

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο για την επίβλεψη και την καθοδήγηση στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης το μεταπτυχιακό κ. Διαμαντή Μανόλη για την πολύτιμη βοήθεια του στην κατανόηση της μεθόδου simplex του Γραμμικού Προγραμματισμού.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς, που με βοήθησαν στην συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων, όπως και όλους όσους μου συμπαραστάθηκαν ηθικά και ψυχολογικά κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σύγχρονός τρόπος ζωής, με την ταυτόχρονη αύξηση του πληθυσμού, αλλά και τις αλλαγές στις κλιματολογικές συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα, σε αρκετές περιοχές του πλανήτη, τη συνεχή μείωση των αποθεμάτων σε πόσιμο νερό. Μία από τις τεχνολογίες, που υπόσχεται να δώσει λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα είναι αυτή της αφαλάτωσης. Τα μεγάλα ποσά ενέργειας που χρειάζεται η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι δυνατόν να προέρχονται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ή από το ήδη εγκατεστημένο ηλεκτρικό δίκτυο ή από το συνδυασμό τους.

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετάται ποιος από τους παραπάνω τρόπους τροφοδότησης μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι ο οικονομικότερος, λαμβάνοντας υπόψη τη χωρητικότητα της δεξαμενή αποθήκευσης. Υπολογίζεται το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας για κάθε ένα από τα παραπάνω συστήματα, ενώ οι τιμές αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από και προς το δίκτυο λαμβάνονται από τα τιμολόγια της ΔΕΗ.

Η εφαρμογή γίνεται στην πόλη του Αγ. Νικολάου Κρήτης, με μέση ετήσια κατανάλωση νερού ανά ημέρα 5.000 m^3 . Με βάση το αρχικό κόστος η αγορά ενέργειας από τη ΔΕΗ εμφανίζεται ως ο οικονομικότερος τρόπος τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης. Όμως σε βάθος 20 χρόνων ο συνδυασμός ΑΠΕ (ανεμογεννήτριες – φωτοβολταϊκά) και ηλεκτρικού δικτύου αποτελεί την πιο συμφέρουσα λύση, αφού χάρις στις ΑΠΕ εξοικονομείται ενέργεια και το σύστημα τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 Γενικά	4
1.2 Δομή της εργασίας	6
2. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	8
2.1 Γενικά	8
2.2 Το Υβριδικό Σύστημα της Κύθνου	9
3. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	11
3.1 Εισαγωγή	11
3.2 Αιολική Ενέργεια	12
3.3 Ανεμογεννήτριες	13
3.3.1 Τύποι Αιολικών Μηχανών	13
3.3.2 Χαρακτηριστικά Α/Γ κάθετου άξονα	14
3.3.3 Χαρακτηριστικά Α/Γ οριζόντιου άξονα	15
3.3.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη Α/Γ	18
3.3.5 Ισχύς Α/Γ	19
3.4 Αιολικά πάρκα	20
4. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	22
4.1 Εισαγωγή	22
4.2 Ηλιακή ακτινοβολία	22
4.3 Φωτοβολταϊκό σύστημα	23
4.3.1 Γενικά	23
4.3.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια	24
4.3.3 Ισχύς φωτοβολταϊκού	27
4.4 Μετατροπείς Συνεχούς-Εναλλασσόμενου (inverter)	30
4.4.1 Μετατροπέας αυτοτελούς συστήματος	31

4.4.2 Μετατροπείας Φ/Β ενωμένου με το δίκτυο	32
5. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	33
5.1 Εισαγωγή	33
5.2 Ποιότητα Νερού	33
5.3 Μέθοδοι Αφαλάτωσης	35
5.4 Αντίστροφη Όσμωση	36
5.4.1 Το φαινόμενο της όσμωσης	36
5.4.2 Περιγραφή της μεθόδου της αντίστροφης όσμωσης	37
5.4.3 Στάδια λειτουργίας της αντίστροφης όσμωσης	38
5.4.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά	39
6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	40
6.1 Γενικά	40
6.2 Υπολογισμός Ισχύος Α/Γ, Φ/Β	41
6.3 Κατάστρωση και επίλυση προβλήματος Γ.Π.	42
6.3.1 Η δεξαμενή αποθήκευσης	42
6.3.2 Η μέθοδος simplex	43
6.3.3 Λειτουργία της RO	44
6.3.4 Παράμετροι του αλγορίθμου για τη simplex	46
6.3.5 Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου για τη simplex	46
6.4 Προσομοίωση	47
6.4.1 Αγορά και πώληση ενέργειας	48
6.4.2 Παράμετροι για την προσομοίωση	48
6.4.3 Διάγραμμα ροής της προσομοίωσης	49
6.5 Αποτελέσματα του αλγορίθμου	50
7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ (CASE STUDY)	51
7.1 Περιοχή Μελέτης	51
7.2 Κατανάλωση νερού	52

7.3 Τεχνικά στοιχεία της εφαρμογής	52
7.4 Οικονομικά στοιχεία της εφαρμογής	53
7.4.1 Αιολικό Πάρκο	53
7.4.2 Φωτοβολαϊκό Πάρκο	55
7.4.3 Δεξαμενή αποθήκευσης	56
7.4.4 Μονάδα αφαλάτωσης	57
7.4.5 Απασχολούμενο προσωπικό	57
7.4.6 Αγορά και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο	57
7.5 Διαμόρφωση κόστους και για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους τροφοδοσίας της μονάδας αφαλάτωσης	58
7.5.1 Διαμόρφωση του κόστους για το αυτόνομο σύστημα	58
7.5.2 Διαμόρφωση του κόστους για το υβριδικό σύστημα	59
7.5.3 Διαμόρφωση του κόστους της αποκλειστικής αγοράς ενέργειας από τη ΔΕΗ	59
7.6 Σύγκριση κόστους για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης	59
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	61
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	66
9.1 Μελλοντικές Επεκτάσεις	67
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Το νερό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αγαθά για τον άνθρωπο και βρίσκεται σε αφθονία πάνω στη Γη, καταλαμβάνοντας τα τρία τέταρτα της επιφάνειας της. Μόλις όμως το 3% από αυτό είναι γλυκό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πόσιμο, ενώ το υπόλοιπο 97% είναι θαλασσινό και βρίσκεται στις θάλασσες και τους ωκεανούς.

Η ποιότητα του πόσιμου νερού είναι σημαντική για την υγεία των ανθρώπων που το καταναλώνουν (υπολογίζεται ότι περίπου 3.4 εκατομμύρια άνθρωποι κάθε χρόνο χάνουν τη ζωή τους λόγω της μη πρόσβασης σε καθαρό νερό [1]). Το πρόβλημα αναμένεται να οξυνθεί στο μέλλον, αφού η πληθυσμιακή αύξηση και η άνοδος του βιοτικού επιπέδου έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης σε πόσιμο νερό.

Στην Ελλάδα το πρόβλημα της έλλειψης νερού εντοπίζεται στα νησιά και κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η ζήτηση σε πόσιμο νερό, που αυτήν την περίοδο αυξάνεται κατακόρυφα εξαιτίας της άρδευσης και της ύπαρξης του τουρισμού, σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορεί να καλυφθεί από τα υπάρχοντα αποθέματα.

Το πρόβλημα μέχρι σήμερα αντιμετωπίζεται είτε με την εκμετάλλευση των υπογείων υδάτων, είτε με τη μεταφορά νερού στις “προβληματικές” περιοχές. Καμία όμως από τις δύο περιπτώσεις δεν είναι αρκετά ικανοποιητική, αφού η υπερβολική άντληση είναι πιθανόν να οδηγήσει σε διεύδυση θαλασσινού νερού στους υδροφόρους ορίζοντες, ενώ η μεταφορά νερού έχει μεγάλο οικονομικό κόστος.

Ένας άλλος τρόπος, ο οποίος φαίνεται ικανός για να δώσει λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας, είναι αυτός της αφαλάτωσης αλμυρού ή υφάλμυρου νερού. Για την παραγωγή πόσιμου νερού όμως, με τη μέθοδο της αφαλάτωσης απαιτούνται μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό ανεβάζει το κόστος του παραγόμενου νερού, γιατί τα περισσότερα ελληνικά νησιά (συμπεριλαμβανομένου και της Κρήτης) δεν είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας και η

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτά γίνεται από πετρελαϊκούς σταθμούς (οι οποίοι καταναλώνουν ακριβό καύσιμο) [2].

Η ενέργεια που απαιτεί η αφαλάτωση είναι δυνατόν να παραχθεί από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), καθώς η Ελλάδα είναι μία χώρα πλούσια σε ηλιακό και αιολικό δυναμικό. Στην Κρήτη πιο συγκεκριμένα η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει τις 1800 kWh/year , ενώ η αιολική τις 740000 kWh/year [3]. Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ μπορεί να είναι και 10 φορές μικρότερο [3], οπότε μειώνεται και το κόστος του παραγόμενου νερού. Ένα ακόμη πλεονέκτημα των ΑΠΕ αποτελεί το γεγονός ότι η χρησιμοποίησή τους είναι φιλική προς το περιβάλλον.

Μία μονάδα αφαλάτωσης επομένως μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε αποκλειστικά από ΑΠΕ, είτε από το υπάρχον εγκατεστημένο δίκτυο, είτε από συνδυασμό αυτών των δύο. Στόχος της παρούσης εργασίας είναι να βρεθεί ποιος από τους τρεις αυτούς τρόπους τροφοδότησης ικανοποιεί, με τον πιο οικονομικό τρόπο, μια περιοχή στην κατανάλωση νερού.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές αξιόλογες μελέτες για τις μεθόδους αφαλάτωσης [4] καθώς και για την τροφοδότηση τους είτε από ΑΠΕ [5][6], είτε από συνδυασμό ΑΠΕ και δικτύου [7]. Η μελέτη των ΑΠΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει απασχολήσει και παλαιότερα την επιστημονική κοινότητα [8].

Στην παρούσα εργασία όπως προαναφέρθηκε εξετάζονται και οι τρεις περιπτώσεις τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιούνται πραγματικά μετεωρολογικά δεδομένα, όπως επίσης και η ζήτηση του νερού προκύπτει από πραγματικά στοιχεία για την περιοχή που μελετάται. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι και η χωρητικότητα της δεξαμενής.

Στόχος είναι η εύρεση του οικονομικότερου τρόπου τροφοδότησης της αφαλάτωσης και του βέλτιστου μεγέθους του αιολικού και φωτοβολταϊκού πάρκου που αντιστοιχούν σε αυτόν. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει πρωτοτυπία στα εξής σημεία:

- Τα μετεωρολογικά δεδομένα, που χρησιμοποιούνται είναι πολύ αναλυτικά με μετρήσεις ανά λεπτό, γεγονός που οδηγεί στην καλύτερη ανάλυση και επίλυση του προβλήματος.

- Στην περίπτωση του συνδυασμού ΑΠΕ – δικτύου, το ηλεκτρικό δίκτυο αναλαμβάνει την τροφοδοσία της μονάδας αφαλάτωσης μόνον όταν η χωρητικότητα της δεξαμενής πέσει κάτω από ένα επιθυμητό κάτω όριο. Εν συνεχεία την τροφοδοσία της μονάδας αναλαμβάνουν και πάλι οι ΑΠΕ όταν η χωρητικότητα της δεξαμενής φτάσει ένα επιθυμητό άνω όριο.

1.2 Δομή της εργασίας

1^ο Κεφάλαιο

Γίνεται αναφορά στη δυνατότητα παραγωγής πόσιμου νερού από μονάδα αφαλάτωσης και στους τρόπους τροφοδότησης της με την απαιτούμενη ενέργεια.

2^ο Κεφάλαιο

Δίνεται ο ορισμός του υβριδικού συστήματος, καθώς και ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του.

3^ο Κεφάλαιο

Παρουσιάζονται οι υπάρχοντες τύποι ανεμογεννητριών (Α/Γ) και τα μέρη από τα οποία αποτελούνται, παρατίθενται τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη και αναφέρονται τα χαρακτηριστικά ενός αιολικού πάρκου. Επίσης δίνεται η μέθοδος υπολογισμού της ισχύος του ανέμου και της Α/Γ.

4^ο Κεφάλαιο

Γίνεται μία αναφορά στην ηλιακή ακτινοβολία, παρουσιάζονται τα στοιχεία που αποτελούν ένα φωτοβολταϊκό (Φ/Β) στοιχείο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Δίνεται μία μέθοδος υπολογισμού της ισχύος του Φ/Β και μελετώνται θεωρητικά οι τύποι των μετατροπέων (inverters).

5^ο Κεφάλαιο

Αναφέρονται οι κατηγορίες του πόσιμου νερού με βάση την ποιότητα και τις χρήσεις του. Παρουσιάζονται οι μέθοδοι αφαλάτωσης που υπάρχουν και γίνεται μία αναλυτικότερη περιγραφή της μεθόδου της αντίστροφης όσμωσης.

6° Κεφάλαιο

Περιγράφονται τα στάδια του αλγορίθμου, που χρησιμοποιήθηκε και αναφέρονται οι παράμετροι του.

7° Κεφάλαιο

Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της πόλης του Αγ. Νικολάου (περιοχή για την οποία εφαρμόζεται ο αλγόριθμος) και τα οικονομικά και τεχνικά στοιχεία της εφαρμογής.

8° Κεφάλαιο

Δίνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου, δίνονται γραφικές παραστάσεις μεταβολής του κόστους ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας της μονάδας αφαλάτωσης και γραφικές παραστάσεις συναρτήσεως της χωρητικότητας της δεξαμενής.

9° Κεφάλαιο

Παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την εφαρμογή του αλγορίθμου και προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις για τον αλγόριθμο.

2 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Γενικά

Ως υβριδικά συστήματα ορίζονται συστήματα παραγωγής ενέργειας, που αποτελούν το βέλτιστο συνδυασμό διαφόρων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας σε συνδυασμό ή μη με συμβατικές πηγές ενέργειας. [2]

Τα συστήματα αυτά παρέχουν εγγυημένη ισχύ και διασφαλίζουν την απαραίτητη σταθερότητα και αξιοπιστία των ηλεκτρικών συστημάτων. Η αποδοτικότητα τους είναι υψηλή και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν τη ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια σε αυτόνομα συστήματα (απομονωμένες περιοχές) ανεξαρτήτου μεγέθους.

Για να είναι οικονομικότερη η εφαρμογή των υβριδικών συστημάτων στην πράξη πρέπει να δίνεται προτεραιότητα στις ΑΠΕ και οι συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να λειτουργούν σαν εφεδρικοί. Με τον τρόπο αυτό όχι μόνο εξοικονομούνται μεγάλα ποσά χρημάτων, αλλά και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται πιο φιλική προς το περιβάλλον.

Η λειτουργία ενός υβριδικού συστήματος γίνεται ακόμη πιο ενδιαφέρουσα αν η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ δεν απορρίπτεται, αλλά χρησιμοποιείται σε χρονικά ανεξάρτητους καταναλωτές, όπως για παράδειγμα η αφαλάτωση.

Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να αποτελείται από:

- διάφορες τεχνολογίες ΑΠΕ, όπως Ανεμογεννήτριες (Α/Γ), Φωτοβολταϊκά (Φ/Β), βιομάζα κ.ά..
- συμβατικές μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- διάφορα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας όπως μπαταρίες, αντλιοσταμειυτήρες.
- αντιστάσεις απόρριψης της πλεονάζουσας ενέργειας

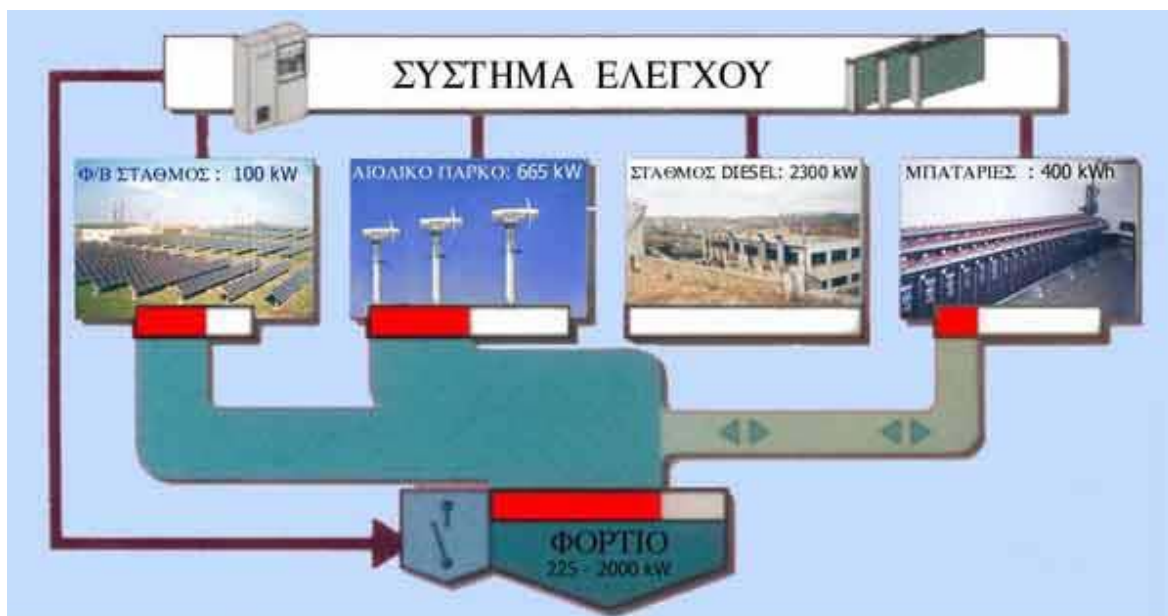
Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής υβριδικού συστήματος στον ελλαδικό χώρο αποτελεί η Κύθνος. Ο τρόπος λειτουργίας του και τα οφέλη που έχει

αποκομίσει το νησί από αυτή την εφαρμογή παρατίθενται στην επόμενη παράγραφο.

2.2 Το Υβριδικό Σύστημα της Κύθνου [9]

Η Κύθνος αποτελεί νησί των Κυκλάδων με έκταση 99 km^2 και πληθυσμό 1.700 κατοίκων.

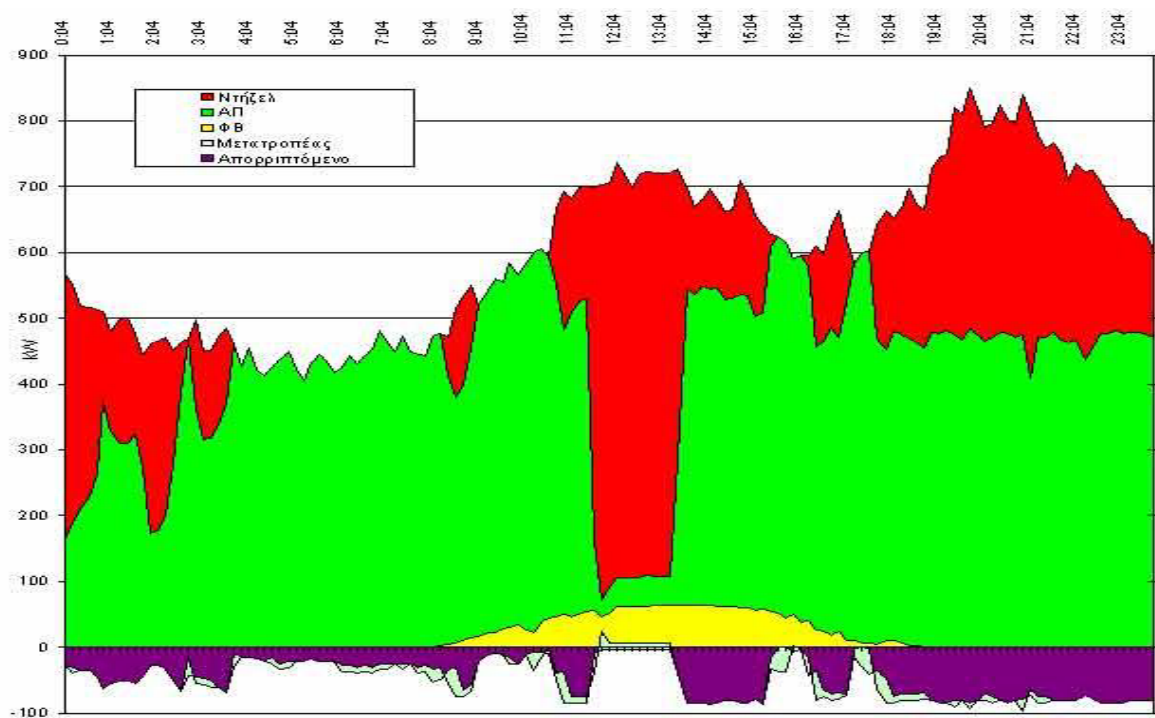
Οι πρώτες Α/Γ στο νησί εγκαταστάθηκαν το 1982, μαζί με ένα φωτοβολταϊκό σταθμό. Μέχρι το 2000 ο τοπικός σταθμός παραγωγής (πετρελαϊκός, ισχύος 2.3 MW) αποτελούσε τον κύριο παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η συνεισφορά του Φ/Β σταθμού (ισχύος 100 kW) και του αιολικού πάρκου (με 5 Α/Γ των 33 kW η καθεμία) δεν ξεπερνούσε το ποσοστό του 10% επί της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος.



Σχήμα 1. Σχηματική αναπαράσταση του υβριδικού συστήματος στην Κύθνο.

Τον Ιούνιο του 2000 στην Κύθνο εγκαταστάθηκε και τέθηκε σε λειτουργία σύστημα Α/Γ – Φ/Β – μπαταριών – αυτόνομου σταθμού παραγωγής. Στο προϋπάρχον σύστημα προστέθηκαν μία Α/Γ των 500 kW, ένας στρεφόμενος πυκνωτής, μετατροπείς και μπαταρίες των 400 kWh.

Τη λειτουργία του υβριδικού συστήματος όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1 συντονίζει ένας υπολογιστής, ο οποίος αποφασίζει αν θα χρησιμοποιηθεί ή όχι ο πετρελαϊκός σταθμός παραγωγής.



Σχήμα 2 . Σύνθεση φορτίου

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2, από τη στιγμή που δόθηκε προτεραιότητα στις ΑΠΕ το ποσοστό διείσδυσης τους αυξήθηκε, συγκεκριμένα σήμερα ξεπερνάει το 20% επί της συνολικής παραγόμενης ισχύος.

Το όφελος από αυτόν τον τρόπο λειτουργίας του υβριδικού συστήματος φαίνεται από το γεγονός ότι ο πετρελαϊκός σταθμός, ο οποίος λειτουργεί πλέον σαν εφεδρικός, τίθεται για μεγάλα χρονικά διαστήματα εκτός λειτουργίας (μέχρι και 12 συνεχόμενες ώρες), εξοικονομώντας έτσι μεγάλες ποσότητες καυσίμου.

3 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

3.1 Εισαγωγή

Οι άνεμοι της γης παράγονται από την άνιση θέρμανση της επιφάνειας της από τον ήλιο, με αποτέλεσμα την δημιουργία θερμοκρασιακών διαφορών και τη μεταφορά ρευμάτων στην ατμόσφαιρα. Εκτιμάται ότι το 2% περίπου της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια, ενώ η ισχύς των ανέμων σε όλη τη γη υπολογίζεται σε 3.6×10^9 MW [10]. Το 1% της ημερήσιας αιολικής ενέργειας επαρκεί για να καλύψει τις παρούσες ενεργειακές ανάγκες.

Ο άνεμος είναι μια στοχαστική πηγή ενέργειας, αν εξετασθεί μέρα με τη μέρα. Αν όμως εξετασθεί χρόνο με το χρόνο αποτελεί μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας. Η συνεχής έρευνα και πρόοδος στον τομέα της εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού, καθιστούν δυνατή τη χρήση του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται με τη χρήση ανεμογεννητριών (Α/Γ). Η Α/Γ είναι μια διάταξη με τη βοήθεια της οποίας μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Από την εμφάνιση της μέχρι σήμερα έχει περάσει από αρκετά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο, όσο και ως προς τον τρόπο δέσμευσης της ενέργειας του αέρα.

Ο συνδυασμός περισσοτέρων από μία Α/Γ έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αιολικών πάρκων και σκοπεύει στην εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού για τη μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αιολικά πάρκα λειτουργούν συνδεδεμένα παράλληλα με το ηλεκτρικό δίκτυο ή με diesel μηχανές.

Η Ελλάδα βρίσκεται στην εύκρατη ζώνη, όπου επικρατούν καλής ποιότητας άνεμοι. Παράλληλα η μορφολογία του εδάφους της συμβάλλει στην επαύξηση της αιολικής ενέργειας εξασφαλίζοντας της έναν ικανοποιητικό συντελεστή για τη χρησιμοποίηση μιας εγκατάστασης Α/Γ. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη χώρα θα μπορούσε να βρει εφαρμογή στα νησιά και στις απομακρυσμένες περιοχές, όπου το κόστος αποκλειστικής παραγωγής ενέργειας από καύσιμα ή μεταφορά της από το κεντρικό δίκτυο είναι μεγάλο.

3.2 Αιολική Ενέργεια

Η κινητική ενέργεια μιας αέριας μάζας m (kg), που κινείται με ταχύτητα u (m/sec) δίνεται από τη σχέση [5]:

$$E_k = \frac{1}{2} m u^2 \quad (1)$$

Αν η μάζα αυτή διέρχεται από μία νοητή επιφάνεια A (m^2) ο ρυθμός ροής της θα ισούται με:

$$\frac{dm}{dt} = \rho \cdot A \cdot u \quad (2)$$

Από τον ορισμό της ισχύος και από τις σχέσεις (1) και (2) έχουμε ότι η ισχύς του ανέμου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = \frac{dE_k}{dt} = \frac{1}{2} \cdot u^2 \cdot \frac{dm}{dt} \Rightarrow$$
$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot u^3 \quad (3)$$

όπου

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad d \text{ είναι η διάμετρος της επιφάνειας } A$$

ρ : η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)

Η πυκνότητα του αέρα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} \quad (4)$$

Σύμφωνα με το νόμο τέλειων αερίων [7] και χρησιμοποιώντας τη σχέση (4) έχουμε:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P' \cdot V'}{T'} \Rightarrow \frac{P \cdot \left(\frac{m}{\rho}\right)}{T} = \frac{P' \cdot \left(\frac{m}{\rho'}\right)}{T'} \Rightarrow \rho' = \rho \frac{T \cdot P'}{P \cdot T'} \quad (5)$$

όπου

P: Η πίεση αναφοράς, ίση με 1013 mbar

T: Η θερμοκρασία αναφοράς, ίση με 288, 15 °K

ρ : Η πυκνότητα αναφοράς, ίση με $1,225 \text{ kg/m}^3$

V : Ο όγκος

m : Η μάζα

P' : Η μετρούμενη πίεση σε mbar

T' : Η μετρούμενη θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{K}$

ρ' : Η ζητούμενη πυκνότητα σε kg/m^3

Αντικαθιστώντας στη σχέση (5) έχουμε:

$$\rho' = 352,984 \cdot \frac{P'}{(273,15 + \theta') \cdot 1,013} \quad (6)$$

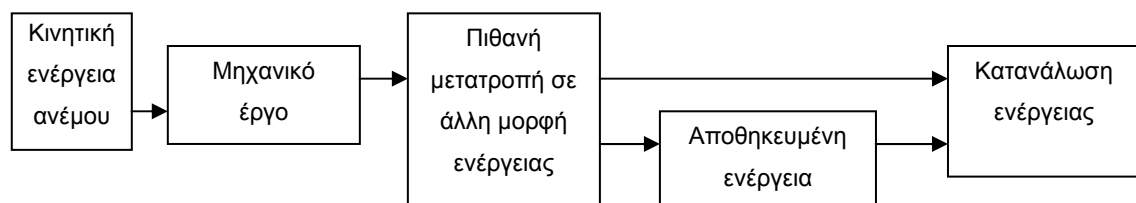
όπου

θ' : Η μετρούμενη θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$

Από την εξίσωση (3) γίνεται αντιληπτό, ότι η στιγμιαία ισχύς του ανέμου επηρεάζεται άμεσα και δραστικά από την ταχύτητα του. Επομένως η επιλογή εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού μιας τοποθεσίας πρέπει να γίνει πολύ προσεχτικά και ύστερα από μελέτη των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής.

3.3 Ανεμογεννήτριες

Μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας φαίνεται στο Σχήμα 3



Σχήμα 3. Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας

3.3.1 Τύποι Αιολικών Μηχανών

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου σε [10]:

- Οριζόντιου άξονα, στις οποίες ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου.
- Οριζόντιου άξονα (Cross Wind), στις οποίες ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης, αλλά κάθετος στην κατεύθυνση του ανέμου.
- Κάθετου άξονα, στις οποίες ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου.

Οι Α/Γ μπορούν να ταξινομηθούν και με βάση την ονομαστική τους ισχύ. Έτσι χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Μικρού μεγέθους, ως λίγα kW
- Μεσαίου μεγέθους, $50 \text{ kW} \leq P_R \leq 250 \text{ kW}$
- Μεγάλου μεγέθους, $250 \text{ kW} \leq P_R \leq 2,5 \text{ MW}$

3.3.2 Χαρακτηριστικά Α/Γ κάθετου άξονα

Οι Α/Γ που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι κατασκευαστικά απλούστερες σε σύγκριση με τις Α/Γ οριζόντιου άξονα.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα [10] των Α/Γ κάθετου άξονα είναι τα εξής:

- Έχουν μικρό βάρος.
- Η κατασκευή τους είναι απλή και οικονομική.
- Δεν απαιτούν μεγάλο πύργο.
- Το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε άλλη μορφή βρίσκεται στο έδαφος.
- Δεν απαιτούν σύστημα προσανατολισμού, αφού δεν επηρεάζονται από πιθανή αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου.

Το μοναδικό, αλλά πολύ σημαντικό μειονεκτήματα [10] των Α/Γ αυτής της κατηγορίας είναι:

- Η χαμηλή απόδοση σε σχέση με τις μηχανές έλικα.

Κύριοι εκπρόσωποι των Α/Γ κάθετου άξονα είναι οι μηχανές τύπου Savonius (πρωτοπαρουσιάστηκαν το 1931 από τον Savonius) και οι μηχανές τύπου Darrieus (πρωτοπαρουσιάστηκαν γύρω στα 1920 από το Γάλλο G.J.M. Darrieus).

3.3.3 Χαρακτηριστικά Α/Γ οριζόντιου άξονα

Οι Α/Γ αυτής της κατηγορίας είναι οι περισσότερες διαδεδομένες σήμερα. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα:

- Πύργος

Είναι το μέρος της Α/Γ που στηρίζει το κέλυφος και το δρομέα. Για τις μεγάλες Α/Γ αποτελεί το βασικότερο στοιχείο του κόστους. Για την κατασκευή του λαμβάνονται υπόψη η μάζα που στηρίζει, οι καταπονήσεις που δέχεται, η ταχύτητα περιστροφής και η αντοχή του στις φυσικές φθορές. Οι κυριότεροι τύποι που απαντώνται σήμερα είναι σωληνωτού τύπου, τύπου δικτυώματος και τύπου λεπτής κολώνας με υποστηρίγματα.

- Κέλυφος

Στηρίζεται πάνω στον πύργο και περιβάλλει τα μηχανικά μέρη και τη γεννήτρια, προστατεύοντας τα. Πρέπει να είναι ευρύχωρο έτσι ώστε να είναι δυνατή η επιτήρηση και η τυχόν συντήρηση των εξαρτημάτων της Α/Γ, αλλά και γιατί με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται και η σωστή ψύξη της γεννήτριας.

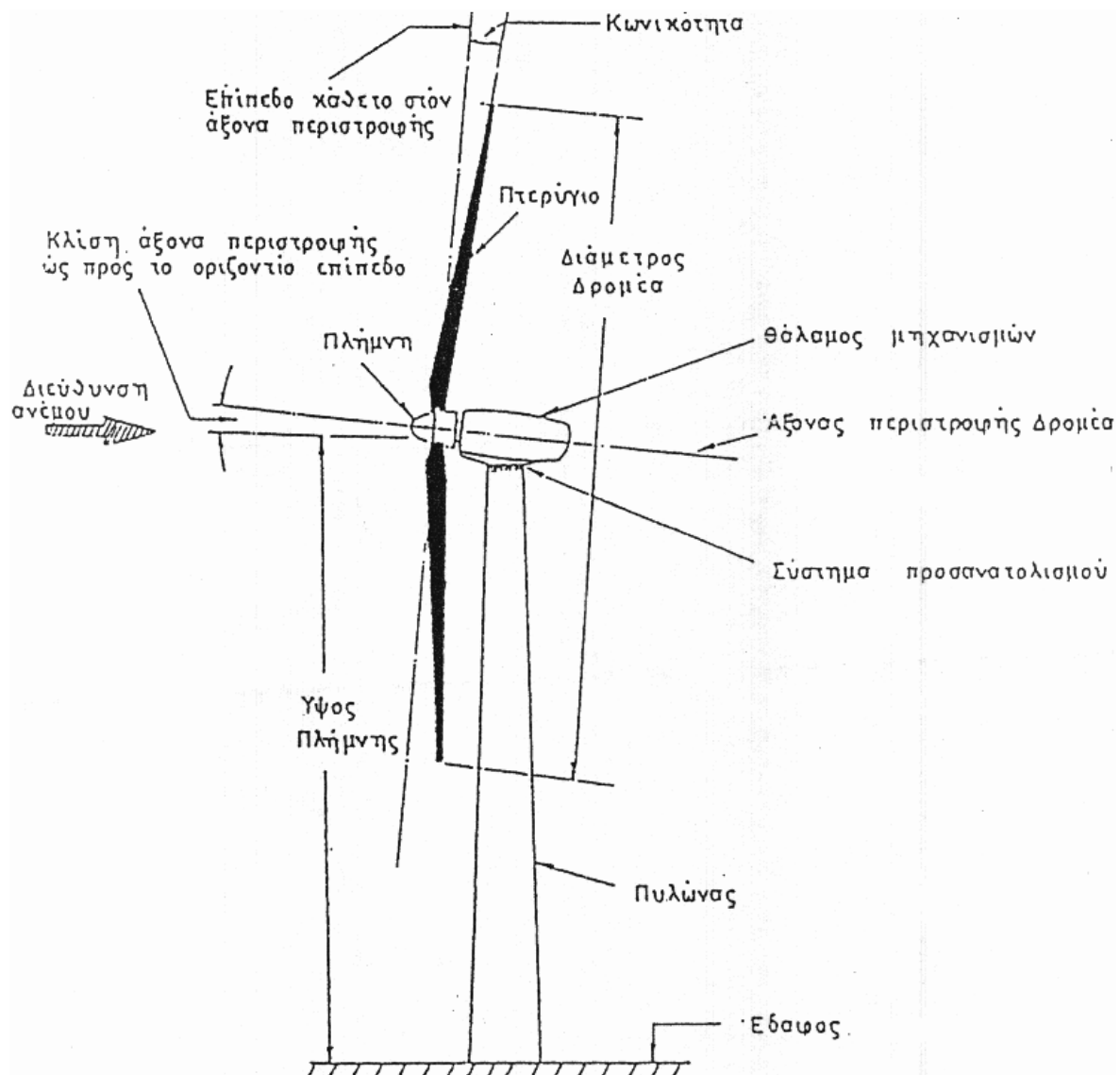
- Δρομέας

Ο δρομέας αποτελείται από την πλήμνη και την πτερύγωση. Η σχεδίαση του δρομέα εξαρτάται από πολλές παραμέτρους (π.χ. ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, διάμετρος δρομέα, αριθμός πτερυγίων κ.ά.). και στοχεύει στη μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής.

Στην πλήμνη προσαρμόζονται τα πτερύγια και είναι το κομμάτι της μηχανής που συνδέεται εσωτερικά με το σύστημα μετάδοσης της κίνησης.

Ανάλογα με το πλήθος των πτερυγίων οι δρομείς ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, σε αυτούς με πολλά λεπτά πτερύγια και σε αυτούς με λίγα πτερύγια. Άλλη μία ταξινόμηση με βάση τα πτερύγια έχει ως αποτέλεσμα τον διαχωρισμό των δρομέων σε δρομείς μεταβλητού βήματος και σε δρομείς σταθερού βήματος.

Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα πτερύγια δεν είναι ίδια για όλα τα μεγέθη των Α/Γ. Έτσι στις μικρές Α/Γ χρησιμοποιούνται κυρίως πολυουθεράνη, υαλόνημα και ξύλο, υλικά που δεν υποφέρουν από διάβρωση, αλλά έχουν άγνωστη συμπεριφορά σε εναλλασσόμενη φόρτιση, φόρτιση που οδηγεί σε πρόωρη γήρανση. Σε μεσαίου μεγέθους Α/Γ χρησιμοποιούνται υαλονήματα με εναλλαγή κατεύθυνσης των υαλονημάτων σε πολλαπλές στρώσεις, ενώ στις μεγάλου μεγέθους Α/Γ χρησιμοποιείται η τεχνολογία ελίκων των αεροσκαφών.



Σχήμα 4. Α/Γ οριζόντιου άξονα

- Σύστημα προσανατολισμού

Στις μικρού ή μεσαίου μεγέθους Α/Γ για τον προσανατολισμό χρησιμοποιείται καθοδηγητικό πτερύγιο. Η επιφάνεια του πτερυγίου, καθώς και η θέση του ως προς τον άξονα του πύργου επιλέγονται έτσι ώστε για απόκλιση του ανέμου ίση με

10°, ο δρομέας να επαναπροσανατολίζεται στον άνεμο, υπερνικώντας την αντίρροπη λόγω γυροσκοπικού φαινομένου. Σε Α/Γ μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιείται σερβοκινητήρας, ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου.

- Μηχανικό σύστημα

Είναι το σύστημα που μεταβιβάζει την κίνηση της πλήμνης και των πτερυγίων στην ηλεκτρογεννήτρια, δια μέσου του άξονα. Περιλαμβάνει τον άξονα του δρομέα, την έδραση του, τον μηχανισμό μετάδοσης κίνησης, τους ελαστικούς συνδέσμους και το σύστημα πέδησης (δισκόφρενα).

- Σύστημα ελέγχου

Είναι το σύστημα που είναι υπεύθυνο για την ομαλή λειτουργία της Α/Γ, την εντός προδιαγραφών λειτουργία της δηλαδή. Λαμβάνοντας υπόψη τις ενδείξεις των οργάνων ελέγχου αποφασίζει για την έναρξη λειτουργίας της Α/Γ ή την παύση της.

- Ηλεκτρική γεννήτρια

Στην ηλεκτρική γεννήτρια γίνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι ηλεκτρικές γεννήτριες χωρίζονται σε σύγχρονες, ασύγχρονες και σε γεννήτριες συνεχούς ρεύματος.

Οι ασύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούνται στις μικρού ή μεσαίου μεγέθους Α/Γ, λόγω της στιβαρότητας και του μικρού τους κόστους. Παρουσιάζουν όμως το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να παράγουν την άεργο ισχύ που απαιτείται για την εγκατάσταση του ηλεκτρομαγνητικού τους πεδίου. Η ισχύς αυτή μπορεί να δοθεί είτε από το ηλεκτρικό δίκτυο, είτε από εξωτερική πηγή (π.χ. οι στατοί πυκνωτές). Η αυτοδιέγερση, όπως ονομάζεται η λειτουργία αυτή, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα που έχουν να κάνουν με τους καταναλωτές με τους οποίους είναι συνδεδεμένη η Α/Γ.

Οι σύγχρονες γεννήτριες παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της παραγωγής της άεργου ισχύος, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι οι διακυμάνσεις των στροφών, που προκαλούνται από τις απότομες μεταβολές του ανέμου μεταφέρονται στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η χρησιμοποίηση ενός μετατροπέα AC-AC.

Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος είναι πολύ πιο εύκολο να ελεγχθούν από τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος. Η ευπάθεια τους όμως και το μεγάλο

σχετικά κόστος έχει περιορίσει τη χρήση τους σε μικρές κυρίως μονάδες. Το γεγονός ότι οι μηχανές συνεχούς ρεύματος αδυνατούν να τροφοδοτήσουν συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος συμβάλλει επίσης στην περιορισμένη τους χρήση.

3.3.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη Α/Γ

- Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας V_{cut-in}

Μία Α/Γ είναι σε θέση να αποδώσει ωφέλιμη ισχύ μόνο όταν η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου. Η ταχύτητα του ανέμου για την οποία η Α/Γ ξεκινάει να λειτουργεί ονομάζεται ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (V_{cut-in}). Οι τιμές της συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 3 και 5 m/sec.

- Ονομαστική ταχύτητα V_R

Είναι η ταχύτητα, στην οποία η Α/Γ αποδίδει τη μέγιστη ισχύ με τη μικρότερη δυνατή καταπόνηση.

- Ταχύτητα αποκοπής $V_{cut-out}$

Όταν ο άνεμος φθάνει σε υψηλές ταχύτητες ενδείκνυται η διακοπή λειτουργίας της Α/Γ για λόγους ασφαλείας. Η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας της Α/Γ ονομάζεται ταχύτητα αποκοπής ($V_{cut-out}$). Οι τιμές της συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 15 και 25 m/sec.

- Ονομαστική ισχύς P_R

Είναι η ισχύς που αποδίδει η Α/Γ όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι ίση με την ονομαστική ταχύτητα της Α/Γ.

- Διάμετρος πτερυγίων

Καθορίζει το κόστος της φτερωτής και την ισχύ της Α/Γ.

- Ύψος πύργου

Η ταχύτητα του ανέμου και κατά συνέπεια η ισχύς της Α/Γ επηρεάζεται από το ύψος του πύργου.

Η Α/Γ της παρούσης εργασίας είναι το μοντέλο VESTAS V-47 και έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 1. VESTAS V-47

Ονομαστική Ισχύς	660 kW
Ονομαστική Ταχύτητα	15 m/sec
Ταχύτητα Έναρξης	4 m/sec
Ταχύτητα Αποκοπής	25 m/sec
Διάμετρος Πτερυγίων	47 m
Επιφάνεια Σάρωσης	1,735 m ²
Ύψος Πύργου	45 m

3.3.5 Ισχύς Α/Γ

Η ισχύς του ανέμου υπολογίζεται από την εξίσωση (3). Η ισχύς της Α/Γ είναι μικρότερη από την ισχύ του ανέμου και δίνεται από τη σχέση:

$$P_m = C_p \cdot P_{ανέμου} \Rightarrow P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot u^3 \quad (7)$$

όπου

C_p : Ο συντελεστής ισχύος. Εξαρτάται από τον τύπο της Α/Γ και από το λόγο λ της περιφερειακής ταχύτητας της Α/Γ, προς την ταχύτητα του ανέμου. Ο συντελεστής ισχύος έχει ως άνω όριο το όριο του Betz ($C_p = 16/27$)

Η ισχύς της Α/Γ εξαρτάται από την ταχύτητα έναρξης, την ονομαστική ταχύτητα και την ταχύτητα αποκοπής. Η σχέση από την οποία υπολογίζεται είναι η ακόλουθη:

$$P_{A/G} = \begin{cases} 0 & V \leq V_{cut-in} \\ A + B \cdot V + C \cdot V^2 & V_{cut-in} < V \leq V_R \\ P_R & V_R < V < V_{cut-out} \\ 0 & V \geq V_{cut-out} \end{cases} \quad (8)$$

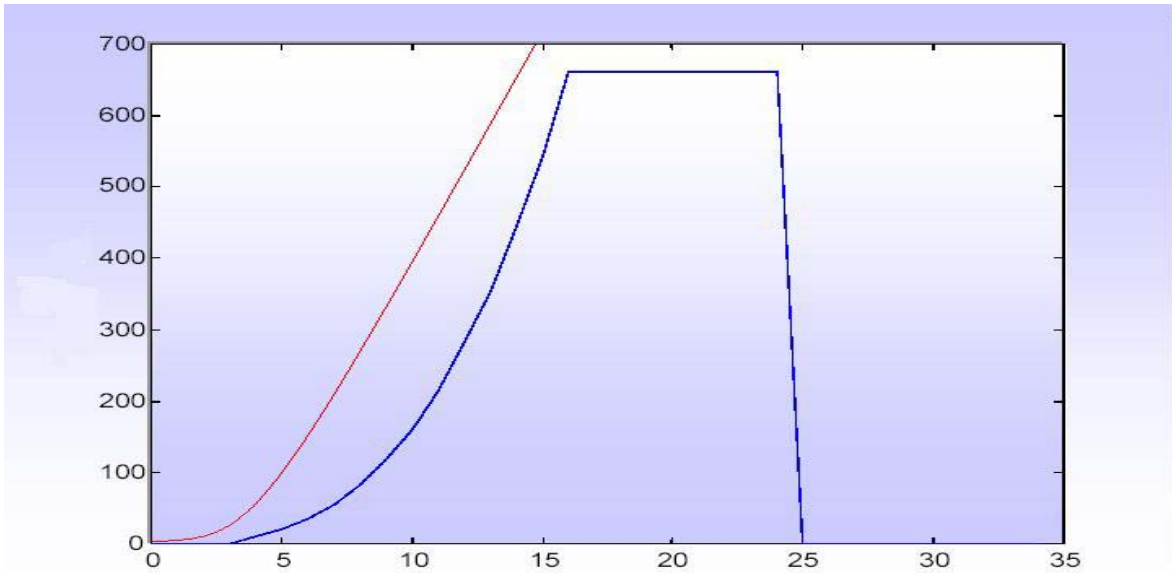
$$A + B \cdot V_{cut-in} + C \cdot V_{cut-in}^2 = 0 \quad (9)$$

$$A + B \cdot V_R + C \cdot V_R^2 = P_R \quad (10)$$

$$A + B \cdot V_C + C \cdot V_C = P_R \cdot \left(\frac{V_C}{V_R} \right)^3 \quad (11)$$

όπου:

$$V_C = \frac{V_{cut-in} + V_R}{2} \quad (12)$$



Σχήμα 5. Ισχύς ανέμου και Α/Γ

3.4 Αιολικά πάρκα

Η πυκνότητα της αιολικής ενέργειας είναι μικρή με αποτέλεσμα για να παραχθεί μια αξιόλογη ποσότητα ενέργειας να απαιτείται η εγκατάσταση πολλών Α/Γ σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο. Ο χώρος εγκατάστασης των Α/Γ αποκαλείται αιολικό πάρκο.

Μέσα σε ένα αιολικό πάρκο υπάρχει οδικό δίκτυο ανάμεσα στις Α/Γ, έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η προσέγγιση τους από το προσωπικό του πάρκου. Οι Α/Γ συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο ισχύος, το οποίο μεταφέρει την παραγόμενη ενέργεια στον υποσταθμό του αιολικού πάρκου. Στον υποσταθμό, ο οποίος περιλαμβάνει μετρητικά όργανα και συστήματα ελέγχου και επιτήρησης των Α/Γ, καταλήγει και τηλεφωνικό καλώδιο ή οπτική ίνα, που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των Α/Γ.

Η σύνδεση του αιολικού πάρκου με το δίκτυο ή με κάποιο καταναλωτή γίνεται με διασυνδετική γραμμή, συνήθως μέσης τάσης.

Η βέλτιστη απόδοση των Α/Γ ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται, τόσο από τα χαρακτηριστικά τους (τα οποία έχουν αναλυθεί παραπάνω), όσο και από τα χαρακτηριστικά του χώρου εγκατάστασής τους. Τα κριτήρια για την επιλογή μιας περιοχής ως κατάλληλης για τη δημιουργία αιολικού πάρκου είναι τα ακόλουθα:

- Να έχει μέση ετήσια ταχύτητα άνω των 4 m/sec.
- Να βρίσκεται σε υψόμετρο μεγαλύτερο των -10 m και μικρότερο των 1000 m.
- Να απέχει τουλάχιστον 500 m από τα όρια μεγάλης πόλης.
- Να μην υπάρχουν ιδιαίτεροι λόγοι μη εγκατάστασης, όπως για παράδειγμα αρχαιολογικοί χώροι, ασταθή εδάφη κ.ά.
- Η εγκατάσταση να μην έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

4.1 Εισαγωγή

Ο ήλιος είναι μια πολύ ζεστή σφαίρα διαμέτρου $1.39 \times 10^9 \text{ m}$, που απέχει από τη γη $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$. Αποτελεί έναν τεράστιο θερμοπυρηνικό αντιδραστήρα, με αλυσιδωτές αντιδράσεις να πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του. Η πιο σημαντική από αυτές τις αντιδράσεις είναι η μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο, απελευθερώνοντας ταυτόχρονα ενέργεια.

Η ενέργεια παράγεται στο μεγαλύτερο ποσοστό της (90%) στον πυρήνα του ήλιου και σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων από αυτόν (0 ως $0.23R$, όπου R η ακτίνα του ήλιου). Η παραγόμενη ενέργεια στη συνέχεια μεταφέρεται στην επιφάνεια και από εκεί διαχέεται στο διάστημα [11].

4.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύει προς τη γη με ταχύτητα $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ και μεταφέρει ενέργεια με τα φωτόνια της. Η ενέργεια αυτή προκαλεί χημικές μεταβολές στα διάφορα υλικά τα οποία εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία [12].

Η ενέργεια των φωτονίων δίνεται από τη σχέση:

$$E = h \cdot \nu \quad [13]$$

όπου

h : είναι η σταθερά Planck ($6.6256 \times 10^{-34} \text{ Js}$)

ν : είναι η συχνότητα κύματος του φωτονίου

Οι συχνότητες του ηλιακού φάσματος, που μπορεί να ανήκει ένα φωτόνιο και συνεπώς και η ενέργεια που έχει ποικίλλουν. Μόνον όμως οι μεγάλες συχνότητες, στις οποίες αντιστοιχούν φωτόνια μεγάλης ενέργειας είναι ικανές να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση από τον ήλιο, ενώ και κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα της

γης πραγματοποιείται ελάττωση λόγω απορρόφησης και ανάκλασης που υφίσταται η ακτινοβολία.

Πιο συγκεκριμένα η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια, που είναι τοποθετημένη λίγο πριν την αρχή της ατμόσφαιρας κάθετα προς τις ακτίνες του ήλιου, θα είναι περίπου ίση με 1350 W/m^2 . Λόγω όμως της ύπαρξης της ατμόσφαιρας, στην επιφάνεια της γης η ένταση μειώνεται γύρω στα 1000 W/m^2 σε επιφάνεια κάθετη προς την ακτινοβολία. Επειδή μάλιστα τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες η ακτινοβολία είναι αναγκασμένη να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα της γης η τιμή της έντασης της πέφτει κάτω από τα 1000 W/m^2 .

4.3 Φωτοβολταϊκό σύστημα

4.3.1 Γενικά

Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται με τη χρήση ειδικών διατάξεων, γνωστές ως φωτοβολταϊκά (Φ/Β). Τα Φ/Β κατασκευάζονται από υλικά όπως το Γερμάνιο, το Πυρίτιο ή διάφορες χημικές ενώσεις όπως Αρσενιούχο Γάλλιο, Φωσφορούχο Γάλλιο και άλλα υλικά [13]. Τα υλικά αυτά, με την ενσωμάτωση επιπλέον στοιχείων αποκτούν την ικανότητα να εμφανίζουν τάση στα άκρα τους όταν προσπίπτει σε αυτά ηλιακή ακτινοβολία.

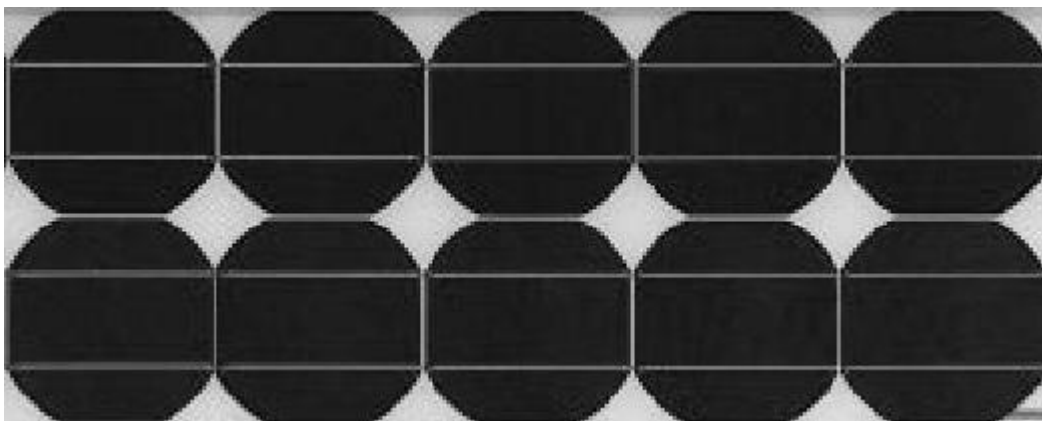
Η μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από Φ/Β στοιχεία συμβαίνει όταν η επιφάνεια τους είναι κάθετη προς τις ακτίνες του ήλιου. Οι ηλιακές ακτίνες όμως, αλλάζουν κατεύθυνση με το χρόνο, γεγονός που έχει ως συνέπεια την αναγκαστική περιστροφή του πλαισίου, έτσι ώστε η επιφάνεια του να παραμένει κάθετη στις ακτίνες του ήλιου. Στην πράξη όμως, μια τέτοια εφαρμογή θα είχε ως συνέπεια την αύξηση του βαθμού δυσκολίας και του κόστους κατασκευής ενός Φ/Β πλαισίου.

Λύση στο πρόβλημα αυτό αποτελεί η τοποθέτηση του Φ/Β πλαισίου με τέτοιο τρόπο, ώστε η επιφάνεια του να βλέπει προς το νότο, για το βόρειο ημισφαίριο, και να σχηματίζει γωνία με το έδαφος ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Εξασφαλίζεται έτσι μία ικανοποιητική πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του πλαισίου.

4.3.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Επειδή η τάση και η ισχύς ενός μεμονωμένου Φ/Β στοιχείου είναι πολύ μικρή για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί στην τροφοδότηση οποιουδήποτε καταναλωτή, πολλά Φ/Β στοιχεία συνδέονται σε ένα πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο.



Σχήμα 6. Φ/Β πλαίσιο

Τα Φ/Β χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα μεγέθη:

- Μέγιστη Ισχύς (P_{\max})

Είναι η ισχύς που αποδίδει το πλαίσιο όταν προσπίπτει σε αυτό ακτινοβολία ίση με 1000 W/m^2 και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι ίση με 25°C . Εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του πλαισίου, το εμβαδόν του και τη θερμοκρασία. Δίνεται πάντα από τον κατασκευαστή.

- Τάση λειτουργίας (Rated voltage)

Είναι η τάση που παρέχει το πλαίσιο, το οποίο συνήθως αποτελείται από 35 Φ/Β στοιχεία των 0,5 V. Επομένως η τάση λειτουργίας του πλαισίου είναι ίση με 17 V.

- Ρεύμα λειτουργίας (Rated current)

Καθορίζεται από τη μέγιστη ισχύ και την τάση που δημιουργείται στα άκρα του πλαισίου όταν σε αυτό προσπίπτει ακτινοβολία έντασης 1000 W/m^2 .

- Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Short-circuit current)

Είναι το ρεύμα που δίνει το πλαίσιο όταν τα άκρα του βραχυκυκλώνονται, συνδέονται δηλαδή με σύρμα μηδενικής αντίστασης.

- Τάση ανοιχτού κυκλώματος (Open-circuit voltage)

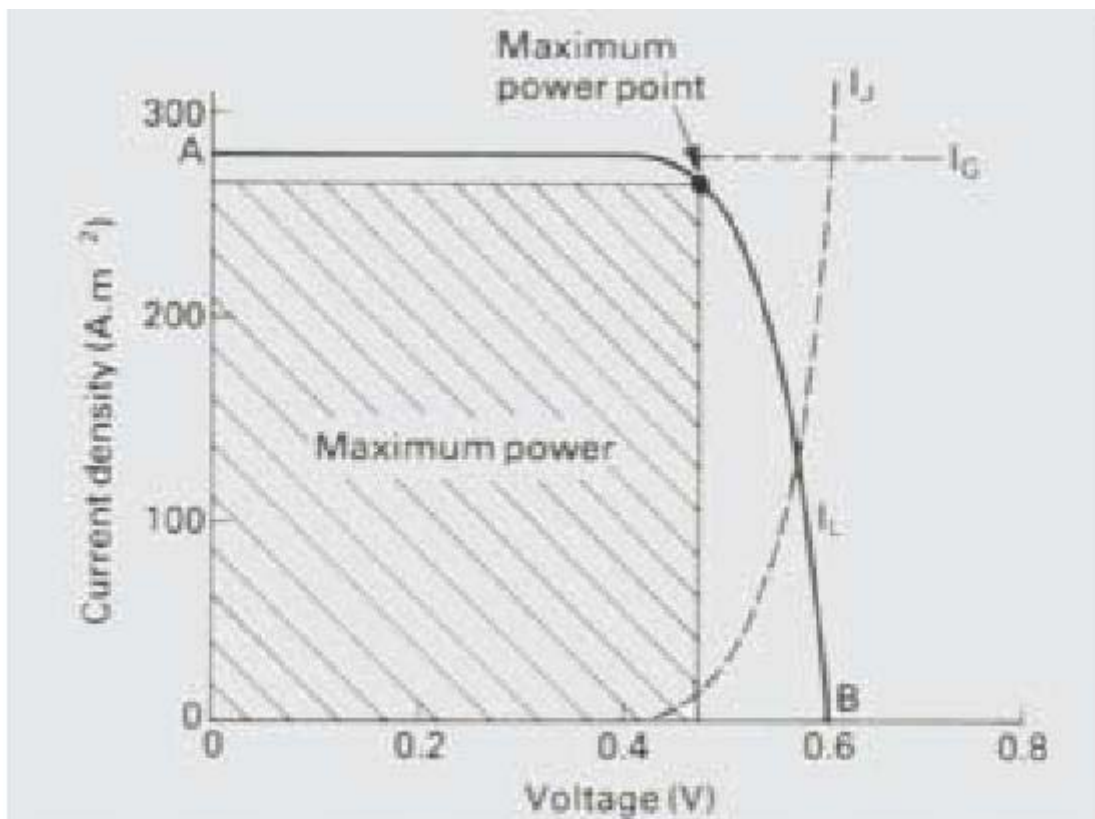
Είναι η τάση που εμφανίζει το πλαίσιο όταν τα άκρα του δεν ενώνονται ή ενώνονται με τη βοήθεια μίας πολύ μεγάλης αντίστασης.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του Φ/Β που χρησιμοποιείται σε αυτή την εργασία δίνονται από τον ακόλουθο πίνακα [14]:

Πίνακας 2. SIEMENS SP75

Μέγιστη Ισχύς	75 W
Τάση λειτουργίας	17 V
Ρεύμα λειτουργίας	4,4 A
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	4,8 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	21,7 V
Διαστάσεις Φ/Β	1,2m × 0,527m

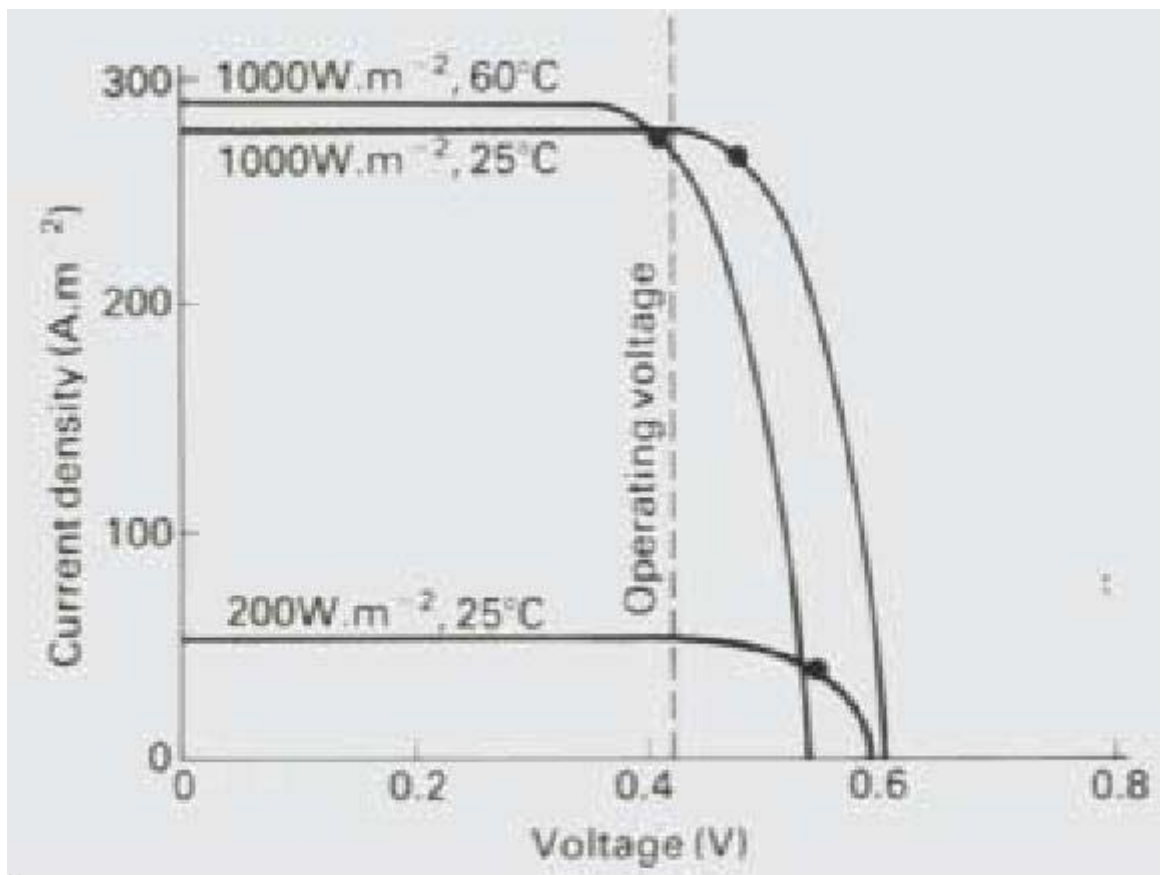
Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης ενός Φ/Β δίνεται από το Σχήμα 7 [15]:



Σχήμα 7. Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης Φ/Β

Το σημείο, στο οποίο το γινόμενο $V \cdot I$ γίνεται μέγιστο, ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος και είναι φανερό από το Σχήμα 7 ότι το εμβαδόν του ορθογώνιου που αντιστοιχεί σε αυτό το σημείο είναι μεγαλύτερο από αυτά άλλων σημείων.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοιχτού κυκλώματος επηρεάζονται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο Φ/Β. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 8, μεταβολή της θερμοκρασίας έχει μικρότερη επίδραση στο ρεύμα βραχυκύκλωσης και μεγαλύτερη στην τάση ανοιχτού κυκλώματος. Αντίθετα η μεταβολή στην ακτινοβολία, που προσπίπτει στο Φ/Β, επηρεάζει σημαντικά το ρεύμα βραχυκύκλωσης και ελάχιστα την τάση ανοιχτοκύκλωσης.



Σχήμα 8. Επιδράσεις των αλλαγών στη θερμοκρασία και στην ακτινοβολία

Η απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου, το ποσοστό δηλαδή της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική, είναι σχετικά μικρή και κυμαίνεται από 12% ως 15%. Η τόσο μικρή απόδοση των Φ/Β οφείλεται σε:

- Σκίαση από την μπροστινή επαφή
- Ανάκλαση από την μπροστινή επιφάνεια

- Χαμηλή απορρόφηση
- Μερική εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων
- Απώλειες συλλέκτη
- Διαρροή
- Αντιστάσεις

4.3.3 Ισχύς Φωτοβολταϊκού

Παράγοντες που επηρεάζουν την ισχύ ενός Φ/Β είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη επιφάνεια, ο προσανατολισμός του Φ/Β και το εμβαδόν της επιφάνειας του. Καθοριστικό ρόλο επίσης, στη διαμόρφωση της ισχύος ενός Φ/Β παίζουν η ώρα και η μέρα του χρόνου που γίνεται ο υπολογισμός της.

Η μέθοδος υπολογισμού, με ταυτόχρονο ορισμό όλων των απαραίτητων μεγεθών, της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε Φ/Β, που σχηματίζει γωνία β με το έδαφος είναι η ακόλουθη [11]:

- Ηλιακή σταθερά $G_{sc} = 1367 W/m^2$
- Ηλιακή ώρα

$$solar_time = standard_time + 4 \cdot (L_{st} - \lambda) + E \quad (14)$$

όπου

$standard_time$: Η τοπική ώρα. Για τη θερινή ισχύει ότι

$$standard_time = standard_time + 1 \quad (15)$$

L_{st} : Είναι ο τοπικός μεσημβρινός

λ : Το γεωγραφικό μήκος

E: η εξίσωση του χρόνου, η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση

$$E = 229,2 \cdot (0,000075 + 0,001868 \cdot \cos B - 0,032077 \cdot \sin B - 0,014615 \cdot \cos 2B - 0,04089 \cdot \sin 2B) \quad (16)$$

με

$$B = (n-1) \cdot \frac{360}{365} \quad (17)$$

όπου

n: ο αριθμός της τρέχουσας ημέρας του έτους, $1 \leq n \leq 365$. Για δίσεκτο έτος ισχύει

$$1 \leq n \leq 366$$

• θ_z : Είναι η ζενίθια γωνία του ήλιου

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta \quad (18)$$

όπου:

ϕ : το γεωγραφικό πλάτος, $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$

δ : Η απόκλιση της θέσης του ήλιου από τον ισημερινό, $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right) \quad (19)$$

ω : Η ωριαία γωνία του ήλιου

$$\omega = 15 \cdot (12 - solar_time) \quad (20)$$

• θ : Η γωνία πρόσπτωσης, για το βόρειο ημισφαίριο ισχύει

$$\cos \theta = \cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta \quad (21)$$

όπου

β : Η γωνία κλίσης του Φ/B, $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$

• H_o : Είναι η εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφανείας σε διάστημα μιας ημέρας

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right] \cdot \left(\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta\right) \quad (22)$$

όπου

ω_s : Η γωνία της ώρας δύσης του ήλιου

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \cdot \tan \delta \quad (23)$$

- N : Ο αριθμός των ωρών του φωτός ημέρας

$$N = \frac{2}{15} \cdot \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (24)$$

- H : Είναι η μετρούμενη ακτινοβολία και αντιστοιχεί στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφανείας στο διάστημα μιας ημέρας σε οριζόντιο επίπεδο.
- H_β : Είναι η προσπίπτουσα, σε επίπεδο κλίσης β , ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφανείας στο διάστημα μιας ημέρας.
- H_d : Είναι η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφανείας στο διάστημα μιας ημέρας
- \bar{R} : Ο λόγος της ολικής μέσης ημερήσιας ανά μήνα, ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο, προς αυτήν σε οριζόντιο

$$\bar{R} = \frac{H_\beta}{H} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \cdot \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad (25)$$

όπου

ρ_g : συντελεστής ανάκλασης εδάφους, $\rho_g = 0,25$

\bar{R}_b : Λόγος της μέσης ημερήσιας ανά μήνα, άμεσης ακτινοβολίας σε επιφάνεια κλίσης β , προς αυτήν σε οριζόντιο επίπεδο

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega'_\sigma + \frac{\pi}{180} \cdot \omega'_\sigma \cdot \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_\sigma + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_\sigma \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (26)$$

όπου

ω'_s : Είναι η γωνία της ώρας της δύσης του ήλιου σε επίπεδο κλίσης β

$$\omega_s' = \min \left[\begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan \delta) \end{array} \right] \quad (27)$$

• \bar{K}_T : Είναι ο συντελεστής αιθριότητας

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} \quad (28)$$

• L: Είναι ο λόγος της μέσης ανά μήνα ημερήσιας, διάχυτης ακτινοβολίας προς την ολική σε οριζόντιο επίπεδο

$$L = \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1,13 - \bar{K}_T \quad (29)$$

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (29) στην εξίσωση (25) έχουμε:

$$\bar{R} = \frac{H_\beta}{H} = (1 - L) \cdot \bar{R}_b + L \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (30)$$

Η σχέση (30) εφαρμόζεται και για μετρήσεις ανά λεπτό, θεωρώντας ότι το L παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στην περίπτωση αυτή το \bar{R}_b υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (31)$$

Επομένως η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε Φ/Β κλίσης β και εμβαδού S θα είναι ίση με:

$$H_\beta = R \cdot H \cdot S \quad (32)$$

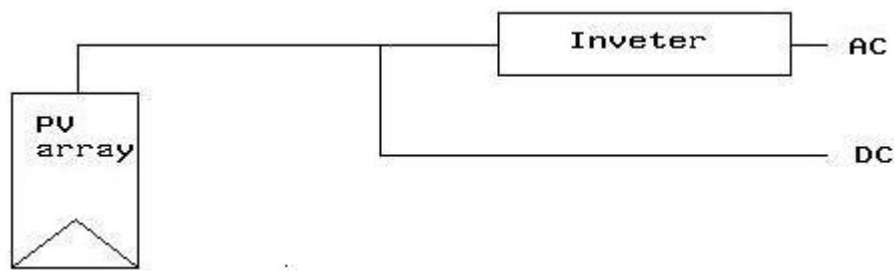
Όπως όμως έχει αναφερθεί και στην παράγραφο 4.3.2, μόνο ένα μικρό ποσοστό από αυτήν την προσπίπτουσα ακτινοβολία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

4.4. Μετατροπείς Συνεχούς-Εναλλασσόμενου (inverter)

Εξαιτίας του γεγονότος, ότι οι περισσότεροι καταναλωτές που τροφοδοτούνται από Φ/Β λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση, κρίνεται αναγκαία η μετατροπή της

τάσης εξόδου του Φ/Β από συνεχή σε εναλλασσόμενη. Η συσκευή που πραγματοποιεί αυτή τη μετατροπή ονομάζεται μετατροπέας (inverter).

Η επιλογή ενός μετατροπέα εξαρτάται από το είδος του Φ/Β συστήματος με το οποίο συνδέεται. Σε αυτοτελές σύστημα χρησιμοποιείται μετατροπέας, ο οποίος λειτουργεί με την ηλεκτρική ενέργεια που του δίνουν τα Φ/Β πλαίσια. Σε σύστημα ενωμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο ο μετατροπέας λειτουργεί με την τάση του κεντρικού δικτύου [13].



Σχήμα 9. Διάταξη Φ/Β συνδεδεμένου με μετατροπέα AC-DC

4.4.1 Μετατροπέας αυτοτελούς συστήματος

Ο μετατροπέας που συνδέεται με αυτοτελές σύστημα έχει ως κύρια χαρακτηριστικά ότι η τάση εισόδου του είναι η τάση εξόδου του Φ/Β συστήματος και ότι η ισχύς του καθορίζεται από το Φ/Β σύστημα. Η απόδοση του κυμαίνεται από 80 ως 90% και διαθέτει την ικανότητα να μετατρέπει τη συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση χωρίς να εμφανίζονται σήματα παραμόρφωσης.

Ως συντελεστής ισχύος ορίζεται ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος που χρησιμοποιεί ο καταναλωτής προς την ισχύ που δίνεται στον καταναλωτή. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος του καταναλωτή και το μετατροπέα. Σε έναν καλής ποιότητας μετατροπέα ο συντελεστής ισχύος έχει τιμή ίση με 0,7.

Η επιλογή του μετατροπέα εξαρτάται από το είδος της εναλλασσόμενης τάσης που χρησιμοποιεί ο καταναλωτής και θα πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Να δίνει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση.
- Να έχει τη δυνατότητα να διακόψει τη λειτουργία του όταν δεν είναι συνδεδεμένος με κάποιο καταναλωτή.

- Να είναι ικανός να δώσει την απαραίτητη ισχύ που χρειάζεται για να εκκινήσει ένας κινητήρας.
- Η τάση που δίνει σε έναν καταναλωτή να είναι σταθερή και σε περίπτωση που αυτή παρουσιάζει αστάθεια να διαθέτει μηχανισμό διακοπής της λειτουργίας του.
- Να μην προκαλεί θόρυβο
- Να είναι σε θέση να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να παρουσιάσει βλάβη.

Ακόμη όμως κι αν ικανοποιεί όλα τα χαρακτηριστικά υπάρχει πάντα η πιθανότητα της αδυναμίας στη διατήρηση μιας σταθερής τάσης, καθώς και της δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών σε διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές.

4.4.2 Μετατροπέας Φ/Β ενωμένου με το δίκτυο

Ένας μετατροπέας ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο έχει την ικανότητα της πλήρους μετατροπής της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη με μία απόδοση 90 – 95%.

Θα πρέπει να έχει μεγάλη ισχύ για να μπορεί να μετατρέπει όλη την ισχύ των Φ/Β πλαισίων. Ακόμη είναι απαραίτητο να έχει την ικανότητα να αντεπεξέλθει και σε μεγαλύτερες τιμές ισχύος, που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια ειδικών καιρικών συνθηκών.

Ένας μετατροπέας παρέχει στους καταναλωτές ηλεκτρικό ρεύμα ημιτονοειδούς μορφής, ίδιας με εκείνης του δικτύου, ενώ παράλληλα προσαρμόζει τον τρόπο λειτουργίας του έτσι ώστε σε οποιεσδήποτε συνθήκες η ισχύς να είναι η μέγιστη.

Ο συντελεστής ισχύος ενός μετατροπέα συνδεδεμένου με το δίκτυο έχει τιμή ίση με 0,95.

Σε σύγκριση με το μετατροπέα αυτοτελούς συστήματος έχει πάντα τη δυνατότητα να εκκινήσει έναν κινητήρα, αφού τα μεγάλα ρεύματα παρέχονται από το δίκτυο.

5 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

5.1 Εισαγωγή

Από την εποχή που εμφανίστηκε η ζωή στη γη μέχρι και σήμερα το νερό ήταν και εξακολουθεί να είναι ένα από τα σημαντικότερα φυσικά αγαθά. Η επιβίωση όλων των όντων του πλανήτη, ανάμεσα τους φυσικά και ο άνθρωπος, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το νερό.

Η σπουδαιότητα του νερού στην ανθρώπινη ιστορία καταδεικνύεται από το γεγονός ότι όλοι οι μεγάλοι πολιτισμοί, όπως για παράδειγμα ο αιγυπτιακός με το Νείλο, γεννήθηκαν και αναπτύχθηκαν σε περιοχές όπου το νερό υπήρχε πάντα σε αφθονία.

Στη σημερινή εποχή το νερό εξακολουθεί να αποτελεί έναν από τους κινητήριους μοχλούς της παγκόσμιας ανάπτυξης. Πέρα από τις κλασσικές του χρήσεις ως πόσιμο ή στην άρδευση των καλλιεργειών πλέον χρησιμοποιείται και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και σε διάφορους άλλους τομείς της σύγχρονης βιομηχανίας.

Η διαχείριση του νερού μέχρι σχετικά πρόσφατα βασιζόταν αποκλειστικά στα αποθέματα γλυκού νερού που υπάρχουν ανά τον κόσμο. Τα αποθέματα αυτά όμως αποτελούν μόλις το 3% των συνολικών αποθεμάτων νερού του πλανήτη, ενώ το υπόλοιπο 97% είναι τα πολύ αλμυρά νερά των ωκεανών και των θαλασσών.

Η αλόγιστη χρήση και παράλληλα η μόλυνση των υδάτων από τα διάφορου είδους απόβλητα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ποσότητα γλυκού νερού που υπάρχει στον πλανήτη είναι πεπερασμένη και δεν επαρκεί για μελλοντική χρήση. Λύση σε αυτό το πρόβλημα έρχεται να δώσει η αφαλάτωση και η παραγωγή νερού από τη θάλασσα.

5.2 Ποιότητα Νερού

Πριν όμως περιγραφεί η έννοια της αφαλάτωσης και οι διάφοροι μέθοδοι που υπάρχουν κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν οι κατηγορίες στις οποίες κατατάσσεται το νερό, ανάλογα με τη σύσταση του και την ποσότητα αλάτων που περιέχει.

Η κατηγοριοποίηση με βάση την ποσότητα των ολικά διαλυμένων αλάτων (Total Dissolved Solids, TDS) φαίνεται στον πίνακα 3 που ακολουθεί [6], [16]:

Πίνακας 3. Περιεκτικότητα σε TDS και είδη νερού

<i>TDS ppm</i>	<i>Είδος νερού (χρήσεις)</i>
<500	κατάλληλο για πόσιμο
500 – 1000	ελαφρώς αλμυρό, αποδεκτό και ως πόσιμο
1000 – 2000	γλυφό, σε ακραίες περιπτώσεις αποδεκτό για οικιακή χρήση
2000 – 10000	υφάλμυρο, ως πόσιμο προκαλεί διάφορες διαταραχές
10000 – 42000	θαλάσσιο και ωκεάνιο νερό

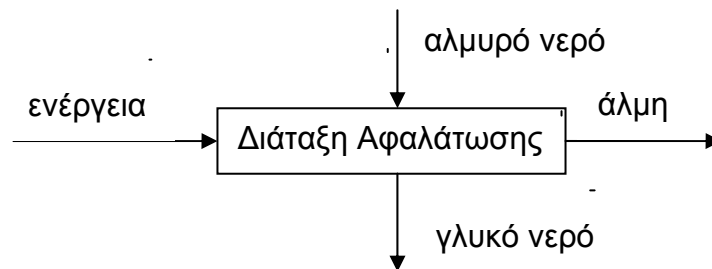
Ανάλογα τώρα με τη φυσική, χημική ή μικροβιολογική του σύσταση το νερό κατατάσσεται και στις κατηγορίες που παρατίθενται στον πίνακα 4 [6], [16]:

Πίνακας 4. Κατηγορίες και χρήσεις νερού

<i>Κατηγορίες νερού</i>	<i>Χρήσεις</i>
AA	πόσιμο, ανάγκες μαγειρικής, παρασκευής τροφίμων και αναψυκτικών
A	χρήσεις όμοιες με AA, κατεργασία για να γίνει πόσιμο
B	ακατάλληλο για πόση, μαγείρεμα, παρασκευή τροφίμων, κατάλληλο για κολύμβηση
C	ακατάλληλο για πόση, μαγείρεμα, παρασκευή τροφίμων, κολύμβηση, κατάλληλο για ψάρεμα
D	ακατάλληλο για πόση, μαγείρεμα, παρασκευή τροφίμων, κολύμβηση, ψάρεμα, κατάλληλο για άρδευση, βιομηχανική χρήση

5.3 Μέθοδοι Αφαλάτωσης

Με τον όρο αφαλάτωση προσδιορίζεται η μέθοδος με την οποία απομακρύνονται τα άλατα από το αλμυρό ή το υφάλμυρο νερό. Αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου είναι η παραγωγή νερού χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα (<500 ppm Πίνακας3), κατάλληλου να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.



Σχήμα 10. Γενική αρχή αφαλάτωσης

Όπως φαίνεται και από το σχήμα η παραγωγή πόσιμου νερού συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση ενέργειας.

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης που υπάρχουν σήμερα χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες [4]:

- Θερμικές Μέθοδοι, με σημαντικότερους εκπροσώπους τις:

Πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση – Multistage Flash Distillation MSF

Απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων – Multi Effect Distillation MED

Εξάτμιση με συμπίεση ατμού – Vapor Compression VC

- Μέθοδοι Μembranών, με σημαντικότερους εκπροσώπους τις:

Αντίστροφη όσμωση – Reverse Osmosis RO

Ηλεκτροδιάλυση – Electrodialysis ED

Οι θερμικές μέθοδοι βασίζονται στις αρχές της συμπύκνωσης και της εξάτμισης για την παραγωγή πόσιμου νερού, ενώ οι μέθοδοι μεμβρανών στον διαχωρισμό του νερού από τα άλατα.

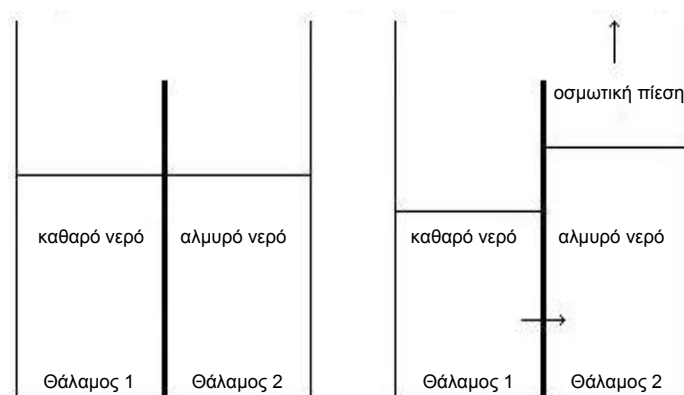
5.4 Αντίστροφη Όσμωση

Η αντίστροφη όσμωση, που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, ανήκει στις μεθόδους μεμβρανών και αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο αφαλάτωσης. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή πόσιμου νερού τόσο από θαλασσινό, όσο και από υφάλμυρο νερό.

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργία της κρίνεται αναγκαία η περιγραφή της οσμωτικής διεργασίας.

5.4.1 Το φαινόμενο της όσμωσης

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα δοχείο, όπως αυτό του Σχήματος 11. Το δοχείο αποτελείται από δύο θαλάμους, οι οποίοι χωρίζονται από μία ημιπερατή μεμβράνη. Στο θάλαμο 1 υπάρχει καθαρό νερό, ενώ στο θάλαμο 2 υπάρχει αλμυρό νερό.



Σχήμα 11. Οσμωτική Διεργασία

Διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος παρατηρείται διάχυση των μορίων του νερού, δια μέσου της μεμβράνης, από το θάλαμο 1 (καθαρό νερό) προς το θάλαμο 2 (αλμυρό νερό). Η κίνηση αυτή των μορίων του νερού οφείλεται στη διαφορά δυναμικού που υπάρχει στις δύο πλευρές της μεμβράνης και έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της πίεσης στο θάλαμο 1 και την αύξηση της αντίστοιχης πίεσης στο θάλαμο 2. Παράλληλα με τις πιέσεις των δύο νερών, μεταβάλλονται και οι συγκεντρώσεις τους με το καθαρό νερό να γίνεται πιο πυκνό και το αλμυρό πιο αραιό. Οι μεταβολές στην πίεση και τη συγκέντρωση των δύο

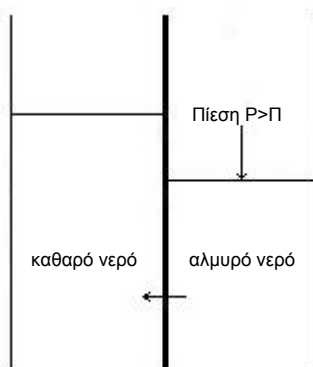
νερών εμφανίζεται στο δοχείο ως υδροστατική διαφορά της στάθμης μεταξύ των δύο διαλυμάτων στους θαλάμους.

Με την πάροδο του χρόνου η ποσότητα των μορίων του νερού, που διαχέεται δια μέσου της μεμβράνης συνεχώς μειώνεται και από ένα σημείο και μετά αποκαθίσταται μία κινητική ισορροπία, όπου πλέον το νερό ρέει και προς τις δύο κατευθύνσεις. Στο σημείο ισορροπίας η υδροστατική διαφορά της πίεσης αποτελεί την οσμωτική πίεση και εφόσον δεν επέλθουν εξωτερικοί παράγοντες παραμένει σταθερή.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω η τιμή της οσμωτικής πίεσεως εξαρτάται από τη θερμοκρασία και από τη συγκέντρωση των δύο διαλυμάτων σε άλατα. Η οσμωτική πίεση του κανονικού θαλασσινού νερού ισούται με 23,5 bar.

5.4.2 Περιγραφή της μεθόδου της αντίστροφης όσμωσης

Η εφαρμογή εξωτερικής πίεσης P στην επιφάνεια του αλμυρού νερού ίση με την οσμωτική πίεση Π θα είχε ως αποτέλεσμα την ισορροπία ανάμεσα στα δύο είδη νερού που περιέχονται στο δοχείο του Σχήματος 11. Αν τώρα η εφαρμοζόμενη πίεση γίνει μεγαλύτερη της οσμωτικής ($P > \Pi$) παρατηρείται η αντιστροφή του φαινομένου της όσμωσης και η διάχυση των μορίων του νερού από το θάλαμο 2 στο θάλαμο 1 (Σχήμα 12). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντίστροφη όσμωση - RO.

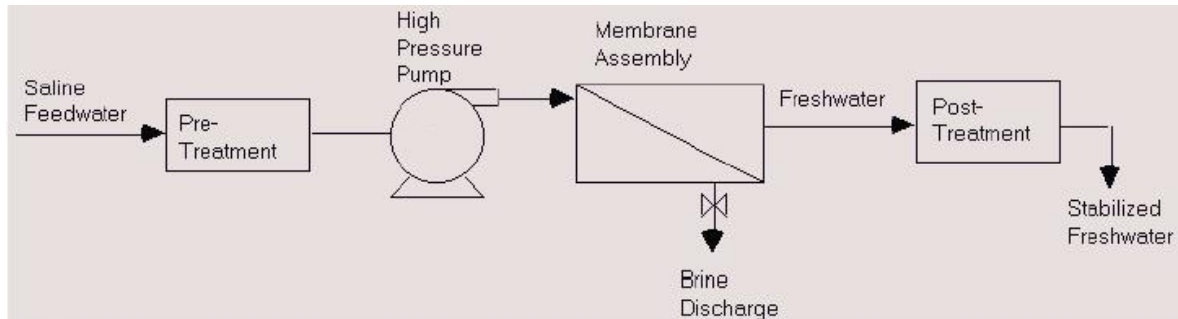


Σχήμα 12. Αντίστροφη Όσμωση

Η ταχύτητα διάχυσης των μορίων του νερού, από το θάλαμο 2 στο θάλαμο 1, είναι ανάλογη της διαφοράς της εφαρμοζόμενης πίεσης από την οσμωτική. Για να διατηρηθεί σταθερή απαιτείται η βαθμιαία αύξηση της εξωτερικής πίεσεως έτσι ώστε η διαφορά $P - \Pi$ να παραμένει σταθερή.

5.4.3 Στάδια λειτουργίας της αντίστροφης όσμωσης [4]

Κάθε μονάδα αντίστροφης όσμωσης αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια λειτουργίας, τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13. Στάδια λειτουργία μονάδας αντίστροφης όσμωσης

Τα τέσσερα αυτά στάδια είναι τα εξής:

- Σύστημα προεπεξεργασίας

Περιλαμβάνει αποστείρωση, διήθηση και προσθήκη χημικών. Στο στάδιο αυτό απομακρύνονται διάφοροι μικροοργανισμοί και τα αιωρούμενα συστατικά που υπάρχουν στο νερό, εξασφαλίζοντας έτσι την αποδοτικότερη και μακροβιότερη λειτουργία των μεμβρανών.

- Αντλία υψηλής πίεσης

Παρέχει την απαραίτητη πίεση για να μπορέσουν τα μόρια του νερού να περάσουν μέσα από τη μεμβράνη. Για το υφάλμυρο νερό απαιτείται πίεση 17-27 bar και για το αλμυρό 55-82 bar.

- Μεμβράνες

Η επιλογή της μεμβράνης γίνεται με βάση το κόστος, το νερό τροφοδοσίας και την επιθυμητή δυναμικότητα της μονάδας. Υπάρχουν δύο τύποι μεμβρανών οι σπυροειδούς περιέλιξης (spiral wound) και οι κοίλων ινών(hollow fiber), κατάλληλες και οι δύο για την αφαλάτωση τόσο αλμυρού όσο και υφάλμυρου νερού.

Οι μεμβράνες πρέπει να αντέχουν στην διαφορά πιέσεως που εμφανίζεται κατά μήκος της επιφάνειάς τους. Η καλή τους λειτουργία καθορίζεται από τη ροή του νερού, τη ροή των αλάτων (υπολογίζεται ότι περίπου 1% των αλάτων διαχέεται δια μέσου της μεμβράνης [17]) και από την απόρριψη των αλάτων.

- Κατεργασία νερού

Περιλαμβάνει την αποστείρωση, τη σταθεροποίηση και τον εμπλουτισμό του νερού σε μέταλλα.

Η ενέργεια που χρειάζεται για να λειτουργήσει η μονάδα RO είναι ηλεκτρική και κυμαίνεται, στις μεγάλες μονάδες, από 1 ως 3 kWh/m^3 για το υφάλμυρο νερό και περίπου 5 kWh/m^3 για το αλμυρό. Σε μικρότερες μονάδες η κατανάλωση είναι μεγαλύτερη, περίπου 15 kWh/m^3 .

Μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου της αντίστροφης όσμωσης αποτελεί το γεγονός ότι τα RO modules μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα, ακόμη και κατά εκατοντάδες στις μεγάλες μονάδες. Η δυνατότητα αυτή της παράλληλης λειτουργίας προσφέρει στην RO μεγάλη ευελιξία στη δυναμικότητα, αφού ανάλογα με τη ζήτηση που υπάρχει ενεργοποιείται ο απαραίτητος αριθμός από modules.

5.4.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά [7]

Τα βασικά χαρακτηριστικά της μονάδας RO που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία απεικονίζονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά RO module

Ροή διηθήματος	110 m^3 /ημέρα
Ισχύς	25 kW

Εκτός από το πόσιμο νερό, κατά την αντίστροφη όσμωση παράγεται και άλμη, η οποία λόγω της υψηλής της πίεσης, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια ενός υδροστρόβιλου. Η ενέργεια αυτή καταναλώνεται από την αντλία του νερού τροφοδοσίας.

Το ποσοστό ανάκτησης της ενέργειας για το RO module που χρησιμοποιείται στην εργασία είναι ίσο με 20%.

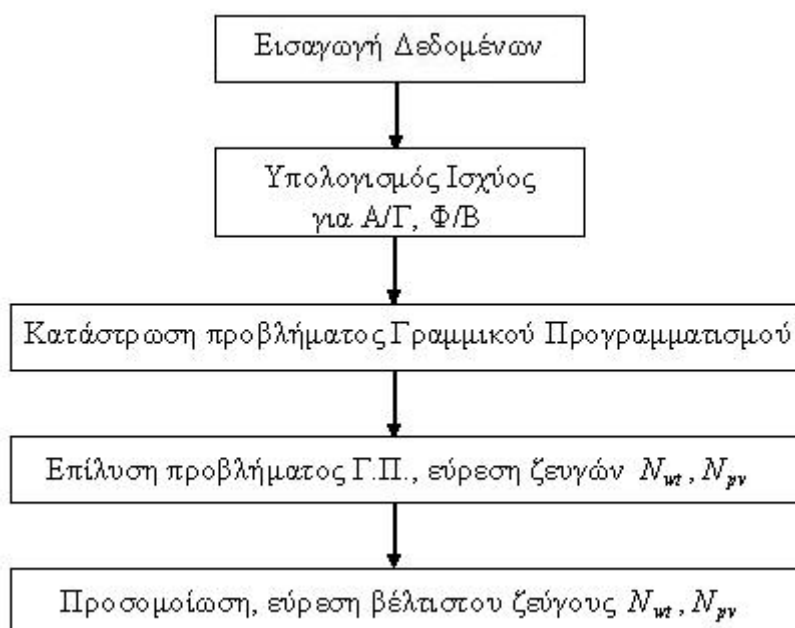
6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

6.1 Γενικά

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η εύρεση του οικονομικότερου τρόπου τροφοδότησης μίας μονάδας αφαλάτωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, τα τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά, καθώς και τη ζήτηση σε πόσιμο νερό στην ίδια πάντα περιοχή.

Για την υλοποίηση του αλγορίθμου χρησιμοποιείται αρχικά η γλώσσα προγραμματισμού C, ενώ η τελική επεξεργασία και ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων γίνεται με τη βοήθεια του Matlab.

Το διάγραμμα ροής του συνολικού προγράμματος φαίνεται στο Σχήμα 14:

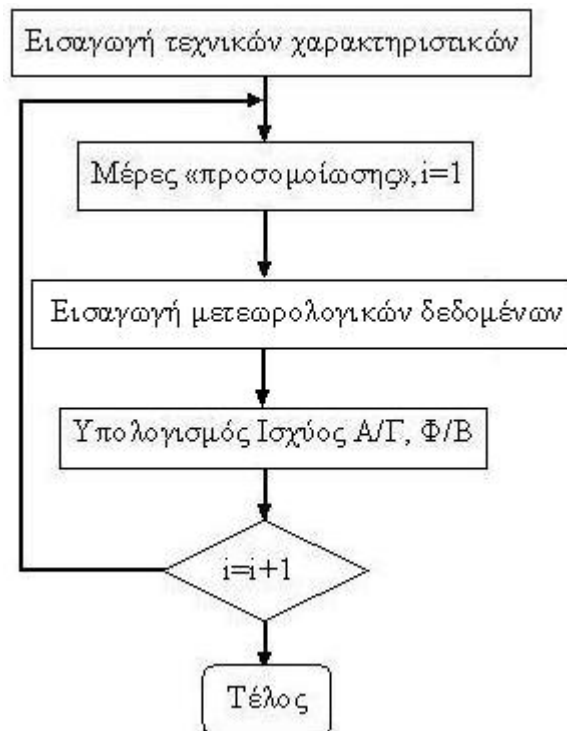


Σχήμα 14. Διάγραμμα ροής του συνολικού προγράμματος

Αρχικά υπολογίζεται η ισχύς Α/Γ και Φ/Β με βάση τις μετεωρολογικές μετρήσεις, ενώ εν συνεχεία με τη βοήθεια του Γραμμικού Προγραμματισμού (Γ.Π.) βρίσκονται οι αριθμοί των Α/Γ και Φ/Β που απαιτούνται κάθε χρονική στιγμή. Τέλος από τα ζεύγη αυτά επιλέγεται το βέλτιστο ύστερα από τη διαδικασία της προσομοίωσης. Αναλυτικότερη περιγραφή του αλγορίθμου ακολουθεί στις επόμενες παραγράφους.

6.2 Υπολογισμός Ισχύος Α/Γ, Φ/Β

Σκοπός του κώδικα αυτού είναι να υπολογίσει την ισχύ που παράγουν κάθε χρονική στιγμή οι Α/Γ και τα Φ/Β. Για να το πραγματοποιήσει χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο του Σχήματος 15.



Σχήμα 15. Διάγραμμα ροής υπολογισμού ισχύος Α/Γ, Φ/Β

Αρχικά εισάγονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ισχύος των Α/Γ (ονομαστική ταχύτητα, ταχύτητα έναρξης, ταχύτητα αποκοπής και ονομαστική ισχύς) και των Φ/Β (εμβαδόν της επιφάνειας κ.ά.).

Στη συνέχεια εισάγονται τα μετεωρολογικά δεδομένα για κάθε ημέρα και υπολογίζεται η ισχύς των στοιχείων με βάση τις σχέσεις που έχουν δοθεί στα κεφάλαια 3 και 4. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις διαθέσιμες ημέρες.

Ο αλγόριθμος υλοποιείται με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού C και για να μπορούν να μεταφερθούν τα αποτελέσματα στο περιβάλλον του Matlab, ώστε να γίνει η τελική επεξεργασία, αποθηκεύονται σε αρχεία.

6.3 Κατάστρωση και επίλυση του προβλήματος του Γ.Π.

Η τροφοδότηση της μονάδας αφαλάτωσης γίνεται από το αιολικό και το φωτοβολταϊκό πάρκο. Κάθε χρονική στιγμή η ενέργεια που παράγεται από τα δύο πάρκα πρέπει να είναι ικανή να καλύψει τη ζήτηση σε νερό. Σε περίπτωση που η παραγόμενη ενέργεια υπερκαλύπτει τη ζήτηση, η πλεονάζουσα ενέργεια αποθηκεύεται υπό μορφή νερού σε μία δεξαμενή συγκεκριμένης χωρητικότητας. Η δεξαμενή επομένως λειτουργεί σαν αποθήκη Ηλεκτρικής Ενέργειας (Η.Ε.).

Το μέγεθος των δύο πάρκων εκτός του ότι πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να καλύπτει τη ζήτηση, πρέπει να είναι και το βέλτιστο οικονομικά.

6.3.1 Η δεξαμενή αποθήκευσης

Η ύπαρξη της δεξαμενής αποθήκευσης δίνει τη δυνατότητα στο σύστημα να αποθηκεύει την πλεονάζουσα ενέργεια, αλλά και να καλύπτει τη ζήτηση σε νερό για περιόδους όπου η παραγόμενη Η.Ε. από τα δύο πάρκα είναι χαμηλή. Η ποσότητα του νερού, που υπάρχει στη δεξαμενή κάθε χρονική στιγμή i είναι το άθροισμα της ποσότητας του νερού στη δεξαμενή την προηγούμενη χρονική στιγμή ($i-1$) συν τη διαφορά, που προκύπτει από την παραγόμενη ενέργεια των πάρκων και της ζήτησης σε νερό.

Η δυνατότητα κάλυψης μέρους της ζητούμενης Η.Ε. από τη δεξαμενή έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των Α/Γ και των Φ/Β. Ο αριθμός αυτός μειώνεται περισσότερο για περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής.

Όμως το μέγεθος της δεξαμενής δεν μπορεί να αυξάνει απεριόριστα προκειμένου να μειωθεί το κόστος των δύο πάρκων, αφού και η ίδια η δεξαμενή έχει κόστος και μάλιστα αρκετά μεγάλο. Παράλληλα διάφοροι τεχνικοί περιορισμοί, όπως για παράδειγμα η έκταση του οικοπέδου, δεν επιτρέπουν την επ' άπειρον αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής.

Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους της δεξαμενής εξαρτάται από τις υπάρχουσες δεξαμενές στην περιοχή, καθώς και από την επιθυμητή αυτονομία του συστήματος, η οποία εκφράζεται σε αριθμό ημερών τροφοδοσίας της κατανάλωσης και συνεπώς στην ποσότητα νερού που αντιστοιχεί σε αυτές.

6.3.2 Η μέθοδος simplex

Η μέθοδος simplex αποτελεί μία ταχεία και αποτελεσματική μέθοδο προσδιορισμού της βέλτιστης λύσης σε ένα γραμμικό πρόβλημα (γ.π.).

Η φιλοσοφία της μεθόδου έγκειται στη βελτίωση σε κάθε βήμα, της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης, μέχρι το σημείο πέραν του οποίου δεν μπορεί να υπάρξει περαιτέρω βελτίωση οπότε και η λύση που έχει βρεθεί είναι η βέλτιστη. Τα βήματα που ακολουθεί κάθε φορά η simplex πρέπει να υπακούουν στους όποιους περιορισμούς υπάρχουν στο κάθε πρόβλημα [18].

Στη συγκεκριμένη εργασία το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπισθεί είναι η εύρεση του κατάλληλου ζεύγους Α/Γ, Φ/Β το οποίο ικανοποιεί τους τεχνικούς περιορισμούς και είναι παράλληλα και το βέλτιστο οικονομικά. Πιο συγκεκριμένα η διαφορά της παραγόμενης-ζητούμενης ποσότητας νερού συν την προϋπάρχουσα ποσότητα στη δεξαμενή θα πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα στην ελάχιστη και τη μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα νερού στη δεξαμενή. Εδώ κρίνεται απαραίτητο να σημειωθεί ότι για λόγους, που έχουν να κάνουν κυρίως με την ποιότητα του νερού είναι επιθυμητό η δεξαμενή να περιέχει πάντα κάποια ποσότητα νερού.

Για την επίλυση του προβλήματος αναπτύσσεται το κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο, το οποίο και περιγράφεται στη συνέχεια.

Οι τεχνικοί περιορισμοί και επομένως οι περιορισμοί για τη simplex εκφράζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned} N_{wt} \cdot W_{wt} + N_{pv} \cdot W_{pv} + C_{i-1} - W_l &\geq C_{\min} \\ N_{wt} \cdot W_{wt} + N_{pv} \cdot W_{pv} + C_{i-1} - W_l &\leq C_{\max} \end{aligned} \quad (33)$$

όπου:

- N_{wt} : ο αριθμός των Α/Γ που υπολογίζει η simplex κάθε χρονική στιγμή
- W_{wt} : η ενέργεια που παράγεται από τις Α/Γ, σε kWh.
- N_{pv} : ο αριθμός των Φ/Β που υπολογίζει η simplex κάθε χρονική στιγμή
- W_{pvt} : η ενέργεια που παράγεται από τα Φ/Β, σε kWh.
- C_{i-1} : η ποσότητα του νερού που υπάρχει στη δεξαμενή από την προηγούμενη χρονική στιγμή, σε kWh.

- W_i : η ζητούμενη ποσότητα νερού κάθε χρονική στιγμή i , σε kWh.
- C_{\min} : η ελάχιστη επιτρεπτή ποσότητα νερού στη δεξαμενή, σε kWh.
- C_{\max} : η μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα νερού στη δεξαμενή, σε kWh.

Για να λειτουργήσει σωστά ο αλγόριθμος θα πρέπει όλα τα εμπλεκόμενα μεγέθη να είναι εκφρασμένα στην ίδια μονάδα μέτρησης. Για το λόγο αυτό όλα τα δεδομένα πριν διοχετευθούν στην simplex μετατρέπονται και εκφράζονται ως ενέργεια (kWh).

Ο βασικός σκοπός της μεθόδου στο συγκεκριμένο πρόβλημα, είναι με κριτήριο τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω να ελαχιστοποιήσει το οικονομικό κόστος του συστήματος, το οποίο εκφράζεται από τη σχέση:

$$\min(K_{wt} \cdot N_{wt} + K_{pv} \cdot N_{pv} + K) \quad (34)$$

όπου:

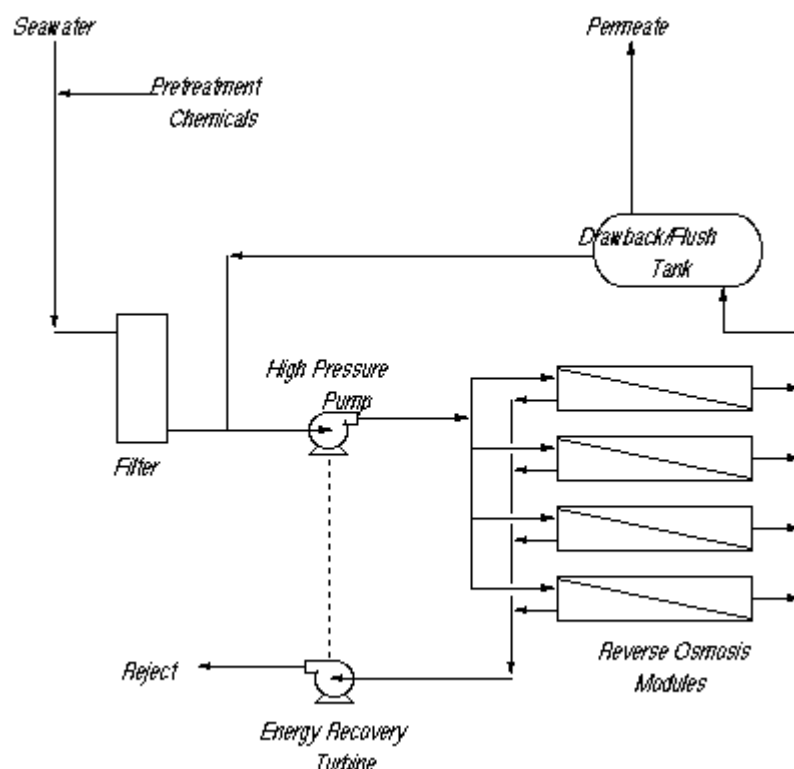
- K_{wt} : το κόστος για μία Α/Γ.
- K_{pv} : το κόστος για ένα Φ/Β.
- K : αποτελεί όλα τα κόστη τα οποία δεν μπορούν να αναχθούν ανά Α/Γ ή ανά Φ/Β.

Η σχέση (34) αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση του γ.π. και οι σχέσεις (33) τους περιορισμούς, που θα πρέπει να ικανοποιεί η λύση.

6.3.3 Λειτουργία της RO

Μία μονάδα αφαλάτωσης θα πρέπει να είναι ικανή να μπορεί, σε συνδυασμό με τη δεξαμενή, να μπορεί να καλύψει κάθε χρονική στιγμή τη ζήτηση σε νερό. Για να είναι εφικτό κάτι τέτοιο χρησιμοποιείται μία παράλληλη συνδεσμολογία από μονάδες αφαλάτωσης (RO modules), όπως φαίνεται στο Σχήμα 16.

Ένα τέτοιο σύστημα όπως αυτό του Σχήματος 16 έχει κοινό το τμήμα της προεπεξεργασίας, όπως και το σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Το πλεονέκτημα που εμφανίζει η παράλληλη συστοιχία από RO modules, είναι η ενεργοποίηση του κατάλληλου αριθμού μονάδων, ανάλογα με τη ζήτηση και την προσφερόμενη ενέργεια.



Σχήμα 16. Παράλληλη συνδεσμολογία RO modules

Ως γνωστόν η τροφοδότηση της μονάδας αφαλάτωσης γίνεται από τις Α/Γ και τα Φ/Β, από παραγωγούς ενέργειας, οι οποίοι δεν μπορούν να εγγυηθούν μία σταθερή παροχή ενέργειας για κάθε χρονική στιγμή, αφού η απόδοσή τους εξαρτάται από τις εκάστοτε κλιματολογικές συνθήκες.

Η παρεχόμενη όμως ενέργεια προς ένα RO module δεν μπορεί να μεταβάλλεται απεριόριστα. Συγκεκριμένα οι τιμές που μπορεί να πάρει κυμαίνονται από το 1/3 της ονομαστικής ισχύος του RO module ως και ολόκληρη την ονομαστική ισχύ.

Σημαντικό παράγοντα στη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης αποτελεί το γεγονός, ότι όταν η παρεχόμενη ισχύς πέσει κάτω από το 1/3 της ονομαστικής ισχύος του RO module, τότε το RO module απενεργοποιείται αμέσως. Για την ενεργοποίησή του πρέπει να μεσολαβήσει κάποιο χρονικό διάστημα, κατά το οποίο καθαρίζονται οι μεμβράνες.

Συμπερασματικά λοιπόν, η λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ του RO module, το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας και το χρονικό διάστημα μεταξύ κάθε ενεργοποίησης και απενεργοποίησης. Για τη συγκεκριμένη εργασία το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας είναι ίσο με 20% και το

χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ κάθε ενεργοποίησης και απενεργοποίησης είναι ίσο με 30 λεπτά, ενώ τέλος η ονομαστική ισχύς του RO module δίνεται από τον Πίνακα 5.

6.3.4 Παράμετροι του αλγορίθμου για τη simplex

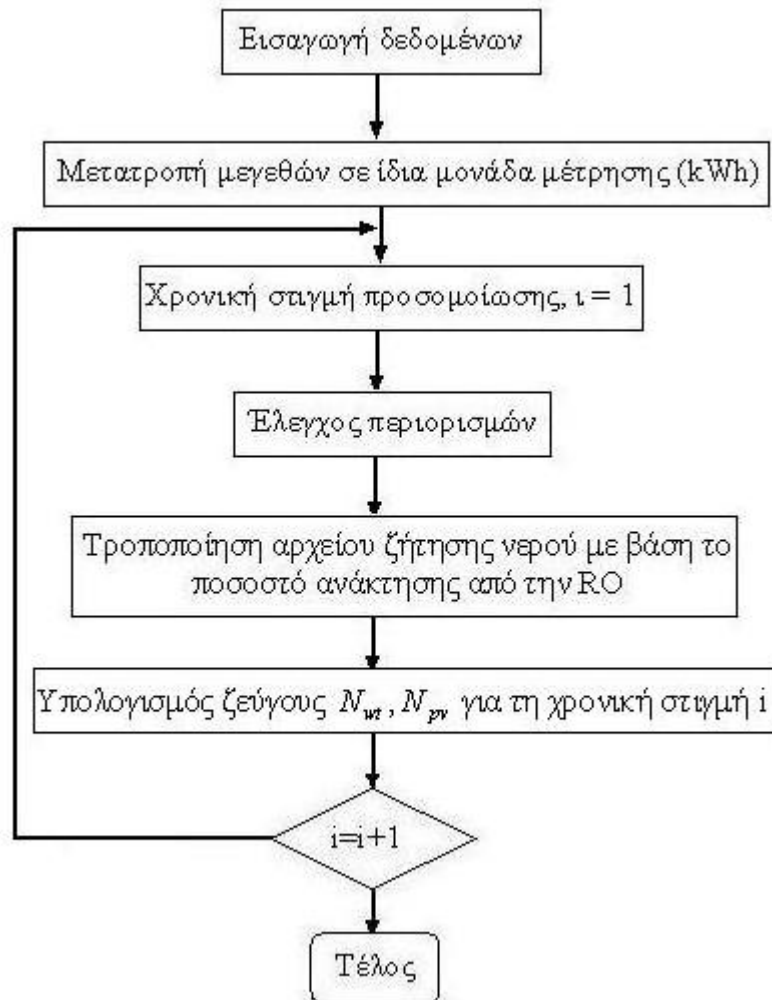
Οι παράμετροι του αλγορίθμου είναι οι εξής:

- Η παρεχόμενη ισχύς από την Α/Γ για κάθε χρονική στιγμή.
- Η παρεχόμενη ισχύς από το Φ/Β για κάθε χρονική στιγμή.
- Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικές μετρήσεις.
- Η κατανάλωση νερού για κάθε χρονική στιγμή.
- Η μέγιστη χωρητικότητα της δεξαμενής, C_{\max} .
- Η ελάχιστη χωρητικότητα της δεξαμενής, C_{\min} .
- Η ονομαστική ισχύς του RO module.
- Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στην απενεργοποίηση και στην ενεργοποίηση του RO module.
- Το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας του RO module.
- Το κόστος ανά μονάδα Α/Γ, K_{wt} .
- Το κόστος ανά μονάδα Φ/Β, K_{pv} .
- Το κοινό κόστος των δύο πάρκων, το κόστος δηλαδή που δεν μπορεί να αναχθεί ανά Α/Γ ή ανά Φ/Β.

6.3.5 Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου για τη simplex

Αρχικά γίνεται εισαγωγή των δεδομένων, που έχουν παραχθεί από τη C (ισχύς Φ/Β, ισχύς Α/Γ, κατανάλωση νερού), και των οικονομικοτεχνικών χαρακτηριστικών. Εν συνεχεία όλα τα μεγέθη μετατρέπονται σε ενέργεια (kWh) και ο έλεγχος του προγράμματος περνάει στη simplex, η οποία με βάση τους περιορισμούς και τα οικονομοτεχνικά δεδομένα υπολογίζει για κάθε χρονική στιγμή το κατάλληλο

ζεύγος από Α/Γ και Φ/Β. Η υλοποίηση του αλγορίθμου γίνεται στο περιβάλλον του Matlab και το διάγραμμα ροής του φαίνεται στο Σχήμα 17.



Σχήμα 17. Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου για τη simplex.

6.4 Προσομοίωση

Οι δυνατότητες που υπάρχουν για την τροφοδοσία της μονάδας αφαλάτωσης είναι οι εξής:

- Αποκλειστική τροφοδότηση από Α/Γ, Φ/Β (αυτόνομο σύστημα).
- Τροφοδότηση από Α/Γ, Φ/Β και από το ηλεκτρικό δίκτυο (υβριδικό σύστημα).
- Αποκλειστική τροφοδότηση από το ηλεκτρικό δίκτυο (ΔΕΗ).

6.4.1 Αγορά και πώληση ενέργειας

Αυτόνομο Σύστημα

Στην περίπτωση που σε ένα αυτόνομο σύστημα η δεξαμενή αποθήκευσης έχει γεμίσει, τότε η όποια πλεονάζουσα ενέργεια υπάρχει πωλείται στο δίκτυο με βάση το τιμολόγιο που έχει η ΔΕΗ για αγορά ενέργειας από ΑΠΕ [19]. Επίσης η ενέργεια, η οποία παράγεται τις χρονικές στιγμές στις οποίες η μονάδα αφαλάτωσης έχει απενεργοποιηθεί, θεωρείται ότι πωλείται και αυτή στο δίκτυο

Υβριδικό Σύστημα

Στο υβριδικό σύστημα, όπως και στο αυτόνομο, η ενέργεια η οποία δεν μπορεί να αποθηκευτεί (λόγω πληρότητας της δεξαμενής) ή δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί πωλείται στο δίκτυο. Αν όμως η παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ είναι για μεγάλο χρονικό διάστημα χαμηλή και η στάθμη του νερού στη δεξαμενή πέσει κάτω από το 30% της συνολικής χωρητικότητας, το σύστημα οδηγείται στην αγορά ενέργειας από το δίκτυο για την εξυπηρέτηση της ζήτησης και την πλήρωση της δεξαμενής μέχρι το 60% της χωρητικότητας της. Η αγορά γίνεται και πάλι με βάση το τιμολόγιο της ΔΕΗ.

ΔΕΗ

Όταν η τροφοδοσία της μονάδας αφαλάτωσης γίνεται αποκλειστικά από το δίκτυο, αγοράζεται ενέργεια από τη ΔΕΗ για να εξυπηρετηθεί η ζήτηση σε νερό. Παράλληλα ελέγχεται και η στάθμη στη δεξαμενή αποθήκευσης, έτσι ώστε αν για κάποιο λόγο (για παράδειγμα διακοπή ρεύματος) αυτή πέσει, η μονάδα αφαλάτωσης να ζητήσει περισσότερη ενέργεια για να αναπληρώσει την ποσότητα που καταναλώθηκε από τη δεξαμενή.

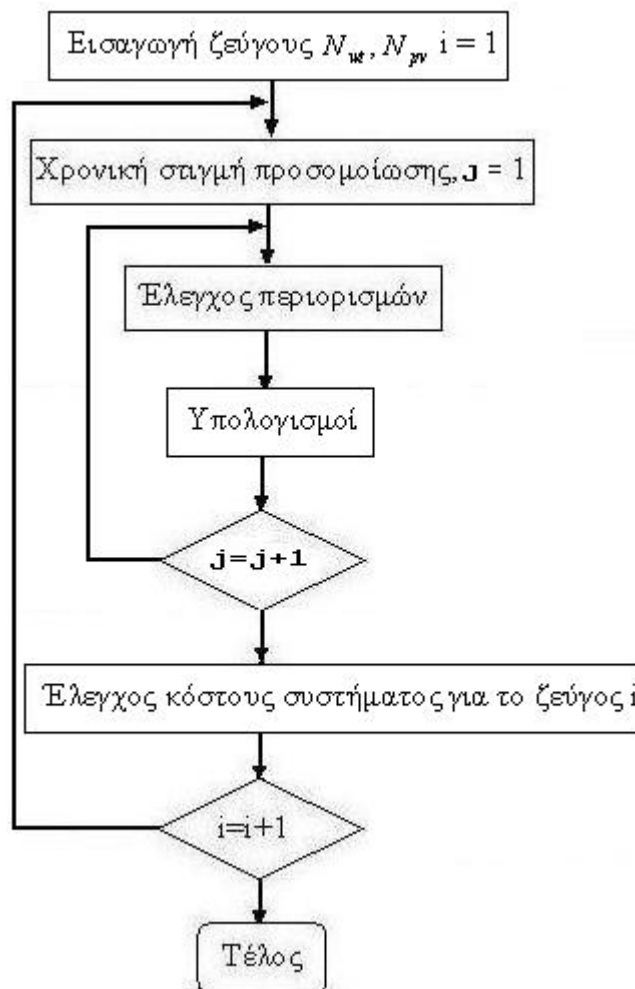
6.4.2 Παράμετροι για την προσομοίωση

Οι παράμετροι του αλγόριθμου για την προσομοίωση είναι ίδιοι με αυτούς της simplex, συν τους ακόλουθους δύο:

- Τιμή αγοράς της ενέργειας από το δίκτυο
- Τιμή πώλησης της ενέργειας στο δίκτυο

6.4.3 Διάγραμμα ροής της προσομοίωσης

Το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου για την προσομοίωση απεικονίζεται στο Σχήμα 18.



Σχήμα 18. Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου για την προσομοίωση.

Αρχικά εισάγεται κάθε ζεύγος ξεχωριστά και το σύστημα προσομοιώνεται για το συνολικό χρόνο μελέτης. Αφού γίνουν οι υπολογισμοί για κάθε χρονική στιγμή της προσομοίωσης ελέγχονται οι περιορισμοί. Όταν κάποια στιγμή το σύστημα φτάσει στην τελευταία χρονική στιγμή για την οποία υπάρχουν δεδομένα ελέγχει το κόστος του συστήματος και αν αυτό είναι μικρότερο από τα προηγούμενα το αποθηκεύει και προχωράει στο επόμενο ζεύγος. Με τον τρόπο αυτό επομένως

επιλέγεται το βέλτιστο οικονομικά ζεύγος από A/Γ και Φ/B , το οποίο ικανοποιεί τους περιορισμούς. Ο αλγόριθμος υλοποιείται στο περιβάλλον του Matlab.

6.5 Αποτελέσματα του αλγορίθμου

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον αλγόριθμο είναι τα ακόλουθα:

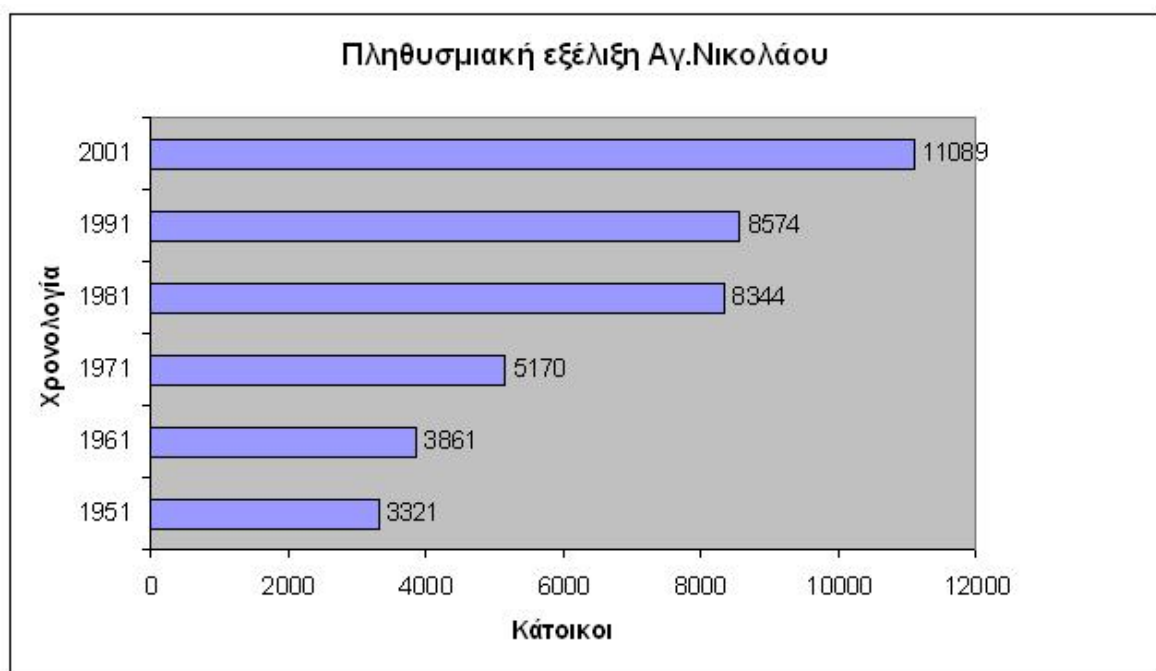
- Ο βέλτιστος αριθμός A/Γ και Φ/B .
- Σύγκριση του κόστους των τριών διαφορετικών τρόπων τροφοδοσίας της μονάδας αφαλάτωσης (αυτόνομο σύστημα, υβριδικό σύστημα και ΔΕΗ)

7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ (CASE STUDY)

Ο αλγόριθμος που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 6 εφαρμόζεται στην πόλη του Αγίου Νικολάου της Κρήτης και μελετάται η υδροδότηση της πόλης με τη βοήθεια της μονάδας αφαλάτωσης.

7.1 Περιοχή Μελέτης

Ο Άγιος Νικόλαος, όπως φαίνεται από τα στοιχεία της τελευταίας απογραφής (του 2001), έχει πληθυσμό 11.089 κατοίκους παρουσιάζοντας μία αύξηση της τάξεως του 29.33% σε σχέση με την απογραφή του 1991 (8.574 κάτοικοι). Η εξέλιξη του πληθυσμού της πόλης του Αγίου Νικολάου, κατά τις τελευταίες δεκαετίες φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 19).



Σχήμα 19. Πληθυσμιακή εξέλιξη του δήμου του Αγίου Νικολάου.

Από το Σχήμα 19, φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών ο πληθυσμός της πόλης έχει αυξητικές τάσεις.

7.2 Κατανάλωση νερού

Η κατανάλωση του νερού στην πόλη του Αγίου Νικολάου, κατά το έτος 1998, παρουσιάζεται στον Πίνακα 6. Η ζήτηση σε νερό παρουσιάζεται σε τρίμηνα, ξεκινώντας από τον πρώτο μήνα του χρόνου.

Πίνακας 6. Κατανάλωση Νερού

1998	Ποσότητα (m^3)
Α' ΤΡΙΜΗΝΟ	324.000
Β' ΤΡΙΜΗΝΟ	480.480
Γ' ΤΡΙΜΗΝΟ	828.000
Δ' ΤΡΙΜΗΝΟ	383.280

Όπως εύκολα μπορεί να διαπιστώσει κανείς, από τον παραπάνω Πίνακα, η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται αυξάνεται κατά πολύ το τρίτο τρίμηνο. Αυτό συμβαίνει, γιατί ο Άγιος Νικόλαος είναι μία τουριστική πόλη, οπότε κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ο πληθυσμός της πόλης αυξάνεται (λόγω αύξησης της τουριστικής κίνησης τους συγκεκριμένους μήνες), με συνέπεια η κατανάλωση του νερού να είναι μεγαλύτερη. Επίσης το καλοκαίρι, εξαιτίας του χαμηλότερου ποσοστού των βροχοπτώσεων, οι ανάγκες σε νερό για αρδευτικούς λόγους είναι και αυτές αυξημένες.

7.3 Τεχνικά στοιχεία της εφαρμογής

Η μονάδα αφαλάτωσης, της οποίας ο τρόπος τροφοδότησης της μελετάται σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιεί τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των RO modules, που χρησιμοποιεί η μονάδα φαίνονται στον Πίνακα 5 του κεφαλαίου 5. Το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας είναι 20% και ο χρόνος, ο οποίος χρειάζεται να μεσολαβήσει μεταξύ της απενεργοποίησης και της ενεργοποίησης των modules είναι 30 λεπτά.

Η ενέργεια που καταναλώνει η μονάδα αφαλάτωσης, μπορεί να προέρχεται είτε αποκλειστικά από το δίκτυο ή αυτόνομο σύστημα (αιολικό και φωτοβολταϊκό πάρκο), είτε από συνδυασμό των δύο (υβριδικό σύστημα).

Στις περιπτώσεις του αυτόνομου και του υβριδικού συστήματος η Α/Γ που χρησιμοποιείται είναι η Vestas V-47, τα χαρακτηριστικά της οποίας δίνονται από τον Πίνακα 1 του κεφαλαίου 3. Το Φ/Β που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη εργασία είναι το Siemens SP75, τα χαρακτηριστικά του οποίου δίνονται από τον Πίνακα 2. Η επιλογή των συγκεκριμένων στοιχείων έγινε με βάση την ευρύτητα χρήσης τους και με βάση τη συνάρτηση κόστους-ισχύος.

7.4 Οικονομικά στοιχεία της εφαρμογής

Η μελέτη αφορά και τους τρεις διαφορετικούς τρόπους τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης και γίνεται για ένα χρονικό διάστημα των 20 ετών. Λαμβάνονται υπόψη οι επιδοτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που υπάρχουν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα στα πλαίσια του Γ' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης (Γ' ΚΠΣ), υπάρχει από το Υπουργείο Ανάπτυξης το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα» (ΕΠΑΝ) [20], το οποίο και επιδοτεί την κατασκευή Αιολικού Πάρκου σε ποσοστό 30% (για όλη τη χώρα) και την κατασκευή φωτοβολταϊκού πάρκου σε ποσοστό 45% (για την Κρήτη). Επίσης στα πλαίσια του ίδιου προγράμματος επιδοτείται και η κατασκευή της διασυνδετικής γραμμής των δύο πάρκων με τη μονάδα αφαλάτωσης σε ποσοστό 50%.

7.4.1 Αιολικό Πάρκο

Στο συνολικό κόστος του αιολικού πάρκου περιλαμβάνονται τα κόστη μεταφοράς και εγκατάστασης μιας Α/Γ, η ασφάλιση της και η ετήσια συντήρηση της. Επίσης λαμβάνονται υπόψη το κόστος της μελέτης της κατασκευής του, όπως και το έργο πολιτικού μηχανικού που εκπόνησε τη μελέτη. Τέλος συμπεριλαμβάνεται και το κόστος διαμόρφωσης του χώρου, στον οποίο θα κατασκευαστεί το πάρκο, όπως και η κατασκευή διασυνδετικής γραμμής ανάμεσα στο αιολικό πάρκο και στη μονάδα αφαλάτωσης.

Πιο αναλυτικά το κόστος του αιολικού πάρκου, χωρίς αρχικά να υπολογίζεται η επιδότηση, απαρτίζεται από τα ακόλουθα κόστη:

Κόστος ανά μονάδα Α/Γ:

- Αγορά της Α/Γ, μεταφορά στον τόπο εγκατάστασης της, ασφάλιστρα και ανέγερση της: 625.990 € .
- Αγορά του οικοπέδου, όπου θα εγκατασταθεί η Α/Γ: 6.362 €. Το αιολικό πάρκο, όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3, δεν μπορεί να εγκατασταθεί σε περιοχή πολύ κοντινή στην πόλη.
- Άνοιγμα δρόμων προς το αιολικό πάρκο και μέσα σε αυτό, διαμόρφωση πλατειών και κατασκευή του κτιρίου του υποσταθμού: 63.619 €. Τα έργα αυτά αποτελούν τη δουλειά του πολιτικού μηχανικού.
- Αγορά και τοποθέτηση καλωδίων μέσης τάσης, αγωγού γείωσης και οπτικής ίνας: 31.864 € .
- Αγορά και τοποθέτηση μετασχηματιστών ανύψωσης της τάσης της Α/Γ στην τάση του εσωτερικού δικτύου του αιολικού πάρκου: 31.864 € .
- Η ετήσια συντήρηση μίας μονάδας Α/Γ υπολογίζεται στο 0,41% του συνολικού κόστους της: 3.114 €.
- Η ασφάλιση μίας μονάδας Α/Γ υπολογίζεται στο 0,5% του συνολικού κόστους της: 4.000 €.

Επομένως το κόστος ανά μονάδα Α/Γ ανέρχεται στα 759.609 €. Λαμβάνοντας υπόψη την επιδότηση του 30%, το κόστος ανά μονάδα Α/Γ μειώνεται στα 531.726 €.

Το ετήσιο κόστος ασφάλισης και συντήρησης μίας Α/Γ είναι 7.114 €.

Κοινό κόστος αιολικού πάρκου:

Το κοινό κόστος του αιολικού πάρκου αποτελείται από όλα εκείνα τα κόστη, που δεν μπορούν να αναχθούν σε κόστη ανά μονάδα Α/Γ. Πιο αναλυτικά αυτά τα κόστη, χωρίς αρχικά να λαμβάνεται υπόψη η επιδότηση, είναι τα ακόλουθα:

- Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός του υποσταθμού: 95.374 €.
- Μελέτες και σύμβουλοι: 318.095 €.
- Διασυνδετική γραμμή: χρησιμοποιείται καλώδιο μέσης τάσης με αγωγούς ASCR 95 mm^2 , το κόστος του οποίου ανέρχεται στα 47687 € ανά km. Υπολογίζεται ότι το

μήκος της διασυνδετικής γραμμής θα είναι 10 km, άρα το συνολικό της κόστος θα είναι: 476.870 €.

Συνεπώς το κοινό κόστος του αιολικού πάρκου θα είναι 890339 €. Λαμβάνοντας υπόψη την επιδότηση του 30% του κόστους του εξοπλισμού του υποσταθμού και την επιδότηση του 50% του κόστους της διασυνδετικής γραμμής, το κοινό κόστος του αιολικού πάρκου μειώνεται στα 623. 293 €.

7.4.2 Φωτοβολταϊκό Πάρκο

Στο συνολικό κόστος του Φ/Β πάρκου περιλαμβάνονται τα κόστη εγκατάστασης των Φ/Β panel καθώς και η διαμόρφωση του οικοπέδου, στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το πάρκο. Στο συνολικό κόστος επίσης συγκαταλέγεται και η ετήσια ασφάλιση και συντήρηση των panel, όπως και η κατασκευή της διασυνδετικής γραμμής με τη μονάδα αφαλάτωσης.

Πιο αναλυτικά το κόστος του Φ/Β πάρκου, χωρίς αρχικά να υπολογίζεται η επιδότηση, απαρτίζεται από τα ακόλουθα κόστη:

Κόστος ανά Φ/Β πλαίσιο του 1kW:

- Αγορά και διαμόρφωση του οικοπέδου, όπου πρόκειται να εγκατασταθεί το Φ/Β πάρκο. Επειδή το εν λόγω πάρκο πρόκειται να εγκατασταθεί σε περιοχή κοντά στην πόλη του Αγίου Νικολάου, το κόστος του οικοπέδου αναμένεται να είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό του αιολικού πάρκου και υπολογίζεται στα 191 € ανά Φ/Β πλαίσιο του 1 kW.
- Η αγορά και εγκατάσταση των Φ/Β πλαισίων αναμένεται να κοστίσει 9910 € ανά Φ/Β πλαίσιο του 1 kW.
- Η ετήσια συντήρηση για τα Φ/Β πλαίσια υπολογίζεται στο 0,005% του συνολικού τους κόστους, με αποτέλεσμα το κόστος της να θεωρείται αμελητέο και να μη λαμβάνεται υπόψη.
- Η ασφάλιση των Φ/Β πλαισίων υπολογίζεται στο 0,5% του συνολικού τους κόστους ετησίως: 51 €.
- Η αγορά μετατροπέα συνεχούς-εναλλασσόμενου των 40 kW: 9520 €.

Το κόστος επομένως για ένα Φ/Β πλαίσιο του 1 kW ανέρχεται στα 10339 €. Με επιδότηση 45%, το κόστος αυτό μειώνεται στα 5686 €.

Κοινό κόστος του Φ/Β πάρκου:

- Η διασυνδετική γραμμή ανάμεσα στο πάρκο και τη μονάδα αφαλάτωσης είναι χαμηλής τάσης και έχει πολύ μικρότερο κόστος από αυτή του αιολικού πάρκου εξαιτίας του μικρότερου μήκους της (< 1 km) : 6362 €.

Με την επιδότηση του 50% που υπάρχει το κόστος της διασυνδετικής γραμμής μειώνεται στα 3181 €.

7.4.3 Δεξαμενή αποθήκευσης

Το κόστος της δεξαμενής αποθήκευσης αποτελείται από το κόστος κατασκευής της και από το κόστος αγοράς του οικοπέδου. Αυτό έχει ως συνέπεια το κόστος της δεξαμενής να μεταβάλλεται ανάλογα με την περιοχή που πρόκειται να κατασκευαστεί η δεξαμενή. Υπολογίζεται ότι η κατασκευή μίας δεξαμενής 1000 m^3 , κοστίζει περίπου 176.000 €. Από το κόστος της δεξαμενής αφαιρείται το κόστος των υπαρχόντων δεξαμενών.

Το μέγεθος της δεξαμενής εξαρτάται από την επιθυμητή αυτονομία του συστήματος, η οποία εκφράζεται σε αριθμό ημερών.

Στην προκειμένη εργασία η επιθυμητή αυτονομία είναι ένα χρονικό διάστημα των 6 ημερών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέση ετήσια κατανάλωση νερού ανά ημέρα για το δήμο του Αγίου Νικολάου είναι περίπου 5.000 m^3 η δεξαμενή αποθήκευσης πρέπει να έχει μέγεθος 30.000 m^3 .

Οι υπάρχουσες δεξαμενές, συμπεριλαμβανομένου και των ντεπόζιτων κάθε σπιτιού, που υπάρχουν στο δήμο του Αγίου Νικολάου καλύπτουν αυτή την ανάγκη, επομένως το κόστος της δεξαμενής αποθήκευσης θεωρείται μηδενικό, εφόσον βέβαια το μέγεθος της δεν ξεπερνάει τα 30.000 m^3 .

7.4.4 Μονάδα αφαλάτωσης

Το κόστος της μονάδας αφαλάτωσης θεωρείται σταθερό σε κάθε περίπτωση και δε λαμβάνεται υπόψη στη συγκεκριμένη εργασία. Η θεώρηση αυτή απορρέει από το γεγονός ότι ο αλγόριθμος, που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μελετάει τον τρόπο τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης και αναζητά τον βέλτιστο και όχι την ίδια τη μονάδα αφαλάτωσης και τον τρόπο λειτουργίας της.

7.4.5 Απασχολούμενο προσωπικό

Για το αυτόνομο και το υβριδικό σύστημα, στο κόστος λειτουργίας θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η μισθοδοσία του προσωπικού που απασχολείται στο αιολικό και στο Φ/Β πάρκο. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση που ο αριθμός των Α/Γ είναι μεγαλύτερος του 4, κρίνεται απαραίτητη η πρόσληψη ενός επιβλέποντος μηχανικού, δύο τεχνιτών και ενός φύλακα. Για κάθε εργαζόμενο αντιστοιχούν 12 μισθοί συν τα δώρα Χριστουγέννων και Πάσχα, συνολικά δηλαδή 14 μισθοί.

Η μισθοδοσία για το απασχολούμενο προσωπικό έχει ως εξής:

- Μηχανικός: 1907 €
- Τεχνίτες: 2 x 954 €
- Φύλακας: 795 €

Στην περίπτωση που τελικά προκύψει αριθμός Α/Γ μικρότερος του 4, θεωρείται ότι απασχολείται ένας μόνος τεχνίτης, οπότε και το κόστος της μισθοδοσίας μειώνεται ανάλογα.

7.4.6 Αγορά και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο

Στο αυτόνομο και στο υβριδικό σύστημα, από το κόστος λειτουργίας αφαιρείται το κόστος πώλησης της πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο. Η τιμή πώλησης της ενέργειας αυτής λαμβάνεται από το τιμολόγιο της ΔΕΗ ίση με 0.06201 €/kWh [19]. Πρόκειται για την περίπτωση πώλησης ενέργειας στη μέση τάση από πλεόνασμα αυτοπαραγωγής από ΑΠΕ, σε μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Στην περίπτωση αγοράς ενέργειας από το δίκτυο, που αντιστοιχεί στην περίπτωση που η τροφοδοσία της μονάδας αφαλάτωσης γίνεται από το υβριδικό σύστημα ή αποκλειστικά από τη ΔΕΗ, λαμβάνεται υπόψη το τιμολόγιο μέσης τάσης B2B και το κόστος είναι 0.05661 €/kWh [19].

7.5 Διαμόρφωση κόστους για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους τροφοδοσίας της μονάδας αφαλάτωσης

7.5.1 Διαμόρφωση του κόστους για το αυτόνομο σύστημα

Το κόστος για το αυτόνομο σύστημα συνίσταται από τα παρακάτω κόστη:

- κόστος Α/Γ: 531.726 € ανά μονάδα.
- κόστος Φ/Β: 5686 € ανά Φ/Β πλαίσιο του 1 kW.
- ετήσια ασφάλιση και συντήρηση των Α/Γ: 7.114 € ανά μονάδα.
- ετήσια ασφάλιση των Φ/Β: 51€ ανά Φ/Β.
- κοινό κόστος για το αιολικό και το Φ/Β πάρκο (διασυνδετικές γραμμές, υποσταθμός κτλ) : 626.474 €.
- Μισθοδοσία: 64.566 €.
- Το κόστος της δεξαμενής, το οποίο μέχρι τα 30.000 m^3 θεωρείται μηδενικό, ενώ για περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής στο κόστος προστίθεται το ποσό των 176.000 € κάθε 1.000 m^3 .

Από τα παραπάνω αφαιρείται το κόστος πώλησης της πλεονάζουσας ενέργειας στη ΔΕΗ με τιμή 0.06201 €/kWh.

Στην περίπτωση που προκύψει μικρός αριθμός Α/Γ ($N_{wt} < 4$), από το συνολικό κόστος αφαιρείται το κόστος του υποσταθμού και ο μισθός που αντιστοιχεί σε ένα τεχνίτη.

7.5.2 Διαμόρφωση του κόστους για το υβριδικό σύστημα

Για το υβριδικό σύστημα η διαμόρφωση του κόστους είναι ίδια ακριβώς με αυτή του αυτονόμου, συμπεριλαμβάνοντας όμως και το κόστος της αγοράς ενέργειας από το δίκτυο με τιμή 0.05661 €/kWh.

7.5.3 Διαμόρφωση του κόστους της αποκλειστικής αγοράς ενέργειας από τη ΔΕΗ

Πρόκειται για την περίπτωση όπου η μονάδα αφαλάτωσης τροφοδοτείται αποκλειστικά από τη ΔΕΗ και η αγορά της απαιτούμενης ενέργειας γίνεται με τιμή 0.05661 €/kWh.

7.6 Σύγκριση κόστους για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης

Για τη σύγκριση των τριών διαφορετικών τρόπων τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης όλα τα κόστη που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο αυτό μετατρέπονται σε κόστος ανά έτος. Για τη μετατροπή χρησιμοποιείται η μέθοδος της ετήσιας ανάκτησης κεφαλαίου με επιτόκιο προεξόφλησης 10% [21].

Τα κόστη τελικά μετατρέπονται (ανά έτος) στα εξής:

- 75894 €, ανά μονάδα Α/Γ.
- 7.114 €, για την ετήσια ασφάλιση και συντήρηση των Α/Γ.
- 845 €, ανά Φ/Β του 1 kW.
- 51 €, για την ετήσια ασφάλιση των Φ/Β.
- 93121 €, το κοινό κόστος του αιολικού και του φωτοβολταϊκού πάρκου.
- 64566 €, η μισθοδοσία για το προσωπικό.
- 0.06201 €/kWh, το κόστος πώλησης της πλεονάζουσας ενέργειας στη ΔΕΗ.
- 0.05661 €/kWh, το κόστος της αγοράς ενέργειας από τη ΔΕΗ.

Αν τελικά προκύψει μικρός αριθμός Α/Γ, από τη μισθοδοσία αφαιρείται ο μισθός του ενός τεχνίτη (13356 €) και από το κοινό κόστος το κόστος του υποσταθμού, οπότε και αυτό διαμορφώνεται στα 83198 €/έτος.

8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

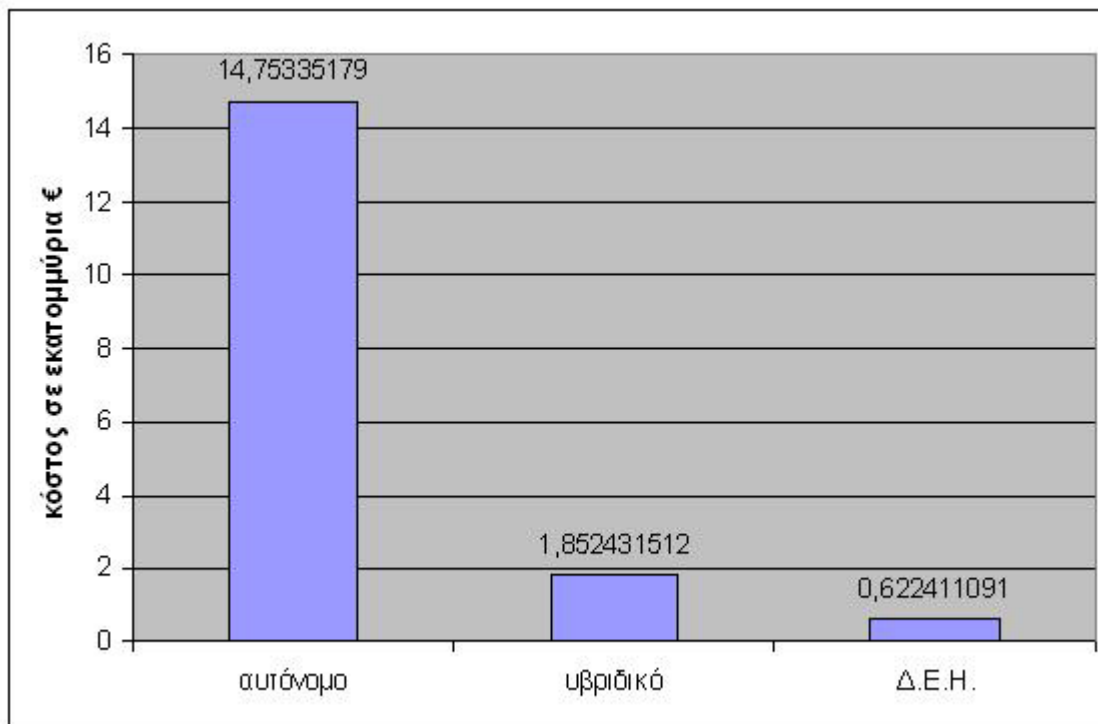
Στη συγκεκριμένη εργασία διερευνάται ο βέλτιστος τρόπος τροφοδότησης μίας μονάδας αφαλάτωσης, με την απαιτούμενη ενέργεια. Η ενέργεια, που χρειάζεται για να λειτουργήσει η μονάδα, μπορεί να προέρχεται είτε από αιολικό – φωτοβολταϊκό πάρκο (αυτόνομο σύστημα), είτε από το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο (Δ.Ε.Η.), είτε από συνδυασμό των παραπάνω (υβριδικό σύστημα).

Ως μεταβλητές στο αυτόνομο και στο υβριδικό σύστημα λαμβάνονται η χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης, ο ρυθμός ανάκτησης ενέργειας και ο χρόνος, που μεσολαβεί, μεταξύ της απενεργοποίησης και της ενεργοποίησης του RO module. Επιπλέον στο υβριδικό λαμβάνεται υπόψη και το άνω όριο στο ποσοστό πλήρωσης της δεξαμενής από τη ΔΕΗ.

Η χωρητικότητα της δεξαμενής δεν μεταβάλλεται απεριορίστα και λαμβάνεται ίση με τη χωρητικότητα των υπάρχοντων δεξαμενών στην περιοχή μελέτης, ίση με $30000\ m^3$ (6 ημέρες αυτονομία). Το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας στο RO module είναι 20% και ο χρόνος μεταξύ κάθε απενεργοποίησης και ενεργοποίησης του είναι 30 λεπτά. Τέλος στο υβριδικό σύστημα η ΔΕΗ παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια, για να γεμίσει η δεξαμενή με νερό σε ποσοστό 60% της συνολικής της χωρητικότητας.

Η βέλτιστη λύση του αλγόριθμου για το αυτόνομο σύστημα είναι 9 Α/Γ και 1632 Φ/Β με κόστος 14753351.8 €. Για το υβριδικό σύστημα η βέλτιστη λύση, που δίνει ο αλγόριθμος, είναι 1 Α/Γ και 46 Φ/Β με κόστος 1852431.5 €. Για την αγορά και την πώληση ενέργειας από και προς τη ΔΕΗ λαμβάνονται υπόψη οι τιμολογιακές τιμές με 0.05661 €/kWh και 0.06201 €/kWh αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 20 παρουσιάζονται τα κόστη και των τριών τρόπων τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης. Από το κόστος του υβριδικού συστήματος, λόγω του μικρού αριθμού Α/Γ (<4), έχει αφαιρεθεί το κόστος κατασκευής του υποσταθμού και ο μισθός του ενός τεχνίτη.

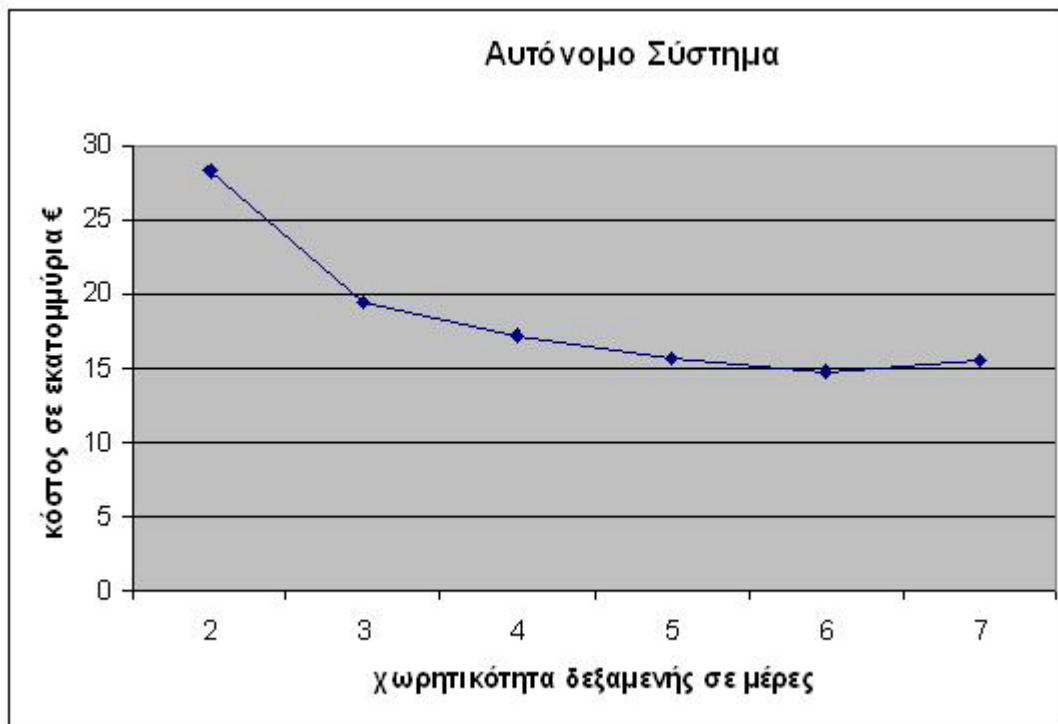


Σχήμα 20. Αρχικό κόστος των τριών τρόπων τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης

Από το παραπάνω Σχήμα είναι εμφανές ότι το μεγαλύτερο αρχικό κόστος το έχει το αυτόνομο σύστημα, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού Α/Γ και Φ/Β που χρειάζεται για να μπορέσει να καλύψει τη ζήτηση. Το μικρότερο κόστος παρουσιάζεται για τη ΔΕΗ, ενώ το κόστος για το υβριδικό σύστημα είναι κατά πολύ μικρότερο από το αυτόνομο, αρκετά μεγαλύτερο όμως από αυτό του δικτύου.

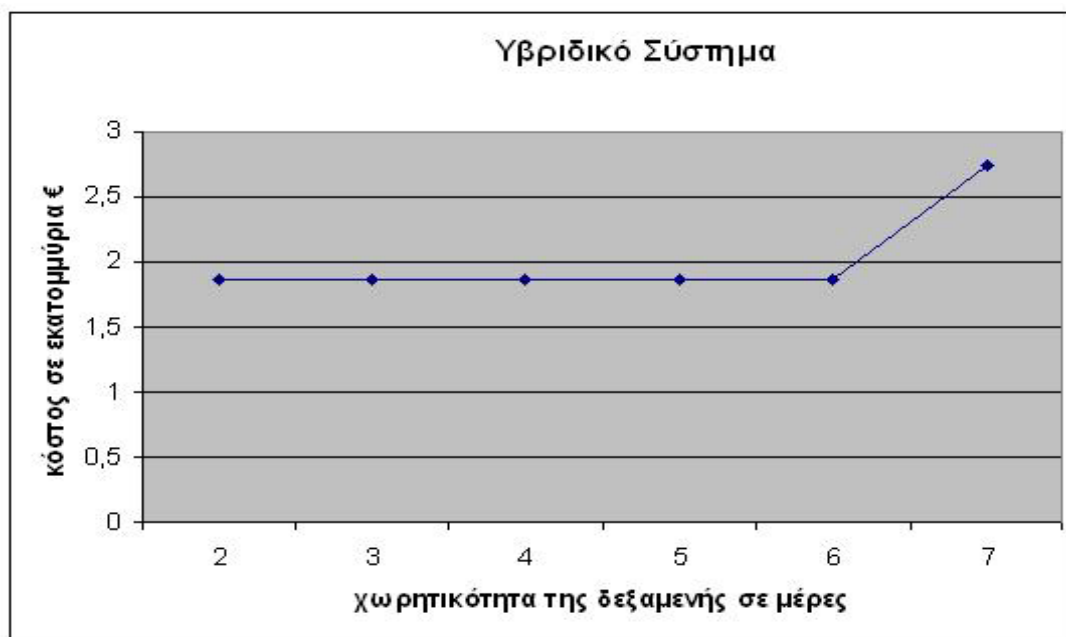
Παρακάτω διερευνάται η μεταβολή στο κόστος για το αυτόνομο και το υβριδικό σύστημα, συναρτήσει της μεταβολής της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης.

Στο αυτόνομο σύστημα αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους, εξαιτίας του μικρότερου αριθμού Α/Γ και Φ/Β που απαιτούνται για την κάλυψη της ζητούμενης ενέργειας από τη μονάδα αφαλάτωσης. Όταν όμως το μέγεθος της δεξαμενής ξεπεράσει τη χωρητικότητα των υπάρχοντων δεξαμενών (30000 m^3), το κόστος του συστήματος αρχίζει και πάλι να αυξάνεται, αφού πλέον σε αυτό προστίθεται και το κόστος κατασκευής της δεξαμενής.



Σχήμα 21. Μεταβολή του κόστους για το αυτόνομο σύστημα συναρτήσει της μεταβολής της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης.

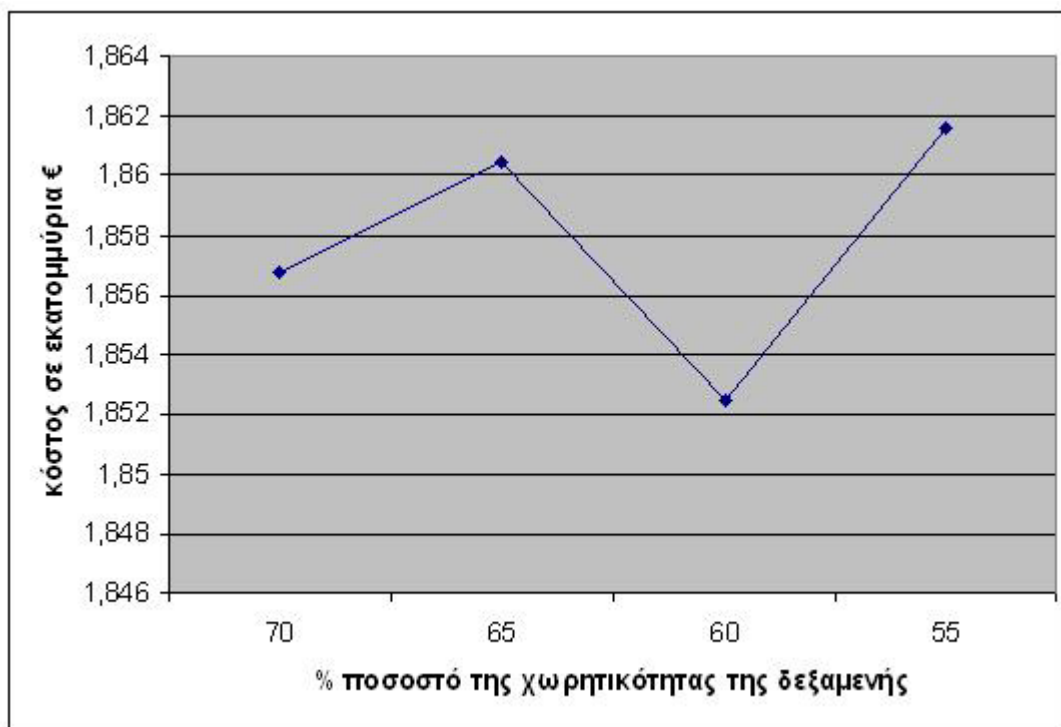
Η αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και για το υβριδικό σύστημα, με μικρότερο όμως ρυθμό από ότι στο αυτόνομο σύστημα.



Σχήμα 22. Μεταβολή του κόστους για το υβριδικό σύστημα συναρτήσει της μεταβολής της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης

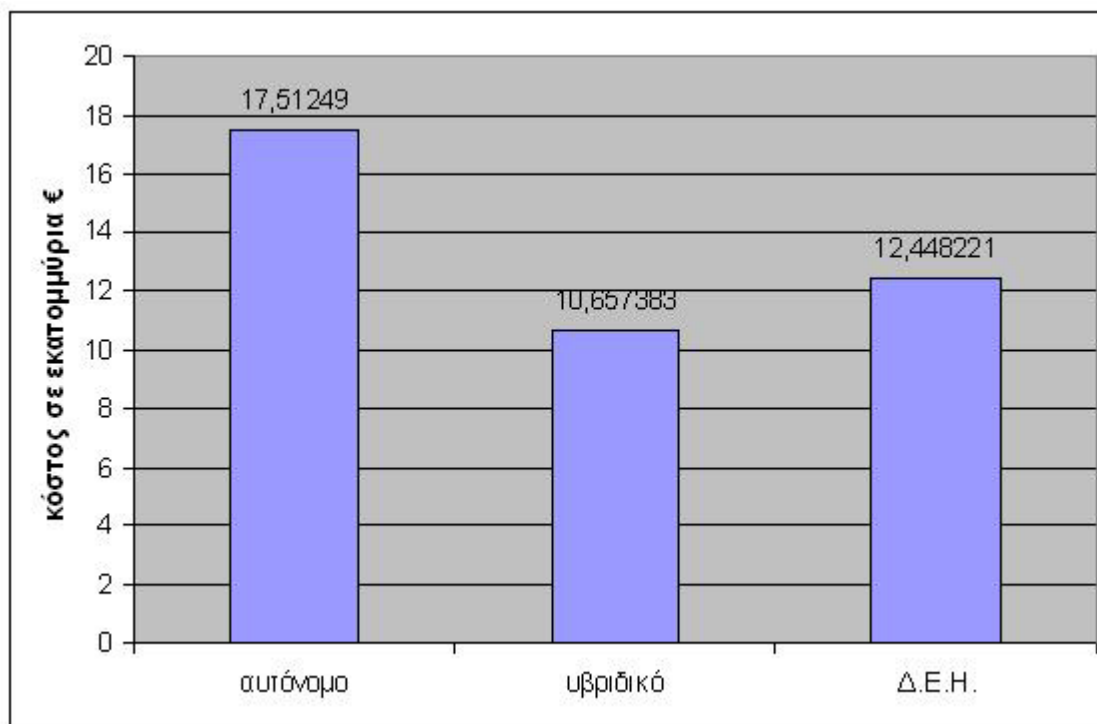
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 22, στο υβριδικό σύστημα η προσθήκη του κόστους της δεξαμενής μετά τις 6 ημέρες (χωρητικότητα υπαρχόντων δεξαμενών), οδηγεί σε αύξηση του συνολικού κόστους.

Η μεταβολή στο κόστος του υβριδικού συστήματος συναρτήσει του ποσοστού, μέχρι το οποίο θα γεμίσει τη δεξαμενή η ΔΕΗ, όταν κληθεί από τον αλγόριθμο, φαίνεται στο Σχήμα 23. Η μεταβολή αυτή γίνεται για σταθερή χωρητικότητα (30000 m^3) και το χαμηλότερο κόστος εμφανίζεται για ποσοστό ίσο με 60%.



Σχήμα 23. Μεταβολή του κόστους για το υβριδικό σύστημα συναρτήσει της μεταβολής του άνω ορίου του ποσοστού πλήρωσης της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης, από τη ΔΕΗ.

Θεωρώντας σταθερές τις κλιματολογικές συνθήκες και την ετήσια κατανάλωση νερού στο δήμο του Αγ. Νικολάου, για ένα χρονικό διάστημα 20 ετών υπολογίζεται το συνολικό κόστος και για τους τρεις τρόπους τροφοδοσίας της μονάδας αφαλάτωσης σε ένα βάθος χρόνου 20 ετών. Για τον υπολογισμό αυτό λαμβάνεται υπόψη το κόστος συντήρησης και ασφάλισης των Α/Γ και των Φ/Β, καθώς η συνολική ενέργεια που αγοράζεται ή πωλείται από ή προς τη ΔΕΗ.



Σχήμα 24. Συνολικό κόστος για την περίοδο των 20 ετών.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 24, το υβριδικό σύστημα, αν και το αρχικό του κόστος δεν είναι το χαμηλότερο (Σχήμα 20), σε μία περίοδο 20 χρόνων αποτελεί τον πιο οικονομικό τρόπο τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης, πιο συγκεκριμένα εμφανίζεται να είναι κατά 14% φθηνότερο από τη ΔΕΗ και κατά 39% από το αυτόνομο σύστημα.

Από τα συνολικά κόστη είναι δυνατόν να υπολογισθεί το κόστος του παραγόμενου νερού για κάθε ένα από τους τρεις τρόπους παροχής ενέργειας στη μονάδα αφαλάτωσης (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Κόστος παραγόμενου νερού

Σύστημα	€/m ³
αυτόνομο	0,434
υβριδικό	0,264
ΔΕΗ	0,308

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το νερό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αγαθά για τον άνθρωπο. Ο ρόλος του είναι καθοριστικός τόσο για την υγεία των ατόμων μιας κοινωνίας, όσο και για την περαιτέρω οικονομική της ανάπτυξη. Η αύξηση του πληθυσμού της γης όμως, αλλά και η εκτεταμένη βιομηχανοποίηση έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση ή τη μόλυνση των υπαρχόντων αποθεμάτων νερού ανά τον κόσμο.

Το πρόβλημα της έλλειψης πόσιμου νερού έχει κάνει την εμφάνιση του και στον ελλαδικό χώρο, όπου εντοπίζεται κυρίως στα νησιά (ανάμεσα σε αυτά και η Κρήτη) και ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, στους οποίους αυξάνεται η τουριστική κίνηση.

Λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας μπορεί να δώσει η τεχνολογία της αφαλάτωσης αλμυρού ή υφάλμυρου νερού. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να παραχθεί πόσιμο νερό καλής ποιότητας.

Η διαδικασία της αφαλάτωσης απαιτεί μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας και στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ο τρόπος τροφοδότησης της μονάδας με αυτή την ενέργεια. Η απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να προέρχεται αποκλειστικά από τη ΔΕΗ ή από ΑΠΕ (Α/Γ και Φ/Β) ή από συνδυασμό ΑΠΕ και ΔΕΗ.

Για την εκπόνηση της παραπάνω μελέτης χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα C και το προγραμματιστικό περιβάλλον του Matlab. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν (μετεωρολογικά δεδομένα, τιμές, κατανάλωση νερού κ.ά.) βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα.

Η συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζει πρωτοτυπία στα ακόλουθα σημεία:

- Τα μετεωρολογικά δεδομένα, που χρησιμοποιούνται είναι πολύ αναλυτικά με μετρήσεις ανά λεπτό.
- Η χωρητικότητα της δεξαμενής λαμβάνεται υπόψη και χρησιμοποιείται ως παράμετρος.
- Στην περίπτωση του υβριδικού συστήματος, η ΔΕΗ αναλαμβάνει την τροφοδοσία της μονάδας αφαλάτωσης μόνον όταν η χωρητικότητα της δεξαμενής πέσει κάτω από ένα επιθυμητό κάτω όριο. Εν συνεχεία την τροφοδοσία της μονάδας αναλαμβάνουν και πάλι οι ΑΠΕ όταν η χωρητικότητα της δεξαμενής φτάσει ένα επιθυμητό άνω όριο.

- Η εφαρμογή (case study) του αλγορίθμου γίνεται για την πόλη του Αγ. Νικολάου και για μία κατανάλωση με πρακτικό ενδιαφέρον.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων (Κεφάλαιο 8) εξάγεται το συμπέρασμα, ότι ο πιο οικονομικός τρόπος τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης είναι αυτός του υβριδικού συστήματος. Πάρα το γεγονός ότι το αρχικό του κόστος είναι μεγαλύτερο από αυτό της αποκλειστικής αγοράς ενέργειας από τη ΔΕΗ, το μειωμένο κόστος λειτουργίας του έχει ως αποτέλεσμα το μικρότερο κόστος για το παραγόμενο νερό (Πίνακας 7).

Η χρησιμοποίηση των ΑΠΕ για την παραγωγή πόσιμου νερού παρουσιάζει το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά και κεφαλαίου. Οι ΑΠΕ επίσης είναι φιλικές προς το περιβάλλον, σε αντίθεση με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας που καταναλώνουν ακριβά καύσιμα και συμβάλλουν έτσι στη μόλυνση του. Ένα ακόμη πλεονέκτημα των ΑΠΕ είναι ότι μειώνουν τις ανάγκες σε συμβατικά καύσιμα με αποτέλεσμα για μία χώρα σαν την Ελλάδα, η οποία εισάγει το σύνολο των καυσίμων που χρειάζεται, να μειώνεται και η εξάρτηση της από τις χώρες από τις οποίες κάνει την εισαγωγή.

Από την παραπάνω ανάλυση συμπεραίνεται ότι η χρήση υβριδικού συστήματος για την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας σε μία μονάδα αφαλάτωσης είναι ιδιαίτερα ελκυστική, ειδικά αν αναλογιστεί κανείς ότι το κόστος παραγωγής των Α/Γ- Φ/Β αναμένεται να μειωθεί τα επόμενα χρόνια. Ένας ακόμη λόγος που συμβάλλει στην προτίμηση του υβριδικού συστήματος αποτελεί και το γεγονός ότι τα παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου μειώνονται συνεχώς.

9.1 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Με βάση τη μελέτη που έγινε σε αυτή τη διπλωματική εργασία και τα αποτελέσματα που αναπτύχθηκαν θα μπορούσαν να γίνουν κάποιες μελλοντικές εργασίες στις παρακάτω κατευθύνσεις:

- Συνυπολογισμός του κόστους κατασκευής της μονάδας αφαλάτωσης. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαν να εξαχθούν πιο ολοκληρωμένα συμπεράσματα σχετικά με το κόστος του παραγόμενου νερού, αλλά και το συνολικό κόστος της τεχνολογίας της αφαλάτωσης.

- Εξέταση της δυνατότητας μεγαλύτερου συνδυασμού από ΑΠΕ (π.χ. βιομάζα), για την τροφοδοσία της μονάδας αφαλάτωσης, με ταυτόχρονη χρήση και άλλων μεθόδων αφαλάτωσης πέραν της αντίστροφης όσμωσης. Μία τέτοια μελέτη θα οδηγούσε σε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη χρήση της αφαλάτωσης, σε συνδυασμό με ΑΠΕ, ως διαδικασία παραγωγής πόσιμου νερού.

10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://www.spitia.gr/greek/themata/environmental/MAY2001.PDF>
- [2] <http://www.mantelis.gr>
- [3] Μανόλης Βουτυράκης , «Η κάλυψη μελλοντικά των ενεργειακών αναγκών κατά 100% με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είναι εφικτός στόχος για το ενεργειακό της Κρήτης»
- [4] Αντέλλη Καλλιόπη, «Αξιολόγηση Εναλλακτικών Συστημάτων Αφαλάτωσης, Οικονομική και Ενεργειακή Σύγκριση», Μεταπτυχιακή Εργασία, Χανιά 2001
- [5] Κουνενάκη Μαρία, «Οικονομοτεχνική Μελέτη Μονάδας Αφαλάτωσης με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας», Διπλωματική Εργασία, Χανιά 2001
- [6] D. Voivontas, K. Yannopoulos, K. Rados, A. Zerbos, D. Assimacopoulos, Market potential of renewable energy powered desalination systems in Greece, Desalination, Vol. 121, p. 159 – 172, 1999
- [7] Καλυκάκης Γιώργος, «Βέλτιστη Διαχείριση Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για την τροφοδότηση Μονάδας Αφαλάτωσης», Μεταπτυχιακή Εργασία, Χανιά 2002
- [8] Γ. Καρινιωτάκης , «Ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης προδιαγραφών αιολικού πάρκου», Διπλωματική Εργασία, Χανιά 1990
- [9] <http://www.spin.gr/spin/story.jsp?id=169>
- [10] Γ. Μπεργελές , «Ανεμοκινητήρες», Αθήνα: Συμεών
- [11] Duffie J., Beckman W., «A Solar engineering of thermal processes», New York: Wiley, c1991
- [12] Holstroemn I., «Energy from the sun», Blue Ridge Summit, Pa: Tab Books, c1981
- [13] http://chania.chania.teiher.gr/ape_new/photovoltaika/genica.htm
- [14] SP -75.pdf
- [15] Treble F., «Generating electricity from the sun», New York: Pergamon Press, 1991

[16] Μ. Όξενκιουν, «Περιβάλλον, έλεγχος και προστασία νερού», ΕΜΠ, 1996

[17] <http://www.world-wide-water.com>

[18] Γιάννης Σίσκος, “Γραμμικός Προγραμματισμός”, Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 1998

[19] <http://www.dei.gr>

[20] [http:// www.ypan.gr](http://www.ypan.gr)

[21] Θεοδώρου Αποστολόπουλου, «Οικονομικά μαθηματικά και στοιχεία τραπεζικών εργασιών», ΕΥΡΩ – ΕΚΔΟΣΗ, Αθήνα 2002