



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΓΙΩΤΗ

«Ανάλυση της επίδρασης των συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης στις μεταβολές της αιολικής παραγωγής»



***Επιβλέπων Καθηγητές : ΝΙΚΟΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ***

Χανιά, 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη διπλωματική μου Εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εκπόνησή έγινε υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή κ. Γεωργιάκη Παύλου και του Διδάκτορα κ. Κατσίγιαννη Ιωάννη.

Με την ευκαιρία της παρουσίασης της εργασίας μου αυτής θεωρώ χρέος μου να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν καθοριστικά στην επιτυχή ολοκλήρωσή της. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γεωργιάκη Παύλο, χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη του οποίου δεν θα ήταν δυνατή η αποπεράτωση της εργασίας αυτής. Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Κατσίγιαννη Ιωάννη για τις πολύτιμες συμβουλές του, την άριστη συνεργασία που είχαμε και το ενδιαφέρον του.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ επίσης στην οικογένεια μου, που κατά το διάστημα της φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης, απέδειξε για μια ακόμη φορά ότι είναι δίπλα μου και με στηρίζει σε κάθε μου βήμα.

Τέλος δε θα μπορούσα να μην αναφερθώ στους φίλους μου και να τους πω ένα μεγάλο ευχαριστώ για τις αξέχαστες στιγμές που περάσαμε μαζί στη Κρήτη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τη μελέτη της επίδρασης των συστημάτων ενεργειακής αποθήκευσης στις μεταβολές της αιολικής παραγωγής. Ως συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης θεωρούμε τα συστήματα στα οποία αποθηκεύεται κάθε μορφή ενέργειας (χημική, ηλεκτρική, αιολική). Οι τύποι των συστημάτων αποθήκευσης μπορεί να είναι σφόνδυλοι, μπαταρίες, πυκνωτές, κα .

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η ανάλυση της επίδρασης των συστημάτων αποθήκευσης στις μεταβολές της αιολικής παραγωγής. Ως αποθηκευτικό μέσο χρησιμοποιείται η μπαταρία. Συγκεκριμένα εξετάζεται η επίδραση τριών διαφορετικών ειδών μπαταρίας στην αιολική παραγωγή. Τα είδη της μπαταρίας που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής: μολύβδου οξέος, νικελίου καδμίου και ιόντος λιθίου.

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής μελετάται ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο καλύπτει τις ανάγκες μιας μικρής κατοικίας. Ο βέλτιστος σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος γίνεται με τη βοήθεια του προγράμματος HOMER.

Το υπό μελέτη υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει όλους τους διαφορετικούς συνδυασμούς μονάδων και στοιχείων όπως για παράδειγμα ανεμογεννήτριες και μπαταρίες. Η προσομοίωση του συστήματος θα δώσει το βέλτιστο συνδυασμό αυτών των μεγεθών καθώς και το βέλτιστο κόστος της. Επίσης σημαντικά συμπεράσματα εξάγονται από την ανάλυση των γραφικών παραστάσεων μεταξύ των μπαταριών και των ανεμογεννητριών.

Το πρόγραμμα HOMER εκτελεί τρεις κύριες λειτουργίες: προσομοίωση, βελτιστοποίηση και ανάλυση ευαισθησίας. Στη διαδικασία προσομοίωσης, αναλύεται η απόδοση ενός συγκεκριμένου υβριδικού συστήματος για κάθε ώρα του έτους και υπολογίζεται ο βαθμός εξυπηρέτησης του φορτίου καθώς και το καθαρό παρόν κόστος. Στη διαδικασία βελτιστοποίησης, αναλύονται πολλές διαφορετικές διαμορφώσεις υβριδικών συστημάτων και προσδιορίζεται εκείνο που ικανοποιεί τους τεχνικούς περιορισμούς και έχει το χαμηλότερο καθαρό παρόν κόστος. Στη διαδικασία ανάλυσης ευαισθησίας, εκτελούνται πολλαπλές βελτιστοποιήσεις κάτω από μια σειρά υποθέσεων που εκφράζονται με την εισαγωγή των μεταβλητών ανάλυσης ευαισθησίας, για παράδειγμα, κόστος καυσίμου, ταχύτητα ανέμου, κτλ.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Υβριδικό σύστημα, συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αιολική ενέργεια, μπαταρίες, προσομοίωση, βελτιστοποίηση, ανάλυση ευαισθησίας

ABSTRACT

This Thesis presents the effect of energy storage systems in the changes of wind production. As energy storage systems we consider the systems in which is stored each form of energy (chemical, electric, wind). The types of storage systems can be flywheels, batteries, capacitors, etc.

The purpose of this Thesis is to analyse the effect of storage systems in the changes of wind production. As storage system is used the battery. Specific is examined the effect of three different kinds of batteries in the changes of wind production. The kinds of batteries which used are: lead acid, nickel cadmium and lithium ion.

In the context of this Thesis, is considered a hybrid electric power system which supply a small residence. The optimal design of hydric system is implemented with the help of HOMER software.

The hybrid system under study can employ any of the different combinations of units and components such as wind generators and batteries. The system simulation will give the optimal combine of these units as the optimal cost. Also importantly conclusions inferred from the analysis of diagrams between batteries and wind generators.

HOMER performs three principal tasks: simulation, optimization, and sensitivity analysis. In the simulation process, HOMER models the performance of a particular hybrid system configuration each hour of the year to determine its technical feasibility and life-cycle cost. In the optimization process, HOMER simulates many different system configurations in search of the one that satisfies the technical constraints at the lowest life-cycle cost. In the sensitivity analysis process, HOMER performs multiple optimizations under a range of input assumptions to gauge the effects of uncertainty or changes in the model inputs. Optimization determines the optimal value of the variables over which the system designer has control, such as the mix of components that make up the system and the size or quantity of each. Sensitivity analysis helps assess the effects of uncertainty or changes in the variables over which the designer has no control, such as the average speed or the future fuel price.

KEYWORDS

Hybrid system, energy storage systems, renewable energy sources, wind energy, batteries, simulation, optimization, sensitivity analysis.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Σκοπός της εργασίας.....	2
1.3 Ήπιες μορφές ενέργειας.....	3
1.4 Βιβλιογραφία.....	6
Κεφάλαιο 2 – Ενεργειακή αποθήκευση	7
2.1 Ιστορία	7
2.1.1 Τι είναι η ενεργειακή αποθήκευση	8
2.1.2 Οι πρόσφατες χρήσεις των τεχνολογιών ενεργειακής αποθήκευσης	8
2.2 Ηλεκτροχημική ενεργειακή αποθήκευση	10
2.2.1 Μπαταρίες	10
2.2.1.1 Μπαταρία μολύβδου οξέος.....	11
2.2.1.2 Μπαταρίες Νικελίου-καδμίου	13
2.2.1.3 Μπαταρίες Ιόντος-λιθίου.....	14
2.2.2 Σύγκριση τύπων μπαταριών	15
2.3 Βιβλιογραφία.....	17
Κεφάλαιο 3 – Μοντελοποίηση προγράμματος HOMER	19
3.1 Πρόγραμμα HOMER.....	19
3.1.1 Προσομοίωση	20
3.1.2 Βελτιστοποίηση	21
3.1.3 Ανάλυση ευαισθησίας.....	21
3.2 Μπαταρίες	22
3.2.1 Καμπύλη χωρητικότητας.....	23
3.2.2 Καμπύλη διάρκεια ζωής.....	24
3.2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταριών	25
3.3 Βιβλιογραφία.....	28
Κεφάλαιο 4 – Μοντελοποίηση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.....	29
4.1 Στοιχεία του υβριδικού συστήματος.....	29
4.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα	29
4.1.2 Ανεμογεννήτριες.....	30
4.1.3 Νηζελογεννήτριες.....	32
4.1.4 Μπαταρίες	34
4.1.5 Μετατροπέας	35
4.2 Ανάλυση κόστων συστήματος	35
4.2.1 Αρχικό κόστος κεφαλαίου.....	35
4.2.2 Ετήσιο κόστος κεφαλαίου	35
4.2.3 Συντελεστής κεφαλαίου	36
4.2.4 Ετήσιο κόστος αντικατάστασης	36
4.2.5 Κόστος ενέργειας.....	36
4.3 Βιβλιογραφία.....	37
Κεφάλαιο 5 – Υβριδικό σύστημα: Ανεμογεννήτρια, Μπαταρία, Μετατροπέας	39
5.1 Εισαγωγή – παρουσίαση του προβλήματος.....	39
5.2 Φορτία.....	39
5.3 Συστατικά μέρη του υβριδικού συστήματος.....	41
5.3.1 Ανεμογεννήτρια.....	41
5.3.2 Μπαταρία	42
5.3.3 Μετατροπέας	43

5.4 Πόροι συστήματος.....	43
5.4.1 Αιολικό δυναμικό	43
5.5 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης	45
5.6 Συμπεράσματα.....	46
5.7 Συγκριτικά αποτελέσματα.....	46
5.7.1 Μπαταρία Νικελίου-Καδμίου.....	46
5.7.2 Μπαταρία Ιόντος- Λιθίου.....	48
5.8 Ολικά αποτελέσματα	50
5.9 Γραφικές παραστάσεις.....	51
5.9.1 Μπαταρίες μολύβδου οξέος	51
5.9.2 Μπαταρίες νικελίου καδμίου.....	55
5.9.3 Μπαταρίες ιόντος λιθίου	56
5.10 Βιβλιογραφία.....	59
Κεφάλαιο 6 – Αιολική ενέργεια.....	61
6.1 Γενικά	61
6.2 Πλεονεκτήματα- μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας.....	62
6.2.1 Πλεονεκτήματα.....	62
6.2.2 Μειονεκτήματα.....	63
6.3 Τύποι και υποσυστήματα ανεμογεννητριών	63
6.4 Βιβλιογραφία.....	67
Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα.....	69

Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι πηγές τα αποθέματα των οποίων ανανεώνονται φυσικά, και οι οποίες συνεπώς θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Στην κατηγορία αυτή, η σημασία της οποίας για τη βιωσιμότητα του πλανήτη έχει πλέον συνειδητοποιηθεί ευρέως, συγκαταλέγονται ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης.

Πρόκειται για τις πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος. Στις αρχές του 20ου αιώνα, με καταλυτική εξέλιξη την ανακάλυψη των μεγάλων κοιτασμάτων πετρελαίου, ο κόσμος στράφηκε αποφασιστικά στη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών, κυρίως άνθρακα και υδρογονανθράκων.

Δύο ήταν οι κρίσιμοι παράγοντες στην αναβίωση του ενδιαφέροντος για τις ΑΠΕ, ξεκινώντας από τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Ο πρώτος ήταν το ζήτημα της ενεργειακής ασφάλειας: οι δύο πετρελαϊκές κρίσεις, του 1973 και του 1979-80, οδήγησαν τις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες να αναθεωρήσουν την απόλυτη εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα, και ιδιαίτερα το πετρέλαιο. Οι χώρες-προμηθευτές κατά κύριο λόγο τα κράτη της Αραβικής Χερσονήσου και του Περσικού Κόλπου δεν ήταν ποτέ απολύτως αξιόπιστοι σύμμαχοι της Δύσης. Η τελευταία τριακονταετία στην περιοχή, με την άνοδο του ισλαμικού φονταμενταλισμού που είναι από τα κύρια χαρακτηριστικά της, έχει εντείνει περαιτέρω την ενεργειακή ανασφάλεια των ανεπτυγμένων χωρών σχετικά με τις μη ανανεώσιμες πηγές.

Το δεύτερο στοιχείο που οδήγησε στην ολική επαναφορά των ΑΠΕ είναι, φυσικά, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, έχει αναχθεί σε κορυφαία προτεραιότητα της διεθνούς κοινότητας. Ο ενεργειακός τομέας είναι ο κύριος υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οδηγεί στην υπερθέρμανση του πλανήτη οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

Η χώρα μας, γεωγραφικά και γεωλογικά, διαθέτει σημαντικά πλεονεκτήματα σχετικά με την εκμετάλλευση των ΑΠΕ. Έτσι, συνυπολογίζοντας τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα που αποτελούν περίπου το 70% του συνόλου, το ποσοστό της συνολικής ενεργειακής παραγωγής της χώρας που προέρχεται από ΑΠΕ ανέρχεται σήμερα στο 11,5%. Ο στόχος για το 2020 είναι το ποσοστό αυτό να φτάσει το 20%. Ωστόσο, και οι τρεις κύριες μορφές ΑΠΕ στην Ελλάδα υδροηλεκτρική, αιολική και ηλιακή (χρήση φωτοβολταϊκών πινάκων) αντιμετωπίζουν προβλήματα στην προώθησή τους στην αγορά.

Συγκεκριμένα, σχετικά με τα υδροηλεκτρικά, οι αναμενόμενες παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας συνεπάγονται μείωση της απόδοσης των έργων. Στο μέτωπο της αιολικής ενέργειας, τα μεγάλα έργα δεν προχωρούν, ενώ δεν υπάρχουν κίνητρα για τοποθέτηση ανεμογεννητριών από οικιακούς καταναλωτές.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης ΑΠΕ είναι τα εξής:

- Συμβολή στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς, μη ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους.
- Συμβολή στην άμβλυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς συνεισφέρει στην ατμόσφαιρα, τον περιορισμό της εκπομπής των 6 αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆).
- Συνεισφορά στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, εξαιτίας της γεωγραφικής του διασποράς, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και τη συνεπακόλουθη ανακούφιση των συστημάτων υποδομής και τον περιορισμό των απωλειών από τη μεταφορά ενέργειας.
- Δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, με διαφορετικές λύσεις για διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες (για παράδειγμα χρήση ηλιακής ενέργειας για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, χρήση αιολικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή κ.ά.).
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Συνεισφορά στην αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών με τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την προσέλκυση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).

1.2 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την ανάλυση της επίδραση των συστημάτων αποθήκευσης στην αιολική παραγωγή. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αποδείξει εάν και πως ορισμένα αποθηκευτικά συστήματα επιδρούν στην αιολική παραγωγή. Ως αποθηκευτικά συστήματα έχουν επιλεγεί οι μπαταρίες και συγκεκριμένα συγκρίνονται τα αποτελέσματα 3 διαφορετικών ειδών μπαταρίας (μολύβδου οξέος, νικελίου καδμίου και ιόντος λιθίου). Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την ανάλυση και την εξαγωγή των συμπερασμάτων είναι το HOMER. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα μελετάται η συμπεριφορά ορισμένων υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας, τα οποία αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής:

Το **Κεφάλαιο 1** περιέχει πληροφορίες για την εξέλιξη των ΑΠΕ αιολική ενέργεια και περιγράφει τη δομή του προγράμματος HOMER.

Το **Κεφάλαιο 2** περιέχει πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή αποθήκευση και συγκεκριμένα αναλύονται τα είδη μπαταριών που θα μοντελοποιηθούν.

Το **Κεφάλαιο 3** περιγράφει αναλυτικά όλες τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου του προγράμματος HOMER.

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται αναφορά στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που μοντελοποιούνται στην παρούσα εργασία.

Στο **Κεφάλαιο 5** αναλύεται ένα σύστημα που συνδυάζει ανεμογεννήτρια, μπαταρία και μετατροπέα, καθώς και οι γραφικές παραστάσεις των μπαταριών με τα κόστη του συστήματος.

Στο **Κεφάλαιο 6** περιέχει πληροφορίες για την αιολική ενέργεια.

Τέλος, το **Κεφάλαιο 7** περιέχει τα συμπεράσματα της εργασίας.

1.3 Ήπιες μορφές ενέργειας

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο γινόμαστε μάρτυρες όχι και τόσο θετικών εξελίξεων που αφορούν τις ισορροπίες του διαταραγμένου ήδη κλιματικού τοπίου στον πλανήτη μας. Οι εξελίξεις αυτές συνέτειναν στο να ιδρυθούν διάφορες διεθνείς οργανώσεις οι οποίες με τη συμβολή ειδικών επιστημόνων διατρανώνουν προς όλες τις κατευθύνσεις τις συνέπειες που θα έχουν αυτές οι κλιματικές αλλαγές από την ανθρώπινη παρέμβαση στη φύση. Ήδη η Ευρωπαϊκή επιτροπή αρμόδια για θέματα προστασίας περιβάλλοντος προσανατολίζεται σε επιβολή κυρώσεων σε όποια Ευρωπαϊκή χώρα δε συμβάλλει με ενεργό τρόπο στη προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος.

Η κοινή απάντηση στον παγκόσμιο αυτό προβληματισμό αρχίζει να γεμίζει με ελπίδα από τα πρώτα αποτελέσματα της εφαρμογής της, τους υποστηρικτές που την προωθούν και δεν είναι άλλη από τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας. Χαρακτηρίζονται έτσι διότι δε βλάπτουν το περιβάλλον με επικίνδυνα κατάλοιπα ενώ προέρχονται απευθείας από φυσικές πηγές. Με την έννοια «Ήπιες Μορφές Ενέργειας» εννοούμε τις ακόλουθες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:

- Αιολική ενέργεια
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Κυματική ενέργεια
- Υδροηλεκτρικά συστήματα

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα: ιστοφόρα, ανεμόμυλοι κλπ. Σήμερα, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούνται οι ανεμογεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και στη συνέχεια, την διοχετεύουν στο ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας.

Χρησιμοποιούνται επίσης και για την κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένων εξοχικών κατοικιών, βιομηχανικών μονάδων, ιστιοφόρων πλοίων κ.λπ. Σε περιπτώσεις άπνοιας ή και αυξημένων ενεργειακών αναγκών, η ενέργεια αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) και χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται, ενώ συχνά γίνεται και χρήση νητζελογεννητριών παράλληλα με τις ανεμογεννήτριες (υβριδικά συστήματα).

Η Ελλάδα διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό, σε αρκετές περιοχές της Κρήτης, της Πελοποννήσου και στα νησιά του Αιγαίου. Σε αυτές τις περιοχές συναντώνται και τα περισσότερα αιολικά πάρκα (συστοιχίες ανεμογεννητριών). Τα αιολικά πάρκα σχεδιάζονται ώστε να συνυπάρχουν αρμονικά με το τοπίο της κάθε περιοχής, ενώ η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών έχει καταστήσει πρακτικά αθόρυβη τη λειτουργία τους.

Η ενέργεια από βιομάζα αφορά την εκμετάλλευση των γεωργικών, ζωικών και δασικών υπολειμμάτων, ενώ η γεωθερμική ενέργεια την εκμετάλλευση των ατμών που αναβλύζουν από τα εσωτερικά στρώματα της γης. Επίσης, η ηλιακή ενέργεια αφορά την άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, η κυματική ενέργεια την εκμετάλλευση της κίνησης των κυμάτων της θάλασσας (όχι με ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα μέχρι στιγμής) και τέλος η υδροηλεκτρική ενέργεια αφορά την εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων. Οι τεχνολογίες αυτές επιπλέον ονομάζονται και «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» και αυτό διότι βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η διαχρονική τους ανανέωση και διαθεσιμότητα, αφού έχουν την ικανότητα να αναπληρώνουν την στάθμη των αποθεμάτων τους (ουσιαστικά δεν υφίστανται όρια αποθεμάτων εδώ), βασιζόμενες σε φυσικά φαινόμενα, συνδεδεμένα με την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη. Τέλος, μια άλλη ονομασία για τις τεχνολογίες αυτές είναι «Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας», αφού θεωρείται ότι αποτελούν εναλλακτικές λύσεις παραγωγής ενέργειας έναντι των συμβατικών τρόπων παραγωγής.

Γενικά υπάρχουν αρκετά και σημαντικά πλεονεκτήματα για να γίνουν προσπάθειες αντικατάστασης των συμβατικών τρόπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους λεγόμενους εναλλακτικούς.

Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι:

- Συμβάλλουν στην επίλυση του ενεργειακού προβλήματος.
- Δεν βλάπτουν το ήδη επιβαρυνμένο περιβάλλον.
- Προσφέρουν περιθώρια αυτονομίας στις χώρες που τις υιοθετούν.
- Εξοικονομείται συνάλλαγμα από τη μείωση εισαγωγής πετρελαίου.
- Έχουν πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής.
- Δεν απαιτούν διαρκή παρακολούθηση, ενώ η συντήρησή τους απαιτεί πολύ λίγο χρόνο και απλές διαδικασίες.
- Είναι ανανεώσιμες και ελεύθερα διαθέσιμες πηγές ενέργειας.

Ωστόσο υπάρχει και ο αντίλογος έναντι στα πλεονεκτήματα με βάση τα μειονεκτήματα εφαρμογής των ήπιων μορφών ενέργειας. Τα κυριότερα επιχειρήματα αυτού του αντιλόγου είναι:

- Το υψηλό κόστος εγκατάστασης.
- Εξαρτώνται από τα φυσικά φαινόμενα. Για παράδειγμα, εφαρμογές που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ή αιολική ενέργεια δεν είναι δυνατό να λειτουργούν πάντα αποδοτικά και συνεχώς διότι εξαρτώνται από μια περιοδικότητα των καιρικών φαινομένων που δεν μπορεί να ελεγχθεί.
- Οι μικρές αποδόσεις που επιτυγχάνουν μέχρι στιγμής τα συστήματα αυτά.

Προφανώς και με βάση τα παραπάνω ο ρυθμός εγκατάστασης και αποδοχής των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας θα εξαρτηθεί από το πόσο ανταγωνιστικά σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους, είναι αυτές. Γεγονός είναι ότι τη δεκαετία του 1980 παρατηρήθηκε μείωση του ενδιαφέροντος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κυρίως λόγω των μειονεκτημάτων που αναφέρθηκαν πριν. Ωστόσο καθώς το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος γίνεται εντονότερο το ενδιαφέρον για αυτές αναζωπυρώνεται.

1.4 Βιβλιογραφία

- [1.1] <http://www.physics4u.gr/energy/ape.html>
- [1.2] <http://www.ypan.gr/ape/energeia.php?cat=aioliki>

Κεφάλαιο 2 – Ενεργειακή αποθήκευση

2.1 Ιστορία

Η ενεργειακή αποθήκευση ως φυσική διαδικασία είναι δισεκατομμύρια ετών. Η ενέργεια που παρήχθη στην αρχική δημιουργία του κόσμου έχει αποθηκευτεί στα αστέρια όπως ο ήλιος, και χρησιμοποιείται τώρα από τους ανθρώπους είτε άμεσα (π.χ. μέσω της ηλιακής θερμότητας) είτε έμμεσα (π.χ. με την μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια στα ηλιακά στοιχεία). Σαν διαδικασία, η ενεργειακή αποθήκευση υπήρχε από την προϊστορία, αν και συχνά δεν αναγνωριζόταν υπό αυτήν τη μορφή. Ως παράδειγμα της μηχανικής ενεργειακής αποθήκευσης αναφέρεται η χρήση των κούτσουρων ή των λίθων ως αμυντικά μέτρα στα αρχαία οχυρά. Τα κούτσουρα ή οι λίθοι συλλέγονταν στην κορυφή ενός λόφου, και η ενέργεια που αποθηκευόταν απελευθερωνόταν έπειτα ως υπεράσπιση ενάντια στους εισβολείς. Μια πιο πρόσφατη εφαρμογή ήταν ο έλεγχος των υδάτινων οδών στους ενεργειακούς υδρόμυλους για την επεξεργασία του σιταριού ή την τροφοδότηση των μηχανημάτων. Τα σύνθετα συστήματα των δεξαμενών και των φραγμάτων κατασκευάστηκαν για να αποθηκεύσουν και να απελευθερώσουν το νερό (και την πιθανή ενέργεια που αυτό περιείχε) σε περίπτωση ανάγκης. Η ενεργειακή αποθήκευση έγινε ωστόσο κυρίαρχος παράγοντας της οικονομικής ανάπτυξης με την εισαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Αντίθετα από τις άλλες κοινές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνταν προγενέστερα, όπως το ξύλο ή ο άνθρακας, η ηλεκτρική ενέργεια έπρεπε να χρησιμοποιηθεί καθώς παραγόταν και δεν μπορούσε να αποθηκευτεί σε τίποτε άλλο εκτός από μια δευτερεύουσα μορφή. Αυτό σήμαινε ότι οι αλλαγές σε ζήτηση δεν θα μπορούσαν να προσαρμοστούν, χωρίς είτε να κόψουν τις προμήθειες κατά περιόδους, είτε να ακολουθήσουν μια άλλη τεχνική αποθήκευσης. Μια πρόωρη λύση ήταν η μπαταρία, αλλά αυτή είναι περιορισμένης χρήσης και αυτό οφείλεται στη μικρή χωρητικότητα και το σχετικά υψηλό κόστος της. Μια παρόμοια λύση με τον ίδιο τύπο προβλημάτων είναι ο πυκνωτής.

Μερικές περιοχές του κόσμου (Washington και Oregon στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερική και Wales στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι παραδείγματα) που έχουν χρησιμοποιήσει τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα για να αποθηκεύσουν τις μεγάλες ποσότητες νερού στις δεξαμενές στην κορυφή των λόφων. Χρησιμοποιούν την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης για να αντλήσουν νερό στις δεξαμενές, και έπειτα αφήνουν την πτώση ύδατος μέσω των γεννητριών για να ανακτήσει την ενέργεια όταν η ζήτηση είναι

υψηλή. Διάφορες άλλες τεχνολογίες έχουν ερευνηθεί, αλλά μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί καμία προσιτή λύση στην πρόκληση της αποθήκευσης μαζικής ενέργειας.

2.1.1 Τι είναι η ενεργειακή αποθήκευση

- Η ενεργειακή αποθήκευση απαιτείται για να αποθηκεύσει την ηλεκτρική ενέργεια, τη θερμότητα και την ψύξη, η οποία παράγεται σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και χαμηλού κόστους παραγωγής και από τις διαλείπουσες πηγές ενέργειας όπως ο άνεμος και η ηλιακή ενέργεια. Απελευθερώνεται σε περιόδους υψηλής ζήτησης και υψηλού κόστους παραγωγής ή όταν δεν υπάρχει άλλη διαθέσιμη χωρητικότητα.
- Η αξιόπιστη και προσιτή ενεργειακή αποθήκευση είναι μια προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση της ανανεώσιμης ενέργειας στις απομακρυσμένες περιοχές, για την ένταξη στο ενεργειακό σύστημα και την ανάπτυξη ενός μελλοντικού αποκεντρωμένου συστήματος ενεργειακού ανεφοδιασμού. Η ενεργειακή αποθήκευση επομένως έχει έναν κεντρικό ρόλο που διαδραματίζεται στην προσπάθεια να συνδυαστεί ένας μελλοντικός, βιώσιμος ενεργειακός ανεφοδιασμός με το επίπεδο των τεχνικών υπηρεσιών και των προϊόντων που είμαστε εξοικειωμένοι και έχουμε ανάγκη.
- Η ενεργειακή αποθήκευση είναι η πιο ελπιδοφόρος διαθέσιμη τεχνολογία σήμερα, για να μειώσει την κατανάλωση καυσίμων στον τομέα των μεταφορών.

2.1.2 Οι πρόσφατες χρήσεις των τεχνολογιών ενεργειακής αποθήκευσης

- Η απόφαση να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης εξαρτάται συγχρόνως και από τις απαιτήσεις της εφαρμογής και από το κόστος των ανταγωνιστικών λύσεων. Στα ανανεώσιμα ενεργειακά συστήματα, για παράδειγμα, η χρήση της βασισμένης συνοδευτικής παραγωγής απολιθωμένων καυσίμων και η σύνδεση πλέγματος είναι ανταγωνιστικές λύσεις.
- Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, οι συμπιεστές, τα συστήματα θέρμανσης, κ.λπ. έχουν όλα διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης όσον αφορά στο χρόνο απόκρισής τους στη μεταβαλλόμενη ζήτηση, στους οδηγούς χρόνους για το ξεκίνημα ή τη διακοπή, και τα αποδοτικότερα σημεία λειτουργίας τους.
- Τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης μπορούν συνήθως να αντικατασταθούν από τη συμβατική ενεργειακή παραγωγή. Ωστόσο, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια ανεπαρκή χρήση των απολιθωμένων καυσίμων και στη ζήτηση για την επένδυση στις πρόσθετες ενεργειακές γεννήτριες με υψηλή παραγωγή ενέργειας και γρήγορο χρόνο απόκρισης. Ο χρόνος που απαιτείται για την ενεργειακή παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές, είναι η ηλεκτρική ενέργεια ή η θερμότητα τους, και δεν μπορεί πάντα να αντιστοιχηθεί στο χρόνο της ζήτησης.

- Τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης είναι επομένως ένα αναπόσπαστο τμήμα οποιουδήποτε ανανεώσιμου συστήματος πηγών ενέργειας (RES).
- Ακόμα και όταν η τροφοδοτημένη παραγωγή από καύσιμα χρησιμοποιείται για να καλύψει τις περιόδους χαμηλής παραγωγής RES, η ενεργειακή αποθήκευση απαιτείται για οικονομικούς λόγους, δεδομένου ότι είναι φτηνότερη από τη συχνή χρήση μιας μηχανοκίνητης γεννήτριας.
- Επίσης, η σταθερότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και η ποιότητα της παρεχόμενης τάσης θα είναι αρκετά υψηλότερες όταν χρησιμοποιείται ένα σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης. Το τεχνικό και οικονομικό βέλτιστο σχετικά με το μέγεθος ενός συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να καθοριστεί σε κάθε περίπτωση χωριστά.
- Οι συμβατικές, εμπορικά διαθέσιμες μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν πολύ υψηλή αποδοτικότητα ενέργειας και όλες οι άλλες τεχνολογίες πρέπει να ανταγωνιστούν με αυτό.
- Οι μπαταρίες είναι το ακριβότερο στοιχείο στα συστήματα RES όταν εξετάζονται οι συνολικές δαπάνες διάρκειας ζωής του συστήματος και υπάρχουν μεγάλες παραλλαγές στη διάρκεια ζωής μπαταριών στις διαφορετικές εγκαταστάσεις.
- Η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντα να αποθηκευτεί φτηνά υπό μορφή θερμότητας και για πολύ καιρό. Ωστόσο, η αξία της ενέργειας θερμότητας είναι πολύ χαμηλότερη από την αξία της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Στα ηλιακά θερμικά συστήματα για θέρμανση και ψύξη είναι επίσης απαραίτητο να αποθηκευτεί ενέργεια επειδή η παραγωγή θερμότητας εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία για την ενεργειακή παραγωγή.

Οι τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης δεν παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια αλλά μπορούν να παραδώσουν την αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια στο ηλεκτρικό πλέγμα ή σε έναν τελικό χρήστη. Χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την ποιότητα ισχύος διορθώνοντας την πτώση της τάσης, το τρεμούλιασμα, τα κύματα, ή διορθώνοντας τις δυσαναλογίες συχνότητας. Οι συσκευές αποθήκευσης χρησιμοποιούνται επίσης ως αδιάκοπες παροχές ηλεκτρικού ρεύματος (UPS), παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια των σύντομων διακοπών λειτουργίας χρησιμότητας. Επειδή αυτές οι ενεργειακές συσκευές βρίσκονται συχνά κοντά στο σημείο της χρήσης, συμπεριλαμβάνονται στη διανεμημένη κατηγορία των ενεργειακών πόρων.

Οι τεχνολογίες στις οποίες αποθηκεύεται η ενέργεια είναι οι ακόλουθες:

- 1) Ηλεκτροχημική ενεργειακή αποθήκευση
 - Μπαταρίες
 - Μπαταρίες ροής
 - Κυψέλες καυσίμων
- 2) Ηλεκτρική ενεργειακή αποθήκευση
 - Πυκνωτής
 - Υπερπυκνωτής

- Υπεραγώγιμη μαγνητική ενεργειακή αποθήκευση (SMES)
- 3) Μηχανική ενεργειακή αποθήκευση
 - Ενεργειακή αποθήκευση σφονδύλου
 - Υδραυλικός συσσωρευτής
 - Υδροηλεκτρική ενεργειακή αποθήκευση
 - 4) Δυναμική ενεργειακή αποθήκευση
 - Ενεργειακή αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα(CAES)
 - Ενεργειακή αποθήκευση αντλημένου ύδατος
 - 5) Θερμική ενεργειακή αποθήκευση
 - Λιωμένο άλας
 - Κρυογενικό υγρό ή αέριο άζωτο
 - Εποχιακή θερμική αποθήκευση
 - Ηλιακή λίμνη

2.2 Ηλεκτροχημική ενεργειακή αποθήκευση

2.2.1 Μπαταρίες

Η πρώτη μπαταρία δημιουργήθηκε από τον Alessandro Volta το 1800. Για να δημιουργήσει την μπαταρία του, έκανε έναν σωρό με την εναλλαγή των στρωμάτων του ψευδάργυρου. Αυτή η ρύθμιση ήταν γνωστή ως βολταϊκός σωρός. Τα στρώματα των κορυφών και των κατώτατων σημείων του σωρού είναι από διαφορετικά μέταλλα. Εάν συνδεθεί ένα καλώδιο με την κορυφή και το κατώτατο σημείο του σωρού, μπορεί να μετρηθεί μια τάση και ένα ρεύμα από το σωρό. Ο σωρός μπορεί να είναι συσσωρευμένος όσο υψηλά θέλουμε, και κάθε στρώμα θα αυξήσει την τάση κατά ένα σταθερό ποσό.

Οι μπαταρίες είναι παντού, στα αυτοκίνητα, στους υπολογιστές, στους φορητούς υπολογιστές, στα φορητά MP3 και στα κινητά τηλέφωνα. Μια μπαταρία είναι ουσιαστικά ένα σύνολο χημικών ουσιών που μπορούν να παράγουν τα ηλεκτρόνια. Οι χημικές αντιδράσεις που παράγουν τα ηλεκτρόνια ονομάζονται και ηλεκτροχημικές αντιδράσεις.

Εάν εξεταστεί οποιαδήποτε μπαταρία, θα παρατηρήσουμε ότι έχει δύο πόλους. Ο ένας πόλος είναι χαρακτηρισμένο με (+), ή θετικός, ενώ ο άλλος χαρακτηρίζεται με (-), ή αρνητικός. Σε ένα AA, C ή D στοιχείο (κανονικές μπαταρίες φακών), οι άκρες της μπαταρίας είναι οι πόλοι. Σε μια μεγάλη μπαταρία αυτοκινήτων, υπάρχουν δύο θέσεις μολύβδου που ενεργούν ως πόλοι. Τα ηλεκτρόνια συλλέγονται στο αρνητικό πόλο της μπαταρίας. Εάν συνδεθεί ένα καλώδιο μεταξύ των αρνητικών και θετικών πόλων, τα ηλεκτρόνια θα ρέουν από το αρνητικό στο θετικό πόλο όσο γρήγορα μπορούν (και να φθείρουν την μπαταρία πολύ γρήγορα, αυτό τείνει επίσης να είναι επικίνδυνο, ειδικά με τις μεγάλες μπαταρίες). Κανονικά, συνδέουμε κάποιο τύπο φορτίου με την μπαταρία χρησιμοποιώντας το καλώδιο. Το φορτίο μπορεί να

είναι κάτι σαν ένας ελαφρύς βολβός, ένας κινητήρας ή ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα όπως το ραδιόφωνο.

Μέσα στην μπαταρία μια χημική αντίδραση παράγει τα ηλεκτρόνια. Η ταχύτητα παραγωγής ηλεκτρονίων από την χημική αντίδραση (η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας) ελέγχει πόσα ηλεκτρόνια μπορούν να ρεύσουν μεταξύ των πόλων. Τα ηλεκτρόνια ρέουν από την μπαταρία σε ένα καλώδιο, και πρέπει να ταξιδέψουν από το αρνητικό στο θετικό πόλο για να πραγματοποιηθεί η χημική αντίδραση. Γι' αυτό μια μπαταρία μπορεί να καθίσει σε ένα ράφι για ένα έτος και να έχει ακόμα την αφθονία της ισχύς εκτός αν τα ηλεκτρόνια ρέουν από το αρνητικό στο θετικό πόλο, η χημική αντίδραση δεν πραγματοποιείται. Μόλις συνδεθεί το καλώδιο, η αντίδραση αρχίζει.

Μια μπαταρία είναι μια συσκευή που αποθηκεύει τη χημική ενέργεια και την καθιστά διαθέσιμη σε μια ηλεκτρική μορφή. Οι μπαταρίες αποτελούνται από τις ηλεκτροχημικές συσκευές όπως ένα ή περισσότερα γαλβανικά στοιχεία, τις κυψέλες καυσίμων ή τις μπαταρίες ροής. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι μπαταριών:

- 1) Μιας χρήσης ή μη επαναφορτιζόμενες αποκαλούμενες επίσης ως αρχικές μπαταρίες.
- 2) Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, γνωστές ως δευτεροβάθμιες μπαταρίες ή συσσωρευτές.

Μιας χρήσης μπαταρίες

- Μπαταρία ψευδάργυρου-άνθρακα
- Μπαταρία ψευδάργυρου-χλωριδίου
- Αλκαλική μπαταρία
- Μπαταρία οξειδίων ασημιού
- Μπαταρία λιθίου

Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες

- Μπαταρία μολύβδου-οξέος
- Μπαταρία ιόντος λιθίου
- Ιονική πολυμερής μπαταρία λιθίου
- Μπαταρία NaS
- Νικελίου-σιδήρου μπαταρία
- Μπαταρία μετάλλων υβριδίων νικελίου
- Νικελίου-καδμίου μπαταρία
- Μπαταρία χλωριδίου νάτριο-μετάλλων
- Μπαταρία νικέλιο-ψευδάργυρου

2.2.1.1 Μπαταρία μολύβδου οξέος

Η μπαταρία μολύβδου οξέος είναι ένα είδος του εμπορίου που έχει γνωρίσει επιτυχία πάνω από έναν αιώνα. Η παραγωγή και η χρήση της συνεχίζουν να αυξάνονται λόγω των νέων εφαρμογών για την ισχύ των μπαταριών στην ενεργειακή

αποθήκευση, στις συνθήκες έκτακτης ανάγκης και στα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα (συμπεριλαμβανομένων και των οχημάτων εκτός πορείας). Επίσης η αύξηση αυτή οφείλεται και στον αυξανόμενο αριθμό οχημάτων για τα οποία παρέχει την ενέργεια για την έναρξη της μηχανής, το φωτισμό των οχημάτων και την ανάφλεξη των μηχανών (SLI).

Οι πωλήσεις της αντιπροσωπεύουν περίπου το 40-45% της αξίας των πωλήσεων όλων των μπαταριών στον κόσμο ή την αγοραστική αξία των περίπου \$15 δισεκατομμυρίων σε επίπεδο κατασκευαστών και 2-3 φορές της αξίας της σε λιανικό επίπεδο. Αυτό το σύστημα μπαταριών χρησιμοποιείται επίσης εκτενώς στα τηλεφωνικά συστήματα, στα εργαλεία ισχύος, στις συσκευές επικοινωνίας, στα συστήματα φωτισμού έκτακτης ανάγκης και ως πηγή ενέργειας των μεταλλευμάτων και στον υλικό εξοπλισμό.

Η ευρεία χρήση της μπαταρίας μολύβδου οξέος σε πολλά σχέδια, μεγέθη και τάσεις συστημάτων οφείλεται στη χαμηλή τιμή της και την ευκολία κατασκευής της σε μια τοπική γεωγραφική βάση αυτού του συστήματος μπαταριών. Η μπαταρία μολύβδου οξέος είναι σχεδόν πάντα η λιγότερη ακριβή μπαταρία αποθήκευσης για οποιαδήποτε εφαρμογή, παρέχοντας ωστόσο καλά χαρακτηριστικά απόδοσης και ζωής.

Μερικά από τα νέα σχέδια είναι για σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα, την ενεργειακή αποθήκευση και ηλεκτρονικές εφαρμογές. Έχουν υπάρξει πολλές βελτιώσεις στο σχεδιασμό και τη λογική της φόρτισης των μπαταριών μολύβδου οξέος, ώστε να καταστήσουν τις μπαταρίες υψηλής τάσεως πιο ομοιόμορφες στην απόδοσή τους. Η μπαταρία μολύβδου οξέος έχει υψηλή ηλεκτρική αποδοτικότητα ανακύκλωσης, 75-80%, το οποίο καθιστά το σύστημα ελκυστικό για τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων και ενεργειακής αποθήκευσης.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μπαταρίας μολύβδου οξέος, συγκρινόμενα με άλλα συστήματα, παρατίθενται στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα μπαταρίας μολύβδου οξέος

A/A	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
1.	Δημοφιλής χαμηλού κόστους δευτεροβάθμια μπαταρία, η οποία είναι ικανή να κατασκευασθεί σε τοπική βάση, από χαμηλά σε υψηλά ποσοστά παραγωγής.	Σχετικά χαμηλοί κύκλοι ζωής (50-500 κύκλοι).
2.	Διαθέσιμες σε μεγάλες ποσότητες και σε ποικιλία μεγεθών και σχεδίων, οι οποίες κατασκευάζονται σε μεγέθη μικρότερα από 1Ah έως αρκετές χιλιάδες ampere ώρες.	Περιορισμένη ενεργειακή πυκνότητα, τυπικά 30-40 Wh/Kg.
3.	Υψηλό ποσοστό απόδοσης, κατάλληλη για την έναρξη των μηχανών (αλλά υπερτερούν οι νικελίου-καδμίου και οι μετάλλου υβριδίου-νικελίου μπαταρίες).	Η μακροπρόθεσμη αποθήκευση σε κατάσταση αποθήκευσης μπορεί να οδηγήσει στην αμετάτρεπτη πόλωση των ηλεκτροδίων.

Πίνακας 2.1: Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα μπαταρίας μολύβδου οξέος (συνέχεια)

A/A	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
4.	Συγκρατημένα χαμηλή και υψηλή απόδοση θερμοκρασίας.	Δύσκολο να κατασκευασθεί σε πολύ μικρά μεγέθη.
5.	Ηλεκτρικά αποδοτική, αποδοτικότητα ανακύκλωσης πάνω από 70%, συγκρίνοντας την ενέργεια εκφόρτισης με την ενέργεια φόρτισης.	Η εξέλιξη του υδρογόνου σε μερικά σχέδια μπορεί να οδηγήσει σε έκρηξη.
6.	Οι κυψέλες υψηλής τάσης >2V του ανοιχτού κυκλώματος είναι οι υψηλότερες όλων των υδάτινων ηλεκτρολυτικών συστημάτων μπαταριών.	Ο μολύβδος είναι βαρύτερος από άλλα μέταλλα και μπορεί να είναι τοξικός.
7.	Καλή διατήρηση φόρτισης για τις εφαρμογές των ασυνεχών φορτίσεων.	
8.	Έχουν χαμηλότερο κόστος συγκρινόμενες με άλλες μπαταρίες δευτεροβάθμιου τύπου.	
9.	Τα συστατικά των κυψελών ανακυκλώνονται εύκολα.	

2.2.1.2 Μπαταρίες Νικελίου-καδμίου

Είναι μια πολύ αξιόπιστη, ισχυρή, μακράς διάρκειας μπαταρία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στα σχετικά υψηλά ποσοστά εκφόρτισης και πέρα από ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασίας. Έχει πολύ καλές ιδιότητες διατήρησης φορτίσεων και μπορεί να αποθηκευτεί για μακροπρόθεσμες χρονικές περιόδους με οποιοδήποτε όρους χωρίς να υπάρξει επιδείνωση. Η μπαταρία νικελίου καδμίου μπορεί να αντέξει και την αυστηρή μηχανική κατάχρηση και την ηλεκτρική κακή μεταχείριση όπως η υπερφόρτωση, η αντιστροφή και τα σύντομης διάρκειας κυκλώματα.

Απαιτείται λίγη συντήρηση σε αυτήν τη μπαταρία. Το κόστος της είναι χαμηλότερο από οποιοδήποτε είδος αλκαλικής μπαταρίας αποθήκευσης ακόμα, είναι υψηλότερο από αυτή μιας μπαταρίας μολύβδου οξέος σε ανά βάση βατώρας.

Η μπαταρία νικελίου καδμίου κατασκευάζεται σε ένα ευρύ φάσμα χωρητικότητας 5 φορές περισσότερο από 1200Ah, και χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές. Οι περισσότερες από αυτές είναι βιομηχανικής φύσης, όπως η υπηρεσία σιδηροδρόμου, η λειτουργία μηχανισμών διανομής, οι τηλεπικοινωνίες, η συνεχής παροχή αποθέματος και ο φωτισμός έκτακτης ανάγκης. Επίσης χρησιμοποιήθηκε σε στρατιωτικές και διαστημικές εφαρμογές.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτού του τύπου μπαταρίας παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα μπαταρίας νικελίου καδμίου

A/A	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
1.	Μεγάλη διάρκεια ζωής	Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα
2.	Χαμηλή συντήρηση	Έχουν υψηλότερο κόστος από τις μολύβδου οξέος μπαταρίες
3.	Μπορεί να αντέξει την ηλεκτρική και φυσική κατάχρηση	Περιέχουν κάδμιο
4.	Μεγάλης διάρκειας αποθήκευσης	

2.2.1.3 Μπαταρίες Ιόντος-λιθίου

Οι μπαταρίες ιόντος λιθίου αποτελούνται από τις κυψέλες, οι οποίες χρησιμοποιούν τις ενώσεις παρεμβολής λιθίου ως θετικά και αρνητικά υλικά. Δεδομένου ότι μια μπαταρία ανακυκλώνεται, ιόντα λιθίου ανταλλάσσονται μεταξύ των θετικών και αρνητικών ηλεκτροδίων. Το υλικό των θετικών ηλεκτροδίων αποτελείται κυρίως από ένα μεταλλικό οξείδιο, όπως το οξείδιο κοβαλτίου του λιθίου (LiCoO_2), ή από ένα υλικό, όπως το οξείδιο μαγγανίου του λιθίου (LiMnO_4). Το υλικό των αρνητικών ηλεκτροδίων είναι κυρίως ένας γραφίτης άνθρακας. Κατά τη διαδικασία φορτίσεως-εκφορτίσεως, τα ιόντα λιθίου εισέρχονται ή εξέρχονται εντός των ενεργών υλικών από το διάκενο μεταξύ των ατομικών στρωμάτων.

Η αγορά μπαταριών λιθίου ιόντος είχε αυξηθεί για το 1999 πάνω από 400 εκατομμύρια μονάδες. Η αγοραστική της αξία έφτασε το 2000 τα \$1,86 δισεκατομμύρια. Μέχρι το 2005, η αγορά αναμενόταν να αυξηθεί πάνω από 1,1 δισεκατομμύριο μονάδες με την αγοραστική αξία να είναι πάνω από \$4 δισεκατομμύρια, ενώ η μέση τιμή των μονάδων αναμενόταν να μειωθεί έως 46% από το 1999 μέχρι το 2005. Το ενδιαφέρον της αγοράς για την οικονομική αποδοτική, την υψηλή απόδοση και την ασφαλή τεχνολογία έχουν οδηγήσει σε αυτή τη θεαματική αύξηση. Αυτή η τεχνολογία έχει γίνει γρήγορα η τυποποιημένη πηγή ενέργειας σε μια ευρεία σειρά αγορών και η απόδοση των μπαταριών συνεχίζει να βελτιώνεται καθώς οι μπαταρίες ιόντος λιθίου εφαρμόζονται σε όλο και περισσότερο διαφορετικές εφαρμογές.

Για να ικανοποιηθεί η ζήτηση της αγοράς, μια σειρά σχεδίων έχουν αναπτυχθεί, συμπεριλαμβανομένου του σπειροειδούς κυλινδρικού πλέγματος, πρισματικά πλέγματα και σχέδια οριζόντιων πρισματικών πλακών, από μικρά μεγέθη (0,1 Ah) έως μεγάλα (160 Ah) μεγέθη. Οι εφαρμογές που εξετάζονται τώρα με μπαταρίες ιόντος λιθίου περιλαμβάνουν τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, όπως τα κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, βοηθούς προσωπικών δεδομένων καθώς επίσης και τη στρατιωτική ηλεκτρονική, συμπεριλαμβανομένων των ραδιοφώνων, των ανιχνευτών ορυχείων και το οπτικό πεδίο των θερμικών όπλων. Οι προσδοκώμενες εφαρμογές περιλαμβάνουν τα αεροσκάφη, τα διαστημικά αεροσκάφη, τους δορυφόρους και τα ηλεκτρικά ή υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μπαταριών ιόντος λιθίου, σχετικά με τους άλλους τύπους μπαταριών, συνοψίζονται στον πίνακα 2.3. Η υψηλή ειδική ενέργεια (150 Wh/Kg) και η ενεργειακή πυκνότητα (400 Wh/L) των εμπορικών τους προϊόντων τις καθιστά ελκυστικές για εφαρμογές ανάλυσης ευαισθησίας (όπως το βάρος και ο όγκος). Οι μπαταρίες ιόντος λιθίου έχουν χαμηλό

ποσοστό εκφόρτισης (2% - 8% το μήνα), μεγάλη διάρκεια ζωής (μεγαλύτερη από 1000 κύκλους) και ένα ευρύ φάσμα της θερμοκρασίας λειτουργίας (φόρτιση στους -20°C έως 60°C, εκφόρτιση -40°C έως 65°C), επιτρέποντας τη χρήση τους σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών. Οι μονές κυψέλες λειτουργούν χαρακτηριστικά σε φάσμα από 2,5 έως 4,2 V, περίπου τρεις φορές αυτό των κυψελών NiCd ή NiMH, και απαιτούν έτσι λιγότερες κυψέλες για μια μπαταρία μιας δεδομένης τάσης.

Ένα μειονέκτημα των μπαταριών ιόντος λιθίου είναι ότι εκφυλίζονται κάτω από 2V όταν εκφορτίζονται και μπορεί να διαφύγουν όταν υπερφορτώνονται δεδομένου ότι δεν έχουν έναν χημικό μηχανισμό για να διαχειριστούν την υπερφόρτιση, αντίθετα από τις υδάτινες χημικές κυψέλες. Οι μπαταρίες ιόντος λιθίου τυπικά χρησιμοποιούν τα διοικητικά στοιχεία του κυκλώματος και τις αποσυνδεδεμένες μηχανικά συσκευές για να παρέχουν προστασία από την υπερφόρτιση, υπερεκφόρτιση ή τις υπερβολικές συνθήκες θερμοκρασίας. Ένα άλλο μειονέκτημα των προϊόντων ιόντων λιθίου είναι ότι χάνουν μόνιμα την ικανότητα τους στις ανυψωμένες θερμοκρασίες (65°C), ωστόσο όμως σε χαμηλότερο ποσοστό από τα περισσότερα προϊόντα NiCd ή NiMH.

Πίνακας 2.3: Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα μπαταριών ιόντος-λιθίου

A/A	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
1.	Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα	Υψηλό αρχικό κόστος
2.	Καλύτερη απόδοση υπηρεσιών: συνεχής και διακοπτόμενη, χαμηλό και υψηλό ποσοστό και χαμηλή θερμοκρασία	
3.	Χαμηλότερη εσωτερική αντίσταση	
4.	Μεγαλύτερη αντίσταση στη διαρροή	
5.	Καλύτερη διαστατική σταθερότητα	

2.2.2 Σύγκριση τύπων μπαταριών

Οι μπαταρίες ιόντος λιθίου έχουν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τους περισσότερους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Αυτό σημαίνει ότι για το μέγεθος ή το βάρος τους μπορούν να αποθηκεύσουν περισσότερη ενέργεια από τις άλλες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Λειτουργούν επίσης σε υψηλότερες τάσεις από άλλες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, τυπικά περίπου 3,7V για τις ιόντος λιθίου εναντίον 1,2V για τις NiMH ή NiCd. Αυτό σημαίνει ότι συχνά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μόνο κυψέλη παρά οι πολλαπλάσιες κυψέλες των NiMH ή NiCd.

Επίσης οι μπαταρίες ιόντος λιθίου έχουν χαμηλότερο ποσοστό εκφόρτισης από άλλους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Αυτό σημαίνει ότι μόλις φορτιστούν θα διατηρήσουν τη φόρτιση τους για περισσότερο χρόνο από τους άλλους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Οι NiMH και οι NiCd μπαταρίες μπορούν να χάσουν οποudήποτε από 1-5% της φόρτισης τους ανά ημέρα, (ανάλογα με τη θερμοκρασία αποθήκευσης) ακόμα κι αν δεν εγκαθίστανται σε μια συσκευή. Οι ιόντος λιθίου μπαταρίες θα διατηρήσουν το μεγαλύτερο μέρος της φόρτισης τους ακόμα και μετά από μήνες αποθήκευσης.

Οι ιόντος λιθίου μπαταρίες είναι ακριβότερες από της αντίστοιχης χωρητικότητας μπαταρίες NiMH ή NiCd. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι πιο σύνθετες στην κατασκευή τους. Επίσης περιλαμβάνουν ειδικά στοιχεία του κυκλώματος για να προστατεύσουν την μπαταρία από τη ζημία λόγω της υπερφόρτωσης ή υπερεκφόρτισης. Ακόμη είναι ακριβότερες επειδή κατασκευάζονται σε πολύ μικρότερους αριθμούς από τις μπαταρίες NiMH ή NiCd. Οι μπαταρίες ιόντος λιθίου γίνονται λιγότερο ακριβές και κατά τη διάρκεια του χρόνου μπορούμε να δούμε τη σημαντική μείωση των τιμών τους. Οι ιόντος λιθίου μπαταρίες δεν είναι διαθέσιμες στα τυποποιημένα μεγέθη κυψελών όπως οι μπαταρίες NiMH και NiCd.

Επίσης οι μπαταρίες ιόντος λιθίου απαιτούν επίσης περίπλοκους φορτιστές, οι οποίοι μπορούν να ελέγξουν προσεκτικά τη διαδικασία φορτίσεων. Λόγω των διαφορετικών μορφών και μεγεθών τους, κάθε τύπος μπαταρίας ιόντος λιθίου απαιτεί έναν φορτιστή με σκοπό να προσαρμοστεί στο ιδιαίτερο μέγεθός του. Αυτό σημαίνει ότι οι φορτιστές των μπαταριών ιόντος λιθίου είναι ακριβότεροι και δυσκολότερο να βρεθούν από τους φορτιστές των μπαταριών NiMH και NiCd.

Τέλος γενικά οι μπαταρίες ιόντος λιθίου μπορεί να είναι μικρότερες ή ελαφρύτερες, να έχουν μια υψηλή τάση και οι φορτίσεις τους να διαρκούν περισσότερο από τους άλλους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών.

2.3 Βιβλιογραφία

- [2.1] http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_storage
- [2.2] <http://www.energy.rochester.edu/storage>
- [2.3] <http://energystoragecouncil.org/aboutenergystorage.htm>
- [2.4] <http://www.dti.gov.uk/files/file15189.pdf>
- [2.5] McGraw-Hill- Handbook of batteries(3rd Ed)(T)(14535)-2002
- [2.6] <http://industrytech.googlepages.com/battery>
- [2.7] <http://www.batteryCouncil.org/different2.html>
- [2.8] <http://www.howstuffworks.com/battery.htm>
- [2.9] <http://www.batteryuniversity.com/partone-3.htm>
- [2.10] http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/energystorage/battery_types.html
- [2.11] <http://www.allaboutbatteries.com/history-of-batteries.html>
- [2.12] <http://www.buchmann.ca/chap2-page2.asp>
- [2.13] <http://www.greenbatteries.com/libafa.html>
- [2.14] <http://www.cienciateca.com/stslibat.html>
- [2.15] http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_ion_battery

Κεφάλαιο 3 – Μοντελοποίηση προγράμματος HOMER

3.1 Πρόγραμμα HOMER

Το πρόγραμμα HOMER είναι ένα εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της σχεδίασης υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν σχεδιάζεται ένα υβριδικό σύστημα ενέργειας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πολλές αποφάσεις που είναι απαραίτητες για τη διαμόρφωση του συστήματος όπως:

1. Ποια στοιχεία πρέπει να συμπεριληφθούν στο υβριδικό σύστημα (π.χ. ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκά, νηζελογεννήτρια, κτλ).
2. Πόσα στοιχεία και τι μέγεθος πρέπει να έχει κάθε στοιχείο που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα (π.χ. 3 ανεμογεννήτριες των 10 kW η καθεμία, κτλ).
3. Ποια σχεδίαση υβριδικού συστήματος έχει το μικρότερο κόστος.

Το HOMER βελτιστοποιεί υβριδικά συστήματα ενιαίων ή πολλαπλών πηγών ενέργειας όπως:

- Φωτοβολταϊκά
- Ανεμογεννήτριες
- Βιομάζα
- Νηζελογεννήτριες
- Υδροηλεκτρικά συστήματα
- Μπαταρίες
- Ηλεκτρικό δίκτυο
- Κυψέλες καυσίμου
- Ηλεκτρολύτες

Ο μεγάλος αριθμός τόσο των επιλογών τεχνολογίας όσο και των παραλλαγών στις οικονομικές και τεχνολογικές δαπάνες αλλά και η διαθεσιμότητα των ενεργειακών πόρων, καθιστούν τις αποφάσεις επιλογής του υβριδικού συστήματος ενέργειας δύσκολες. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης και ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER το καθιστούν ένα εύχρηστο εργαλείο στην αξιολόγηση εναλλακτικών διαμορφώσεων των συστημάτων ενέργειας.

Για να χρησιμοποιηθεί το HOMER, απαιτείται η εισαγωγή των δεδομένων εισόδου (τα οποία περιγράφουν τις επιλογές της τεχνολογίας), τα κόστη των στοιχείων που συνθέτουν το σύστημα ενέργειας και τη διαθεσιμότητα των πόρων. Το HOMER χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα εισόδου για να προσομοιώσει τις

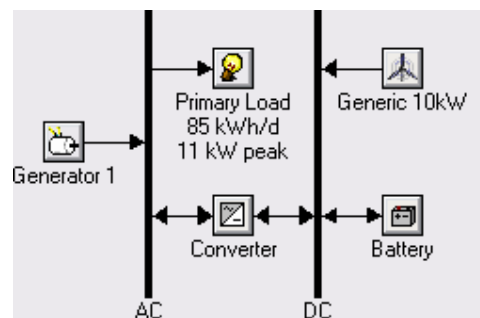
διαφορετικές σχεδιάσεις των υβριδικών συστημάτων ή τους συνδυασμούς των στοιχείων του συστήματος και παράγει τα αποτελέσματα που φαίνονται στο κατάλογο των εφικτών σχεδιάσεων και τα οποία ταξινομούνται σύμφωνα με το κόστος.

Το HOMER παρουσιάζει επίσης τα αποτελέσματα προσομοίωσης σε μεγάλη ποικιλία πινάκων και γραφικών παραστάσεων που βοηθούν στη σύγκριση των διαμορφώσεων και στην αξιολόγησή τους ανάλογα με το κόστος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Όταν κάποιος θέλει να ερευνήσει την επίδραση που έχουν αλλαγές σε παραμέτρους όπως η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ και οι οικονομικοί παράγοντες, μπορεί να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα για να εκτελέσει αναλύσεις ευαισθησίας. Για να εκτελεστεί μια ανάλυση ευαισθησίας, απαιτούνται οι τιμές ευαισθησίας που περιγράφουν ένα εύρος δαπανών καθώς και τα στοιχεία των ΑΠΕ του συστήματος ενέργειας. Το HOMER αναλύει κάθε σχέδιο των υβριδικών συστημάτων και τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης ευαισθησίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστούν οι παράγοντες που ασκούν μέγιστη επίδραση τόσο στη σχεδίαση όσο και στη λειτουργία ενός συστήματος ενέργειας.

3.1.1 Προσομοίωση

Το HOMER προσομοιώνει τη λειτουργία ενός συστήματος ενέργειας χρησιμοποιώντας όλους τους ενεργειακούς υπολογισμούς που έχουν γίνει για κάθε μια από τις 8.760 ώρες ενός έτους. Για κάθε ώρα, το HOMER συγκρίνει την ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με την αντίστοιχη ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Για τα συστήματα που περιλαμβάνουν μπαταρίες ή γεννήτριες καυσίμου (ντηζελογεννήτριες, γεννήτριες βιομάζας, κτλ) το HOMER αποφασίζει επίσης για κάθε ώρα του έτους πώς θα ενεργοποιηθούν οι γεννήτριες ή πως θα φορτίσουν και θα εκφορτίσουν οι μπαταρίες.

Το HOMER εκτελεί αυτούς τους υπολογισμούς ενεργειακής ισορροπίας για κάθε συνδυασμό συστημάτων. Έπειτα καθορίζει εάν ένας συνδυασμός είναι εφικτός, δηλαδή εάν μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και εφόσον μπορεί, τότε υπολογίζει το κόστος του υβριδικού αυτού συστήματος. Οι υπολογισμοί του κόστους των συστημάτων αναφέρονται σε δαπάνες όπως το κόστος κεφαλαίου, το κόστος αντικατάστασης και λειτουργίας καθώς και το κόστος συντήρησης. Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζεται ένα υβριδικό σύστημα ενέργειας που μπορεί να προσομοιωθεί από το HOMER.




Σχήμα 3.1: Υβριδικό σύστημα με ανεμογεννήτρια, ντηζελογεννήτρια και μπαταρία.

3.1.2 Βελτιστοποίηση













Μετά από τη διαδικασία προσομοίωσης όλων των πιθανών συνδυασμών των συστημάτων ενέργειας, το HOMER επιδεικνύει έναν κατάλογο συνδυασμών, που ταξινομούνται σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος (μερικές φορές αποκαλούμενο κόστος κύκλου ζωής), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει σύγκριση των επιλογών που έχουν γίνει προκειμένου να υιοθετηθεί το κατάλληλο σύστημα ενέργειας. Στο Πίνακα 3.1 φαίνονται τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης καθώς και όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί ενός υβριδικού συστήματος ενέργειας ταξινομημένου σύμφωνα με το καθαρό παρόν κόστος. Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι η ταξινόμηση των συστημάτων ενέργειας του Πίνακα 3.1 είναι ολική, δηλαδή έχουν αποτυπωθεί όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των συστημάτων.

Πίνακας 3.1: Παράδειγμα ολικών αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης του HOMER, όπου το πιο οικονομικό υβριδικό σύστημα έχει καθαρό παρόν κόστος \$319.866 και αποτελείται από μία νηζελογεννήτρια των 15 kW, μία μπαταρία 8 στοιχείων και ένα μετατροπέα 6 kW.

				G10	Gen1 (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
					15	8	6	\$ 30,900	\$ 319,866	0.807	0.00	17,686	6,981
					15	8	12	\$ 36,900	\$ 335,525	0.846	0.00	17,683	6,979
				1	15	8	6	\$ 60,900	\$ 360,778	0.910	0.01	17,447	6,882
				1	15	8	12	\$ 66,900	\$ 376,454	0.949	0.01	17,443	6,881

Αντίθετα, ο Πίνακας 3.2 περιέχει τα κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης του HOMER. Δηλαδή ο Πίνακας 3.2 περιέχει τον φθηνότερο οικονομικά συνδυασμό από κάθε ομάδα συνδυασμών συστημάτων ενέργειας. Στον Πίνακα 3.2 εμφανίζεται μόνο ο φθηνότερος συνδυασμός που κοστίζει \$319.866, ενώ ο ακριβότερος κοστίζει \$360.900.

Πίνακας 3.2: Παράδειγμα κατηγοριοποιημένων αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης του HOMER, που είναι υποσύνολο των αποτελεσμάτων του Πίνακα 3.1.

				G10	Gen1 (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Initial Capital	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)
					15	8	6	\$ 30,900	\$ 319,866	0.807	0.00	17,686	6,981
				1	15	8	6	\$ 60,900	\$ 360,778	0.910	0.01	17,447	6,882

3.1.3 Ανάλυση ευαισθησίας

Όταν καθοριστούν οι μεταβλητές ευαισθησίας ως δεδομένα εισόδου, το HOMER επαναλαμβάνει τη διαδικασία βελτιστοποίησης για κάθε μεταβλητή ευαισθησίας που εισάγεται. Για παράδειγμα εάν καθοριστεί η τιμή του καυσίμου ως μεταβλητή ευαισθησίας, το HOMER θα αναλύσει όλους τους συνδυασμούς των συστημάτων ενέργειας χρησιμοποιώντας τις τιμές καυσίμου που δόθηκαν.

3.2 Μπαταρίες

Στην ενότητα αυτή θα γίνει ανάλυση των τύπων των μπαταριών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Οι τύποι μπαταριών, οι οποίοι μελετήθηκαν ανήκουν στην κατηγορία των επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος, ιόντος λιθίου και νικελίου καδμίου, είναι οι τρεις τύποι μπαταριών με τους οποίους θα γίνουν διάφορες μοντελοποιήσεις και θα εξαχθούν συμπεράσματα, σχετικά με την αποθηκευτική τους ικανότητα.

Οι μοντελοποιήσεις των μπαταριών θα γίνουν με τη χρήση του προγράμματος HOMER. Στη βιβλιοθήκη του προγράμματος HOMER υπάρχει μια λίστα με διάφορα μοντέλα μπαταριών. Για κάθε τύπο μπαταρίας που περιέχει δίνει και τις απαραίτητες πληροφορίες (διάρκεια ζωής, ρυθμός φόρτισης, κτλ), καθώς και τις χαρακτηριστικές τους καμπύλες. Επίσης το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα να προστεθεί ένας νέος τύπος μπαταρίας εισάγοντας τα χαρακτηριστικά του μεγέθι μπορεί όμως και να διαγραφεί κάποιος από τους προϋπάρχοντες τύπους μπαταριών.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη που πρέπει κάποιος να γνωρίζει ώστε να εισάγει έναν νέο τύπο μπαταρίας, αναλύονται στον παρακάτω Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη μπαταρίας

A/A	Μεταβλητή	Περιγραφή
1.	Περιγραφή	Ένα μοναδικό όνομα που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει αυτόν τον τύπο μπαταρίας.
2.	Κατασκευαστής	Ένα προαιρετικό πεδίο που χρησιμοποιείται για να διευκρινίσει τον κατασκευαστή της μπαταρίας.
3.	Σημειώσεις	Ένας προαιρετικός πεδίο που χρησιμοποιείται για να διευκρινίσει τις πληροφορίες επαφής με τον κατασκευαστή.
4.	Ονομαστική χωρητικότητα (Ah)	Το ποσό ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από την μπαταρία στο ποσοστό εκφόρτισης του ρεύματος, το οποίο αρχίζει από μια πλήρως φορτισμένη κατάσταση.
5.	Ονομαστική τάση (V)	Η εκτιμώμενη τάση. Ονομάζεται ονομαστική επειδή η πραγματική τάση ποικίλλει σύμφωνα με τις συνθήκες λειτουργίας της μπαταρίας και την κατάσταση φόρτισης της.
6.	Ποσοστό ενέργειας(%)	Το ποσοστό ενέργειας που αποθηκεύεται στην μπαταρία αι μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί.
7.	Ελάχιστη κατάσταση φόρτισης(%)	Η ελάχιστη στάθμη φόρτισης της μπαταρίας.
8.	Διάρκεια ζωής (yrs)	Η μέγιστη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ανεξάρτητα από τη χρήση.
9.	Μέγιστο ποσοστό φόρτισης (A/Ah)	Το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας, το οποίο μετριέται σε amps ανά amp-ώρα της ασυμπλήρωτης χωρητικότητας.
10.	Μέγιστη φόρτιση ρεύματος (A)	Η απόλυτη μέγιστη φόρτιση ρεύματος, σε amps.
11.	Απόδοση διάρκειας ζωής (kWh)	Το συνολικό ποσό ενέργειας που μπορεί να ανακυκλωθεί μέσω της μπαταρίας προτού να χρειαστεί η αντικατάσταση του.

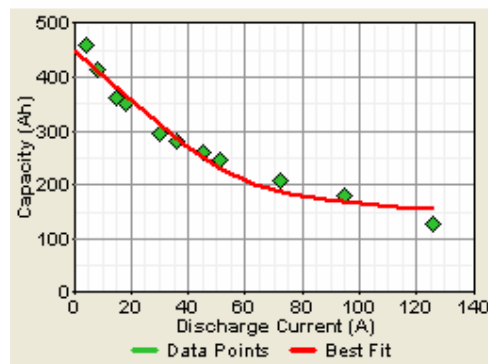
Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη μπαταρίας (συνέχεια)

A/A	Μεταβλητή	Περιγραφή
12.	Προτεινόμενος χρόνος ζωής (kWh)	Προτεινόμενος χρόνος χρησιμοποίησης της μπαταρίας.

Επίσης εκτός από τα χαρακτηριστικά μεγέθη για τον πλήρη ορισμό μιας μπαταρίας απαραίτητες είναι και οι χαρακτηριστικές καμπύλες τους: καμπύλη χωρητικότητας και καμπύλη διάρκεια ζωής.

3.2.1 Καμπύλη χωρητικότητας

Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας που μπορεί να διαφύγει από την αρχική έως την πλήρως φορτισμένη κατάσταση. Αλλά η χωρητικότητα μιας μπαταρίας εξαρτάται από το ποσοστό στο οποίο η ενέργεια αποσύρεται από αυτήν. Όσο υψηλότερο είναι το ρεύμα εκφόρτισης, τόσο χαμηλότερη είναι η χωρητικότητα. Η καμπύλη χωρητικότητας μπορεί να δημιουργηθεί μετρώντας τη χωρητικότητα μιας μπαταρίας σε διαφορετικά σταθερά ρεύματα φόρτισης. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται παρακάτω:

**Σχήμα 3.2:** Καμπύλη χωρητικότητας

Η εκτιμωμένη χωρητικότητα είναι μόνο ένα σημείο στην καμπύλη χωρητικότητας, συνήθως σε ένα πολύ χαμηλό ρεύμα φόρτισης. Το πρόγραμμα του HOMER απαιτεί τουλάχιστον δύο σημεία στην καμπύλη χωρητικότητας για να μπορέσει να υπολογίσει τις σταθερές του κινητικού μοντέλου μπαταριών, που αναλύονται παρακάτω (Πίνακας 3.4). Η εγκατεστημένη καμπύλη παρουσιάζεται με μια κόκκινη γραμμή στη γραφική παράσταση της καμπύλης χωρητικότητας.

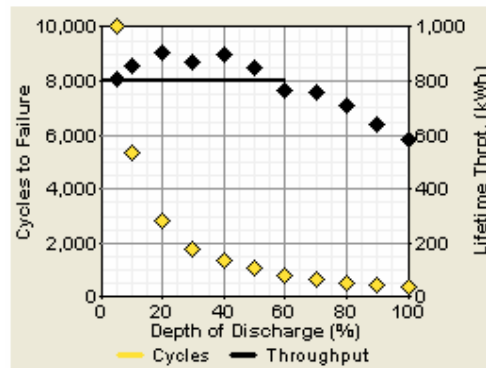
Το HOMER διαμορφώνει την μπαταρία ως μια συσκευή ενεργειακής αποθήκευσης δύο δεξαμενών. Η διαθέσιμη δεξαμενή μπορεί αμέσως να φορτιστεί ή να εκφορτιστεί, ενώ η συνδεδεμένη δεξαμενή μπορεί μόνο να φορτιστεί ή να εκφορτιστεί σε ένα περιορισμένο ποσοστό.

Πίνακας 3.4: Παράμετροι κινητικού μοντέλου

Μεταβλητή	Περιγραφή
Μέγιστη χωρητικότητα	Το συνδυασμένο μέγεθος των διαθέσιμων και συνδεδεμένων δεξαμενών.
Λόγος χωρητικότητας	Η αναλογία του μεγέθους της διαθέσιμης δεξαμενής στο συνδυασμένο μέγεθος και των δύο δεξαμενών.
Σταθερά ποσοστού	Ένα μέτρο για το πόσο γρήγορα η ενέργεια μπορεί να κινηθεί μεταξύ των διαθέσιμων και συνδεδεμένων δεξαμενών.

3.2.2 Καμπύλη διάρκεια ζωής

Σε μια δοκιμή διάρκειας ζωής, η μπαταρία υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενους κανονικούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης. Σε κάθε κύκλο, η μπαταρία εκφορτίζεται κάτω ένα ορισμένο βάθος εκφόρτισης, έπειτα φορτίζεται πλήρως πάλι. Η δοκιμή της διάρκειας ζωής καθορίζει πόσους κύκλους η μπαταρία μπορεί να αντισταθεί προτού να χρειαστεί την αντικατάσταση. Οι κατασκευαστές εκτελούν μια σειρά τέτοιων δοκιμών σε διαφορετικά βάθη εκφόρτισης για να δημιουργήσουν την καμπύλη της διάρκειας ζωής της μπαταρίας.



Σχήμα 3.3: Καμπύλη διάρκεια ζωής

Το πρόγραμμα του HOMER παρουσιάζει την καμπύλη της διάρκειας ζωής σε έναν πίνακα τους κύκλους φόρτισης κατά των κύκλων εκφορτίσεων. Το HOMER σχεδιάζει τις σειρές σημείων ως κίτρινα διαμάντια. Το HOMER σχεδιάζει επίσης την απόδοση της διάρκειας ζωής, την οποία υπολογίζει για κάθε σημείο στην καμπύλη διάρκειας ζωής χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q_{lifetime,i} = f_i \left(\frac{d_i}{100} \right) \left(\frac{q_{max} * V_{nom}}{1000} \right) \quad (3.1)$$

Όπου:

- $Q_{lifetime,i}$ είναι η απόδοση της διάρκειας ζωής σε kWh
- f_i είναι ο αριθμός των κύκλων που αποτυγχάνουν
- d_i είναι το βάθος της εκφόρτισης σε %
- q_{max} είναι η μέγιστη χωρητικότητα σε Ah
- V_{nom} είναι ονομαστική τάση σε V

Το HOMER σχεδιάζει αυτές τις τιμές ως μαύρα διαμάντια στην καμπύλη της διάρκειας ζωής. Οι τιμές τους παρουσιάζουν χαρακτηριστικά μια αδύνατη εξάρτηση στο βάθος της εκφόρτισης. Η προσομοίωση του προγράμματος υποθέτει ότι η απόδοση της διάρκειας ζωής είναι ανεξάρτητη από το βάθος της εκφόρτισης. Η οριζόντια μαύρη γραμμή στην καμπύλη της διάρκειας ζωής δείχνει την ορισμένη τιμή της απόδοσης της διάρκειας ζωής.

3.2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά μπαταριών

Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη και των τριών τύπων μπαταριών που μελετώνται στο σύστημα. Τα στοιχεία αυτά εισάγονται στο πρόγραμμα HOMER ώστε να οριστούν πλήρως και οι τύποι μπαταριών που δεν περιέχονται στη βιβλιοθήκη του.

Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικά μεγέθη μπαταρίας

Μεταβλητή	Μόλυβδου οξέος	Ιόντος λιθίου	Νικελίου καδμίου
Περιγραφή Κατασκευαστής	Surrette 4KS25P Rolls/Surrette	Lithium ion	Nickel cadmium
Σημειώσεις	www.rollsbattery.com		
Ονομαστική χωρητικότητα (Ah)	1900	1800	1600
Ονομαστική τάση (V)	4	3,7	1,2
Ποσοστό ενέργειας(%)	80	85	83
Ελάχιστη κατάσταση φόρτισης(%)	40	45	50
Διάρκεια ζωής (yrs)	12	15	15
Μέγιστο ποσοστό φόρτισης (A/Ah)	1	1	4
Μέγιστη φόρτιση ρεύματος (A)	67,5	80	80
Απόδοση διάρκεια ζωής (kWh)	10.569	4.270	4.574
Προτεινόμενος χρόνος ζωής (kWh)	10.607	4.270	4.574

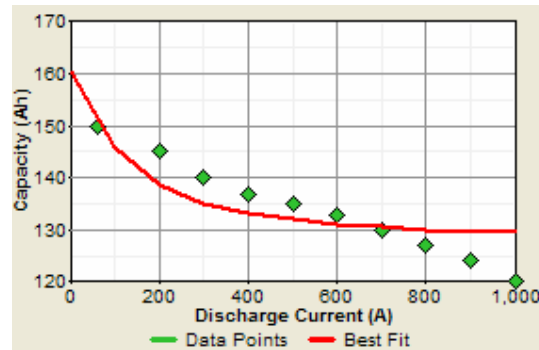
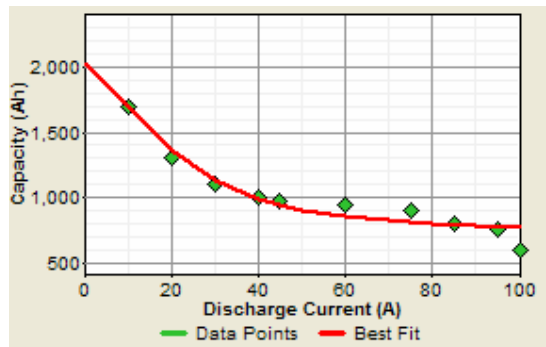
Εκτός από τα χαρακτηριστικά μεγέθη των μπαταριών είναι απαραίτητο να εισάχθουν στο πρόγραμμα HOMER και δεδομένα που αφορούν τις καμπύλες ζωής και χωρητικότητας, για τις μπαταρίες που δεν ανήκουν στη βιβλιοθήκη του προγράμματος (μπαταρίες νικελίου καδμίου και ιόντος λιθίου). Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στους Πίνακα 3.6 και Πίνακα 3.7, ενώ οι χαρακτηριστικές τους καμπύλες στα Σχήματα 3.4, 3.5, 3.6 και 3.7.

Πίνακας 3.6: Δεδομένα καμπύλης χωρητικότητας μπαταριών

A/A	Μολύβδου οξέος		Νικελίου καδμίου		Ιόντος λιθίου	
	Ρεύμα (A)	Χωρητικότητα (Ah)	Ρεύμα (A)	Χωρητικότητα (Ah)	Ρεύμα (A)	Χωρητικότητα (Ah)
1.	19	1.900	60	150	10	1.700

Πίνακας 3.6: Δεδομένα καμπύλης χωρητικότητας μπαταριών (συνέχεια)

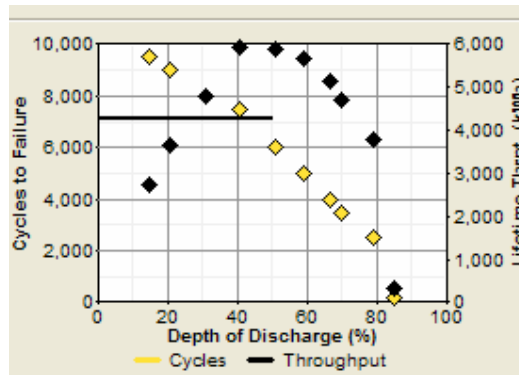
A/A	Μολύβδου οξέος		Νικελίου καδμίου		Ιόντος λιθίου	
	Ρεύμα (A)	Χωρητικότητα (Ah)	Ρεύμα (A)	A/A	Ρεύμα (A)	Χωρητικότητα (Ah)
2.	25	1.800	200	145	20	1.300
3.	67,50	1.350	300	140	30	1.100
4.	116	1.161	400	137	40	1.000
5.	138	1.107	500	135	45	970
6.	170	1.020	600	133	60	940
7.	197	986	700	130	75	900
8.	230	918	800	127	85	800
9.	365	729	900	124	95	750
10.	554	554	1.000	120	100	600

**Σχήμα 3.4:** Καμπύλη χωρητικότητας Νικελίου καδμίου**Σχήμα 3.5:** Καμπύλη χωρητικότητας Ιόντος λιθίου**Πίνακας 3.7:** Δεδομένα καμπύλης διάρκειας ζωής μπαταριών

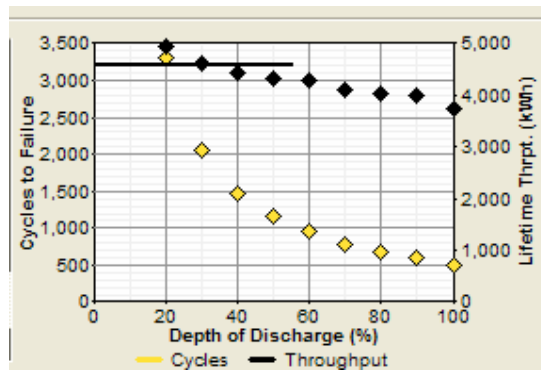
A/A	Μολύβδου οξέος		Νικελίου καδμίου		Ιόντος λιθίου	
	Βάθος εκφόρτισης (%)	Κύκλοι αποτυχίας	Βάθος εκφόρτισης (%)	Κύκλοι αποτυχίας	Βάθος εκφόρτισης (%)	Κύκλοι αποτυχίας
1.	20	5.100	85	2.000	100	500
2.	30	4.220	79	2.500	90	590
3.	40	3.580	70	3.500	80	675
4.	50	3.170	67	4.000	70	780

Πίνακας 3.7: Δεδομένα καμπύλης διάρκειας ζωής μπαταριών (συνέχεια)

A/A	Μολύβδου οξέος		Νικελίου καδμίου		Ίόντος λιθίου	
	Βάθος εκφόρτισης (%)	Κύκλοι αποτυχίας	Βάθος εκφόρτισης (%)	Κύκλοι αποτυχίας	Βάθος εκφόρτισης (%)	Κύκλοι αποτυχίας
5.	60	2.750	59	5.000	60	950
6.	70	2.400	51	6.000	50	1.150
7.	80	2.000	41	7.500	40	1.475
8.	90	1.750	31	8.000	30	2.050
9.	100	1.500	25	8.500	20	3.300



Σχήμα 3.6: Καμπύλη διάρκειας ζωής Νικελίου καδμίου



Σχήμα 3.7: Καμπύλη διάρκειας ζωής Ίόντος λιθίου

3.3 Βιβλιογραφία

[3.1] NREL, HOMER: the optimization model for distributed power. National renewable energy laboratory. It can be downloaded from

<http://www.nrel.gov/homer>

[3.2] Κ. Σαξώνης, “Βέλτιστη σχεδίαση υβριδικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας”, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2006.

Κεφάλαιο 4 – Μοντελοποίηση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση και η ανάλυση των μεταβλητών εισόδου και εξόδου που απαρτίζουν το λογισμικό του HOMER.

4.1 Στοιχεία του υβριδικού συστήματος

Τα κυριότερα στοιχεία που απαρτίζουν ένα υβριδικό σύστημα αναλύονται παρακάτω:

- Φωτοβολταϊκά
- Ανεμογεννήτρια
- Ντηζελογεννήτρια
- Υδροηλεκτρικό σύστημα
- Μπαταρία
- Μετατροπέας

Όσον αφορά τα στοιχεία του συστήματος, σημαντικό ρόλο παίζει και ο πίνακας με τα κόστη. Ο πίνακας αυτός συμπληρώνεται για κάθε στοιχείο του υβριδικού συστήματος. Τα κόστη που αναφέρονται στη βιβλιοθήκη του προγράμματος είναι τα εξής: κόστος αρχικής επένδυσης, κόστος αντικατάστασης και κόστος συντήρησης και λειτουργίας.

Το κόστος αρχικής επένδυσης είναι το αρχικό ποσό που πρέπει να δαπανηθεί προκειμένου να εγκατασταθεί ένα από τα προαναφερθέντα στοιχεία του συστήματος ενέργειας. Το μέγεθος προσδιορίζει την ενεργειακή ισχύ του εκάστοτε συστατικού. Ενώ το κόστος αντικατάστασης προσδιορίζει το κόστος αντικατάστασης ενός στοιχείου. Τέλος στη στήλη ‘Λειτουργία & συντήρηση’ δίνεται το κόστος λειτουργίας και συντήρησης σε \$/hr.

4.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Αποτελούνται από διόδους ημιαγωγών (συνήθως πυριτίου), οι οποίες καθώς δέχονται στην επιφάνεια τους την ηλιακή ακτινοβολία, εκδηλώνουν διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και την πίσω όψη τους. Η

διαδικασία αυτή βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, και το ρεύμα που παράγεται είναι συνεχές.

Σε ένα ΦΒ σύστημα, η θεμελιώδης μονάδα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο. Η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση ενός ΦΒ στοιχείου βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 0.5 V και 0.6 V. Λόγω του ότι υπάρχουν πολύ λίγες συσκευές που μπορούν να λειτουργήσουν σε τόσο χαμηλές τάσεις, τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται σε σειρά και σχηματίζουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Τα ΦΒ πλαίσια αποτελούν τις βασικές μονάδες ενός ΦΒ συστήματος, και αποτελούνται συνήθως από 36 ΦΒ στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά.

Ένα ΦΒ σύστημα μπορεί να μοντελοποιηθεί με το πρόγραμμα HOMER, εάν εισαχθούν τα κατάλληλα δεδομένα. Για να οριστεί πλήρως ένα ΦΒ σύστημα πρέπει να εισαχθούν το μέγεθος του και το κόστος κεφαλαίου του. Βάσει αυτών των δεδομένων (κόστη-μεγέθη) γίνεται και η καμπύλη κόστους για τα ΦΒ συστήματα.

Επίσης είναι απαραίτητο να εισαχθούν και ορισμένα τυπικά χαρακτηριστικά των ΦΒ συστημάτων. Τα πιο σημαντικά είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 4.1: Δεδομένα φωτοβολταϊκών συστημάτων

A/A	Περιγραφή	Description	Μονάδα μέτρησης
1.	Διάρκεια ζωής	Lifetime	yrs
2.	Ένας παράγοντας κλιμάκωσης που ισχύει για την παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και καταγράφει τις απώλειες.	Derating factor	%
3.	Ο τύπος του συστήματος που χρησιμοποιείται για να κατευθύνει τις κλίσεις των PV προς τον ήλιο.	Tracking system	
4.	Η γωνία στην οποία τοποθετούνται τα PV σχετικά με τον ορίζοντα.	Slope	degrees
5.	Η κατεύθυνση ως προς την οποία τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι στραμμένα.	Azimuth	degrees W of S
6.	Το ποσοστό της επιφάνειας εδάφους στο οποίο αντανακλάται η ακτινοβολία.	Ground reflectance	%

Ακόμη πρέπει να εισαχθούν δεδομένα σχετικά την ηλιακή ακτινοβολία. Το πρόγραμμα HOMER τα δεδομένα των ηλιακών πηγών για να υπολογίσει την ισχύ του ΦΒ συστήματος για κάθε ώρα του χρόνου. Εισάγεται το γεωγραφικό μήκος και πλάτος για κάθε μήνα, καθώς και ο δείκτης καθαρότητας ή ο μέσος όρος της ημερήσιας ακτινοβολίας για κάθε μήνα. Το HOMER χρησιμοποιεί την τιμή του γεωγραφικού πλάτους για να υπολογίσει τη μέση ημερήσια ακτινοβολία από τον δείκτη καθαρότητας και αντίστροφα.

4.1.2 Ανεμογεννήτριες

Οι ΑΓ μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ΑΓ μπορεί να είναι δυο τύπων: ΑΓ οριζόντιου άξονα και ΑΓ κατακόρυφου άξονα.

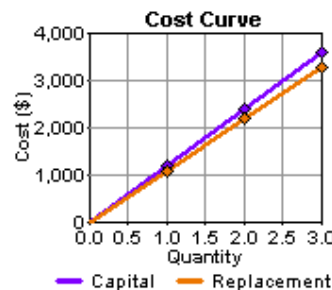
Οι ΑΓ οριζόντιου άξονα παρουσιάζουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα και έχουν κυριαρχήσει στην πράξη.

Πίνακας 4.2: Δεδομένα Ανεμογεννήτριας

A/A	Περιγραφή	Description	Μονάδα μέτρησης
1.	Χρόνος ζωής	Lifetime	years
2.	Ένας παράγοντας κλιμάκωσης που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας	Power curve scaling factor	
3.	Ένας παράγοντας κλιμάκωσης που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τα στοιχεία της ταχύτητας του αέρα, τη διαφορά στο ύψος των ανεμόμετρων και στο ύψος των πηληνών της ανεμογεννήτριας.	Wind speed scaling factor	

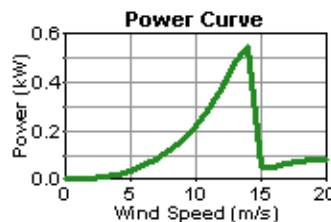
Σαν δεδομένο εισόδου στα στοιχεία, όταν το σύστημα περικλείει ανεμογεννήτρια, είναι και ο τύπος της ανεμογεννήτριας. Η επιλογή γίνεται από έναν κατάλογο που περιλαμβάνει το HOMER. Επίσης στην περίπτωση των ανεμογεννητριών παρουσιάζονται 3 χαρακτηριστικές καμπύλες: καμπύλη κόστους, καμπύλη ισχύος και καμπύλη απόδοσης.

Η καμπύλη κόστους δημιουργείται από τις τιμές των κοστών σε (\$) και από τα μεγέθη της ΑΓ που μελετώνται. Μια τυπική μορφή της καμπύλης κόστους απεικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα 4.1.



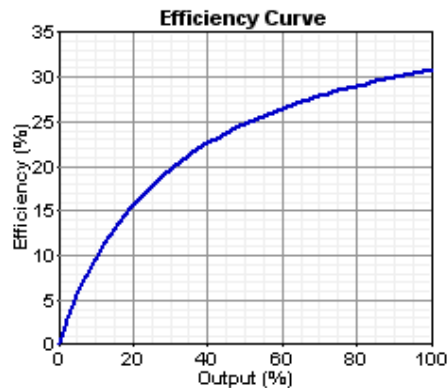
Σχήμα 4.1: Καμπύλη κόστους αρχικής επένδυσης και κόστους αντικατάστασης Α/Γ 3kW.

Η καμπύλη ισχύος δημιουργείται από τις τιμές ισχύος σε (kW) σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα σε (m/s). Μια τέτοια καμπύλη παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.



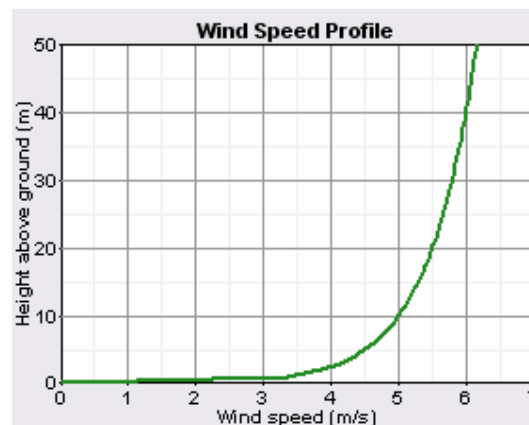
Σχήμα 4.2: Καμπύλη ισχύος Α/Γ 3 kW.

Η καμπύλη απόδοσης απεικονίζει τη σχέση της απόδοσης σε (%), σε σχέση με την παραγωγή στην έξοδο σε (%). Η μορφή της καμπύλης απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3: Καμπύλη απόδοσης Α/Γ 3 kW.

Επίσης μια άλλη τυπική καμπύλη παρουσιάζει το προφίλ της ταχύτητας του ανέμου. Στον οριζόντιο άξονα προβάλλονται οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου σε (m/s), ενώ στον κάθετο το ύψος της ανεμογεννήτριας πάνω από τη γη σε (m). Το προφίλ της ταχύτητας που απεικονίζεται είναι λογαριθμικό.



Σχήμα 4.4: Καμπύλη του λογαριθμικού προφίλ της ταχύτητας του ανέμου.

Τέλος για τον πλήρη ορισμό της ΑΓ είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα της πηγής ανέμου. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο HOMER και αυτό υπολογίζει την ισχύ του ανεμοστρόβιλου για κάθε ώρα του χρόνου. Επίσης η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μεταβλητή ευαισθησίας. Μεταβάλλοντας κλιμακωτά τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου, εκτελείται προσομοίωση του προγράμματος HOMER, βάση της οποίας προκύπτει η βέλτιστη λύση του συστήματος και οι επιδράσεις που επιφέρουν οι τιμές της ταχύτητας.

4.1.3 Ντηζελογεννήτριες

Η πιο συνηθισμένη πηγή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ντηζελογεννήτρια, που αποτελείται από μια ηλεκτρική γεννήτρια εναλλασσόμενου

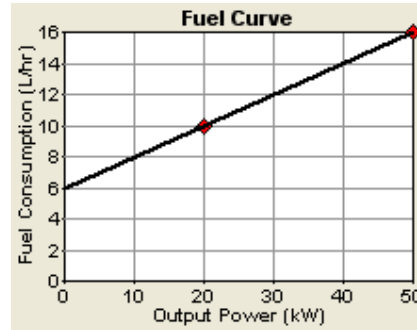
ρεύματος, που καθοδηγείται από μια παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσεως που ακολουθεί τον κύκλο του Diesel. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι συνήθως το πετρέλαιο και τα μεγέθη της νηξελογεννήτριας ποικίλουν ανάμεσα σε λίγα kW και το 1 MW.

Τα δεδομένα που χρειάζονται ώστε να είναι πλήρης ορισμένη μια νηξελογεννήτρια παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Δεδομένα νηξελογεννήτριας

A/A	Περιγραφή	Description	Μονάδα μέτρησης
1.	Χρόνος ζωής	Lifetime (operating hours)	Hours
2.	Η ελάχιστη ποσότητα ισχύος που μπορεί να παρέχει η νηξελογεννήτρια στο σύστημα. Εκφράζεται ως το ποσοστό της συνολικής ισχύος της γεννήτριας.	Minimum load ratio	(%)
3.	Η κατανάλωση καυσίμου προς την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας	Intercept	L/hr/kW rated
4.	Η πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου.	Slope	L/hr/kW output
5.	Το ποσοστό της θερμότητας των αποβλήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετηθεί το θερμικό φορτίο.	Generator heat recovery ratio	%
6.	Η ενέργεια που απελευθερώνεται ανά κιλό καυσίμων που καταναλώνεται.	Lower heating value	MJ/kg
7.	Πυκνότητα	Density	Kg/m ³
8.	Η περιεκτικότητα σε άνθρακα των καυσίμων.	Fuel carbon content	%
9.	Το ποσό άνθρακα καυσίμου που εκπέμπεται ετησίως από τη γεννήτρια.	Carbon emission	t/yr

Το HOMER χρησιμοποιώντας ως δεδομένα την παραγόμενη ισχύ και την κατανάλωση καυσίμου, μπορεί να κατασκευάσει την καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου. Μια τέτοια καμπύλη φαίνεται στο Σχήμα 4.5. Η καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου εκφράζει την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ.



Σχήμα 4.5: Καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου.

Το HOMER υπολογίζει την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται ανά πάσα στιγμή χρησιμοποιώντας τη παρακάτω εξίσωση:

$$F = F_o * Y_{gen} + F_1 * P_{gen} \quad (4.1)$$

Όπου:

- F: ωριαία ποσότητα καυσίμου (L)
- F_o: intercept (L/hr/kW_{rated})
- Y_{gen}: ονομαστική ισχύς γεννήτριας (kW)
- F₁: κλίση (L/hr/kW)
- P_{gen}: παραγόμενη ισχύς της γεννήτριας (kW)

4.1.4 Μπαταρίες

Η μπαταρία είναι μια συσκευή η οποία αποθηκεύει χημική ενέργεια και την αποδесμεύει με τη μορφή ηλεκτρισμού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτροχημικές διατάξεις όπως η γαλβανική στήλη. Η ανάπτυξη των μπαταριών άρχισε με την κατασκευή της Βολταϊκής στήλης από τον Alexander Volta.

Η μπαταρία αποτελείται από μια ή περισσότερες βολταϊκές κυψέλες, κάθε βολταϊκή κυψέλη αποτελείται από δύο μισές κυψέλες που συνδέονται σε σειρά με έναν αγωγίμο ηλεκτρολύτη που περιέχει τα ανιόντα και τα κατιόντα. Μια μισή κυψέλη περιλαμβάνει τον ηλεκτρολύτη και το ηλεκτρόδιο στην οποία τα ανιόντα μεταναστεύουν. Στην οξειδοαναγωγική αντίδραση της μπαταρίας, η αναγωγή (προσθήκη των ηλεκτρονίων) εμφανίζεται στα κατιόντα στην κάθοδο, ενώ η οξείδωση (αφαίρεση των ηλεκτρονίων) εμφανίζεται στα ανιόντα στην άνοδο. Τα ηλεκτρόδια δεν αγγίζουν το ένα το άλλο αλλά συνδέονται ηλεκτρικά με τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος μπορεί να είναι είτε στερεός είτε υγρός.

Στο πρόγραμμα HOMER η μοντελοποίηση της μπαταρίας γίνεται εφαρμόζοντας τη θεωρία του κινητικού μοντέλου. Το HOMER χρησιμοποιεί το κινητικό μοντέλο μπαταριών (Manwell και McGowan, 1993) για να καθορίσει το ποσό ενέργειας που μπορεί να απορροφηθεί ή να αποσυρθεί από την τράπεζα των μπαταριών κάθε φορά. Το κινητικό μοντέλο μπαταριών, ονομάζεται έτσι επειδή είναι βασισμένο στις έννοιες των ηλεκτροχημικών κινητικών μοντέλων, μοντελοποιεί μια μπαταρία ως σύστημα δύο δεξαμενών. Η πρώτη δεξαμενή περιέχει τη "διαθέσιμη ενέργεια", ή την ενέργεια που είναι εύκολα διαθέσιμη για μετατροπή σε συνεχή ηλεκτρική ενέργεια. Η δεύτερη δεξαμενή περιέχει τη "συνδεδεμένη ενέργεια", ή την

ενέργεια που είναι χημικά συνδεδεμένη και επομένως όχι άμεσα διαθέσιμη για απόσυρση.

Τρεις παράμετροι χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν αυτό το σύστημα δύο δεξαμενών. Η μέγιστη χωρητικότητα της μπαταρίας (Q_{\max}) είναι το συνολικό ποσό ενέργειας που οι δύο δεξαμενές μπορούν να περιέχουν. Η αναλογία της χωρητικότητας (c) είναι η αναλογία του μεγέθους της διαθέσιμης ενεργειακής δεξαμενής στο συνδυασμένο μέγεθος και των δύο δεξαμενών. Η σταθερά ποσοστού (k) που συνδέει την αγωγιμότητα μεταξύ των δύο δεξαμενών, και είναι επομένως ένα μέτρο για το πόσο γρήγορα η μπαταρία μπορεί να μετατρέψει τη συνδεδεμένη ενέργεια στη διαθέσιμη ενέργεια ή αντίστροφα.

Το συνολικό ποσό της ενέργειας που αποθηκεύεται στην μπαταρία οποιαδήποτε στιγμή είναι το ποσό της διαθέσιμης και της συνδεδεμένης ενέργειας, δηλαδή:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (4.2)$$

όπου το Q_1 είναι η διαθέσιμη ενέργεια και το Q_2 είναι η συνδεδεμένη ενέργεια.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη και οι καμπύλες των μπαταριών έχουν αναλυθεί στο Κεφάλαιο 2.

4.1.5 Μετατροπείας

Σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας εμπεριέχεται ένας συνδυασμός τεχνολογιών και φορτίων συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος. Σε ένα τέτοιο σύστημα απαιτείται μετατροπή από συνεχές σε εναλλασσόμενο και αντιστρόφως, η οποία επιτυγχάνεται με χρήση μετατροπέων. Ανάλογα με τη δομή του συστήματος που μελετάται, ένας μετατροπείας μπορεί να είναι αντιστροφείας (ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο), ανορθωτής (ο οποίος μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές), ή συνδυασμός και των δυο.

Όπως και στα προηγούμενα συστήματα έτσι και εδώ υπάρχει μια καμπύλη κόστους, η οποία απεικονίζει τη σχέση των κοστών σε (\$) με τα μεγέθη του μετατροπείας.

4.2 Ανάλυση κόστων συστήματος

4.2.1 Αρχικό κόστος κεφαλαίου

Είναι το αρχικό συνολικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος.

4.2.2 Ετήσιο κόστος κεφαλαίου

Υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$C_{acap} = C_{cap} * CRF(i, R_{proj}) \quad (4.3)$$

όπου R_{proj} είναι η διάρκεια ζωής του έργου, i το πραγματικό επιτόκιο.

4.2.3 Συντελεστής κεφαλαίου

Ο συντελεστής κεφαλαίου είναι ένας λόγος που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η μελλοντική αξία μιας σειράς ίσων ετήσιων ταμειακών ροών. Ο συντελεστής κεφαλαίου (sinking fund factor) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SFF(i, N) = \frac{i}{(1+i)^N - 1} \quad (4.4)$$

όπου i : πραγματικό επιτόκιο, N : είναι ο αριθμός ετών

4.2.4 Ετήσιο κόστος αντικατάστασης

Το ετήσιο κόστος αντικατάστασης (annualized replacement cost) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$C_{arep} = C_{rep} * f_{rep} * SFF(i, R_{comp}) - S * SFF(i, R_{proj}) \quad (4.5)$$

όπου f_{rep} είναι ένα διάνυσμα που χρησιμοποιείται επειδή ο χρόνος ζωής ενός συγκεκριμένου συστατικού μπορεί να είναι διαφορετικός από το χρόνο ζωής όλου του έργου.

4.2.5 Κόστος ενέργειας

Το HOMER χρησιμοποιεί την ακόλουθη εξίσωση για να υπολογίσει το κόστος ενέργειας:

$$COE = \frac{C_{ann, tot}}{[E_{prim} + E_{def} + E_{grid, sales}]} \quad (4.6)$$

όπου E_{prim} είναι η συνολική ενέργεια για το κύριο φορτίο, E_{def} είναι η συνολική ενέργεια για το εναλλακτικό φορτίο, $E_{grid, sales}$ είναι η συνολική ενέργεια που πωλείται στο δίκτυο ετησίως.

4.3 Βιβλιογραφία

[4.1] NREL, HOMER: the optimization model for distributed power. National renewable energy laboratory. It can be downloaded from

<http://www.nrel.gov/homer>

[4.2] Γ. Κατσιγιαννης, «Βελτιστοποίηση Δομής και Οικονομική Αξιολόγηση Απομονωμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας που βασίζεται σε Ανανεώσιμες Πηγες Ενέργειας», Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008.

Κεφάλαιο 5 – Υβριδικό σύστημα: Ανεμογεννήτρια, Μπαταρία, Μετατροπέας

5.1 Εισαγωγή – παρουσίαση του προβλήματος

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται ένα υβριδικό σύστημα που αποτελείται από ανεμογεννήτρια, μπαταρία και μετατροπέα. Επίσης γίνεται σύγκριση με άλλα δυο είδη μπαταρίας (Νικελίου-Καδμίου, Ιόντος Λιθίου). Τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος φαίνονται στο Πίνακα 5.2. Η μέγιστη ζήτηση του φορτίου είναι 16kW (Σχήμα 5.1), ενώ είναι γνωστή η ωριαία κατανάλωση του σε ετήσια βάση. Από την ανάλυση προκύπτει ότι βέλτιστο σύστημα είναι εκείνο που περιέχει μια ανεμογεννήτρια ισχύος 10kW, 8 μπαταρίες και έναν μετατροπέα ισχύος 10kW. Χρησιμοποιώντας ως μεταβλητή ευαισθησίας την ταχύτητα του ανέμου προκύπτουν συμπεράσματα για το πώς οι τιμές των μεταβλητών ευαισθησίας επηρεάζουν την επιλογή του βέλτιστου συστήματος.

5.2 Φορτία

Στις επιλογές του προγράμματος HOMER για το φορτίο επιλέγουμε ως κύριο φορτίο το φορτίο που επιθυμούμε να συνδεθεί με τα συστατικά στοιχεία του συστήματος ενέργειας, ενώ επιλέγουμε και τον τύπο ρεύματος που επιθυμούμε, στην προκειμένη περίπτωση AC (εναλλασσόμενο ρεύμα). Στη συνέχεια εισαγάγουμε τις 24 ωριαίες τιμές του φορτίου σε kW. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες επιλογές.

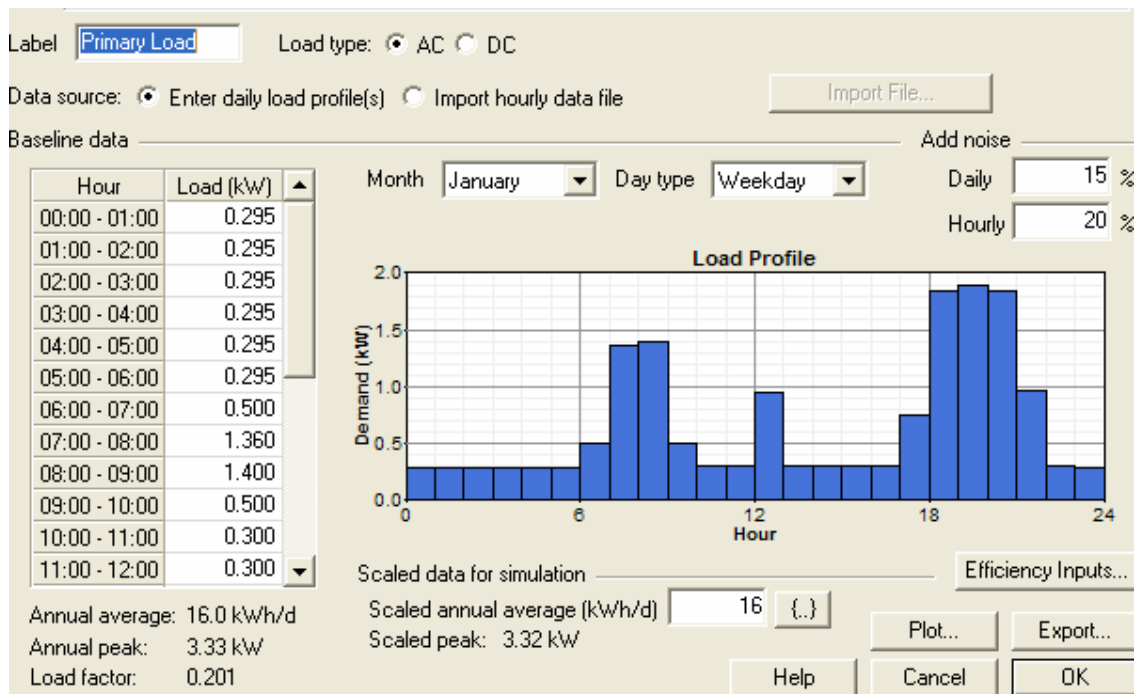
Πίνακας 5.1: Δεδομένα φορτίου

Ωρες	Φορτίο σε (kW)
00:00-01:00	0,295
01:00-02:00	0,295
02:00-03:00	0,295
03:00-04:00	0,295
04:00-05:00	0,295
05:00-06:00	0,295
06:00-07:00	0,500

Πίνακας 5.1: Δεδομένα φορτίου (συνέχεια)

Ωρες	Φορτίο σε (kW)
07:00-08:00	1,360
08:00-09:00	1,400
09:00-10:00	0,500
10:00-11:00	0,300
11:00-12:00	0,300
12:00-13:00	0,950
13:00-14:00	0,300
14:00-15:00	0,300
15:00-16:00	0,300
16:00-17:00	0,300
17:00-18:00	0,750
18:00-19:00	1,850
19:00-20:00	1,900
20:00-21:00	1,850
21:00-22:00	0,970
22:00-23:00	0,300
23:00-00:00	0,295

Στο Σχήμα (5.1) παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα δεδομένα εισαγωγής του φορτίου όπως αναπαριστώνται στο HOMER.

**Σχήμα 5.1:** Βασικό παράθυρο φορτίου

5.3 Συστατικά μέρη του υβριδικού συστήματος

Στον Πίνακα 5.2 περιγράφονται αναλυτικά τα συστατικά μέρη από τα οποία αποτελείται το συγκεκριμένο υβριδικό σύστημα.

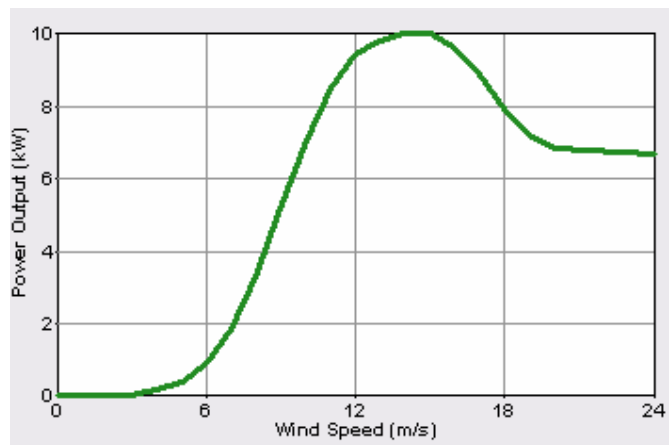
Πίνακας 5.2: Στοιχεία υβριδικού συστήματος

Συστατικό	size _{compmax}	Προσαύξηση	Κόστος κεφαλαίου	Κόστος αντικατ.	Κόστος Λ&Σ	Διάρκεια ζωής
ΑΓ	10 kW	1ΑΓ	60.000 \$	40.000 \$	800 \$/hr	25 y
ΜΠ	200	Βλ. Πίνακα 5.3	1.000 \$	1.000 \$	10 \$/hr	15y
MET	5 kW	1kW	1.000 \$	1.000 \$	0	10y

Επεξηγήσεις: Κόστος αντικατ. = Κόστος αντικατάστασης, Κόστος Λ&Σ = Κόστος λειτουργίας και συντήρησης, ΑΓ = Ανεμογεννήτρια, ΜΠ = Μπαταρία, MET = Μετατροπέας.

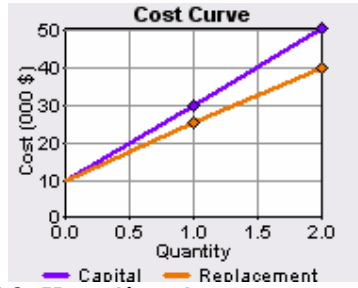
5.3.1 Ανεμογεννήτρια

Ο τύπος ανεμογεννήτριας που εξετάζουμε στο παρόν σύστημα είναι η Generic με ισχύς 10kW και το ύψος του κέντρου του ρότορα της ανεμογεννήτριας από το έδαφος είναι 25 m. Για το συγκεκριμένο τύπο ανεμογεννήτριας, η καμπύλη ισχύος είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με το στοιχείο της ανεμογεννήτριας. Συγκεκριμένα παρουσιάζει την μέγιστη ισχύ που μπορεί να πάρει (10 kW), τα κόστη της καθώς και την ποσότητα της. Ξεκινώντας από το 0 αυξάνεται η ποσότητα της κατά 1 μέχρι να φθάσει την μέγιστη ισχύ της. Βάσει των δεδομένων του κόστους και της ποσότητας προκύπτει η καμπύλη κόστους της ανεμογεννήτριας, η οποία έχει στον οριζόντιο άξονα τις ποσότητες και στον κάθετο τα κόστη (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3: Καμπύλη κόστους ανεμογεννήτριας.

5.3.2 Μπαταρία

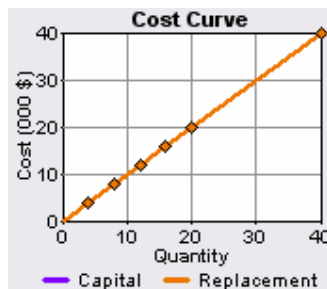
Στον Πίνακα 5.2 δίνονται τα κόστη της μπαταρίας για τον συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας, που έχει επιλεγεί, δηλαδή την Surrette 4KS25P.

Στον Πίνακα 5.3 εισάγονται τα μεγέθη εκείνα της μπαταρίας που θέλουμε το πρόγραμμα να λάβει υπόψη του κατά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης.

Πίνακας 5.3: Σημαντικά μεγέθη μπαταρίας

Ποσότητα
0
4
8
12
16
20
25
30
35
40
45
60
70

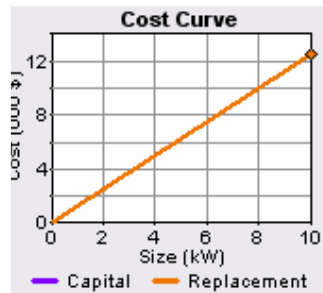
Από τα δεδομένα των Πινάκων 5.2 και 5.3 προκύπτει η καμπύλη κόστους της μπαταρίας. Η καμπύλη εμφανίζεται στο Σχήμα (5.4). Από το Σχήμα (5.4) παρατηρούμε τη γραμμική σχέση μεταξύ του αρχικού κόστους κεφαλαίου και του κόστους αντικατάστασης με την ποσότητα των μπαταριών.



Σχήμα 5.4: Καμπύλη κόστους μπαταρίας.

5.3.3 Μετατροπές

Από τα δεδομένα των Πινάκων 5.2 (κόστη – μέγεθος μετατροπείας) προκύπτει η καμπύλη κόστους του μετατροπείας. Η καμπύλη εμφανίζεται στο Σχήμα (5.5). Από το Σχήμα (5.5) παρατηρούμε τη γραμμική σχέση μεταξύ του αρχικού κόστους κεφαλαίου και του κόστους αντικατάστασης με την ποσότητα του μετατροπείας.



Σχήμα 5.5: Καμπύλη κόστους μετατροπείας.

5.4 Πόροι συστήματος

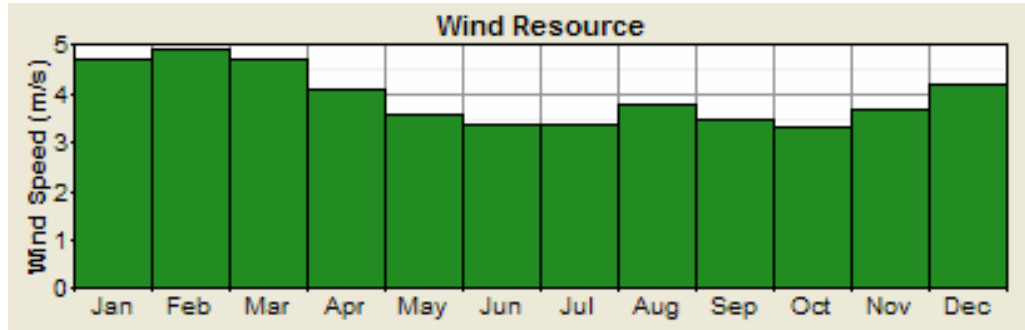
5.4.1 Αιολικό δυναμικό

Στο αιολικό δυναμικό εισάγουμε το μέσο όρο της ταχύτητας αέρα κάθε μήνα και το HOMER δημιουργεί με τη σειρά του το αντίστοιχο γράφημα. Το HOMER κλιμακώνει τα στοιχεία προκειμένου να διευκολυνθεί η προσομοίωση. Τα στοιχεία που εισάγουμε παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.4.

Το γράφημα που προκύπτει από τα δεδομένα του Πίνακα 5.4 εμφανίζεται στο Σχήμα 5.6.

Πίνακας 5.4: Δεδομένα εισόδου αιολικού δυναμικού

Μήνας	Ταχύτητα αέρα (m/sec)
Ιανουάριος	4,700
Φεβρουάριος	4,900
Μάρτιος	4,700
Απρίλιος	4,100
Μάϊος	3,600
Ιούνιος	3,400
Ιούλιος	3,400
Αύγουστος	3,800
Σεπτέμβριος	3,500
Οκτώβριος	3,300
Νοέμβριος	3,700
Δεκέμβριος	4,200



Σχήμα 5.6: Αιολικό δυναμικό

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το HOMER δεν εξισώνει τον μέσο όρο των ταχυτήτων κάθε μήνα με τον κλιμακωτό μέσο όρο, αλλά βάζουμε εμείς τις τιμές του κλιμακωτού μέσου όρου. Τιμές που θα ελεγχθούν από το HOMER κατά τη διάρκεια της ανάλυσης ευαισθησίας. Το HOMER κατά την εισαγωγή των τιμών της ταχύτητας του αέρα διαμορφώνει από μόνο του έναν μέσο όρο που ονομάζουμε κλιμακωτό και ο οποίος διευκολύνει το πρόγραμμα στους υπολογισμούς που διενεργεί. Στη συγκεκριμένη περίπτωση κι επειδή θεωρούμε τις τιμές της ταχύτητας αέρα αρκετά σημαντικές, ζητάμε από το HOMER να εκτελέσει την ανάλυση ευαισθησίας και για τις πέντε διαφορετικές τιμές του κλιμακωτού μέσου όρου όπως αυτές φαίνονται στο πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5: Τιμές κλιμακωτού μέσου όρου

Κλιμακωτός μέσος όρος (τιμές σε m/sec)
3,580
4
5
6
7

Ακόμη υπάρχουν κάποιες παράμετροι που το HOMER υπολογίζει αυτόματα. Οι παράμετροι φαίνονται στον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6: Παράμετροι

Παράμετροι	Τιμές
Παράμετρος για τον καθορισμό της κατανομής του αέρα/ Weibull k	2
Παράμετρος για την διακύμανση του αέρα από ώρα σε ώρα/Autocorrelation factor	0,85
Ένα μέτρο που δείχνει πόσο δυνατή είναι η διακύμανση του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας/Diurnal pattern strength	0,25
Η ώρα της ημέρας που έχουμε τον υψηλότερο μέσο όρο ταχύτητας αέρα/Hour of peak wind speed	15

5.5 Αποτελέσματα βελτιστοποίησης

Αφού έχουμε εισαγάγει όλα τα παραπάνω δεδομένα, το HOMER αρχίζει τη διαδικασία προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας όλους τους ενεργειακούς υπολογισμούς που του έχουμε δώσει για κάθε μια από τις 8.760 ώρες του έτους. Με τη βοήθεια αυτών των ενεργειακών υπολογισμών προσπαθεί να δημιουργήσει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς συστημάτων ενέργειας.

Στο Πίνακα 5.7 φαίνονται τα 10 πρώτα υβριδικά συστήματα ενέργειας τα οποία αποτελούν αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της σχεδίασης που εφαρμόζει το HOMER προκειμένου να βρει το βέλτιστο σύστημα.

Πίνακας 5.7: Οι δέκα καλύτεροι συνδυασμοί που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση του συστήματος (ολικά αποτελέσματα)

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1.	1 AN, 8 ΜΠ, ΜΕ 10kW	50.500	76.171	1,014	1
2.	1 AN, 12 ΜΠ, ΜΕ 10kW	54.500	82.803	1,102	1
3.	1 AN, 16 ΜΠ, ΜΕ 10kW	58.500	89.436	1,191	1
4.	1 AN, 20 ΜΠ, ΜΕ 10kW	62.500	96.069	1,279	1
5.	2 AN, 8 ΜΠ, ΜΕ 10kW	70.500	105.100	1,339	1
6.	2 AN, 12 ΜΠ, ΜΕ 10kW	74.500	111.732	1,487	1
7.	2 AN, 16 ΜΠ, ΜΕ 10kW	78.500	118.365	1,576	1
8.	2 AN, 20 ΜΠ, ΜΕ 10kW	82.500	124.998	1,664	1
9.	1 AN, 40 ΜΠ, ΜΕ 10kW	82.500	129.233	1,720	1
10.	1 AN, 45 ΜΠ, ΜΕ 10kW	87.500	137.524	1,831	1

Στον Πίνακα 5.8 παρουσιάζονται τα κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση του συστήματος.

Πίνακας 5.8: Ο καλύτερος συνδυασμός που προέκυψε από τη βελτιστοποίηση του συστήματος (κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα)

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1.	1 AN, 8 ΜΠ, ΜΕ 10kW	50.500	76.171	1,014	1

Επειδή έχουν εισαχθεί μεταβλητές ευαισθησίας το HOMER θα εκτελέσει ξανά την βελτιστοποίηση για κάθε μια από αυτές τις μεταβλητές. Στο Πίνακα 5.8 που ακολουθεί παρουσιάζονται ενδεικτικά τα δεκαπέντε πρώτα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας. Ο Πίνακας 5.8 είναι ίδιος με τους Πίνακες 5.6 και 5.7 αντίστοιχα της βελτιστοποίησης, με τη μόνη διαφορά ότι σε αυτόν περιέχονται και οι μεταβλητές της ανάλυσης ευαισθησίας.

Πίνακας 5.8: Οι διαφορετικοί συνδυασμοί υβριδικών συστημάτων που προέκυψαν μετά την ανάλυση ευαισθησίας

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1.	4 AN, 40 ΜΠ, ΜΕ 10kW	3,580	142.500	216.020	2,876	1
2.	2 AN, 40 ΜΠ, ΜΕ 10kW	4	102.500	158.162	2,105	1
3.	2 AN, 16 ΜΠ, ΜΕ 10kW	5	78.500	118.365	1,576	1
4.	1 AN, 16 ΜΠ, ΜΕ 10kW	6	58.500	89.436	1,191	1
5.	1 AN, 8 ΜΠ, ΜΕ 10kW	7	50.500	76.171	1,014	1

5.6 Συμπεράσματα

Μετά την προσομοίωση του συστήματος προκύπτει ότι το βέλτιστο υβριδικό σύστημα περιέχει μια ανεμογεννήτρια ισχύος 10kW, 8 μπαταρίες και έναν μετατροπέα ισχύος 10kW. Τα κόστη του βέλτιστου συστήματος είναι τα εξής: αρχικό κόστος **50.500\$**, καθαρό παρόν κόστος **76.171\$** και το κόστος ενέργειας είναι 1,014\$/kWh. Επίσης το κλάσμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι 1.

5.7 Συγκριτικά αποτελέσματα

Στην ενότητα αυτή θα μελετηθεί η συμπεριφορά των δυο διαφορετικών ειδών μπαταριών. Θα γίνει ξανά προσομοίωση του συστήματος με τους νέους τύπους μπαταριών και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα τα συγκριθούν με τη μπαταρία που έχει το HOMER.

5.7.1 Μπαταρία Νικελίου-Καδμίου

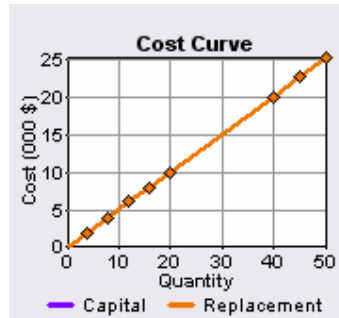
Στον Πίνακα 5.9 δίνονται τα κόστη της μπαταρίας για τον συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας που έχει επιλεγεί, δηλαδή την Ni-Cd.

Πίνακας 5.9: Κόστη μπαταρίας

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (\$)	Κόστος αντικατάστασης (\$)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (\$/hr)
1	500	500	5

Όπως και στις μπαταρίες μολύβδου οξέος, έτσι και εδώ τα μεγέθη που λαμβάνονται υπόψη για τη εύρεση των βέλτιστων αποτελεσμάτων είναι ίδια με αυτά του Πίνακα 5.3. Από

τα δεδομένα των Πινάκων 5.3 και 5.9 προκύπτει η καμπύλη κόστους της μπαταρίας. Η καμπύλη εμφανίζεται στο Σχήμα (5.7). Από το Σχήμα (5.7) παρατηρούμε τη γραμμική σχέση μεταξύ του αρχικού κόστους κεφαλαίου και του κόστους αντικατάστασης με την ποσότητα των μπαταριών.



Σχήμα 5.7: Καμπύλη κόστους

Μετά την προσομοίωση του συστήματος προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες 5.10, 5.11 και 5.12.

Πίνακας 5.10: Οι δέκα καλύτεροι συνδυασμοί που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση του συστήματος (ολικά αποτελέσματα)

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1.	1 AN, 20 ΜΠ, ΜΕ 10kW	165.000	247.035	3,289	1
2.	2 AN, 12 ΜΠ, ΜΕ 10kW	181.000	267.196	3,559	1
3.	1 AN, 40 ΜΠ, ΜΕ 10kW	175.000	268.955	3,580	1
4.	2 AN, 16 ΜΠ, ΜΕ 10kW	183.000	271.580	3,615	1
5.	1 AN, 45 ΜΠ, ΜΕ 10kW	177.500	274.435	3,653	1
6.	2 AN, 20 ΜΠ, ΜΕ 10kW	185.000	275.964	3,674	1
7.	1 AN, 50 ΜΠ, ΜΕ 10kW	180.000	279.915	3,726	1
8.	1 AN, 60 ΜΠ, ΜΕ 10kW	185.000	290.875	3,872	1
9.	2 AN, 40 ΜΠ, ΜΕ 10kW	195.000	297.884	3,965	1
10.	1 AN, 70 ΜΠ, ΜΕ 10kW	190.000	301.835	4,018	1

Πίνακας 5.11: Ο καλύτερος συνδυασμός που προέκυψε από τη βελτιστοποίηση του συστήματος (κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα)

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1.	1 AN, 20 ΜΠ, ΜΕ 10kW	165.000	247.035	3,289	1

Πίνακας 5.12: Οι διαφορετικοί συνδυασμοί υβριδικών συστημάτων που προέκυψαν μετά την ανάλυση ευαισθησίας

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1.	4 AN, 60 ΜΠ, ME 10kW	3,940	245.000	377.662	5,027	1
2.	4 AN, 60 ΜΠ, ME 10kW	4	245.000	377.662	5,027	1
3.	2 AN, 40 ΜΠ, ME 10kW	5	195.000	297.884	3,966	1
4.	1 AN, 40 ΜΠ, ME 10kW	6	175.000	268.955	3,580	1
5.	1 AN, 20 ΜΠ, ME 10kW	7	165.000	247.035	3,289	1

Συμπέρασμα: Από τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης σαν καλύτερο προκύπτει το σύστημα που περιέχει μια ανεμογεννήτρια ισχύος 10kW, 20 μπαταρίες και έναν μετατροπέα ισχύος 10kW. Όσον αφορά τα κόστη, το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι **165.000\$**, το καθαρό παρόν κόστος **247.035\$** και το κόστος ενέργειας είναι 3,289 \$/kWh. Επίσης, το κλάσμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι 1.

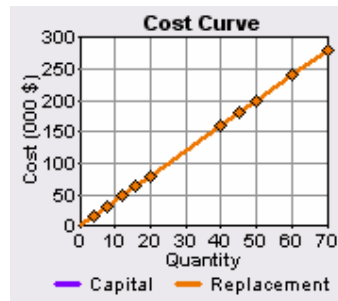
5.7.2 Μπαταρία Ιόντος- Λιθίου

Στον Πίνακα 5.13 δίνονται τα κόστη της μπαταρίας για τον συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας που έχει επιλεγεί, δηλαδή την Lithium-Ion.

Πίνακας 5.13: Κόστη μπαταρίας

Μέγεθος (kW)	Κόστος αρχικής επένδυσης (\$)	Κόστος αντικατάστασης (\$)	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (\$/hr)
1	4.000	4.000	100

Από τα δεδομένα των Πινάκων 5.3 και 5.13 προκύπτει η καμπύλη κόστους της μπαταρίας. Η καμπύλη εμφανίζεται στο Σχήμα (5.8). Από το Σχήμα (5.8) παρατηρείται η γραμμική σχέση μεταξύ του αρχικού κόστους κεφαλαίου και του κόστους αντικατάστασης με την ποσότητα των μπαταριών.



Σχήμα 5.8: Καμπύλη κόστους

Μετά την προσομοίωση του συστήματος προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες 5.14, 5.15 και 5.16.

Πίνακας 5.14: Οι δέκα καλύτεροι συνδυασμοί που προέκυψαν από τη βελτιστοποίηση του συστήματος (ολικά αποτελέσματα)

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1.	1 AN, 8 ΜΠ, ME 4kW	112.000	196.147	2,611	1
2.	1 AN, 8 ΜΠ, ME 5kW	124.500	213.020	2,836	1
3.	2 AN, 8 ΜΠ, ME 4kW	132.000	225.076	2,996	1
4.	1 AN, 12 ΜΠ, ME 4kW	128.000	238.034	3,169	1
5.	2 AN, 8 ΜΠ, ME 5kW	144.500	241.949	3,221	1
6.	1 AN, 12 ΜΠ, ME 5kW	140.500	254.907	3,393	1
7.	2 AN, 12 ΜΠ, ME 4kW	148.000	266.963	3,554	1
8.	5 AN, 4 ΜΠ, ME 4kW	176.000	269.976	3,596	1
9.	1 AN, 16 ΜΠ, ME 4kW	144.000	279.921	3,726	1
10.	4 AN, 8 ΜΠ, ME 4kW	172.000	282.934	3,766	1

Πίνακας 5.20: Ο καλύτερος συνδυασμός που προέκυψε από τη βελτιστοποίηση του συστήματος (κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα)

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1.	1 AN, 8 ΜΠ, ME 4kW	112.000	196.147	2,611	1

Πίνακας 5.21: Οι διαφορετικοί συνδυασμοί υβριδικών συστημάτων που προέκυψαν μετά την ανάλυση ευαισθησίας

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1.	6 AN, 16 ΜΠ, ME 4kW	3,580	244.000	424.566	5,655	1

Πίνακας 5.21: Οι διαφορετικοί συνδυασμοί υβριδικών συστημάτων που προέκυψαν μετά την ανάλυση ευαισθησίας (συνέχεια)

A/A	Στοιχεία υβριδικού συστήματος	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Αρχικό κόστος (\$)	Καθαρό παρόν κόστος (NPC) (\$)	Κόστος ενέργειας (COE) (\$/kWh)	Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
2.	4 AN, 20 ΜΠ, ME 4kW	4	220.000	408.595	5,442	1
3.	2 AN, 16 ΜΠ, ME 4kW	5	164.000	308.850	4,112	1
4.	2 AN, 8 ΜΠ, ME 4kW	6	132.000	225.076	2,997	1
5.	1 AN, 8 ΜΠ, ME 4kW	7	112.000	196.147	2,611	1

Συμπέρασμα: Από τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης σαν καλύτερο προκύπτει το σύστημα που περιέχει μια ανεμογεννήτρια ισχύος 10kW, 8 μπαταρίες και έναν μετατροπέα ισχύος 4kW. Όσον αφορά τα κόστη, το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι **112.000\$**, το καθαρό παρόν κόστος **196.147\$** και το κόστος ενέργειας είναι 2,611 \$/kWh. Επίσης, το κλάσμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι 1.

5.8 Ολικά αποτελέσματα

Μετά την προσομοίωση του συστήματος για τους τρεις διαφορετικούς τύπους μπαταριών, τα βέλτιστα αποτελέσματα κάθε προσομοίωσης συνοψίζονται στον Πίνακα 5.22.

Πίνακας 5.22: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Τύπος μπαταρίας	Καθαρό παρόν κόστος (\$)
Surrette 4KS25P	76.171
Nickel-Cadmium	247.035
Lithium-Ion	196.147

Από τον Πίνακα 5.22, διαπιστώνεται υπάρχουν αρκετές διαφορές στις τιμές του καθαρού παρόντος κόστους για κάθε τύπο μπαταρίας. Δηλαδή συμπεραίνεται ότι στην προσομοίωση των αποτελεσμάτων, έπαιξε σημαντικό ρόλο ο τύπος της μπαταρίας και το κόστος της. Όμως υπάρχουν διαφοροποιήσεις στο βέλτιστο σύστημα που προκύπτει για κάθε σύστημα. Οι διαφοροποιήσεις οφείλονται κυρίως στο μέγεθος των μπαταριών.

Συγκεκριμένα το υβριδικό σύστημα των μπαταριών Νικελίου καδμίου επειδή έχει μεγάλο μέγεθος μπαταριών σε σχέση με τους άλλους τύπους μπαταριών, έχει και το μεγαλύτερο καθαρό παρόν κόστος. Το χαμηλό καθαρό παρόν κόστος για τις μπαταρίες μολύβδου οξέος οφείλεται στο χαμηλό κόστος της μπαταρίας. Οι μπαταρίες ιόντος λιθίου παρόλο που έχουν το ίδιο μέγεθος με τις μολύβδου οξέος διαφοροποιούνται στο καθαρό παρόν κόστος και αυτό οφείλεται στο υψηλό κόστος των μπαταριών ιόντος λιθίου.

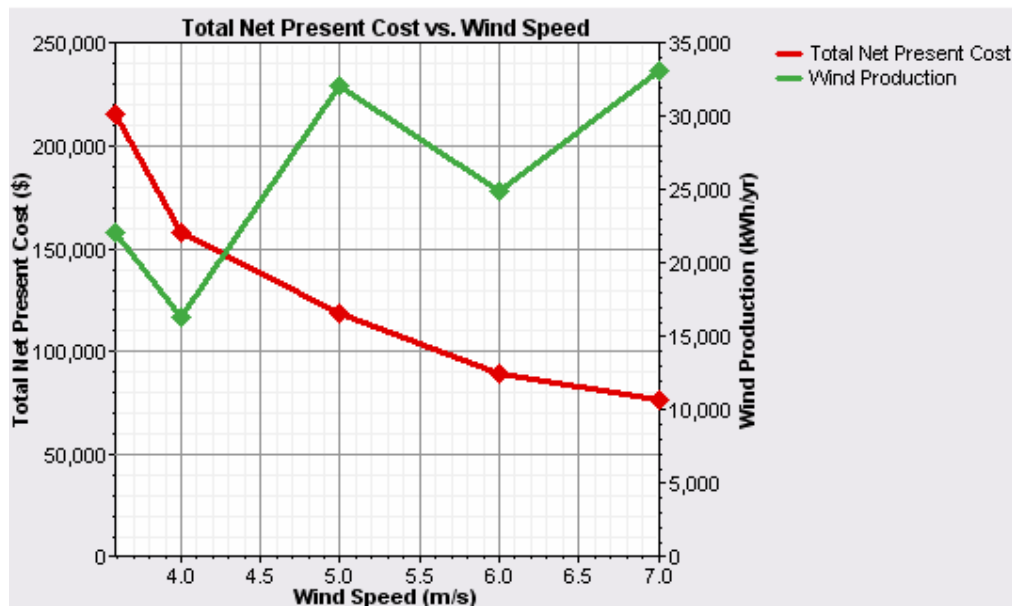
5.9 Γραφικές παραστάσεις

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν κάποια διαγράμματα της αιολικής παραγωγής σε σχέση με τα κόστη και τις μπαταρίες του συστήματος. Επίσης θα γίνει και σύγκριση της αιολικής ενέργειας με άλλες μορφές ενέργειας.

5.9.1 Μπαταρίες μολύβδου οξέος

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα διαγράμματα της αιολικής παραγωγής σε σχέση με τα κόστη και τις μπαταρίες του συστήματος. Τα διαγράμματα είναι τα ακόλουθα:

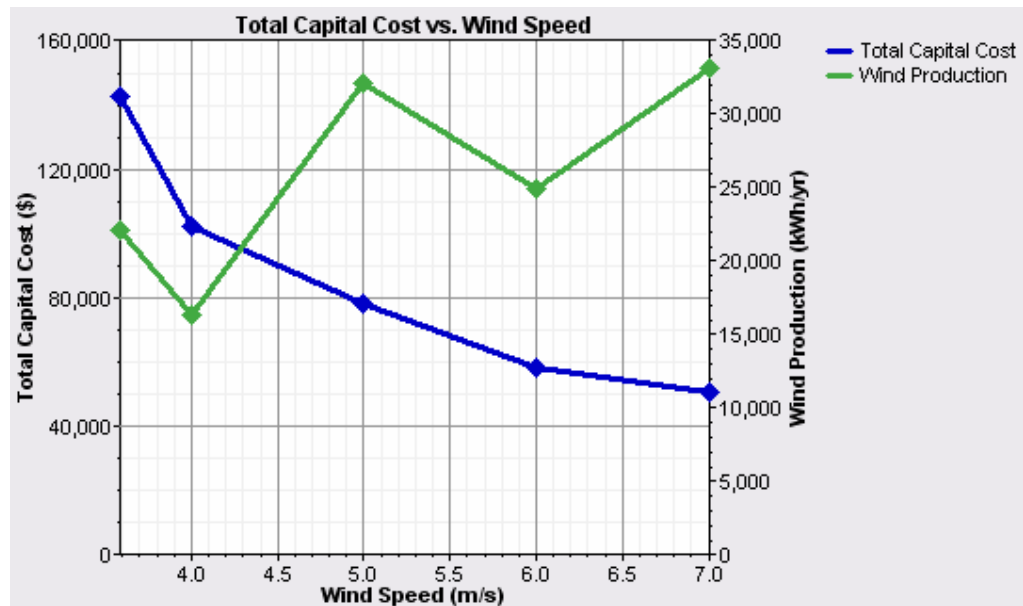
Στο σχήμα 5.9 απεικονίζεται η γραφική παράσταση της αιολικής παραγωγής σε σχέση με το ολικό καθαρό παρόν κόστος. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η πορεία της αιολικής παραγωγής δεν είναι σταθερή αλλά αυξομειώνεται συνέχεια. Ενώ η πορεία για το καθαρό παρόν κόστος είναι καθοδική. Η καμπύλη του ξεκινάει από μια υψηλότερη τιμή από ότι η καμπύλη της αιολικής ενέργειας και καταλήγει σε μια τιμή πολύ μικρότερη από αυτή της αιολικής παραγωγής. Η καθοδική πορεία του καθαρού παρόντος κόστους οφείλεται στις μεταβολές της ταχύτητας του αέρα. Όσο μεγαλώνει η τιμή της ταχύτητας του ανέμου, τόσο πέφτει η τιμή του καθαρού παρόντος κόστους.



Σχήμα 5.9: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με το ολικό καθαρό παρόν κόστος.

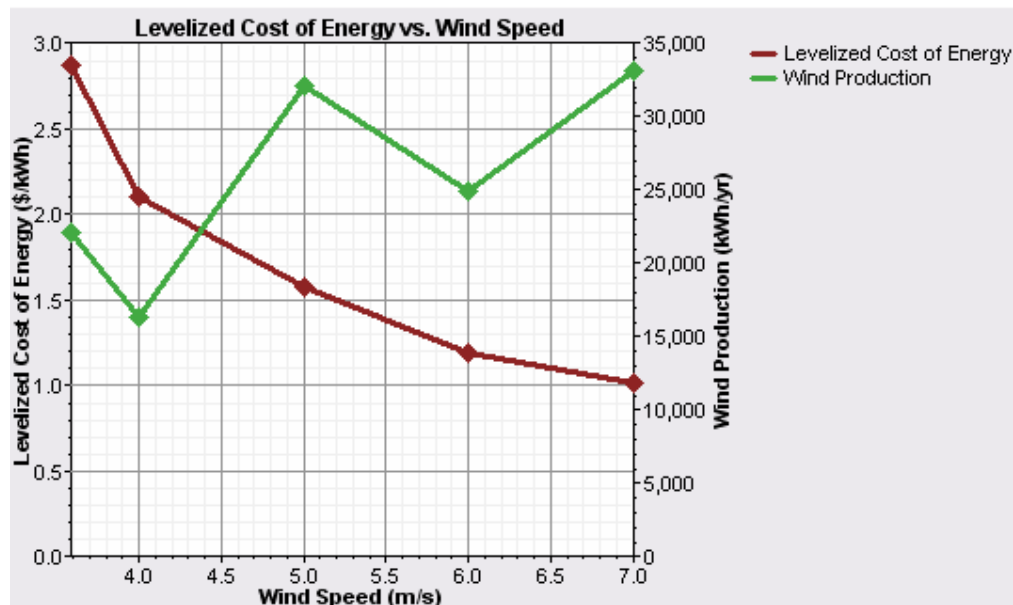
Όπως και στο προηγούμενο σχήμα έτσι και εδώ η καμπύλη της αιολικής παραγωγής παρουσιάζει αυξομειώσεις, ενώ η καμπύλη του ολικού κόστους κεφαλαίου έχει καθοδική πορεία. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η καμπύλη κάθε μεγέθους ξεκινά από μια αρχική τιμή διαφορετική από αυτή του Σχήματος 5.9, αλλά καταλήγει στις ίδιες τιμές με αυτές του Σχήματος 5.9. Η καθοδική πορεία της

καμπύλης του ολικού κόστος κεφαλαίου οφείλεται στις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου.



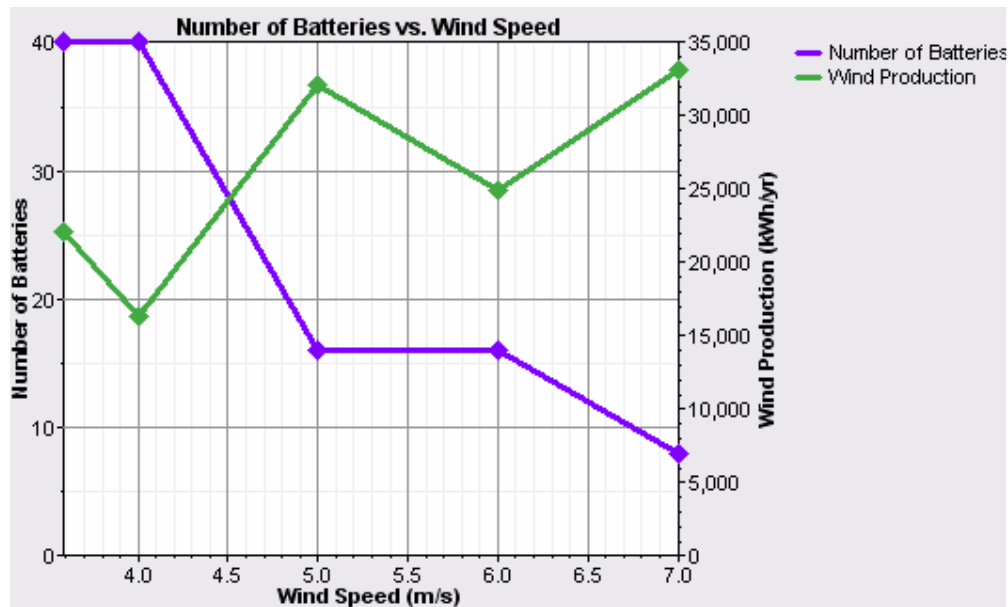
Σχήμα 5.10: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με το ολικό κόστος κεφαλαίου.

Οι πορείες που ακολουθούν οι 2 καμπύλες είναι παρόμοιες με αυτές των προηγούμενων σχημάτων (5.9 και 5.10).



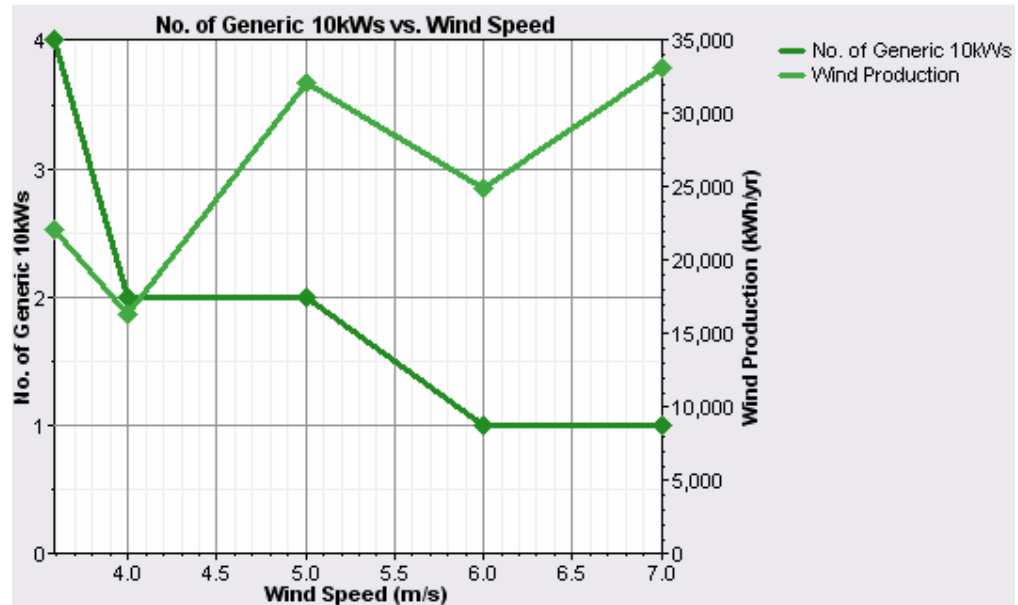
Σχήμα 5.11: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με το κόστος ενέργειας.

Στο σχήμα 5.12 παρατηρείται ότι η καμπύλη της αιολικής παραγωγής έχει αυξομειώσεις στην πορεία της, ενώ η καμπύλη των μπαταριών έχει μια καθοδική πορεία και παρουσιάζει στασιμότητες σε ορισμένα σημεία. Αυτό οφείλεται στην ταχύτητα του ανέμου. Όσο πιο μικρή είναι η ταχύτητα του ανέμου τόσο περισσότερες μπαταρίες χρειάζεται, ενώ όσο μεγαλώνει τόσο λιγότερο αριθμό μπαταριών χρειάζεται. Και συνεπώς όσο μικρότερο αριθμός μπαταριών απαιτείται τόσο λιγότερο κόστος έχει η αιολική παραγωγή. Άρα όσο μεγαλώνει η ταχύτητα του ανέμου, τόσο μειώνεται ο αριθμός μπαταριών του συστήματος και το κόστος της αιολικής παραγωγής.



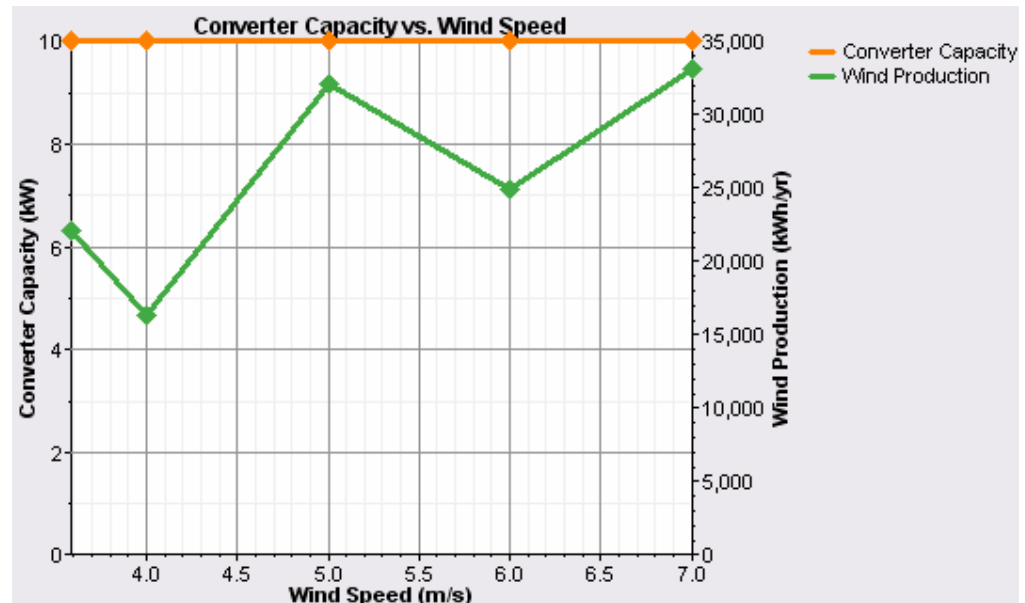
Σχήμα 5.12: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με των αριθμών των μπαταριών.

Η καμπύλη του αριθμού των ανεμογεννητριών είναι καθοδική και έχει στασιμότητες σε κάποια σημεία. Ενώ η καμπύλη της αιολικής παραγωγής είναι της ίδιας μορφής με τα υπόλοιπα σχήματα. Υπάρχει ένα σημείο όπου οι 2 καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται.



Σχήμα 5.13: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με τον αριθμό των ανεμογεννητριών.

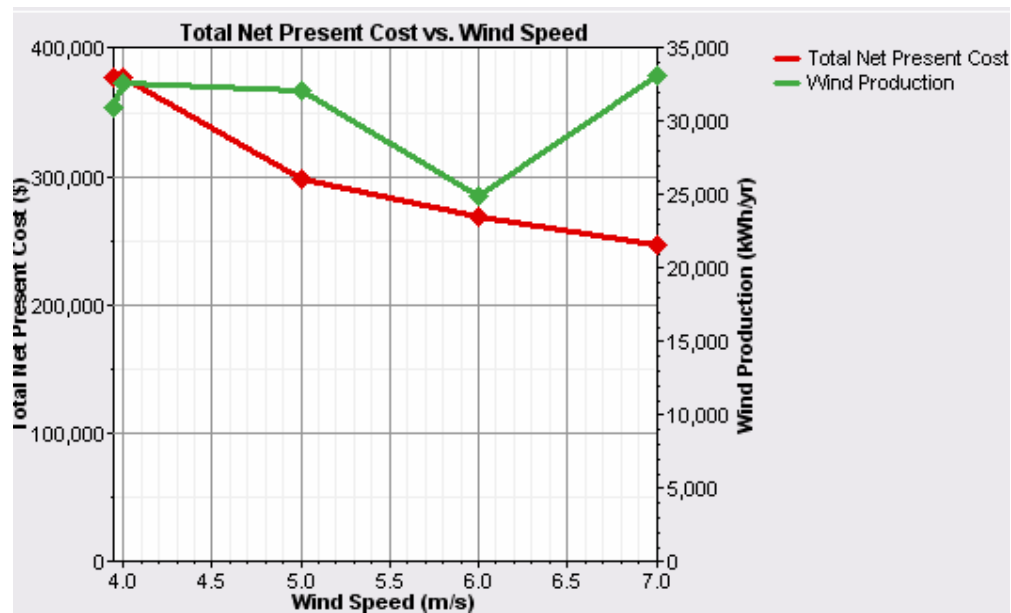
Στην καμπύλη του σχήματος 5.14 παρατηρείται ότι η καμπύλη της χωρητικότητας του πυκνωτή είναι μια ευθεία γραμμή. Συνεπώς δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου.



Σχήμα 5.14: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με την χωρητικότητα του πυκνωτή.

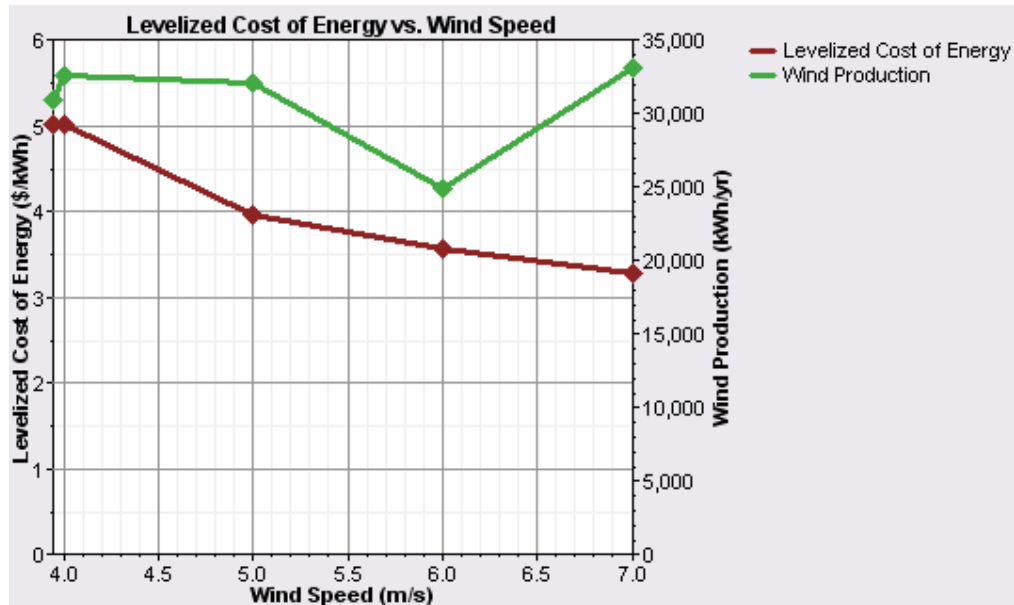
5.9.2 Μπαταρίες νικελίου καδμίου

Στην καμπύλη του σχήματος 5.15 η πορεία της αιολικής παραγωγής παρουσιάζει αυξομειώσεις, ενώ η καμπύλη του ολικού καθαρού παρόντος κόστους είναι καθοδική. Η τιμή του καθαρού παρόντος κόστους είναι μεγαλύτερη από αυτή στην περίπτωση των μπαταριών μολύβδου οξέος και αυτό οφείλεται στην τιμή του μεγέθους των μπαταριών. Επίσης το τελικό κόστος της καμπύλης της αιολικής παραγωγής είναι ίδιο με αυτό των μπαταριών μολύβδου οξέος παρότι έχει μεγαλύτερο αρχικό κόστος από τις μολύβδου οξέος.



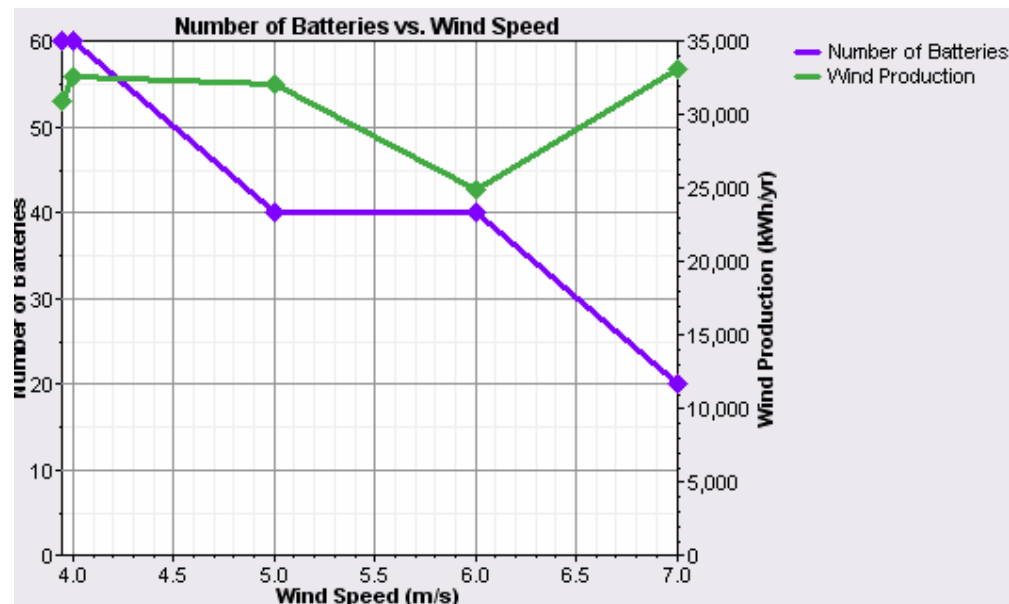
Σχήμα 5.15: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με το ολικό καθαρό παρόν κόστος.

Η καμπύλη της αιολικής παραγωγής είναι σχεδόν ίδια με αυτή του σχήματος 5.16, ενώ η καμπύλη του κόστους ενέργειας είναι καθοδική γιατί μειώνεται και το αρχικό κόστος κεφαλαίου.



Σχήμα 5.16: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με το κόστος ενέργειας.

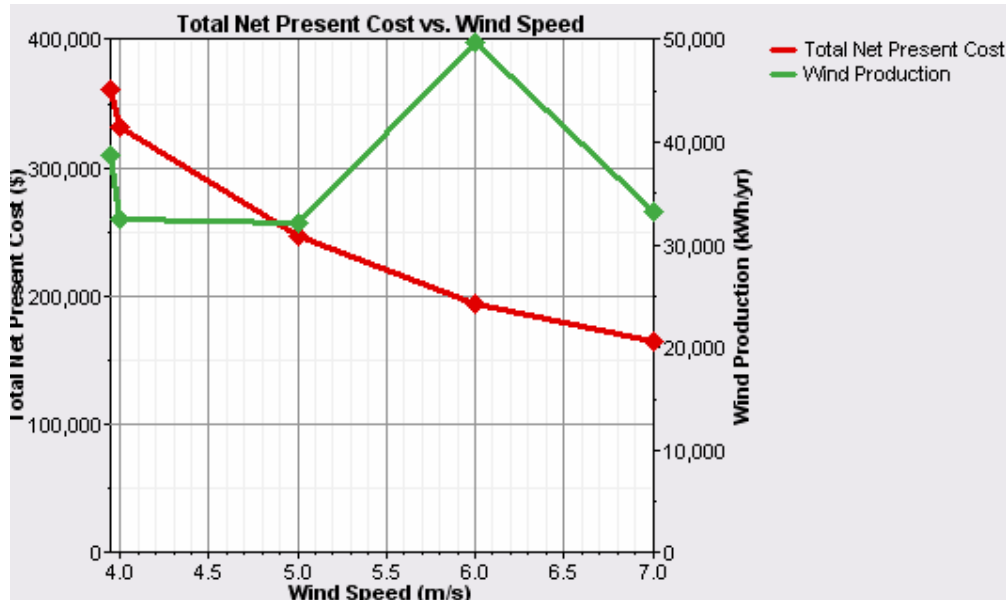
Στο σχήμα 5.17 παρατηρείται ότι η καμπύλη της αιολικής παραγωγής έχει αυξομειώσεις στην πορεία της, ενώ η καμπύλη των μπαταριών έχει μια καθοδική πορεία και παρουσιάζει στασιμότητες σε ορισμένα σημεία. Αυτό οφείλεται στην ταχύτητα του ανέμου. Η καμπύλη των μπαταριών είναι καθοδική αλλά λιγότερη απότομη σε σχέση με την καμπύλη της μπαταρίας μολύβδου οξέος.



Σχήμα 5.17: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με τον αριθμό των μπαταριών.

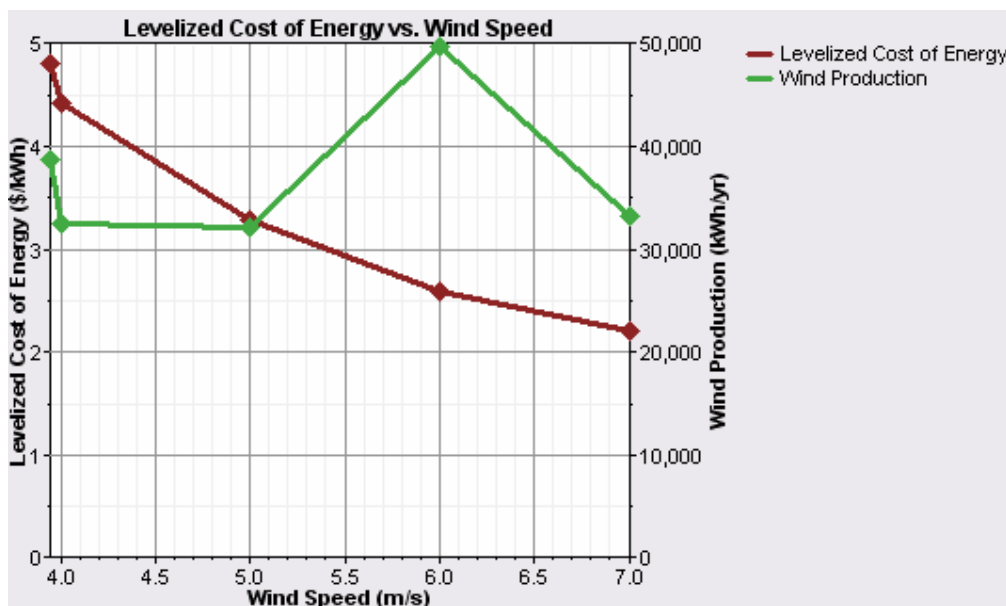
5.9.3 Μπαταρίες ιόντος λιθίου

Η καμπύλη του ολικού καθαρού παρόντος κόστους είναι καθοδική, με μεγάλο αρχικό κόστος, το οποίο οφείλεται στο υψηλό κόστος των μπαταριών ιόντος λιθίου. Ενώ η καμπύλη της αιολικής παραγωγής παρουσιάζει αυξομειώσεις και σε μια περίοδο είναι στάσιμη, αλλά μετά αυξάνεται απότομα σε μια πολύ υψηλή τιμή.



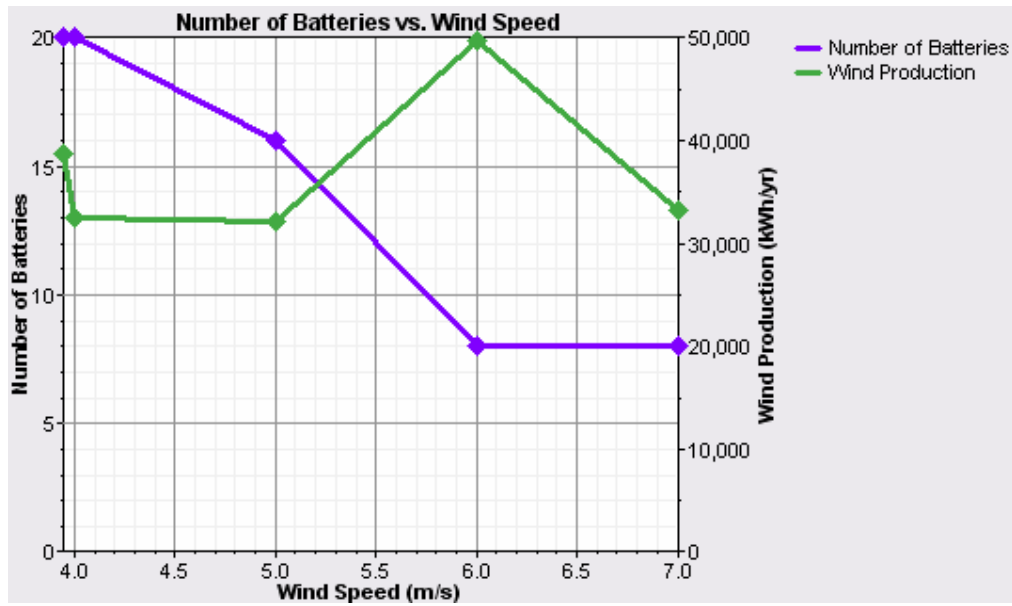
Σχήμα 5.18: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με το ολικό καθαρό παρόν κόστος.

Η μορφή των καμπυλών και για τα 2 μεγέθη είναι παρόμοια με αυτή του σχήματος 5.18 και αυτό οφείλεται στο υψηλό κόστος μπαταριών.



Σχήμα 5.19: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με το κόστος ενέργειας.

Η μορφή της καμπύλης των μπαταριών είναι καθοδική, ενώ στην τελευταία περίοδο είναι στάσιμη. Αντίθετα η καμπύλη της αιολικής παραγωγής παρουσιάζει μεγάλες και απότομες αλλαγές.



Σχήμα 5.20: Καμπύλη αιολικής παραγωγής σε σχέση με τον αριθμό των μπαταριών.

Συμπέρασμα: Από τις καμπύλες με τα κόστη και τις μπαταρίες παρατηρείται ότι το κόστος της μπαταρίας παίζει σημαντικό ρόλο στη μορφή της καμπύλης. Όσο μικρότερο είναι το κόστος τόσο πιο ομαλή είναι η καμπύλη και τόσο μικρότερο το αρχικό και ολικό κόστος. Ενώ όσο πιο υψηλή είναι η τιμή τους τόσο πιο απότομες γίνονται οι μορφές των καμπυλών και τόσο πιο υψηλό είναι το κόστος της αιολικής παραγωγής.

5.10 Βιβλιογραφία

- [5.1] NREL, HOMER: the optimization model for distributed power. National renewable energy laboratory. It can be downloaded from <http://www.nrel.gov/homer>
- [5.2] http://www.ibt-power.com/Battery_packs/Li_Ion/Lithium_ion_tech.html

Κεφάλαιο 6 – Αιολική ενέργεια

6.1 Γενικά

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας

Οι μετακινήσεις του αέρα, οι άνεμοι, προέρχονται από τις μεταβολές και τις διαφορετικές από τόπο σε τόπο τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι διαφορετικές αυτές τιμές της πίεσης οφείλονται στη διαφορετική θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας) της ατμόσφαιρας κάθε τόπου από τον Ήλιο.

Ο άνθρωπος από πολύ παλιά κατάλαβε πόσο σημαντική μπορεί να αποδειχθεί η ενέργεια που δίνει ο άνεμος όταν φυσάει και αξιοποίησε τη δύναμη των ανέμων σε διάφορες χρήσεις. Τα ιστιοφόρα πλοία μετέφεραν ανθρώπους και εμπορεύματα διασχίζοντας τις θάλασσες και πάνω τους στήριζαν την ακμή και την οικονομική τους ευρωστία μεγάλες πόλεις που κυριάρχησαν στην ιστορία. Οι ανεμόμυλοι πάλι, που άφθονους βλέπει κανείς κυρίως στα νησιά, ήταν πολύτιμοι βοηθοί στην παραγωγή του αλευριού, βασικού παράγοντα διατροφής σε όλες τις ανθρώπινες κοινωνίες.

Αυτή η ενέργεια, η αιολική (υπενθυμίζεται ότι ο Αίολος ήταν ο “διαχειριστής” των ανέμων, κατά τους αρχαίους Έλληνες), αξιοποιείται σήμερα ολοένα και περισσότερο, σε περιοχές όπου συχνά φυσούν ισχυροί άνεμοι. Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούνται σήμερα οι ανεμογεννήτριες, με τις οποίες μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με συστηματικό τρόπο άρχισε παγκοσμίως στις αρχές της δεκαετίας του '80, όταν προκλήθηκε η πρώτη πετρελαϊκή κρίση και αυξήθηκε πολύ τα τελευταία χρόνια. Η αιολική ενέργεια και ανεξάντλητη ως ανανεώσιμη είναι (αφού ο ήλιος θα φροντίζει πάντα να υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των διάφορων περιοχών της γης, ώστε να προκαλούνται οι άνεμοι) καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον (αφού η μετατροπή της σε ηλεκτρική δεν το επιβαρύνει).

Σήμερα, στη γενική τους μορφή οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε άλλες πιο χρήσιμες μορφές ενέργειας, όπως η θερμική, η ηλεκτρική και φυσικά η μηχανική .

Ο άνεμος, όμως, είναι μια ανεξέλεγκτη και χρονικά μεταβαλλόμενη σε όλες τις παραμέτρους πηγή ενέργειας. Η δέσμευση και χρησιμοποίηση της ενέργειας αυτής, είναι ως εκ τούτου μια πολύ δαπανηρή διαδικασία. Η σχεδίαση και η κατασκευή μιας αποδοτικής και παράλληλα οικονομικής ανεμογεννήτριας δεν είναι εύκολη δουλειά. Παρόλα αυτά, οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιώντας τα πρόσφατα επιτεύγματα στην τεχνολογία των υλικών, στη μηχανολογία, στην

ηλεκτρονική και στην αεροδυναμική, έχουν ανεβάσει σε υψηλά επίπεδα την απόδοση τους, μειώνοντας συνεχώς το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

Η μελέτη ενός συστήματος ανεμογεννήτριας (Α/Γ), περιλαμβάνει την αεροδυναμική σχεδίαση και τη μελέτη εφαρμογής, στην οποία περιλαμβάνονται η μηχανολογική μελέτη και σχεδίαση, η μελέτη του ηλεκτρολογικού συστήματος και τα ηλεκτρολογικά συστήματα ελέγχου και ασφαλείας. Η αεροδυναμική σχεδίαση αποτελεί προϋπόθεση για τον σχεδιασμό ενός συστήματος δέσμωσης και μετατροπής της ενέργειας του ανέμου, ενώ η ηλεκτρομηχανολογική μελέτη είναι το αμέσως επόμενο και αναγκαίο στάδιο για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος, κατά τον αποδοτικότερο και πλέον συμφέροντα τεχνοοικονομικό τρόπο .

Η πρώτη μεγάλη ανεμογεννήτρια, γνωστή ως Smith -Putman σχεδιάστηκε και εγκαταστάθηκε στις ΗΠΑ. Η σχεδίαση της άρχισε στα τέλη της δεκαετίας του '30 και οι δοκιμές της έγιναν στις αρχές της δεκαετίας του '40. Η ισχύς της ήταν 1250 KW και είχε δύο πτερύγια από χάλυβα με διάμετρο περιστροφής 53 μέτρα, τοποθετημένα σε έναν πύργο ύψους 33,5 μέτρων.

Το σύγχρονο ενδιαφέρον, με κρατική χρηματοδότηση, άρχισε στις ΗΠΑ το 1973. Το πρόγραμμα της πρώτης μεγάλης Α/Γ, με τον κωδικό Mod-0, ανατέθηκε στη NASA και περιλάμβανε τη σχεδίαση, κατασκευή και δοκιμή μιας Α/Γ ισχύος 100 KW με διάμετρο δρομέα 38 μέτρα. Σκοπός του προγράμματος αυτού ήταν η εξαγωγή πληροφοριών και συμπερασμάτων για την εκπόνηση ενός ευρύτερου προγράμματος αιολικής ενέργειας.

Στην Ευρώπη την πρωτοπορία στην αγορά των ανεμογεννητριών την κατέχει η Δανία. Άλλες χώρες με ανεπτυγμένο το κλάδο σχεδίασης και κατασκευής Α/Γ , είναι η Ολλανδία, η Βρετανία, το Βέλγιο και πρόσφατα η Ιταλία και η Ισπανία.

Στη χώρα μας έγινε μια προσπάθεια από την Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, πριν από μερικά χρόνια, για τη μερική κατασκευή και συναρμολόγηση ανεμογεννητριών Βρετανικής σχεδίασης. Για διάφορους λόγους, που έχουν σχέση με τη Βρετανική εταιρία η προσπάθεια δεν παρουσίασε τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Η απόφαση, όμως της Δ.Ε.Η να εκμεταλλευτεί σε σημαντικό βαθμό τη αιολική ενέργεια και η αναμενόμενη απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, δημιουργούν τις πολύ καλές προοπτικές στην αγορά των ανεμογεννητριών. Εάν δε, ληφθεί υπόψη ότι οι περισσότερες εταιρίες της παγκόσμιας αγοράς σχεδιάζουν τις κατασκευές τους με βάση τυποποιημένα εξαρτήματα και συστήματα, είναι φανερό ότι και η Ελλάδα μπορεί, τουλάχιστον στην εσωτερική αγορά να συμπεριλάβει και εγχώριες κατασκευές.

6.2 Πλεονεκτήματα- μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας

6.2.1 Πλεονεκτήματα

Απορρέοντας από τον άνεμο, η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια δεν μολύνει την ατμόσφαιρα όπως τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού τα οποία στηρίζονται στην καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακα ή φυσικό αέριο. Οι ανεμογεννήτριες δεν εκλύουν χημικές ουσίες στο περιβάλλον οι οποίες προκαλούν όξινη βροχή ή αέρια του θερμοκηπίου.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες η αιολική ενέργεια είναι οικιακή πηγή ενέργειας,

καθώς αφθονεί η διαθέσιμη πηγή, ο άνεμος. Η τεχνολογία που αναπτύσσεται περί την αιολική ενέργεια είναι μια από τις πιο οικονομικές που υπάρχουν σήμερα στον χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κοστίζει ανάμεσα σε 4 και 6 λεπτά ανά κιλοβατώρα, η τιμή εξαρτάται από την ύπαρξη/παροχή ανέμου και από τη χρηματοδότηση ή μη του εκάστοτε προγράμματος παραγωγής αιολικής ενέργειας.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να στηθούν σε αγροκτήματα ή ράντσα, έτσι ωφελώντας την οικονομία των αγροτικών περιοχών, όπου βρίσκονται οι περισσότερες από τις καλύτερες τοποθεσίες από την άποψη του ανέμου. Οι αγρότες μπορούν να συνεχίσουν να εργάζονται στη γη, καθώς οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μόνον ένα μικρό μέρος της γης. Οι ιδιοκτήτες των εγκαταστάσεων για την παραγωγή αιολικής ενέργειας πληρώνουν ενοίκιο στους αγρότες για τη χρήση της γης.

6.2.2 Μειονεκτήματα

Η αιολική ενέργεια πρέπει να συναγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε επίπεδο κόστους. Ανάλογα με το πόσο ενεργητική, ως προς τον άνεμο, είναι μια τοποθεσία, το αιολικό πάρκο μπορεί ή δεν μπορεί να είναι ανταγωνιστικό ως προς το κόστος. Παρότι το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί δραματικά τα τελευταία 10 χρόνια, η τεχνολογία απαιτεί μια αρχική επένδυση υψηλότερη από εκείνη των γεννητριών που λειτουργούν με καύση ορυκτών.

Η ισχυρότερη πρόκληση στη χρησιμοποίηση του ανέμου ως πηγή ενέργειας είναι ότι ο άνεμος είναι περιοδικά διακοπτόμενος και δεν φυσά πάντα όταν ο ηλεκτρισμός απαιτείται. Η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί (εκτός αν χρησιμοποιηθούν μπαταρίες). Επιπλέον, δεν μπορούν όλοι οι άνεμοι να τιθασευτούν ώστε να καλυφθούν, τη στιγμή που προκύπτουν, οι ανάγκες σε ηλεκτρισμό.

Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα συχνά βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από πόλεις όπου χρειάζεται ο ηλεκτρισμός.

Η ανάπτυξη της εκμετάλλευσης του ανέμου ως φυσικού πόρου μπορεί ίσως να συναγωνιστεί άλλες χρήσεις της γης και αυτές οι εναλλακτικές χρήσεις ίσως χαίρουν μεγαλύτερης εκτιμήσεως από ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού.

Αν και τα αιολικά πάρκα έχουν σχετικά μικρή επίπτωση στο περιβάλλον σε σύγκριση με άλλες συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, υπάρχει ένας προβληματισμός για τον θόρυβο που παράγεται από τις λεπίδες του ηλεκτρικού κινητήρα (ρότορα), για την αισθητική (οπτική) επίπτωση και για τα πουλιά που μερικές φορές έχουν σκοτωθεί καθώς πετούσαν προς τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα έχουν επιλυθεί ή έχουν σε σημαντικό βαθμό μειωθεί μέσω της τεχνολογικής ανάπτυξης ή μέσω της επιλογής κατάλληλων περιοχών για τη δημιουργία αιολικών πάρκων.

6.3 Τύποι και υποσυστήματα ανεμογεννητριών

Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.

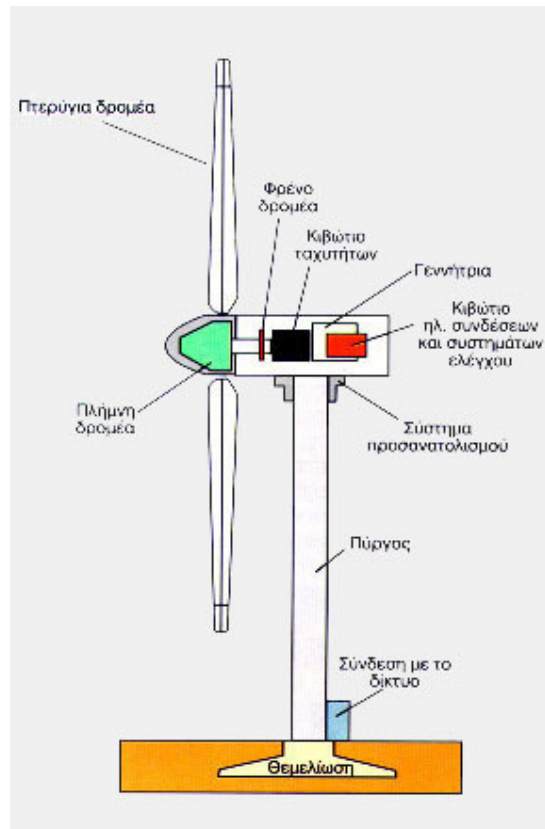
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt.

Οι τυπικές διαστάσεις μιας ανεμογεννήτριας 500 kW είναι : Διάμετρος δρομέα, 40 μέτρα και ύψος 40-50 μέτρα, ενώ αυτής των 3 MW οι διαστάσεις είναι 80 και 80–100 μέτρα αντίστοιχα.

Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός λόγος, εκτός ίσως από την εμφάνιση, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια. Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη (Σχήμα 6.1):

- το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα.
- το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής.
- την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
- το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.
- τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.



Σχήμα 6.1: Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα

Η μεγαλύτερη πρόκληση για την οικονομική χρήση της αιολικής ενέργειας είναι οι διακυμάνσεις της. Υπάρχουν πολύ λίγες περιοχές στη γη όπου ο αέρας είναι αρκετά σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ένα αποθηκευτικό ή εφεδρικό σύστημα είναι πάντα απαραίτητο, σε αυτόνομα συστήματα, για περιόδους άπνοιας ή πνοής ισχυρών ανέμων, όπως επίσης και για την ισοστάθμιση της παραγόμενης ενέργειας με την απαιτούμενη προς κατανάλωση, όταν ο άνεμος δεν είναι αρκετά δυνατός ή η κατανάλωση μεγαλύτερη της προβλεπόμενης.

Για τα μικρά συστήματα (μέχρι λίγα kW) χρησιμοποιούνται αποθηκευτικά συστήματα παρόμοια με εκείνα που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά. Σε γενικές γραμμές αποτελούνται από μπαταρίες, πιθανότατα παράλληλα με γεννήτριες συμβατικών καυσίμων. Στα υβριδικά συστήματα παραγωγής, η ανεμογεννήτρια συνδέεται συχνά με μια γεννήτρια και μια σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Για τα μεγάλα συστήματα, το πρόβλημα των καιρικών διακυμάνσεων είναι πιο πολύπλοκο. Μια δυνατότητα είναι να συνδεθούν οι ανεμογεννήτριες του αιολικού πάρκου με ένα τοπικό δίκτυο υψηλής τάσης με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα έκθεσης του συστήματος σε άπνοια. Προτάσεις έχουν γίνει και για την σύνδεση ανεμογεννητριών με υδροηλεκτρικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Κατάλληλες περιοχές για οικονομική αποθήκευση απαιτούνται για αυτήν την επιλογή. Η στρατηγική που ακολουθείται πάντως για τα μεγάλα αιολικά συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο, είναι η μη χρησιμοποίησή

αποθηκευτικών μέσων όπου οι ανεμογεννήτριες αντικαθιστούν συμβατικά καύσιμα. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα μεγάλα ηλεκτρικά συστήματα μπορούν να απορροφήσουν περίπου 10% από τη συμβολή της αιολικής ενέργειας χωρίς κάποια επίδραση στην διαχείριση του δικτύου, ενώ μεγάλες εταιρίες στοχεύουν στην αύξηση αυτού του ποσοστού στο 70%.

Τέλος, όπως και με άλλες μορφές ενέργειας, μια άλλη μορφή αποθήκευσης είναι να μετατραπεί η ενέργεια άμεσα στην τελική της χρήση. Παραδείγματος χάριν, συνηθίζεται η άντληση, προς αποθήκευση σε δεξαμενές, νερού με αντλίες που κινούνται με αιολική ενέργεια. Σε ειδικές περιπτώσεις, η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί άμεσα υπό μορφή θερμότητας (για νερό ή τη θέρμανση χώρου), ως πόσιμο νερό (με μηχανές αντίστροφης όσμωσης), ή ακόμα και υπό μορφή πάγου για την ψύξη.

6.4 Βιβλιογραφία

- [6.1] <http://www.aenaon.net/gr/content/view/54/29>
- [6.2] http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm
- [6.3] http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power
- [6.4] <http://www.physics4u.gr/energy/windenergy.html>

Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκε η επίδραση των συστημάτων αποθήκευσης στην αιολική παραγωγή. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα HOMER. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε μελετώντας την συμπεριφορά των μπαταριών στην αιολική παραγωγή.

Το HOMER είναι ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση της σχεδίασης ενός υβριδικού συστήματος ενέργειας. Το HOMER είναι ένα οικονομικό πρότυπο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το HOMER για να γίνει σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συνδυασμών των συστατικών μερών του υβριδικού συστήματος και για να εξεταστεί πώς οι παραλλαγές στις τιμές κάποιων μεταβλητών έχουν επιπτώσεις στο κόστος των λειτουργούντων διαφορετικών στοιχείων των υβριδικών συστημάτων ενέργειας.

Το HOMER είναι ένα ωριαίο πρότυπο. Διαμορφώνει τα στοιχεία των υβριδικών συστημάτων, τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους και τα φορτία σε ωριαία βάση για ένα έτος. Οι ενεργειακές ροές και οι δαπάνες είναι σταθερές κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης ώρας. Το HOMER μπορεί να συνθέσει τα ωριαία στοιχεία των πόρων (π.χ. αιολικό δυναμικό, πόρος βιομάζας κτλ) από τους μηνιαίους μέσους όρους που εισάγονται στους πίνακες ή από τα στοιχεία που εισάγονται με τη βοήθεια κατάλληλα μορφοποιημένων αρχείων.

Για να χρησιμοποιηθεί το HOMER, εισάγονται οι μεταβλητές, όπως είναι οι πληροφορίες για τα φορτία, τα συστατικά μέρη του υβριδικού συστήματος και οι πόροι του υβριδικού συστήματος. Το HOMER υπολογίζει και επιδεικνύει τα αποτελέσματα σε πίνακες και γραφικές παραστάσεις. Επίσης γίνεται ανάλυση ευαισθησίας σε παράγοντες όπως είναι η τιμή του πετρελαίου, η ταχύτητα αέρα, το ποσοστό της μη εξυπηρετούμενης ενέργειας, κτλ.

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά είδη μπαταριών: μολύβδου οξέος, νικελίου καδμίου, ιόντος λιθίου και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων τους.

- Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι οι πιο κοινές μπαταρίες και το HOMER χρησιμοποιεί κυρίως αυτόν τον τύπο μπαταρίας. Επίσης είναι γνωστές οι αποθηκευτικές τους ικανότητες και διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά (καμπύλες ζωής- ισχύος) μέσω του προγράμματος HOMER. Έχει υψηλά ποσοστά παραγωγής, υψηλό ποσοστό απόδοσης και διαθέτει μεγάλη ποικιλία μεγεθών και σχεδίων. Επίσης είναι οικονομική μπαταρία και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές.
- Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου είναι πολύ αξιόπιστες, μακράς διάρκειας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υψηλά ποσοστά εκφόρτισης. Επίσης έχουν χαμηλή συντήρηση και μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, καθώς και μεγάλο φάσμα χωρητικότητας.
- Οι μπαταρίες ιόντος λιθίου είναι αναπτυσσόμενες στον τομέα της αποθήκευσης και συνεχώς εξελίσσονται και χρησιμοποιούνται σε πολλούς

τομείς. Έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, χαμηλή θερμοκρασία και μεγαλύτερη αντίσταση στη διαρροή. Το μεγάλο μειονέκτημα τους είναι το αρχικό τους κόστος.

Η επιλογή των διαφορετικών τύπων μπαταριών έγινε για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τους άλλους τύπους μπαταριών. Για να γίνει αυτό εισήχθησαν στη βιβλιοθήκη του HOMER πληροφορίες για τις μπαταρίες νικελίου καδμίου και τις ιόντος λιθίου. Εισάγοντας στο πρόγραμμα HOMER όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά (χρόνος ζωής, κύκλος φόρτισης-εκφόρτισης) των συγκεκριμένων μπαταριών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση του υβριδικού συστήματος που μελετήθηκε.

Ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα σύστημα το οποίο περιλαμβάνει συνδυασμό συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, το σύστημα αυτό μπορεί να περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Ως συμβατικές μορφές ενέργειας ορίζονται ο λιγνίτης, ο άνθρακας, το πετρέλαιο (ορυκτά καύσιμα). Οι πηγές αυτές δημιουργούνται απ' τη φύση με πολύ αργούς ρυθμούς ενώ καταναλώνονται πολύ γρήγορα.

Ενώ ως ανανεώσιμες ορίζονται οι ενεργειακές πηγές που τροφοδοτούνται συνεχώς με ενέργεια από τον ήλιο με τέτοιους ρυθμούς, ώστε να θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες και ικανές να υποκαταστήσουν πολλές από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον είναι καθαρές πηγές ενέργειας.

Στην παρούσα εργασία το υβριδικό σύστημα που μελετήθηκε περιλάμβανε ανεμογεννήτριες, μπαταρίες και μετατροπέα. Το φορτίο του υβριδικού συστήματος κάλυπτε τις ανάγκες μιας μικρής κατοικίας. Μετά την προσομοίωση του συστήματος τα βέλτιστα αποτελέσματα για κάθε σύστημα είναι τα ακόλουθα: Οι μολύβδου οξέος έχουν καθαρό παρόν κόστος: **76.171\$**, οι νικελίου καδμίου έχουν: **247.035\$**, ενώ οι ιόντος λιθίου: **196.147\$**. Συνεπώς συμπεραίνεται ότι στην προσομοίωση των αποτελεσμάτων, έπαιξε σημαντικό ρόλο μικρό ο τύπος της μπαταρίας και το κόστος της. Παρατηρείται ότι παρόλο που οι μπαταρίες ιόντος λιθίου είχαν πολύ υψηλό κόστος σε σχέση με τους άλλους τύπους, εντούτοις παρουσιάζει μικρό καθαρό παρόν κόστος σε σχέση με τις νικελίου καδμίου και αυτό οφείλεται στο μέγεθος των μπαταριών. Το βέλτιστο σύστημα των μπαταριών νικελίου καδμίου απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό μπαταριών, συγκεκριμένα 20 μπαταρίες για αυτό και παρουσιάζει υψηλό κόστος. Ενώ οι ιόντος λιθίου μπαταρίες απαιτούν μόνο 8 μπαταρίες.

Ακόμη το HOMER παρουσιάζει και σε γραφική απεικόνιση το βέλτιστο υβριδικό σύστημα με τα μεγέθη που το αποτελούν. Στην παρούσα εργασία η γραφική λύση παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5. Εκεί δίνονται οι καμπύλες των διαφορετικών τύπων μπαταριών με την αιολική παραγωγή. Επίσης υπάρχουν καμπύλες που δείχνουν τη σχέση αιολικής παραγωγής με το κόστος και με τα άλλα μεγέθη του συστήματος.

- Στις καμπύλες ταχύτητας ανέμου – μέγεθος μπαταριών διαπιστώνεται ότι όσο μικρότερος αριθμός μπαταριών απαιτείται τόσο λιγότερο κόστος έχει η αιολική παραγωγή. Άρα όσο μεγαλώνει η ταχύτητα του ανέμου, τόσο μειώνεται ο αριθμός μπαταριών του συστήματος και το κόστος της αιολικής παραγωγής.
- Στις καμπύλες αιολικής παραγωγής – μετατροπέα διαπιστώνεται ότι η χωρητικότητα του μετατροπέα δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου.
- Στις καμπύλες αιολικής παραγωγής – κόστος συστήματος διαπιστώνεται ότι όσο μεταβάλλεται σε υψηλότερες τιμές η ταχύτητα του ανέμου τόσο μειώνεται το ολικό κόστος.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύσουν μικρά ποσά ενέργειας, για μεγάλες ποσότητες χρησιμοποιούνται άλλα συστήματα αποθήκευσης (όπως οι σφόνδυλοι). Επίσης οι μπαταρίες έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης, έχουν χαμηλό κόστος σε σχέση με άλλα συστήματα και χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές (αυτοκίνητα, κινητά, υπολογιστές).