπτυγμένων χωρών χρησιμοποιεί άμεσα ή έμμεσα 500 – 800 λίτρα ανά ημέρα (300 m^3 ετησίως) και στις μεγάλες πόλεις η κατανάλωση υπολογίζεται σε 300 – 600 λίτρα ανά άτομο ανά ημέρα, ενώ στις μικρές πόλεις σε 100 – 150 λίτρα. Θα δεχτούμε ότι ένα άτομο στη Σίκινο καταναλώνει 200 λίτρα νερού την ημέρα και βάσει αυτού και του πίνακα του πληθυσμού θα υπολογίσουμε την συνολική απαιτούμενη ποσότητα νερού ανά ημέρα για κάθε μήνα.

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΣΙΚΙΝΟ ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007		
	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ Χ 200 ΛΙΤΡΑ/(ΑΤΟΜΟ·ΗΜΕΡΑ) Χ 0,001 m^3/ΛΙΤΡΟ = m^3/ΗΜΕΡΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	512	102,4
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	507	101,4
ΜΑΡΤΙΟΣ	613	122,6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	632	126,4
ΜΑΙΟΣ	706	141,2
ΙΟΥΝΙΟΣ	1352	270,4
ΙΟΥΛΙΟΣ	2177	435,4
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2942	588,4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	647	129,4
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	511	102,2
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	458	91,6
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	403	80,6

Πίνακας 5.2 Κατανάλωση νερού στη Σίκινο



Κατανάλωση νερού σε m^3/ημέρα στη Σίκινο για κάθε μήνα του 2007

Σχήμα 5.3 Κατανάλωση νερού ανα μήνα στη Σίκινο

Παρατηρούμε ότι με την υπόθεση της ημερήσιας κατανάλωσης 200 λίτρων νερού κατ’ άτομο, προσεγγίζεται ικανοποιητικά η εκτίμηση της Κοινότητας για 150 – 180 m^3/ημέρα για όλους τους μήνες πλην των καλοκαιρινών, με αποκορύφωμα τον Αύγουστο που χρειάζονται σχεδόν 600 m^3/ημέρα.

Για να υπολογίσουμε την απαιτούμενη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, θα χρησιμοποιήσουμε ένα απλοποιημένο, αλλά ρεαλιστικό μοντέλο. Υποθέτουμε ότι η ημερήσια παραγωγή πόσιμου νερού από την αφαλάτωση είναι σταθερή για κάθε ημέρα του μήνα, όπως και ότι η ημερήσια κατανάλωση νερού είναι επίσης σταθερή για κάθε ημέρα του μήνα και συμπίπτει με τις μέσες τιμές που βρήκαμε προηγουμένως. Ξεκινώντας την παραγωγή νερού την 1η Σεπτεμβρίου του έτους, αφαιρούμε την κατανάλωση, ενώ το προκύπτον απόθεμα προστίθεται στην παραγωγή της επόμενης ημέρας. Οι προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιούνται είναι οι εξής:

1. Να καλύπτεται η μηνιαία κατανάλωση όλου του χρόνου (πλήρης ανεξαρτησία)

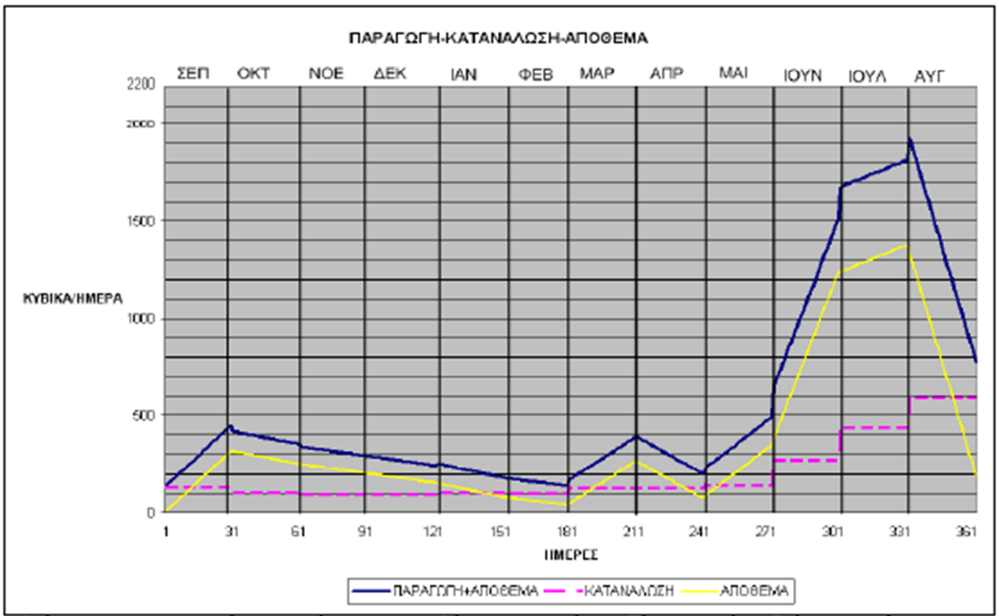
2. Το τυχόν απόθεμα να μην υπερβαίνει τη συνολική χωρητικότητα των δεξαμενών, δηλαδή 2200 m^3

3. Να ελαχιστοποιείται η απαιτούμενη ενέργεια

Μετά από διαδοχικές δοκιμές καταλήγουμε στις εξής τιμές ημερήσιας παραγωγής ανά μήνα:

ΜΗΝΕΣ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ (m^3/day)	140	100	90	90	100	100	130	120	150	300	440	550
ΖΗΤΗΣΗ (m^3/day)	129,4	102,2	91,6	80,6	102,4	101,4	122,6	126,4	141,2	270,4	435,4	588,4

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα παραγωγής-κατανάλωσης-αποθέματος νερού στη Σίκινο κατά τη διάρκεια ενός έτους με βάση στοιχεία για το 2007

Σχήμα 5.4 Ετήσιο πρόγραμμα παραγωγής και κατανάλωσης νερού

Από το διάγραμμα αυτό μπορούν να εξαχθούν μερικά χρήσιμα συμπεράσματα:

- Ικανοποιούνται και οι τρείς προϋποθέσεις που θέσαμε, δηλαδή πλήρης κάλυψη της ζήτησης, απόθεμα μικρότερο της χωρητικότητας των δεξαμενών και «στενή παρακολούθηση» της κατανάλωσης για μειωμένη ενέργεια λειτουργίας
- Η ελάχιστη δυνατή παραγωγή είναι 90 m^3/ημέρα και η μέγιστη 550 m^3/ημέρα, δηλαδή η μονάδα αφαλάτωσης καλείται να δουλέψει σε μεγάλο εύρος τιμών
- Η ετήσια παραγωγή νερού από τη μονάδα αφαλάτωσης είναι 70.660 m^3
- Τους καλοκαιρινούς μήνες το απόθεμα φαίνεται να μεγαλώνει δυσανάλογα με τη ζήτηση, όμως στο τέλος του Αυγούστου έχουμε πάλι σύγκλιση και μάλιστα στα επίπεδα τιμών του Σεπτέμβρη που ξεκινήσαμε την παραγωγή (ο κύκλος κλείνει ομαλά – μοντέλο μόνιμης λειτουργίας)
- Κάποιους μήνες η παραγωγή είναι μεγαλύτερη της ζήτησης (γεμίζουν οι δεξαμενές) και κάποιους άλλους μήνες μικρότερη (καλύπτει το απόθεμα)

- Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο δεν είναι δυνατόν να έχουμε χαμηλή παραγωγή και η ζήτηση να καλύπτεται κυρίως από το απόθεμα, γιατί η ημερήσια κατανάλωση τους μήνες αυτούς είναι το 20 – 25% της χωρητικότητας της δεξαμενής, δηλαδή το απόθεμα αδειάζει πολύ γρήγορα χωρίς ανάλογη κάλυψη από την αφαλάτωση

Άρα μπορούμε να πούμε ότι εφόσον η μέγιστη παραγωγή της μονάδας αφαλάτωσης είναι 550 m^3/ημέρα, είναι καλό να εγκατασταθεί μονάδα με δυναμικότητα περίπου 600 m^3/ημέρα (+10%), για να καλύψει αιχμές ζήτησης, βλάβες/συντήρηση στο δίκτυο σωλήνων και δεξαμενών, βλάβες/συντήρηση της μονάδας αφαλάτωσης ή απρόβλεπτη αύξηση του τουρισμού ή των μόνιμων κατοίκων.

Στην πραγματικότητα ο διαχειριστής της μονάδας μπορεί να παρακολουθεί τη ζήτηση μετρώντας τη στάθμη των δεξαμενών ανά πάσα στιγμή και να προσαρμόζει ανάλογα την παραγωγή, όμως αυτό είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί και να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα, κυρίως λόγω έλλειψης στοιχείων πραγματικής ημερήσιας κατανάλωσης νερού (αντί για εκτίμηση με βάση τον πληθυσμό), αλλά και αδυναμίας πρόβλεψης της μεταβολής του αριθμού των τουριστών και των μόνιμων κατοίκων σε ένα νησί όπου ο μόνιμος πληθυσμός είναι τόσο μικρός ώστε μια αλλαγή στο υπάρχον καθεστώς (οικονομία, κοινωνία, τουρισμός, κλίμα) μπορεί να προκαλέσει μεγάλες πληθυσμιακές μεταβολές.

5.6 Η ηλεκτροδότηση στη Σίκινο σήμερα και στο πρόσφατο Παρελθόν

α) Η ηλεκτροδότηση των ελληνικών νησιών

Τρεις είναι οι μέθοδοι που εφαρμόζονται σήμερα για την ηλεκτροδότηση των ελληνικών νησιών:

- Ηλεκτροπαράγωγα ζεύγη
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)
- Τροφοδότηση με υποβρύχια καλώδια από άλλα νησιά ή την ενδοχώρα

Υπάρχουν βέβαια και συνδυασμοί των ανωτέρω, ανάλογα με τις ανάγκες, τη θέση και τις εγκαταστάσεις κάθε νησιού.

Η παλαιότερη ιστορικά μέθοδος είναι με ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, δηλαδή μηχανές εσωτερικής καύσης (αεριοστρόβιλοι ή diesel) συνδεδεμένες με γεννήτριες. Αυτή η μέθοδος επικρατεί σήμερα στα περισσότερα νησιά και είναι αξιόπιστη, αλλά έχει υψηλά λειτουργικά κόστη (κυρίως λόγω του καυσίμου) και είναι αρκετά ρυπογόνος, διότι οι ΜΕΚ που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι δίχρονες diesel.

Η ηλεκτροδότηση των Κυκλάδων με υποβρύχιο καλώδιο φαίνεται να προωθείται για να λυθούν τα χρόνια προβλήματα των νησιών σε ό,τι αφορά στην ανάπτυξή τους, δεδομένου ότι με βάση τα σενάρια, μέχρι το 2035 προκύπτει υπερδιπλασιασμός της ζήτησης έναντι του 2004. Σχετικά με τη δυνατότητα ηλεκτροδότησης με υποβρύχιο καλώδιο, τα σενάρια που υπάρχουν αναφέρουν ότι το 2010 είναι δυνατόν να είναι πραγματικότητα η διασύνδεση των νησιών Άνδρου, Τήνου, Σύρου, Μυκόνου, Πάρου και Νάξου, ενώ εξετάζεται η δυνατότητα διασύνδεσης της Κέας, Κύθνου και Σερίφου και η διασύνδεση της Μήλου εξετάζεται ως προοπτική προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το συγκεκριμένο νησί, με την αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου για ηλεκτροπαραγωγή.

Το σχέδιο της διασύνδεσης των νησιών με υποβρύχιο καλώδιο αποτελεί ιδέα που επιδιώχθηκε να υλοποιηθεί και την προηγούμενη δεκαετία ανεπιτυχώς. Η προσπάθεια προσέκρουσε στο Συμβούλιο της Επικρατείας, ωστόσο από τον Οκτώβριο του 2004 συστάθηκε επιτροπή με τη συμμετοχή ειδικών από τη ΔΕΗ, τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας και το ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) για να μελετήσει τη σύνδεση των Κυκλάδων με το ηπειρωτικό σύστημα. Υπενθυμίζεται ότι σήμερα στα νησιά Πάρος, Τήνος, Σύρος και Μύκονος η ετήσια αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει έως 15%, ενώ αντίστοιχα υψηλή είναι και η αύξηση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής το καλοκαίρι. Επιπλέον, με βάση τα σενάρια μέχρι το 2035, προκύπτει υπερδιπλασιασμός της ζήτησης έναντι του 2004. Συγκεκριμένα η μελέτη υπολογίζει ότι οι σημερινοί ρυθμοί για τα νησιά Άνδρος, Τήνος, Σύρος, Μύκονος, Πάρος και Νάξος καταλήγουν σε 1054 γιγαβατώρες το 2035, έναντι 415 γιγαβατωρών το 2004.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι αν δεν γίνει η διασύνδεση με υποβρύχιο καλώδιο, θα πρέπει να διπλασιαστεί η ισχύς των αυτόνομων πετρελαϊκών μονάδων που βρίσκονται στα νησιά, με τεράστια επιβάρυνση του περιβάλλοντος, κόστος για την εθνική οικονομία και αβεβαιότητα ως προς την κάλυψη των αιχμών, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Με τη διασύνδεση υπολογίζεται εξοικονόμηση περίπου 30 εκατομμυρίων ευρώ το χρόνο, χωρίς να υπολογίζονται τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη διακοπή λειτουργίας των αυτόνομων σταθμών των νησιών. Σε ό,τι αφορά στο τεχνικό σκέλος των σεναρίων, από τα συμπεράσματα της μελέτης φαίνεται να προκρίνεται η λύση της πόντισης καλωδίου εναλλασσόμενου ρεύματος από το Λαύριο με πρώτη στάση τη Σύρο, με καλώδιο περίπου 100 MW (απόσταση περίπου 90 χιλιόμετρα). Από εκεί θα συνδεθούν τα υπόλοιπα νησιά, ενώ επιδιώκεται να αξιοποιηθεί και το αιολικό δυναμικό των νησιών που σήμερα παραμένει ανεκμετάλλευτο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος πόντισης υποβρυχίου καλωδίου είναι τεράστιο, της τάξης των εκατοντάδων εκατομμυρίων ευρώ.

β) Η ηλεκτροδότηση στη Σίκινο σήμερα και στο πρόσφατο παρελθόν

Η Σίκινος μέχρι πριν 15 περίπου χρόνια χρησιμοποιούσε γεννήτριες κινούμενες από ντηζελομηχανές για να παράγει το ρεύμα που χρειαζόταν. Από τότε και μέχρι σήμερα έχει ποντιστεί υποβρύχιο καλώδιο που τη συνδέει με την Ίο και τη Φολέγανδρο και η τριάδα αυτή των νησιών παίρνει ρεύμα από τον ΑΣΠ (Αυτόνομος Σταθμός Παραγωγής) της ΔΕΗ Πάρου. Ο ΑΣΠ Πάρου χρησιμοποιεί μηχανές με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον επόμενο πίνακα, καθώς και την αναλυτική λειτουργία τους κατά τον Δεκέμβριο του 2007.

ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε
ΔΠΝ / ΑΣΠ ΠΑΡΟΥ

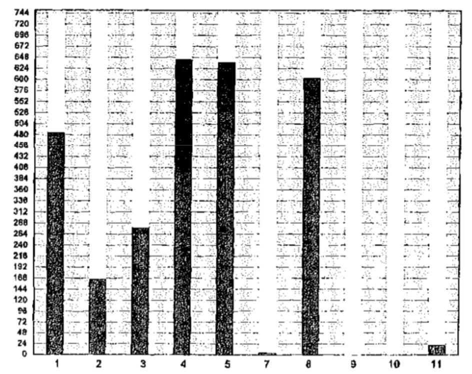
ΠΙΝΑΚΑΣ No. 2 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΒΛΑΒΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΣΠ ΠΑΡΟΥ

ΜΗΝΑΣ: ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2007 ΩΡΕΣ ΜΗΝΑ **744:00**

No	ΜΟΝΑΔΕΣ	Α.Μ.	ΕΤΟΣ ΑΡΧΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (KW)	ΩΡΕΣ ΑΠΟ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΑΠΟ ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΩΡΕΣ ΔΙΑΘ/ΤΗΤΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΘ/ΤΗΤΑΣ	ΩΡΕΣ ΑΚΙΝΗΣΙΑΣ (ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ)	ΩΡΕΣ ΑΚΙΝΗΣΙΑΣ (ΒΛΑΒΗ)
1	FINCANTIERI 18ZAV40S	**2118**	**1997**	**10.720**	53.007	7.015	475:55	735:00	98,79%	00:00	09:00
2	GMT FIAT A420.8	**2074**	**1984**	**3.920**	85.140	2.021	166:05	744:00	100,00%	00:00	00:00
3	GMT FIAT A420.8	**2072**	**1984**	**3.920**	84.750	7.198	264:15	730:20	98,16%	00:00	13:40
4	WARTSILA NSD 12V46B	**2127**	**2000**	**10.360**	38.822	394	393:40	494:00	66,40%	240:00	10:00
5	WARTSILA NSD 12V46B	**2126**	**2000**	**10.360**	44.784	4.488	529:10	636:00	85,48%	53:00	55:00
7	B & MAN 7K60	**2142**	**2006**	**11.200**	11.528	11.528	04:30	744:00	100,00%	00:00	00:00
8	CEGIELSKI 6RTAF58	**2090**	**1989**	**6.300**	90.757	4.029	546:35	687:35	92,42%	00:00	56:25
9	ΑΕΡΙΟΣ/ΛΟΣ GEN.ELEC.	**8002**	**1964**	**11.800**	43.982	43.982	00:00	744:00	100,00%	00:00	00:00
10	CEGIELSKI 16ATV25H	**2117**	**1991**	**2.900**	11.819	11.819	00:00	744:00	100,00%	00:00	00:00
11	CEGIELSKI 16ATV25H	**2135**	**2002**	**3.100**	2.753	2.753	21:15	744:00	100,00%	00:00	00:00

ΓΡΑΦΗΜΑ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΣΠ ΠΑΡΟΥ

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΒΛΑΒΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ



ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

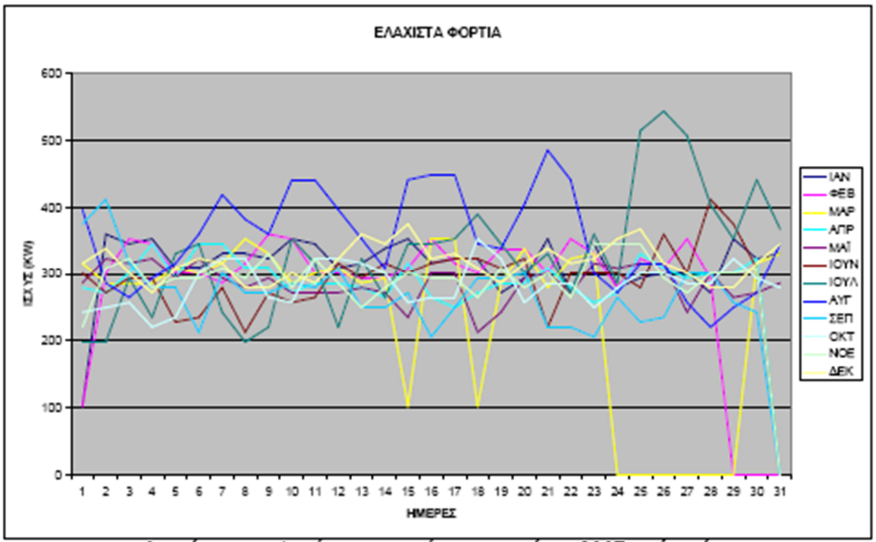
No	ΜΑΖΟΥΤ (KGR)	ΝΤΗΖΕΛ (KGR)	% ΝΤΗΖΕΛ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΕΙΔ.ΚΑΤ. (GR/KWH)	ΣΥΝΤΕΛ. ΦΟΡΤΙΣΗΣ
1	479.989	17.500	3,52%	2.359.100	210,88	0,46
2	76.997	0	0,00%	336.231	229,00	0,52
3	155.282	0	0,00%	675.139	230,00	0,65
4	667.000	0	0,00%	3.335.000	200,00	0,82
5	936.693	0	0,00%	4.707.000	199,00	0,86
7	6.498	0	0,00%	33.667	193,00	0,67
8	510.265	0	0,00%	2.590.176	197,00	0,75
9		0	100,00%	0		
10		0	100,00%	0		
11	0	9.858	100,00%	32.861	300,00	0,50
12		0	100,00%	0		
ΣΥΝ	*2.832.724*	*32.517*	*1,13%*	*14.069.175*	*203,65*	*0,71*
					ΜΕΣ. ΟΡΟΣ	ΜΕΣ. ΣΥΝΤ.

***Πίνακας 5.3 Λειτουργία και βλάβες ΑΣΠ Πάρου (πηγή* «Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας με αιολική ενέργεια στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης, Αθήνα 2008)**

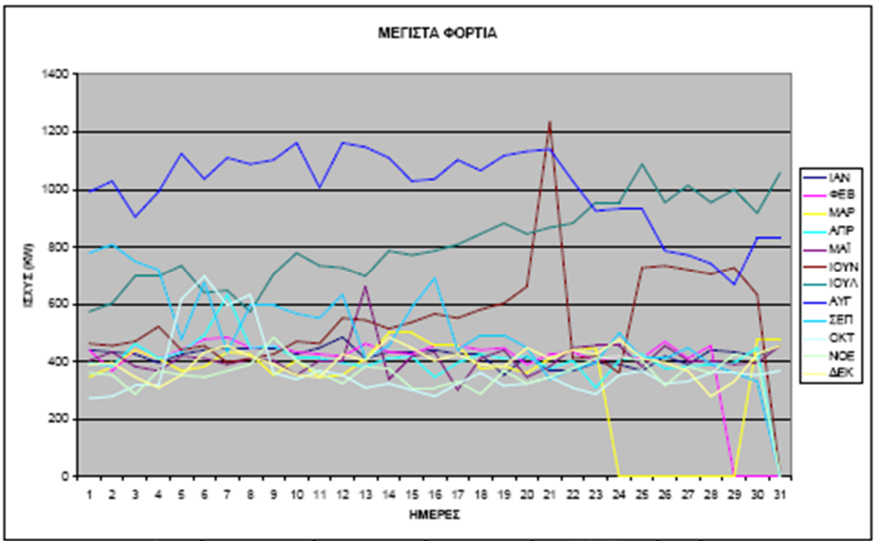
Για να βρούμε τις ισχείς πολλαπλασιάζουμε με

$\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi = 1{,}73 \cdot 15{,}7 \cdot 0{,}9 \approx 24{,}5$

σύμφωνα με τις υποδείξεις των υπευθύνων του ΑΣΠ Πάρου και παίρνουμε τις ισχείς σε KW (η τάση V = 15,7 δίνεται σε kVolts). Αυτά τα φορτία όμως αφορούν την τριάδα των νησιών Ίο, Σίκινο και Φολέγανδρο και για την ακρίβεια είναι τα φορτία της γραμμής που τροφοδοτεί ολόκληρη τη Σίκινο και τη Φολέγανδρο και τμήμα της Ίου. Τα φορτία της Σικίνου αποκλειστικά δεν κατέστη δυνατό να βρεθούν, αλλά από την εμπειρία των υπευθύνων της παραγωγής και διανομής ενέργειας των νησιών αυτών, μπορούν να υπολογιστούν ως το 30% περίπου των συνολικών φορτίων και μάλιστα αυτή εκτιμάται ότι είναι η μέγιστη τιμή. Βάσει αυτού καταστρώνουμε τους πίνακες και τα διαγράμματα για τα μέγιστα και τα ελάχιστα φορτία της Σικίνου ανά ημέρα και ανά μήνα για ένα έτος.

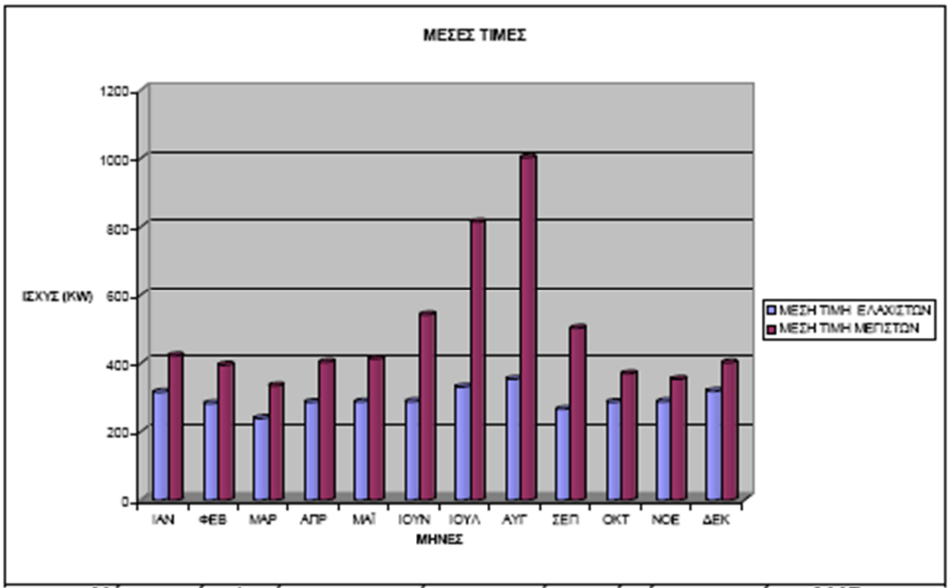


Διακύμανση ελαχίστων φορτίων για το έτος 2007 ανά ημέρα



Διακύμανση μεγίστων φορτίων για το έτος 2007 ανά ημέρα

Σχήμα 5.5 Διακυμάνσεις μέγιστων κι ελάχιστων φορτίων ανα ημέρα (πηγή: «Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας με αιολική ενέργεια στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης, Αθήνα 2008)



Μέσες τιμές ελαχίστων και μεγίστων φορτίων ανά μήνα για το έτος 2007

Σχήμα 5.6 Μέσες τιμές ελάχιστων και μέγιστων φορτίων (πηγή: «Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας με αιολική ενέργεια στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης, Αθήνα 2008)

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να κάνουμε μερικές παρατηρήσεις:

1. Το μέσο ελάχιστο φορτίο των μη τουριστικών μηνών, δηλαδή εκτός των καλοκαιρινών, κυμαίνεται στα 300 KW περίπου, ενώ το μέσο μέγιστο στα 400 KW περίπου.

2. Το μέγιστο φορτίο όλης της χρονιάς αγγίζει τα 1200 KW

3. Το μέσο φορτίο του Αυγούστου την πιο τουριστική περίοδο, δηλαδή το πρώτο εικοσαήμερο, κυμαίνεται μεταξύ 1000 – 1200 KW

Κεφάλαιο 6

Αφαλάτωση με τη μέθοδο της αντίστροφης Ώσμωσης

6.1. Επιλογή καταλληλότερης μεθόδου αφαλάτωσης για τα δεδομένα της νήσου Σικίνου

Έχοντας υπόψη το μέγεθος του νησιού και τις μικρές καταναλώσεις νερού (περίπου 100 κυβ./ημέρα για 9 μήνες το χρόνο και από 300 εως 600 κυβ./ημέρα το καλοκαίρι), η προσφορότερη μέθοδος αφαλάτωσης είναι η αντίστροφη ώσμωση για τους εξής λόγους:

- Μικρό μέγεθος μονάδας (τοποθέτηση σε container) αντί μεγάλης εγκατάστασης που θα προκαλούσε οπτική όχληση
- Μικρότερο κόστος αγοράς εξοπλισμού και εγκατάστασης και οικονομικότερη λειτουργία και συντήρηση
- Σχετικά απλή στη λειτουργία και τη συντήρηση
- Εύκολη επέκταση της μονάδας αν προκύψουν αυξημένες ανάγκες
- Χαμηλότερη κατανάλωση σε σχέση με τις μεθόδους εξάτμισης
- Δυνατότητα λειτουργίας με ανάκτηση ισχύος σε ποσοστό μέχρι και 50%
- Είναι ώριμη τεχνολογία και υπάρχει μεγάλη εμπειρία στη σχεδίαση και τοποθέτηση των μονάδων
- Καλή συνεργασία με ΑΠΕ (κυρίως με αιολικά, αφού η είσοδός της είναι ηλεκτρική ενέργεια)

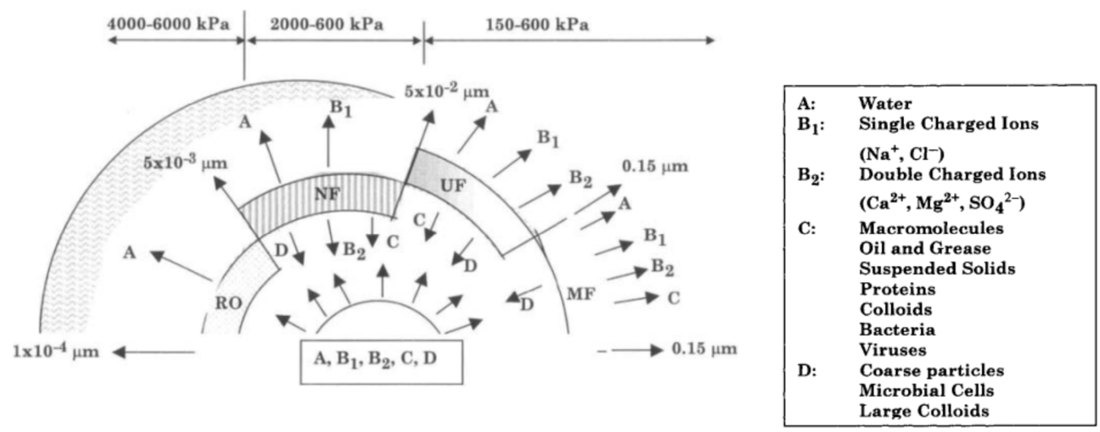
6.2. Εμβάθυνση στη λειτουργία και την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης

Στο κεφάλαιο της αφαλάτωσης έγινε μια σύντομη μακροσκοπική περιγραφή της αντίστροφης ώσμωσης στο πλαίσιο της σύγκρισης των μεθόδων αφαλάτωσης από πλευράς κόστους, κατανάλωσης ενέργειας και δυναμικότητας. Στη συνέχεια θα γίνει μια σε βάθος ανάλυση της τεχνολογίας αυτής και θα περιγραφούν ποσοτικά τα χαρακτηριστικά της.

α) Γενικά – διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες – φυσική ερμηνεία

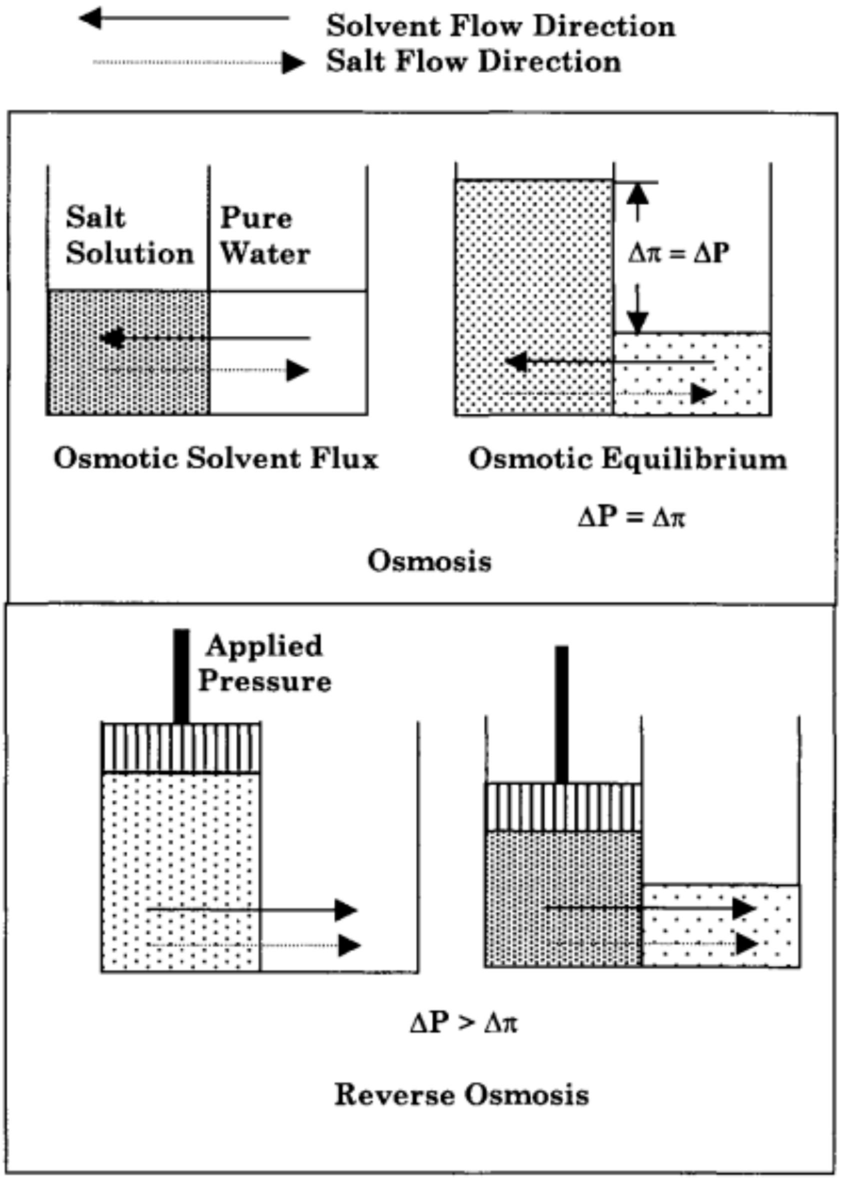
Κατ' αρχήν πρέπει να ξεκαθαριστεί ότι η αντίστροφη ώσμωση δεν είναι η μοναδική διεργασία φίλτρανσης που έχει να κάνει με μεμβράνες σε βιομηχανική κλίμακα. Το σύνολο των διεργασιών αυτών περιλαμβάνει τις: microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration και την αντίστροφη ώσμωση. Οι διαφορές τους αφορούν το μέγεθος των σωματιδίων που συγκρατούν οι μεμβράνες τους και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Η μέθοδος φίλτρανσης	συγκρατεί σωματίδια με μέγεθος	
	από	εως
Microfiltration	-	0,15 μm
Ultrafiltration	0,15 μm	5×10^{-2} μm
Nanofiltration	5×10^{-2} μm	5×10^{-3} μm
αντίστροφη όσμωση	5×10^{-3} μm	10^{-4} μm



Σχήμα 6.1 Διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες και οι απαιτούμενες υδραυλικές πιέσεις σε `σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων (πηγή dow.com)

Η διαφοροποίηση της αντίστροφης ώσμωσης από τις άλλες διεργασίες, ως συνέπεια της μεγαλύτερης ικανότητας διήθησης που έχει, είναι ότι ενώ οι υπόλοιπες φιλτράνσεις (-filtration) διαχωρίζουν το υγρό από *αιωρούμενα* μικροσωματίδια, η αντίστοφη ώσμωση διαχωρίζει το υγρό από *διαλυμένα* σε αυτό στερεά. Είναι η ανώτερη δυνατή φίλτρανση που μπορεί να επιτευχθεί με μεμβράνες. Εάν τοποθετήσουμε μια ιδανική ημιπερατή μεμβράνη σε δοχείο που περιέχει καθαρό νερό έτσι ώστε να το χωρίσει σε δυο μέρη, δεν θα υπάρξει μετακίνηση υγρού διαμέσου της μεμβράνης διότι δεν υπάρχει κάποιο αίτιο. Το αίτιο αυτό είναι, εφόσον οι υδροστατικές πιέσεις είναι ίσες, το *χημικό δυναμικό*. Το χημικό δυναμικό είναι συνάρτηση της πίεσης, της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης των διαλυμένων στερεών. Εάν διαλύσουμε αλάτι στο ένα μέρος το χημικό δυναμικό της πλευράς αυτής μειώνεται και άρα θα υπάρξει μετακίνηση καθαρού νερού από την άλλη πλευρά, διαμέσου της μεμβράνης (φαινόμενο της ώσμωσης), εως ότου εξισωθούν πάλι τα χημικά δυναμικά ή μέχρι η υδροστατική πίεση, λόγω διαφοράς στάθμης, γίνει ίση και αντίθετη με την ωσμωτική πίεση, οπότε η ροή θα σταματήσει. Προφανώς η άσκηση εξωτερικής πίεσης σε μια απ' τις δυο πλευρές θα έχει ως συνέπεια την συνέχιση του φαινομένου (αν ασκηθεί στην πλευρά του καθαρού νερού) ή την πρόωρη διακοπή του (αν ασκηθεί στην πλευρά του διαλύματος άλατος). Στην πλευρά που ασκείται η εξωτερική πίεση αυξάνεται το χημικό δυναμικό της. Αν μάλιστα η εξωτερική πίεση που θα ασκηθεί στην πλευρά του διαλύματος είναι μεγαλύτερη από την ωσμωτική (και άρα το χημικό δυναμικό γίνει μεγαλύτερο απ' αυτό του καθαρού νερού), θα αντιστραφεί το φαινόμενο και τότε ο διαλύτης (το νερό) θα διαπεράσει τη μεμβράνη προς την πλευρά του καθαρού νερού. Αυτή ακριβώς είναι η αντίστροφη ώσμωση.



Σχήμα 6.2. Τα φαινόμενα της ώσμωσης και της αντίστροφης ώσμωσης (πηγή dow.com)

β) Υπολογισμός ωσμωτικής πίεσης

Η ωσμωτική πίεση ενός διαλύματος είναι φυσική ιδιότητα του διαλύματος και δεν εξαρτάται από την εκάστοτε μεμβράνη, παρά μόνο απ' τη θερμοκρασία του και τη συγκέντρωση των διαλυμένων σ' αυτό στερεών. Ο τύπος που παρέχει την ωσμωτική πίεση ενός διαλύματος είναι:

$\pi = R \times T \times \sum X_i$ (τύπος του Van't Hoff)

Όπου

π είναι η ωσμωτική πίεση (kPa)
T είναι η θερμοκρασία (K)
R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων ίση με 8,314 kPa·m^3/kgmol·K ή 0,082 lt·bar/mol·K
$\sum X_i$ είναι η συγκέντρωση όλων των συστατικών στο διάλυμα (kgmol/m^3)

Μια συνήθης προσέγγιση της ωσμωτικής πίεσης είναι ότι συγκέντρωση
1000 ppm συνολικών διαλυμένων στερεών (Total Dissolved Solids) δίνει
75,84 kPa ωσμωτικής πίεσης, δηλαδή σχηματικά:
1000 ppm TDS = 75,84 kPa ωσμωτική πίεση

Η ωσμωτική πίεση του θαλασσινού νερού μπορεί να υπολογιστεί με καλή προσέγγιση ως εξής:

Η περιεκτικότητα του αλατιού στη θάλασσα είναι περίπου 33 gr/lt και για απλότητα θεωρούμε ότι είναι μόνο NaCl. Το ατομικό βάρος του νατρίου είναι 23 gr και του χλωρίου 35,5 gr, άρα το μοριακό βάρος του χλωριούχου νατρίου είναι 58,5 gr. Οπότε τα moles του NaCl στο θαλασσινό νερό είναι 33/58,5 =0,564 mol/lt. Όμως το NaCl διαλύεται σε ιόντα Na+ και Cl-, άρα η συγκέντρωση των ιόντων είναι διπλάσια, δηλαδή 2·0,564 = 1,128 mol/lt.
Υποθέτοντας θερμοκρασία του νερού 15^oC ο τύπος του van't Hoff δίνει:

$\pi_{θαλ}$ = 0,082·(273+15) ·1,128 = 26,64 bar, δηλαδή σχεδόν 27 bar

Η πίεση λειτουργίας μιας εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης καλείται να υπερνικήσει:

- την ωσμωτική πίεση
- τις απώλειες τριβών
- την αντίσταση των μεμβρανών
- την πίεση εκροής του προϊόντος νερού

Αν η πίεση λειτουργίας είναι ίση ή λίγο μεγαλύτερη απ' το άθροισμα των αντιστάσεων αυτών, τότε η ροή διαμέσου της μεμβράνης θα είναι ελάχιστη ή μηδενική, άρα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' την οριακή αυτή τιμή, ώστε η διεργασία να είναι οικονομικά αξιοποιήσιμη.

γ) Απόρριψη του άλατος

Η απόρριψη του άλατος (Salt Rejection) ορίζεται ως:

$$SR = 100\%\left(1 - \frac{X_p}{X_f}\right)$$

Όπου

X_f η συγκέντρωση του νερού τροφοδοσίας (feed)
X_p η συγκέντρωση του προϊόντος (permeate)

Για παράδειγμα, αν το νερό τροφοδοσίας είναι θαλασσινό συγκέντρωσης 42.000 ppm και το προϊόν έχει αλατότητα 150 ppm, η απόρριψη του άλατος θα είναι:

SR = 100% (1 – 150 / 42.000) = 99,64 %

Αν το νερό τροφοδοσίας είναι υφάλμυρο με αλατότητα 5.000 ppm και το προϊόν 150 ppm, η απόρριψη του άλατος θα είναι:

SR = 100% (1 – 150 / 5.000) = 97 %

Η υπάρχουσα τεχνολογία των μεμβρανών σήμερα μας παρέχει τιμές του SR μεγαλύτερες το 99 % τόσο για θαλασσινό όσο και για υφάλμυρο νερό. Να σημειωθεί ότι στις δυο αυτές περιπτώσεις οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικές, επειδή αλλάζουν σημαντικά οι απαιτήσεις, όπως είδαμε στο πιο πάνω παράδειγμα.

δ) Ανάκτηση προϊόντος

Η ανάκτηση (recovery) ή λογος μετατροπής του τροφοδοτικού νερού σε
προϊόν ορίζεται ως:

$$Y = 100\% \frac{M_p}{M_f}$$

Όπου

Y το ποσοστό ανάκτησης (%)
M_f η παροχή του τροφοδοτικού νερού
M_p η παροχή του προϊόντος

Η τιμή του Y επηρεάζει την παροχή του προϊόντος και τη ροή του άλατος διαμέσου της μεμβράνης. Όσο το ποσοστό ανάκτησης μεγαλώνει, τόσο η συγκέντρωση του άλατος στη μεμβράνη, από την πλευρά της τροφοδοσίας, αυξάνει και έχει ως συνέπεια την αυξημένη ροή του άλατος στο προϊόν. Η αυξημένη συγκέντρωση άλατος στη μεμβράνη αυξάνει και την ωσμωτική πίεση και άρα, για σταθερή πίεση λειτουργίας, ελαττώνεται ο ρυθμός παραγωγής προϊόντος. Η ανάκτηση στις μεμβράνες ξεκίνησε από χαμηλά ποσοστά, της τάξης του 10 – 20% για να φτάσει σήμερα σε τιμές άνω του 50%. Αυτό οφείλεται αφενός στην ωρίμανση της τεχνολογίας σχεδίασης και κατασκευής των μεμβρανών, αφετέρου στην τοποθέτηση πολλαπλών σπειροειδών μεμβρανών στο ίδιο δοχείο πίεσης.

ε) Μεμβράνες

Οι μεμβράνες της αντίστροφης ώσμωσης έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αποτελούνται από ένα λεπτό φιλμ πολυμερούς υλικού με πάχος μερικές χιλιάδες Angstroms τοποθετημένο σε πορώδες πολυμερές

- Οι μεμβράνες του εμπορίου έχουν υψηλή διαπερατότητα στο νερό και υψηλό βαθμό ημιδιαπερατότητας, δηλαδή το κλάσμα της ροής του νερού προς τη ροή των διαλυμένων ιόντων είναι πολύ μεγάλο.

- Πρέπει να έχουν σταθερή απόδοση σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και pH, αλλά και καλή μηχανική αντοχή.

- Οι μεμβράνες του εμπορίου έχουν διάρκεια ζωής 3 – 5 χρόνια, ανάλογα με τη μεμβράνη, την ποιότητα του τροφοδοτικού νερού και τη λειτουργία της εγκατάστασης.

- Οι περισσότερες περιλαμβάνουν τις ουσίες *οξικά άλατα κυτταρίνης* (cellulose acetate, CA) και *πολυαμίδες* (polyamide, PA)

- Πολλές φορές η επιλογή της μεμβράνης γίνεται περισσότερο με κριτήριο τη συμβατότητα, παρά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν την ικανότητα φίλτρανσης και τη ροή του νερού διαμέσου αυτής.

Μεμβράνες από CA

Οι αρχικές CA μεμβράνες (τέλη του ’50) αποτελούνταν μόνο από πολυμερή *δισοξικού άλατος κυτταρίνης* (cellulose diacetate), ενώ σήμερα κατασκευάζονται από μίγμα *δισοξικών και τρισοξικών αλάτων κυτταρίνης* (cellulose diacetate and triacetate). Τα στάδια κατασκευής μιας τέτοιας μεμβράνης περιλαμβάνουν τη χύτευση του λεπτού φιλμ, στη συνέχεια έκπλυση σε ψυχρό λουτρό και ανόπτηση σε υψηλή θερμοκρασία. Με τη χύτευση εξατμίζεται μέρος του διαλύτη, η ψυχρή έκπλυση απομακρύνει τον εναπομείναντα διαλύτη και άλλα περιττά υλικά, ενώ η ανόπτηση, που γίνεται με καυτό νερό θερμοκρασίας 60 – 90 oC, βελτιώνει την ημιπερατότητα της μεμβράνης. Οι μεμβράνες που προκύπτουν έχουν ασύμμετρη κατασκευή με ένα πυκνό επιφανειακό στρώμα πάχους 0,1 – 0,2 μm το οποίο και αναλαμβάνει την απόρριψη του άλατος. Το υπόλοιπο τμήμα της μεμβράνης είναι πορώδες και έχει υψηλή διαπερατότητα στο νερό. Οι ιδιότητες της CA μεμβράνης (απόρριψη άλατος και ροή νερού) μπορούν να ρυθμιστούν κατά το στάδιο της ανόπτησης με μεταβολή της θερμοκρασίας και της διάρκειας αυτής.

Μεμβράνες από PA

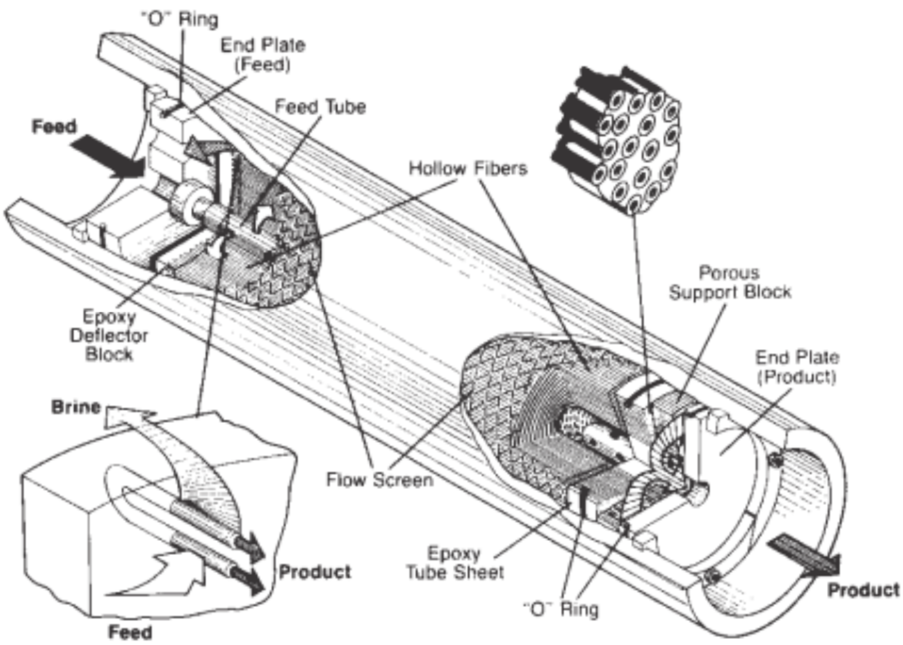
Οι μεμβράνες αυτές αποτελούνται από δυο στρώματα, το πρώτο είναι ένα *πολυσουλφονικό πορώδες* (porous polysulfone) και το δεύτερο ένα ημιπερατό στρώμα από *αμίνες* (amine) και ομάδες *όξινων καρβοξυλικών χλωριδίων* (carboxylic acid chloride functional groups). Έτσι μπορεί να γίνει ξεχωριστή βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών της (απόρριψη άλατος και ροή νερού), σε σχέση με την CA που είναι ενιαία. Οι μεμβράνες αυτές έχουν σταθερότερη συμπεριφορά σε ένα μεγάλο εύρος τιμών του pH, σε σχέση με τις CA, αλλά και διαβρώνονται πιο εύκολα από τα ελεύθερα χλώρια. Οι CA έχουν πιο λεία επιφάνεια σε σχέση με τις PA και αυτό τις καθιστά πιο κατάλληλες για εφαρμογές που έχουν πολλά διαλυμένα στερεά, όπως επιφανειακά ύδατα και αποχετεύσεις.

στ) Διαμορφώσεις μεμβρανών

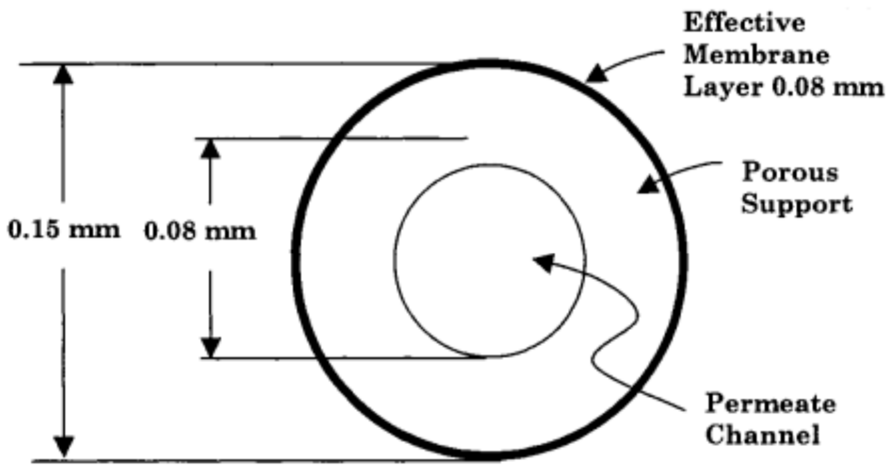
Δυο είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενες διαμορφώσεις μεμβρανών στις εφαρμογές της αντίστροφης ώσμωσης: τα *κοίλα νήματα (*Hollow Fine Fiber*)* και τα *σπειροειδή τυλίγματα (*Spiral Wound*).*

Διαμόρφωση κοίλων νημάτων

Στη διαμόρφωση αυτή οι μεμβράνες είναι δέσμες κοίλων (δηλαδή κούφιων) νημάτων από υλικό που μπορεί να περιέχει κυτταρίνες. Τα νήματα έχουν τη μορφή ανθρώπινης τρίχας με εσωτερική διάμετρο περίπου 42 μm και εξωτερική περίπου 85 μm, όπως στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6.3. Μεμβράνη σε διαμόρφωση κοίλων νημάτων (πηγή filmtec.com desalination design manual)



Σχήμα 6.4. Διαστάσεις κοίλου νήματος (πηγή filmtec.com desalination design manual)

Άρα τα νήματα στην ουσία είναι τριχοειδείς σωλήνες. Εκατομμύρια τέτοια νήματα δένονται μαζί και διπλώνονται στη μέση σε μήκος περίπου 120 cm. Ένας διάτρητος πλαστικός σωλήνας, που παίζει το ρόλο του διανομέα του τροφοδοτικού νερού, μπαίνει στο κέντρο της δέσμης καθόλο το μήκος της. Τα δυο άκρα της δέσμης συγκολλούνται και στο ένα άκρο σχηματίζεται μια επιφάνεια υφασματοειδής από τις απολήξεις των νημάτων, όπου και παραλαμβάνεται το προϊόν. Η δέσμη μαζί με τον πλαστικό σωλήνα έχουν διάμετρο 10 – 20 cm και τοποθετούνται στο δοχείο πίεσης, που είναι κυλινδρικό μήκους 135 – 140 cm και διαμέτρου 15 – 30 cm. Η σύνθεση αυτή έχει τη μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια (επιφάνεια ανά μονάδα όγκου) απ' όλες τις διαμορφώσεις μεμβρανών.

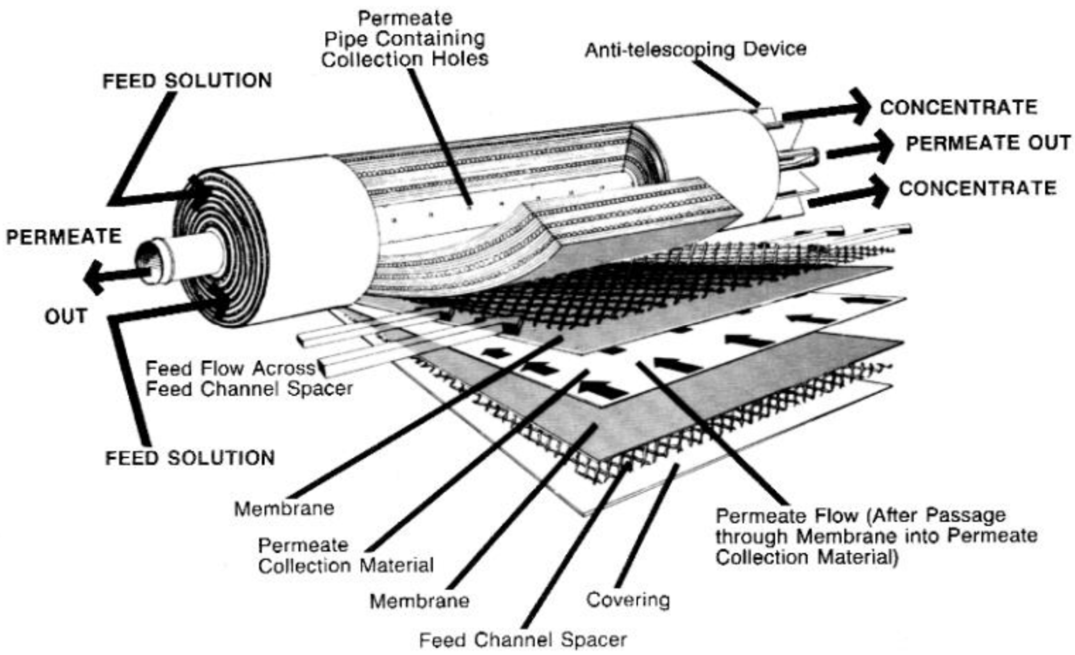
Το τροφοδοτικό νερό εισέρχεται όπως στο σχήμα 6.4 διαμέσου του κεντρικού διάτρητου σωλήνα και εξαπλώνεται ακτινικά περνώντας μέσα από τους νηματοειδείς σωλήνες. Λόγω της υψηλής πίεσης εισδύει στο εσωτερικό των νημάτων, έχοντας φιλτραριστεί και παραλαμβάνεται από το ένα άκρο του δοχείου, ενώ η άλμη, που παραμένει στο εξωτερικό των νημάτων, παραλαμβάνεται από άλλη έξοδο.

Στη διαμόρφωση των κοίλων νημάτων η παροχή του προϊόντος ανά μονάδα επιφάνειας της μεμβράνης είναι χαμηλή, με αποτέλεσμα τα νήματα να λειτουργούν σε συνθήκες στρωτής ροής. Για το λόγο αυτό πρέπει να διατηρείται μια ελάχιστη τιμή ροής στην απόρριψη, ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της συγκέντρωσης τροφοδοτικού νερού (άρα και άλμης) στην επιφάνεια όλων των νημάτων. Η διαμόρφωση αυτή μπορεί να λειτουργήσει με ανάκτηση 50% και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ελάχιστης ροής απόρριψης.

Η διαμόρφωση των κοίλων νημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υφάλμυρο και για θαλασσινό νερό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μεμβράνες αυτές είναι μίγματα CA και PA. Λόγω της πυκνής διάταξης των νημάτων και της βίαιης ροής που τα διαπερνά, το τροφοδοτικό νερό χρειάζεται περισσότερη προεπεξεργασία απ' ότι στη διαμόρφωση των σπειροειδών τυλιγμάτων, δηλαδή μικρότερο ποσοστό αιωρούμενων στερεών.

Διαμόρφωση σπειροειδών τυλιγμάτων

Σ' αυτή τη διαμόρφωση δυο επίπεδα φύλλα μεμβράνης διαχωρίζονται από ένα διάτρητο υλικό που συλλέγει το προϊόν νερό και σφραγίζονται στις τρεις πλευρές τους, με την τέταρτη να παραμένει ανοιχτή για τη συλλογή του προϊόντος. Ανάμεσά τους μπαίνει ένα πλέγμα που βοηθάει το τροφοδοτικό νερό στην κυκλοφορία. Πολλά πακέτα τέτοιων φύλλων τυλίγονται γύρω από έναν πλαστικό διάτρητο σωλήνα που συλλέγει τελικά το προϊόν από το σύνολο των μεμβρανών. Οι διαστάσεις μιας τυπικής εμπορικής διαμόρφωσης σπιράλ είναι 100 ως 150 cm μήκος και 10 ως 20 cm διάμετρος.



Σχήμα 6.5. Μεμβράνη σε διαμόρφωση σπειροειδών τυλιγμάτων (πηγή filmtec.com desalination design manual)

Η πορεία του τροφοδοτικού νερού στην είσοδο μέχρι την έξοδο της άλμης είναι ευθεία γραμμή κατά την αξονική διεύθυνση, ενώ το προϊόν διαπερνάει κάθετα τις μεμβράνες κατά την ακτινική διεύθυνση. Το πλέγμα ανάμεσα στις μεμβράνες ενισχύει την τύρβη και μειώνει την επιλεκτική συγκέντρωση άλμης (πόλωση). Οι κατασκευαστές προτείνουν ανάκτηση 10 – 20 % ανά στοιχείο, για το λόγο αυτό και η όποια ανάκτηση είναι συνάρτηση του μήκους της ευθείας πορείας του τροφοδοτικού νερού από την είσοδο ως την έξοδό του ως άλμη. Για να λειτουργήσει η εγκατάσταση με αποδεκτά ποσοστά παραγωγής νερού χρησιμοποιούνται τρεις εως οκτώ μεμβράνες σε ένα δοχείο πίεσης, με την άλμη

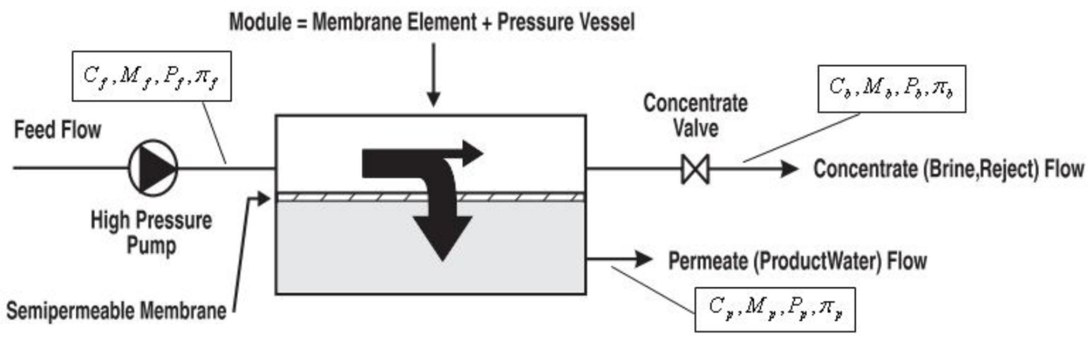
που εξέρχεται από το ένα να γίνεται η τροφοδοσία του επόμενου. Η άλμη του τελευταίου στοιχείου εξέρχεται από το δοχείο και απορρίπτεται, ενώ το προϊόν από κάθε στοιχείο εισέρχεται στον συλλέκτη, δηλαδή τον κεντρικό αγωγό και παραλαμβάνεται ως συνολικό προϊόν. Με τη μέθοδο αυτή ένα μόνο δοχείο πίεσης με 4 ως 6 μεμβράνες στη σειρά μπορεί να δώσει προϊόν με ανάκτηση ως και 50 %.
Οι σπειροειδείς διαμορφώσεις χρησιμοποιούν επίπεδες μεμβράνες από μίγμα δισοξικών και τρισοξικών αλάτων κυτταρίνης είτε από συνθετικό λεπτό φιλμ διαφόρων ενεργών πολυμερών με διαστρωμάτωση. Τα πολυμερή αυτά μπορεί να είναι πολυαμίδες, πολυσουλφίδια, πολυουρεθάνες και άλλα. Οι συνθετικές μεμβράνες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόρριψη άλατος σε χαμηλές πιέσεις λειτουργίας σε σχέση με τις κυτταρίνες.

ζ) Μοντελοποίηση RO – εξισώσεις μεταφοράς μάζας

Εδώ παρουσιάζεται ένα απλό μοντέλο για τη λειτουργία της RO. Οι απλοποιητικές παραδοχές που γίνονται είναι:

- μόνιμη κατάσταση και ισόθερμη λειτουργία

- οι συντελεστές διαπερατότητας του νερού και του άλατος είναι ανεξάρτητοι της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης
- περίπου ίσοι συντελεστές διαπερατότητας για τα διάφορα ιόντα του άλατος
- η ροή του άλατος διαμέσου της μεμβράνης είναι αμελητέα μπροστά σ’αυτή του νερού
- η συγκέντρωση του άλατος απ’ την πλευρά της τροφοδοσίας μεταβάλλεται γραμμικά κατά μήκος της μεμβράνης
- η συγκέντρωση του άλατος στο νερό σε οποιαδήποτε στιγμή και θέση είναι ομοιόμορφη



Σχήμα 6.6 Σχηματική λειτουργία συσκευής αντίστροφης ώσμωσης (πηγή filmtec.com desalination design manual)

Μάζα προϊόντος και άλατος
Η μάζα του προϊόντος και του άλατος βρίσκονται απ’ τις παρακάτω σχέσεις:

$$M_f = M_p + M_b$$

$$C_f \times M_f = C_p \times M_p + C_b \times M_b$$

όπου
M_f είναι η παροχή μάζας του τροφοδοτικού νερού (kg/s)
M_p είναι η παροχή μάζας του προϊόντος (kg/s)
M_b είναι η παροχή μάζας της άλμης (kg/s)
C_f είναι η αλατότητα του τροφοδοτικού νερού (kg/m^3)
C_p είναι η αλατότητα του προϊόντος (kg/m^3)
C_b είναι η αλατότητα της άλμης (kg/m^3)

Μεταφορά του νερού

Η μεταφορά του νερού διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης δίνεται από τη σχέση:

$$M_p = (\Delta P - \Delta\pi) \times K_w \times A$$

όπου
M_p είναι η ροή του νερού μέσα από τη μεμβράνη (m^3/s)
$\Delta\pi$ είναι η διαφορά της ωσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης (kPa)
K_w είναι ο συντελεστής διαπερατότητας του νερού (m^3/m^2 s kPa)
A είναι το εμβαδό της επιφάνειας της μεμβράνης (m^2)

Να διευκρινιστεί ότι στην προηγούμενη εξίσωση οι όροι ΔP και $\Delta\pi$ παριστούν τη διαφορά υδραυλικής και ωσμωτικής πίεσης αντίστοιχα εκατέρωθεν της μεμβράνης, πιο συγκεκριμένα:

$$\Delta P = \bar{P} - P_p$$

$$\Delta\pi = \bar{\pi} - \pi_p$$

όπου
P_p και π_p είναι η υδραυλική και η ωσμωτική πίεση αντίστοιχα του προϊόντος
$\bar{P}$ και $\bar{\pi}$ είναι η μέση υδραυλική και ωσμωτική πίεση αντίστοιχα στην πλευρά της τροφοδοσίας και δίνονται απ’ τις σχέσεις:

$$\bar{P} = \frac{1}{2}\left(P_f + P_b\right)$$

$$\bar{\pi} = \frac{1}{2}\left(\pi_f + \pi_b\right)$$

όπου
P_f και π_f είναι η υδραυλική και η ωσμωτική πίεση αντίστοιχα στην τροφοδοσία
P_bκαι π_b είναι η υδραυλική και η ωσμωτική πίεση αντίστοιχα στην απόρριψη

Μεταφορά του άλατος

Η μεταφορά του άλατος διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης δίνεται από τη σχέση:

$$M_s = \left(\bar{C} - C_p\right) \times K_s \times A$$

όπου
M_s είναι η ροή του άλατος μέσα από τη μεμβράνη (kg/s)
K_s είναι ο συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης για το αλάτι (m^3/m^2 s)
C_p είναι η ολική συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών στο προϊόν (kg/m^3)
A είναι το εμβαδό της επιφάνειας της μεμβράνης (m^2)
Ο όρος $\bar{C}$ δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{C} = \frac{M_f \times C_f + M_b \times C_b}{M_f + M_b}$$

Όπου
C_f και C_b είναι οι συγκεντρώσεις του άλατος στην τροφοδοσία και στην άλμη αντίστοιχα

Απ' τις παραπάνω σχέσεις διαπιστώνουμε ότι για μια δεδομένη μεμβράνη:

- η ροή του νερού μέσα από αυτήν είναι ανάλογη με τη διαφορά πίεσης $(\Delta P - \Delta\pi)$ στα άκρα της
- η ροή του άλατος είναι ανάλογη με τη διαφορά των συγκεντρώσεων $\left(\bar{C} - C_p\right)$ στα άκρα της και είναι ανεξάρτητη της εφαρμοζόμενης πίεσης (διότι γίνεται με διάχυση)

Η αλατότητα του προϊόντος εξαρτάται απ' τους ρυθμούς μεταφοράς νερού και άλατος διαμέσου της μεμβράνης:

$$C_p = \frac{M_s}{M_p}$$

Το γεγονός ότι το νερό και το αλάτι έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μεταφοράς μάζας διαμέσου μιας μεμβράνης δημιουργεί το φαινόμενο της απόρριψης του άλατος. Καμία μεμβράνη δεν είναι ιδανική με την έννοια ότι απορρίπτει πλήρως το αλάτι, αλλά με την αύξηση της πίεσης αυξάνουμε το ρυθμό μεταφοράς μάζας του νερού σε σχέση με αυτόν του άλατος και το προϊόν έχει λιγότερη αλατότητα.

6.3.Επιλογή συστήματος αφαλάτωσης για την κάλυψη της ζήτησης νερού στη Σίκινο

Θα χρησιμοποιήσουμε μεμβράνες της εταιρείας FILMTEC που είναι ευρέως δοκιμασμένες σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με το τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας, που βρίσκεται στην ιστοσελίδα της, πρέπει να ακολουθηθούν ορισμένα βήματα για τη σχεδίαση του συστήματος αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση.

Βήμα 1 : Καθορισμός τύπου και ποιότητας νερού τροφοδοσίας, παροχή και ποιότητα προϊόντος

Το νερό που θα τροφοδοτήσει τη μονάδα είναι βέβαια θαλασσινό με χημική ανάλυση που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Χημική ανάλυση θαλασσινού νερού της Σικίνου			
Ιόντα		**mg/l**	**όρια (mg/l)**
Ammonium	(NH_4)	0	0,5
Potasium	(K)	381	12
Sodium	(Na)	12155	175
Magnesium	(Mg)	1402	50
Calcium	(Ca)	455	-
Strodium	(Sr)	21	-
Barium	(Ba)	0,02	-
Carbonate	(CO3)	13	-
Bicarbonate	(HCO3)	140	-
Nitrate	(NO3)	0	50
Chloride	(Cl)	21107	200
Fluoride	(F)	1,1	1,5
Sulfate	(SO4)	2840	250
Silica	(SiO2)	1,2	-
Boron	(B)	2	1

Πίνακας 6.1 Χημική ανάλυση θαλασσινού νερού της Σικίνου (πηγή *hcmr.gr)*

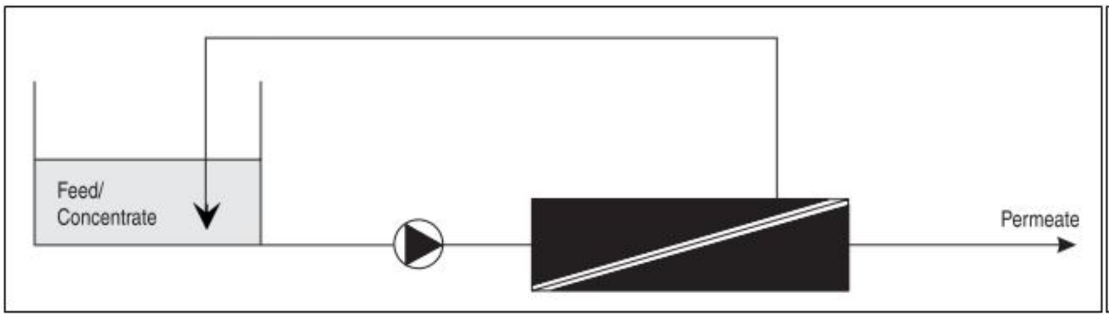
Επειδή δεν έχει γίνει χημική ανάλυση του νερού στη Σίκινο, οι παραπάνω τιμές έχουν προκύψει από αντίστοιχη ανάλυση σε διάφορες ακτές της νήσου Μήλου, που βρίσκεται πολύ κοντά στη Σίκινο και άρα μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Για την ακρίβεια είναι οι μέσες τιμές του συνόλου των μετρήσεων.

Βήμα 2 : Καθορισμός τρόπου ροής και αριθμός περασμάτων

Ο απλούστερος τρόπος είναι η συνεχής ροή με ένα πέρασμα από τις μεμβράνες. Ανάλογα με το είδος της εφαρμογής και τις απαιτήσεις ποιότητας του προϊόντος μπορεί η τροφοδοσία να είναι διακοπτόμενη (βιομηχανικά ή δημοτικά απόβλητα), οπότε μέρος της άλμης επιστρέφει σε μια δεξαμενή και αναμιγνύεται με το τροφοδοτικό νερό για να καλύψει τις ασυνέχειες στην παροχή τροφοδοσίας, μπορεί να είναι ενός στοιχείου με επανακυκλοφορία, ενός σταδίου ή πολλαπλών σταδίων. Οι περιπτώσεις αυτές απεικονίζονται στα παρακάτω σχήματα:

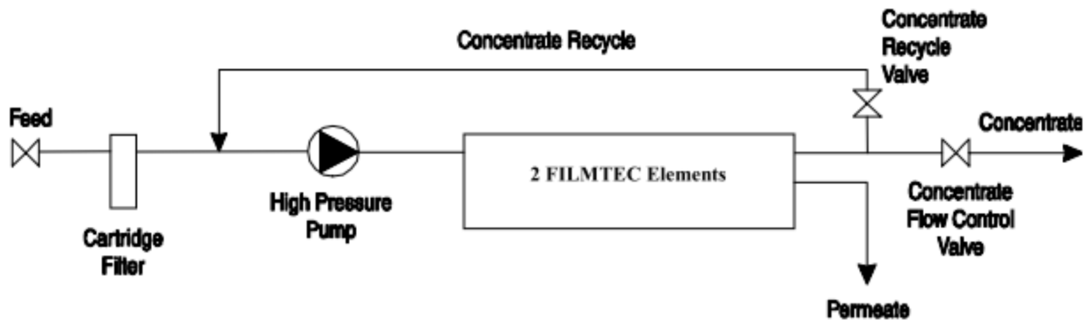
Σχήμα 6.7. Συνεχής λειτουργία (continuous RO process) (πηγή filmtec.com desalination design manual)

Εδώ έχουμε δυο διακριτές εξόδους, το προϊόν και την άλμη.



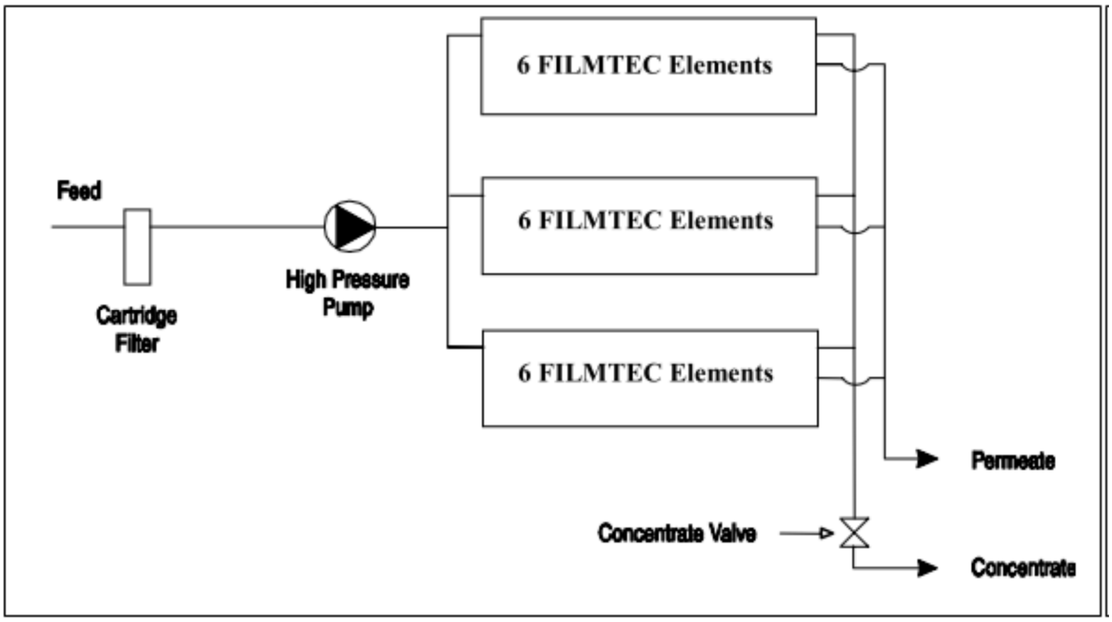
Σχήμα 6.8. Διακοπτόμενη λειτουργία (batch RO process) (πηγή filmtec.com desalination design manual)

Εδώ η άλμη επιστρέφει στην τροφοδοσία για να φιλτραριστεί ξανά, μέσα σε δεξαμενή όμως, λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας.



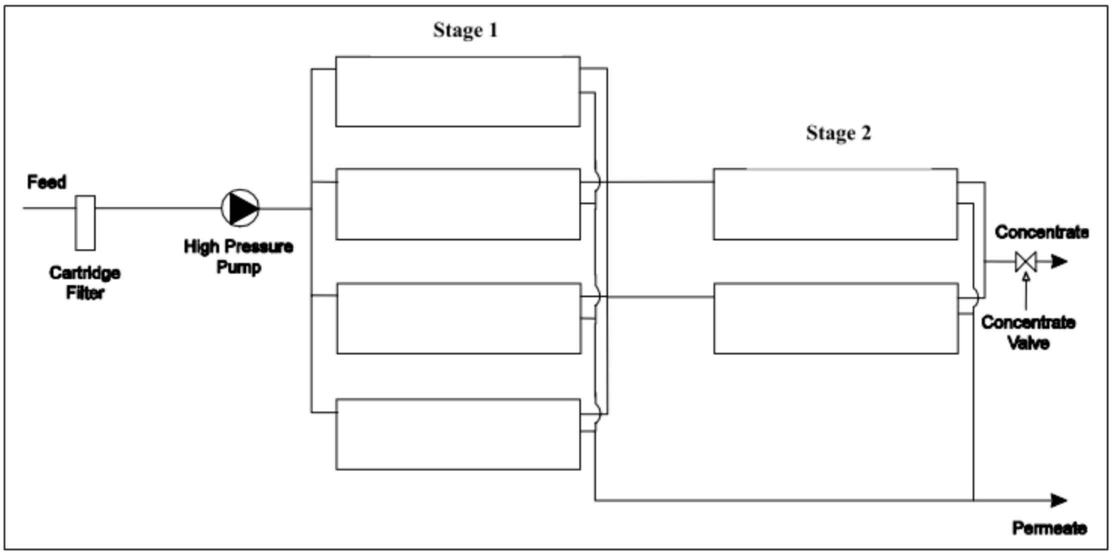
Σχήμα 6.9. Λειτουργία ενός στοιχείου με επανακυκλοφορία (single module system) (πηγή filmtec.com desalination design manual)

Η περίπτωση αυτή διαφέρει απ' την προηγούμενη στο ότι δεν υπάρχει δεξαμενή (συνεχής λειτουργία) και ότι ένα ποσοστό μόνο της άλμης επιστρέφει στην τροφοδοσία.



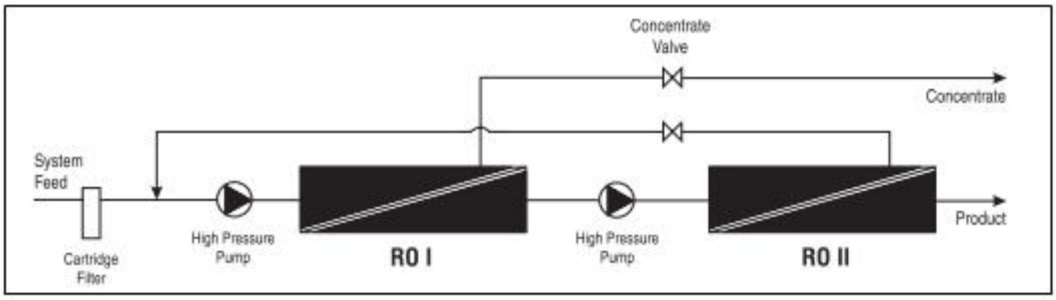
Σχήμα 6.10 Λειτουργία ενός σταδίου – πολλαπλών στοιχείων (single stage system) (πηγή filmtec.com desalination design manual)

Στην περίπτωση αυτή η ίδια τροφοδοσία μοιράζεται σε περισσότερα του ενός στοιχεία, τα οποία έχουν κοινή έξοδο για την άλμη και για το προϊόν (διαφορετικές βέβαια μεταξύ τους).



Σχήμα 6.11 Λειτουργία πολλαπλών σταδίων (multi stage system) (πηγή filmtec.com desalination design manual)

Εδώ προστίθεται άλλο ένα στάδιο ή και περισσότερα στην προηγούμενη περίπτωση και η άλμη που εξέρχεται από τα στοιχεία του πρώτου σταδίου εισέρχεται ως τροφοδοσία στα στοιχεία του δεύτερου σταδίου, ενώ το προϊόν είναι κοινό για τα δυο στάδια.



Σχήμα 6.12 Λειτουργία διπλού περάσματος του προϊόντος (permeate staged system) (πηγή filmtec.com desalination design manual)

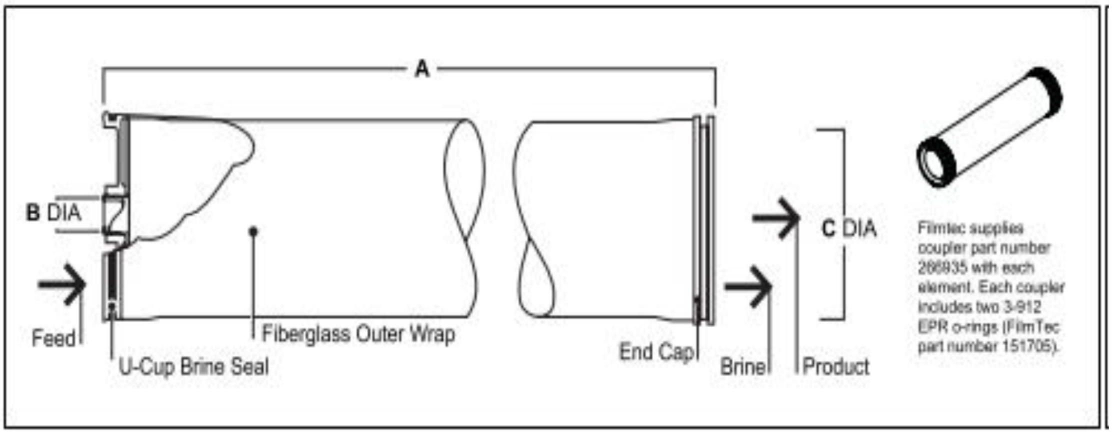
Τέλος υπάρχει η περίπτωση που το προϊόν, αφού εξέλθει από το πρώτο στοιχείο, εισέρχεται ως τροφοδοσία στο δεύτερο, για περαιτέρω φίλτρανση. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις για το προϊόν, όπως για ιατρική χρήση. Επίσης η άλμη που εξέρχεται απ’ το δεύτερο στοιχείο αναμιγνύεται με την τροφοδοσία, μιας και είναι γενικά καλύτερης ποιότητας από αυτή. Η επιλογή της μεθόδου θα γίνει με τη βοήθεια των επόμενων βημάτων.

Βήμα 3 : Επιλογή κατάλληλης μεμβράνης

Η εταιρεία προτείνει για τη δεδομένη χρήση (πόσιμο νερό κοινότητας, υδροληψία ανοικτής θάλασσας) τη μεμβράνη *FILMTEC SW30HR-380*, η οποία έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Ενεργός επιφάνεια (m^2)	***30***
Μέγιστη πίεση λειτουργίας (bar)	***83***
Μέγιστη παροχή προϊόντος (m^3/ημέρα)	***23***
Ελάχιστη παροχή άλμης (m^3/hr)	***3,4***
Μέγιστη παροχή τροφοδοσίας (m^3/hr)	***13***
Ελάχιστη απόρριψη άλατος (%)	***99.60***
Σταθερή απόρριψη άλατος (%)	***99.75***
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (^oC)	***45***
Μέγιστη πτώση πίεσης ανά στοιχείο (bar)	***1***
Εύρος pH για συνεχή λειτουργία	***2-11***
Εύρος pH για συντήρηση (30 min.)	***1-13***
Όριο ελεύθερου χλωρίου	***<0.1 ppm***
SDI (Silt Density Index)	***<5***
Τύπος Μεμβράνης	***PA***
Διαστάσεις (mm)	
A	**1016**
B	***29***
C	***201***
Κόστος :	***1000$***

Πίνακας 6.2 Τεχνικά στοιχεία μεμβράνης FILMTEC SW30HR-380 (πηγή filmtec.com)



Σχήμα 6.13. Διαστάσεις μεμβράνης FILMTEC SW30HR-380 (πηγή filmtec.com)

Σύμφωνα με την εταιρεία, οι μεμβράνες με το χαρακτηριστικό HR (High Rejection) έχουν υψηλό λόγο απόρριψης άλατος (99,75% η συγκεκριμένη) με αποτέλεσμα να μη χρειάζεται περίπλοκη εγκατάσταση και πολλά στοιχεία με επανακυκλοφορία του προϊόντος. Επίσης παρουσιάζει μικρή πτώση πίεσης ανά στοιχείο (< 1,0 bar) και λειτουργεί σε μεγάλο εύρος pH, τόσο κατά τη μόνιμη λειτουργία όσο και κατά τη συντήρηση.

Βήμα 4 : Επιλογή μέσης ροής του συστήματος

Η επιλογή αυτή γίνεται από εμπειρικά δεδομένα που βρίσκονται στον Πίνακα 3.4 του τεχνικού εγχειριδίου της εταιρείας και για τη μεμβράνη που έχουμε επιλέξει έχει την τιμή *f = 11 – 17 lt/m^2 hr.* Οι τιμές που δίνει η εταιρεία έχουν προκύψει από την υπάρχουσα εμπειρία και είναι ένα μέτρο – όριο που σχετίζεται με τη φθορά της μεμβράνης από τις διαλυμένες ουσίες που περιέχονται στο τροφοδοτικό νερό και οι οποίες συσσωρεύονται στην επιφάνειά της. Αν δεν τηρηθεί το όριο αυτό τότε θα αυξηθούν οι απαιτούμενες συντηρήσεις και κατά συνέπεια τα λειτουργικά κόστη.

Βήμα 5 : Υπολογισμός του αναγκαίου αριθμού στοιχείων (μεμβρανών)

Σύμφωνα με την εταιρεία ο αριθμός των στοιχείων που απαιτούνται υπολογίζεται απ’ τον τύπο:

$$N_E = \frac{Q_p}{f \times S_E}$$

Όπου

N_E= ο αριθμός των αναγκαίων στοιχείων

Q_p= η απαιτούμενη παροχή προϊόντος, για τη Σίκινο: 600 m^3/day

f= η μέση ροή του συστήματος (Βήμα 4), επιλέγουμε τη μέση τιμή: 15 lt/m^{2}hr

S_E= η ονομαστική επιφάνεια της μεμβράνης, για την SW30HR-380 : 30 m^2

Άρα ο παραπάνω τύπος δίνει:

$$N_E = \frac{600\,\frac{m^3}{day}}{\frac{15lt}{m^2hr} \times 35m^2} = \frac{\frac{600m^3}{24hr}}{15 \times \frac{10^{-3}m^3}{m^2hr} \times 30m^2} = 55.55$$

Άρα, στρογγυλοποιώντας προς τα πάνω, χρειαζόμαστε 56 στοιχεία (μεμβράνες).

Βήμα 6 : Υπολογισμός του αριθμού των δοχείων πίεσης

Ο αριθμός των δοχείων πίεσης δίνεται από τον τύπο:

$$N_v = \frac{N_E}{N_{EpV}}$$

όπου

N_V = ο αριθμός των δοχείων πίεσης

N_E = ο αριθμός των στοιχείων απ' το Βήμα 5

N_{EpV} = ο αριθμός των στοιχείων ανά δοχείο πίεσης

Σε μεγάλα συστήματα μπορούν να μπουν 6 ή και 8 μεμβράνες σε ένα δοχείο πίεσης. Επειδή έχουμε NE = 56 μεμβράνες, είναι καλύτερα να τοποθετήσουμε N_{EpV} = 7 στοιχεία ανά δοχείο, για να προκύψει ακέραιος αριθμός, άρα χρειαζόμαστε N_v = 8 δοχεία πίεσης.

Βήμα 7 : Υπολογισμός του αριθμού των σταδίων

Όπως είδαμε ο αριθμός των σταδίων καθορίζει πόσα δοχεία πίεσης σε σειρά θα διαπεράσει το τροφοδοτικό νερό μέχρι να εξέλθει απ' το σύστημα ως άλμη και να απορριφθεί. Κάθε στάδιο αποτελείται από έναν αριθμό δοχείων πίεσης εν παραλλήλω. Ο αριθμός των σταδίων είναι συνάρτηση του επιθυμητού λόγου ανάκτησης του συστήματος, του αριθμού των στοιχείων ανά δοχείο και της ποιότητας του τροφοδοτικού νερού. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ανάκτησης και όσο χειρότερη η ποιότητα της τροφοδοσίας, τόσο μεγαλύτερη διαδρομή χρειάζεται να περάσει το νερό και άρα περισσότερα στάδια και μεμβράνες. Για το θαλασσινό νερό η εταιρεία προτείνει τον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός σταδίων RO για θαλασσινό νερό		
Ανάκτηση συστήματος (%)	Αριθμός στοιχείων σε σειρά	Αριθμός σταδίων για 6 στοιχεία ανά δοχείο
35 – 40	6	1
45	7 – 12	2
50	8 – 12	2
55 – 60	12 – 14	2

Πίνακας 6.3 Αριθμός σταδίων RO ανάλογα με την ανάκτηση του συστήματος (πηγή filmtec.com)

Οπότε για λόγο ανάκτησης περίπου 50% θα χρειαστούν 2 στάδια.

Βήμα 8 : Υπολογισμός του λόγου διαβάθμισης (staging ratio)

Η σχέση του αριθμού των δοχείων πίεσης στα διαδοχικά στάδια ονομάζεται λόγος διαβάθμισης:

$$R = \frac{N_V(i)}{N_V(i+1)}$$

Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα δυο σταδίων με 4 δοχεία στο πρώτο στάδιο και δυο δοχεία στο δεύτερο, ο λόγος διαβάθμισης θα είναι 2:1. Σε σύστημα θαλασσινού νερού δυο σταδίων με 6 στοιχεία ανά δοχείο, ο τυπικός λόγος διαβάθμισης είναι 3:2. Η ιδανική διαβάθμιση σε ένα σύστημα είναι όταν κάθε στάδιο λειτουργεί στο ίδιο κλάσμα του λόγου ανάκτησης του συστήματος, με την προϋπόθεση όλα τα δοχεία να περιέχουν τον ίδιο αριθμό στοιχείων. Ο λόγος διαβάθμισης ενός συστήματος με n στάδια και λόγο ανάκτησης Y,υπολογίζεται απ' τον τύπο:

$$R = \left[\frac{1}{1-Y}\right]^{\frac{1}{n}}$$

Άρα για λόγο ανάκτησης 50% και 2 στάδια παίρνουμε:

$$R = \left[\frac{1}{1-0.5}\right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{2} \cong 1.414$$

Για ένα σύστημα δυο σταδίων, όπως αυτό που επιλέξαμε, ο αριθμός των δοχείων πίεσης σε κάθε στάδιο είναι:

$$N_V(1) = \frac{N_V}{1 + R^{-1}} = \frac{8}{1 + 1.414^{-1}} = 3.314$$

δηλαδή πρακτικά $N_V(1) = 4$ και άρα $N_V(2) = 4$ (στρογγυλοποίηση προς τα πάνω). Άρα έχουμε ένα σύστημα με 50% ανάκτηση, που αποτελείται από 2 στάδια, το πρώτο στάδιο έχει 4 δοχεία πίεσης, το δεύτερο στάδιο έχει πάλι 4 δοχεία πίεσης, το κάθε δοχείο έχει 7 μεμβράνες, σύνολο δηλαδή 56 στοιχεία με συνολική παροχή 600 m^3/day.

Βήμα 9 : Εξισορρόπηση της ροής του προϊόντος

Η ροή του προϊόντος είναι συνήθως χαμηλότερη στα τελευταία στοιχεία, δηλαδή αυτά που βρίσκονται κοντύτερα στην έξοδο της άλμης, από αυτά στην είσοδο της τροφοδοσίας. Αυτό είναι αποτέλεσμα της πτώσης πίεσης στο κανάλι της τροφοδοσίας μέχρι την έξοδο του προϊόντος, λόγω του περάσματος απ’ τις μεμβράνες, αλλά και της αύξησης της ωσμωτικής πίεσης από την τροφοδοσία μέχρι την έξοδο της άλμης. Υπό ορισμένες συνθήκες ο λόγος της ροής του προϊόντος στο πρώτο και στο τελευταίο στοιχείο μπορεί να πάρει πολύ υψηλές τιμές:

- Υψηλό ποσοστό ανάκτησης
- Μεγάλη αλατότητα στην τροφοδοσία
- Χαμηλή πίεση στις μεμβράνες
- Υψηλή θερμοκρασία νερού
- Καινούργιες μεμβράνες

Ο σκοπός μιας καλής σχεδίασης είναι να εξισορροπήσει τη ροή σε όλες τις θέσεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί ως εξής:

- Αύξηση της πίεσης τροφοδοσίας μεταξύ των σταδίων (για αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας)

- Για σύστημα δυο σταδίων να εφαρμοστεί μια υποπίεση στο προϊόν μόνο στο πρώτο στάδιο (οικονομική λύση)

- Υβριδικό σύστημα: στα πρώτα στάδια μεμβράνες χαμηλότερης διαπερατότητας νερού και στα τελευταία στάδια υψηλότερης διαπερατότητας νερού

Η μέθοδος της εξισορρόπησης (αν χρειαστεί) μπορεί να προσδιοριστεί μετά την ανάλυση και βελτιστοποίηση του συστήματος με το πρόγραμμα ROSA που παρέχεται δωρεάν από την εταιρεία σαν εργαλείο σχεδίασης.

Βήμα 10 : Ανάλυση και βελτιστοποίηση του συστήματος.

Υπάρχουν δυο μέθοδοι για να γίνουν οι υπολογισμοί των παραμέτρων του συστήματος. Είναι η επίλυση των εξισώσεων «στοιχείο προς στοιχείο» και η επίλυση ολόκληρου του συστήματος.

Για την πρώτη μέθοδο πρέπει να είναι γνωστές όλες οι παράμετροι που αφορούν το πρώτο στοιχείο (μεμβράνη) και θέτοντας μια αρχική τιμή για την πίεση τροφοδοσίας, υπολογίζονται στοιχείο προς στοιχείο όλες οι τιμές μέχρι την έξοδο της άλμης και του προϊόντος (οι παράμετροι εξόδου του στοιχείου I είναι οι παράμετροι εισόδου του στοιχείου (i+1)). Αξιολογώντας τα αποτελέσματα μπορεί να προκύψει ότι η αρχική τιμή της πίεσης ήταν πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή, οπότε τίθεται μια νέα τιμή και οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται. Η μέθοδος αυτή είναι κοπιαστική για επίλυση με το χέρι, αλλά προσφέρεται για προγραμματισμό σε Η/Υ.

Στη μέθοδο επίλυσης ολόκληρου του συστήματος χρησιμοποιούνται μέσες τιμές για την πίεση τροφοδοσίας και την ποιότητα του προϊόντος, εάν η ποιότητα της τροφοδοσίας, η θερμοκρασία, η ροή του προϊόντος και ο αριθμός των στοιχείων είναι γνωστά. Εάν δοθεί η πίεση τροφοδοσίας αντί για τον αριθμό των στοιχείων, αυτός μπορεί να υπολογιστεί με λίγες επαναλήψεις.

Στο Παράρτημα παραθέτονται οι εξισώσεις για κάθε μέθοδο. Τις εξισώσεις αυτές θα τις επιλύσει αριθμητικά το πρόγραμμα ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) για Η/Υ, που παρέχει η εταιρεία FILMTEC στην Ιστοσελίδα της.

Τα δεδομένα που εισάγουμε είναι: η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας (Βήμα 1), η παροχή του προϊόντος (600 m3/ημέρα), ο επιθυμητός λόγος ανάκτησης (50%), η επιλεγμένη μεμβράνη (SW30HR-380) και τα χαρακτηριστικά της (Βήμα 3), ο αριθμός των στοιχείων (56) (Βήμα 5), ο αριθμός των δοχείων πίεσης (8) (Βήμα 6) με 6 στοιχεία ανά δοχείο, ο αριθμός των σταδίων (2) (Βήμα 7) μαζί με την πληροφορία ότι το πρώτο στάδιο περιέχει 4 δοχεία όπως και το δεύτερο στάδιο, καθώς και τη θερμοκρασία λειτουργίας (25 ^{o}C). Το πρόγραμμα λαμβάνει επιπρόσθετα ως δεδομένα (τα οποία όμως μπορούν να τροποποιηθούν) το βαθμό απόδοσης της αντλίας (80%) και το συντελεστή επικαθίσεων στη μεμβράνη (85%).

<u>Αποτελέσματα ανάλυσης</u>

Καταρχήν πρέπει να διευκρινιστεί ότι η ανάλυση έγινε για τη μέγιστη παραγωγή του συστήματος, δηλαδή 600 κυβικά/ημέρα. Τα αποτελέσματα της επίλυσης των εξισώσεων του συστήματος από το ROSA φαίνονται αναλυτικά παρακάτω:

Παροχή τροφοδοτικού νερού στο 1ο στάδιο	1200 m^3/day	TDS τροφοδοσίας	39225,61 mg/l
Παροχή προϊόντος	599,98 m^3/day	Αριθμός μεμβρανών	56
Πίεση τροφοδοσίας	67,01 bar	Μέση ροή	15,02 lt/m^2hr
Συντελεστής επικαθίσεων	0.85	Οσμωτική πίεση: παροχής άλμης μέση	 27,96 bar 58,25 bar 43,11 bar
Ολική ενεργός επιφάνεια	1664,77 m^2	Μέση απαιτούμενη πίεση	20,28 bar
Ανάκτηση συστήματος	50%	Ισχύς	116,35 kW
Θερμοκρασία τροφοδοσίας	25 °C	Ενέργεια	4,65 kWh/m^3

Πίνακας 6.4 Στοιχεία συστήματος RO (πηγή ROSA design tool)

Στάδιο	1	2
Αριθμός δοχείων πίεσης	4	4
Αριθμός μεμβρανών/δοχείο	7	7
Παροχή τροφοδοσίας (m^3/d)	1200,00	742,48
Πίεση τροφοδοσίας (bar)	66,66	64,30
Παροχή άλμης (m^3/d)	742,48	600,02
Πίεση άλμης (m^3/d)	64,65	63,12
Παροχή προϊόντος (m^3/d)	457,52	142,47
Μέση ροή (lt/m^2hr)	22,90	7,13
TDS προϊόντος (mg/lt)	145,05	592,30

Πίνακας 6.5 Στοιχεία ανάλυσης συστήματος RO (πηγή ROSA design tool)

Πίνακας συγκεντρώσεων ιόντων (mg/lt)							
Ιόντα	Τροφοδοσία	Προσαρμοσμένη τροφοδοσία	Άλμη		Προϊόν		
			Στάδιο 1	Στάδιο 2	Στάδιο 1	Στάδιο 2	Σύνολο
NH_4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	381,00	381,00	614,64	758,74	1,84	7,73	3,24
Na	12155,00	12155,00	19612,87	24219,05	51,96	213,29	90,27
Mg	1402,00	1402,00	2265,03	2801,49	1,42	5,66	2,43
Ca	455,00	455,00	735,09	909,20	0,45	1,82	0,78
Sr	21,00	21,00	33,93	41,96	0,02	0,08	0,04
Ba	0,02	0,02	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00
CO_3	7,64	7,64	14,38	18,78	0,00	0,00	0,00
HCO_3	140,00	140,00	221,73	271,55	0,88	3,05	1,38
NO_3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	21107,00	21810,21	35196,95	43470,75	85,47	350,65	148,44
F	1,10	1,10	1,77	2,19	0,01	0,02	0,01
SO_4	2840,00	2840,00	4589,31	5677,92	1,13	4,44	1,92
SiO_2	1,20	1,20	1,93	2,39	0,01	0,03	0,01
B	2,00	2,00	3,04	3,53	0,32	0,96	0,48
CO_2	1,74	1,73	2,94	3,68	2,06	3,13	2,32
TDS	38522,41	39225,61	63305,02	78194,22	145,05	592,30	251,24
pH	7,60	7,60	7,62	7,70	5,79	6,10	5,92

Πίνακας 6.6 Πίνακας συγκεντρώσεων ιόντων προϊόντος (πηγή ROSA design tool)

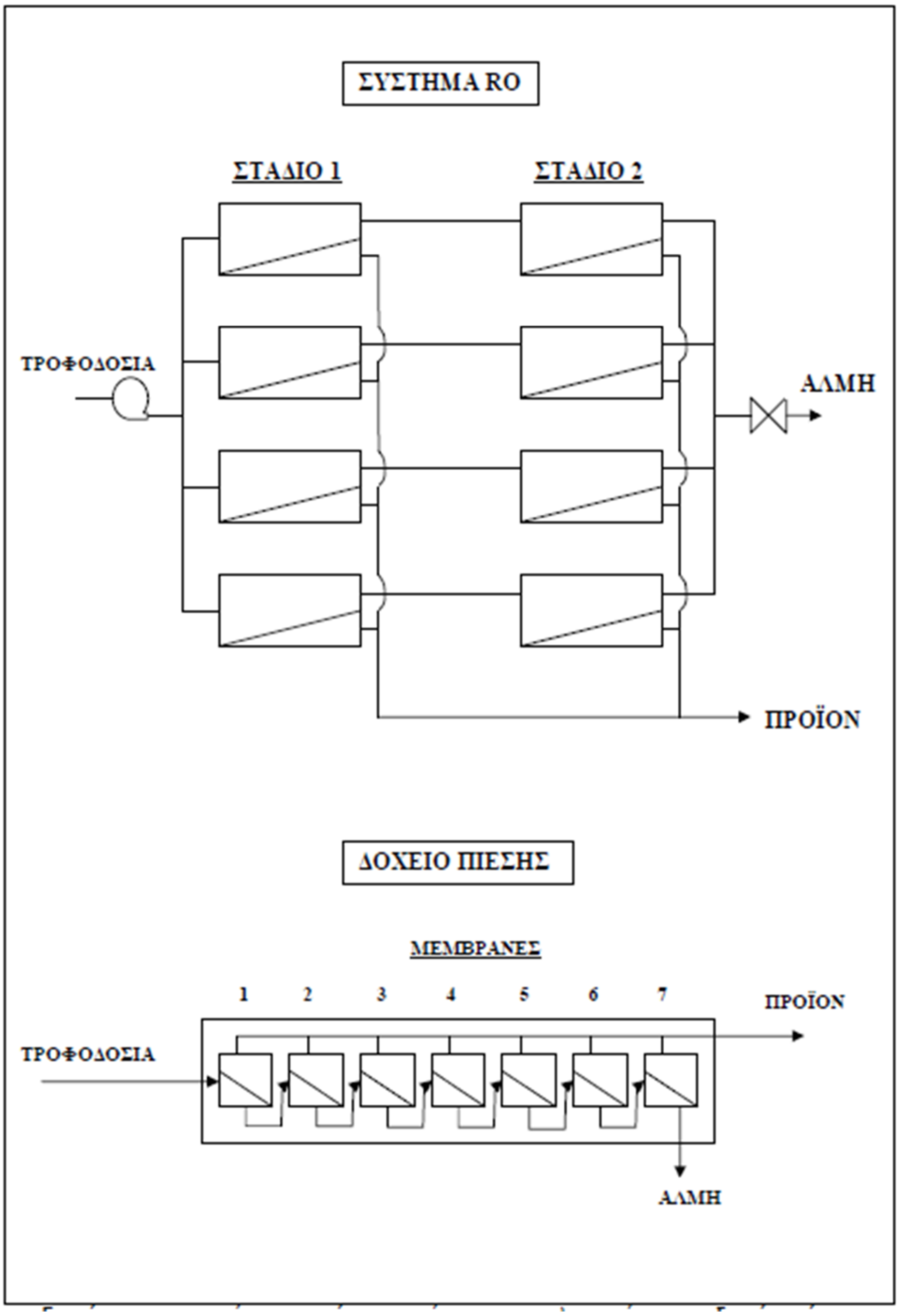
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ		
Ιόντα	Συγκέντρωση στο προϊόν (mg/lt)	Ανώτατη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (*) (mg/lt)
NH_4	0,00	0,5
K	3,24	12
Na	90,27	200
Mg	2,43	50
Ca	0,78	-
Sr	0,04	-
Ba	0,00	-
CO_3	0,00	-
HCO_3	1,38	-
NO_3	0,00	50
Cl	148,44	250
F	0,01	1,5
SO_4	1,92	250
SiO_2	0,01	-
B	0,48	1,0
CO_2	2,32	-
TDS	251,24	1500
pH	5,92	6,5 – 9,5

(*) Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 – ΦΕΚ-892 Β'/11-7-01

Πίνακας 6.7 Πίνακας συγκεντρώσεων ιόντων σύμφωνα με το ΦΕΚ 892

Παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές είναι εντός προδιαγραφών, εξαιρουμένης της τιμής του pH, άρα στο στάδιο της μετεπεξεργασίας θα γίνει διόρθωση της οξύτητας.

Παρακάτω θα δούμε μια εικόνα της εγκατάστασης μαζί με της παραμέτρους που την περιγράφουν:



Σχήμα 6.14. Σκαρίφημα του συστήματος αντίστροφης ώσμωσης και λεπτομέρεια του δοχείου πίεσης (πηγή temak.gr)

Στο πρώτο από τα δυο σχήματα, δηλαδή το σύστημα, φαίνονται η αντλία τροφοδοσίας (υψηλής πίεσης) και τα 2 στάδια που περιλαμβάνουν από 4 δοχεία με 7 μεμβράνες έκαστο. Η άλμη από το πρώτο στάδιο αποτελεί την τροφοδοσία των δοχείων του δευτέρου σταδίου, ενώ το κοινό προϊόν των δοχείων του πρώτου σταδίου αναμιγνύεται με το επίσης κοινό προϊόν του δευτέρου σταδίου και παραλαμβάνεται ως τελικό προϊόν του συστήματος. Η άλμη του δευτέρου σταδίου, κοινή για όλα τα δοχεία, απορρίπτεται.

Στο δεύτερο σχήμα, δηλαδή το δοχείο πίεσης, φαίνεται η εσωτερική διασύνδεση των μεμβρανών, όπου το προϊόν είναι κοινό, ενώ η άλμη του πρώτου είναι η τροφοδοσία του δευτέρου κ.ο.κ.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ 1ΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ						
ΜΕΜΒΡΑΝΗ	ΑΝΑΚΤΗΣΗ	ΡΟΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (m^3/day)	TDS ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (mg/lt)	ΡΟΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (m^3/day)	TDS ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (mg/lt)	ΠΙΕΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (bar)
1	0,08	22,92	86,29	300,00	39225,61	66,66
2	0,07	20,65	102,32	277,08	42462,87	66,27
3	0,07	18,39	122,30	256,43	45873,87	65,92
4	0,07	16,16	147,37	238,05	49407,28	65,61
5	0,06	14,03	178,79	221,89	52994,20	65,34
6	0,06	12,03	218,38	207,86	56558,65	65,09
7	0,05	10,21	267,98	195,83	60019,21	64,86

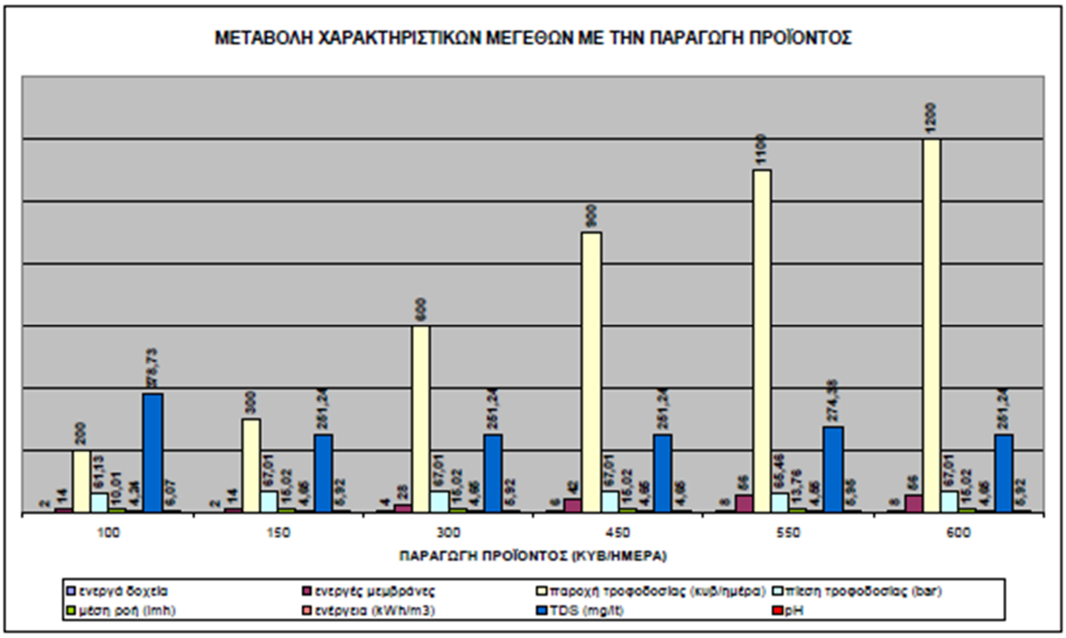
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ 2ΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ						
ΜΕΜΒΡΑΝΗ	ΑΝΑΚΤΗΣΗ	ΡΟΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (m^3/day)	TDS ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (mg/lt)	ΡΟΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (m^3/day)	TDS ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (mg/lt)	ΠΙΕΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (bar)
1	0,05	8,47	334,05	185,62	63305,02	64,30
2	0,04	7,01	415,16	177,15	66314,28	64,11
3	0,03	5,77	516,56	170,15	69028,38	63,92
4	0,03	4,72	642,55	164,38	71431,15	63,75
5	0,02	3,87	796,44	159,66	73525,26	63,58
6	0,02	3,17	982,91	155,79	75331,21	63,43
7	0,02	2,61	1204,12	152,62	76876,34	63,27

Πίνακας 6.8 Παράμετροι 1ου και 2ου σταδίου RO

Στη συνέχεια θα γίνουν υπολογισμοί και για διαφορετικές τιμές της παροχής προϊόντος, που ανταποκρίνονται στις ανάγκες παραγωγής άλλων μηνών, χωρίς να δοθούν όλα τα στοιχεία της ανάλυσης, παρά μόνο ένας συγκριτικός πίνακας των κυριοτέρων μεγεθών.

Ονομαστική παροχή προϊόντος (m^3/day)		100	150	300	450	550	600
Παροχή προϊόντος (m^3/day)		100,02	150,00	299,99	449,99	549,93	599,98
Ενεργά δοχεία	Στάδιο 1	1	1	2	3	4	4
	Στάδιο 2	1	1	2	3	4	4
Ενεργές μεμβράνες (σύνολο)		14	14	28	42	56	56
Παροχή τροφοδοσίας (m^3/day)		200,00	300,00	600,00	900,00	1100,00	1200,00
Πίεση τροφοδοσίας (bar)		61,13	67,01	67,01	67,01	65,46	67,01
Ολική ενεργός επιφάνεια (m^2)		416,19	416,19	832,38	1248,58	1664,77	1664,77
Μέση ροή (lt/m^2hr)		10,01	15,02	15,02	15,02	13,76	15,02
Μέση οσμωτική πίεση (bar)		43,06	43,11	43,11	43,11	43,09	43,11
Ισχύς (KW)		17,69	29,09	58,18	87,26	104,20	116,35
Ενέργεια (KWh/m^3)		4,24	4,65	4,65	4,65	4,55	4,65
TDS (mg/lt)		378,73	251,24	251,24	251,24	274,38	251,24
pH		6,07	5,92	5,92	4,65	5,95	5,92

Πίνακας 6.9 Μεταβολή βασικών παραμέτρων με την παραγωγή προϊόντος



Σχήμα 6.15 Μεταβολές χαρακτηριστικών μεγεθών με την παραγωγή προϊόντος

Όπως είδαμε και στο 5ο Κεφάλαιο στην κατανάλωση του νερού, τα δυο πρώτα πακέτα μεγεθών χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της μονάδας για 9 μήνες του χρόνου (από Σεπτέμβριο εως και Μάιο), τα τρία επόμενα αντιστοιχούν στους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο αντίστοιχα, ενώ το τελευταίο είναι το μέγιστο που μπορεί να πιάσει η αφαλάτωση και ίσως χρειαστεί για μερικές ημέρες του Αυγούστου.

Κεφάλαιο 7
Σχεδιασμός ΑΠΕ για την ενεργειακή κάλυψη της αφαλάτωσης.

7.1 Εισαγωγή

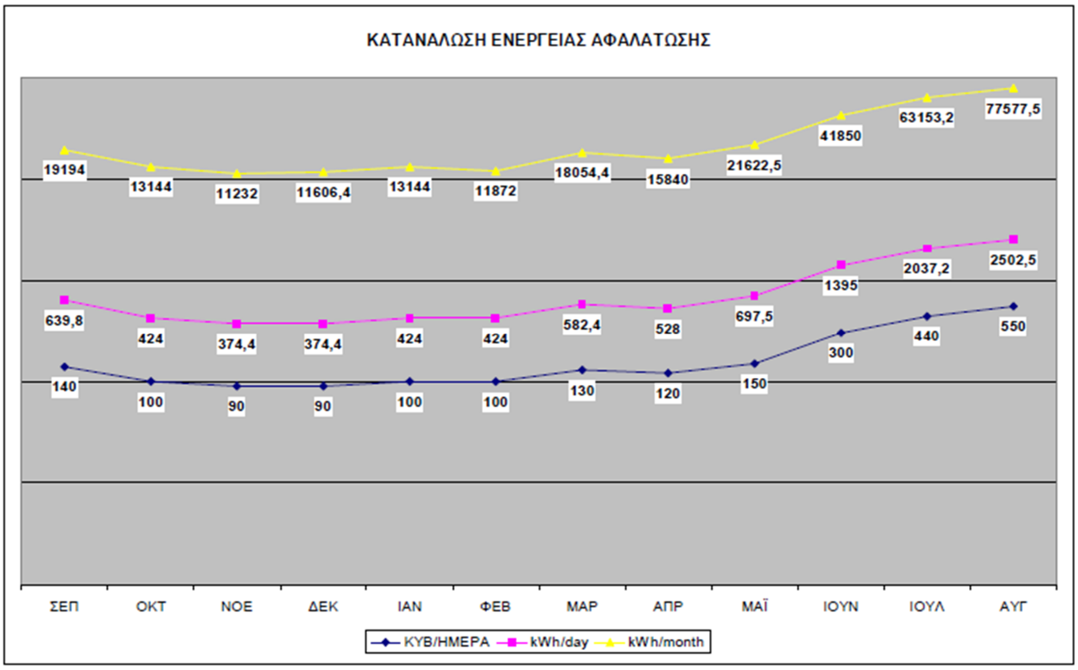
Στις μέρες μας παρατηρείται μια έντονη στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι λόγοι εκτός από περιβαλλοντικοί είναι κι οικονομικής φύσεως μιας κι η τιμή πώλησης της ενέργειας που προέρχεται από ΑΠΕ είναι αρκετά δελεαστική. Έτσι λοιπόν κι η συγκεκριμένη μονάδα θα λειτουργεί με ενέργεια που προέρχεται από ΑΠΕ. Στόχος είναι η χρησιμοποιήση ανεμογεννήτριας, φωτοβολταϊκών και μπαταριών προκειμένου η μονάδα να είναι εντελώς αυτόνομη. Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τα απαραίτητα φορτία που απαιτούνται για τη λειτουργία της μονάδας και πως θα καλυφθούν από ΑΠΕ. Τέλος χρησιμοποιώντας προσομοίωση θα δούμε με τι ποσοστό θα συμμετέχει το κάθε σύστημα ανανεώσιμων πηγών προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση.

7.2 Υπολογισμός απαιτούμενης ενέργειας για την αφαλάτωση

Γνωρίζοντας από προηγούμενο κεφάλαιο την ημερήσια παραγωγή νερού για κάθε μήνα του έτους και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο νερού από την μονάδα αφαλάτωσης, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την συνολική μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και, κατ’επέκταση, την συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΝΕΡΟΥ (m^3/day)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KWh/m^3)	ΗΜΕΡΕΣ/ΜΗΝΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ/ΗΜΕΡΑ (KWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ/ΜΗΝΑ (KWh)
ΣΕΠ	140	4,57	30	639,8	19194
ΟΚΤ	100	4,24	31	424	13144
ΝΟΕ	90	4,16	30	374,4	11232
ΔΕΚ	90	4,16	31	374,4	11606,4
ΙΑΝ	100	4,24	31	424	13144
ΦΕΒ	100	4,24	28	424	11872
ΜΑΡ	130	4,48	31	582,4	18054,4
ΑΠΡ	120	4,4	30	528	15840
ΜΑΙ	150	4,65	31	697,5	21622,5
ΙΟΥΝ	300	4,65	30	1395	41850
ΙΟΥΛ	440	4,63	31	2037,2	63153,2
ΑΥΓ	550	4,55	31	2502,5	77577,5
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΤΟΥΣ : 318.290 KWh ≈ 320 MWh					

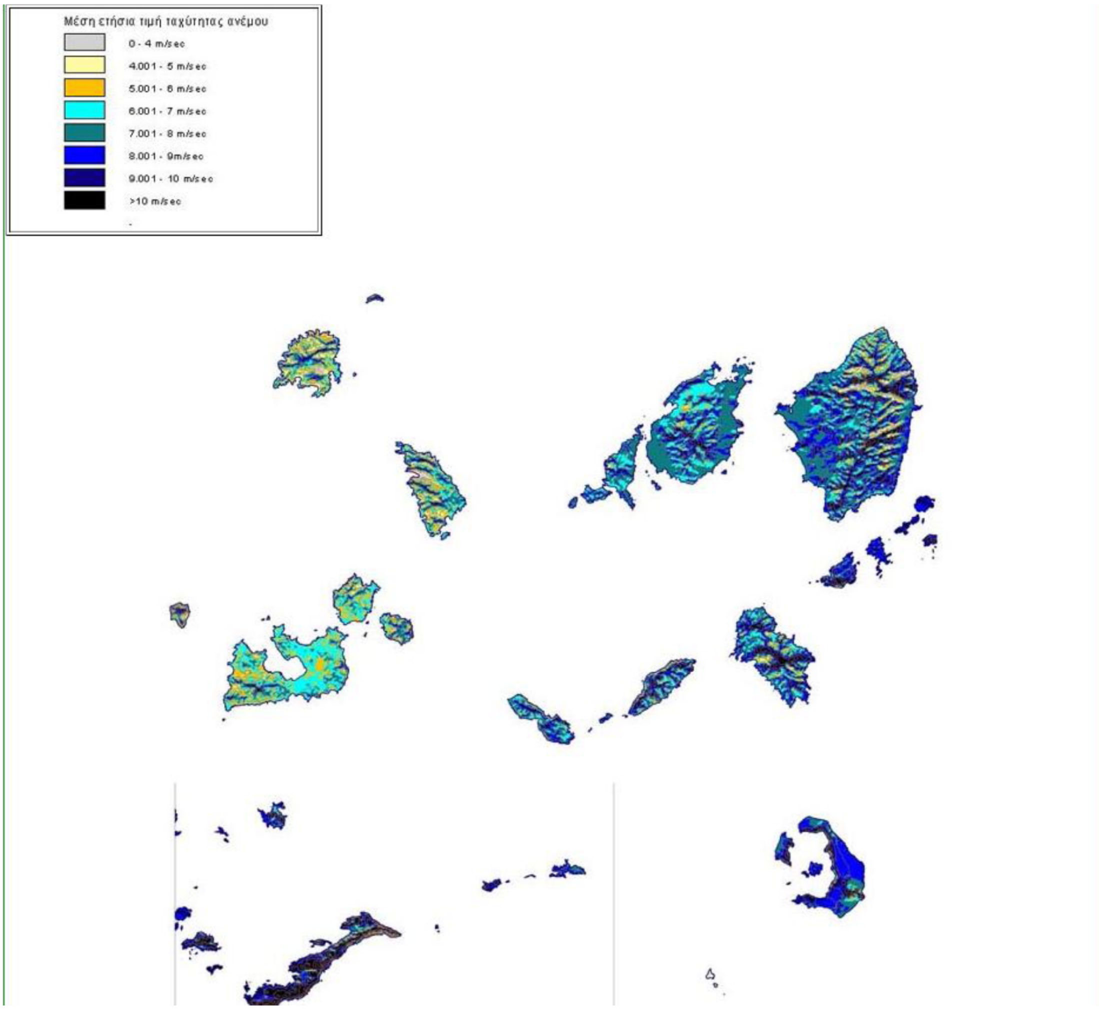
Πίνακας 7.1 Καταναλώσεις ενέργειας από την αφαλάτωση



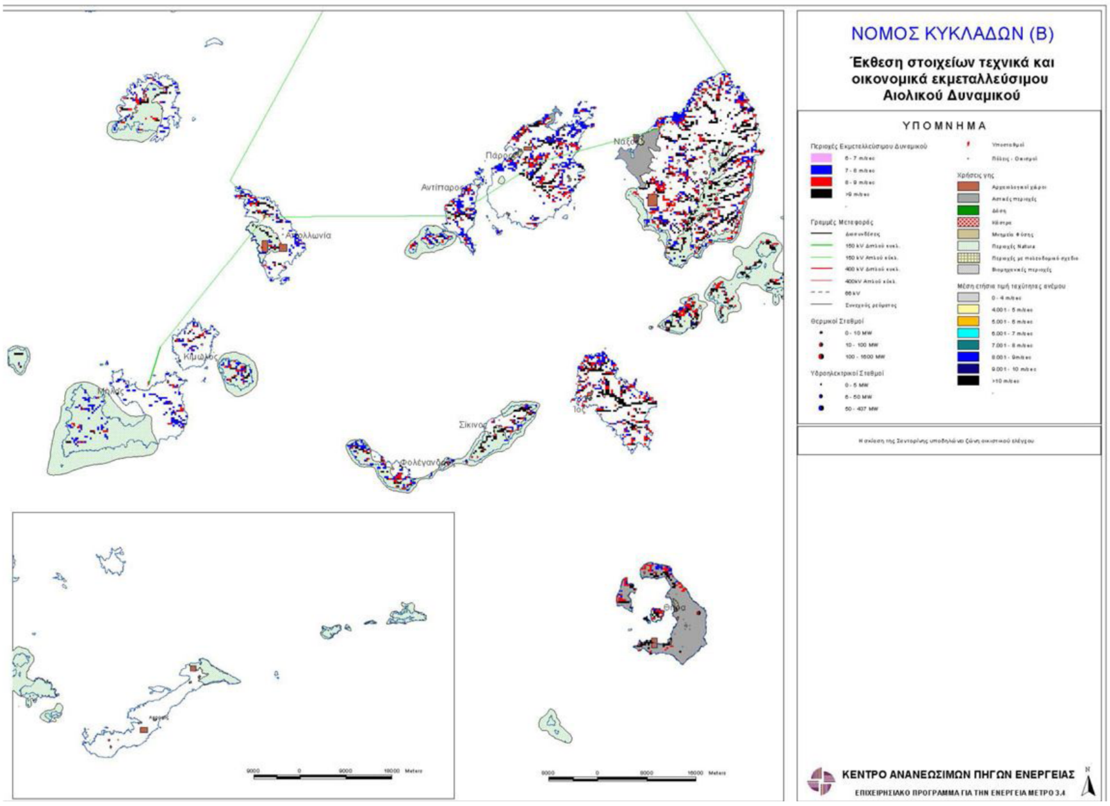
Σχήμα 7.1 Καταναλώσεις ενέργειας από την αφαλάτωση

7.3 Ανεμολογικά δεδομένα – δυνατότητες εγκατάστασης Α/Γ

Μια πρώτη συνολική εικόνα για τις ταχύτητες του ανέμου στη Σίκινο θα πάρουμε από ανεμολογικούς χάρτες, στην προκειμένη περίπτωση από αυτούς του ΚΑΠΕ, που μας δίνουν πληροφορίες τόσο για το αιολικό δυναμικό γενικά, όσο και για το αξιοποιήσιμο.

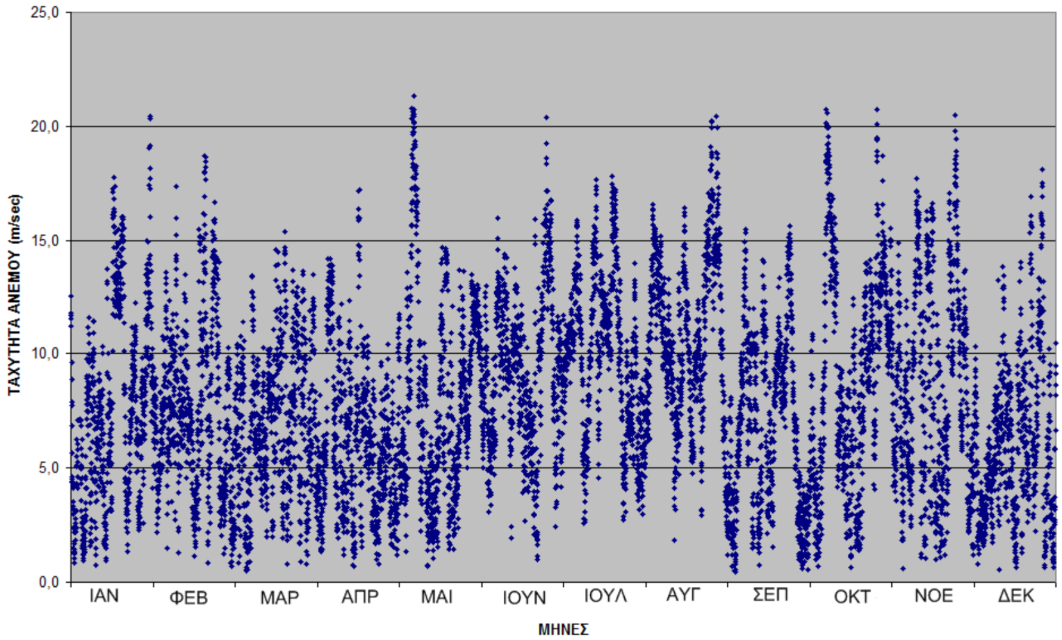


Εικόνα 7.1. *Χάρτης ΚΑΠΕ αιολικού δυναμικού στις νότιες Κυκλάδες (πηγη cres.gr)*



Εικόνα 7.2. Χάρτης ΚΑΠΕ εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού στις νότιες Κυκλάδες (πηγη cres.gr)

Παρατηρώντας τον πρώτο χάρτη διαπιστώνουμε ότι η Σίκινος, όπως και όλα τα νησιά των Κυκλάδων, διαθέτει αξιόλογο αιολικό δυναμικό με ταχύτητες ανέμου από 6 – 9 m/sec σε μεγάλο ποσοστό της επιφάνειας του νησιού. Ο δεύτερος χάρτης, που αφορά το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό, μας πληροφορεί ότι το μεγαλύτερο μέρος του νησιού είναι προστατευόμενοι βιότοποι, σύμφωνα με το ευρωπαϊκό δίκτυο Natura 2000, μιας και στο νησί κάνουν τις φωλιές τους σπάνια θαλασσοπούλια, αγριοπερίστερα και βρίσκει καταφύγιο η μεσογειακή φώκια. Επομένως οι δυνατές θέσεις για την εγκατάσταση Α/Γ περιορίζονται σε πολύ λίγες, που φαίνονται σαν σημεία πάνω στο χάρτη. Ευτυχώς όμως αυτές οι λίγες θέσεις έχουν εξαιρετικό αιολικό δυναμικό, με ταχύτητες ανέμου από 8 μέχρι και πάνω από 10 m/sec. Για τη Σίκινο δεν υπάρχουν ακόμα δημοσιευμένες αξιόπιστες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε τις αντίστοιχες για τη νήσο Σέριφο, λόγω του ότι είναι επίσης νησί των Κυκλάδων και μάλιστα όχι πολύ μακριά από τη Σίκινο. Οι μετρήσεις δίνουν μια μέση ταχύτητα 8,1 m/sec, που ταιριάζει στις ταχύτητες της Σικίνου και έγιναν ανά ώρα, άρα υπάρχουν 8760 τιμές ταχύτητας.

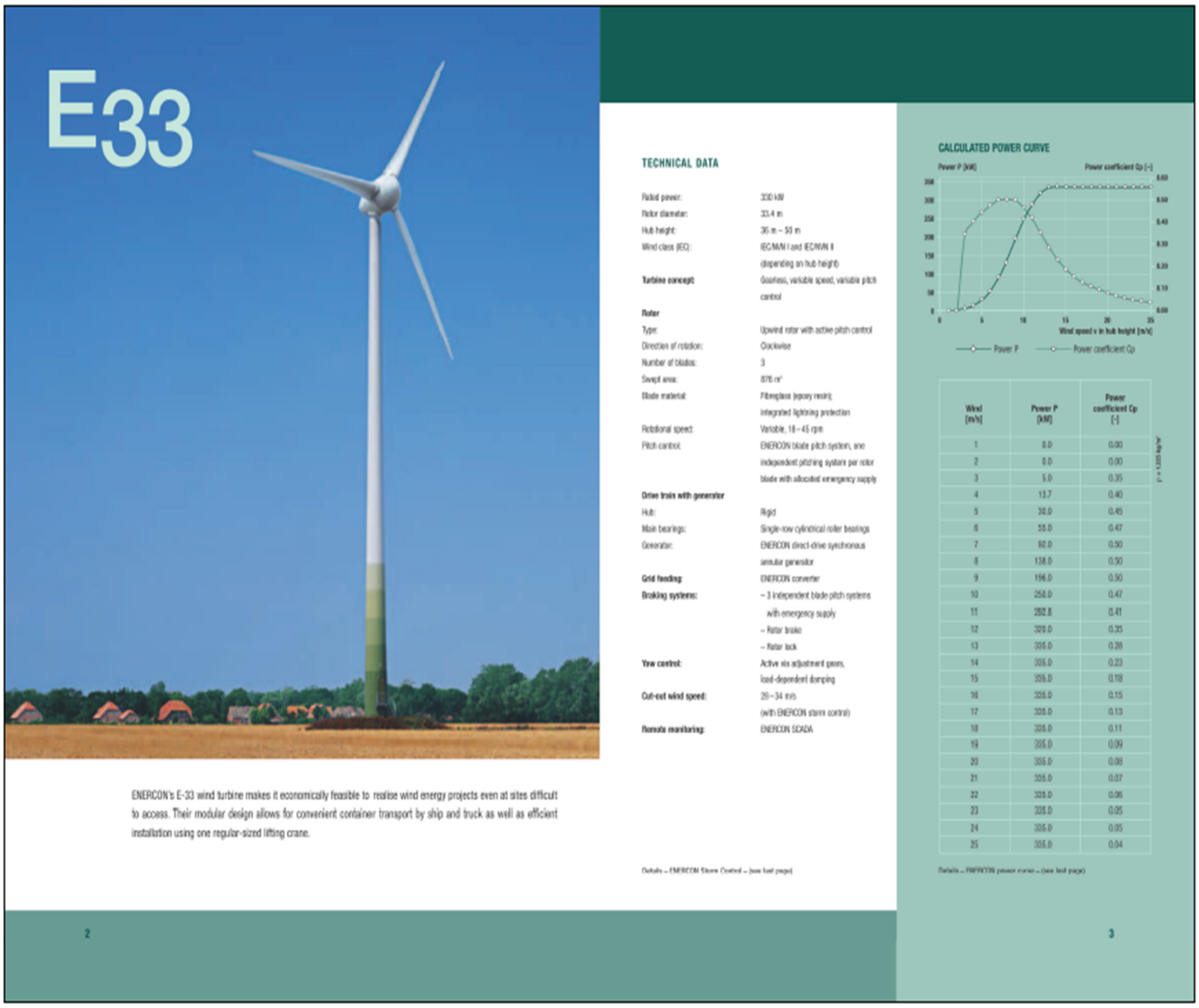


Σχήμα 7.2 Ωριαία κατανομή ταχυτήτων ανέμου στη Σέριφο για ένα έτος (πηγή ΕΜΥ)

Παρατηρούμε ότι οι περισσότερες τιμές ταχύτητας βρίσκονται στο διάστημα 5 – 10 m/sec, ενώ πολλές επίσης βρίσκονται στο διάστημα 10 – 15m/sec. Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, που οι ανάγκες είναι αυξημένες, οι ταχύτητες είναι κατανεμημένες ψηλά, πάνω από 10 m/sec επί το πλείστον, άρα θα υπάρχει αυξημένη παραγωγή από τα αιολικά.

Η ανάλυση των δεδομένων για κάθε μήνα θα γίνει με τη βοήθεια του προγράμματος για Η/Υ WindRose του ΚΑΠΕ, το οποίο στη δωρεάν έκδοσή του, η οποία και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, μπορεί να επεξεργαστεί δεδομένα για χρονική περίοδο 1 μήνα. Επισημαίνεται ότι οι διαθέσιμες μετρήσεις από τη Σέριφο δεν δίνουν πληροφορίες για τη διεύθυνση του ανέμου (αυτό εξάλλου δεν θα είχε ιδιαίτερη σημασία εφόσον πρόκειται για άλλο νησί) και έγιναν σε ύψος 10 μέτρων από το έδαφος. Το WindRose εμπεριέχει στοιχεία από αρκετές ανεμογεννήτριες του εμπορίου, με την αντίστοιχη καμπύλη ισχύος καθεμίας και υπολογίζει παράλληλα και την παραγόμενη ενέργεια, ανάλογα με το προφίλ του ανέμου.

Για τους υπολογισμούς ενέργειας χρησιμοποιήσαμε την ανεμογεννήτρια Ε33 της Γερμανικής εταιρείας ENERCON που έχει τα εξής χαρακτηριστικά:



Wind [m/s]	Power P [kW]	Power coefficient Cp [-]
1	0.0	0.00
2	0.0	0.00
3	5.0	0.35
4	13.7	0.40
5	30.0	0.45
6	55.0	0.47
7	92.0	0.50
8	138.0	0.50
9	196.0	0.50
10	250.0	0.47
11	282.8	0.41
12	320.0	0.35
13	335.0	0.28
14	335.0	0.23
15	335.0	0.18
16	335.0	0.15
17	335.0	0.13
18	335.0	0.11
19	335.0	0.09
20	335.0	0.08
21	335.0	0.07
22	335.0	0.06
23	335.0	0.05
24	335.0	0.05
25	335.0	0.04

Εικόνα 7.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας Ε33

7.4 Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων κι υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από την ανεμογεννήτρια

α) Επιλογή Α/Γ – κατανομή Weibull – μέσος συντελεστής ισχύος

Στη συνέχεια εισάγουμε στο Windrose τα ανεμολογικά δεδομένα ανά μήνα και με δεδομένη την Α/Γ ENERCON E33 με ισχύ 330 KW το πρόγραμμα τα επεξεργάζεται και δίνει πάρα πολλές πληροφορίες και διαγράμματα. Εδώ πρέπει να διευκρινιστεί γιατί επιλέχθηκε η συγκεκριμένη Α/Γ. Σήμερα οι τεράστιες ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως και η τάση για αύξηση του ποσοστού της «πράσινης» ενέργειας έχουν «σπρώξει» τους κατασκευαστές των Α/Γ στην κατασκευή αιολικών μηχανών της τάξης του 1 MW και πάνω, ενώ τα 2 MW δεν είναι πια κάτι ασυνήθιστο. Η ελληνική εμπειρία έχει δείξει ότι οι κάτοικοι των μικρών κοινωνιών αντιδρούν γενικότερα στην εγκατάσταση Α/Γ, λόγω παραπληροφόρησης συνήθως, και ιδιαίτερα στις μεγάλες μηχανές, που προκαλούν δέος με το μέγεθός τους και απαιτούν την εκχέρσωση μεγάλων εκτάσεων για τη μεταφορά και την τοποθέτησή τους. Η Ε33 της

ENERCON είναι απ' τις λίγες εμπορικά διαθέσιμες μικρομεσαίας ισχύος Α/Γ και μάλιστα από μια αξιόπιστη μεγάλη εταιρεία. Με ύψος πύργου περίπου 40 m και διάμετρο πτερωτής 33 m θα γίνει σίγουρα ευκολότερα αποδεκτή απ' τους κατοίκους της Σικίνου, σε σχέση με τις τεράστιες μηχανές άνω του MW με ύψος >60 m και αντίστοιχες διαμέτρους.

Λόγω οικονομίας χώρου θα παρουσιάσουμε μόνο 3 διαγράμματα ανά μήνα, που αφορούν το προφίλ του ανέμου και την δυνάμενη να παραχθεί ενέργεια. Τα διαγράμματα αυτά είναι:

- η κατανομή των ταχυτήτων και η αντίστοιχη καμπύλη Weibull
- η αθροιστική πιθανότητα για την ταχύτητα του ανέμου, η οποία παριστάνει την πιθανότητα να έχουμε άνεμο με ταχύτητα μεγαλύτερη ή ίση αυτής που αντιστοιχεί στη δεδομένη πιθανότητα
- η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας, που προκύπτει απ' την καμπύλη ισχύος της Α/Γ και την κατανομή ταχυτήτων του ανέμου

Στο σημείο αυτό θα υπενθυμίσουμε τις βασικές εξισώσεις για την καμπύλη Weibull.

<u>Κατανομή Weibull</u>

Η καλύτερη περιγραφή της κατανομής των ταχυτήτων του ανέμου για την εύκρατη ζώνη και για ύψη μέχρι 100 m είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Weibull:

$$P(V) = \frac{k}{c}\left[\frac{V}{C}\right]^{k-1} e^{\left\{\left[-\frac{V}{C}\right]^{k}\right\}}$$

η οποία προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας V, βάσει δυο μόνο παραμέτρων, των c και k.

Η μέση ταχύτητα βρίσκεται από τη σχέση:

$$\bar{V} = \int_0^{inf} V \cdot P(V) dV$$

και η παράμετρος c συνδέεται με τη μέση ταχύτητα $\bar{V}$ με τη σχέση:

$$\bar{V} = c \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

όπου Γ(x) είναι η γνωστή συνάρτηση Γάμμα. Για γρήγορους υπολογισμούς και για την περιοχή του Αιγαίου (οπότε η παράμετρος k παίρνει τιμές μεταξύ του 1,3 και του 3,0) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι:

$$c \approx 1{,}1 \cdot \bar{V}$$

Η ετήσια μεταβλητότητα του ανέμου ορίζεται ως:

$$\sigma^2 = \int_0^{inf} [V - \bar{V}]^2 P(V) dV$$

και η δεύτερη παράμετρος k είναι αντιστρόφως ανάλογη της μεταβλητότητας, δηλαδή:

$$\sigma^2 = c^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right)^2 \right]$$

Δηλαδή μεγαλύτερες τιμές του k εκφράζουν μικρότερη διασπορά των ταχυτήτων του ανέμου και συνεπώς μεγαλύτερη συγκέντρωσή τους γύρω από τη μέση τιμή της ταχύτητας.

Η αθροιστική κατανομή συχνοτήτων δίνεται από τη σχέση:

$$P(V \leq V_x) = \int_0^{V_x} P(V) dV = 1 - e^{\left[-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k\right]}$$

και εκφράζει την πιθανότητα να φυσάει άνεμος με ταχύτητα μικρότερη ή ίση της V_x.

Στα επόμενα διαγράμματα υπάρχουν οι καμπύλες της αθροιστικής πιθανότητας, που είναι η συμπληρωματική της αθροιστικής κατανομής συχνοτήτων, δηλαδή έχουν άθροισμα τη μονάδα και εκφράζει την πιθανότητα να φυσάει άνεμος με ταχύτητα μεγαλύτερη ή ίση της V_x. Άρα η αθροιστική πιθανότητα (ή καμπύλη διαρκείας) για την ταχύτητα V_x δίνεται απ' τη σχέση:

$$G(V \geq V_x) = 1 - P(V \leq V_x) = e^{\left[-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k\right]}$$

<u>Μέσος συντελεστής ισχύος</u>

Μια ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος P_0 όταν εργαστεί για χρονικό διάστημα Δt παράγει ενέργεια E(Δt). Μέσος συντελεστής ισχύος της ανεμογεννήτριας (ή της εγκατάστασης) ορίζεται ως

$$\omega(\Delta t) = \frac{E(\Delta t)}{P_o \cdot \Delta t}$$

Άρα ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της ενέργειας Ε(Δt) που παρήγαγε πραγματικά η ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος P_0 σε χρονικό διάστημα Δt σε σχέση με αυτή που θα παρήγαγε αν δούλευε συνεχώς στην ονομαστική της ισχύ. Επομένως δείχνει την ισοδύναμη μηχανή συνεχούς ισχύος ($\omega \cdot P_0$). Προφανώς όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής αυτός, τόσο αποδοτικότερη είναι η εγκατάσταση. Όταν η εξεταζόμενη χρονική περίοδος είναι 1 έτος, ο μέσος συντελεστής ισχύος ονομάζεται και «Συντελεστής Εκμεταλλευσιμότητας», δηλαδή:

$$CF = \frac{E}{E_R} = \frac{\bar{P}}{P_R}$$

όπου

CF: ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας (Capacity Factor).
E_R: η ενέργεια που θα παρήγαγε η ανεμογεννήτρια σε ένα έτος αν δούλευε συνεχώς στην ονομαστική της ισχύ P_R και είναι $E_R = 8760 \cdot P_R$
Ε: η ενέργεια που πραγματικά παράγει η ανεμογεννήτρια κατά τη διάρκεια του έτους
$\bar{P}$: η μέση πραγματική ισχύς της ανεμογεννήτριας που βρίσκεται από τη σχέση:

$$E = 8760 \cdot \bar{P}.$$

Ικανοποιητικές τιμές για το CF είναι από 0,25 ως 0,35 και φανερώνει το πόσο καλό είναι το «ταίριασμα» της Α/Γ με το αιολικό δυναμικό της περιοχής στην οποία εγκαθίσταται.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας που παρουσιάζει τα ηλεκτρικά φορτία που χρειάζονται για να λειτουργήσει η μονάδα αφαλάτωσης αλλά και ολόκληρη η εγκατάσταση. Τα φορτία της υπόλοιπης εγκατάστασης (εκτός της μονάδας αφαλάτωσης) υπολογίστηκαν ως το 10% των φορτίων που απαιτούνται για τη μονάδα αφαλάτωσης.

ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΝΕΡΟΥ (m3/day)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ (kWh/day)	ΗΜΕΡΕΣ /ΜΗΝΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ/ ΗΜΕΡΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (kWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ/ΜΗΝΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (kWh)
Ιανουάριος	100	4,24	31	466,4	14458,4
Φερβρουάριος	100	4,24	28	466,4	13059,2
Μαρτιος	130	4,48	31	640,64	19859,84
Απρίλιος	120	4,4	30	580,8	17424
Μαίος	150	4,65	31	767,25	23784,75
Ιούνιος	300	4,65	30	1534,5	46035
Ιούλιος	440	4,63	31	2240,92	69468,52
Αύγουστος	550	4,55	31	2752,75	85335,25
Σεπτέμβριος	140	4,57	30	703,78	21113,4
Οκτώβριος	100	4,24	31	466,4	14458,4
Νοέμβριος	90	4,16	30	411,84	12355,2
Δεκέμβριος	90	4,16	31	411,84	12767,04
ΣΥΝΟΛΟ					350119

Πίνακας 7.2 Συγκεντρωτικός πίνακας παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας

Β) Εύρεση βέλτιστης λύσης υβριδικού πάρκου

Δεδομένου του ιδιαίτερα αυξημένου κόστους των φωτοβολταϊκών σε σχέση με το κόστος των ανεμογεννητριών θα προπαθήσουμε να βρούμε τη βέλτιστη οικονομική λύση. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιήσουνε το πρόγραμμα HOMER. Αρχικά θα εισάγουμε τα κόστη των ανεμογεννητριών, των φωτοβολταϊκών και των μπαταριών. Έπειτα το πρόγραμμα θα εκτελέσει τον απαραίτητο αριθμό προσομοιώσεων για να βρεί την βέλτιστη οικονομική λύση.

Αφού το πρόγραμμα εκτέλεσε έναν αρκετά μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων κατέληξε στην παρακάτω βέλτιστη λύση:

- 1 ανεμογεννήτρια Energon E33
- 10 KW ισχύς φωτοβολταϊκών Kyocera KC1201
- 52 μπαταρίες Surette 12CS11PS
- 1 converter 200 KW Sirio 12-200

Τα συγκεκριμένα μοντέλα συσκευών επιλέχθηκαν λόγω μεγαλύτερης απόδοσης από τα υπόλοιπα αντίστοιχα μοντέλα της αγοράς. Επίσης λόγω υψηλής απαιτούμενης ισχύος για το σύστημα μας τα φωτοβολταϊκά πάνελ θα συνδεθούν σε σειρά ώστε να μας δίνουν ρεύμα DC 48 volt κι εν συνεχεία οι σειρές θα συνδεθούν παράλληλα. Ομοίως θα γίνει και με τις μπαταρίες.

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε για κάθε μήνα του έτους τις kWh που παράγονται από την ανεμογεννήτρια, καθώς επίσης και τις kWh που παράγονται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Τέλος θα βρούμε την διαφορά παραγώμενης και καταναλισκώμενης ενέργειας για κάθε μήνα του έτους. Αυτή αντιπροσωπεύει την περίσσεια της ενέργειας που έχει παραχθεί και διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ προς πώληση. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύονται τα έσοδα της επιχείρησης.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την μηνιαία παραγωγή ενέργειας από την ανεμογεννήτρια.

Ανεμολογικά Δεδομένα-Παραγωγή Ενέργειας						
	Μέση ταχύτητα ανέμου	Κατανάλωση ενέργειας (KWh)	Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (KWh)	Μέσος συντελεστής ισχύος ω(Δt)	Παράμετροι weibull	
					k	c (m/s)
Ιανουάριος	7,5	14458,4	118851	0,48	1,89	8,6
Φεβρουάριος	7,8	13059,2	113287	0,51	2,27	8,9
Μάρτιος	6,9	19859,84	110293	0,45	2,43	7,8
Απρίλιος	6,2	17424	83691	0,35	1,94	7
Μάιος	8,1	23784,75	127196	0,52	1,84	9,1
Ιούνιος	9,3	46035	162880	0,69	3,03	9,4
Ιούλιος	9,9	69468,52	182998	0,74	3,22	11,1
Αύγουστος	10,7	85335,25	194350	0,79	3,42	12
Σεπτέμβριος	6,8	21113,4	107813	0,45	1,9	7,7
Οκτώβριος	8,9	14458,4	145336	0,59	1,81	10,3
Νοέμβριος	8,7	12355,2	136451	0,57	1,85	9,9
Δεκέμβριος	6	12767,04	82733	0,34	1,69	6,7

Πίνακας 7.3 Ανεμολογικά δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας

Η παραγωγή ενέργειας από την Α/Γ όπως έγινε αφορά ιδανικές συνθήκες, χωρίς να ληφθούν υπόψη καταναλώσεις από βοηθητικές λειτουργίες (φωτισμός, θέρμανση κλπ) του αιολικού πάρκου και της μονάδας αφαλάτωσης, μη διαθεσιμότητα των μονάδων λόγω βλάβης/συντήρησης και απώλειες μεταφοράς δικτύου. Για μια ρεαλιστικότερη προσέγγιση θα κάνουμε τις εξής παραδοχές :

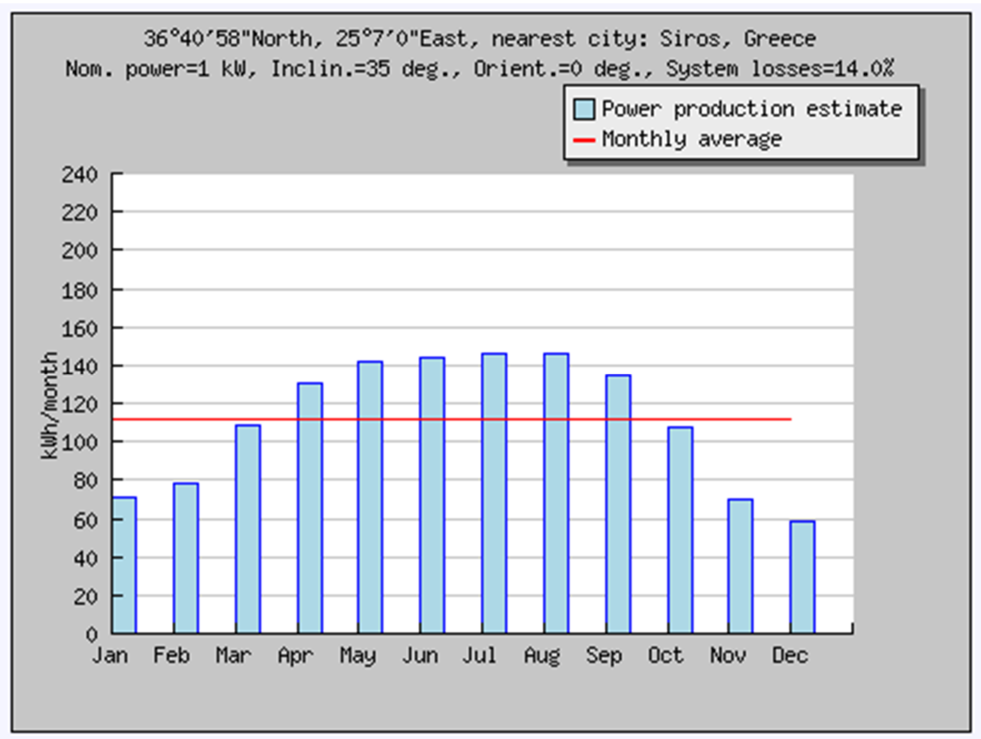
- συντελεστής διαθεσιμότητας αιολικού πάρκου 95 %
- απώλειες δικτύου 3 %
- βοηθητικές λειτουργίες 5 %
- απώλειες λόγω ομόρρου 10 %
- ποσοστό απορρόφησης ενέργειας από αιολικά (λόγω απόρριψης τις ώρες χαμηλής ζήτησης) 80 %

Δηλαδή στην παραγόμενη ενέργεια μπαίνει ένας γενικός συντελεστής εκμετάλλευσης ίσος με: 0,95 x 0,97 x 0,95 x 0,90 x 0,80 = 0,63. Τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε την καθαρή παραγόμενη ενέργεια, η οποία διατίθεται αυτούσια στην κατανάλωση, και να βρούμε τον αριθμό των Α/Γ που απαιτούνται για να καλύψουν τη ζήτηση.

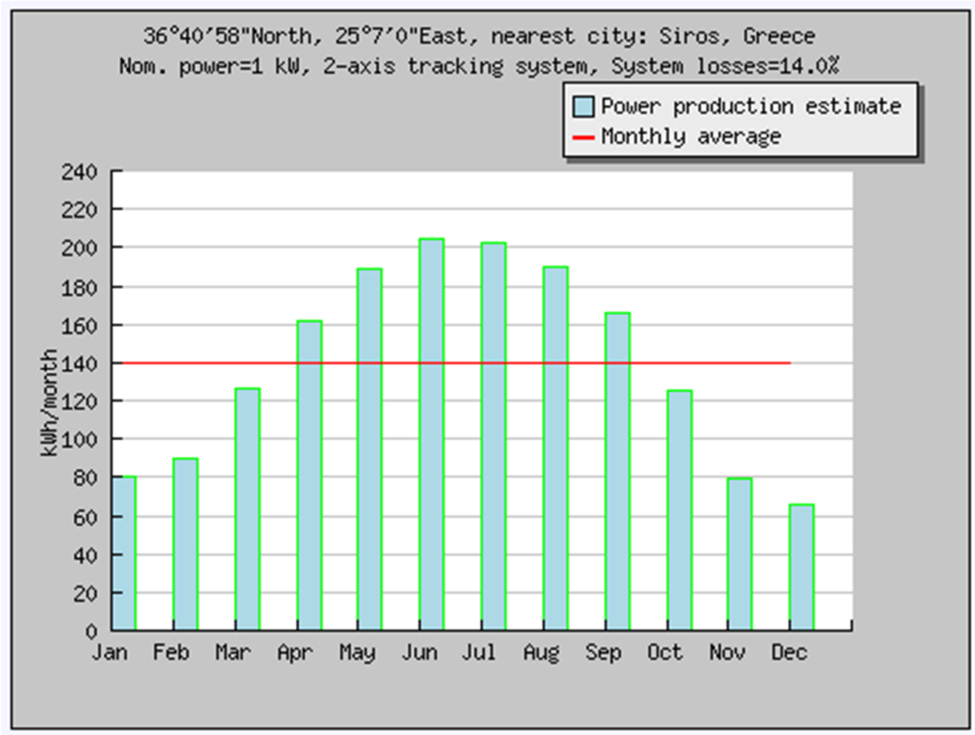
Μήνες	Κατανάλωση ενέργειας (KWh)	Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (KWh)
Ιανουάριος	14458,4	74879,91
Φεβρουάριος	13059,2	71370,81
Μάρτιος	19859,84	69484,59
Απρίλιος	17424	52725,33
Μάιος	23784,75	80133,48
Ιούνιος	46035	102614,4
Ιούλιος	69468,52	115288,74
Αύγουστος	85335,25	122440,5
Σεπτέμβριος	21113,4	67922,19
Οκτώβριος	14458,4	91561,68
Νοέμβριος	12355,2	85964,13
Δεκέμβριος	12767,04	52121,79

Πίνακας 7.4 Παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας από τη μονάδα αφαλάτωσης

Χρησιμοποιώντας την ιστοσελίδα PVGIS κι αφού δώσουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες της Σικίνου και την ισχύ των φωτοβολταϊκών το πρόγραμμα μας υπολογίζει την μηνιαία απόδοση των φωτοβολταϊκών. Αυτή φαίνεται στα διαγράμματα και τον ακόλουθο πίνακα :



Σχήμα 7.3. Διάγραμμα απόδοσης φωτοβολταϊκών χωρίς ιχνηλάτηση (πηγή PVGIS)



Σχήμα 7.4. Διάγραμμα απόδοσης φωτοβολταϊκών με ιχνηλάτηση (πηγή PVGIS)

Συγκρίνοντας τα δύο προηγούμενα διαγράμματα παρατηρούμε οτι χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά με ιχνηλάτηση έχουμε μέση τιμή παραγώμενης μηνιαίας ισχύος ίση με 140 KWh, ενώ με χρήση φωτοβολταϊκών χωρίς ιχνηλάτηση η αντίστοιχη μέση τιμή είναι ίση με 110 KWh. Εμείς θα προτιμήσουμε την χρήση φωτοβολταϊκών με ιχνηλάτηση δύο αξόνων. Πιο αναλυτικά φαίνονται τα στοιχεία των δυο προηγούμενων διαγραμμάτων στον παρακάτω πίνακα. Επίσης καταγράφεται η συνολική ετήσια παραγωγή ισχύος και στις δύο περιπτώσεις ως εξής :

- με ιχνηλάτηση: 1680 KWh/year
- χωρίς ιχνηλάτηση: 1337 KWh/year

PV electricity generation for: Nominal power=1.0 kW, System losses=14.0%				
	Inclin.=35 deg., Orient.=0 deg.		2-axis tracking system	
Month	Production per month (kWh)	Production per day (kWh)	Production per month (kWh)	Production per day (kWh)
Jan	71	2.3	81	2.6
Feb	79	2.8	90	3.2
Mar	109	3.5	127	4.1
Apr	130	4.3	162	5.4
May	142	4.6	189	6.1
Jun	144	4.8	204	6.8
Jul	146	4.7	202	6.5
Aug	146	4.7	189	6.1
Sep	135	4.5	166	5.5
Oct	108	3.5	126	4.1
Nov	70	2.3	79	2.6
Dec	59	1.9	66	2.1
Yearly average	**111**	**3.7**	**140**	**4.6**
Total yearly production (kWh)		**1337**		**1680**

Πίνακας 7.5 Μηνιαία απόδοση φωτοβολταϊκών (πηγή PVGIS)

Στη συνέχεια αθροίζουμε την παραγώμενη ισχύ από την Α/Γ και τα φωτοβολταϊκά και βρίσκουμε την συνολική παραγώμενη ισχύ από το υβριδικό πάρκο. Κατόπιν αφαιρούμε από αυτήν την καταναλισκόμενη ισχύ και βρίσκουμε την περίσσεια ισχύος που θα πωληθεί στη ΔΕΗ. Πιο αναλυτικά τα παραπάνω φαίνονται στον κάτωθι πίνακα:

Μήνες	Κατανάλωση ενέργειας (KWh)	Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (KWh)	Παραγωγή ενέργειας από φ/β (KWh)	Συνολική παραγώμενη ισχύς (KWh)	Περίσσεια ενέργεια (KWh)
Ιανουάριος	14458,4	74879,91	81	74960,91	60502,51
Φεβρουάριος	13059,2	71370,81	90	71460,81	58401,61
Μάρτιος	19859,84	69484,59	127	69611,59	49751,75
Απρίλιος	17424	52725,33	162	52887,33	35463,33
Μάιος	23784,75	80133,48	189	80322,48	56537,73
Ιούνιος	46035	102614,4	204	102818,4	56783,4
Ιούλιος	69468,52	115288,74	202	115490,74	46022,22
Αύγουστος	85335,25	122440,5	189	122629,5	37294,25
Σεπτέμβριος	21113,4	67922,19	166	68088,19	46974,79
Οκτώβριος	14458,4	91561,68	126	91687,68	77229,28
Νοέμβριος	12355,2	85964,13	79	86043,13	73687,93
Δεκέμβριος	12767,04	52121,79	66	52187,79	39420,75

Πίνακας 7.6 Συγκεντρωτικός πίνακας παραγωγής-καταναλωσης ενέργειας

γ) Ορισμένα χαρακτηριστικά της Α/Γ ENERCON E33

Η συγκεκριμένη Α/Γ δεν έχει κιβώτιο ταχυτήτων, πράγμα που συνεπάγεται λιγότερες μηχανικές απώλειες, χαμηλότερη στάθμη θορύβου, λιγότερη συντήρηση και λίπανση. Η γεννήτρια είναι σύγχρονη και στρέφεται απευθείας απ' τον ρότορα με τα πτερύγια. Αποδίδει την ονομαστική της ισχύ μόλις στις 46 RPM.

Η E33 διαθέτει πτερύγια με λειτουργία μεταβλητού βήματος, ενώ η ίδια μπορεί να λειτουργήσει με μεταβλητές στροφές (18 – 56 RPM). Επίσης διαθέτει το «Enercon grid management system», δηλαδή ένα σύστημα που της επιτρέπει να διοχετεύει την παραγόμενη ενέργεια στο δίκτυο παρακολουθώντας την τάση και τη συχνότητά του και να προσαρμόζει ανάλογα τη λειτουργία της, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη απορρόφηση ισχύος.

Πιο συγκεκριμένα παίρνει το ρεύμα από τη γεννήτρια και το μετατρέπει σε ημιτονικό χωρίς υψηλές αρμονικές (λόγω παρουσίας βαθυπερατού φίλτρου) και μετά το διοχετεύει στο δίκτυο μέσω μετασχηματιστή. Υπάρχει ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου που κάθε στιγμή συγκρίνει το παραγόμενο ρεύμα με το ρεύμα αναφοράς και κάνει τις κατάλληλες διορθώσεις. Μπορούν να τεθούν εξαρχής τα μέγιστα και ελάχιστα όρια για την τάση και τη συχνότητα του δικτύου, ώστε να αποσυνδεθεί αυτόματα η Α/Γ σε περίπτωση παραβίασής τους. Η αποσύνδεση γίνεται άμεσα, σε χρόνο 10 ms περίπου, οπότε δεν δημιουργούνται αιχμές τάσης. Επίσης σε περίπτωση μεγάλης ικανότητας παραγωγής ισχύος (υψηλός άνεμος) αλλά μικρού φορτίου (π.χ. νυχτερινές ώρες), το παραγόμενο ρεύμα μειώνεται αυτόματα για να μην αυξηθεί υπερβολικά η τάση, άρα η Α/Γ δεν βγαίνει απ' το δίκτυο, παρά λειτουργεί σε χαμηλότερο φορτίο.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η γωνία φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος παραμένει σταθερή σε όλο το φάσμα της ισχύος (0 – 300 KW) με το $\cos\phi = 1$. Αυτό μας εξασφαλίζει ότι παρέχεται στο δίκτυο μόνο πραγματική ισχύς και όχι άεργος. Πάντως, εάν είναι επιθυμητό, μπορεί να επιλεγεί και το $\cos\phi \neq 1$.

Κεφάλαιο 8
Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας Μονάδας Αφαλάτωσης

8.1 Εισαγωγή

Όλες οι σύγχρονες βιομηχανικές μονάδες στηρίζουν τον έλεγχο και τη λειτουργία τους σε αλγόριθμους οι οποίοι εκτελούνται από υπολογιστικό σύστημα. Τα συστήματα αυτού του είδους ονομάζονται SCADA (*supervisory control and data acquisition*) και λειτουργούν ως εξής: ένα σύνολο αισθητήρων και μετρητών συνδέεται με το υπολογιστικό σύστημα το οποίο τρέχει τον αλγόριθμο. Αναλόγως των δεδομένων που διαβάζει, ο αλγόριθμος είναι προγραμματισμένος στο να προβαίνει στις ανάλογες ενέργειες. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η βέλτιστη διαχείρηση ενέργειας της μονάδας.

8.2 Στρατηγικές Ελέγχου

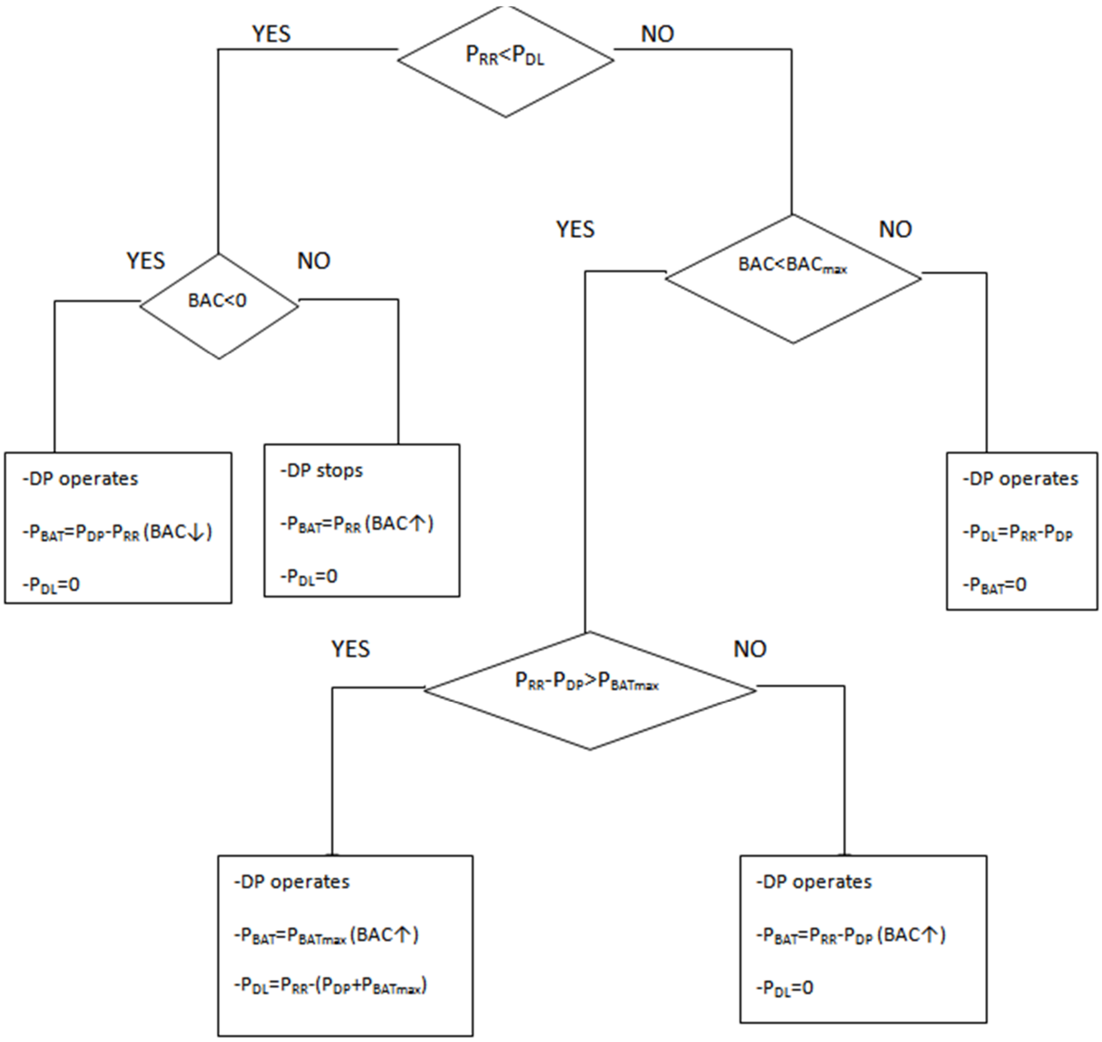
Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο, από τις πάρα πολλές, πιθανές στρατηγικές ελέγχου και λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης (Μ.Α.), εφαρμόζονται και αξιολογούνται. Η μια ονομάζεται βασική στρατηγική και η άλλη στρατηγική πρόγνωσης.

Ο στόχος της βασικής στρατηγικής είναι η λειτουργία της μονάδας για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα όταν η ενέργεια των ανανεώσιμων πηγών ή η αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες το επιτρέπουν. Βασίζεται στο στοιχειώδες ενεργειακό ισοζύγιο σε κάθε βήμα της προσομοίωσης. Όταν η παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια και τα φωτοβολταϊκά ισχύς ξεπερνά τις απαιτήσεις της Μ.Α., το περίσσευμα χρησιμοποιείται για την φόρτιση των μπαταριών, ενώ σε περίπτωση που είναι ήδη φορτισμένες, η πλεονάζουσα ισχύς απορρίπτεται. Αν η ισχύς της ανεμογεννήτριας και των φωτοβολταϊκών δεν φτάνει για να καλυφθούν οι ανάγκες της Μ.Α., η απαιτούμενη ισχύς παρέχεται από τις μπαταρίες, αλλιώς σταματά η λειτουργία της μονάδας.

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

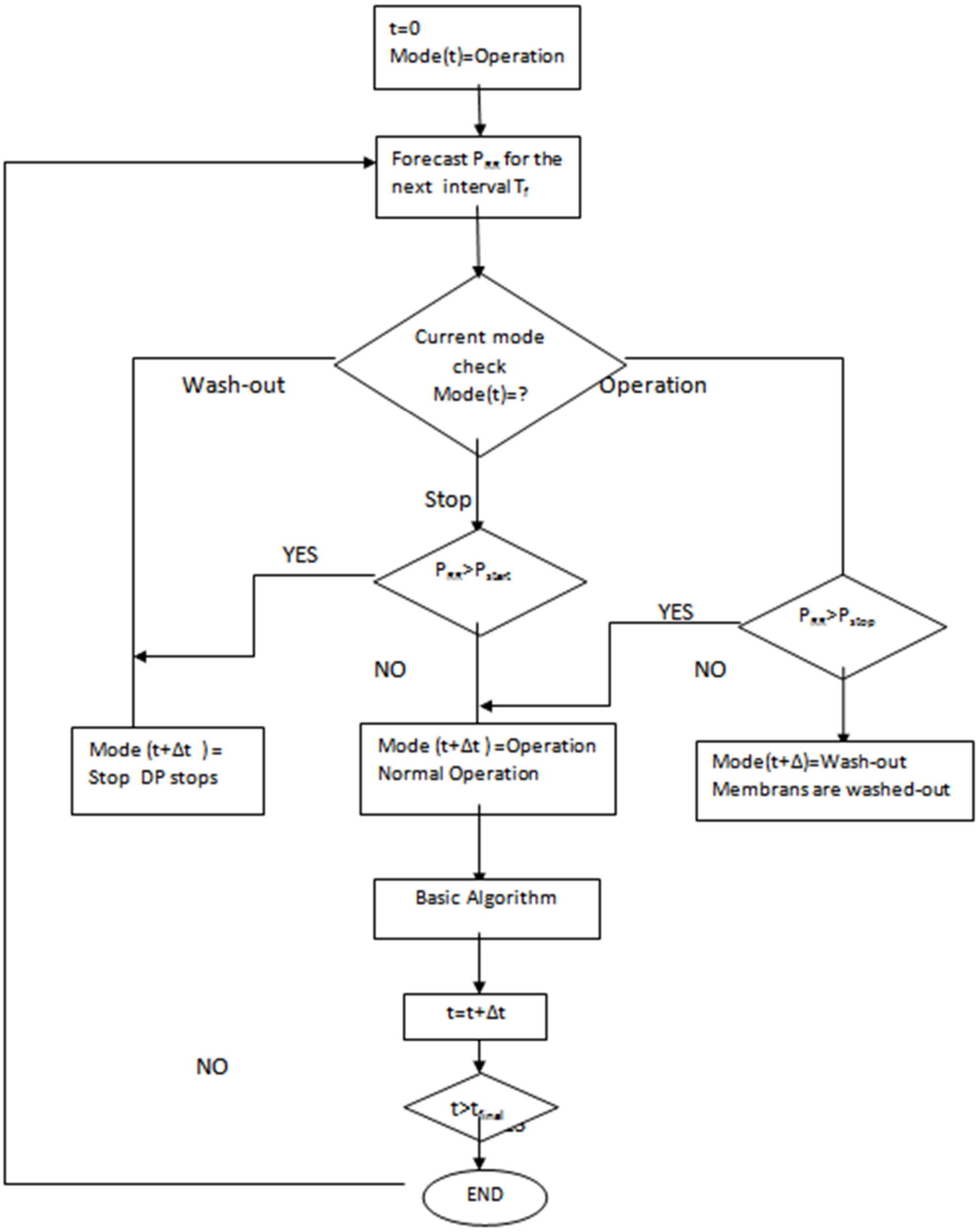
Γενικά, η επιλογή μιας από τις δυο παραπάνω στρατηγικές έχει να κάνει με την επιλογή είτε της λειτουργίας της μονάδας για κάποιο ελάχιστο χρόνο κάθε μέρα είτε τον καθαρισμό της μονάδας κάθε φορά που ετοιμάζεται να κλείσει. Άρα δεν μπορούμε να επιλέξουμε κάποια στρατηγική με απόλυτα κριτήρια. Και οι δύο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

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ



Σχήμα 8.1 Αλγόριθμος βασικής στρατηγικής

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ



Σχήμα 8.2 Αλγόριθμος στρατηγικής πρόγνωσης

Οι μεταβάσεις μεταξύ της Λειτουργίας, της Διακοπής και του Πλυσίματος αποφασίζονται στην αρχή κάθε βήματος, με βάση την πρόβλεψη της ισχύος από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η λειτουργία ξεκινά και πάλι όταν η πρόβλεψη ξεπεράσει το κατώφλι ισχύος Pstart. Αυτό είναι πάντα μεγαλύτερο από το Pstop, ώστε να δημιουργηθεί η απαραίτητη υστέρηση για να αποφευχθεί η διαδοχική εκκίνηση και διακοπή της λειτουργίας. Παρακάτω εξηγούνται όλες οι μεταβλητές :

BAC: Διαθέσιμη ικανότητα μπαταριών (Battery Available Capacity)

BAC_{max}: Maximum BAC

BAC_{min}: Minimum BAC

P_{RR}: Ισχύς που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Renewal Resourses)

T_f: Το επόμενο χρονικό διάστημα που θα προβλεφθεί

P_{BAT}: Ισχύς που εξέρχεται από τις μπαταρίες (θετική όταν έχουμε εκφόρτιση)

P_{BATmax}: Μέγιστη φόρτιση και εκφόρτιση ισχύος των μπαταριών

P_{DL}: Ισχύς που απορροφάται από το φορτίο απόρριψης (Power absorbed by the Dump Load)

P_{DP}: Ισχύς που απορροφάται από το φορτίο της μονάδας αφαλάτωσης (Power absorbed by the Desalination Plant (DP) load)

P_{start}: Ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς για να τεθεί σε λειτουργία η μονάδα αφαλάτωσης

P_{stop}: Από αυτήν την τιμή της ισχύος και κάτω η μονάδα αφαλάτωσης σταματά να λειτουργεί

SOC: Ποσοστό φόρτισης μπαταριών (State Of Charge of batteries)

SOC_{max}: Μέγιστος επιτρεπόμενος βαθμός φόρισης μπαταριών

SOC_{min}: Ελάχιστος επιτρεπόμενος βαθμός φόρτισης μπαταριών

Κεφάλαιο 9
Οικονομική ανάλυση έργου

9.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα διενεργήσουμε μια οικονομική ανάλυση του έργου .Θα υπολογίσουμε το κόστος των εξαρτημάτων της αφαλάτωσης, τα κόστη για την ανεμογεννήτρια και την εγκατάσταση της, καθώς και τα κόστη των φωτοβολταϊκών και την εγκατάσταση τους.Επίσης θα υπολογίσουμε και τα κόστη για την λειτουργία της μονάδας(προσωπικό, προγράμματα διαχείρισης ενέργειας από ΑΠΕ κτλ). Τέλος θα κάνουμε μια ανάλυση χρησιμοποιώντας τον εσωτερικό συντελεστή απόδοσης και την καθαρή παρούσα αξία για να δούμε σε τι τιμή θα διαμορφωθεί η πώληση του αφαλατωμένου νερού.

9.2 Διάρκεια ζωής της επένδυσης

Η διάρκεια ζωής της επένδυσης καθορίζεται ως επί το πλείστον από τη διάρκεια της τεχνικής ζωής που δίδουν οι κατασκευαστές. Αυτό συμβαίνει διότι το προϊόν που παράγεται δεν χάνει την οικονονική του χρησιμότητα, με συνέπεια η επένδυση να έχει ωφέλιμη ζωή ίση με την τεχνική ζωή που δίδουν οι κατασκευαστές. Στην περίπτωση μας η διάρκεια αυτή προσδιορίζεται από τη συσκευή που έχει τη μικρότερη διάρκεια ζωής. Συνεπώς η διάρκεια ζωής της μονάδας αφαλάτωσης με ΑΠΕ καθορίζεται από την μονάδα αφαλάτωσης και από την ανεμογεννήτρια που έχουν διάρκεια ζωής 20 χρόνια , ενώ τα φ/β έχουν 30 χρόνια.

Πολλές φορές όμως η διάρκεια ζωής δεν είναι μόνο θέμα τεχνικό αλλά και οικονομικό. Έτσι σε πολλές επενδύσεις η οικονομική ζωή ή ωφέλιμη ζωή είναι πολύ μικρότερη από την τεχνική ζωή της επένδυσης.

9.3 Αρχική δαπάνη της επένδυσης

Η αρχική δαπάνη της επένδυσης είναι τα χρήματα που ξοδεύονται μέχρι η επένδυση να είναι έτοιμη προς χρησιμοποίηση.Η δαπάνη αυτή περιλαμβάνει:

- Το κόστος εγκατάστασης

- Εκροές χρηματικών μέσων απαραίτητες μετά την απόκτηση της μονάδας, της Α/Γ, των φ/β οι οποίες δεν αποτελούν ούτε κόστος ούτε έξοδο.Πρόκειται κυρίως για την αύξηση των αναγκών σε κεφάλαιο κίνησης.
- Εκροές μετά την απόκτηση, οι οποίες χαρακτηρίζονται σαν έξοδα

Η αρχική δαπάνη στο συγκεκριμένο επενδυτικό πρόγραμμα περιλαμβάνει τέσσερις ομάδες κόστους:

1. Το κόστος της μονάδας αφαλάτωσης
2. Το κόστος των Α/Γ
3. Το κοστος των φ/β
4. Το κόστος ανάπτυξης βοηθητικών εγκαταστάσεων

9.3.1 Κόστος μονάδας αφαλάτωσης

Αυτό το κόστος περιλαμβάνει την αγορά μονάδας αφαλάτωσης η οποία αποτελείται από τα επιμέρους τμήματα:

9.3.1.1 Άντληση νερού από την θάλασσα

Προκειμένου να μπορεί να αντληθεί νερό από τη θάλασσα πρέπει να κατασκευαστεί έργο υδροληψίας από την θάλασσα προκειμένου να εξασφαλιστεί η παροχή του εργοστασίου αφαλάτωσης.Η μέγιστη δυναμικότητα των αντλιών θα πρέπει να είναι 25m^3/h ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη παροχή των 550m^3/ημέρα την περίοδο του Αυγούστου.

9.3.1.2 Προχλωριωτής

Πριν την επεξεργασία του, το θαλασσινό νερό πρέπει να καθαριστεί από τους διάφορους μικροοργανισμούς που περιέχει. Για τον σκοπό αυτό γίνεται υπάρχει ο προχλωριωτής, ο οποίος αποτελείται από ένα αποθηκευτικό δοχείο διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου, με δοσομετρική αντλία ικανής παροχής. Η έγχυση του διαλύματος θα γίνεται στον αγωγό τροφοδοσίας δια μέσου φίλτρων άμμου.

9.3.1.3 Φίλτρα άμμου

Η φίλτρανση των αιωρούμενων σωματιδίων επιτυγχάνεται με συστοιχία φίλτρων για τη συγκράτηση στερεών άμμου κτλ, των οποίων η λειτουργία θα είναι κυκλική για να υπάρχει αρκετός χρόνος για τον καθαρισμό τους, που θα γίνεται μέσω αντλίας πλύσης. Επίσης τα φίλτρα φέρουν σύστημα αυτόματης έκπλυσης τους, με νερό και αέρα ελεγχόμενα με αυτοματισμούς και αισθητήρια όργανα.

9.3.1.4 Φίλτρα ενεργού άνθρακα

Τα φίλτρα ενεργού άνθρακα προορίζονται για την απομάκρυνση του υπολειμματικού χλωρίου από το νερό τροφοδοσίας της RO, αλλα και την απομάκρυνση οσμών από το νερό άντλησης.

9.3.1.5 Δοσομετρητής θειικού οξέως

Αποτελείται από αποθηκευτικό δοχείο διαλύματος θειικού οξέως με δοσομετρική αντλία για τη ρύθμιση του pH του νερού τροφοδοσίας της μονάδας RO για την αποφυγή επικαθύσεων ανθρακικού ασβεστίου. Η έγχυση διαλύματος θα γίνεται στην είσοδο της μονάδας RO.

9.3.1.6 Δοσομετρητής αντικαθαλωτικού διαλύματος

Αποτελείται από αποθηκευτικό δοχείο αντικαθαλωτικού διαλύματος με δοσομετρική αντλία για την αποφυγή επικαθύσεων αλάτων στη μονάδα RO. Η έγχυση του διαλύματος θα γίνεται στην είσοδο της μονάδας RO.

9.3.1.7 Φίλτρα ασφαλείας

Τα φίλτρα ασφαλείας τύπου φυσιγγίου χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση αιωρούμενων σωματιδίων. Τοποθετούνται πρίν την αναρρόφηση της αντλίας υψηλής πίεσης της μονάδας RO. Τα φίλτρα φέρουν σύστημα αντίστροφης έκπλυσης για τον αυτόματο καθαρισμό τους από αισθητήρια που είναι ενσωματωμένα σε αυτά.

9.3.1.8 Όργανα ελέγχου-ανάλυσης νερού στην μονάδα RO

Πρόκειται για όργανα που ελέγχουν τη σωστή δοσομέτρηση των προηγούμενων διαλυμάτων και είναι τα εξής:

- Αγωγιμόμετρο για τον έλεγχο της αλμυρότητας του νερού

- Αναλυτής Redox για τον έλεγχο της απομάκρυνσης του υπολειμματικού χλωρίου
- pH-μετρο για τον έλεγχο της δοσομέτρησης οξέως

9.3.2 Μονάδα αντίστροφης ώσμωσης

Η μονάδα της αντίστροφως ώσμωσης αποτελείται από μια αντλία υψηλής πίεσης, τις μεμβράνες οι οποίες χρησιμεύουν για την αφαλάτωση του νερού, τα υδραυλικά εξαρτήματα για τις συνδέσεις των γραμμών, όργανα ελέγχου και λειτουργίας όπως μανόμετρα, πρεσοστάτες, ροόμετρα και αγωγιμόμετρα και, τέλος, έναν απαεριωτή. Λόγω ύπαρξης διοξειδίου του άνθρακα εξαιτίας της δοσομέτρησης των ρυθμιστικών διαλυμάτων, απαιτείται η απαερίωση του παραγόμενου νερού.

9.3.3 Ανεμογεννήτρια

Το αρχικό κόστος για την ανεμογεννήτρια περιλαμβάνει την αγορά της ανεμογεννήτριας, το κόστος των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, το κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης και το κόστος για την αγορά οργάνων μέτρησης του ανέμου.

9.3.4 Φωτοβολταϊκά

Η αρχική δαπάνη των φωτοβολταϊκών περιλαμβάνει το κόστος αγοράς φ/β, το κόστος του ρυθμιστή συνεχούς φόρτισης, το κόστος των μπαταριών και το κόστος του μετατροπέα συνεχούς-εναλλασόμενου ρεύματος.

9.3.5 Βοηθητικές εγκαταστάσεις

Η δαπάνη για τις βοηθητικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνει το κόστος της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, το κόστος για κτίρια και χώρους εξυπηρέτησης, τα έξοδα κατασκευής, απρόβλεπτα έξοδα (περίπου 3%) και, τέλος, έξοδα κίνησης για διάφορες αλλαγές που μπορεί να χρειαστούν.

9.4 Συνολικά κόστη εγκατάστασης

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας ο οποίος μας δείχνει τα συνολικά κόστη για τη δημιουργία της εγκατάστασης αφαλάτωσης:

Α/Α	Περιγραφή αντικειμένου	Εκτίμηση Δαπανων(ευρώ)
1	**Δαπάνες Μελετών-Συμβούλων-Αδειοδοτήσεων**	
1.1	Μελέτη-Σύμβουλοι για Μ.Α.-Α/Γ-Φ/Β, Αρχιτεκτονική μελέτη, Ηλεκτρομηχανολογικές μελέτες	100.000
	ΦΠΑ(23%)	23.000
	Σύνολο	123.000
2	**Μονάδα Αφαλάτωσης (ΜΑ)**	
2.1	Διαμόρφωση χώρου εγκατάστασης μονάδας, δρόμος προσπέλασης, κατασκευή βάσεων για τον εξοπλισμό, περίφραξη, φωτισμός και εξοπλισμός ασφαλείας	70.000
2.2	Φρεάτιο άντλησης θαλασσινού νερού, φίλτρα, σωλήνες, εργασίες στη θάλασσα	60.000
2.3	Εξοπλισμός: προεργασίας/φίλτρα, αντλιοστάσιο θαλασσινού νερού, δεξαμενές, containers, μονάδες RO, μετακατεργασία	600.000
2.4	Μεταφορά-εγκατάσταση εξοπλισμού	170.000
2.5	Γραμμή μεταφοράς και Η/Σ, σύνδεση	40.000
2.6	Προμήθεια περονοφόρου οχήματος	12.000
2.7	Αποκατάσταση και βελτίωση περιβάλλοντα χώρου	7.000
2.8	Εκπαίδευση προσωπικού	8.000
	Μερικό Σύνολο	967000
	ΦΠΑ (14%)	135380
	Σύνολο	1.102.380
3	**Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί**	
3.1	Αντλιοστάσιο, αντλίες, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	150.000
	Μερικό σύνολο	150.000
	ΦΠΑ (14%)	21.000
	Σύνολο	171.000
4	**Ανεμογεννήτρια**	
4.1	Πλήρης εξοπλισμός ανεμογεννήτριας Energon	500.000
4.2	Έργα υποδομής (χωματουργικά)	4.000
4.3	Εκπαίδευση προσωπικού	2.000
	Μερικό σύνολο	506.000
	ΦΠΑ (23% στο 4.1 και 14% στο 4.2 και 4.3)	115840
	Σύνολο	621.840
5	**Φωτοβολταϊκά**	
5.1	Κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος 10KW	35.000
	Μερικό Σύνολο	35.000
	ΦΠΑ (23%)	8.050
	Σύνολο	43.050
6	**Μπαταρίες**	
	Αγορά μπαταριών και σύνδεση με το σύστημα	40.040
	Μερικό Σύνολο	40.040
	ΦΠΑ (23%)	11.960
	Σύνολο	52.000
	Γενικό σύνολο	2.113.270

Πίνακας 9.1 Πίνακας δαπανών για τη δημιουργία της μονάδας

Σ’αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι τα προηγούμενα κόστη βασίστηκαν σε εκτιμήσεις από τις μελέτες για αντίστοιχα συστήματα των κυρίων Χατζηβασιλειάδη και Μαντά.

9.5 Υπολογισμός ετήσιων δαπανών λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης

Παρακάτω παρουσιάζουμε το συγκεντρωτικό πίνακα για τις ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης:

Α/Α	Περιγραφή Αντικειμένου	Τιμή Μονάδος	Συνολική Δαπάνη (ευρώ/έτος)
1	**Διοίκηση-Διαχείριση του έργου**		20.000
	Μερικό Σύνολο		20.000
	ΦΠΑ(23%)		4.600
	Σύνολο		24.600
2	**Μονάδα Αφαλάτωσης (παραγωγή 70660m^3/έτος)**		
2.1	Χημικά λειτουργίας και καθαρισμού	0,25 ευρώ/m^3	17.665
2.2	Συντήρηση Μονάδας, ανταλλακτικά, αναλώσιμα		4.000
2.3	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργία-συντήρηση (2άτομα)	14.000	28.000
2.4	Τεχνική υποστήριξη από τον κατασκευαστή		6.000
2.5	Ασφάλεια έργου		2.000
2.6	Διάφορα έξοδα		2.000
2.7	Απρόβλεπτα(3%)		3.544
	Μερικό Σύνολο		63.209
	ΦΠΑ(14%)		8.849,26
	Σύνολο		72.058,26
3	**Ανλιοστάσιο, καταθλιπτικός αγωγός, αυτοματισμοί**		
3.1	Συντήρηση εξοπλισμού, ανταλλακτικά, αναλώσιμα		2.000
3.2	Απρόβλεπτα(3%)		60
	Μερικό Σύνολο		2.060
	ΦΠΑ(14%)		288,4
	Σύνολο		2.348,40
4	**Ανεμογεννήτρια-Φ/Β**		
4.1	Συντήρηση μονάδων ανταλλακτικά,αναλώσιμα		3.600
4.2	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργίας	14.000	28.000
4.3	Τεχνική υποστήριξη από τον κατασκευαστή		1.000
4.4	Ασφάλεια έργου		1.000
4.5	Διάφορα έξοδα		1.000
4.6	Απρόβλεπτα(3%)		558
	Μερικό Σύνολο		35.158
	ΦΠΑ(14%)		4.922,12
	Σύνολο		40.080,12
	Γενικό Σύνολο		139.086,78

Πίνακας 9.2 Ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας

Σ’αυτό το σημείο πάλι να πούμε ότι τα παραπάνω ποσά βασίζονται στις μελέτες του κ. Χατζηβασιειάδη.

9.6 Προσωπικό μονάδας

Η λειτουργία της μονάδας και του εξοπλισμού καθώς κι οι επί τόπου τακτικές συντηρήσεις θα γίνονται από 2 τεχνικούς ειδικά εκπαιδευμένους με δυνατότητα κάλυψης σχεδόν επί 24ώρου βάσεως, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Για λόγους εξασφάλισης μεγαλύτερης δυνατής αξιοπιστίας κι ομαλής λειτουργίας σε συνεχή βάση θα τύχουν ειδικής εκπαίδευσης για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του έργου. Φυσικά θα υπάρχει η δυνατότητα εναλλαγής/αντικατάστασης (άδειες, ασθένειες, αργίες κτλ) καθώς και κάθε συνδρομή όταν απαιτείται.

Επίσης απαιτούνται υπηρεσίες διεύθυνσης και διαχείρισης του έργου. Η διεύθυνση και διοίκηση του έργου αφορά στην συνεχή παρακολούθηση της λειτουργίας της μονάδας, την ανάλυση στοιχείων κι εκτίμηση της αποδοτικότητας του, ποιοτικά και ποσοτικά,την προμήθεια αναλώσιμων, ανταλλακτικών κι άλλων υλικών αναγκαίου εξοπλισμού, τις εισπράξεις και πληρωμές, τις προγραμματισμένες κύριες συντηρήσεις και γενικά αντιμετώπιση κι επίλυση προβλημάτων διοίκησης της μονάδας. Έχοντας υπόψιν ότι αυτή η μονάδα θα εξυπηρετεί ζωτικής σημασίας ανάγκες της Σικίνου, η διοικητική υποστήριξη πρέπει να είναι συνεχής, άρτια και με υψηλό αίσθημα ευθύνης.

Η λειτουργία της μονάδας γίνεται σε συνεχή βάση και σε αυτό ανταποκρίνεται το προσωπικό λειτουργίας και συντήρησης καθώς κι η διεύθυνση.

Επομένως, όσον αφορά το προσωπικό της Μονάδας αφαλάτωσης εκτιμάται ότι θα πρέπει να υπάρχουν 2 τεχνικοί πλήρους απασχόλησης, μέσης τεχνικής στάθμης, διεύθυνση της μονάδας και λογιστική υποστήριξη.

Όσον αφορά το προσωπικό για το αιολικό και το φωτοβολταϊκό πάρκο προβλέπονται 2 τεχνικοί/ηλεκτρολόγοι μέσης τεχνικής στάθμης με ειδική εκπαίδευση για τις ανάγκες της ανεμογεννήτριας και του συστήματος εποπτείας (SCADA) και δυνατότητα εναλλαγής/ αντικατάστασης (άδειες,ασθένειες,αργίες κτλ) καθώς και κάθε συνδρομή όταν απαιτείται.

Για τις ανάγκες λειτουργίας και συντήρησης προβλέπεται η προμήθεια ενός περονοφόρου οχήματος για την εκφόρτωση-μεταφορά-αποθήκευση των αναλώσιμων αλλά και την πλήρωση της μονάδας αφαλάτωσης με χημικά, όταν απαιτούνται μεγάλες ποσότητες.

9.7 Οικονομική ανάλυση

Τώρα θα δούμε ορισμένες οικονομικές έννοιες οι οποίες θα μας βοηθήσουν στην οικονομική ανάλυση της επένδυσης. Τα οικονομικά μεγέθη που θα ακολουθήσουν θα μας δείξουν κατα πόσο «συμφέρουσα» είναι η επένδυση.

9.7.1 Καθαρή Παρούσα Αξία

Εκφράζει την αξία σε χρηματικές μονάδες που προκύπτει απ' την προεξόφληση στο παρόν όλων των καθαρών χρηματοροών κάθε έτους, δηλαδή τη διαφορά των μελλοντικών ταμειακών εισροών (εσόδων) και εκροών (εξόδων) για ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα της επένδυσης. Η μαθηματική έκφρασή της είναι:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} C_t \cdot (1+i)^{-t} - I$$

Όπου:

I: η αρχική επένδυση

i: το επιτόκιο προεξόφλησης

t: η περίοδος εξόφλησης

C_t : η διαφορά εσόδων-εξόδων σε κάθε περίοδο

n: η διάρκεια ζωής του σχεδίου επένδυσης

Αν η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης είναι θετική, προφανώς αυτό σημαίνει ότι είναι κερδοφόρα σε βάθος χρόνου.

9.7.2 Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης είναι το επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία. Ο μαθηματικός του τύπος είναι ο εξής:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} C_t \cdot (1+IRR)^{-t} - I = 0$$

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης είναι ίσο με το IRR τότε οι μελλοντικές εισροές ισούνται με τις μελλοντικές εκροές (ανηγμένες στο παρόν) και αυτό σημαίνει ότι η επένδυση δεν θα αποφέρει κέρδη. Όταν το επιτόκιο είναι μεγαλύτερο του IRR η επένδυση είναι ασύμφορη (ζημιογόνα), ενώ όταν το επιτόκιο είναι μικρότερο του IRR η επένδυση είναι συμφέρουσα (οικονομικά βιώσιμη).

9.7.3 Αποσβέσεις

Οι αποσβέσεις αντιπροσωπεύουν τη σταδιακή μείωση της αξίας των παγίων περιουσιακών στοιχείων μιας επένδυσης (λόγω φθοράς, τεχνολογικής απαξίωσης) και θεωρητικά επιτρέπει την αντικατάστασή τους μετά το τέλος του χρήσιμου χρόνου ζωής τους. Με τη μέθοδο των αποσβέσεων επιδιώκεται η κατανομή του κόστους πάγιων στοιχείων σε όλο το χρόνο ζωής τους μεαποτέλεσμα και την αντίστοιχη φορολογική ελάφρυνση. Η κατανομή του κόστους των πάγιων στοιχείων δεν αποτελεί πραγματική ταμειακή εκροή κατά τα έτη της παραγωγικής λειτουργίας, αφού η δαπάνη για την απόκτηση του περιουσιακού στοιχείου σημειώθηκε κατά τη χρονική στιγμή απόκτησής του. Για τον υπολογισμό των αποσβέσεων των πάγιων περιουσιακών στοιχείων πρέπει να είναι γνωστά, για το καθένα, το αρχικό κόστος επένδυσης, ο χρήσιμος χρόνος ζωής και υπολειμματική του αξία. Στην πράξη χρησιμοποιείται ένας σταθερός συντελεστής απόσβεσης στη θέση του χρήσιμου χρόνου ζωής. Όταν μια επιχείρηση δικαιούται να αποσβέσει ένα ποσό σε κάποιο οικονομικό έτος (καθορίζεται νομοθετικά), τότε το ουσιαστικό της κέρδος δεν είναι το ποσό αυτό αλλά το γινόμενο αυτού με το φορολογικό συντελεστή που χρησιμοποιείται για την φορολόγηση των κερδών της. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τον ισολογισμό, το ποσό της απόσβεσης αφαιρείται από τα καθαρά κέρδη, και αφού αυτά φορολογηθούν, προστίθεται ξανά στο ενεργητικό της.

9.7.4 Περίοδος Ανάκτησης Κεφαλαίου

Ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να καλυφθεί η δαπάνη της αρχικής επένδυσης από τις ετήσιες ταμειακές ροές μετά φόρων. Όσο μικρότερη είναι η περίοδος ανάκτησης του κεφαλαίου τόσο ασφαλέστερη θεωρείται η επένδυση. Γενικά, επενδυτικά σχέδια με περίοδο ανάκτησης μεγαλύτερη των 7 έως 8 ετών θεωρούνται από τους επενδυτές ριψοκίνδυνα ή χαμηλής απόδοσης.

9.7.5 Μέθοδος Ισότοκων Χρεολυσίων

Η μέθοδος αυτή είναι μια συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την εξόφληση δανείων. Το χρεολύσιο είναι το ποσό που πληρώνεται σε κάθε χρονική περίοδο (συνήθως ένα έτος) για την αποπληρωμή του δανείου. Το χρεολύσιο τοκίζεται και προκύπτει το τοκοχρεολύσιο. Η μέθοδος των ισότοκων χρεολυσίων είναι, όπως φανερώνει το όνομά της, ένας τρόπος εξόφλησης δανείων που βασίζεται στην πληρωμή ίσων τοκοχρεολυσίων σε κάθε χρονική περίοδο. Αν Κ είναι το κεφάλαιο του δανείου, Ν τα έτη αποπληρωμής και iδ το επιτόκιο δανεισμού, τότε το σταθερό τοκοχρεολύσιο ισούται με:

$$X = \frac{K \cdot i_\delta}{1 - (1 + i_\delta)^{-N}}$$

9.8 Ανάλυση κόστους παραγωγής

Όπως προειπωθηκε για να κάνουμε μια ανάλυση του κόστους παραγωγής πρέπει να γνωρίζουμε την διάρκεια ζωής του έργου. Στη περίπτωση μας σαν διάρκεια ζωής του έργου θα θεωρήσουμε τη διάρκεια ζωής του τεχνικού εξοπλισμού, δηλαδή 20 χρόνια. Το ύψος της επένδυσης που απαιτείται είναι 2.113.270 ευρώ. Το ποσό αυτό θα καλυφθεί ώς εξής:

- 45% των δαπανών (δηλαδή 950.971,5 ευρώ) θα καλυφθούν από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα» Μέτρο 6.3 - Ειδικές ενεργειακές υποδομές για τα νησιά και για την προώθηση των ΑΠΕ, Δράση 6.3.2 -Έργα προώθησης καινοτόμων λύσεων.

- Ίδια κεφάλαια 30% δηλαδή 633.981 ευρώ

- Τραπεζικός δανεισμός 25% δηλαδή 528.317,5 ευρώ

Το επιτόκιο δανεισμού εκτιμάται 8,75% (δηλαδή i_δ=8,75%) κι η περίοδος αποπληρωμής ορίζεται σε 5 έτη με τη μέθοδο των ισότοκων χρεολυσίων. Έτσι λοιπόν έχουμε Κ=528.317,5, i_δ=8,75%, Ν=5. Οπότε το ισότοκο χρεολύσιο είναι:

$$X = \frac{528.317{,}5 \cdot 0{,}0875}{1 - (1 + 0{,}0875)^{-5}} = 134.946{,}01$$

Οπότε η αποπληρωμή του δανείου θα γίνει ως εξής:

Δάνειο: 528.317,5	Έτος 1	Έτος 2	Έτος 3	Έτος 4	Έτος 5
Χρεολύσιο	88718,23	96481,08	104923,17	114103,95	124088,05
Τόκοι	46227,78	38464,93	30022,84	20842,06	10857,96
Τοκοχρεολύσιο	134.946,01	134.946,01	134.946,01	134.946,01	134.946,01

Πίνακας 9.3 Πίνακας αποπληρωμής δανείου σε ευρώ

Ο συντελεστής φορολογίας εισοδήματος για επιχειρηματικές δραστηριότητες είναι ίσος με 20%.

Επίσης οι αποσβέση για 20 χρόνια δίνει ετήσιο συντελεστή ίσο με 1/20 δηλαδή 5%. Άρα λοιπόν οι αποσβέσεις έχουν ως εξής:

$$Αποσβέσεις = 2.113.270(1 - 0{,}45) \cdot 5\% = \frac{58114{,}93€}{έτος}$$

Την υπολειμματική αξία του έργου θα τη θεωρήσουμε μηδενική, με τη λογική ότι μετά το πέρας της οικονομικής ζωής του έργου αυτό παραχωρείται στην τοπική αυτοδιοιήκηση η οποία θα είναι πλέον υπεύθυνη για τη διαχείρηση και εκμετάλλευση του έργου.

9.8.1 Έσοδα επιχείρησης

Τα έσοδα της επιχείρησης προέρχονται από 2 πηγές

- Την πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ
- Την πώληση πόσιμου νερού

9.8.1.1 Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας

Παραπάνω έχουμε υπολογίσει την περίσσεια ενέργειας απο τις ΑΠΕ που ανέρχεται σε 638069,55 KWh ετησίως. Σύμφωνα με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας η ΔΕΗ αγοράζει την παραγόμενη ενέργεια από αιολικά πάρκα σε μη διασυνδεμένα νησιά προς 0,09945€/KWh. Άρα λοιπόν τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχονται σε:

$$Έσοδα\ ηλεκτρικής\ ενέργειας = 638069{,}55 \cdot 0{,}9945 = 63456{,}01€$$

9.8.1.2 Πώληση πόσιμου νερού

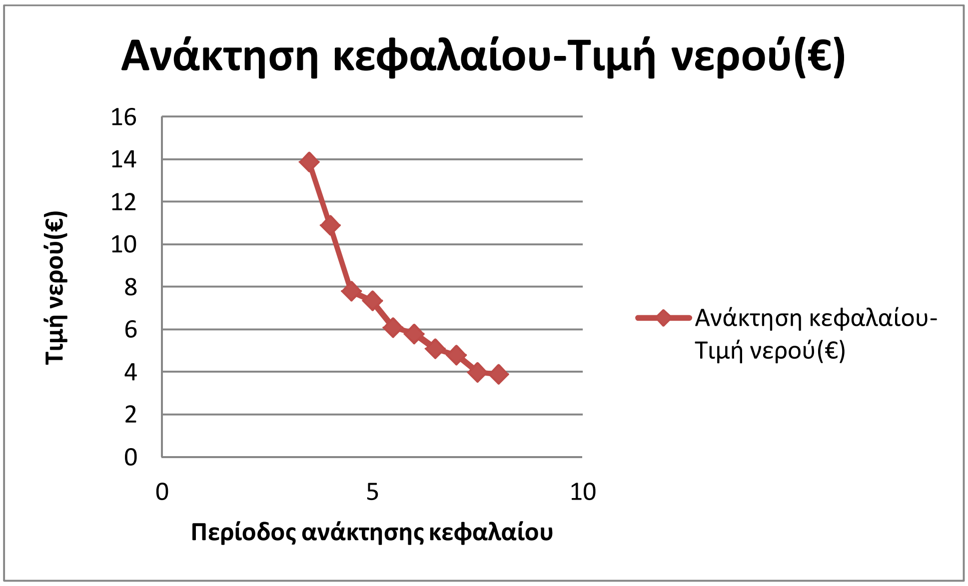
Προηγουμένως υπολογίσαμε ότι η μονάδα μας παράγει 70.660m^3 νερού ετησίως. Επίσης σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέραμε ότι σήμερα στη Σίκινο το νερό κοστίζει 10€ το κυβικό μέτρο. Απ'αυτό το ποσό τα 7€ (το 70% δηλαδή) τα επωμίζεται το κράτος και τα υπόλοιπα 3€ (το 30% δηλαδή) τα πληρώνουν οι κάτοικοι του νησιού. Συνεπώς για είναι συμφέρουσα η επένδυση μας πρέπει το νερό να κοστίζει λιγότερο. Σ'αυτό το σημείο λοιπόν θα πρέπει να υπολογίσουμε την NPV και τον IRR για να δούμε σε τι τιμή μπορεί η επιχείρηση να πουλάει το παραγόμενο νερό. Ακολουθεί λοιπόν ο επόμενος πίνακας με αναλυτικούς υπολογισμούς για το κόστος, τα κέρδη, την καθαρή παρούσα αξία και τον εσωτερικό συντελεστή απόδοσης. Επίσης μετά από υπολογισμούς παρατηρούμε ότι αν το νερό πωληθεί σε μια τιμή 5€/m^3 (50% δηλαδή φθηνότερο) η περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου είναι 7,35 χρόνια, η τιμή της καθαρής παρούσας αξίας είναι 1.524.213,61€.

	ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ(€)							
ΕΤΗ	1	2	3	4	5	6	…	20
ΕΣΟΔΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ	63.456,01	63.456,01	63.456,01	63.456,01	63.456,01	63.456,01		63.456,01
ΕΣΟΔΑ ΝΕΡΟΥ	353.300	353.300	353.300	353.300	353.300	353.300		353.300
ΚΟΣΤΟΣ Σ&Λ	139.086,78	139.086,78	139.086,78	139.086,78	139.086,78	139.086,78		139.086,78
ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ	58.114,93	58.114,93	58.114,93	58.114,93	58.114,93	58.114,93		58.114,93
ΤΟΚΟΙ	46.227,78	38.646,93	30.022,84	20.842,06	10.857,96	0		0
ΚΕΡΔΗ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ	173.326.,52	180.907,37	189.531,46	198.712,24	208.696,34	187.634,3		187.634,3
ΦΟΡΟΣ(20%)	34.665,304	36.181,47	37.906,29	39.742,44	41.739,26	37.526,86		37.526,86
ΚΑΘΑΡΑ ΚΕΡΔΗ	138.661,21	144.725,89	151.625,17	158.969,79	166.957,07	175.643,44		175.643,44

	ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΕΙΣΡΟΩΝ-ΕΚΡΟΩΝ(€)							
ΕΤΗ	0	1	2	3	4	5	…	20
ΕΙΣΡΟΕΣ								
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	633.981							
ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗ	950.971,5							
ΔΑΝΕΙΟ	528.317,5							
ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ	0	58.114,93	58.114,93	58.114,93	58.114,93	58.114,93		58.114,93
ΚΑΘΑΡΑ ΚΕΡΔΗ	0	138.661,216	144.725,896	151.625,17	151.625,17	158.969,79		175.643,44
ΕΚΡΟΕΣ								
ΧΡΕΟΛΥΣΙΟ	0	-88.718,23	-96.481,08	-104.923,17	-114.103,95	-124.088,05		0
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	-2.113.270							
ΚΑΘΑΡΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	0	108.057,91	106.359,74	104.816,93	95.636,15	92.996,67		233.758,4
NPV=1.533.870,84€								

Πίνακας 9.4 Λογαριασμός εκμετάλλευσης και λογαριασμός εισροών-εκροών μονάδας

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να κρίνουμε ότι πρόκειται για μια αρκετά κερδοφόρα επένδυση η οποία αποφέρει κέρδη και στον επιχειρηματία αλλά και στο κράτος, αού μειώνονται σημαντικά τα έξοδα του ως προς την υδροδότηση του συγκεκριμένου νησιού. Παρακάτω ακολουθεί ένα γράφημα το οποίο μας δέιχνει την περίοδο ανάκτησης κεφαλαίου σε σχέση με την τιμή πώλησης του παραγόμενου νερού.



Σχήμα 9.1 Διάγραμμα ανάκτησης κεφαλαίου συναρτήσει της τιμής πώλησης του νερού

Παρατηρώντας το παραπάνω γράφημα βλέπουμε ότι για μια τιμή νερού 3,5€ η περίοδος ανάκτησης είναι 13,9 χρόνια. Για τιμή νερού 5€ η περίοδος ανάκτησης είναι 7,35 χρόνια, για 6€ η περίοδος ανάκτησης είναι 5,8 χρόνια. Παρατηρούμε ότι για μικρή αύξηση της τιμής η περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου μειώνεται σημαντικά. Αν λάβουμε σαν γνώμονα την γρήγορη ανάκτηση κεφαλαίου η τιμή πώλησης του νεού δεν πρέπει να είναι λιγότερη από 4,5€/m^3. Η ακριβής όμως τιμή πώλησης θα προκύψει μετά από συννενόηση της διοίκησης του έργου με την τοπική αυτοδιοίκηση.

9.8.1.3 Συμπεράσματα

Όπως είδαμε λοιπόν και παραπάνω πρόκειται για μια αρκετά ενδιαφέρουσα επένδυση από περιβαλλοντικής πλευράς αλλά και από οικονομικής αφού αποφέρει καθαρά έσοδα ετησίως πάνω από 130.000 ευρώ τα πρώτα 4 χρόνια και πάνω από 160.000 ευρώ τα επόμενα. Επίσης δίδεται η ευκαιρία στους κατοίκους και στους επισκέπτες του νησιού να έχουν φθηνό πόσιμο νερό και μειώνονται και τα έξοδα που επωμίζεται το κράτος για την μεταφορά πόσιμου νερού στο νησί με υδροφόρα πλοία. Ακόμα γίνεται ένα πρώτο βήμα για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού του νησιού που όπως φάνηκε είναι πολύ πλούσιο κι είναι κρίμα να μην αξιοποιείται. Λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού και του μεγέθους του νησιού με λίγες παραπάνω ανεμογεννήτριες Energon E33 θα μπορούσε να ανεξαρτητοποιηθεί πλήρως το νησί ενεργειακά και να χρησιμοποιεί ενέργεια για την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών.Φορέας υλοποίησης της συγκεκριμένης επένδυσης θα μπορούσε να είναι μια ιδιωτική επιχείρηση που θα αποκομούσε και σημαντικά κέρδη , η κοινότητα της Σικίνου ή ακόμη και το ελληνικό δημόσιο για να μπορέσει να μειώσει τα έξοδα του. Πρόκειται πάντως για μια οικονομικά βιώσιμη και κερδοφόρα επένδυση(όπως είδαμε κι από την οικονομική ανάλυση) για οποιονδήποτε επιχειρήσει την υλοποίηση της.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι
ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ Α/Γ ENERGON E33

Technical Description
E-33

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05		
Department:	VI	Translator/date:	
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05		C. Carsted / 02.08.2005
Revision	1/20.76.05	Reviser/date:	
		Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng

Table of contents

1 TECHNICAL SHORT DESCRIPTION

The E-33 is a wind energy converter with a three-bladed rotor, active pitch control and variable speed operation with a rated power of 330 kW. With its rotor diameter of 33.4 m and tower height of 50 m it efficiently makes use of the prevailing wind conditions at its respective operating sites to generate electrical energy.

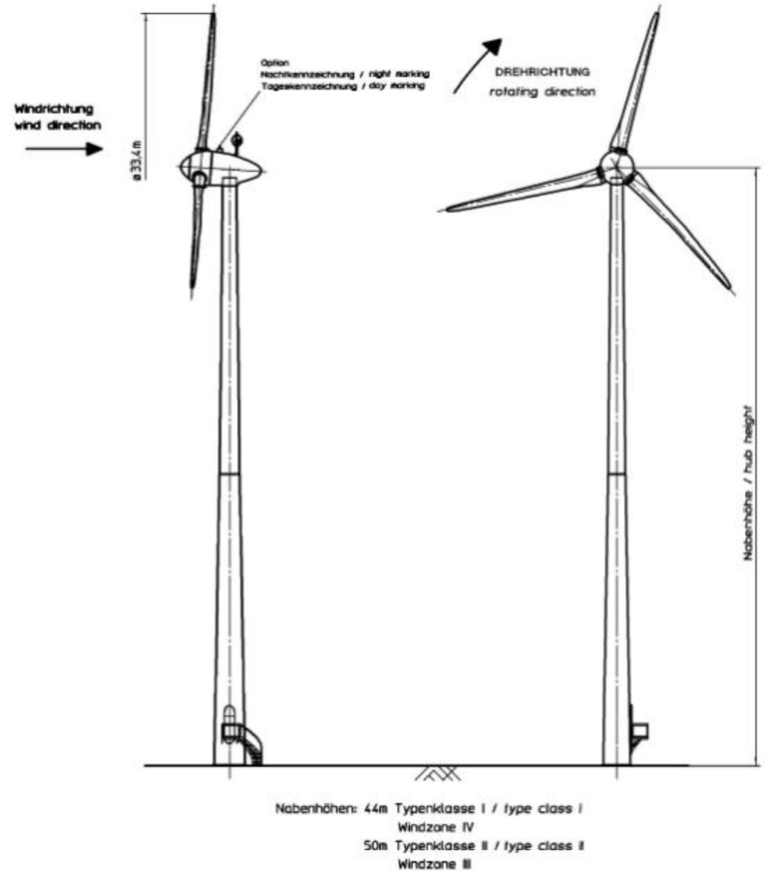


Figure 1: General view of the E-33 (drawing)

1 TECHNICAL SHORT DESCRIPTION

The E-33 is a wind energy converter with a three-bladed rotor, active pitch control and variable speed operation with a rated power of 330 kW. With its rotor diameter of 33.4 m and tower height of 50 m it efficiently makes use of the prevailing wind conditions at its respective operating sites to generate electrical energy.

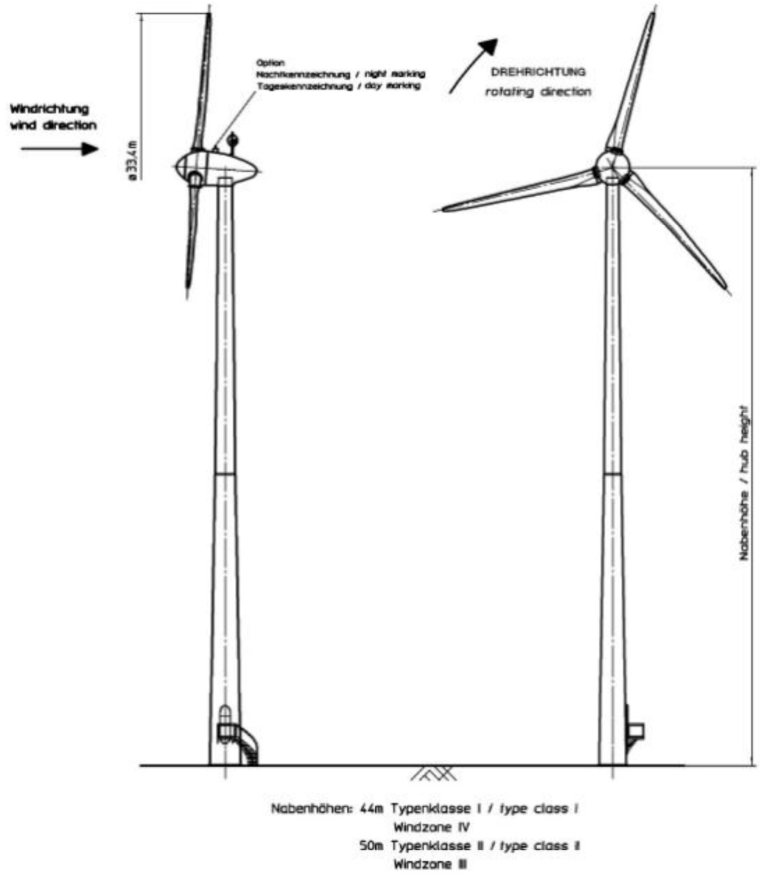


Figure 1: General view of the E-33 (drawing)

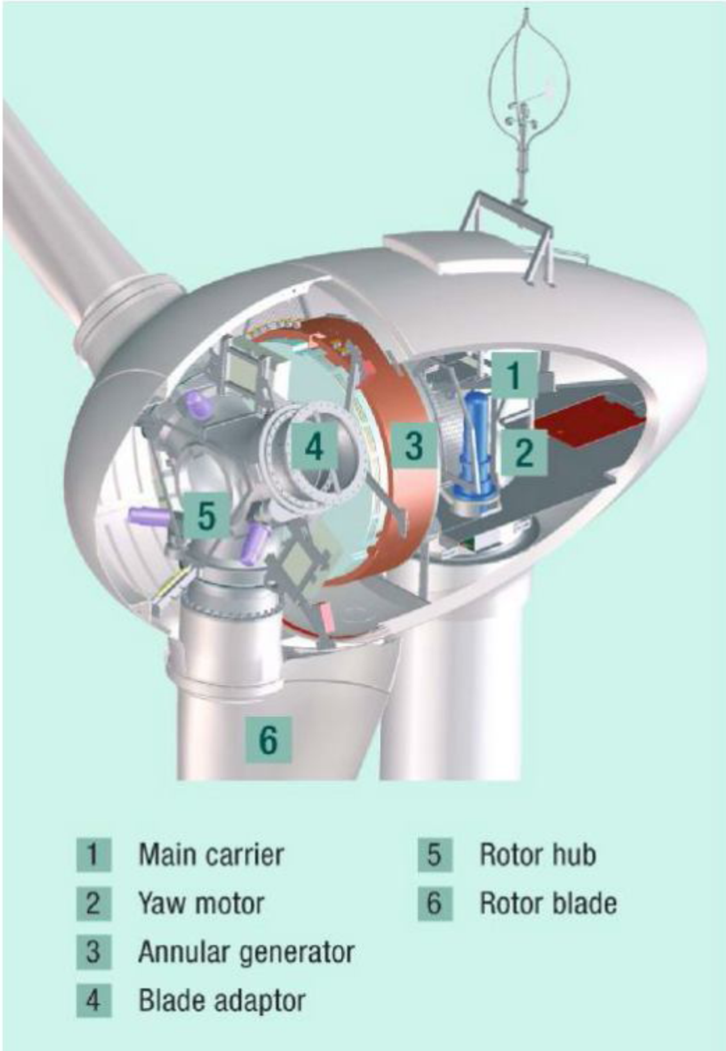


Figure 2: Drawing of E-33 nacelle

1.2 The Rotor

The rotor, made of glass reinforced epoxy resin, is a determining factor for the yield of the wind energy turbine as well as its noise emission.

Shape and profile of the E-33 rotor blades are designed according to the following requirements:

- high efficiency
- long lifespan
- low sound emission
- low loads
- low material consumption

The E-33 rotor blades are especially designed for operation with variable pitch and variable speed. New profiles and a special geometry at the blade root allow optimum use of the wind flow around the blade and nacelle. The streamlined blade geometry accounts for low loads and better transport options.

The rotor blades are made of glass fibre / epoxy resin material. This material is advantageous because of its resistance to shrinkage even under extreme environmental conditions like high solar radiation. The E-33 rotor blades retain their shape and therefore their properties with regard to their angle of attack and their efficiency for a long time periods and, in return, guarantee stable long-term turbine power behaviour.

Epoxy resin has very low hygroscopic properties and therefore does not absorb water. This is vital. Although the outer surface of the rotor blades is protected by a so-called gel coat (surface sealing), the rotor blades are not protected on the inside against condensation. The choice of the material alone makes it possible to prevent damage due to freezing water.

The rotor blades are exposed to alternating loads during rotation because of their own weight. A rotor blade could theoretically be exposed to more than 65,000 load cycles per day. For the calculation of a 20 year lifetime, 3-5 x 10^8 load alternations have to be taken into account. This is more than for any other application of glass fibre materials.

Due to their low flow- and creep properties, epoxy resin laminates are well-suited for simple flange solutions. The E-33 rotor blades are connected to the hub with a simple transverse bolt / tension rod-combination via blade adapter and slewing ring bearing.

The microprocessor-controlled blade pitch is carried out with three independent blade pitch systems and redundant blade angle monitoring. This allows the blade angle to be quickly and precisely adjusted according to the prevailing wind conditions.

1.3 Generator

The ENERCON annular generator is directly driven by the turbine rotor (rotor blades). The generator rotor is directly connected to the rotor hub and therefore does not need its own bearing. The E-33 generator provides its rated power already at a rotor speed of 46 rpm. The multi-pole ENERCON generator, whose operation is based on a synchronous generator, was especially designed for this purpose. Further development of a classical synchronous generator model has achieved extremely high efficiency and at the same time the weight of the generator has been reduced. The E-33 generator reaches an approximate 94% efficiency over its enter operational range.

Low temperature fluctuations during operation, low temperatures even at rated power, and the avoidance of alternating loads reduces mechanical stresses and the associated aging of the generator material.

Special care is taken during the manufacturing process in order to guarantee long generator service life:

Before the copper windings are inserted into the slots, the stator is provided with an initial corrosion protection coating after the stator laminations have been completed. The copper windings (isolation class F for 155°) are only then inserted. A multi-layer material is used to insulate between the windings and the slots. This provides a guarantee for low humidity absorption as well as for good heat and chemical resistance. The copper wire itself is provided with a heat resistant prime coating and an additional overcoat. The overall insulation is a combination of two different varnish components. This double-layer technique (overcoat technique) achieves optimum protection for the copper wire.

After winding, the stator is impregnated with resin in a large vacuum impregnation vat. The method of impregnation under vacuum ensures that the resin penetrates every little gap of the windings by sucking out all the air enclosed in between. The impregnated stator is then cured in a large curing oven. After that, the winding is provided with an additional varnish (powder coating) that protects the copper windings against moisture and mechanical wear.

An extensive test of the windings according to the latest norms completes the manufacture of the generator.

1.4 The grid management system

The E-33 grid management system converts the current generated by the E-33 generator into AC current according to the requirements and standards given by the utilities and feeds it into the grid via a transformer.

The shape of this current is sinusoidal and without disturbing harmonics. A high frequency filter ensures that all requirements with regard to electromagnetic compatibility (EMC) are met. The current is generated by the ENERCON micro- and

power electronics according to a reference current. This value is constantly compared with the actual current and corrected accordingly.
The grid management unit is decoupled from the generator via a DC intermediate circuit. Figuratively speaking, the rotor of the wind energy converter is connected to the electric grid via a soft rubber band. This "elastic" coupling allows the electronics to balance low frequency power fluctuations with which the power output of the E-33 can be precisely controlled between 5 kW and 330 kW and no relevant flicker coefficients occur. This combination of technologies allows operation parallel to the grid even under complicated grid connection conditions. Various certificates issued by independent institutes confirm this.

The permissible operating range for operation parallel to the grid is limited by the minimum and maximum grid voltage given by the respective utility. These two values (under- and overvoltage) as well as the time constant for the measurement intervals can be pre-set separately as limit values according to the utilities' requirements. In addition, minimum and maximum frequency values can be pre-set.

The E-33 immediately disconnects itself from the grid if these pre-set limit values are not kept. As there are no compensating capacitors, the E-33 decouples itself from the grid within 10 ms. Therefore even short-term current spikes do not occur.

Furthermore, the E-33 can operate in the so called "grid voltage dependent power feed" mode:

The grid voltage is constantly measured and monitored. In the event of a voltage increase, e.g. due to a lack of load during the night, the power output of the E-33 is decreased immediately. A control circuit quickly controls the current and no further voltage increase can occur. These active voltage sensors guarantee that the maximum possible power taken by the grid can always be supplied. In other words the power fed to the grid is controlled by the grid's receptive capability. A complete turbine shutdown is no longer necessary.

When a wind energy turbine or entire wind farms are switched onto a grid a voltage increase quite often occurs. Usually this has to be balanced with adjustable transformers or diesel generators. The E-33 features a data input by which the power gradient can be re-selected (dP/dt). This allows for the (slower) adjustable transformers or diesel generators to adjust to the new situation. This power gradient control is actuated automatically e.g. with strongly varying wind speeds or storm gusts in order to relieve the load on the grid.

The phase angle between grid voltage and current remains constant at cos φ = 1 over the whole power range from 0 to 330 kW. Only actual power is fed to the grid. Eventual countervailing payments for reactive power charged by some utilities are not applicable.

Nevertheless there is the possibility to select a cos $\varphi \neq 1$ if desired.

1.5 Yaw control

The yaw bearing is mounted directly to the top of the tower using a geared ring and a slewing ring bearing. Two adjustment drives ("yaw drives") turn the nacelle out of the wind with the geared ring. The weight of the nacelle is also transferred via this yaw bearing into the tower. The main carrier is attached directly to the yaw bearing.

Rapid changes in the wind direction lead to dynamic yaw moment which affects yaw control. On the E-33, the yaw moment is actively controlled with the yaw drives. This considerably relieves the yaw control and its gearing of load spikes.

1.6 Safety system

The safety system guarantees safe turbine operation in accordance with the conditions of international standards and independent test institutes.

1.6.1 The Brake System

ENERCON wind energy converters brake aerodynamically. This braking method reduces the driving forces and moment on the turbine when braking the rotor and thus "softly" reduces the speed of the turbine. Even when the turbine is not in operation, the rotor continues to rotate. The turbine is allowed to idle in order to keep the rotor and drive train practically free of load. An additional service brake (hydraulic) can be either manually activated to lock the rotor for maintenance work, or automatically supports braking when the emergency stop switch is used (personnel safety during maintenance).

According to the requirements for wind turbine certification, the E-33 has at least two mutually independent braking systems by means of which the rotor can be decelerated or brought to a standstill.

The three mutually independent blade pitch drives are used to brake the turbine by bringing the blades into a feathered position (pitch the blades out of the wind) within only a few seconds. The aerodynamic force on the blades is diminished and the rotor speed is rapidly decreased. It is important to note that in order to stop the turbine it would be sufficient to pitch two of the three blades out of the wind. This means that even if one pitch drive fails completely, the aerodynamic braking effect of the system is ensured.

An emergency storage battery system installed in each of the three pitch systems moves the blades safely into the feathered position should a grid supply failure occur. These independent emergency energy back-up units supply each blade pitch drive with power and are automatically recharged to guarantee availability. Cyclic testing monitors the charge. The blade pitch units are electromechanically linked so that they are activated simultaneously.

The combination of redundant power supply (grid or energy storage) with three totally autonomous pitch drives offers a safety concept which perfectly meets the requirements for two completely independent braking systems.

1.6.2 The Lightning Protection System

The E-33 is equipped with the ENERCON lightning protection system that conducts eventual lightning strikes without causing damage to the blades or other turbine components. Lightning strokes are deflected from the rotor blade tip (or from the nacelle) to the turbine foundation via a continuous conductor system.

The lightning protection system in detail:

- The rotor blade tips are made out of cast aluminium. Along the leading and trailing edge of the rotor blade an aluminium profile is embedded under the surface. These profiles connect the aluminium tip with an aluminium ring located at the blade root. There is sufficient distance between the ring and the conducting components at the blade flange (blade adapter, bearings...) so that the blade insulates them.
  As the lightning strike is already deflected place at the blade root and does not continue over rotor hub and rotor bearings, thus protecting them from any consequential damage.
- A rod (spark gap) conducts the lightning stroke from the rotational components directly into the non-rotating part of the turbine. The deflection of the lightning stroke continues its path over the main carrier and tower into the turbine foundation.

Due to this system, lightning strokes are deflected to the non-rotating components of the E-33 regardless of its current rotor position or rotor blade angle.

The turbine electronics are galvanically separated and are situated in metal cabinets. All data inputs or outputs are decoupled by means of opto-coupling devices or relays. If lightning strikes or even in the event of unusual voltage peaks, the complete electrical and electronic system is protected by energy absorbing devices.

1.6.3 The Sensor system

An extensive monitoring system ensures safe turbine operation. All safety-relevant functions are monitored electronically as well as with mechanical sensors with higher order access. If one of the sensors detects a severe fault, the turbine is shut down immediately.

1.7 Control System

The E-33 control system is a microprocessor system developed by ENERCON. It constantly monitors the sensors of the various components as well as e.g. the data of wind direction and wind speed and in return adapts the operation of the E-33 accordingly. This is done by e.g. optimising the rotor speed, the blade angle, the yaw position of the nacelle and the power output of the generator accordingly.

Yaw control for the E-33 nacelle operates at all wind speeds above the start-up wind speed. The wind vane at hub height continuously detects the wind direction. If the 1-

min-average deviation of the nacelle direction compared to the measured wind direction is greater than a certain angle, the nacelle is repositioned by means of the yaw motors. Yaw motion is monitored by counting the rotations of the yaw motor and by checking the yaw time for plausibility.

If the measured wind speed during a 3-minute interval is sufficient for operation, automatic start-up procedure is initiated:

The nacelle is brought into a specified position in order check all sensors. Then the nacelle is aligned with the wind direction and the rotor blades are pitched into the wind. This requires about 3 kW from the grid for a short period. Classical start-up currents do not occur. When the minimum rotor operation speed limit is reached, the power output to the grid starts. During operation, all sensors are constantly monitored in order to initiate the appropriate measures (e.g. parking or emergency stop) should an irregularity occur. When the maximum rotor speed limit is reached, the blade angles are changed accordingly to keep it constant. To achieve this, the appropriate blade angle changes are selected by evaluating the speed and acceleration measurements.

If the machine is parked (manually or with the control system), the blade angles are decreased which reduces the effective blade surface for the wind and the E-33 slowly comes to a stand-still.

2 TECHNICAL SPECIFICATIONS

2.1 Main features

Turbine Type:	**ENERCON E-33**
Power:	330 kW
Rotor diameter:	33.4 m
Hub height:	49 and 50 m
Turbine Concept:	Gearless, variable speed, pitch control
Rotor with pitch regulation	
Type:	Upwind rotor with active pitch control
Direction of rotation:	Clockwise
Number of blades:	3
Swept area:	876 m²
Blade material:	Fibreglass (epoxy resin), integrated lightning protection
Speed:	variable, 18 – 45 rpm
Tip speed:	31 – 79 m/s
Pitch control:	ENERCON blade pitch system, one independent pitching system per rotor blade with allocated emergency supply
Drive train with generator	
Hub:	rigid
Main bearing:	Single-row tapered roller bearing
Generator:	Direct-drive ENERCON annular generator
Grid feed:	ENERCON inverter

Braking system:	- three independent blade pitch systems with emergency power supply - Rotor brake - Rotor lock
Yaw control:	Active via adjustment gears, load-dependent
Cut-in wind speed:	2.5 m/s
Rated wind speed:	12.5 m/s
Cut-out wind speed:	18 – 34 m/s
Remote monitoring:	ENERCON SCADA

2.2 Actuation of safety-relevant sensors

The manner in which the turbine reacts to the actuation of individual sensors is explained in the following sections. If a safety-relevant sensor is actuated, the turbine initiates an automatic shutdown. The nature of the shutdown and whether a re-start follows depends on the fault.

The reliability of the sensors is also constantly monitored by the control system. If a sensor fails, a fault message is sent through remote monitoring. Depending on the sensor, the turbine may continue to operate for a certain amount of time. For some sensors, the turbine is stopped immediately and the fault has to be rectified before re-starting.

2.3 Starting the turbine

Unless explicitly stated otherwise, these descriptions apply to start-up after an automatic shutdown and to start by activating the start/stop switch.

When the converter is switched on, "Converter ready" appears on the control cabinet display after a short time, provided the E-33 control system has not determined a fault.

90 seconds after the start command, the rotor blades are driven out of the feathered position (approx. 90°) and set to "idle mode" (see below). The converter now turns at a very slow speed.

The turbine begins with the actual operation start-up procedure (blade pitching an speed pick-up) when, after three consecutive minutes, the average wind speed is greater than the required starting wind speed.

2.4 Normal operation

Once the E-33 start-up procedure is completed, the wind energy converter works in normal operation. During operation, the wind conditions are continuously determined, rotor speed, generator excitation and output optimised, the nacelle position is adjusted to the wind direction and all sensor statuses recorded.

2.4.1 Operating below rated power

During operation in the partial load range, speed and power output are continuously adjusted to the changing wind conditions. In the top partial load range, the rotor blades are pitched a few degrees to avoid flow interruption (stall effect).

As wind speed increases, so does the rotor speed and power output.

2.4.2 Automatic control mode

Above the rated wind speed, rotor speed is kept at approximately its nominal value (approx. 46 rpm) by adjusting the blade angle and the power taken from the wind which is limited to 330 kW ("automatic control mode"). By evaluating the speed and acceleration monitoring results, the required modification of the blade angle is determined and passed on to the blade pitch drive. The power output is held at its nominal value.

The E-33 also offers a grid dependent power feed operating mode. Grid voltage is constantly monitored. If the voltage rises, due to low night time consumption for example, the E-33 power fed is immediately decreased accordingly.

2.5 Idle mode

If the turbine is shut down (e.g. due to lack of wind or faults), the rotor blades ordinarily move to a position of 60° in relation to the operating position. The turbine now operates at a very low speed. If this speed is exceeded (approx. 3 rpm), the rotor blades are pitched to the feathered position (90°). This operating mode is called "idling". Idling reduces load and enables the turbine to be re-started in the shortest possible time. The reason for turbine shutdown and hence idle mode is indicated by the status message.

2.6 Stopping the turbine

The E-33 can be stopped manually or automatically. The control system stops the turbine in the event of faults or unsuitable wind conditions (see Figure 3).

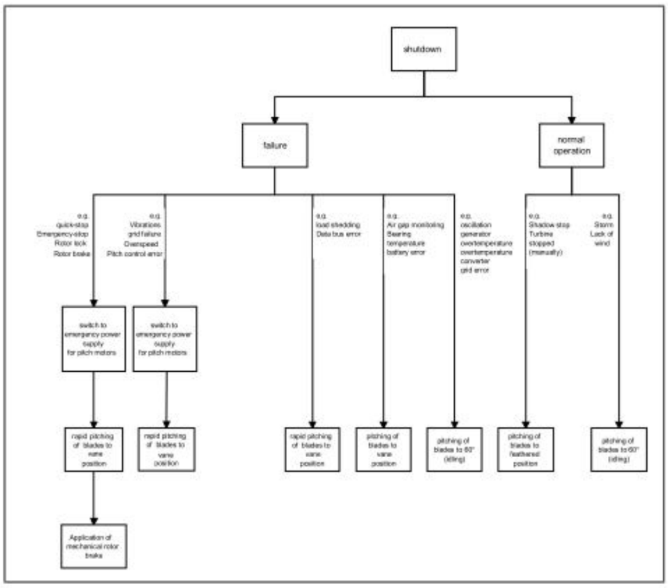


Figure 3: E-33 shutdown procedures

2.6.1 Automatic stop

ENERCON wind energy converters are brought to a halt in automatic mode by pitching the rotor blades out of the wind (aerodynamic brake). The feathered rotor blades reduce aerodynamic lift and thus brake the rotor. The blade pitch devices can drive the rotor blades out of the wind i.e. into the feathered position in a few seconds.

The turbine also automatically stops as a result of certain faults or operating events. Some faults cause a quick stop via the rotor blade emergency power units. Other faults result in a normal turbine stop.

Depending on the type of fault, automatic turbine re-start is possible. In each case the transformer is disconnected from the grid when shutting down.

2.6.2 Manual stop

The E-33 can be stopped with the start/stop switch on the control cabinet. The control system then drives the rotor blades out of the wind and the turbine comes to a stop. The stop brake (hydraulic) is not activated and yaw control remains in operation so the E-33 can continue to adjust optimally to the wind.

2.6.3 Manual shutdown in emergency situations

If persons or turbine parts are at risk, the turbine can be stopped by activating the EMERGENCY STOP button or the Main Switch. An EMERGENCY STOP button can be found on the control cabinet and in the nacelle. It activates an emergency brake on the rotor with rapid blade pitch via the rotor blade emergency pitch units together with the rotor brake. All components continue to be supplied with power.

The buttons latch and must be pulled back to their original position once the emergency is over and the turbine is to be restarted.

If the Main Switch on the control cabinet or in the nacelle is set to the "off" position, all turbine components including tower and control box lighting and individual light switches and sockets are switched off. The turbine activates rapid blade pitch via the rotor blade emergency pitch devices.

2.7 Lack of wind

If the turbine is in operation and the rotor speed drops too low due to lack of wind, the turbine is brought into idle mode by slowly pitching the rotor blades to a 60° angle. The "lack of wind" status is shown.

The turbine resumes its operation automatically when the starting wind speed is reached.

At low temperatures the turbine attempts to start at hourly intervals to test whether the wind speed is sufficient for operation. A frozen anemometer would not prevent a start-up, provided the wind vane is in operation. If the turbine starts and produces power, it goes into normal operation. The correct wind speed is not displayed since the frozen sensor cannot transfer the correct data.

2.8 Storms

ENERCON wind turbines are equipped with the so-called storm control feature. This reduces the rotational speed and power output at very high wind speeds (>24 m/s), but will not stop the turbine. It continues to remain on the grid and produce (reduced) power and therefore does not loose energy output due to time consuming stop and re-start procedures (so-called high-wind hysteresis). A separate description of this feature is available.

2.9 Yaw System

The E-33 has a wind sensor (anemometer and wind vane), which is installed on the top of the nacelle to measure wind speed and wind direction.

The E-33 yaw control already starts functioning below the cut-in wind speed. Even when the turbine is shut down, it is turned into the wind. Yaw control takes place when the mean deviation of the rotor orientation to the measured wind direction is larger than a preset angle. This angle and the period of measurement depend on the wind speed and turbine power.

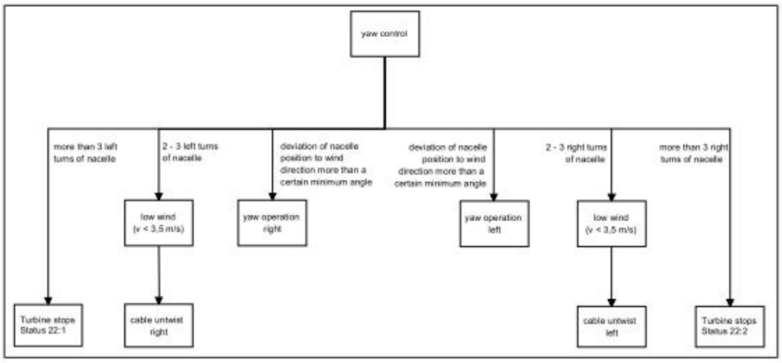


Figure 4: Diagram of the yaw control

The yaw procedure is determined by counting the rotations of the yaw motor and the required yaw time is checked for plausibility. If the control system detects irregularities in the yaw control or cable twist (see following section), a stop procedure is activated.

2.9.1 Cable untwisting

The E-33's power and control cables are conducted from the nacelle to the tower with a deflection device finally attached to the tower wall. The cables have enough freedom of movement to permit the nacelle to rotate several times in the same direction about its axis. This causes the cables to twist gradually. The E-33 control system ensures that the twisted cables are automatically untwisted.

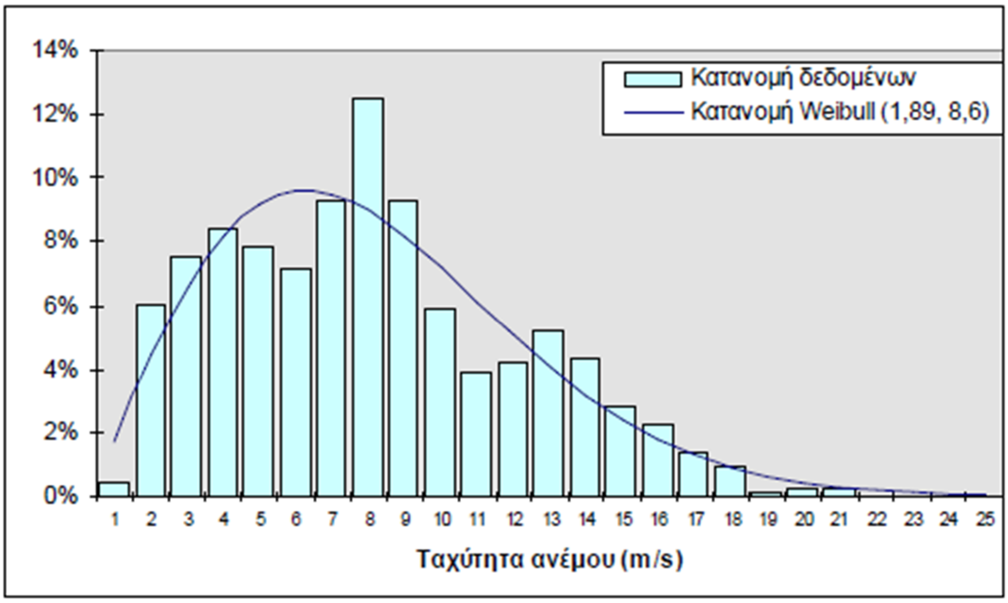
Once the cables have twisted between two to three times the control system uses the next low-wind period to untwist the cables again. If this is not possible because of the wind conditions and the cables twist more than 3 turns, the turbine stops and the cable untwists irrespective of wind speed. The cables take about half an hour to untwist. Once the cables are untwisted, the turbine automatically starts up again.

The sensors for the cable twist are in cable twist switches connected to the yaw ring. Changes in the nacelle position are conveyed to the control system.

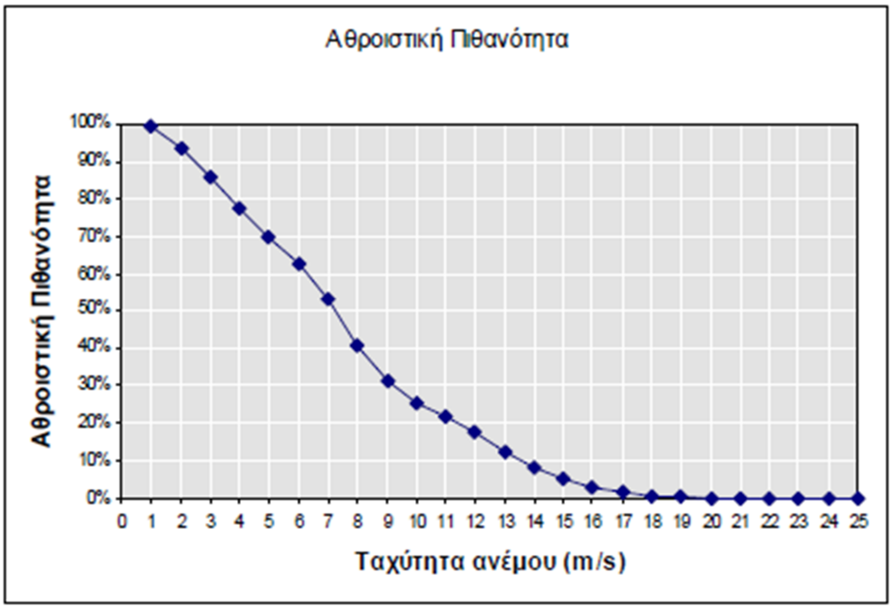
In addition, left and right limit switches detect if the permitted operating range is exceeded in either direction (cable twist limit switch right or left). This prevents further twisting of the tower cables. The turbine stops and cannot automatically restart.

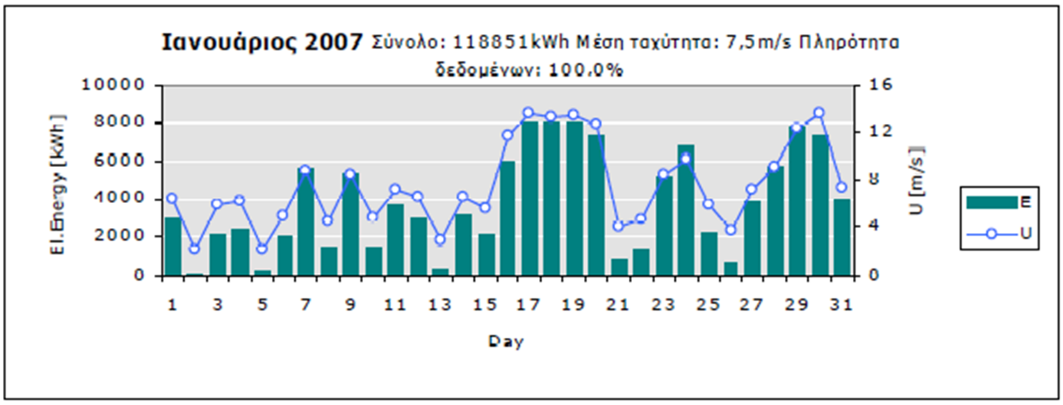
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΟ WINDROSE

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ



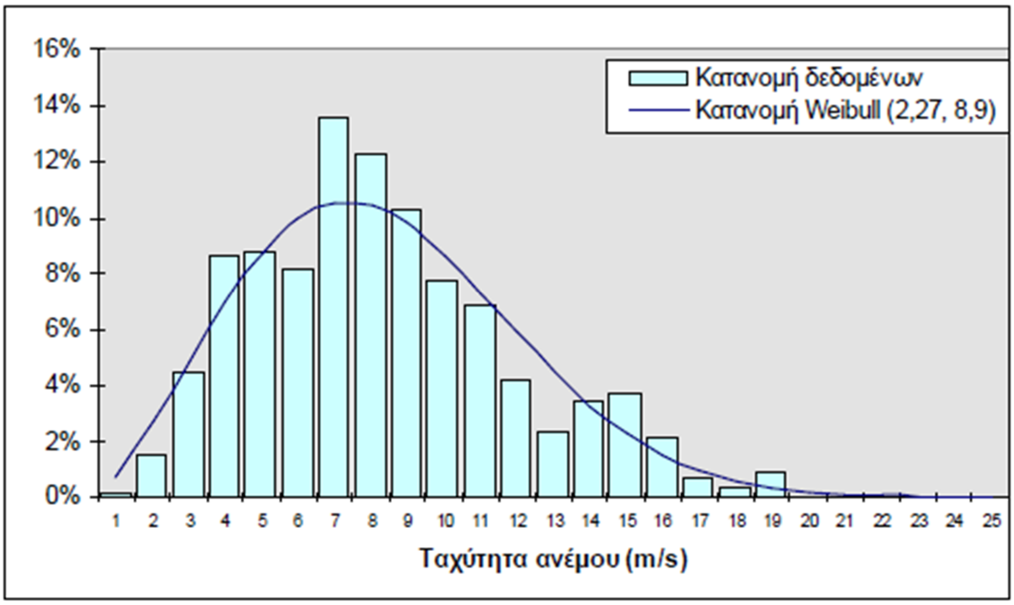
Κατανομή Weibull



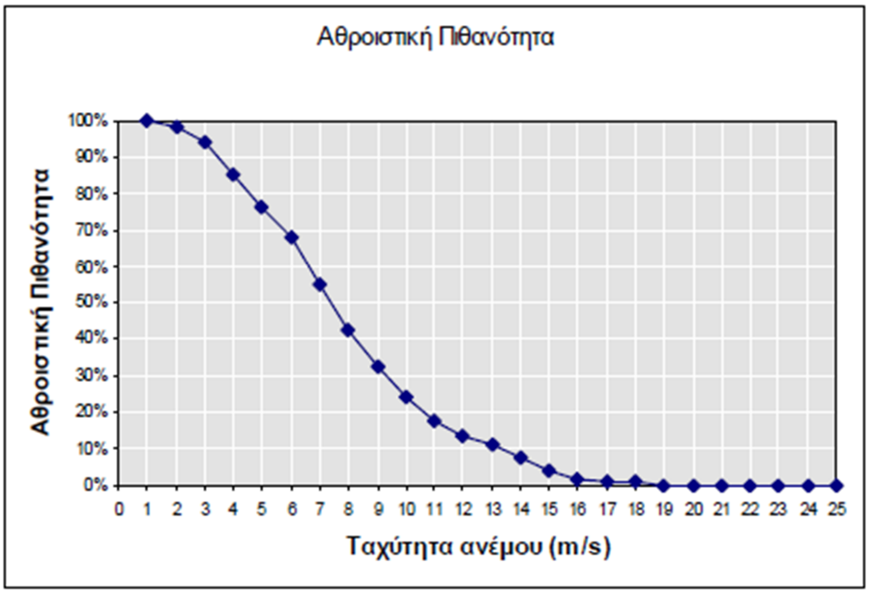


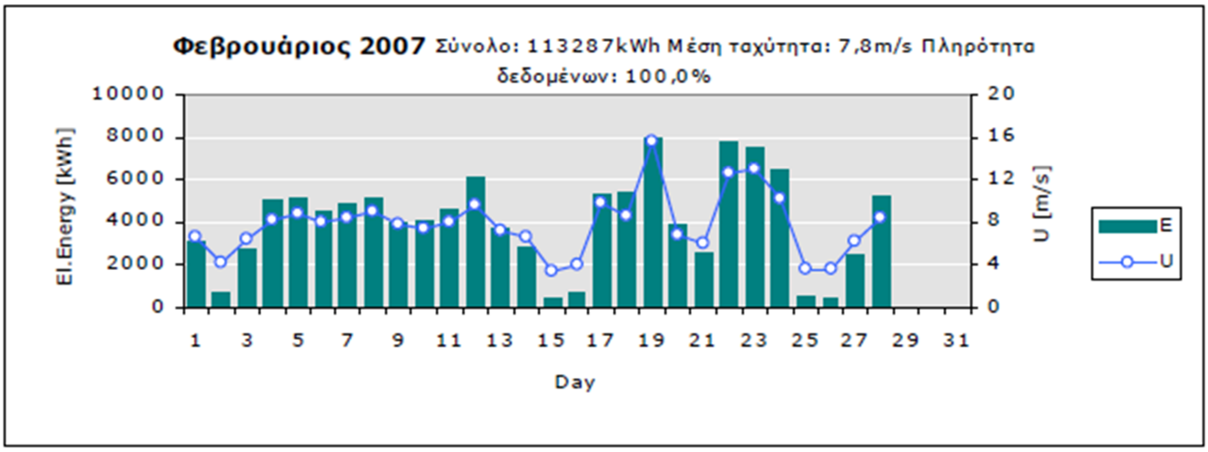
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ



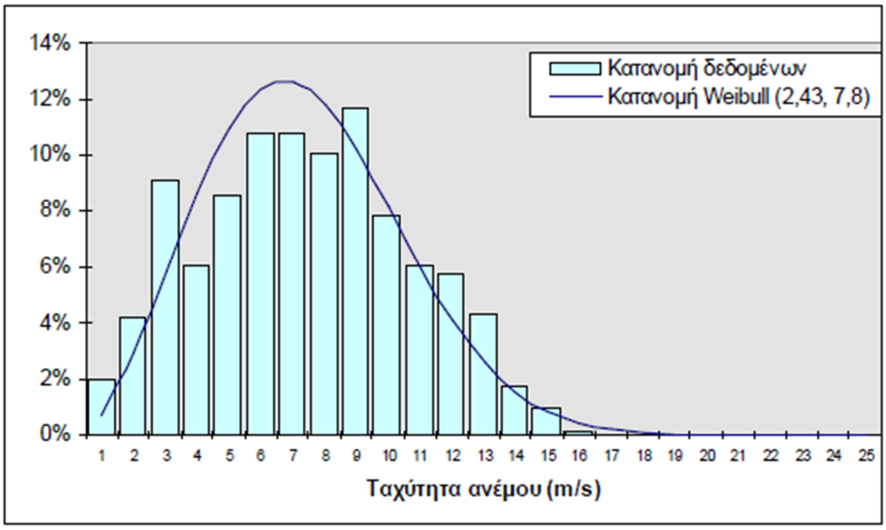
Κατανομή Weibull



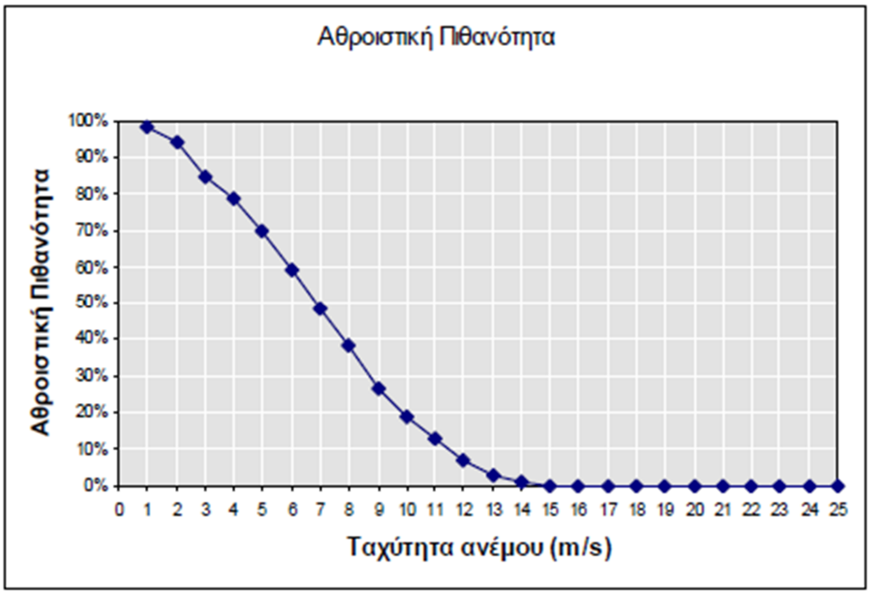


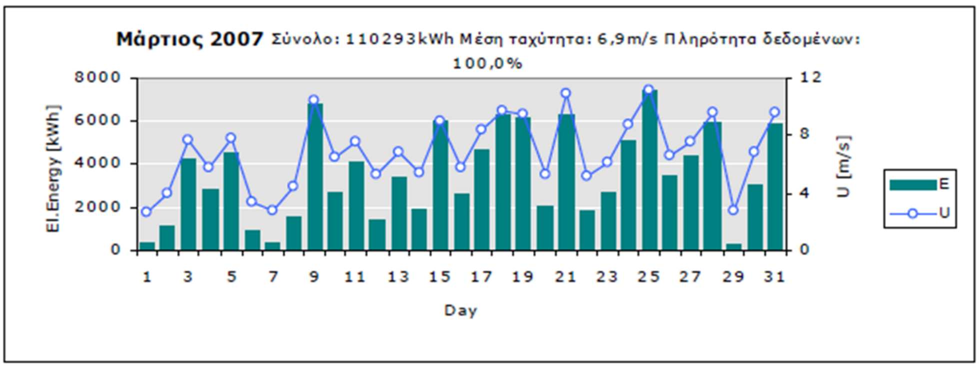
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΜΑΡΤΙΟΣ



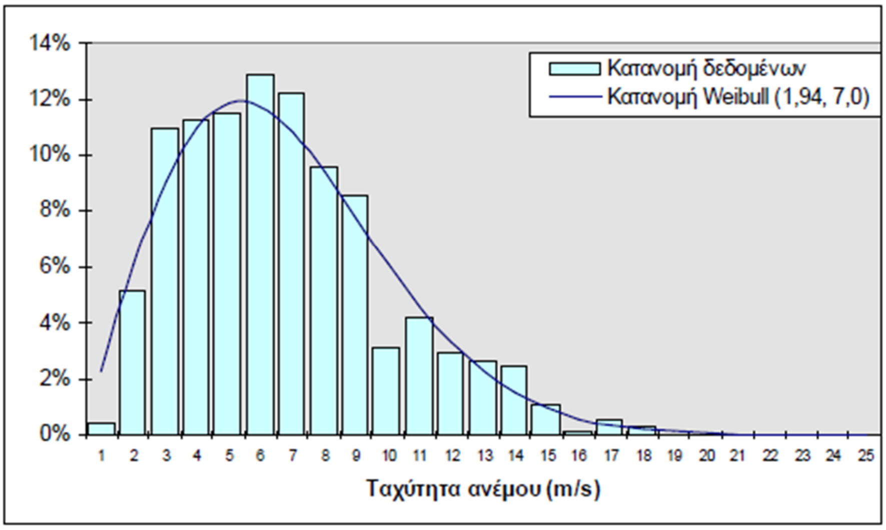
Κατανομή Weibull



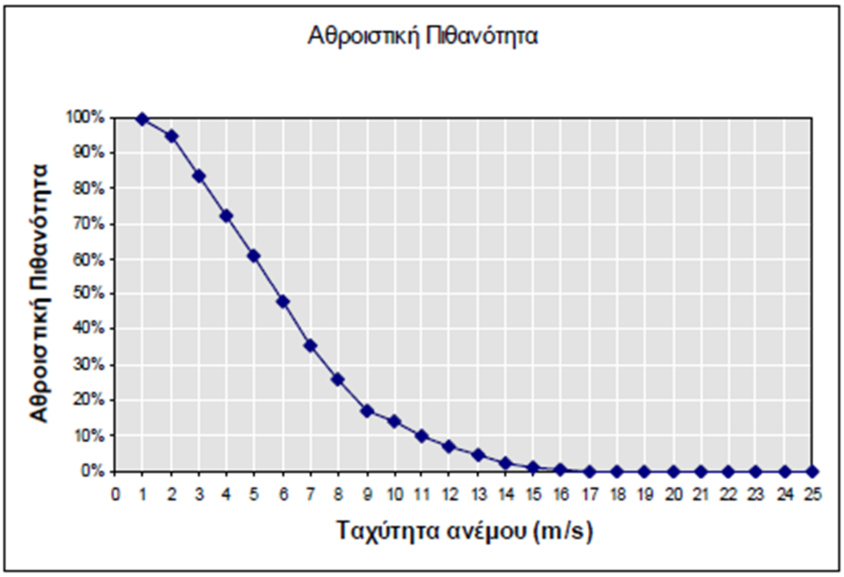


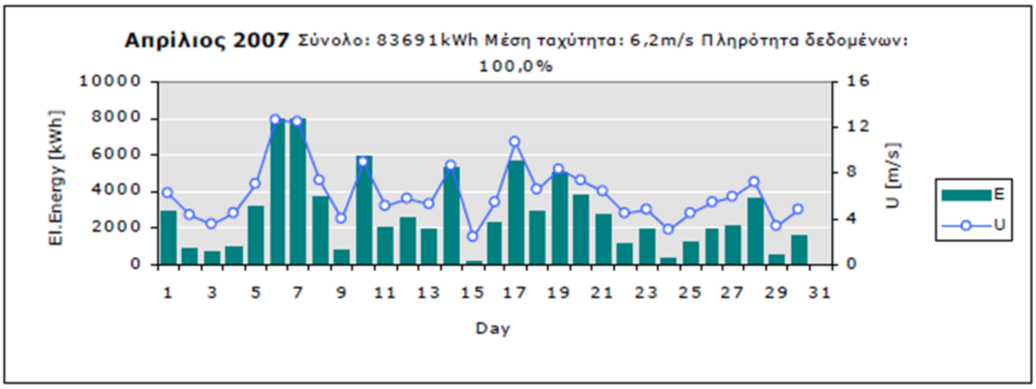
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΑΠΡΙΛΙΟΣ



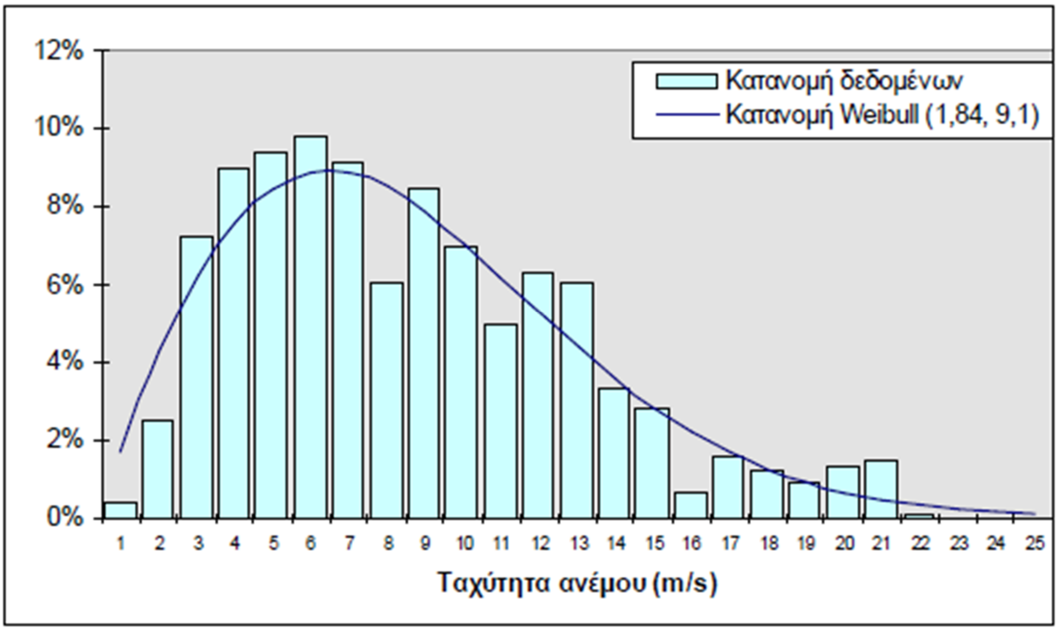
Κατανομή Weibull



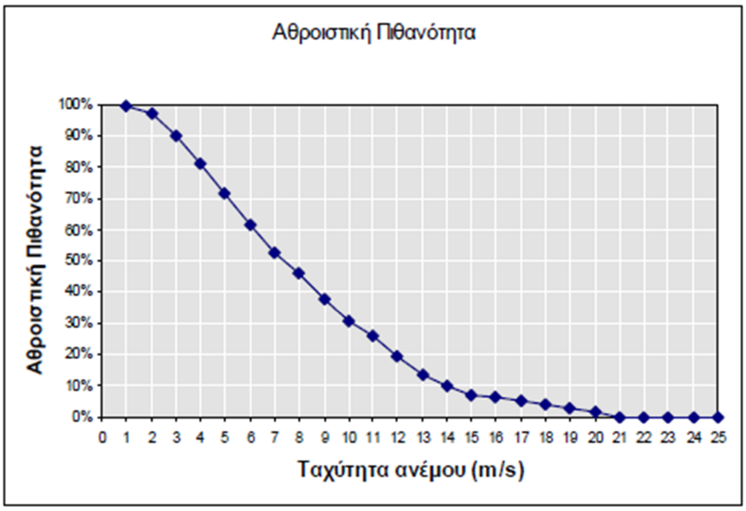


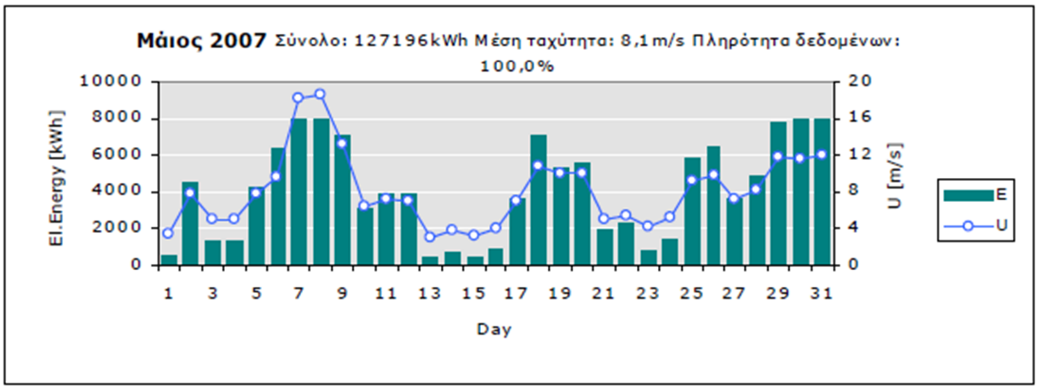
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΜΑΪΟΣ



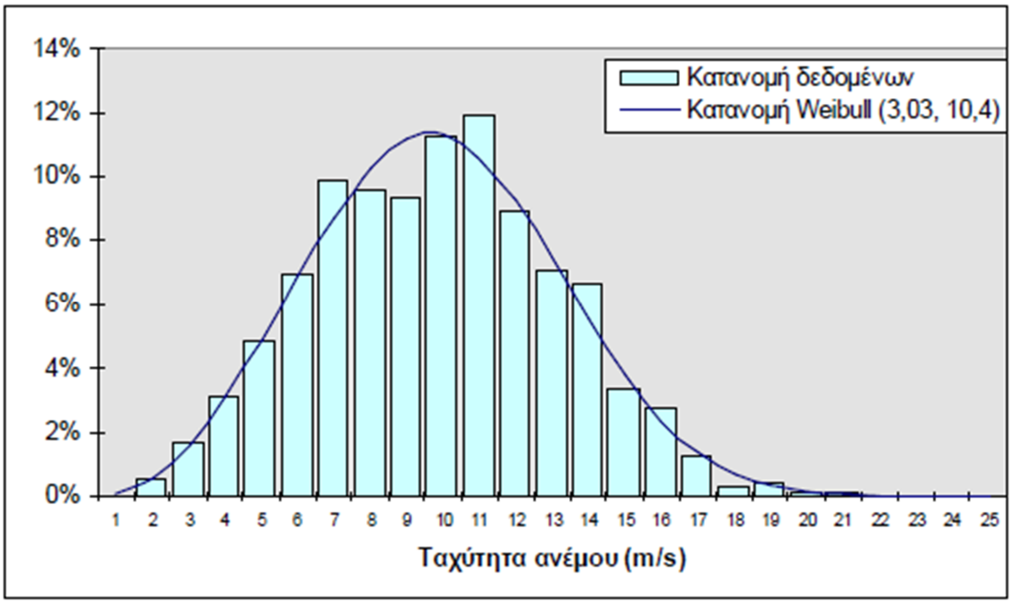
Κατανομή Weibull



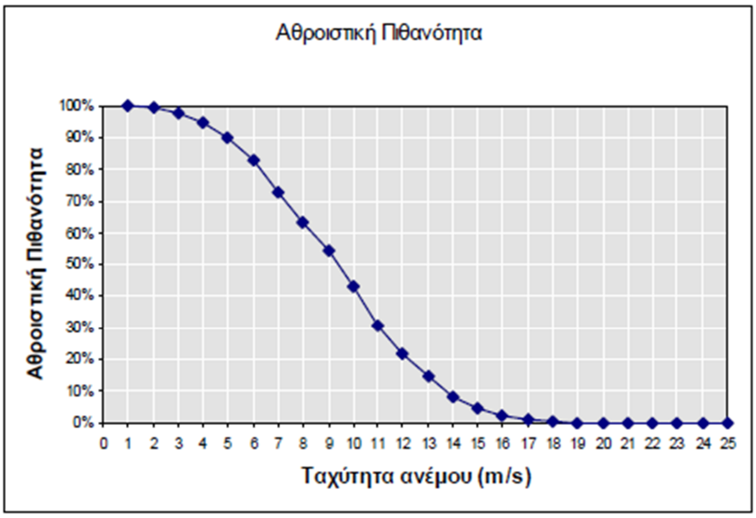


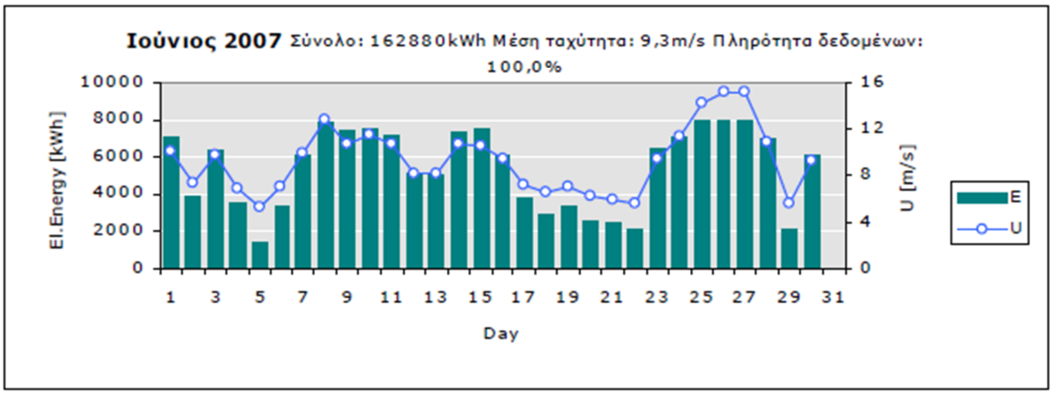
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΙΟΥΝΙΟΣ



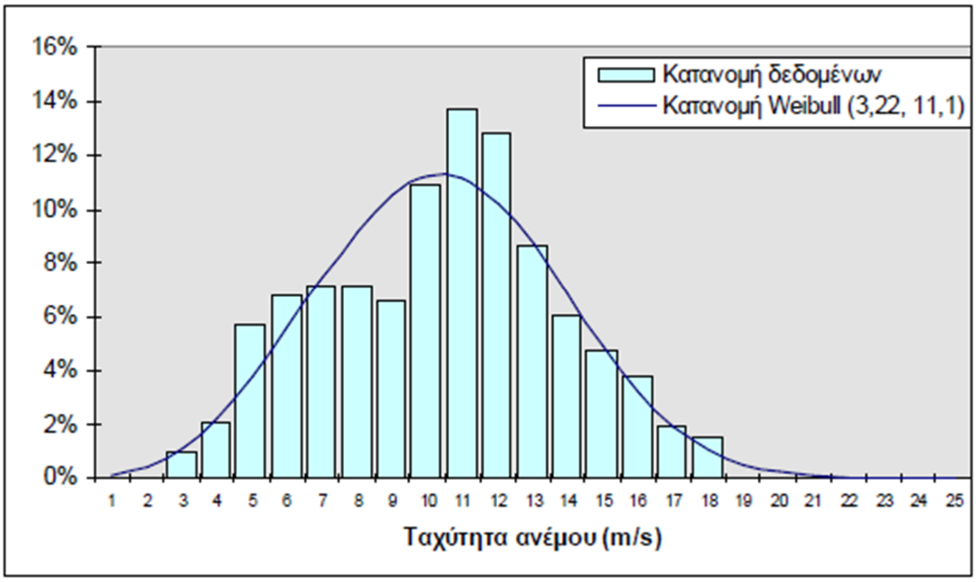
Κατανομή Weibull



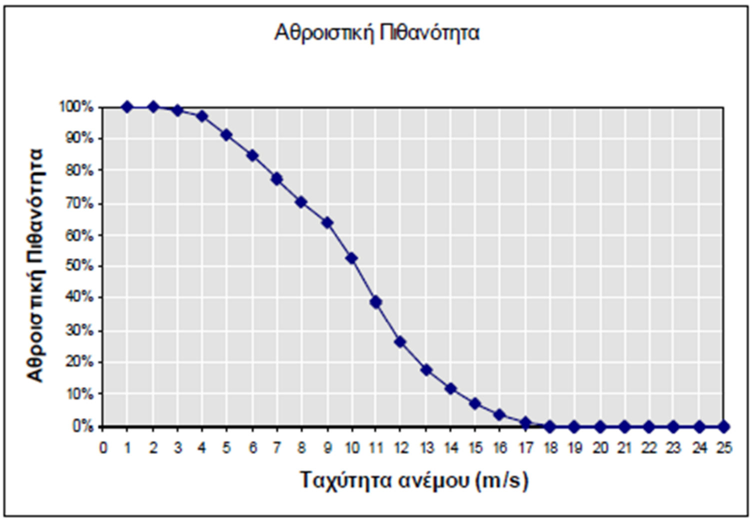


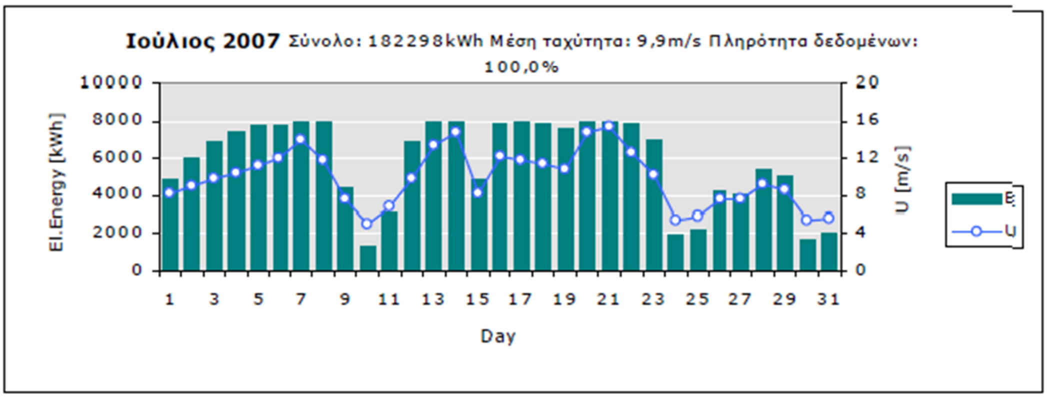
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΙΟΥΛΙΟΣ



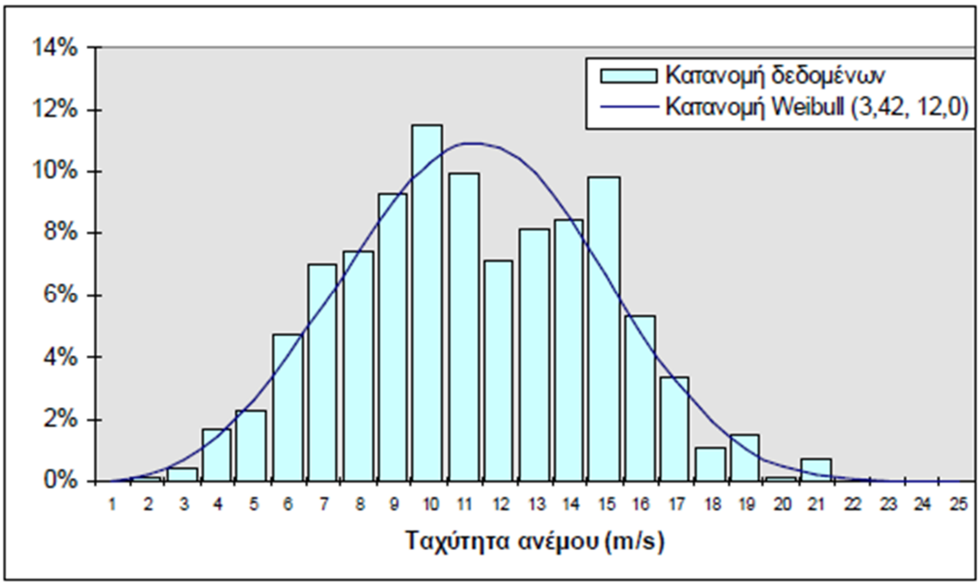
Κατανομή Weibull



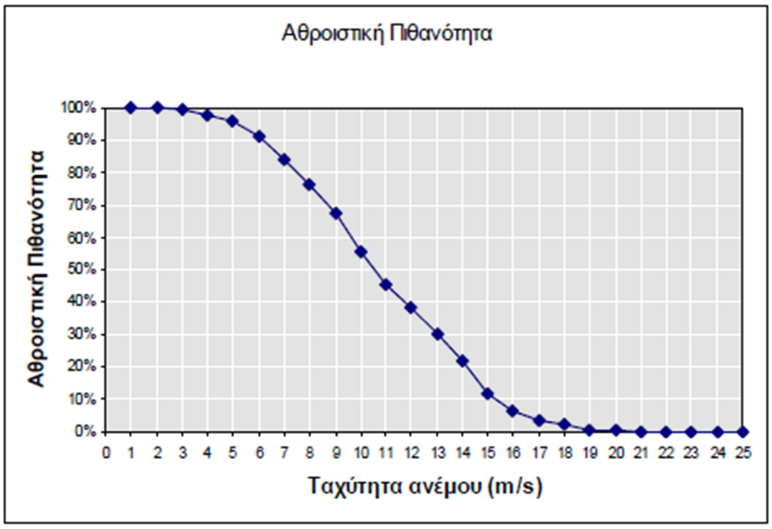


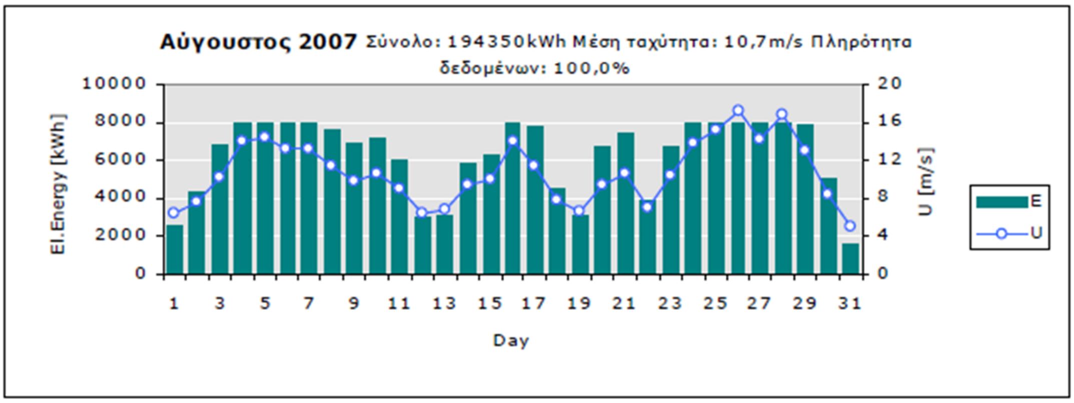
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ



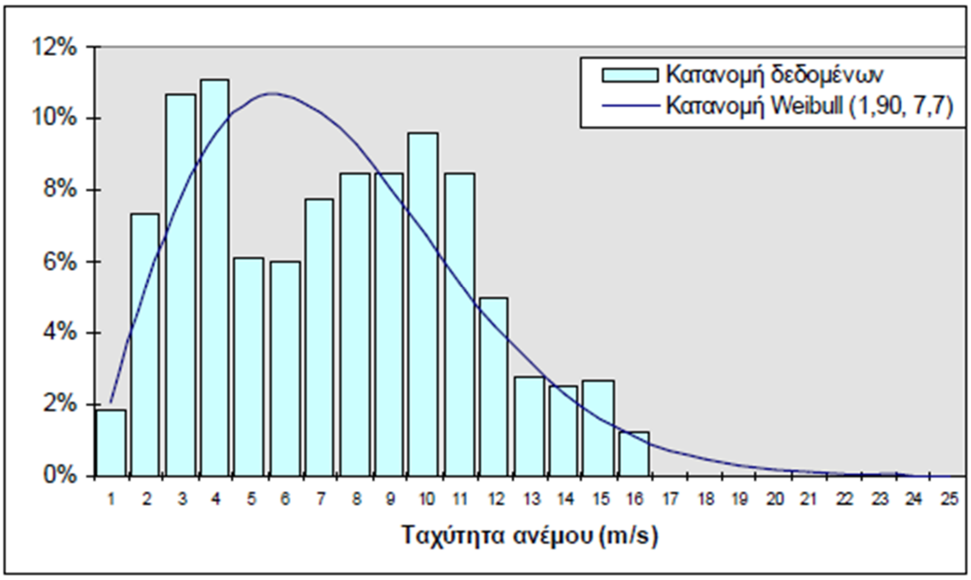
Κατανομή Weibull



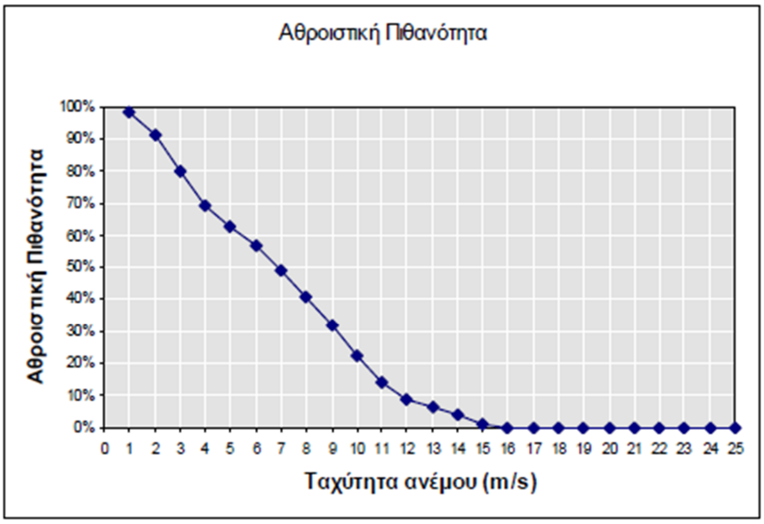


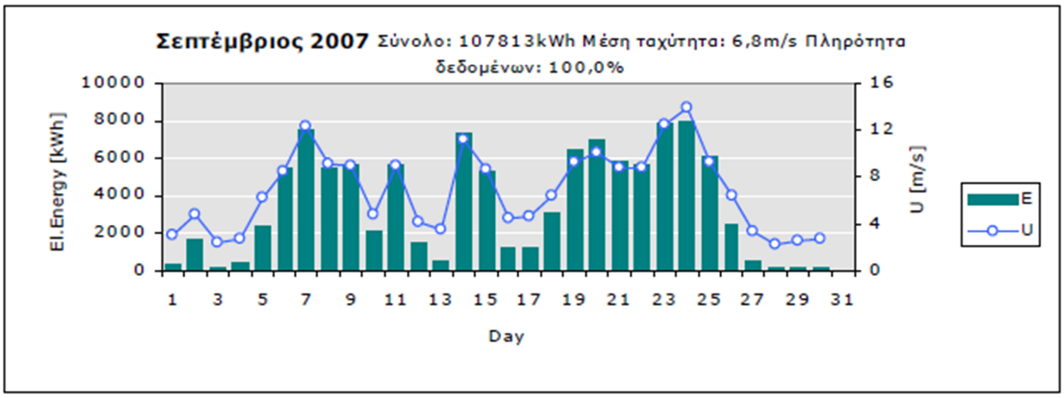
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ



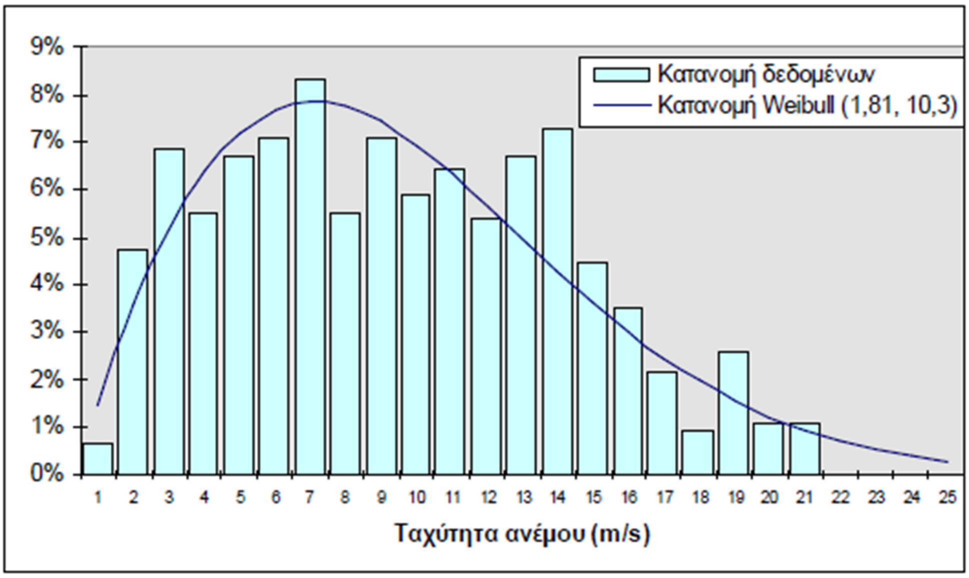
Κατανομή Weibull



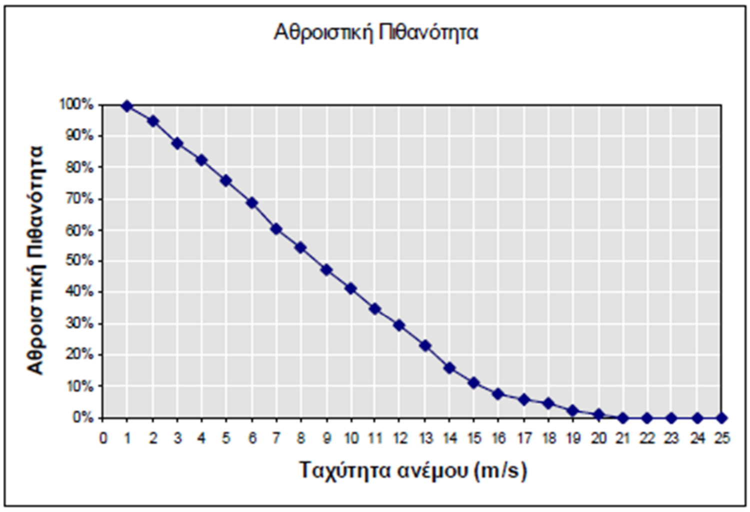


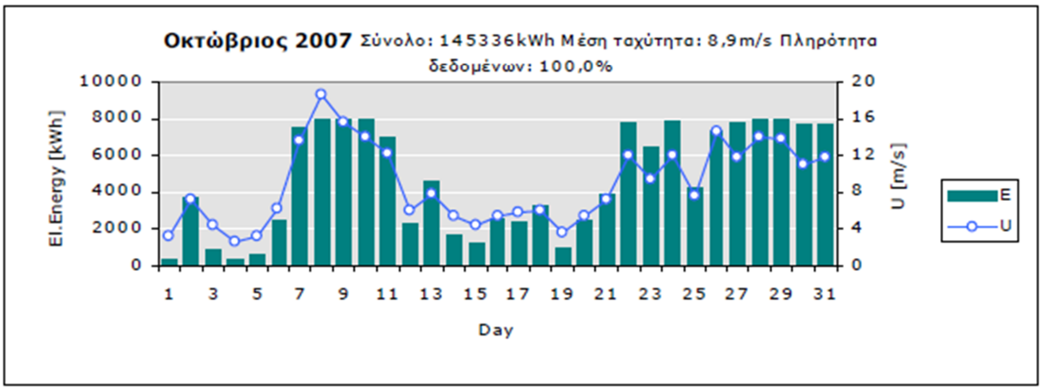
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



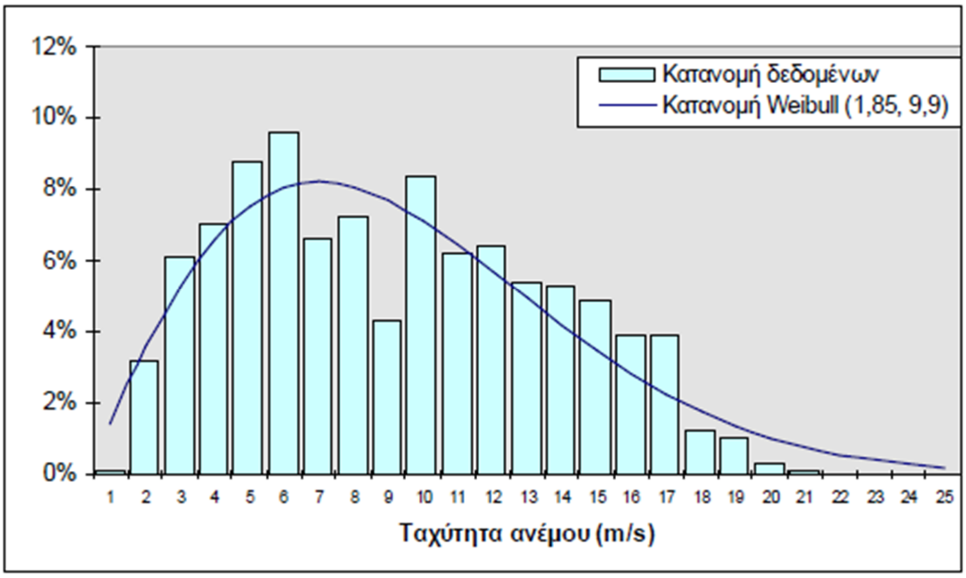
Κατανομή Weibull



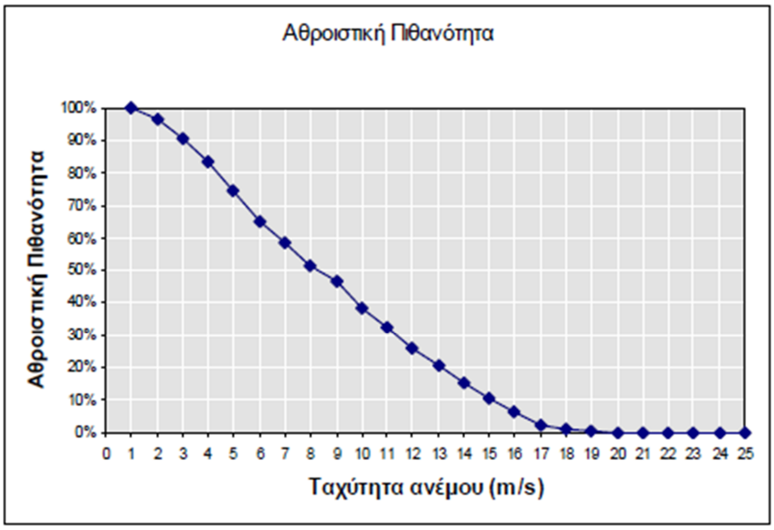


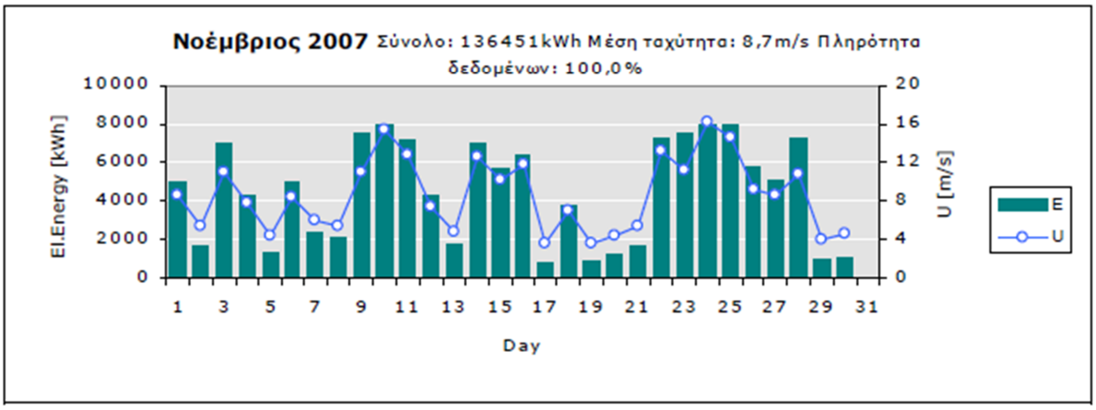
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ



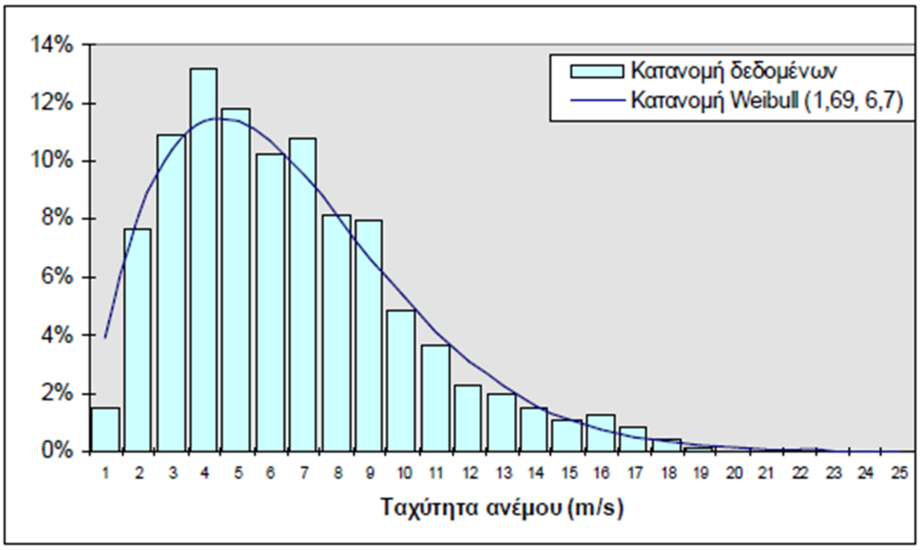
Κατανομή Weibull



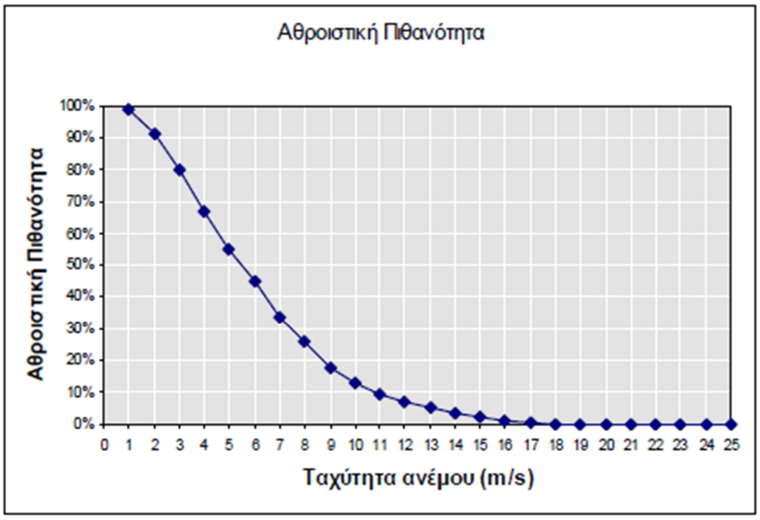


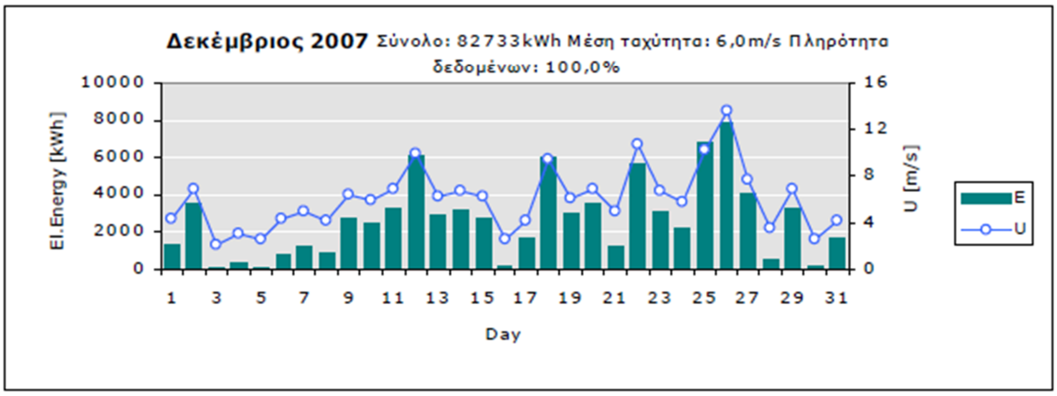
Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ



Κατανομή Weibull





Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Energon E33-330KW) ανά ημέρα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Οικονομοτεχνική Μελέτη Μονάδας Αφαλάτωσης με τη Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας» , Κουνενάνη Μαρία, Χανιά 2001
2. «Βέλτιστη Διαχείριση Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές», Γεώργιος Καλυκάκης, Χανιά 2002
3. «Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού Υβριδικού Συστήματος Φωτοβολταϊκών Στοιχείων και Ανεμογεννητριών για την Τροφοδοσία Συστημάτων Αφαλάτωσης», Χατζηιωάννου Αλέξης,Χανιά 2006
4. «Προσομοίωση Διαφόρων Τοπολογιών Υβριδικού Φωτοβολταϊκού-Αιολικού Συστήματος και Ανάπτυξη Αλγορίθμων Διαχείρισης της Ενέργειας», Μπαλαδάκης Βασίλης,Χανιά 1998
5. «Υλοποίηση Αλγορίθμου Βέλτιστης Διαχείρισης Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές για την Τροφοδότηση Μονάδας Αφαλάτωσης», Δημήτρης Τσακίρης, Χανιά 2004
6. «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Παύλος Γεωργιλάκης
7. «Ηλεκτρική Οικονομία», Παύλος Γεωργιλάκης
8. Online Encyclopedia: Wikipedia-Βικιπαίδια
9. «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση κι Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν ΚΑΠΕ (2001)
10. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας(ΚΑΠΕ)
11. «Φολέγανδρος – Σίκινος», εκδόσεις Μ. Τουμπής Α.Ε. Αθήνα (2008)
12. «Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας με αιολική ενέργεια στη νήσο Σίκινο», Μουτάφης Παναγιώτης, Αθήνα 2008
13. «Μονάδα αφαλάτωσης με τη χρήση αιολικής Ενέργειας στη νήσο Μήλο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα (2005)
14. «Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα (2005)
15. «Design, simulation and economic analysis of a stand alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaic», Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis
16. «A wind powered seawater reverse osmosis system without batteries», Marcos S. Miranda, David Infield
17. http://www.dei.gr
18. «Αξιολόγηση Εναλλακτικών Συστημάτων Αφαλάτωσης Οικονομική και Ενεργειακή Σύγκριση», Αντέλλη Καλλιόπη,Χανιά 2001
19. «Εισαγωγή στην τεχνολογία νερου και αφαλάτωσης», Σταμάτης Α. Αυλωνίτης, Εκδόσεις ΙΩΝ (2006)
20. «Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης» Ε. Δεληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης Αθήνα 1995

21. «Ενέργεια: Πηγές – Εφαρμογές – Εναλλακτικές Λύσεις» Ευγενίδιο Ίδρυμα , Αθήνα 2006
22. «ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ», Γ. Μπεργελές , Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ 1994
23. Υπουργείο Ανάπτυξης www.ypan.gr
24. ΤΕΜΑΚ: www.temak.gr
25. "Συνδυαμός Παραγωγής Ηλεκτρισμού και Πόσιμου Νερού με Αφαλάτωση από Αιολική Ενέργεια, Εφαρμογή στη Νίσυρο», Σταματόπουλος Χ. (2007)
26. «Μελέτη Διασυνδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100KW» Κτενίδης Γ. (2008)
27. «Μεγιστοποίηση Διείσδησης Αιολικών Πάρκων σε Απομονωμένα Ενεργειακά Συστήματα» Κατσαπρακάκης Γ. (2006)
28. «Desalination using alternative energy: Review and state-of-the-art», E. Mathioudakis, V. Belessiotis (2006)
29. «Seawater desalination using rewable energy resources», Kalogirou S. (2005)
30. «Renewable energy resources for desalination», Eftihia Tzen, Richard Morris
31. «Current status of water desalination in the Aegean Islands», Ioannis C. Karagiannis, Petros G. Soldatos
32. «Advances in seawater desalination technologies», Akili D. Khawaji, Ibrahim K. Kutubkhanah, Jong-Mihn Wie
33. «Wind and Solar Power Systems», Patel M. (1999)
34. «Γραμμικός Προγραμματισμός», Γιάννης Σίσκος, Εκδόσεις Συμεών Αθήνα 1998
35. «Μεθοδολογίες Λήψης Οικονομοτεχνικών Αποφάσεων», Βασίλης Μουστάκης, Γεώργιος Δούνιας, Εκδόσεις Πυξίδα, Χίος (2002)