



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΓΙΟΥΡΟΥΚΑ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ

ΓΕΩΡΓΙΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής

ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Διδάκτωρ

ΧΑΝΙΑ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 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 της ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2007 και ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2008, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή κ. Γεωργιλάκη Παύλου και του Διδάκτορα του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Κατσίγιαννη Ιωάννη.

Με την ευκαιρία της ολοκλήρωσης της εργασίας μου αυτής θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γεωργιλάκη για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με τον τομέα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως, τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Ιωάννη Κατσίγιαννη, η συμβολή του οποίου σε αυτή την εργασία ήταν πολύ μεγάλη και χωρίς την άψογη συνεργασία του και το ενδιαφέρον που έδειξε δε θα ήταν εφικτή η ολοκλήρωσή της.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ επίσης στην οικογένεια μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου σε κάθε μου προσπάθεια και μου παρείχαν όλα τα απαραίτητα, πέρα από την ψυχολογική στήριξη, για την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Ότι κατάφερα όλα αυτά τα χρόνια οφείλεται κυρίως σε αυτούς.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην αναφερθώ στους φίλους μου και να τους εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ όχι μόνο για τις ωραίες στιγμές που ζήσαμε μαζί στα Χανιά αλλά και για την υποστήριξή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη μελέτη των μικρών απομονωμένων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας που εμπεριέχουν τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προτείνοντας την βέλτιστη λύση με το ελάχιστο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Η προσομοίωση που εφαρμόζεται έχει ως στόχο την οικονομική αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της δομής τους, την ανάλυση ευαισθησίας και την ανάλυση αξιοπιστίας τους. Η αξιοπιστία είναι ένα σημαντικό ζήτημα στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και για αυτό στην παρούσα εργασία υπολογίζονται οι βασικοί δείκτες αξιοπιστίας. Καθώς όμως κάποια δεδομένα εισόδου του προβλήματος μεταβάλλονται, εξετάζεται πως οι μεταβολές αυτές επηρεάζουν το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τους δείκτες αξιοπιστίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Μικρά απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Αιολική ενέργεια, Ηλιακή ενέργεια, Ανάλυση αξιοπιστίας, Ανάλυση ευαισθησίας, Ανεμογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά, Μπαταρία, Γεννήτρια βιοντίζελ.

ABSTRACT

This thesis is concerned with the study of small isolated power systems that contain renewable energy sources technologies, as it suggests the optimum solution with the marginal cost of electric energy. The simulation that is applied has as purpose the economic evaluation and their optimal sizing, their sensitivity analysis and their reliability analysis. Reliability is an important issue in power systems and for this reason in this thesis calculated the basic reliability indexes. However some of the problem's inputs change and is studied how these changes affect the marginal cost of electric energy and the reliability indexes.

KEYWORDS

Small isolated power systems, Marginal cost of electric energy, Renewable energy sources, Wind energy, Solar energy, Reliability analysis, Sensitivity analysis, Wind energy, Solar energy, Battery storage, Biodiesel engine.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Η ενέργεια ως στόχος και προοπτική ανάπτυξης	1
1.2	Οι πηγές ενέργειας σήμερα	2
1.3	Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	3
1.4	Κύριες αιτίες κατασπατάλησης της ενέργειας	4
1.5	Ενέργεια και περιβάλλον	6
1.6	Στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	6
1.7	Σκοπός της εργασίας	7
1.8	Δομή της εργασίας	8
1.4	Βιβλιογραφία	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1	Εισαγωγή	9
2.2	Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας	9
2.2.1	Σκοπός και απαιτήσεις συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας	9
2.2.2	Δομή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας	9
2.2.2.1	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	10
2.2.2.2	Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας	12
2.2.2.3	Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας	12
2.2.2.4	Φορτία	13
2.3	Απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας	13
2.3.1	Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια	13
2.3.1.1	Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο	14
2.3.1.2	Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου	14
2.3.1.3	Πρότυπες συνθήκες ελέγχου	15
2.3.1.4	Χαρακτηριστικές καμπύλες του φωτοβολταϊκού στοιχείου	16
2.3.1.5	Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων	17
2.3.2	Αιολική ενέργεια	18
2.3.2.1	Αιολικό δυναμικό	18
2.3.2.2	Είδη ανεμογεννητριών	18
2.3.2.3	Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα	19
2.3.2.4	Κατανομή Weibull	21
2.3.2.5	Ισχύς κινητικής ενέργειας ανέμου	22
2.3.2.6	Επίδραση του ύψους του πύργου στην ισχύ του ανέμου	23

2.3.2.7	Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας	23
2.3.2.8	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας	24
2.3.3	Αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας	25
2.3.3.1	Συσσωρευτές Μολύβδου - θειϊκού οξέος	26
2.3.3.2	Χωριτηκότητα C	26
2.3.2.3	Χρόνος ζωής	27
2.3.2.4	Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή	28
2.3.2.5	Απόδοση συσσωρευτή	28
2.4	Βιβλιογραφία	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1	Εισαγωγή	29
3.2	Υπολογισμός ηλεκτρικής ισχύος φωτοβολταϊκών συστημάτων	29
3.2.1	Η θέση του ήλιου σε σχέση με την γη	30
3.2.2	Ηλιακή και ωρολογιακή ώρα	31
3.2.3	Ο προσανατολισμός του συλλέκτη	32
3.2.4	Ηλιακή ακτινοβολία και η επίδραση της ατμόσφαιρας της γης	33
3.2.5	Συνολική ηλιακή ένταση στην επιφάνεια της γης	34
3.3	Υπολογισμός ηλεκτρικής ισχύος αιολικών συστημάτων	35
3.4	Μοντελοποίηση μπαταρίας	37
3.5	Μοντελοποίηση μετατροπέα	37
3.6	Μοντελοποίηση γεννήτριας βιοντίζελ	38
3.7	Οικονομική μοντελοποίηση απομονωμένου συστήματος	38
3.8	Μοντελοποίηση της λειτουργίας του συστήματος	39
3.9	Βιβλιογραφία	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1	Εισαγωγή	43
4.2	Περιγραφή του συστήματος	43
4.3	Βασικό σενάριο	46
4.4	Ανάλυση ευαισθησίας	50
4.4.1	Αύξηση του ηλιακού δυναμικού κατά 5%	50
4.4.2	Μείωση του ηλιακού δυναμικού κατά 5%	53
4.4.3	Αύξηση του αιολικού δυναμικού κατά 10%	56
4.4.4	Μείωση του αιολικού δυναμικού κατά 10%	60

4.4.5	Αύξηση της ποινής ανικανοποίητης ζήτησης από 0.5€ σε 1€	63
4.4.6	Αύξηση της ποινής ανικανοποίητης ζήτησης από 0.5€ σε 1,5€	66
4.4.7	Αύξηση της τιμής του βιοντίζελ κατά 30%	69
4.4.8	Αύξηση του επιτοκίου κατά 10%	73
4.4.9	Αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου κατά 20%	76
4.5	Δείκτες αξιοπιστίας συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας	79
4.4.1	Αποτελέσματα ανάλυσης αξιοπιστίας	80
5.4	Βιβλιογραφία	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 83

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A	Κώδικες	85
---	---------	----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΩΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Η ενέργεια αποτέλεσε και αποτελεί τον κινητήριο μοχλό κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Σε όλη την ιστορική του πορεία, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε με εφευρετικότητα τις δυνατότητες που του παρείχε απλόχερα η ίδια η φύση, τη δύναμη της φωτιάς, του νερού, του ανέμου και του ήλιου, με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών της διαβίωσής του.

Στους πιο πρόσφατους αιώνες, χρησιμοποίησε την ενέργεια από την καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου και βρήκε τρόπο να την μετατρέπει στην περισσότερο εξευγενισμένη των μορφών της, τον ηλεκτρισμό. Στα μέσα του 20ου αιώνα, ένας νέος τρόπος παραγωγής ενέργειας ήρθε να δημιουργήσει ελπίδες, για ριζική επίλυση του παγκοσμίου ενεργειακού προβλήματος: η πυρηνική ενέργεια. Πολύ γρήγορα, όμως, δραματικά γεγονότα ήλθαν να επιβεβαιώσουν, χωρίς περιθώρια αμφισβήτησης, την αδυναμία μας να διασφαλίσουμε την ελεγχόμενη παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας.

Συνάμα, άρχισαν να επιβεβαιώνονται, με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο, οι προβλέψεις για σημαντικές επιβαρυντικές συνέπειες της μέχρι σήμερα συμπεριφοράς του ανθρώπου στο οικοσύστημα, εξαιτίας κυρίως της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων και πολλών, φαινομενικά αθώων, τεχνολογικών προϊόντων.

Όλα τα μηνύματα έδειχναν καθαρά, ότι η συνέχιση της πορείας μας στο μέλλον επιβάλλει την αλλαγή της καθημερινής νοοτροπίας μας και αναθεώρηση των αξιών της ζωής, σε συνδυασμό με τον επαναπροσδιορισμό της έννοιας και των στόχων της τεχνολογικής ανάπτυξης. Είναι πολύ σημαντικό και επιπλέον εξαιρετικά χρήσιμο για την ορθή επιλογή των μέτρων περιβαλλοντικής αποκατάστασης, να συνειδητοποιήσουμε το εντυπωσιακά μεγάλο μέγεθος της χρονικής απόκρισης του φυσικού μας κόσμου, σε κλιματικές μεταβολές. Απαιτούνται δεκαετίες για να διαπιστωθούν τα πρώτα ενθαρρυντικά θετικά αποτελέσματα, των όποιων σημερινών διορθωτικών επεμβάσεων στο οικολογικό σύστημα. Η αποδοχή των ριζικών αυτών αλλαγών στον τρόπο ζωής μας καθώς και στην τροποποίηση του είδους και του τρόπου παραγωγής ενέργειας και στόχων της τεχνολογίας, είναι η πιο δύσκολη φάση προσαρμογής μας στην νέα κατάσταση. Η ανησυχία και ο σκεπτικισμός των ολίγων οικολόγων, κάποτε, αποτελεί σήμερα καθημερινό προβληματισμό των περισσότερων.

Η διάσκεψη στο Ρίο, το καλοκαίρι του 1992, προσδιόρισε το πρόβλημα στις διαστάσεις του, προδιαγράφοντας άμεσες ενέργειες και επεμβάσεις. Τα επιστημονικά στοιχεία για την σχέση της βιομηχανικής δραστηριότητας με τις αρνητικές κλιματικές αλλαγές, την οικολογική υποβάθμιση και το δυσοίωνο μέλλον του πλανήτη μας, ήταν συντριπτικά. Παρά ταύτα, οι τρόποι αντιμετώπισης και ο έλεγχος εφαρμογής τους δεν βρήκαν όλες τις κυβερνήσεις σύμφωνες. Αιτία; Οι επαγόμενες συνέπειες από τον περιορισμό της δράσης της βιομηχανίας των ανεπτυγμένων χωρών. Ο στόχος να διατηρηθούν τα επίπεδα ρύπανσης μέχρι το 2000, σε αυτά του 1990, δεν φαίνεται, σήμερα, να έχει επιτευχθεί. Στην επόμενη, όμοια διάσκεψη, στο Κιότο της Ιαπωνίας, το Δεκέμβριο του 1997, καταβλήθηκε προσπάθεια για μια νέα συμφωνία, βασισμένη σε πιο δραστικά μέτρα, χωρίς τελικά να υπάρξει ομοφωνία.

Πάντως, παρά τις αντιδράσεις των ολίγων, αλλά ισχυρών αυτού του κόσμου, η ευαισθητοποίηση και η κινητοποίηση των πολιτών ολοένα και αυξάνει. Η εκφραζόμενη, ποικιλοτρόπως, πρόθεση αντιμετώπισης του θέματος σε διεθνή κλίμακα, δείχνει ότι συνειδητοποιούμε αργά, αλλά σταθερά, πως η τεχνολογία, ως καρπός ανώτερης πνευματικής εργασίας, πρέπει να έχει στόχο να θεραπεύει και να υπηρετεί τον άνθρωπο, με σεβασμό προς το οικοσύστημα που τον φιλοξενεί. Αυτό το οικοσύστημα, χώρος ανάπτυξης και διαβίωσης όλων των μορφών ζωής, δεν είναι υπόθεση μερικών ανθρώπινων γενεών. Χρειάστηκαν 5 δισεκατομμύρια χρόνια για να εξιδανικευτούν οι κλιματικές συνθήκες στον πλανήτη μας, σε τέτοιο βαθμό, που να συμβάλουν στη δημιουργία της ζωής.

Είναι γεγονός αδιαμφισβήτητο, η σημαντική συμβολή των πηγών ενέργειας μεγάλης ισχύος στην τεχνολογική πρόοδο, από την οποία προέκυψαν πολλά θετικά αποτελέσματα. Μέσα από την ιστορική αναγκαιότητα των συμβατικών καυσίμων ξεπήδησαν νέες και συνεχώς βελτιώνονται παλαιότερες μέθοδοι, εξευγενισμένης παραγωγής ενέργειας, χωρίς πρακτικά οικολογικές επιβαρύνσεις. Ο ήλιος και ο άνεμος θα έχουν τον πρώτο λόγο στις επόμενες δεκαετίες [1.1].

1.2. ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΜΕΡΑ

Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που ο άνθρωπος έχει στη διάθεσή του διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στις πηγές εκείνες που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα μέσα στον φλοιό της γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και σε αυτές που καθημερινά και αέναα μας παρέχονται σε βαθμό ήπιας εκμετάλλευσης. Στις πρώτες ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο), αναφερόμενα και ως συμβατικά καύσιμα και η χαρακτηριστικά μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια.

Οι δεύτερες, έχουν βασική τους προέλευση τον ήλιο. Η ακτινοβολούμενη από τον ήλιο ενέργεια, που φτάνει στην γη, εκτός από τη γενικότερη συμβολή της στη δημιουργία, ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, δίδει ακατάπαυστα ενέργεια, με διάφορες μορφές αξιοποίησης. Άμεσα θερμαίνει, εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας τις λίμνες και τα ποτάμια, που αποτελούν πρόσθετη πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (αιολική ενέργεια), δημιουργεί τα κύματα (ενέργεια κυμάτων). Απορροφούμενο από συνδυασμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκό φαινόμενο). Συμβάλλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας, η καύση δε των φυσικών προϊόντων παράγει ενέργεια (βιομάζα).

Οι κύριες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι:

Το κάρβουνο:

Αποτέλεσε για πολλά χρόνια μέχρι σήμερα, την κύρια καύσιμη ύλη. Σε αυτό βασίστηκε κατά κύριο λόγο, η βιομηχανική επανάσταση. Μεγάλο μέρος της σημερινής παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής βασίζεται στην ενέργεια από το την καύση ορυκτού άνθρακα.

Το πετρέλαιο:

Η παγκόσμια παραγωγή και χρήση του πήρε εκρηκτικές διαστάσεις στα μέσα του 20^{ου} αιώνα και μάλιστα τα συμβατικά καύσιμα που προέρχονται από το πετρέλαιο καλύπτουν το 85 % της καταναλισκόμενης ενέργειας των ανεπτυγμένων χωρών. Εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα αποθέματα των πετρελαϊκών πηγών θα επαρκέσουν ακόμα για 50 χρόνια.

Η πυρηνική ενέργεια:

Από το 1945 και μετά προστέθηκε στις μεγάλης ισχύος πηγές ενέργειας, η πυρηνική, στην οποία αρχικά βασίστηκαν πολλές ελπίδες. Όμως μετά τα ατυχήματα στους σταθμούς της Πενσυλβανίας και του Τσερνομπίλ, η ανθρωπότητα τρομοκρατήθηκε συνειδητοποιώντας την

ανικανότητα της να αντιμετωπίσει ένα ύπουλο και αόρατο εχθρό, που μόνιμα απειλεί με αφανισμό [1.1].

1.3 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχουν κύριο γενεσιουργό αιτία την ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση εκείνη που αφορά στην ενέργεια των παλιρροϊκών κινήσεων που οφείλονται στη βαρυτική δράση, κυρίως της σελήνης, πάνω στους υδάτινους όγκους που καλύπτουν την επιφάνεια της γης.

Υδατόπτωση:

Είναι ένας από τους πιο φυσικούς τρόπους παραγωγής μεγάλης ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας, με ανανεώσιμη συμπεριφορά. Έχει όμως περιορισμένη εφαρμογή και ταυτόχρονα το μειονέκτημα, σε πολλές περιπτώσεις, η δημιουργία των κατάλληλων εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, να καταστρέφει εύφορες εκτάσεις, που σχετίζονται με την ύπαρξη του υδάτινου αυτού πλούτου. Καλύπτει, περίπου, το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.

Ενέργεια κυμάτων ή παλιρροϊκών κινήσεων:

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή παλιρροϊκές κινήσεις, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, κυρίως στις βόρειες θάλασσες. Στη Βρετάνη της Γαλλίας λειτουργεί από το 1966 σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 240 MW.

Βιομάζα:

Η βιομάζα καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας. Η καύση αποτελεί, ουσιαστικά, ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να μη διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον.

Γεωθερμική ενέργεια:

Αφορά στην ενέργεια των θερμών νερών (ή ατμών του νερού), που αναβλύζουν μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Βρίσκει εφαρμογές από την θέρμανση κτιρίων και θερμοκηπίων έως και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αιολική ενέργεια:

Η εγκατάσταση αιολικών συστημάτων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, με χρήση ανεμογεννητριών οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα πτερυγίων, βρίσκεται σε εντυπωσιακή εξέλιξη. Ειδικά σε περιοχές της Ελλάδας που το αιολικό δυναμικό, δηλαδή η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου, είναι αυξημένο έχουν εγκατασταθεί αιολικά πάρκα με ισχύ από μερικές εκατοντάδες kW έως μερικά MW.

Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια:

Η φωτοβολταϊκή ενέργεια προέρχεται από την εκμετάλλευση της ιδιότητας που έχουν μερικά υλικά να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν έρθουν σε επαφή με το φως του ήλιου (φωτορεύμα). Η τεχνολογία που αφορά αυτού του είδους την ενέργεια αναπτύχθηκε ραγδαία το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, παρά το ότι η παραπάνω ιδιότητα των υλικών είχε παρατηρηθεί πολύ νωρίτερα από τον Becquerel, το 1839. Αρχικά το κόστος κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ήταν αρκετά υψηλό και σε συνδυασμό με την σχετικά χαμηλή απόδοση καθιστούσαν τα συστήματα αυτά ασύμφορα. Όμως κατά την δεκαετία του 1980 υπήρξε μια τάση μείωσης του κόστους και έτσι αναπτύχθηκαν νέες τεχνολογίες που οδήγησαν σε οικονομικότερα συστήματα. Αποτέλεσμα αυτής της μείωσης, η παγκοσμίως εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων, από 313.5 MW, το 1991, να φτάσει τα 3.8 GW, στο τέλος του 2004 [1.1].

1.4 ΚΥΡΙΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΚΑΤΑΣΠΑΤΑΛΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αν και η ανθρωπότητα τα τελευταία είκοσι χρόνια συνειδητοποίησε τον κίνδυνο του επερχόμενου ενεργειακού χειμώνα, οπότε ξεκίνησε ορισμένες φιλότιμες προσπάθειες περιορισμού της κατανάλωσης και ορθολογικότερης χρήσης των ενεργειακών αποθεμάτων, ωστόσο οι βασικότερες αιτίες αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας παραμένουν και είναι οι εξής:

Συνεχής αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας

Η προσπάθεια του ανθρώπου για βελτίωση του βιοτικού του επιπέδου (π.χ. παραγωγή περισσότερων καταναλωτικών αγαθών), συνεχίζεται με αυξανόμενους ρυθμούς, όπως παρουσιάζεται και στον πίνακα. Αν και γίνονται προσπάθειες περιορισμού της κατανάλωσης ενέργειας, κυρίως στις ανεπτυγμένες χώρες του πλανήτη μας, αυτές δεν αποδίδουν πάντοτε καρπούς. Πιο συγκεκριμένα, μετά τις διαδοχικές ενεργειακές κρίσεις της τελευταίας τριακονταετίας, οι ανεπτυγμένες χώρες έδειξαν ότι διαθέτουν τα περιθώρια κάποιας περιορισμένης μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, κυρίως στον τομέα της βιομηχανίας. Αντίθετα, χώρες λιγότερο ανεπτυγμένες με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, έχουν μικρότερα ή και μηδενικά περιθώρια περιορισμού των ενεργειακών τους αναγκών.

Ανομοιομορφία στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας

Το παραπάνω γεγονός υπογραμμίζει την τρομακτική ανομοιομορφία που διέπει την κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας στις διάφορες περιοχές του πλανήτη μας. Σαν παράδειγμα, αναφέρεται ότι η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας στις Η.Π.Α. και στον Καναδά, είναι περίπου εικοσαπλάσια, από αυτήν των υπό ανάπτυξη χωρών όπως το Μεξικό, η Βραζιλία, η Συρία κ.τ.λ. Η πραγματικότητα αυτή πρέπει να συνδυασθεί και με το γεγονός ότι η παραγωγικότητα ενός λαού και η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας μεταβάλλονται σχεδόν ανάλογα.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση, είναι ότι ορισμένοι λαοί καταναλώνουν αρκετά μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από ορισμένους άλλους. Χώρες αναπτυσσόμενες που βρίσκονται στη φάση της εκβιομηχάνισης και ανάπτυξης των ανέσεων της ζωής (σύγχρονες κατοικίες με θέρμανση και κλιματισμό, ιδιωτικής χρήσεως αυτοκίνητα κ.τ.λ.), έχουν υψηλή εισοδηματική ελαστικότητα ενέργειας, γι' αυτό είναι αδύνατο να συνδυάσουν τη συνέχιση της ανάπτυξής τους με τη μείωση της ενεργειακής έντασης. Πώς λοιπόν είναι δυνατόν να ζητηθεί από τους υπό ανάπτυξη λαούς να περιορίσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση, τη στιγμή που καταναλώνουν μόλις το 5% της ενέργειας των πλούσιων και ανεπτυγμένων χωρών;

Αύξηση του πληθυσμού της γης

Η ανομοιογενής ενεργειακή κατανάλωση στις διάφορες περιοχές του πλανήτη μας συνοδεύεται και από τη διαρκή αύξηση του πληθυσμού της γης. Όμως το πλέον σημαντικό στοιχείο, είναι η πληθυσμιακή έκρηξη που παρατηρείται στις υπό ανάπτυξη χώρες του πλανήτη μας, γεγονός που περιορίζει τις δυνατότητες μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Στις περιπτώσεις αυτές, ακόμα και με σταθερή κατά κεφαλήν κατανάλωση, οδηγούμαστε σε μια αύξηση της συνολικής κατανάλωσης, τουλάχιστον ανάλογης με την αύξηση του πληθυσμού, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα.

Απώλειες συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας

Στις παραπάνω αιτίες θα πρέπει να προστεθεί και ένας αριθμός τεχνολογικών λόγων, οι οποίοι οδηγούν αναπόφευκτα στην αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης των ενεργειακών αποθεμάτων. Σύμφωνα λοιπόν με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο είναι αδύνατο να

εξαφανιστεί δεδομένη ποσότητα ενέργειας ή να παραχθεί ενέργεια από το μηδέν. Όμως κατά τη μετατροπή της ενέργειας από τη μια μορφή σε άλλη, δημιουργούνται ορισμένες απώλειες ωφέλιμης ενέργειας, οι οποίες εκφράζονται από την τιμή της εντροπίας του υπό διερεύνηση ενεργειακού συστήματος. Οι απώλειες ενέργειας σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, αποτελούν απώλειες ποσότητας ενέργειας χαμηλότερης ποιότητας, όπως για παράδειγμα η θερμική ενέργεια. Με τον τρόπο αυτό σε κάθε μετατροπή ενέργειας έχουμε παραγωγή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία δεν μπορεί να αξιοποιηθεί και στη συνέχεια απορρίπτεται στο περιβάλλον με τη μορφή θερμικής ρύπανσης, συντελώντας ταυτόχρονα στο «θερμικό θάνατο» του πλανήτη μας. Παράλληλα σημαντικά ποσά ενέργειας χάνονται κατά τη μεταφορά και διανομή της ενέργειας από τον τόπο παραγωγής στην περιοχή κατανάλωσής της.

Συνοψίζοντας, αναφέρεται ότι ο βαθμός απόδοσης μιας θερμικής μηχανής κυμαίνεται σήμερα από 15% έως 45%, κάτι το οποίο αν συνδυαστεί με το πλήθος των θερμοηλεκτρικών σταθμών που τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τον πλανήτη μας, κάνει προφανή τη σημασία των ενεργειακών απωλειών των συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Φυσικά γίνονται σημαντικές προσπάθειες μείωσης των απωλειών και αύξησης του βαθμού απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων, γεγονός όμως το οποίο θα βελτιώσει ελάχιστα προς το παρόν το πλανητικό ενεργειακό ισοζύγιο. Τέλος, μορφές ενέργειας όπως η ηλεκτρική, θεωρούνται εξευγενισμένες, δεδομένου ότι παρέχουν τη δυνατότητα μετατροπής τους με ελάχιστες απώλειες, σε κάθε άλλη επιθυμητή μορφή ενέργειας. Ο διαχωρισμός αυτός της ενέργειας σε διαφορετικής ποιότητας μορφές, οδηγεί στην επόμενη αιτία κατασπατάλησης της ενέργειας.

Μη ορθολογική χρήση της ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε, η ενέργεια διατίθεται σε διάφορες ποιότητες, οι οποίες σχετίζονται με το βαθμό μετατρεψιμότητας των σε άλλη επιθυμητή μορφή ενέργειας. Είναι συνεπώς σκόπιμο να αξιολογηθούν και να ιεραρχηθούν οι απαιτήσεις της ανθρωπότητας στις μορφές ενέργειας διαφορετικής ποιότητας. Είναι, για παράδειγμα, ενεργειακά απαράδεκτο να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση κατοικιών ή για οικιακή χρήση ηλεκτρική ενέργεια υψηλής ποιότητας, τη στιγμή που ακόμα και χαμηλής ποιότητας θερμότητα καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις ενός νοικοκυριού. Παράλληλα με κατάλληλη διαχείριση της ζήτησης ενέργειας μπορούν να μειωθούν και να μετατεθούν οι αιχμές ζήτησης, με αποτέλεσμα να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση εγκατεστημένης ισχύος.

Αδιαφορία και σπατάλη ενέργειας

Η έλλειψη ενημέρωσης των πολιτών καθώς και η επικράτηση της άποψης ότι τα αποθέματα ενέργειας και πρώτων υλών είναι απεριόριστα, οδηγούν το μέσο άνθρωπο στην αδιαφορία για την κατασπατάληση της ενέργειας που προκαλεί. Μόλις πρόσφατα άρχισε να γίνεται αντιληπτό το περιορισμένο μέγεθος των ενεργειακών αποθεμάτων του πλανήτη, με αποτέλεσμα να ληφθούν κάποιες τιμολογιακές και διοικητικές αποφάσεις, που σκοπό έχουν την εξοικονόμηση ενέργειας. Ο πολίτης ωστόσο παραμένει απληροφόρητος, εφ' όσον δε διδάσκεται στη διάρκεια της βασικής του εκπαίδευσης ενεργειακή οικονομία και ορθολογική διαχείριση της ενέργειας και των φυσικών πόρων.

Ολοκληρώνοντας, πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι λόγοι που αναφέρθηκαν συντελούν στην εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων. Συνεπώς, κοινή προσπάθεια όλων των ανθρώπων πρέπει να είναι ο περιορισμός της σπατάλης και τελικά η σταδιακή και μεθοδευμένη απεξάρτηση πριν τη πλήρη εξάλειψή τους[1.2].

1.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ολόκληρη η διαδικασία παραγωγής ενέργειας, και ιδιαίτερα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση συμβατικών καυσίμων, είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες μόλυνσης της ατμόσφαιρας και γενικότερα υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα αναφέρονται οι σημαντικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα "CO₂" και οξειδίων του θείου "SO_x", ενώ δεν πρέπει να αγνοούνται οι επιπτώσεις άμεσης απειλής από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Τόσο το CO₂ όσο και το SO₂ παράγονται από τη καύση των υδρογονανθράκων (πετρέλαιο, άνθρακας κ.τ.λ.). Το SO₂ σε συνδυασμό με νιτρώδεις ατμούς θεωρείται υπεύθυνο για την όξινη βροχή, που καταστρέφει την πανίδα και τη χλωρίδα της βόρειας και κεντρικής Ευρώπης, ενώ το CO₂ ευθύνεται για τη βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, επιτείνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλείται από το γεγονός ότι το CO₂ έχει την ιδιότητα να απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα υψηλές συγκεντρώσεις του στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας να εμποδίζουν την απαγωγή θερμότητας από τη γη στο διάστημα, με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Η ετήσια παγκόσμια παραγωγή CO₂ είναι περίπου 22 εκατομμύρια τόνοι. Η συνεισφορά της Ευρώπης στην παραγωγή CO₂ είναι σημαντική, δεδομένου ότι οι εκτιμήσεις αναφέρουν ότι η μείωση κατά 10% της ευρωπαϊκής παραγωγής CO₂ θα επιφέρει αντίστοιχη μείωση κατά 5% σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η Ε.Ε. σε μια προσπάθεια για περιορισμό των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου, επιχειρεί με διάφορους τρόπους να συγκρατήσει τις εκπομπές του CO₂ στο σύνολο των χωρών μελών της. Στα πλαίσια της γενικότερης προσπάθειας της Ε.Ε. η Ελλάδα εκπόνησε (1995) το «Ελληνικό Πρόγραμμα για την Κλιματική Μεταβολή». Στο πρόγραμμα αυτό αναγνωρίζεται ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι μόνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με εκπομπές CO₂. Για το λόγο αυτό προτείνεται η θεσμική και οικονομική ενίσχυση επενδυτικών πρωτοβουλιών στον τομέα αξιοποίησης των ΑΠΕ με άμεσο περιβαλλοντικό όφελος 3.3 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζεται η μείωση των εκπομπών CO₂ με εφαρμογή τεχνολογιών ΑΠΕ [1.2].

Πίνακας 1.1: Μείωση εκπομπών CO₂ με ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	Εκατομμύρια τόνοι
Αιολικά πάρκα	1.0
Εφαρμογές ηλιακής ενέργειας	1.0
Αξιοποίηση βιομάζας	0.9
Μικρά υδροηλεκτρικά	0.2
Αξιοποίηση γεωθερμίας	0.1
Επιδεικτικά προγράμματα	0.1
Σύνολο	3.3

1.6 ΣΤΡΟΦΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ανακεφαλαιώνοντας, πρέπει να επισημανθεί ότι αμέσως μετά τη δεύτερη ενεργειακή κρίση, στις αρχές του 1980, η διεθνής κοινότητα άρχισε να αναγνωρίζει το πεπερασμένο των παγκόσμιων αποθεμάτων των συμβατικών πηγών ενέργειας σε σύγκριση με την ανεξέλεγκτη αύξηση των ρυθμών κατανάλωσης ενέργειας, ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες του πλανήτη.

Ίσως οι προβλέψεις της πρώτης έκθεσης της Λέσχης της Ρώμης (1970) με τίτλο «Τα όρια της ανάπτυξης» να μην πραγματοποιήθηκαν στο βαθμό που η έκθεση προέβλεπε, όμως οι αρνητικές επιπτώσεις που συνοδεύουν την αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας εξακολουθούν να ισχύουν και να επιβεβαιώνονται από τα πορίσματα της δεύτερης έκθεσης, η οποία συνετάχθη το 1991. Δεν πρέπει συνεπώς, να αγνοείται το γεγονός ότι τα βεβαιωμένα αποθέματα των κυριότερων συμβατικών καυσίμων επαρκούν στις καλύτερες περιπτώσεις για τα επόμενα εκατό χρόνια, ενώ ακόμη κι αν ανακαλυφθούν στο μέλλον χιλιαπλάσια αποθέματα συμβατικών καυσίμων, με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης ενέργειας, θα παρατείνουν για άλλα εκατό πενήντα μόλις χρόνια την άφιξη του ενεργειακού χειμώνα στον πλανήτη.

Ταυτόχρονα η επιταχυνόμενη συσσώρευση επικίνδυνων ρυπαντών (τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα) και η αντίστοιχη καταστροφή του περιβάλλοντος, οδηγούν στην εμφάνιση σημαντικών προβλημάτων υγείας, υποβαθμίζοντας παράλληλα την ποιότητα ζωής στις περισσότερες μεγαλουπόλεις.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω προβλήματα που πηγάζουν από τη χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας, αρκετοί ειδικοί πρότειναν την αξιοποίηση των ήπιων ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Φυσικά οι ανανεώσιμες πηγές δεν είναι δυνατό τη στιγμή αυτή να επιλύσουν το συνολικό ενεργειακό πρόβλημα της ανθρωπότητας, τουλάχιστον με τα σημερινά οικονομικά και τεχνολογικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντική η μελέτη της αξιοπιστίας συστημάτων με ανανεώσιμες τεχνολογίες για την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού τους[1.2].

1.7 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τα μικρά απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε γεωγραφικά απομονωμένες ή μικρού πληθυσμού περιοχές όπου η ηλεκτροδότηση δεν είναι δυνατή μέσω μιας οικονομικά εφικτής σύνδεσης στο υπάρχον διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι φιλικές προς το περιβάλλον και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά τόσο σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας συνδεδεμένα στο δίκτυο όσο και σε απομονωμένα συστήματα. Αναμένεται ότι η συνεισφορά των ανανεώσιμων μονάδων στις ανάγκες της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί στο μέλλον με την σταδιακή βελτίωση του σχεδιασμού και της λειτουργίας τους.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των μικρών απομονωμένων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας που εμπεριέχουν τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η μεταβλητή φύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κάνει αναγκαία την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως μπαταρίες και μια γεννήτρια βιοντίζελ ώστε μαζί με τις ανανεώσιμες τεχνολογίες (όπως φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) να βοηθούν στην ομαλή λειτουργία του συστήματος και στην κάλυψη του φορτίου. Γίνεται οικονομική αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της δομής τους κάνοντας προσομοίωση στην λειτουργία τους. Λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικά σενάρια όπου μεταβάλλεται η ισχύς των συστατικών στοιχείων του συστήματος (όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, γεννήτρια βιοντίζελ και μπαταρίες) ώστε να εξεταστούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί του απομονωμένου συστήματος και να βρεθεί η βέλτιστη δομή με το ελάχιστο κόστος ανά μονάδα ενέργειας.

1.8 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα κεφάλαια της εργασίας έχουν την ακόλουθη δομή:

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται τα μέρη που απαρτίζουν ένα απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, παρουσιάζονται αναλυτικά τα συστατικά από τα οποία αποτελείται το απομονωμένο σύστημα που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, μπαταρίες και γεννήτρια βιοντίζελ)

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η μεθοδολογία ανάλυσης του απομονωμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας η οποία βασίζεται στην ετήσια προσομοίωση της λειτουργίας τους ανά σταθερά χρονικά βήματα μιας ώρας. Η ανάλυση περιλαμβάνει την μοντελοποίηση των εξαρτημάτων που περιέχονται στο σύστημα καθώς και τον τρόπο συνεργασίας τους. Επίσης, παρουσιάζεται η μεθοδολογία οικονομικής αποτίμησης που χρησιμοποιείται καθώς η επιλογή του βέλτιστου συστήματος βασίζεται στο κριτήριο της ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους, που είναι το άθροισμα του κόστους επένδυσης και του κόστους λειτουργίας του συστήματος.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του απομονωμένου συστήματος και αναλύεται το βέλτιστο σενάριο. Επιπλέον, γίνεται αξιολόγηση ενός συνόλου από εναλλακτικά σενάρια. Έτσι, μελετάται η επίδραση της μεταβολής του κόστους ανικανοποίητης ζήτησης, του κόστους των βιοκαυσίμων και του επιτοκίου προεξόφλησης. Επίσης, λόγω της μεταβλητής φύσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μελετάται η μεταβλητή στο αιολικό και ηλιακό δυναμικό. Τέλος γίνεται και ανάλυση αξιοπιστίας του απομονωμένου συστήματος.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρατίθενται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις και εφαρμογές των προηγούμενων κεφαλαίων.

1.9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.1] Ι.Ε Φραγκιαδάκης, *‘Φωτοβολταϊκά Συστήματα’*, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2006.
- [1.2] Ι.Κ Καλδέλλης, *‘Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας’*, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα 2005.

ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια περιγραφή των κυριότερων στοιχείων που αποτελούν το απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που μελετάται στην παρούσα εργασία. Θα περιγραφούν τεχνολογίες όπως τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, οι ανεμογεννήτριες, και οι συσσωρευτές όσον αφορά την αρχή λειτουργία τους αλλά και την δομή τους.

2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.2.1 Σκοπός και απαιτήσεις συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Τα πρώτα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1880. Από τότε, αυξήθηκαν δραστικά σε μέγεθος και πολυπλοκότητα. Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως σκοπό την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μία εξυπηρετούμενη περιοχή καταναλώσεως. Πρωταρχικός σκοπός του συστήματος είναι η εξυπηρέτηση των καταναλωτών κατά τον πλέον ποιοτικό, αξιόπιστο και οικονομικό τρόπο. Γι' αυτό το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να έχει μελετηθεί και να λειτουργεί σωστά, όπως επίσης να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις :

1. Να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε όλες τις περιοχές που υπάρχει ζήτηση.
2. Να μπορεί να ικανοποιεί τη διαρκώς μεταβαλλόμενη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Να παρέχει στους καταναλωτές ποιοτική ηλεκτρική ενέργεια, η οποία εξασφαλίζεται με σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.
4. Να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια με τα ελάχιστα οικονομικά και οικολογικά κόστη.

2.2.2 Δομή Συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Ένα σύνολο εγκαταστάσεων και μέσων απαρτίζουν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να γίνεται εφικτή η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιοχές κατανάλωσης. Μπορούμε να διακρίνουμε τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σε «Εθνικά Συστήματα», «Περιφερειακά Συστήματα» και «Ιδιωτικά Συστήματα» ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή που καλούνται να καλύψουν. Σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατόν να διακριθούν τα εξής ειδικότερα συστήματα[2.1] :

1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
2. Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

3. Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

4. Φορτία

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την βοήθεια τριφασικών γεννητριών. Οι σταθμοί παραγωγής βρίσκονται συνήθως μακριά από τα σημεία κατανάλωσης, οπότε η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να μεταφερθεί στα σημεία κατανάλωσης με την βοήθεια των τριφασικών γραμμών μεταφοράς.

Για να είναι οικονομική η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να γίνεται σε υψηλή τάση. Για το λόγο αυτό, η τάση εξόδου των γεννητριών (π.χ. 15kV ή 20kV) ανυψώνεται σε υψηλή τάση (π.χ. 150kV ή 400kV για την Ελλάδα) με την βοήθεια των τριφασικών μετασχηματιστών ανύψωσης τάσης.

Μετά τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (των 150 kV ή των 400 kV για την Ελλάδα) υπάρχουν οι τριφασικοί μετασχηματιστές υποβιβασμού της τάσης από την υψηλή τάση στη μέση τάση (π.χ. 20 kV για την Ελλάδα).

Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από τις γραμμές διανομής μέσης τάσης (π.χ. 20 kV για την Ελλάδα), τους τριφασικούς μετασχηματιστές που υποβιβάζουν τη μέση τάση σε χαμηλή τάση (π.χ. 380 kV για την Ελλάδα) και τις γραμμές διανομής χαμηλής τάσης που μεταφέρουν υπό χαμηλή τάση την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές χαμηλής τάσης.

2.2.2.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διαδικασία μετατροπής μίας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται είτε από συμβατικούς σταθμούς είτε από σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται η ταξινόμηση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας[2.1].



Σχήμα 2.1: Ταξινόμηση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν τον ατμό ως μέσο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω ατμοστροβίλων, η οποία μηχανική ενέργεια στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών.

Οι νηζελοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν το πετρέλαιο ως μέσο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω μηχανών εσωτερικής καύσης, η οποία μηχανική ενέργεια στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών.

Στους σταθμούς συνδυασμένου κύκλου υπάρχει συνδυασμός λειτουργίας αεριοστροβίλου και ατμοστροβίλου: από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας, συνήθως φυσικό αέριο, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια πρώτα στον αεριοστροβίλο και μετά στον ατμοστροβίλο.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού ως μέσο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω υδροστροβίλων, η οποία μηχανική ενέργεια στην συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών.

Οι πυρηνικοί σταθμοί είναι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί, όπου ο λέβητας έχει αντικατασταθεί από πυρηνικό αντιδραστήρα, στον οποίο γίνεται η πυρηνική σχάση ουρανίου ή πλουτωνίου.

Οι συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επιβαρύνουν το περιβάλλον. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι μειώνονται τα αποθέματα σε πρώτη ύλη (πετρέλαιο, λιγνίτης, φυσικό αέριο) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς. Επιπλέον, η τιμή του πετρελαίου (πρώτη ύλη στους νηζελοηλεκτρικούς σταθμούς) έχει αυξητικές τάσεις.

Τα τελευταία χρόνια οι σταθμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κερδίζουν έδαφος, καθώς είναι περιβαλλοντικά φιλικό και επίσης επειδή χρησιμοποιούν πηγές ενέργειας που βρίσκονται στη φύση ανεξάντλητες (π.χ. ήλιος, αέρας).

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι τα αιολικά, τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά υδροηλεκτρικά, οι κυψέλες καυσίμου, η κυματική ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια και η βιομάζα. Οι σταθμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές ή αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για σύνδεση με συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σήμερα οι πλέον ώριμες είναι τα αιολικά, τα μικρά υδροηλεκτρικά και τα φωτοβολταϊκά.

Τα αιολικά συστήματα αξιοποιούν μέσω των ανεμογεννητριών την κινητική ενέργεια του ανέμου, την οποία μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο βρίσκεται σήμερα σε θεαματική εξέλιξη. Ειδικά η Ελλάδα, όπου το αιολικό δυναμικό, δηλαδή η μέση ταχύτητα του ανέμου, βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα, κυρίως στις νησιωτικές περιοχές, αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής της τεχνολογίας των αιολικών συστημάτων.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αξιοποιούν μέσω των φωτοβολταϊκών γεννητριών την ηλιακή ενέργεια, την οποία μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, όπου η σύνδεση με το δίκτυο είναι πολύ ακριβή. Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη.

Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, όπως οι συμβατικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, αξιοποιούν την κινητική και την δυναμική ενέργεια του νερού ως μέσο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω υδροστροβίλων, η οποία μηχανική ενέργεια στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι

μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί αξιοποιούν υδάτινα ρεύματα, για τα οποία δεν απαιτούνται μεγάλα έργα αποθήκευσης (π.χ. φράγματα) του νερού.

Οι κυνέλες καυσίμου μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, χρησιμοποιώντας κατάλληλες διατάξεις και ηλεκτρολύτες.

Οι σταθμοί κυματικής ενέργειας στοχεύουν στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας των κυμάτων της θάλασσας σε ηλεκτρική ενέργεια, με τη χρήση κατάλληλων διατάξεων. Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, κυρίως στις βόρειες θάλασσες.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Είναι μία ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες.

Η βιομάζα περιλαμβάνει τα διάφορα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, από τα οποία με κατάλληλες θερμοχημικές επεξεργασίες μπορούν να ληφθούν καύσιμα. Καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας. Η καύση αποτελεί, ουσιαστικά, ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να μην διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον.

2.2.2.2 Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Το σύστημα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας αφορά το δίκτυο που συνδέει τους σταθμούς παραγωγής αλλά και διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους (π.χ. συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας γειτονικών χωρών). Επίσης το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ισχύος προς τα κέντρα βάρους της κατανάλωσης. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης. Η μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος με υψηλή τάση επιφέρει μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και συνεπώς οικονομικότερη λειτουργία.

2.2.2.3 Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης με το σύστημα διανομής. Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από τρία υποσυστήματα[2.1]:

1. Το σύστημα διανομής μέσης τάσης
2. Τους υποσταθμούς διανομής
3. Το σύστημα διανομής χαμηλής τάσης

Το σύστημα διανομής μέσης τάσης τροφοδοτείται από τους υποσταθμούς υποβιβασμού υψηλής τάσης προς μέση τάση ενώ τροφοδοτεί τους υποσταθμούς διανομής μέσης τάσης προς χαμηλή τάση και τους καταναλωτές μέσης τάσης.

Οι υποσταθμοί διανομής αποτελούν κυρίως τους κόμβους του συστήματος διανομής μέσης τάσης και τα σημεία τροφοδότησης και αφετηρίας του συστήματος χαμηλής τάσης. Στους υποσταθμούς διανομής υποβιβάζεται η τάση από τη μέση στη χαμηλή τάση διανομής.

Το σύστημα διανομής χαμηλής τάσης τροφοδοτεί τους καταναλωτές χαμηλής τάσης.

2.2.2.4 Φορτία

Τα φορτία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται σε βιομηχανικά, εμπορικά και οικιακά, ανάλογα με το μέγεθος, τη συμμετρία (μονοφασικό ή τριφασικό), τη σταθερότητα (ως προς το χρόνο, τη συχνότητα και την τάση), και την περίοδο λειτουργίας τους (συστηματική ή τυχαία λειτουργία).

Το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ισχύος, μπορεί να τροφοδοτήσει τα πολύ μεγάλα βιομηχανικά φορτία. Αντίστοιχα, τα μικρά βιομηχανικά φορτία εξυπηρετούνται από το σύστημα διανομής μέσης. Τα βιομηχανικά φορτία είναι σύνθετα φορτία (έχουν ωμικό και επαγωγικό μέρος), καθώς οι κινητήρες επαγωγής αποτελούν μεγάλο τμήμα των φορτίων αυτών. Τα σύνθετα αυτά βιομηχανικά φορτία εξαρτώνται από την τάση και τη συχνότητα και αποτελούν ένα σημαντικό μέρος του φορτίου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα εμπορικά και οικιακά φορτία αποτελούνται κυρίως από φορτία φωτισμού, θέρμανσης και ψύξης. Τα φορτία αυτά είναι ανεξάρτητα της συχνότητας και καταναλώνουν αμελητέα άεργο ισχύ.

Η πραγματική ισχύς του φορτίου εκφράζεται σε kV ή MW. Το μέτρο του φορτίου μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η ημερήσια καμπύλη φορτίου μίας ηλεκτρικής εταιρίας είναι μία σύνθεση της ζήτησης φορτίου των διάφορων κατηγοριών καταναλωτών. Η μέγιστη τιμή του φορτίου κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου ονομάζεται ημερήσια αιχμή φορτίου ή μέγιστο ημερήσιο φορτίο.

Ο συντελεστής φορτίου σε μία χρονική περίοδο είναι ίσος με το λόγο της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην περίοδο αυτή προς τη μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που θα μπορούσε να έχει ο καταναλωτής αν ζητούσε συνεχώς το μέγιστο φορτίο της περιόδου αυτής. Ο συντελεστής φορτίου μπορεί να αφορά περίοδο μίας ημέρας, ενός μήνα, ή ενός χρόνου.

Γενικά υπάρχει διαφορά στην αιχμή φορτίου μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών καταναλωτών, η οποία βελτιώνει το συνολικό συντελεστή φορτίου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Για να λειτουργεί οικονομικά το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει να είναι υψηλός ο συντελεστής φορτίου του συστήματος. Τα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν τυπικούς συντελεστές φορτίου από 55% έως 70%[2.1].

2.3 ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα μικρά απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν γίνει αντικείμενο έρευνας τα τελευταία χρόνια. Δίνουν την δυνατότητα σε απομονωμένες περιοχές όπου είναι δύσκολο ή οικονομικώς ασύμφορο να συνδεθούν στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας να ηλεκτροδοτηθούν. Επίσης δίνουν την δυνατότητα να δημιουργηθεί ένας νέος τομέας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μια νέα μορφή επιχειρηματικότητας. Επιπλέον ενσωματώνοντας και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γίνονται φιλικότερα προς το περιβάλλον μειώνοντας αισθητά την κατανάλωση καυσίμων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συστατικά στοιχεία που μελετώνται στην εργασία αυτή.

2.3.1 Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια.

Η τεχνολογία των ΦΒ στοιχείων αναπτύχθηκε ραγδαία το δεύτερο μισό του 20 αιώνα παρ' ότι το ΦΒ φαινόμενο είχε παρατηρηθεί πολύ νωρίτερα από τον Becquerel το

1839. το 1954 ανακοινώθηκε η πρώτη κατασκευή ηλιακού στοιχείου Πυριτίου Si με σχηματισμό επαφής p-n, με διάχυση και με απόδοση 6% από τους Fuller, Pearson και Chapin. Οι αρχικές εμπορικές κατασκευές, πολύ υψηλού κόστους (1000 \$/W_p το 1956) με σχετικά μικρή απόδοση 5-10% παρασκευάστηκαν από κρυσταλλικά υλικά κυρίως από κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si).

Σήμερα οι αποδόσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων από κρυσταλλικό πυρίτιο βρίσκονται στα επίπεδα του 22% για ΦΒ πλαίσια διαστημικών κατασκευών και στο επίπεδο του 13-16% για βιομηχανική-οικιακή χρήση το δε κόστος των τελευταίων κυμαίνεται περί τα 5 €/W_p (peak watt) για εγκαταστάσεις μικρών συστημάτων μεγέθους μέχρι μερικά kW_p.

Στις εγκαταστάσεις σχετικά μεγάλης ισχύος αιχμής το κόστος αγοράς ΦΒ πλαισίων ανά W_p μειώνεται σε συνάρτηση με το μέγεθος του συστήματος. Σε μεγάλα συστήματα άνω του MW_p το κόστος αυτό μειώνεται σχεδόν στο ήμισυ του αντίστοιχου των εγκαταστάσεων μικρής ισχύος. Σήμερα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία των οποίων η βιομηχανική παραγωγή έχει προωθηθεί είναι αυτά που βασίζονται στη δημιουργία δύο ημιαγωγικών στρωμάτων σε επαφή. Συνήθως τα δύο στρώματα αποτελούνται από το ίδιο κύριο υλικό, το ένα στρώμα ημιαγωγός τύπου n και το άλλο τύπου p. Εξωτερικά τοποθετούνται κατάλληλα ηλεκτρόδια. Η κατασκευή έχει τη μορφή μιας σχεδόν τετράγωνης πλάκας ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου[2.2].

2.3.1.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φως παράγει “ελεύθερα” ηλεκτρόνια και οπές, σ’όλη την έκταση των δύο σε επαφή ημιαγωγών. Όσα απ’ αυτά δημιουργούνται μέσα και κοντά στην επαφή των υλικών προωθούνται από το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο της επαφής στα δύο άκρα της διάταξης αντίστοιχα. Ο ρυθμός που παράγονται οι ελεύθεροι φορείς είναι τέτοιος ώστε το ηλεκτρικό ρεύμα καθώς και η ηλεκτρική τάση στα άκρα του ΦΒ στοιχείου να διατηρούνται σε πρακτικά αξιοποιήσιμα επίπεδα, όσον αφορά την αποδιδόμενη στον καταναλωτή ηλεκτρική ισχύ. Συνεπώς, το ΦΒ στοιχείο εμφανίζει χαρακτηριστικά πηγής ενέργειας, κατάλληλης για τροφοδοσία τυπικών ηλεκτρικών εφαρμογών. Συμπερασματικά η συνεργασία των δύο αναφερθέντων παραγόντων του ενδογενούς ηλεκτρικού πεδίου των δύο σε επαφή φωτοαγωγίων υλικών και του φωτός παράγει το φωτοβολταϊκό φαινόμενο[2.2].

2.3.1.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των ΦΒ κυψελίδων, είναι το Πυρίτιο (Si). Στην άμμο το πυρίτιο περιέχεται με τη μορφή του οξειδίου του πυριτίου (SiO₂). Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται από υψηλή καθαρότητα (99,99999%). Τα ΦΒ στοιχεία Πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής[2.2]:

1. *ΦΒ στοιχεία κρυσταλλικού Πυριτίου* (Single – crystal Silicon): Το βασικό υλικό είναι μονο-κρυσταλλικό. Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (Wafer ~ 300μm). Η απόδοση τους, με τη μορφή κυψελίδας, κυμαίνεται από ~21% έως ~24% ενώ με τη μορφή των ΦΒ πλαισίων μεταξύ, 13 έως 16%. Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής. Χρώμα: Σκούρο μπλε.
2. *ΦΒ στοιχεία πολυκρυσταλλικού Πυριτίου* (Multicrystalline Silicon mc-Si): Δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα, πάχους 10 έως 50 μm. Στην επιφάνεια της κυψελίδας, διακρίνονται οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Τα όριά τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Άρα όσο

μικρότερο το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης ΦΒ στοιχείο τόσο καλύτερη η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους. Γενικά όσο μεγαλύτερες οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού ΦΒ στοιχείου τόσο υψηλότερη η απόδοση του, η οποία κυμαίνεται από 17% έως ~20% σε εργαστηριακή μορφή κυψελίδας και από 10% έως και 14% σε βιομηχανική μορφή ΦΒ πλαισίου. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα. Το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το χρώμα τους είναι γαλάζιο.

3. *ΦΒ στοιχεία ταινίας (Ribbon SILICON)* : Δημιουργία λεπτής ταινίας από τηγμένο υλικό. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο με απόδοση περί το 13%. Μέθοδος υψηλού κόστους και, προς το παρόν, περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής.
4. *ΦΒ στοιχεία άμορφου Πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon)* : Τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (films), θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας την μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Η απόδοση των ΦΒ στοιχείων αυτών μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 6 έως 8%. Σήμερα η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων ΦΒ στοιχείων με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Π.χ παρασκευάζονται ΦΒ στοιχεία από κράμα Πυριτίου με άνθρακα και γερμάνιο τριών επαφών a-SiGe (~1.4 eV), a-SiC (1.85 eV), με σταθεροποιημένη απόδοση ~ 13%. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών ΦΒ στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες ΦΒ πλαισίων.

2.3.1.3 Πρότυπες συνθήκες ελέγχου

Τα βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία ελέγχονται σε ένα εργαστηριακά παρασκευασμένο ΦΒ στοιχείο καθώς επίσης και στο τελικά διατιθέμενο βιομηχανικό προϊόν είναι η ενεργειακή απόδοση, το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} και η τάση ανοικτού κυκλώματος, V_{oc} σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού (πυκνότητα ισχύος και φάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας) και θερμοκρασίας του στοιχείου. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών μεγεθών επιτρέπει τον έλεγχο της αποδοτικότητας του ΦΒ στοιχείου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, που να αντιπροσωπεύουν τυπικές καταστάσεις εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Για το σκοπό αυτό, καθορίστηκαν διεθνώς, οι ακόλουθες πρότυπες συνθήκες ελέγχου των χαρακτηριστικών ενός ΦΒ στοιχείου ή ΦΒ πλαισίου (standard test conditions, STD).

Πρότυπες συνθήκες ελέγχου:

- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος 1 kW/m^2 και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με AM1,5 (κάθετη πρόσπτωση)
- Θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου ίση με $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$

Στα ειδικά εργαστήρια ελέγχου και πιστοποίησης των χαρακτηριστικών των ΦΒ στοιχείων, ο χώρος ελέγχου βρίσκεται στην προκαθορισμένη θερμοκρασία των 25°C . Το φάσμα εκπομπής της χρησιμοποιούμενης πηγής φωτισμού, προσομοιάζει προς το ηλιακό του, του συγκεκριμένου φάσματος (AM1,5). Η πηγή αυτή λειτουργεί στιγμιαία (FLASH) ώστε η θερμοκρασία του ηλιακού του ΦΒ στοιχείου να παραμένει στα προκαθορισμένα όρια των προτύπων συνθηκών. Επιπλέον, η ακτινοβολία από την τεχνητή πηγή προσπίπτει κάθετα

στην επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου. Συνεπώς, οι πρότυπες συνθήκες αφορούν εργαστηριακό περιβάλλον.

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής, P_p (Peak Power) ως χαρακτηριστικό του ΦΒ στοιχείου, η δε μονάδα της στο SI γράφεται εμφατικά W_p (Peak Watt, Watt αιχμής)

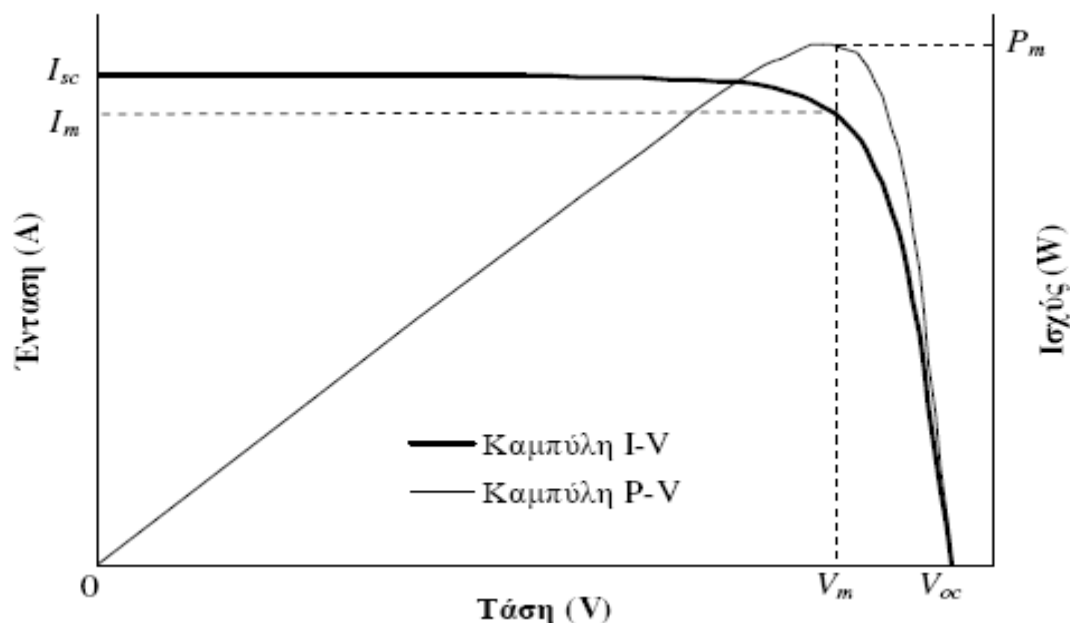
Ισχύς αιχμής ενός ΦΒ στοιχείου είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να αποδώσει κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC)

Η έννοια αυτή χρησιμοποιείται ομοίως για τον χαρακτηρισμό ενός ΦΒ πλαισίου ή μιας ΦΒ συστοιχίας. Είναι το κυριότερο τυπικό ηλεκτρικό χαρακτηριστικό ενός ΦΒ πλαισίου με βάση το οποίο θα αναζητηθεί στο εμπόριο, ώστε να καλύψει τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης ΦΒ εγκατάστασης καθώς και η εμπορική του τιμή, καθορίζονται με βάση την έννοια της ισχύος αιχμής (peak power) όπως αυτή ορίστηκε και για το ΦΒ στοιχείο.

Είναι προφανές ότι ένα ΦΒ πλαίσιο, τμήμα μιας ΦΒ συστοιχίας εγκαταστημένης στο ύπαιθρο κατά τη διάρκεια της ημέρας καθ' όλο το έτος, βρίσκεται διαρκώς σε συνθήκες διαφορετικές απ' αυτές που αντιστοιχούν στον ορισμό της ισχύος αιχμής του. Κατά τη λειτουργία του ΦΒ πλαισίου σε πραγματικές συνθήκες, η θερμοκρασία της ΦΒ κυψελίδας και φυσικά του ΦΒ πλαισίου, είναι διάφορη των 25°C και η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται τυπικά μεταξύ 0 και 1200 W/m^2 (ηλιακή σταθερά W/m^2) . Η μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, κάθε στιγμή, είναι διαφορετική και μάλιστα κατά κανόνα μικρότερη της ισχύος αιχμής του[2.2].

2.3.1.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το ΦΒ στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με τις περισσότερες ηλεκτρικές πηγές, οι οποίες διατηρούν σταθερή περίπου τάση στην περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των ΦΒ στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, ακόμα και εάν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή. Η μεταβολή της τάσης V σε συνάρτηση με την ένταση I ενός ΦΒ στοιχείου ορίζει την καμπύλη I - V . Στο Σχήμα 2.2 απεικονίζεται μια τυπική καμπύλη I - V για ένα ΦΒ στοιχείο πυριτίου, καθώς και η αντίστοιχη καμπύλη P - V του ΦΒ στοιχείου που προκύπτει, όπου P είναι η ισχύς που αποδίδεται. Σε κατάσταση βραχυκύκλωσης του ΦΒ στοιχείου, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη της τιμή I_{sc} , ενώ η τάση μηδενίζεται. Σε κατάσταση ανοιχτοκύκλωσης του ΦΒ στοιχείου, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται, αλλά η τάση παίρνει τη μέγιστη της τιμή V_{oc} . Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και στην ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση η ισχύς P του ΦΒ στοιχείου μηδενίζεται. Στο υπόλοιπο τμήμα της καμπύλης I - V , η ισχύς είναι μεγαλύτερη του μηδενός (αφού $I > 0$ και $V > 0$), επομένως υπάρχει ένα σημείο στη λειτουργία ενός ΦΒ στοιχείου στο οποίο η αποδιδόμενη ισχύς P μεγιστοποιείται. Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς συμβολίζεται με P_m και αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m . Είναι πολύ σημαντικό η λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος να βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μέγιστης ισχύος P_m , έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοσή του[2.3].



Σχήμα 2.2: Χαρακτηριστικές καμπύλες του φωτοβολταϊκού στοιχείου

2.3.1.5 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων

Όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια, τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται από ένα πλήθος θετικών χαρακτηριστικών, αν εξαιρεθούν κυρίως το υψηλό αρχικό κόστος και η αδυναμία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας να παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια, λόγω των διακυμάνσεων της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου [2.1].

Πλεονεκτήματα:

1. Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
2. Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής.
3. Άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε μικρή ή μεγάλη ισχύ.
4. Σχετικά εύκολη μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν.
5. Δυνατότητα σταδιακής υλοποίησης του συστήματος.
6. Πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων.
7. Αθόρυβη λειτουργία.
8. Ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης.
9. Μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά τη λειτουργία τους
10. Μπορούν να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές
11. Είναι επεκτάσιμα ανάλογα με τις ανάγκες σε φορτίο

Μειονεκτήματα:

1. Υψηλό κόστος κατασκευής
2. Για τις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται η δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της αστάθειας και της μεγάλης διακύμανσης της ισχύος της ηλιακής διακύμανσης
3. Απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών, λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ενέργειας.

Συνεπώς η εφαρμογή και η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική για όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες, άρα και για την Ελλάδα που έχει πλούσια ηλιοφάνεια. Ακόμα, όμως και για τις βιομηχανικές χώρες, τα Φ/Β συστήματα αποτελούν το κλειδί για την παραγωγή αποκεντρωμένης ενέργειας.

2.3.2 Αιολική ενέργεια

Ο άνεμος είναι το αποτέλεσμα της μεγάλης ποσότητας ηλιακής ενέργειας που δέχεται ο ισημερινός σε σχέση με τους πόλους γεγονός που προκαλεί την ευρείας κλίμακας μεταφορά ρευμάτων στην ατμόσφαιρα. Εκτιμάται ότι περίπου το 1% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Μια λεπτομερής έρευνα που έγινε το 1982 από επιστήμονες όλων των ευρωπαϊκών χωρών, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι στην Ευρώπη υπάρχουν σημεία κατάλληλα για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών 400.000 MW, οι οποίες θα μπορούν να παράγουν συνολικά 4.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή είναι περίπου το τριπλάσιο των ετήσιων αναγκών της Ευρώπης και αντιστοιχεί σε μία πετρελαιοπηγή με παραγωγή 16 εκατομμύρια βαρέλια. Αυτό που μπορεί να τονιστεί είναι ότι αν και ο άνεμος είναι μία στοχαστική πηγή ενέργειας, αν εξεταστεί μέρα με τη μέρα καταλήγει να είναι μια αξιόπιστη οικολογική πηγή ενέργειας.

2.3.2.1 Αιολικό δυναμικό

Το αιολικό δυναμικό, δηλαδή η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου μιας περιοχής, είναι από τις πιο ενδεδειγμένες διαδικασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν ώστε να κριθεί σκόπιμη ή όχι η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε μια περιοχή. Η σκοπιμότητα μπορεί να έγκειται στην επαρκή (ενεργειακή) τροφοδοσία της περιοχής ή σε ενδεχόμενο επενδυτικό ενδιαφέρον. Επειδή ο άνεμος έχει στοχαστική συμπεριφορά, δηλαδή καθοδηγείται από το τυχαίο, το σφάλμα στην εκτίμηση του αιολικού δυναμικού είναι αναπόφευκτο κάτι που καθιστά κρίσιμη την ακρίβεια στις μετρήσεις. Η διαπίστωση του εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού σε μία συγκεκριμένη θέση, προκύπτει μόνο από επιτόπιες μακροχρόνιες μετρήσεις οι οποίες επικεντρώνονται στην ταχύτητα και τη διεύθυνση των ανέμων συμπεριλαμβανομένων και των ανεμολογικών χαρτών της περιοχής. Η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι μία πρώτη εκτίμηση του κατά πόσο η περιοχή έχει σημαντικό αιολικό δυναμικό. Εάν η μέση ταχύτητα μιας περιοχής δεν υπερβαίνει τα 5 m/s τότε είναι ακατάλληλη, ενώ αντίθετα τιμές από 8 m/sec και άνω θεωρούνται ιδανικές περιπτώσεις. Στον ελλαδικό χώρο και κυρίως στα νησιά του Αιγαίου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει μια μέση ετήσια τιμή από 7 έως 11 m/s, η οποία υπερκαλύπτει την αποδοτική για τις ανεμογεννήτριες, περιοχή ταχυτήτων ανέμου και κατ' επέκταση τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια των νησιών αυτών.

2.3.2.2 Είδη Ανεμογεννητριών

Η ανεμογεννήτρια (Α/Γ) είναι η διάταξη που έχει σκοπό να μετατρέψει την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική. Από την εποχή εμφάνισής της μέχρι τις μέρες μας έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης τόσο ως προς τον τύπο της όσο και ως προς τα υποσυστήματα της

(περύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.τ.λ.). Εξελίζεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης και μεταφοράς ενέργειας του ανέμου. Τα κυριότερα είδη Α/Γ είναι οριζόντιου και κάθετου άξονα.

Μία άλλη ταξινόμηση είναι σύμφωνα με την ονομαστική τους ισχύ (Pr). Έτσι μία συνήθης κατάταξη βάση αυτού του κριτηρίου είναι η παρακάτω, κατά την οποία:

- $0,03 \text{ kW} \leq \text{Pr} < 25 \text{ kW}$ χαρακτηρίζονται ως «μικρές»
- $25 \text{ kW} \leq \text{Pr} \leq 250 \text{ kW}$ χαρακτηρίζονται ως «μεσαίες»
- $250 \text{ kW} < \text{Pr} \leq 4 \text{ MW}$ χαρακτηρίζονται ως «μεγάλες»

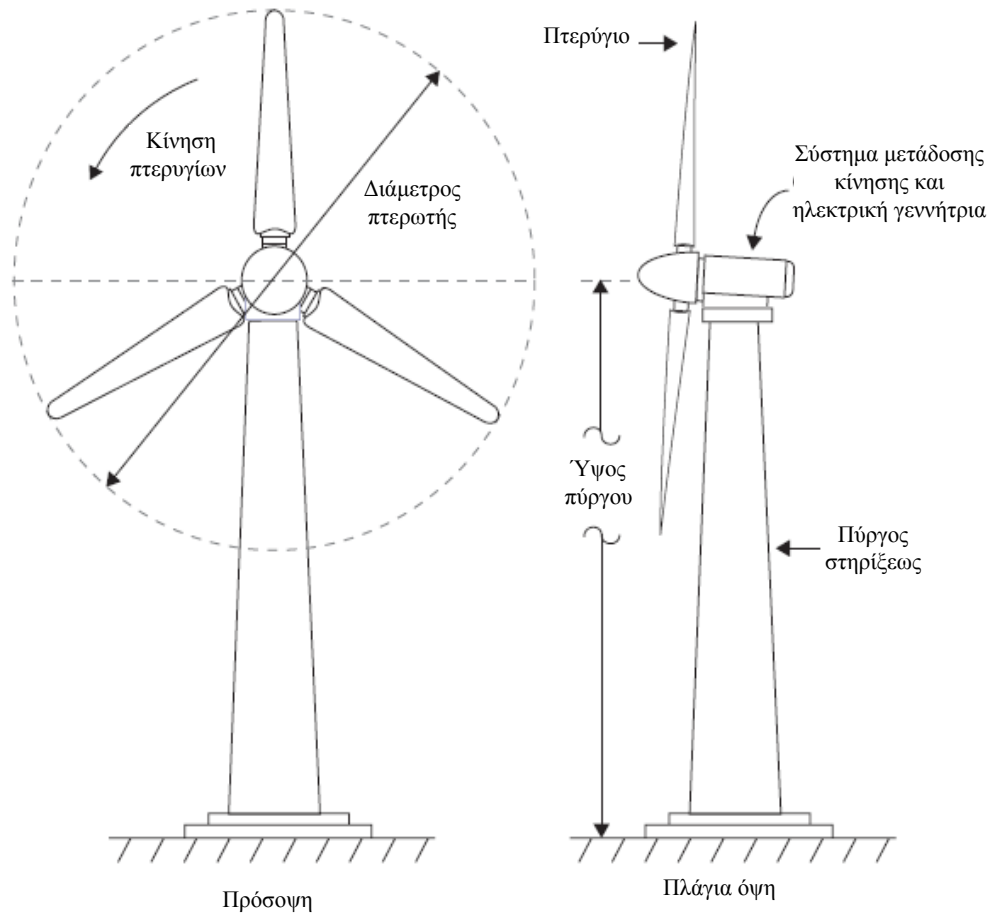
2.3.2.3 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι οι πιο διαδεδομένες καθώς έχουν καλύτερη απόδοση από τις Α/Γ κάθετου άξονα. Η αύξηση του ύψους της Α/Γ αυξάνει την παραγόμενη ισχύ και εκείνο που καθορίζει το ύψος είναι η τραχύτητα του εδάφους και τα εμπόδια στη ροή του ανέμου.

Τα βασικά μέρη που απαρτίζουν μία ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα, φαίνονται στο Σχήμα 2.3, και είναι η πτερωτή, ο πύργος στηρίξεως, ο άξονας περιστροφής, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας, καθώς και η ηλεκτρική γεννήτρια[2.6].

Η πτερωτή της ανεμογεννήτριας αποτελείται από περύγια, των οποίων το σχήμα έχει προέλθει από αντίστοιχα περύγια αεροπορικών κινητήρων. Το υλικό κατασκευής τους είναι συνήθως ελαφρά κράματα μετάλλων, ενισχυμένο πολυεστέρα, αλλά και από ξύλο σε συνδυασμό με ειδικές ρυτίνες. Ο συνηθέστερος τρόπος κατασκευής τους βασίζεται στη συνδυασμένη χρήση χάλυβα και πλαστικού, όπου το κεντρικό χαλύβδινο τμήμα απορροφά τα φορτία κάμψης και στρέψης, ενώ η χρήση πλαστικών κελυφών προσδίδει την απαιτούμενη αεροδυναμική μορφή στα περύγια. Η επιλογή του πλήθους των περυγίων σχετίζεται με την αεροδυναμική φόρτιση των περυγίων, με το βαθμό απόδοσής τους, με το κόστος κατασκευής της ανεμογεννήτριας καθώς και με θέματα αντοχής και συντονισμού λόγω ταλαντώσεων. Για λόγους ασφαλείας της ανεμογεννήτριας, τα περύγια είναι συνήθως εφοδιασμένα με συστήματα αεροδυναμικής πέδησης (αερόφρενα), τα οποία διακόπτουν τη λειτουργία της μηχανής σε έκτακτες περιπτώσεις. Η ασφάλεια της ανεμογεννήτριας επιτυγχάνεται επίσης και με μικρά αλεξίπτωτα, τα οποία απελευθερώνονται φυγοκεντρικά μετά από κάποιο όριο στροφών και επιβραδύνουν την ανεμογεννήτρια.

Για τη βελτίωση της συνολικής συμπεριφοράς μιας πτερωτής ανεμογεννήτριας, χρησιμοποιούνται πτερωτές μεταβλητού βήματος σε αντιδιαστολή με τις απλούστερες περιπτώσεις πτερωτών σταθερού βήματος. Η μεταβολή του βήματος μιας πτερωτής συνίσταται στην περιστροφή του περυγίου γύρω από το διαμήκη άξονά του, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της γωνίας προσβολής του από τον άνεμο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διατήρηση σταθερής ταχύτητας περιστροφής της ανεμογεννήτριας, η βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής απόδοσης των περυγίων, ο έλεγχος της παραγόμενης ισχύος και ο περιορισμός των δυνάμεων που καταπονούν τα περύγια.



Σχήμα 2.3: Πρόσοψη και πλάγια όψη ανεμογεννητριών

Η πλήμνη είναι το δεύτερο συστατικό της πτερωτής και περιλαμβάνει το μέρος της ανεμογεννήτριας που τοποθετούνται τα πτερύγια.

Ο άξονας της ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα, ώστε να μπορεί να μεταφέρει ισχυρές μη μόνιμες ροπές κάμψης και στρέψης. Η έδρασή του γίνεται συνήθως σε δύο ένσφαιρα έδρανα ικανά να παραλαμβάνουν τόσο το βάρος του άξονα όσο και τα εξασκούμενα φορτία.

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης αποτελεί ένα από τα κυριότερα μέρη της ανεμογεννήτριας. Περιλαμβάνει διβάθμιο ή τριβάθμιο κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής (συνήθως 20 έως 110 rpm) σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής (άνω των 1000 rpm), στις οποίες λειτουργούν συνήθως οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός διβάθμιου συστήματος μετάδοσης είναι 96%, ενώ για λόγους ασφαλείας η μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης περιλαμβάνει επίσης, υδραυλικό ή μηχανικό φρένο και ελαστικούς συνδέσμους απορρόφησης στρεπτικών ταλαντώσεων.

Ο πύργος στηρίξεως της ανεμογεννήτριας αποτελείται συνήθως είτε από ένα μεταλλικό δικτύωμα, είτε από μία στήλη από μπετόν ή μεταλλικό σωλήνα για μεγαλύτερες

ανεμογεννήτριες. Για μεγάλες ανεμογεννήτριες χρειάζεται η ύπαρξη εσωτερικής σκάλας ή ανελκυστήρα. Το ελάχιστο ύψος του πύργου στηρίζεως είναι συνήθως ίσο με τη διάμετρο της πτερωτής. Για την εκλογή του πρέπει να λαμβάνονται υπόψη το κόστος κατασκευής και θεμελίωσης για μεγάλα ύψη, η δυνατότητα αξιοποίησης υψηλότερων ταχυτήτων του ανέμου, με την αύξηση του ύψους τοποθέτησης της πτερωτής.

Η ηλεκτρική γεννήτρια χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται κυρίως σύγχρονες και ασύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος και σπανιότερα ηλεκτρικές γεννήτριες συνεχούς ρεύματος.

Ολοκληρώνοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι για την προστασία των τμημάτων της ανεμογεννήτριας από τις καιρικές συνθήκες, χρησιμοποιείται ειδικό κέλυφος από συνθετικό υλικό, π.χ. ειδικά κράματα χάλυβα ή αλουμινίου, που στην περιοχή της πλήμνης πρέπει να έχει και αεροδυναμική μορφή. Επιπλέον το κέλυφος της ανεμογεννήτριας πρέπει να έχει και αντιδιαβρωτική προστασία.

2.3.2.4 Κατανομή Weibull

Οι άνεμοι προκαλούνται κυρίως από τη διαφορά θερμοκρασίας που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Οι διαφορετικές θερμοκρασίες οφείλονται κυρίως στη διαφορά του γεωγραφικού πλάτους και στη διαφορετική φύση και επιφάνεια του εδάφους. Επομένως, η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο μέγεθος κατά μέτρο και κατεύθυνση. Η μέτρηση της μέσης ταχύτητας του ανέμου γίνεται συνήθως με ανεμόμετρα, τα οποία συνήθως πραγματοποιούν και στατιστική επεξεργασία της ταχύτητας του ανέμου.

Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού σε μια ορισμένη θέση και τελικά της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί με την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας, βασίζονται συνήθως σε χρονοσειρές μέσων ωριαίων τιμών της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια του έτους. Λόγω της σημαντικής διαφοράς που παρουσιάζουν οι άνεμοι, όχι μόνο μεταξύ εποχών αλλά και ετών, απαιτούνται στοιχεία άνω των τριών ή και πέντε ετών ώστε τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα.

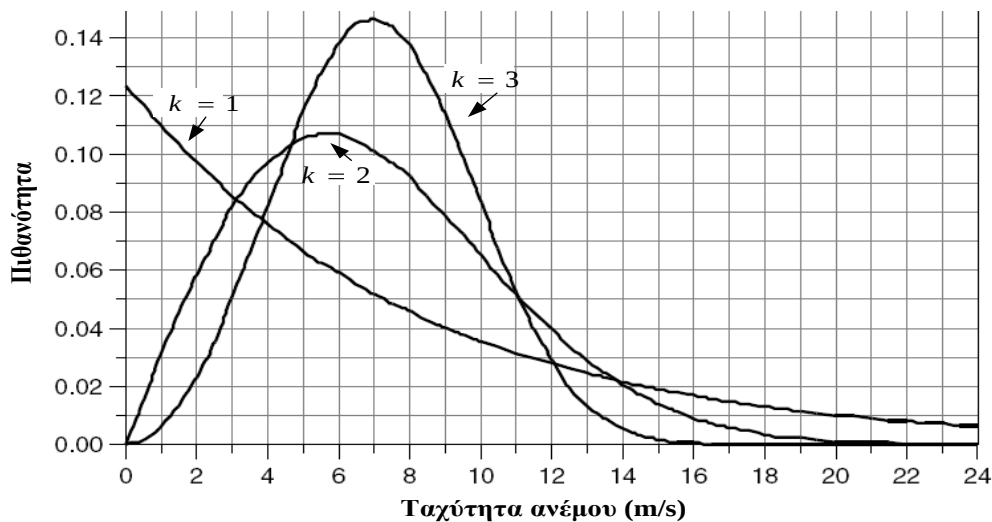
Από μεγάλο αριθμό χρονοσειρών μέσων ωριαίων τιμών της ταχύτητας του ανέμου, για μεγάλα χρονικά διαστήματα, προέκυψε ότι η συχνότητα ή πιθανότητα εμφάνισής τους ακολουθούν την κατανομή Weibull:

$$f(U) = \frac{c}{k} \cdot \left(\frac{U}{k}\right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{U}{k}\right)^c} \quad (2.1)$$

όπου U είναι η ταχύτητα του ανέμου, c η παράμετρος κλίμακας ταχύτητας και k η παράμετρος μορφής. Η σχέση δίνει τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) της ταχύτητας του ανέμου, όταν αυτή ακολουθεί την κατανομή Weibull.

Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας κατανομής Weibull της ταχύτητας του ανέμου για σταθερό $c=8$ και για τις τρεις διαφορετικές τιμές του k , δηλαδή για $k=1$ για $k=2$ και για $k=3$. Για $k=1$, η σ.π.π. της ταχύτητας του ανέμου μοιάζει με συνάρτηση εκθετικής εξασθένισης, οπότε μια περιοχή με τέτοιες ταχύτητες ανέμου δεν είναι ευνοϊκή για εγκατάσταση ανεμογεννητριών, καθώς οι περισσότεροι άνεμοι παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές ταχύτητες. Για $k=2$, ο άνεμος πνέει σχεδόν με σταθερή ταχύτητα, αλλά υπάρχουν

περίοδοι που οι άνεμοι πνέουν πολύ πιο ισχυροί από τις περισσότερες τυπικές ταχύτητες που συσσωρεύονται κοντά στην κορυφή της σ.π.π. Για $k=3$, η σ.π.π. μοιάζει με συνάρτηση μορφής καμπάνας και στην περιοχή αυτή σχεδόν πάντα φυσούν άνεμοι με μια σχετικά σταθερή ταχύτητα, οπότε μια τέτοια περιοχή είναι κατάλληλη για εγκατάσταση ανεμογεννήτριας[2.5].



Σχήμα 2.4: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας κατανομής Weibull

2.3.2.5 Ισχύς κινητικής ενέργειας ανέμου

Η κινητική ενέργεια του ανέμου μπορεί να υπολογιστεί θεωρώντας ότι μια ποσότητα αέρα διέρχεται από ένα τμήμα κυλινδρικού αγωγού με σταθερή διατομή. Η κινητική ενέργεια του τμήματος αυτού είναι:

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \quad (2.2)$$

όπου P_a (σε W) είναι η ισχύς του ανέμου, A είναι το εμβαδόν της εγκάρσιας διατομής μέσα από την οποία περνά η κινούμενη μάζα του ανέμου, ρ (σε kg/m^3) είναι η πυκνότητα του ανέμου και U (σε m/s) η ταχύτητα του ανέμου).

Η πυκνότητα του αέρα ρ , εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\rho \cdot \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = 1.225 \cdot \frac{288.15 \cdot P \text{ (nbar)}}{T \text{ (K)} \cdot 1013.3} \quad (2.3)$$

Δηλαδή, η ισχύς της κινητικής ενέργειας του ανέμου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα καθώς και από την ατμοσφαιρική πίεση στο συγκεκριμένο τόπο.

2.3.2.6 Επίδραση του ύψους του πύργου στην ισχύ του ανέμου

Επειδή η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, η οικονομική επίδραση ακόμη και μέτριων αυξήσεων της ταχύτητας του ανέμου μπορεί να είναι σημαντική. Ένας τρόπος για να βρεθεί ο ανεμοκινητήρας εκτεθειμένος σε ισχυρότερους ανέμους επιτυγχάνεται με τη στήριξή του σε ψηλότερο πύργο. Στις πρώτες μερικές εκατοντάδες μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζεται σημαντικά από την τριβή του ανέμου καθώς αυτός περνάει από την επιφάνεια του εδάφους.

Η επίδραση της τραχύτητας της επιφάνειας του εδάφους στην ταχύτητα του ανέμου περιγράφεται από τη σχέση[2.5] :

$$\frac{V_w}{V_{w,o}} = \left[\frac{H}{H_o} \right]^a \quad (2.4)$$

όπου V_w η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος H , και $V_{w,o}$ η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς H_o . Συνήθως το ύψος αναφοράς είναι 10m και είναι το ύψος που τοποθετείται το ανεμόμετρο.

Ο συντελεστής τριβής a εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους, πάνω από το οποίο πνέει ο άνεμος, αλλά και από τη διεύθυνση του ανέμου. Στον Πίνακα 2.1 φαίνονται κάποιες χαρακτηριστικές τιμές για διάφορους τύπους εδαφών:

Χαρακτηριστικά εδάφους	Συντελεστής τριβής a
Λείο σκληρό έδαφος, ήρεμη θάλασσα	0.10
Ψηλό χορτάρι στην επιφάνεια του εδάφους	0.15
Ψηλοί σωροί, εμπόδια και θάμνοι	0.20
Δασώδης ύπαιθρος, πολλά δέντρα	0.25
Μικρή πόλη με δέντρα και θάμνους	0.30
Μεγάλη πόλη με ψηλά κτίρια	0.40

Πίνακας 2.1: Συντελεστής τριβής για διάφορους τύπους εδαφών

2.3.2.7 Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας ανεμογεννήτριας

Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται η ιδεατή καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου.

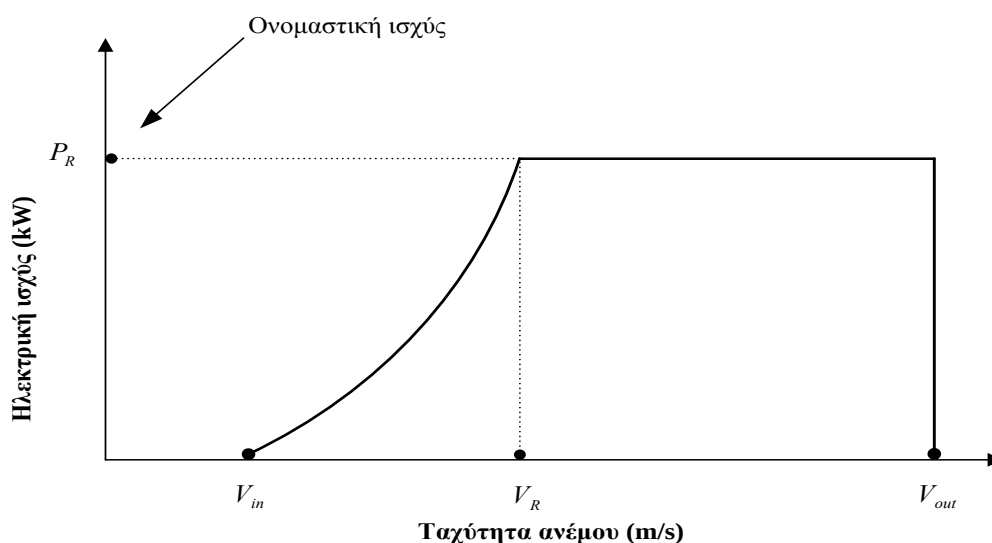
Η ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι μηδενική όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη από την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας V_{in} . Επομένως, ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου μένει αναξιοποίητο δεδομένου ότι για μικρές ταχύτητες ανέμου η ανεμογεννήτρια δεν περιστρέφεται. Οι τυπικές τιμές της ταχύτητας έναρξης λειτουργίας κυμαίνονται μεταξύ των 2,5 m/s και των 5 m/s.

Για ταχύτητες του ανέμου μεταξύ της ταχύτητας έναρξης λειτουργίας V_{in} και της ονομαστικής ταχύτητα λειτουργίας V_R η ισχύς της ανεμογεννήτριας αυξάνεται καθώς

αυξάνεται και η ταχύτητα του ανέμου. Στην ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας V_R η ανεμογεννήτρια αποδίδει την μέγιστη ισχύ με την μικρότερη δυνατή καταπόνηση. Είναι η ιδανική ταχύτητα λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, με τυπικές τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 8m/s και 14 m/s.

Η ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι σταθερά μέγιστη για ταχύτητες του ανέμου μεταξύ της ταχύτητας ονομαστικής λειτουργίας V_R και της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας V_{out} . Στην πραγματικότητα η παραγόμενη ισχύς στο διάστημα αυτό δεν είναι σταθερή.

Για ταχύτητες του ανέμου μεγαλύτερες από την ταχύτητα διακοπής λειτουργίας V_{out} σταματάει η λειτουργία της ανεμογεννήτριας και η παραγόμενη ισχύς είναι μηδενική. Αυτό συμβαίνει για λόγους ασφαλείας της εγκατάστασης. Οι τυπικές τιμές της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας V_{out} κυμαίνονται μεταξύ 20m/s έως 30m/s.



Σχήμα 2.5: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

2.3.2.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, το οποίο και εξηγεί γιατί είναι η πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας από τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [2.4].

Πλεονεκτήματα:

1. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιεί σαν «καύσιμο» τον άνεμο, είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας. Δεν μολύνει το περιβάλλον, όπως συμβαίνει με τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που στηρίζονται στην καύση συμβατικών καυσίμων.
2. Οι ανεμογεννήτριες δεν παράγουν τις ατμοσφαιρικές εκπομπές που προκαλούν την όξινη βροχή ή το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
3. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα από τις πλέον ανταγωνιστικές ανανεώσιμες τεχνολογίες ενέργειας, κοστίζοντας μεταξύ 4 και 6 σεντς ανά kWh, ανάλογα με τη χρηματοδότηση του έργου και το αιολικό δυναμικό.

4. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να κατασκευαστούν στα αγροκτήματα, καθώς και να ωφελήσουν την οικονομία σε απομονωμένες περιοχές.
5. Οι αγρότες μπορούν να συνεχίσουν να εργάζονται με την καλλιέργεια της γης επειδή οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μόνο ένα μέρος του εδάφους.
6. Οι ιδιοκτήτες εγκατεστημένων συστημάτων παραγωγής αιολικής ενέργειας πληρώνουν φθηνό αγροτικό ενοίκιο για τη χρήση της.

Μειονεκτήματα:

1. Η αιολική ενέργεια πρέπει να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές παραγωγής ενέργειας, όσο αφορά το κόστος. Ανάλογα με το αιολικό δυναμικό της περιοχής, το αιολικό πάρκο μπορεί να είναι ή όχι ανταγωνιστικό. Παρόλο που το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί εντυπωσιακά τα τελευταία 10 χρόνια, η τεχνολογία απαιτεί υψηλότερη αρχική επένδυση από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Η σημαντικότερη δυσκολία στη χρησιμοποίηση του ανέμου είναι ότι ο αέρας δε φυσά πάντα όταν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια.
3. Η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί (εκτός αν χρησιμοποιούνται μπαταρίες) και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι διαφορετικές ταχύτητες ανέμου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως έχει αναφερθεί, σε πολύ μικρές και σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμου η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μηδενική.
4. Οι καλές περιοχές για εγκατάσταση αιολικών συστημάτων βρίσκονται συχνά σε απομονωμένες περιοχές, μακριά από τις πόλεις όπου υπάρχει υψηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, συχνά απαιτείται ανάπτυξη γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Αν και οι εγκαταστάσεις παραγωγής αιολικής ενέργειας ασκούν σχετικά μικρή επίδραση στο περιβάλλον σε σχέση με άλλες συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, υπάρχει κάποια ανησυχία σχετικά με το θόρυβο που παράγεται από τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, καθώς και τις αισθητικές (οπτικές) επιδράσεις. Επίσης, υπάρχουν αντιδράσεις για το θάνατο πουλιών που προσκαλείται από τις ανεμογεννήτριες, όταν αυτά πετούν κοντά στις τελευταίες. Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα έχουν επιλυθεί, ωστόσο, ή έχουν περιοριστεί πολύ μέσω της τεχνολογικής ανάπτυξης ή με κατάλληλες αιολικές εγκαταστάσεις.

2.3.3 Αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από απομονωμένα αυτόνομα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας είτε σε χρόνο μεταγενέστερο της παραγωγής. Η ασυνέχεια στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των συστημάτων μη ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής (Α/Γ, ΦΒ), καθώς και η αδυναμία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά βούληση με σκοπό την κάλυψη της στιγμιαίας ζήτησης επιβάλλει την παρουσία κατάλληλων αποθηκευτικών διατάξεων. Ενώ υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας (όπως σφόνδυλοι, πεπιεσμένος αέρας, παραγωγή υδρογόνου) μέχρι στιγμής η καλύτερη λύση από πλευράς κόστους πυκνότητας αποταμίευσης ενέργειας ανά μονάδα βάρους και όγκου της διάταξης, είναι η χρησιμοποίηση των διαφόρων τύπων ηλεκτρικών συσσωρευτών. Η έρευνα στον τομέα των συσσωρευτών έχει οδηγήσει σε βελτιωμένους τύπους με εξαιρετικά βελτιωμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.

Εκτός από τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές, που ονομάζονται και ηλεκτρικά στοιχεία δευτέρας τάξεως, υπάρχουν και εκείνα τα οποία δίνουν ηλεκτρική ενέργεια, μετατρέποντας τη δυναμική ενέργεια που αποθηκεύτηκε στο εσωτερικό τους, κατά τις χημικές αντιδράσεις,

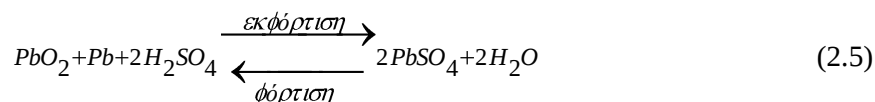
που έλαβαν χώρα μεταξύ ενώσεων ή στοιχείων. Ονομάζονται πρωτογενή στοιχεία ή στοιχεία πρώτης τάξεως. Διακρίνονται από τους συσσωρευτές κατά το ότι δεν έχουν τη δυνατότητα επαναφόρτισης τους και ως εκ τούτου δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες εφαρμογές [2.2].

2.3.3.1 Συσσωρευτής Μόλυβδου-θεικού οξέος

Ο Συσσωρευτής Μόλυβδου-θεικού οξέος είναι ίσως ο δημοφιλέστερος τύπος ηλεκτρικού συσσωρευτή γνωστός από τις αρχές του εικοστού αιώνα. Οι βιομηχανικές παραγωγής συσσωρευτές μόλυβδου έχουν υψηλή μηχανική αντοχή και συνακόλουθα αυξημένη δυνατότητα για βαθιές εκφορτίσεις με δυνατότητα μεγάλων ρευμάτων σε αντίθεση με τους κοινούς συσσωρευτές μόλυβδου που χρησιμοποιούνται στα οχήματα.

Ένα στοιχείο βιομηχανικού συσσωρευτή αποτελείται από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια τα οποία κατασκευάζονται από πλάκες μολύβδου με την μορφή κυψελών. Οι κυψέλες στην αρνητική πλάκα πληρώνονται με πορώδη μόλυβδο ενώ στην θετική με φαία οξειδία μολύβδου, προκειμένου η ενεργός επιφάνεια κάθε μολύβδινης πλάκας να είναι αυξημένη και κατά συνέπεια και η χωρητικότητα του συσσωρευτή. Τα ηλεκτρόδια είναι εμβαπτισμένα στο ίδιο διάλυμα θεικού οξέος. Κατά το στάδιο της φόρτισης του συσσωρευτή, μια πηγή συνεχούς τάσεως, συνδέεται στα άκρα του και δημιουργεί στο εσωτερικό του ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο κινεί ευκίνητα ιόντα του ηλεκτρολύτη, προς τις αντίθετα πολωμένες πλάκες του συσσωρευτή (+ και -), όπου αποδίδουν το φορτίο τους. Αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στα μεταλλικά ηλεκτρόδια, είναι η αλλοίωση της δομής τους, σε βάθος μερικών μικρών, μετατρέπόμενα σε νέα, διαφορετικά μεταξύ τους σώματα. Τα αλλοιωμένα ηλεκτρόδια εμφανίζουν διαφορετικά ηλεκτροχημικά δυναμικά ως προς το διάλυμα, η δε διαφορά μεταξύ τους ισούται με την ΗΕΔ του συσσωρευτή. Η ΗΕΔ μετρείται σε Volt και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε καταναλωτή[2.2].

Οι βασικές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός συσσωρευτή Μολύβδου-θεικού οξέος και ιδιαίτερα στην επιφάνεια των μολύβδινων πλακών του, περιγράφονται από την ακόλουθη αμφίδρομη αντίδραση:



Η κατεύθυνση προς τα δεξιά αντιστοιχεί στη διαδικασία της εκφόρτισης, ενώ η αντίθετη, στη φόρτιση του συσσωρευτή.

2.3.3.2 Χωρητικότητα C

Η χωρητικότητα C ενός σημείου συσσωρευτή αφορά στο ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκευτεί στο εσωτερικό του με την μορφή χημικής ενέργειας, κάτω από ορισμένες συνθήκες καθοριζόμενες κυρίως από τη θερμοκρασία, και εκφράζεται σε Ah (αμπερώρια). Ορίζεται δηλαδή, σε κανονικές συνθήκες ως το γινόμενο της μέσης έντασης του ρεύματος I που δίνει ο συσσωρευτής, ανεξάρτητα από την τάση του, επί το πλήθος των ωρών μέχρι να εκφορτιστεί ξεκινώντας από πλήρη φόρτιση. Για παράδειγμα μια μπαταρία με χωρητικότητα C= 200 Ah που παραδίδει 20A λέγεται ότι εκφορτίζεται με ρυθμό C/10 όπου το C αναφέρεται σε Ah και το 10 είναι οι ώρες που χρειάζεται για να εκφορτιστεί. Ενώ αν δίνει μέση τάση V=12 V, έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας ίση με:

$$200\text{Ah} \cdot 12\text{V} = 2400\text{Wh} = 2.4\text{kWh} \quad (2.6)$$

2.3.3.3 Χρόνος ζωής

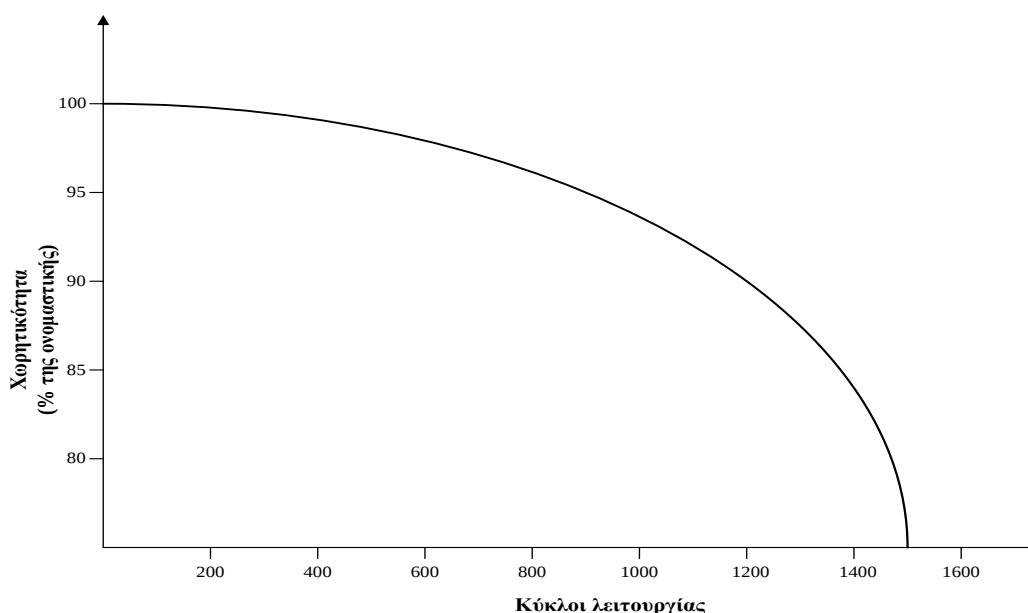
Οι συσσωρευτές εκτός από το γεγονός ότι δεν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε υψηλή τάση γι' αυτούς, δεν πρέπει ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο. Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει τις διαδοχικές διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισής του.

Η χωρητικότητα, C , του συσσωρευτή δεν παραμένει σταθερή, αλλά μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι λειτουργίας. Για παράδειγμα, περιοδική φόρτιση - εκφόρτιση ενός, καλής ποιότητας, συσσωρευτή H_2SO_4-Pb , σε ποσοστό 20% κάτω από την ονομαστική χωρητικότητά του, αντιστοιχεί περίπου σε 4500 κύκλους λειτουργίας. Αν το βάθος εκφόρτισης αυξηθεί σε 40%, οι κύκλοι λειτουργίας ελαττώνονται κάτω από τους μισούς. Ένας πρακτικός κανόνας που προσεγγίζει την πραγματική συμπεριφορά των συσσωρευτών και ουσιαστικά περιγράφει το χρόνο ζωής τους είναι ο ακόλουθος [2.2]:

$$\beta \cdot N_k = \text{σταθερό} \quad (2.7)$$

Η παραπάνω σχέση ουσιαστικά περιγράφει πως το γινόμενο βάθους εκφόρτισης β επί τους κύκλους λειτουργίας N_k είναι σταθερό. Για τους συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης το γινόμενο αυτό έχει την τιμή 1200, ενώ για κοινούς συσσωρευτές περιορίζεται στο 120.

Το Σχήμα 2.6 δείχνει την τυπική εξάρτηση της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή όσο αυξάνει ο χρόνος ζωής του, μετρούμενος σε κύκλους λειτουργίας, με δεδομένο βάθος εκφόρτισης. Όπως φαίνεται, η χωρητικότητά του ελαττώνεται και μάλιστα, όσο αυξάνονται οι κύκλοι λειτουργίας, ο ρυθμός ελάττωσης αυξάνει. Το φαινόμενο της ελάττωσης της χωρητικότητας κατά τη διάρκεια των κύκλων λειτουργίας του, οφείλεται στη σταδιακή μείωση των ενεργών υλικών των ηλεκτροδίων.



Σχήμα 2.6: Σχηματική απεικόνιση της χωρητικότητας του συσσωρευτή συναρτήσει των κύκλων λειτουργίας

2.3.3.4 Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή

Ένας φορτισμένος συσσωρευτής εκφορτίζεται ακόμη και αν δεν είναι συνδεδεμένος στο εξωτερικό φορτίο – κατανάλωση (αυτοεκφόρτιση). Οφείλεται στη συνεχή δράση του H_2SO_4 στα ηλεκτρόδια, κατά την οποία, ο Pb και ο PbO_2 μετατρέπονται σε $PbSO_4$ με ταυτόχρονη έκλυση των αερίων H_2 και O_2 .

2.3.3.5 Απόδοση συσσωρευτή

Ένας συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης. Η απόδοση δίνει το κλάσμα της ενέργειας που αρχικά αποθηκεύεται στο συσσωρευτή και στη συνέχεια μπορεί να ανακτηθεί. Τυπική τιμή απόδοσης για τους συσσωρευτές μολύβδου – θεικού οξέος είναι η $n_{bat}=80\%$. Έτσι οι αποδόσεις φόρτισης n_{batc} και εκφόρτωσης n_{batd} του συσσωρευτή λαμβάνονται και οι δύο ίσες με:

$$n_{batc} = n_{batd} = \sqrt{n_{bat}} = 89,44 \quad (2.8)$$

2.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [2.1] Π.Σ Γεωργιάκη, 'Ηλεκτρική Οικονομία', Σημειώσεις μαθήματος, Χανιά, Σεπτέμβριος 2006.
- [2.2] Ι.Ε Φραγκιαδάκης, 'Φωτοβολταϊκά Συστήματα', 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2006.
- [2.3] Ι. Κατσίγιαννη, 'Βελτιστοποίηση Δομής και Οικονομική Αξιολόγηση Απομονωμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας που Βασίζεται σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας', Χανιά, Ιούνιος 2008.
- [2.4] Χ. Φούσια, 'Μελέτη Τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Χαμηλού Κόστους για την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Απομονωμένες Περιοχές', Χανιά, Ιανουάριος 2006.
- [2.5] Π.Σ Γεωργιάκη, 'Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας', Σημειώσεις μαθήματος, Χανιά, Σεπτέμβριος 2006.
- [2.6] Ι.Κ Καλδέλλης, 'Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας', 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα 2005.

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μεθοδολογία για να μοντελοποιηθεί ένα απομονωμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που περιέχει αιολική και φωτοβολταϊκή τεχνολογία, συσσωρευτές και επιπλέον μια γεννήτρια με κινητήρα βιοντίζελ. Η βέλτιστη σχεδίαση του συστήματος καθώς και ο τρόπος συνεργασίας των εξαρτημάτων που το αποτελούν εμπεριέχει αρκετές δυσκολίες λόγω της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας σημαντικών παραμέτρων όπως η αδυναμία ελέγχου της αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Για την μοντελοποίηση του απομονωμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργήθηκε κώδικας στο λογισμικό Matlab όπου ένα σύνολο εξισώσεων επιτρέπει τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται. Η προσομοίωση της λειτουργίας του απομονωμένου συστήματος γίνεται ανά χρονικό βήμα μίας ώρας. Γίνεται οικονομική αποτίμηση και η επιλογή του βέλτιστου συστήματος βασίζεται στο κριτήριο της ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους ανά μονάδα ενέργειας.

3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση[3.1]:

$$P_{PV} = f_{PV} \cdot Y_{PV} \cdot \left(\frac{I_T}{I_s} \right) \quad (3.1)$$

όπου f_{PV} είναι ο συντελεστής απωλειών του φ\β συστήματος Y_{PV} είναι η ονομαστική ισχύς ή αλλιώς ισχύς αιχμής του φ\β συστήματος (σε kW_p), I_T είναι το ολικό ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στους ηλιακούς συλλέκτες και I_s είναι η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας (σε kW/m²).

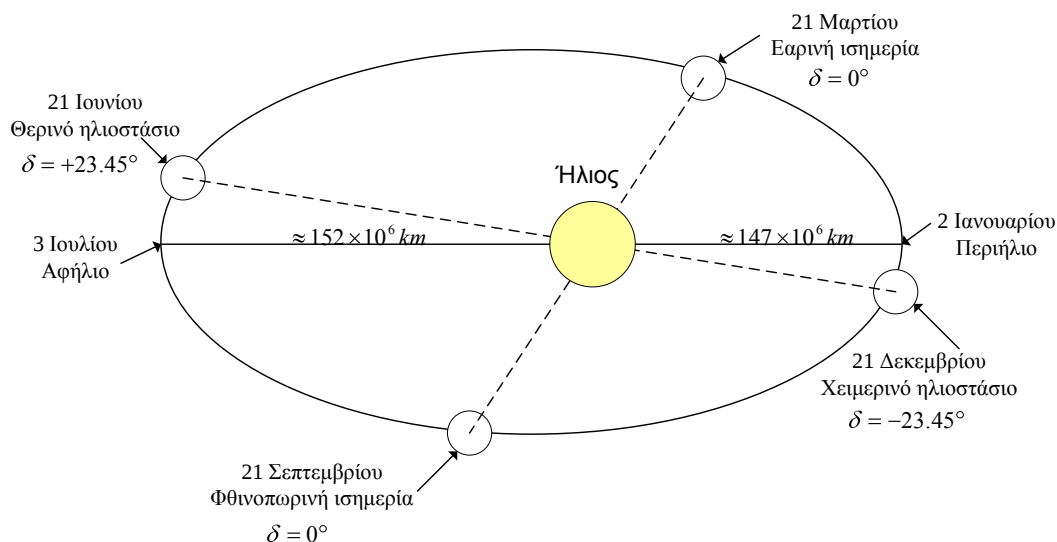
Σε πειραματικές συνθήκες η ισχύς αιχμής ενός φ\β πλαισίου είναι η μέγιστη ισχύς με την οποία αυτό αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια. Είναι προφανές ότι ένα φ\β πλαίσιο τμήμα μας φ\β συστοιχίας εγκατεστημένης στην ύπαιθρο κατά την διάρκεια της ημέρας, καθ' όλο το έτος, βρίσκεται διαρκώς σε συνθήκες διαφορετικές από αυτές που αντιστοιχούν στις πειραματικές συνθήκες. Έτσι παράγοντες όπως η θερμοκρασία του φ\β πλαισίου η λειτουργία του σε διαφορετικές τάσεις από τις πρότυπες, αλλά και σκόνη στην επιφάνεια όψης των πλαισίων προκαλούν την μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Έτσι ο συντελεστής απωλειών f_{PV} περιλαμβάνει όλους αυτούς τους παράγοντες που επιδρούν στην παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ του φ/β συστήματος και παίρνει τιμές μικρότερες ή ίσες με την μονάδα. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία για τις συνθήκες του συστήματος που μοντελοποιείται, ο δείκτης f_{PV} έχει ορισθεί ίσος με 90%.

3.2.1 Η θέση του ήλιου σε σχέση με τη γη

Η πηγή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι φυσικά ο ήλιος, αυτός ο γιγάντιος με διάμετρο 1,4 εκατομμύρια χιλιόμετρα θερμοπυρηνικός λέβητας που τήκει άτομα υδρογόνου σε ήλιο. Η προκύπτουσα απώλεια μάζας μετατρέπεται σε περίπου $3.8 \cdot 10^{20}$ MW ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ακτινοβολείται από την εξωτερική του επιφάνεια προς το διάστημα άρα και στην γη [3.2].

Για την αποτελεσματική αξιοποίηση της ενέργειας αυτής επιβάλλεται να είναι γνωστές οι πληροφορίες για την θέση του ήλιου ως προς το σημείο που βρίσκεται η εγκατάσταση. Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο με ελλειπτική τροχιά κάνοντας μια πλήρη περιστροφή κάθε 365.25 ημέρες. Η εκκεντρότητα της έλλειψης είναι μικρή και η τροχιά είναι στην πραγματικότητα σχεδόν κυκλική.



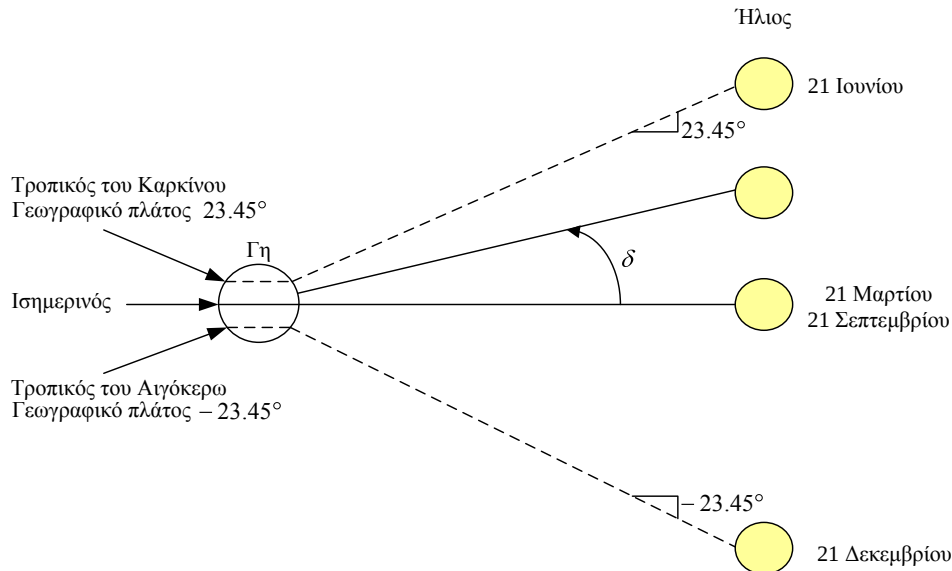
Σχήμα 3.1: Χαρακτηριστικές σχετικές θέσεις των μελών του συστήματος γης-ήλιου.

Το επίπεδο της γης στην τροχιά της ονομάζεται εκλειπτικό επίπεδο. Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται η μεταβολή της γωνίας μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα κέντρα της γης και του ηλίου με το εκλειπτικό επίπεδο. Στο σχήμα η γη είναι σταθερή περιστρεφόμενη γύρω από το βόρειο-νότιο άξονα της, ενώ ο ήλιος είναι κάπου στο διάστημα μετακινούμενος αργά πάνω κάτω με την πάροδο των εποχών. Στις 21 Ιουνίου (καλοκαιρινό ηλιοστάσιο) ο ήλιος φτάνει το ψηλότερο σημείο του, και αυτή την χρονική στιγμή, μια ακτίνα από το κέντρο του ήλιου στο κέντρο της γης, σχηματίζει γωνία 23.45° με τον ισημερινό της γης. Τη μέρα αυτή ο ήλιος είναι πάνω από τον Τροπικό του Καρκίνου σε γεωγραφικό πλάτος 23.45° . Στις δύο ισημερίες ο ήλιος είναι ακριβώς πάνω από τον ισημερινό. Στις 21 Δεκεμβρίου ο ήλιος είναι 23.45° κάτω από τον ισημερινό, το οποίο προσδιορίζει το γεωγραφικό πλάτος που είναι γνωστό ως ο Τροπικός του Αιγόκερω.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2 η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του ισημερινού και της ευθείας γραμμής που ενώνει το κέντρο του ήλιου με το κέντρο της γης ονομάζεται ηλιακή απόκλιση δ . Η ηλιακή απόκλιση μεταβάλλεται από -23.45° έως 23.45° και προσεγγίζεται με πολύ καλή ακρίβεια από την ημιτονοειδή συνάρτηση [3.1]:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (84 + n)}{365}\right) \quad (3.2)$$

όπου n είναι η ημέρα του χρόνου.



Σχήμα 3.2: Ηλιακή απόκλιση

Εκτός από την περιφορά γύρω από τον ήλιο η γη περιστρέφεται και γύρω από τον εαυτό της. Η γη πραγματοποιεί μια πλήρη περιστροφή (360°) σε 24 ώρες. Άρα κάθε ώρα πραγματοποιεί μια μετακίνηση σε τόξο 15° . Η στιγμιαία θέση της γης σε σχέση με την περιστροφή της γύρω από τον άξονα της δίνεται από την ωριαία γωνία ω . Η ωριαία γωνία παίρνει αρνητικές τιμές πριν το μεσημέρι, μηδενίζεται το μεσημέρι, παίρνει θετικές τιμές μετά το μεσημέρι και υπολογίζεται από τον τύπο [3.1]:

$$\omega = -12 \cdot 15^\circ / hr \quad (3.3)$$

όπου t_s η ηλιακή ώρα.

3.2.2 Ηλιακή και ωρολογιακή ώρα

Για τους περισσότερους υπολογισμούς φ/β συστημάτων συχνά ασχολούμαστε αποκλειστικά με την ηλιακή ώρα όπου όλα μετρούνται σχετικά με το ηλιακό μεσημέρι (όταν ο ήλιος είναι στην γραμμή του γεωγραφικού μήκους). Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου χρειάζεται η τοπική ώρα η οποία ονομάζεται ωρολογιακή ώρα. Για να γίνει ο διαχωρισμός της ηλιακής ώρας από την ωρολογιακή ώρα t_c χρειάστηκε να γίνουν κάποιες διευθετήσεις. Για να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες που υπεισέρχονται λόγω του γεωγραφικού μήκους η γη διαιρείται σε 24 χρονικές ζώνες της μίας ώρας, με κάθε χρονική ζώνη ιδεατά να εκτείνεται σε γεωγραφικό μήκος 15° . Κάθε χρονική ζώνη ορίζεται από ένα Μεσημβρινό Τοπικής Ωρας που τοποθετείται ιδεατά στο μέσο της ζώνης, με την αρχή αυτού του συστήματος να περνά μέσω του Greenwich της Αγγλίας, σε γεωγραφικό μήκος 0° .

Επίσης η ελλειπτική τροχιά της γης προκαλεί το μήκος μιας ηλιακής μέρας (από το ένα ηλιακό μεσημέρι στο επόμενο ηλιακό μεσημέρι) να μεταβάλλεται στη διάρκεια του έτους.

Καθώς, λοιπόν, η γη γυρίζει γύρω από την τροχιά της, η διαφορά μεταξύ μίας μέρας 24 ωρών και μιας ηλιακής μέρας μεταβάλλεται ακολουθώντας μία εξίσωση που ονομάζεται εξίσωση της ώρας και δίνεται από τον τύπο [3.1]:

$$E = 3.82 \cdot \begin{pmatrix} 0.000075 + 0.001868 \cdot \cos B - 0.032077 \cdot \sin B \\ - 0.014615 \cdot \cos 2B - 0.04089 \cdot \sin 2B \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

όπου E (σε ώρες) η διαφορά μεταξύ μίας μέρας 24 ωρών και μίας ηλιακής μέρας, n ο αριθμός της μέρας και B (σε μοίρες) είναι το ημερήσιο τόξο που διαγράφει το κέντρο της κατά την περιφορά της γύρω από τον ήλιο και δίνεται από τη σχέση [3.1]:

$$B = \frac{360 \cdot (n - 1)}{365} \quad (3.5)$$

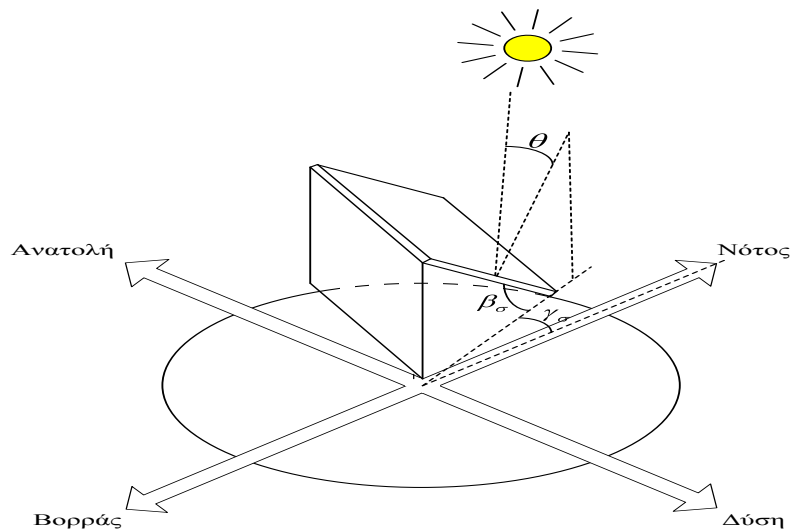
Έτσι λοιπόν ο υπολογισμός της ηλιακής ώρας από την ωρολογιακή ώρα μπορεί να γίνει εύκολα με βάση τον ακόλουθο τύπο [3.1]:

$$t_s = t_c + \frac{L_{loc}}{15^\circ / hr} - T_c + E \quad (3.6)$$

όπου t_s είναι η ηλιακή ώρα, t_c η ωρολογιακή ώρα, L_{loc} είναι το τοπικό γεωγραφικό μήκος (σε μοίρες), T_c είναι ο μεσημβρινός τοπικής ώρας και E η διαφορά μεταξύ μίας μέρας 24 ωρών και μίας ηλιακής μέρας (σε ώρες)

3.2.3 Ο προσανατολισμός του συλλέκτη

Επειδή η θέση του ήλιου στον ουρανό λόγω της περιστροφής της γης επηρεάζει την πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην γη, η κλίση του ηλιακού συλλέκτη επηρεάζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνειά του. Ο προσανατολισμός του συλλέκτη περιγράφεται με την κλίση του ως προς το οριζόντιο επίπεδο, β_σ , και την αζιμουθία γωνία του συλλέκτη, γ_σ (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Η θέση του ήλιου περιγράφεται από τις γωνίες του ηλιακού ύψους β και του αζιμουθίου θ

Οι συλλέκτες συνήθως τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία. Τα μεγέθη αυτά επιλέγονται με τρόπο ώστε οι ηλιακές ακτίνες να προσπίπτουν όσο το δυνατόν κατακόρυφα πάνω στην επιφάνεια του συλλέκτη. Θα πρέπει δηλαδή η γωνία πρόσπτωσης θ να είναι όσο το δυνατό μικρότερη κατά την διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης υπολογίζεται ως ακολούθως [3.1]:

$$\begin{aligned}\cos\theta &= \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta_\sigma \\ &\quad - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta_\sigma \cdot \cos\gamma_\sigma \\ &\quad + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta_\sigma \cdot \cos\omega \\ &\quad + \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta_\sigma \cdot \cos\gamma_\sigma \cdot \cos\omega \\ &\quad + \cos\delta \cdot \sin\beta_\sigma \cdot \sin\gamma_\sigma \cdot \sin\omega\end{aligned}\quad (3.7)$$

όπου β_σ είναι η κλίση του συλλέκτη, θ_σ είναι η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη, ψ το γεωγραφικό πλάτος, δ η ηλιακή απόκλιση και ω η γωνία ώρας.

Άλλη μια χρήσιμη γωνία είναι ζενιθιακή γωνία, $\cos\theta_z$, η οποία υπολογίζεται από την προηγούμενη εξίσωση θέτοντας την κλίση του συλλέκτη $\beta=0$, είναι οι εξής [3.1]:

$$\cos\theta_z = \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\phi \cdot \sin\delta \quad (3.8)$$

3.2.4 Ηλιακή ακτινοβολία και η επίδραση της ατμόσφαιρας της γης

Το ποσό της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο πάνω μέρος της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την διάρκεια του χρόνου μεταβάλλεται η απόσταση μεταξύ της γης και του ηλίου εξαιτίας της εκκεντρικότητας της τροχιάς της γης. Η εξωγήινη ακτινοβολία που προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια στο πάνω μέρος της ατμόσφαιρας υπολογίζεται από την εξίσωση [3.1]:

$$G_{on} = G_{sc} (1 + 0.033 \cos \frac{360 \cdot n}{365}) \quad (3.9)$$

όπου n η ημέρα του χρόνου και G_{sc} είναι η ηλιακή σταθερά ισούται με 1.367 kW/m^2 .

Για τον υπολογισμό της εξωγήινης οριζόντιας ακτινοβολίας, που ορίζεται ως το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια στα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση [3.1]:

$$G_o = G_{on} \cdot \cos\theta_z \quad (3.10)$$

όπου θ_z είναι η ζενιθιακή γωνία.

Αφού η προσομοίωση γίνεται σε ωριαία βάση, είναι χρήσιμο να ανάγουμε και την εξίσωση σε ωριαία βάση για να υπολογιστεί η μέση ωριαία εξωγήινη οριζόντια ακτινοβολία, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση [3.1]:

$$I_o = \frac{12}{\pi} \cdot G_{on} \cdot \left[\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi \cdot (\omega_2 - \omega_1)}{180} \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta \right] \quad (3.11)$$

όπου ω_1 είναι η γωνία ώρας στην αρχή της ώρας και ω_2 στο τέλος της ώρας.

Η παραπάνω εξίσωση δίνει τη μέση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια στα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας. Στο πρόγραμμα εισάγεται η χρονοσειρά της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης. Επομένως, μπορεί να υπολογιστεί ένας δείκτης που υπολογίζει το ποσό της ηλιακής εξωγήινης ακτινοβολίας που τελικά διαπερνά την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια της γης. Αυτός ο δείκτης ονομάζεται δείκτης καθαρότητας, k_T , και υπολογίζεται σε ωριαία βάση σύμφωνα με την εξίσωση [3.1]:

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (3.12)$$

όπου I είναι το ποσό της ολικής οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης για κάθε ώρα του έτους και εισάγεται στο πρόγραμμα από τα δεδομένα. Ο δείκτης καθαρότητας, λοιπόν, καθορίζει τη διαπερατότητα που έχει η ατμόσφαιρα για κάθε ώρα του έτους.

3.2.5 Συνολική ηλιακή ένταση στην επιφάνεια της γης

Κατά την διέλευση των ηλιακών ακτινών, από την γήινη ατμόσφαιρα, συμβαίνουν διάφορα πολύπλοκα φαινόμενα που έχουν ως αποτέλεσμα, στην επιφάνεια της γης να φτάνουν δυο συνιστώσες του ηλιακού φωτός: η απευθείας ή άμεση (Beam) και η διάχυτη (Diffuse). Η άμεση ακτινοβολία είναι το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, απευθείας από τον ήλιο, χωρίς σκέδαση στην ατμόσφαιρα, ενώ η διάχυτη ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια της γης αφού υποστεί πολλαπλές σκεδάσεις στα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας και προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο.

Η ολική ακτινοβολία ορίζεται ως το άθροισμα των παραπάνω τμημάτων της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτουν στην επιφάνεια της γης και εκφράζεται από την εξίσωση:

$$I = I_b + I_d \quad (3.13)$$

όπου I_b είναι η άμεση ακτινοβολία και I_d η διάχυτη. Η διάκριση μεταξύ άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας είναι πολύ σημαντική για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Η διάχυτη ακτινοβολία δίνεται από την παρακάτω σχέση, έχοντας υπολογίσει τον δείκτη καθαρότητας και γνωρίζοντας την ολική ηλιακή ακτινοβολία [3.1].

$$\frac{I_d}{I} = \left\{ \begin{array}{ll} 1 - 0.09 \cdot k_T, & \text{για } k_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604 \cdot k_T + 4.388 \cdot k_T^2 - 16.638 \cdot k_T^3 + 12.336 \cdot k_T^4 & \text{για } 0.22 < k_T \leq 0.80 \\ 0.165 & \text{για } k_T > 0.80 \end{array} \right\} \quad (3.14)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται και η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, διαχωρίζοντάς την από την διάχυτη που βρίσκεται από τον προηγούμενο τύπο. Η επόμενη σχέση προσδιορίζει ένα δείκτη που δείχνει την αναλογία της άμεσης ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια ως προς την άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια [3.1].

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (3.15)$$

Ο δείκτης ανισοτροπίας, συμβολίζεται με A_i , και είναι ο βαθμός εκπομπής της άμεσης ακτινοβολίας. Αυτός ο παράγοντας χρησιμοποιείται για να υπολογίσει το ποσό της περιβάλλουσας διάχυτης ακτινοβολίας. Ο δείκτης ανισοτροπίας δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$A_i = \frac{I_b}{I_o} \quad (3.16)$$

Ο τελικός παράγοντας που χρειάζεται να διευκρινιστεί είναι το γεγονός πως περισσότερη διάχυτη ακτινοβολία έρχεται από τον ορίζοντα παρά από το υπόλοιπο μέρος του ουρανού. Αυτός ο παράγοντας σχετίζεται άμεσα με τη συννεφιά και τη νέφωση και για τον υπολογισμό του χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση [3.1]:

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad (3.17)$$

Σε αυτό το σημείο είναι δυνατός ο υπολογισμός της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη [3.1]:

$$I_T = (I_b + I_d \cdot A_i) \cdot R_b + I_d \cdot (1 - A_i) \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta_\sigma}{2} \right) \cdot \left[1 + f \cdot \sin^3 \left(\frac{\beta_\sigma}{2} \right) \right] + I \cdot \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta_\sigma}{2} \right) \quad (3.18)$$

όπου ρ_g είναι ένας συντελεστής ανάκλασης του εδάφους, ίσος με 0.2.

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η ταχύτητα του ανέμου αποτελεί ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο μέγεθος κατά μέτρο και κατεύθυνση. Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού σε μια ορισμένη θέση και τελικά της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί με την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας, βασίζονται σε χρονοσειρές μέσω ωριαίων τιμών της ταχύτητας του ανέμου κατά την διάρκεια του έτους. Απαιτούνται στοιχεία άνω των 3 ή και 5 ετών ώστε τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα. Τα ανεμολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από την περιοχή της Αθήνας ακολουθούν κατανομή Weibull και ο συντελεστής τραχύτητας για μια τέτοια περιοχή είναι $\alpha=0,25$ ενώ το ύψος αναφοράς είναι $H_o=10m$ από την επιφάνεια του εδάφους. Οι ανεμογεννήτριες έχουν ύψος $H=30m$ και ονομαστική ισχύς $Pr=20 kw$.

Για την καλύτερη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού επιλέγεται κατάλληλος τύπος ανεμογεννητριών σύμφωνα με την καμπύλη ισχύς τους. Έτσι χρησιμοποιώντας μια

προσεγγιστική τιμή για την ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας, V_R δίνεται από την ακόλουθη σχέση [4.3]:

$$V_R = 1.9 V_w \quad (3.19)$$

όπου V_w (σε m/s) η μέση ωριαία ταχύτητα σύμφωνα με τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής.

Για ταχύτητες ανέμου που κυμαίνονται ανάμεσα στην ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας V_R , και την ταχύτητα διακοπής λειτουργίας V_{out} , η ανεμογεννήτρια παράγει την ονομαστική της ισχύ P_R ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ανέμου [4.3].

$$P_{WT} = P_R \quad \text{για} \quad V_R \leq V_w \leq V_{out} \quad (3.20)$$

Για ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη από την ταχύτητα διακοπής λειτουργίας η ισχύς που παράγει η ανεμογεννήτρια είναι μηδενική, δηλαδή η ανεμογεννήτρια δεν λειτουργεί, γιατί η ανεμογεννήτρια δεν λειτουργεί για λόγους ασφαλείας της εγκατάστασης [4.3].

$$P_{WT} = 0 \quad \text{για} \quad V_w > V_{out} \quad (3.21)$$

Για ταχύτητες ανέμου που κυμαίνονται ανάμεσα στην ταχύτητα έναρξης V_{in} , και της ονομαστικής ταχύτητας V_R χρησιμοποιείται το ακόλουθο μοντέλο που προσεγγίζει την ισχύ που παράγει η ανεμογεννήτρια σύμφωνα με την σχέση [4.3].

$$P(v) = a + b v + c V_w^2 \quad (3.22)$$

Όπου a παράμετροι a, b, c υπολογίζονται από τις σχέσεις [4.3] :

$$a = \frac{P_R \cdot V_{in} \cdot \left[V_R - 2 \cdot V_R \cdot \left(\frac{V_a}{V_R} \right)^3 \right]}{2 \cdot (V_R - V_a)^2} \quad (3.23)$$

$$b = \frac{P_R \cdot \left[V_R - 3 \cdot V_a + 4 \cdot V_a \cdot \left(\frac{V_a}{V_R} \right)^3 \right]}{2 \cdot (V_R - V_a)^2} \quad (3.24)$$

$$c = \frac{P_R \cdot \left[1 - 2 \cdot \left(\frac{V_a}{V_R} \right)^3 \right]}{2 \cdot (V_R - V_a)^2} \quad (3.25)$$

όπου V_a είναι το σημείο του μέσου και δίνεται από τη σχέση [4.3]:

$$V_a = \frac{(V_{in} + V_R)}{2} \quad (3.26)$$

3.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βασίζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο διαθέσιμο δυναμικό (αιολικό, ηλιακό, κτλ) με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η ρύθμιση μεταξύ παραγωγής και ζήτησης. Η ύπαρξη συσκευών αποθήκευσης λύνει τέτοιου είδους προβλήματα πόσο μάλλον για απομονωμένα συστήματα όπου μόνο με γεννήτρια (όπως γεννήτρια βιοντίζελ που χρησιμοποιείται στο σύστημα που εξετάζεται) μπορούν να περιοριστούν. Επίσης, αποθηκεύοντας προσωρινά την ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται η αξιοπιστία του συστήματος και μειώνεται σημαντικά η συχνότητα εκκινήσεως της γεννήτριας και επομένως ο κίνδυνος για βλάβη. Επιπλέον, γίνεται πιο οικονομική η λειτουργία του υβριδικού συστήματος αφού η γεννήτρια θα λειτουργεί λιγότερο.

Η τεχνολογία αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος είναι οι συσσωρευτές και συγκεκριμένα οι συσσωρευτές μόλυβδου-οξέος μιας και είναι ο δημοφιλέστερος τύπος ηλεκτρικού συσσωρευτή. Τα χαρακτηριστικά του συσσωρευτή που χρησιμοποιούνται στην μοντελοποίηση είναι η χωρητικότητα, η απόδοση, η αυτοεκφόρτιση και η διάρκεια ζωής. Η χωρητικότητα C μετράτε σε Ah και δείχνει το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκευτεί στο συσσωρευτή. Επειδή όμως η τάση V του συσσωρευτή είναι σχεδόν σταθερή κατά την λειτουργία του, είναι πιο χρήσιμο αντί της χωρητικότητας C να υπολογίζεται η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στο συσσωρευτή E (σε Kwh) σύμφωνα με την εξίσωση:

$$E = \frac{C \cdot V}{1000} \quad (3.27)$$

Η απόδοση δίνει το κλάσμα της ενέργειας που αρχικά αποθηκεύεται στο συσσωρευτή και στη συνέχεια μπορεί να ανακτηθεί. Στην παρούσα μοντελοποίηση η απόδοση του συσσωρευτή είναι $n_{bat}=85\%$ ενώ η απόδοση φόρτισης και εκφόρτισης είναι $\sqrt{n_{bat}} = 92.19\%$.

Κατά την αυτοεκφόρτιση ένας φορτισμένος συσσωρευτής εκφορτίζεται ακόμα και αν δεν είναι συνδεδεμένος σε εξωτερικό φορτίο. Ο ρυθμός αυτός ορίζεται ίσως με 0.025% της αποθηκευμένης ενέργειας στο συσσωρευτή. Για τον υπολογισμό της διάρκειας ζωής του συσσωρευτή λαμβάνεται υπόψη η ενέργεια που αποθηκεύεται σε αυτόν. Έτσι η διάρκεια ζωής ορίζεται σε 10.000 kWh που αποθηκεύονται κατά την λειτουργία του συστήματος. Τέλος ένα άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος που αναφέρεται στις μπαταρίες είναι το βάθος εκφόρτωσης. Δεν τους επιτρέπεται να εκφορτιστούν κάτω από μια συγκεκριμένη κατάσταση φόρτωσης. Για τους συσσωρευτές του συστήματος έχει οριστεί κατώτερη κατάσταση φόρτισης στο 30% της χωρητικότητάς τους. Άρα το βάθος εκφόρτισης έχει οριστεί στο 70% της χωρητικότητάς τους.

3.5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ

Στο σύστημα που εξετάζεται υπάρχει συνδυασμός τεχνολογιών (όπως ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, συσσωρευτές και γεννήτρια βιοντίζελ) και επομένως υπάρχουν φορτία συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος. Σε ένα τέτοιο σύστημα απαιτείται μετατροπή από συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο (με χρήση αντιστροφέα) και αντιστρόφως

(με χρήση ανορθωτή). Επομένως ο μετατροπέας που είναι εγκατεστημένος στο σύστημα είναι συνδυασμός αντιστροφέα και ανορθωτή. Η απόδοση του μετατροπέα λαμβάνεται ως 90%.

3.6 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ

Η ικανότητα των γεννητριών να παράγουν τη ζητούμενη ηλεκτρική ισχύ και η γρήγορη απόκρισή τους στη συνεχώς μεταβαλλόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας τις κάνει πολύτιμο συστατικό των απομονωμένων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, όταν οι γεννήτριες συνδυάζονται με τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να προσφέρουν εφεδρική ενέργεια σε περιόδους όπου η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες τεχνολογίες δεν επαρκεί για την κάλυψη του φορτίου.

Η γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος, του συστήματος που μοντελοποιείται, καθοδηγείται από ένα κινητήρα βιοντίζελ. Η κατανάλωση καυσίμου είναι γραμμική συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει και δίνεται από την ακόλουθη σχέση [4.4]:

$$F_{bio} = 0.09 \cdot P_{max} + 0.27 \cdot P_{bio} \quad (3.28)$$

όπου F_{bio} είναι η ηλεκτρική ισχύς (σε kw) που καλείται να παράγει η γεννήτρια ενώ P_{max} είναι η ονομαστική ισχύς. Για να αποφευχθεί πρόωρη φθορά του κινητήρα η ελάχιστη παραγόμενη ισχύς είναι το 30% της ονομαστικής. Για το σύστημα που μοντελοποιείται η γεννήτρια παράγει στο μέγιστο όταν τίθεται σε λειτουργία ενώ η διάρκεια ζωής είναι 20.000 ώρες λειτουργίας. Το κόστος βιοκαυσίμου έχει οριστεί ως 1.20 €/litter.

3.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η αξιολόγηση του συστήματος γίνεται με βάση το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο εκφράζεται σε €/kWh και δείχνει το κόστος του συστήματος ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το σύστημα μπορεί να διαφοροποιείται από την ζήτηση του ηλεκτρικού φορτίου καθώς μπορεί να εμφανιστεί είτε έλλειμμα είτε πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας κατά την λειτουργία του συστήματος.

Το κόστος του συστήματος διαχωρίζεται σε κόστος αγοράς εξοπλισμού, κόστος λειτουργίας και συντήρησης και κόστος ανικανοποίητης ζήτησης. Το κόστος αγοράς εξοπλισμού αφορά όλα τα συστατικά στοιχεία που απαρτίζουν το απομονωμένο σύστημα καθώς και το κόστος αντικατάστασης των στοιχείων του συστήματος που έχουν δεδομένη διάρκεια ζωής. Τα κόστος λειτουργίας και συντήρησης περιλαμβάνει το κόστος της κατανάλωσης καυσίμου από την γεννήτρια βιοντίζελ καθώς και το κόστος συντήρησης της γεννήτριας το οποίο ανέρχεται σε 0,01 € ανά kW ισχύος της γεννήτριας για κάθε ώρα λειτουργίας. Τέλος το κόστος λειτουργίας και συντήρησης περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης των ανεμογεννητριών το οποίο ανέρχεται σε 600 € ανά ανεμογεννήτρια. Επιπλέον το κόστος του συστήματος περιλαμβάνει το κόστος ανικανοποίητης ζήτησης το οποίο εντοπίζεται όταν η προσφερόμενη ηλεκτρική ισχύς δεν καλύπτει το φορτίο και ισούται με 0,5€/kWh. Τα παραπάνω κόστη συμψηφίζονται σε ένα συνολικό ετήσιο κόστος κατά την μοντελοποίηση του συστήματος.

Όλα τα παραπάνω κόστη υπολογίζονται σε ετήσια βάση και με την μέθοδο της Καθαράς Παρούσας Αξίας υπολογίζεται το συνολικό ετήσιο κόστος εκτιμημένο στο παρόν. Ο μαθηματικός τύπος της Καθαράς Παρούσας Αξίας είναι ο ακόλουθος[3.5]:

$$C_o = C_n \cdot (1+i)^{-n} \quad (3.29)$$

όπου C_o είναι το αρχικό ποσό σε χρόνο μηδέν, C_n η τελική αξία στο τέλος της περιόδου και i το επιτόκιο προεξόφλησης στο οποίο περιλαμβάνεται ο πληθωρισμός το οποίο έχει οριστεί ίσο με 10%. Η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται ανάγεται και αυτή με την μέθοδο της παρούσας αξίας στο παρόν. Το κλάσμα του συνολικού κόστους καθ' όλη την διάρκεια ζωής του συστήματος ανοιγμένο στο παρόν ως προς την συνολική ενέργεια που καταναλώνεται ανοιγμένη στο παρόν δίνει το κόστος συστήματος ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται.

3.8 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης η απόφαση για την λειτουργία της γεννήτριας και των συσσωρευτών του συστήματος εξαρτάται από το εάν οι τεχνολογίες ΑΠΕ μη ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής (ανεμογεννήτρια και/ή φωτοβολταϊκά) μπορούν από μόνες τους να καλύψουν το ηλεκτρικό φορτίο. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, χρειάζεται να προσφερθεί ενέργεια στο σύστημα από την γεννήτρια και/ή τους συσσωρευτές. Το κριτήριο με το οποίο επιλέγεται ο βέλτιστος συνδυασμός είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους.

Η συνεργασία μεταξύ της γεννήτριας και των συσσωρευτών είναι ένα ζήτημα το οποίο δεν μπορεί να γίνει με απλούς οικονομικούς υπολογισμούς. Η βέλτιστη συνεργασία μεταξύ των δύο αυτών εξαρτημάτων εξαρτάται από την μελλοντική προσφορά και ζήτηση ενέργειας του απομονωμένου συστήματος. Δύο συνήθεις στρατηγικές συνεργασίες μεταξύ γεννητριών και συσσωρευτών είναι η στρατηγική παρακολούθησης φορτίου και η στρατηγική φόρτισης κύκλου λειτουργίας συσσωρευτή. Στις περισσότερες περιπτώσεις η στρατηγική φόρτισης κύκλου λειτουργίας συσσωρευτή τείνει να είναι βέλτιστη επιλογή σε απομονωμένα συστήματα με μικρή εγκατεστημένη ισχύ τεχνολογιών ΑΠΕ μη ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής.

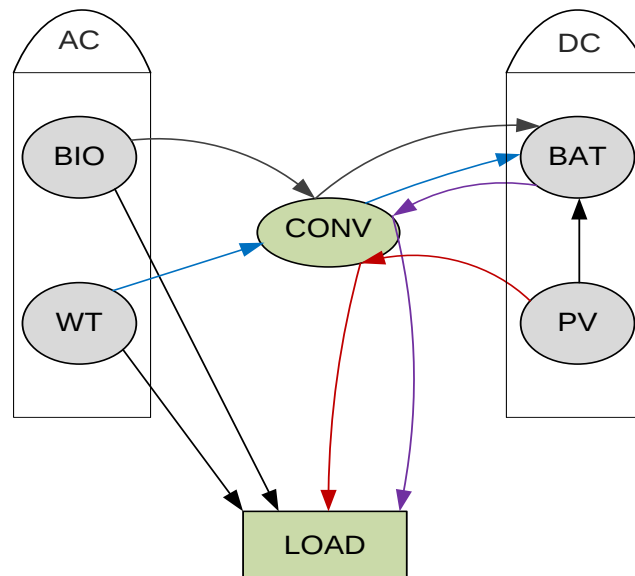
Επομένως αυτή η στρατηγική επιλέγεται και για την μοντελοποίηση του συστήματος που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Κατά την στρατηγική φόρτισης κύκλου λειτουργίας συσσωρευτή όταν η γεννήτρια χρειάζεται να εξυπηρετήσει το φορτίο τότε παρέχει την μέγιστη δυνατή ισχύ και η περίσσεια ενέργειας (εάν υπάρχει) αποθηκεύεται στους συσσωρευτές. Η γεννήτρια εξακολουθεί να λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της έως όταν το επίπεδο φόρτισης να φτάσει σε μια ορισμένη τιμή η οποία ονομάζεται σημείο κατάστασης φόρτισης soc_{cc} .

Για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος, με το χαμηλότερο δυνατό κόστος, εφαρμόζονται πολλά σενάρια τα οποία προσομοιώνονται σε έναν αλγόριθμο στο λογισμικό Matlab. Τα σενάρια αυτά είναι διάφοροι συνδυασμοί των συστατικών στοιχείων του συστήματος. Κατά την προσομοίωση του συστήματος, με χρονικό βήμα μιας ώρας γίνεται σύγκριση της παραγόμενης ισχύος σε σχέση με το ηλεκτρικό φορτίο που πρέπει να καλυφθεί την συγκεκριμένη ώρα.

- Αν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το φορτίο τότε το σύστημα έχει περίσσεια ενέργειας, η οποία αποθηκεύεται στις μπαταρίες για μελλοντική χρήση όταν θα χρειαστεί να συνεισφέρουν για την κάλυψη του φορτίου. Αν οι μπαταρίες είναι πλήρως φορτισμένες το η περίσσεια ενέργειας απλά χάνεται.

- Αν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη του φορτίου τότε συνεισφέρουν και οι συσσωρευτές, αν υπάρχει διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή αν το επίπεδο φόρτισης είναι μεγαλύτερο από το βάθος εκφόρτωσης.
- Αν η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια των συσσωρευτών δεν επαρκεί τότε μπαίνει σε λειτουργία και η γεννήτρια η οποία λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της. Η γεννήτρια μένει σε λειτουργία όσες ώρες χρειάζεται για να φορτίσει τους συσσωρευτές, μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο κατάστασης φόρτισης το οποίο έχει οριστεί από την αρχή ενώ ταυτόχρονα συνεισφέρει στο σύστημα για την κάλυψη του φορτίου.
- Εάν παρόλο την λειτουργία της γεννήτριας, της διαθέσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από τους συσσωρευτές αλλά και των ανανεώσιμων πηγών η ηλεκτρική ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη του φορτίου τότε υπάρχει έλλειμμα το οποίο έχει ένα κόστος το οποίο προσμετράται στο κόστος ενέργειας.

Έχει αναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες ότι στοιχεία του συστήματος όπως είναι οι συσσωρευτές και ο μετατροπέας έχουν απώλειες. Για την ελαχιστοποίηση των απωλειών αυτών κατά την προσομοίωση ταυτόχρονα με τους προηγούμενους ελέγχους επιλέγεται και η σειρά με την οποία θα καλύψουν το φορτίο τα συστατικά στοιχεία του συστήματος. Έτσι πρώτα συνεισφέρουν οι ανεμογεννήτριες μετά η γεννήτρια βιοντίζελ, όταν αυτή είναι σε λειτουργία, μετά το φωτοβολταϊκά και τέλος οι συσσωρευτές. Με την βελτιστοποίηση αυτή η ροή ενεργείας έχει τις λιγότερες απώλειες. Στο Σχήμα 3.4 φαίνονται οι ροές της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 3.4: Ροές της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [3.1] Homer
- [3.2] Π.Σ Γεωργιάκη, 'Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας', Σημειώσεις μαθήματος, Χανιά, Σεπτέμβριος 2006
- [3.3] W.R. Powell, 'An analytical expression for the average output power of a wind machine', Solar Energy, Vol. 26, pp. 77-80, Great Britain, 1981.
- [3.4] P. Lilienthal, T. Lambert, P.Gilman, 'Computer Modeling of Renewable Power Systems', Encyclopedia of Energy, Vol. 1, Published by Elsevier.
- [3.5] Κ. Ζοπουνίδη, 'Βασικές Αρχές και Σύγχρονα Θέματα του Χρηματοοικονομικού Μάνατζμεντ', Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2003

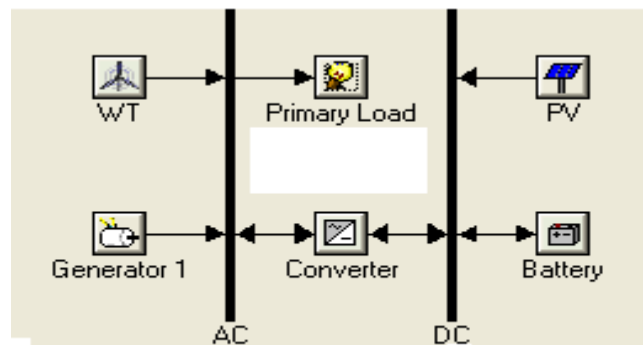
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση ευαισθησίας του απομονωμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλύονται τα βέλτιστα σενάρια καθώς αλλάζουν κάποιοι παράμετροι εισόδου του απομονωμένου συστήματος. Τα βέλτιστα σενάρια επιλέγονται με βάση το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Για το βέλτιστο βασικό σενάριο καθώς επίσης και για τα βέλτιστα εναλλακτικά σενάρια γίνεται και ανάλυση αξιοπιστίας όπου παρατίθενται κάποιοι δείκτες αξιοπιστίας.

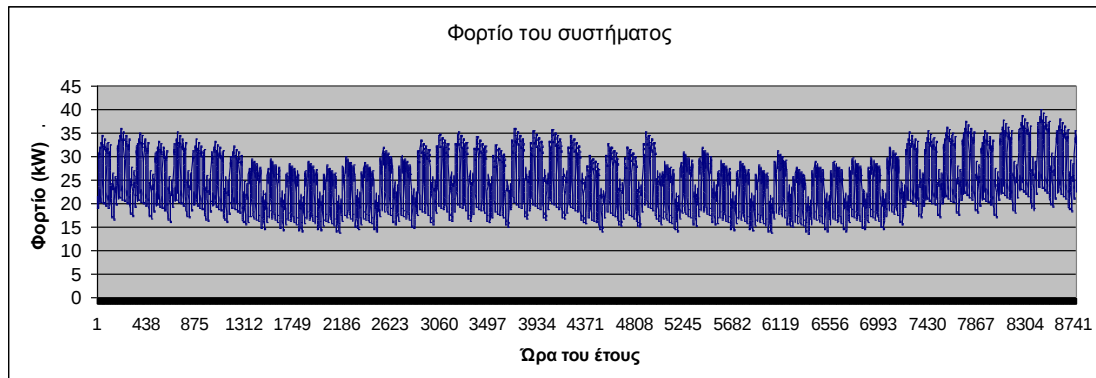
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτό το σημείο θα γίνει περιγραφή των βασικότερων εισόδων της μοντελοποίησης του απομονωμένου συστήματος για κάθε στοιχείο που το απαρτίζει. Τα στοιχεία του απομονωμένου συστήματος όπως έχει προαναφερθεί είναι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι ανεμογεννήτριες, η γεννήτρια βιοντίζελ, οι μπαταρίες και ο μετατροπέας (AC/DC). Το ηλεκτρολογικό κύκλωμα του συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Ηλεκτρολογικό κύκλωμα του συστήματος

Βασική υποχρέωση του συστήματος είναι να εξυπηρετεί το φορτίο. Το φορτίο προέρχεται από ένα απομονωμένο σύστημα στην περιοχή της Κρήτης και από το Σχήμα 4.2 φαίνεται η διακύμανση του φορτίου κατά την διάρκεια ενός χρόνου σε ωριαίες τιμές. Η καμπύλη του Σχήματος 4.2 βασίζεται στο προφίλ του απομονωμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης. Από την μορφή της καμπύλης φαίνεται η αυξημένη ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια κατά τις περιόδους του χειμώνα και του καλοκαιριού ενώ μειωμένη είναι η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους της άνοιξης και του φθινοπώρου. Το μέγιστο ωριαίο φορτίο ανέρχεται στις 40 kW ενώ το ελάχιστο στις 13,55 kW.



Σχήμα 4.2 Φορτίο του συστήματος

Φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που χρησιμοποιούνται στο σύστημα που μοντελοποιείται στην παρούσα εργασία είναι συνεχούς ρεύματος και με διάρκεια ζωής 20 χρόνια. Το κόστος αγοράς τους είναι 5000 €/ kW ενώ το κόστος συντήρησης είναι μηδενικό. Τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι από την περιοχή της Αθήνας. Κάποιες χαρακτηριστικές τιμές εισόδου για την μοντελοποίηση του συστήματος είναι:

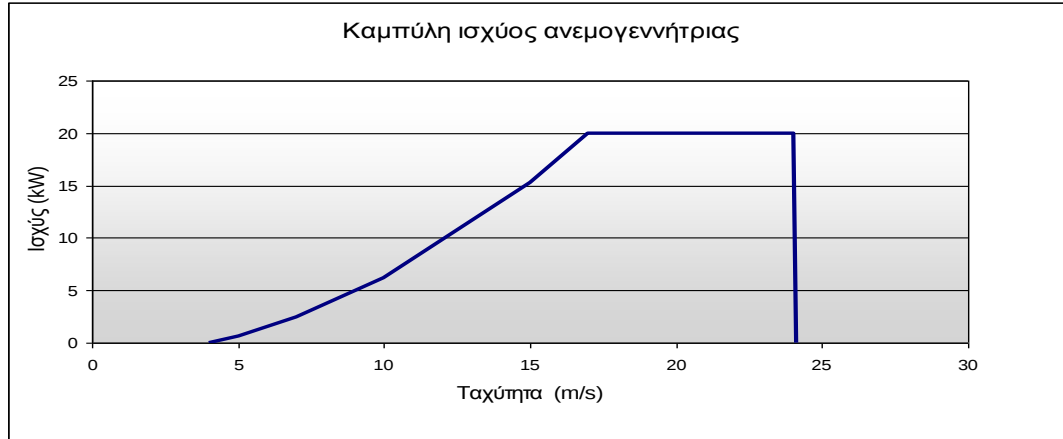
- η κλίση του συλλέκτη $\beta_{\sigma} = 38^{\circ}$ είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα
- η αζιμουθιακή γωνία $\gamma_{\sigma} = 0^{\circ}$
- ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους $\rho_{\theta} = 0.20$
- ο συντελεστής απωλειών $f_{pv} = 0.90$

Για να γίνει όμως η βέλτιστη επιλογή της ισχύς των φωτοβολταϊκών στοιχείων γίνεται προσομοίωση του συστήματος στο λογισμικό Matlab. Επιλέγεται αρχικά μεγάλο εύρος τιμών για την ισχύ των φωτοβολταϊκών στοιχείων, για παράδειγμα από 0 έως 30 kW_p με βήμα 5 kW_p και αναλόγως με τα αποτελέσματα για το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας σε €/kW το εύρος τροποποιείται κατάλληλα ενώ και το βήμα μικραίνει ώστε το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας να τείνει στο ελάχιστο. Η μέθοδος αυτή της δοκιμής και του ελέγχου των αποτελεσμάτων συνεχίζεται έως όταν βρεθεί το ελάχιστο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ενώ ταυτόχρονα αλλάζουν και τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος με την ίδια μέθοδο μετατροπής (AC/DC) του συστήματος μεταβάλλεται προς την ισχύ του ώστε να καλύπτει τις ανάγκες του συστήματος.

Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται στο απομονωμένο σύστημα που εξετάζεται είναι εναλλασσόμενου ρεύματος και ονομαστικής ισχύος 20 kW. Η διάρκεια ζωής τους είναι 20 χρόνια ενώ το κόστος αγοράς είναι 30.000€ για κάθε ανεμογεννήτρια και με κόστος συντήρησης 600€ το έτος για κάθε ανεμογεννήτρια. Το ύψος της ανεμογεννήτριας είναι 30 m. Τα ανεμολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν προέρχονται από την περιοχή της Αθήνας ενώ ο συντελεστής τριβής του εδάφους είναι $\alpha = 0.25$. Η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας $V_{in} = 4\text{m/s}$, η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας $V_R = 17\text{m/s}$ και η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας $V_{out} = 24\text{m/s}$ είναι αυτές που χαρακτηρίζουν την λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Για να γίνει

η βέλτιστη επιλογή του αριθμού των ανεμογεννητριών εφαρμόζεται η ίδια μέθοδος με αυτή για την επιλογή της ισχύος των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αρχικά γίνεται δοκιμή για ένα μεγάλο εύρος τιμών για παράδειγμα από 0 μέχρι 10 ανεμογεννήτριες με βήμα 2 ανεμογεννήτριες και αναλόγως με τα αποτελέσματα το εύρος και το βήμα διαφοροποιείται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος ενέργειας. Η προσομοίωση γίνεται όσες φορές χρειαστεί ώστε να επιτευχθεί το ελάχιστο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 4.3 Καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας

Γεννήτρια βιοντίζελ

Η γεννήτρια που χρησιμοποιείται είναι εναλλασσόμενου ρεύματος με κόστος αγοράς 200€ ανά kW και κόστος συντήρησης 0.01€/kW για κάθε ώρα λειτουργίας. Η διάρκεια ζωής της είναι 20.000 ώρες λειτουργίας. Το κόστος του βιοκαυσίμου είναι 1.2€/lit ενώ η κατανάλωση καυσίμου δίνεται από την Σχέση (3.28). Η ελάχιστη παραγόμενη ισχύς είναι το 30% της ονομαστικής. Για την εύρεση του κατάλληλου αριθμού των ανεμογεννητριών που ελαχιστοποιούν το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόζεται η ίδια μέθοδος που αναφέρεται στα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες.

Μπαταρίες

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται είναι μόλυβδου-θεικού οξέος χωρητικότητας 10 kWh η κάθε μια και με κόστος αγοράς 1000€ ανά μπαταρία. Η διάρκεια ζωής τους διαρκεί τόσο όσο χρειάζεται για να εισαχθούν 10.000 kWh σε κάθε μπαταρία. Η απόδοση των συσσωρευτών είναι $n_{bat}=85\%$ ενώ η απόδοση φόρτισης και εκφόρτισης είναι $\sqrt{n_{bat}}=92.19\%$. Για τους συσσωρευτές του συστήματος έχει οριστεί κατώτερη κατάσταση φόρτισης στο 30% της χωρητικότητάς τους. Άρα το βάθος εκφόρτισης έχει οριστεί στο 70% της χωρητικότητάς τους ενώ το σημείο κατάστασης φόρτισης πάνω από το οποίο σταματά να παράγει ηλεκτρική ενέργεια η γεννήτρια βιοντίζελ έχει οριστεί στο 80% της χωρητικότητάς τους. Για την εύρεση του κατάλληλου αριθμού των μπαταριών που ελαχιστοποιούν το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόζεται η ίδια μέθοδος που αναφέρεται στα φωτοβολταϊκά, τις ανεμογεννήτριες καθώς και την γεννήτρια βιοντίζελ. Οι αλλαγές στο εύρος δοκιμής αλλά και στο βήμα, μπορούν να γίνουν ταυτόχρονα σε περισσότερα από ένα στοιχεία του συστήματος έτσι ώστε να βρεθεί το βέλτιστο κόστος.

Μετατροπέας AC/DC

Ο μετατροπέας που χρησιμοποιείται είναι συνδυασμός μετατροπέα ανορθωτή με κόστος αγοράς 1000€/kW και με διάρκεια ζωής 10 χρόνια. Η απόδοση του λαμβάνεται ίση με

90%. Για την εύρεση της κατάλληλης ισχύς του μετατροπέα κατά την προσομοίωση του συστήματος ελέγχονται όλες οι ροές από εναλλασσόμενο σε συνεχές ρεύμα και αντιστρόφως και επιλέγεται η μέγιστη ροή. Έτσι, λοιπόν η αμέσως επόμενη ακέραια τιμή της μέγιστης ροής είναι και η ισχύς του μετατροπέα.

4.3 ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

Κάνοντας την προσομοίωση του συστήματος για την εύρεση της βέλτιστης οικονομικά λύσης εξετάζεται ένας μεγάλος αριθμός από σενάρια κατά τα οποία αλλάζει η δομή του συστήματος. Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.1 και 4.2. Παρατηρούμε ότι το ελάχιστο κόστος είναι 0,40817€/kWh ενώ το σύστημα που παράγει ηλεκτρική ενέργεια με αυτό το κόστος αποτελείται από φωτοβολταϊκά με ισχύ αιχμής 16 kW_p, από τρεις ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύς 20 kW η κάθε μια, από μια γεννήτρια βιοντίζελ ισχύος 24 kW και από 16 μπαταρίες με χωρητικότητα 10 kWh η κάθε μια. Πρέπει να τονιστεί ότι η ανικανοποίητη ζήτηση, η περίσσεια ενέργειας καθώς και η παραγόμενη ενέργεια εμφανίζονται ανά έτος και όχι για τα 20 χρόνια ζωής του συστήματος. Επίσης έχει οριστεί κατά την μοντελοποίηση του συστήματος πως η ανικανοποίητη ζήτηση δεν μπορεί να υπερβαίνει το 5% του συνολικού φορτίου του συστήματος. Από τον Πίνακα 4.1 λοιπόν φαίνεται ότι για τα πέντε αυτά σενάρια το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας δεν διαφοροποιείται αισθητά.. Το κριτήριο όμως με το οποίο επιλέγεται το βέλτιστο σενάριο είναι καθαρά οικονομικό και η ανικανοποίητη ζήτηση για παράδειγμα δεν έχει τόσο μεγάλη βαρύτητα. Σημαντική προϋπόθεση για να είναι ένα σενάριο αποδεκτό είναι να μην ξεπερνά η ανικανοποίητη ζήτηση το 5% συνολικού φορτίου του συστήματος.

Πίνακας 4.1: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ανικανοποίητη Ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	3672	28189	259587	0,40817
2	2842	26767	259138	0,40864
3	3850	27891	259158	0,40897
4	2974	27043	259516	0,40907
5	4957	29400	258913	0,40917

Πίνακας 4.2: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
1	16	3	24	16
2	13	3	25	17
3	15	3	24	16
4	14	3	25	17
5	17	3	23	13

Για το βέλτιστο σενάριο λοιπόν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα 20 χρόνια ζωής του συστήματος παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.3 και 4.4. Η στήλη με το κόστος του συστήματος εμπεριέχει το κόστος αγοράς του εξοπλισμού καθώς και το κόστος αντικατάστασης των εξαρτημάτων που έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Για παράδειγμα τον τέταρτο χρόνο αλλάζει η γεννήτρια βιοντίζελ αφού έχει συμπληρώσει 20.000 ώρες λειτουργίας και τον ενδέκατο χρόνο αλλάζει ο μετατροπέας (AC/DC) αφού έχει συμπληρώσει

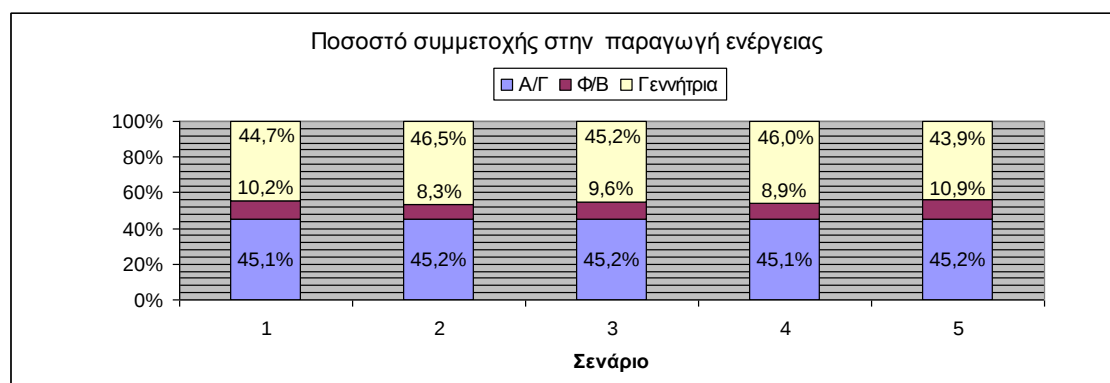
10 χρόνια ζωής. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης των ανεμογεννητριών και της γεννήτριας βιοντίζελ καθώς και το κόστος της κατανάλωσης βιοντίζελ από την γεννήτρια. Επίσης παρουσιάζεται το κόστος ανικανοποίητης ζήτησης, ο συντελεστής παρούσας αξίας, το συνολικό ετήσιο κόστος, το ετήσιο κόστος ανοιγμένο στο παρόν, η ενέργεια που καταναλώνεται και η ενέργεια που καταναλώνεται ανοιγμένη στο παρόν. Τέλος, υπολογίζεται το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που δίνεται από τον λόγο του αθροίσματος του ετήσιου κόστους ανηγμένου στο παρόν προς το άθροισμα της ενέργειας που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν. Ο τρόπος που υπολογίζονται όλα αυτά έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο όπου περιγράφεται η μοντελοποίηση του προβλήματος.

Πίνακας 4.3:Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	243800	-	-	53079,07
2	0	-	-	53079,07
3	0	-	-	53079,07
4	4800	NAI	-	53079,07
5	16000	-	NAI	53079,07
6	0	-	-	53079,07
7	0	-	-	53079,07
8	4800	NAI	-	53079,07
9	0	-	-	53079,07
10	16000	-	NAI	53079,07
11	53000	-	-	53079,07
12	4800	NAI	-	53079,07
13	0	-	-	53079,07
14	0	-	-	53079,07
15	16000	-	NAI	53079,07
16	4800	NAI	-	53079,07
17	0	-	-	53079,07
18	0	-	-	53079,07
19	0	-	-	53079,07
20	0	-	-	53079,07

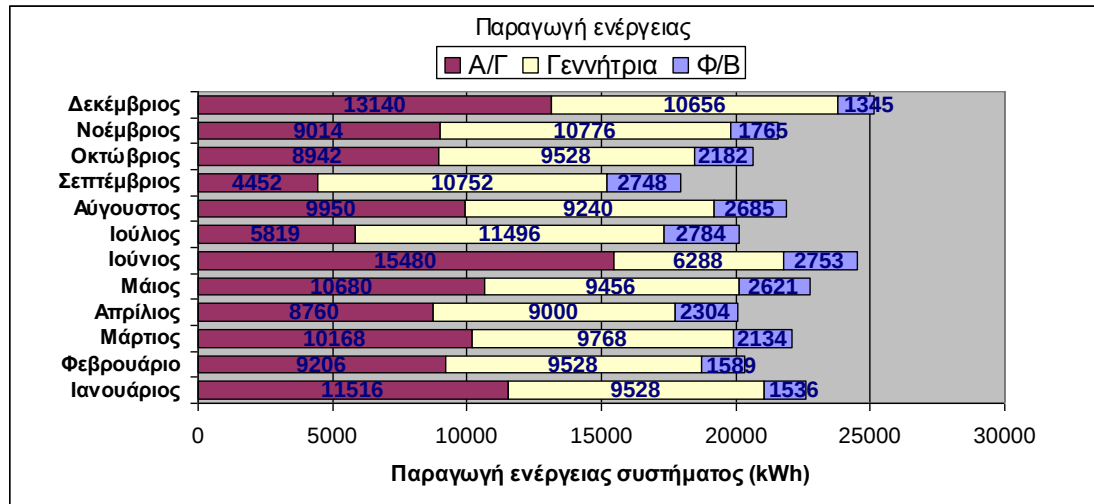
Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος ανικανοποίητης ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	1836	0,9091	298715	271559	211729	192481
2	1836	0,8264	54915	45384	211729	174982
3	1836	0,7513	54915	41258	211729	159075
4	1836	0,6830	59715	40786	211729	144613
5	1836	0,6209	70915	44032	211729	131467
6	1836	0,5645	54915	30998	211729	119515
7	1836	0,5132	54915	28180	211729	108650
8	1836	0,4665	59715	27857	211729	98773
9	1836	0,4241	54915	23289	211729	89793
10	1836	0,3855	70915	27340	211729	81630
11	1836	0,3505	107915	37823	211729	74209
12	1836	0,3186	59715	19027	211729	67463
13	1836	0,2897	54915	15906	211729	61330
14	1836	0,2633	54915	14460	211729	55754
15	1836	0,2394	70915	16976	211729	50686
16	1836	0,2176	59715	12995	211729	46078
17	1836	0,1978	54915	10864	211729	41889
18	1836	0,1799	54915	9876	211729	38081
19	1836	0,1635	54915	8979	211729	34619
20	1836	0,1486	54915	8162	211729	31472
				735760		1802570
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		0,4082 (€/kWh)

**Σχήμα 4.4:** Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.

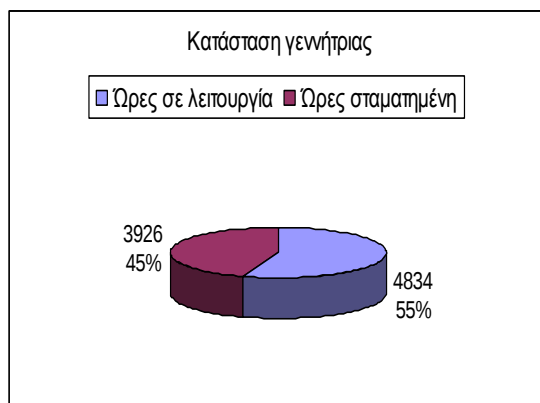
Στο Σχήμα 4.4 απεικονίζεται η συμμετοχή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των ανεμογεννητριών, των φωτοβολταϊκών, και της γεννήτριας βιοντίζελ. Δεν παρουσιάζονται πολύ μεγάλες διαφοροποιήσεις στα πέντε πιο βέλτιστα σενάρια και η τάση είναι να παράγεται σχεδόν ίση ηλεκτρική ενέργεια από την γεννήτρια βιοντίζελ και τις ανεμογεννήτριες, ίση περίπου με το 45% της συνολικής παραγωγής ενώ τα φωτοβολταϊκά συνεισφέρουν μόνο το 10,2% της συνολικής παραγωγής. Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται και η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των στοιχείων αυτών σε απόλυτα νούμερα. Για τους μήνες Δεκέμβριο και Ιούνιο η παραγωγή ενέργειας από την ανεμογεννήτρια είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες αλλά και το φορτίο είναι αυξημένο οπότε αυτό επηρεάζει και την συνολική

παραγωγή ενέργειας, όπου είναι μεγαλύτερη για τους μήνες αυτούς. Τους μήνες κατά τους οποίους η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια είναι μικρή, η γεννήτρια βιοντίζελ είναι αυτή που συνεισφέρει όση ηλεκτρική ενέργεια απαιτείται ώστε να καλυφθεί το φορτίο μιας και είναι η μόνη πηγή ενέργειας του συστήματος μη ελεγχόμενου ρυθμού παραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι μικρή γιατί το κόστος είναι μεγάλο, ενώ αυξάνεται τους μήνες που βρίσκονται πιο κοντά στο καλοκαίρι.

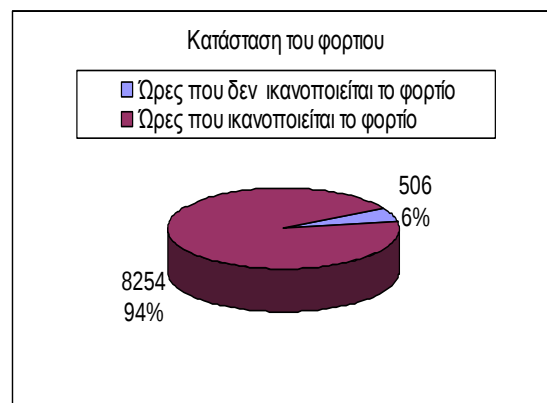


Σχήμα 4.5 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Στα επόμενα διαγράμματα φαίνεται πως η γεννήτρια βιοντίζελ λειτουργεί 4834 ώρες το χρόνο ή το 55% της διάρκειας λειτουργίας του συστήματος. Επίσης, στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται πως 506 ώρες το χρόνο ή το 6% της διάρκειας λειτουργίας του συστήματος που είναι τα 20 χρόνια το φορτίο δεν ικανοποιείται πλήρως. Υπάρχει δηλαδή έλλειμμα ενέργειας το οποίο για το βέλτιστο σενάριο είναι 3672 kWh/έτος. Ταυτόχρονα όμως 1450 ώρες το χρόνο ή το 17% της διάρκειας που λειτουργεί το σύστημα περισσεύει ενέργεια η οποία χάνεται. Συμφωνά με τον σχεδιασμό του συστήματος η ενέργεια που παράγεται δεν μπορεί να αποθηκευτεί όλη και ένα μέρος αυτής χάνεται. Για το βέλτιστο σενάριο η περίσσεια ενέργειας είναι ίση με 259587 kWh/έτος.



Σχήμα 4.6: Κατάσταση γεννήτριας



Σχήμα 4.7: Κατάσταση φορτίου



Σχήμα 4.8: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας

4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Η βέλτιστη λύση του απομονωμένου συστήματος ελαχιστοποιεί το κόστος ανά μονάδα ενέργειας που παράγεται στο σύστημα. Όμως, η αβεβαιότητα σε πολλές τιμές πολλών παραμέτρων εισόδου του προβλήματος καθιστά αναγκαία την διαδικασία της ανάλυσης ευαισθησίας, κατά την οποία αποτιμώνται οι επιπτώσεις των αλλαγών των παραμέτρων εισόδου στις οποίες δεν υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου. Τα εναλλακτικά σενάρια αξιολογούνται και η βέλτιστη λύση συγκρίνεται με την βέλτιστη λύση του αρχικού προβλήματος. Τα εναλλακτικά σενάρια περιλαμβάνουν τις ακόλουθες τροποποιήσεις:

1. Αύξηση του ηλιακού δυναμικού κατά 5%
2. Μείωση του ηλιακού δυναμικού κατά 5%
3. Αύξηση του αιολικού δυναμικού κατά 10%
4. Μείωση του αιολικού δυναμικού κατά 10%
5. Αύξηση της ποινής ανικανοποίητης ζήτησης από 0.5€ σε 1€
6. Αύξηση της ποινής ανικανοποίητης ζήτησης από 0.5€ σε 1,5€
7. Αύξηση της τιμής του βιοντίζελ κατά 30%
8. Αύξηση του επιτοκίου κατά 10%
9. Αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου κατά 20%

4.4.1 Αύξηση του ηλιακού δυναμικού κατά 5%

Εάν αυξηθεί η ηλιακή ακτινοβολία κατά 5% τότε το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας θα μειωθεί ελάχιστα. Η ανικανοποίητη ζήτηση όμως θα μειωθεί αρκετά. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρόλο την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας η ισχύς αιχμής των φωτοβολταϊκών δεν αυξάνεται ενώ αυξάνεται η ισχύς της γεννήτριας βιοντίζελ. Από τους

Πίνακες 4.5 και 4.6 φαίνεται πως το κόστος λειτουργίας και συντήρησης καθώς και το κόστος ανικανοποίητης ζήτησης μειώνονται.

Πίνακας 4.5: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ανικανοποίητη Ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	2560	28007	260953	0,40515
2	2730	30106	262503	0,40636
3	3644	28391	259802	0,40639
4	3812	27774	258988	0,40654
5	4911	29729	259463	0,40665

Πίνακας 4.6: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
1	16	3	25	17
2	17	3	25	13
3	15	3	24	16
4	14	3	24	16
5	17	3	23	13

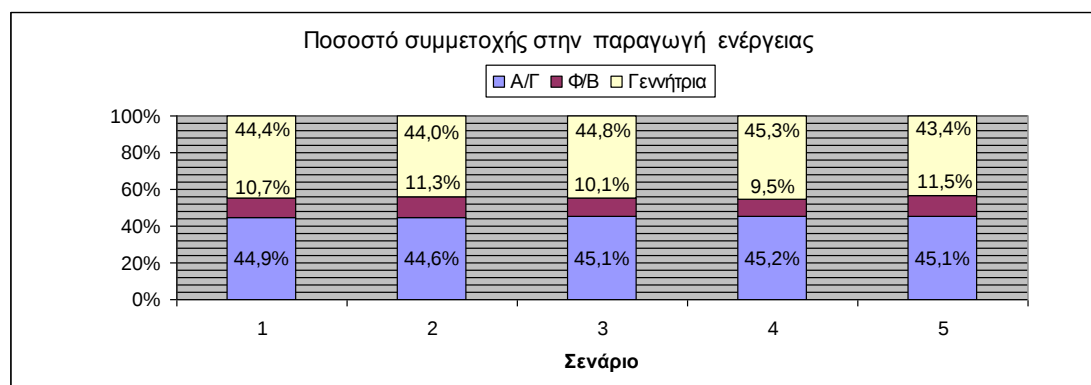
Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

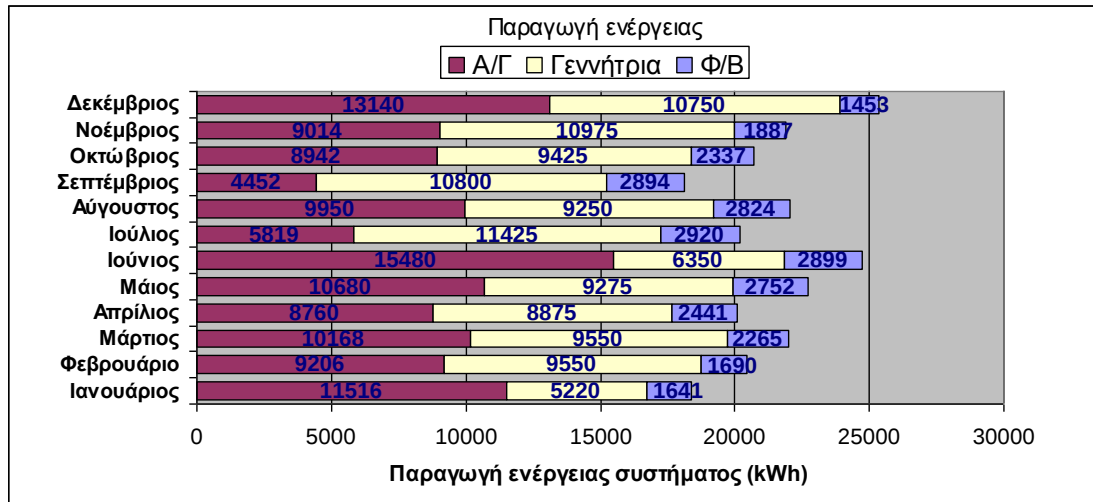
Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	246000	-	-	52995
2	0	-	-	52995
3	0	-	-	52995
4	5000	NAI	-	52995
5	17000	-	NAI	52995
6	0	-	-	52995
7	0	-	-	52995
8	5000	NAI	-	52995
9	0	-	-	52995
10	17000	-	NAI	52995
11	54000	-	-	52995
12	5000	NAI	-	52995
13	0	-	-	52995
14	0	-	-	52995
15	17000	-	NAI	52995
16	0	-	-	52995
17	5000	NAI	-	52995
18	0	-	-	52995
19	0	-	-	52995
20	0	-	-	52995

Πίνακας 4.8: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

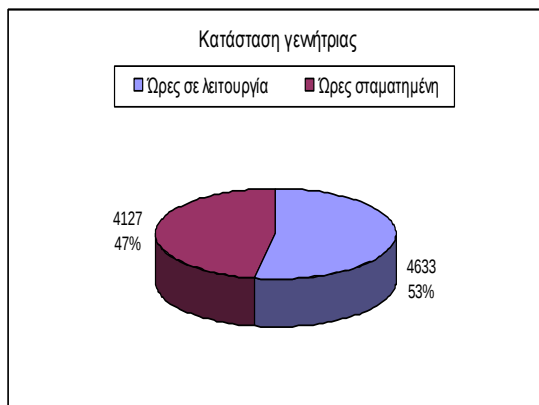
Έτος	Κόστος ανικανοποίητης ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	1280	0,9091	300275	272977	212841	193492
2	1280	0,8264	54275	44855	212841	175902
3	1280	0,7513	54275	40777	212841	159911
4	1280	0,6830	59275	40485	212841	145373
5	1280	0,6209	71275	44256	212841	132157
6	1280	0,5645	54275	30637	212841	120143
7	1280	0,5132	54275	27852	212841	109221
8	1280	0,4665	59275	27652	212841	99292
9	1280	0,4241	54275	23018	212841	90265
10	1280	0,3855	71275	27480	212841	82059
11	1280	0,3505	108275	37950	212841	74599
12	1280	0,3186	59275	18887	212841	67818
13	1280	0,2897	54275	15721	212841	61652
14	1280	0,2633	54275	14292	212841	56048
15	1280	0,2394	71275	17063	212841	50952
16	1280	0,2176	54275	11812	212841	46320
17	1280	0,1978	59275	11727	212841	42109
18	1280	0,1799	54275	9762	212841	38281
19	1280	0,1635	54275	8874	212841	34801
20	1280	0,1486	300275	8068	212841	31637
				734144		1812034
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		0,4051(€/kWh)

Από το Σχήμα 4.9 παρατηρούμε πως η συμμετοχή των φωτοβολταϊκών αυξάνεται ελάχιστα. Στο Σχήμα 4.10 φαίνεται αυτή η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία για κάθε μήνα. Η γεννήτρια λειτουργεί λιγότερες ώρες και για αυτό το κόστος λειτουργίας και συντήρησης μειώνεται. Οι ώρες που δεν ικανοποιείται το φορτίο μειώνονται καθώς επίσης μειώνονται και οι ώρες κατά τις οποίες περισσεύει ενέργεια, η οποία χάνεται.

**Σχήμα 4.9:** Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 4.10 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 4.11: Κατάσταση γεννήτριας.



Σχήμα 4.12: Κατάσταση του φορτίου



Σχήμα 4.13: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας.

4.4.2 Μείωση του ηλιακού δυναμικού κατά 5%.

Στην περίπτωση που μειωθεί η ηλιακή ακτινοβολία κατά 5% το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας θα μειωθεί ελάχιστα. Όπως και στην περίπτωση που αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία έτσι και εδώ η μεταβολή στο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μικρή γιατί είναι πολύ μικρή και η ισχύς αιχμής των φωτοβολταϊκών σε σχέση με τις άλλες πηγές ενέργειας του συστήματος. Η δομή του συστήματος δεν διαφοροποιείται σε σχέση με το

βασικό βέλτιστο σενάριο. Παρόλα αυτά η παραγόμενη ενέργεια μειώνεται κατά 560kWh ή κατά 0,22% σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο.

Πίνακας 4.9: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ανικανοποίητη Ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	3536	27793	259027	0,40969
2	3548	28241	259622	0,41026
3	2654	27331	260078	0,41028
4	2916	26764	259069	0,41074
5	3014	26949	259323	0,41097

Πίνακας 4.10: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
1	16	3	24	16
2	17	3	24	16
3	16	3	25	17
4	14	3	25	17
5	15	3	25	17

Για το βέλτιστο σενάριο τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 4.11 και 4.12.

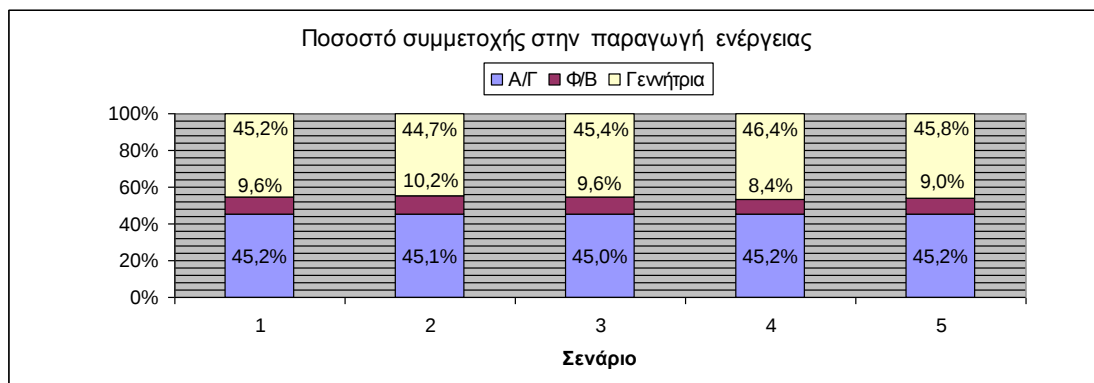
Πίνακας 4.11: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

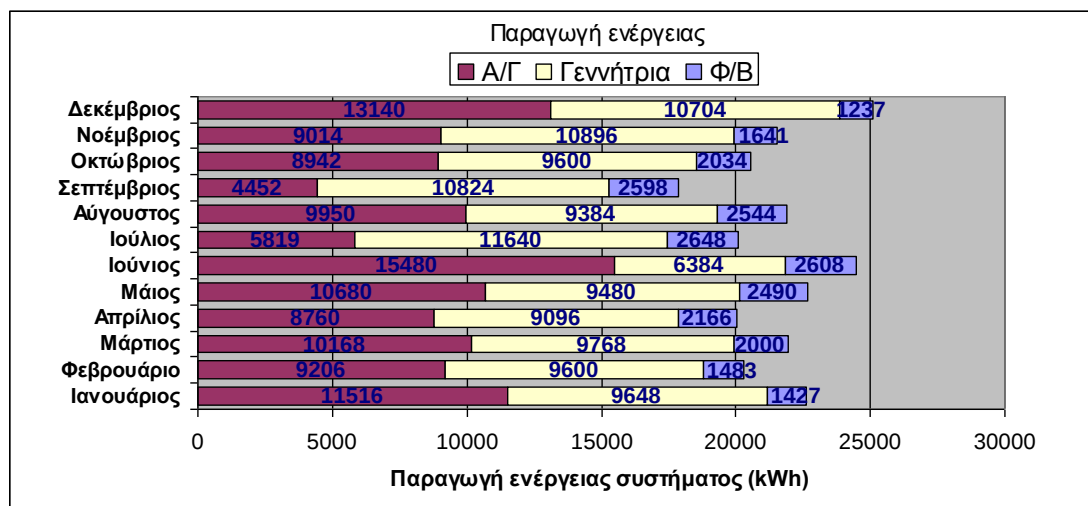
Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	243800	-	-	53525
2	0	-	-	53525
3	0	-	-	53525
4	4800	NAI	-	53525
5	16000	-	NAI	53525
6	0	-	-	53525
7	0	-	-	53525
8	4800	NAI	-	53525
9	0	-	-	53525
10	16000	-	NAI	53525
11	53000	-	-	53525
12	4800	NAI	-	53525
13	0	-	-	53525
14	0	-	-	53525
15	16000	-	NAI	53525
16	4800	NAI	-	53525
17	0	-	-	53525
18	0	-	-	53525
19	0	-	-	53525
20	0	-	-	53525

Πίνακας 4.12: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

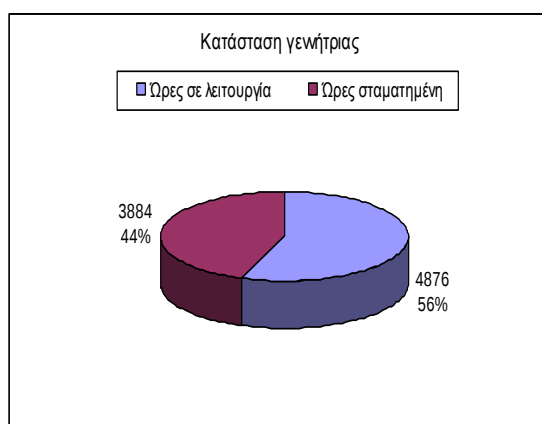
Έτος	Κόστος ανικανοποίητης ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	1768	0,9091	299093	271902	211865	192605
2	1768	0,8264	55293	45696	211865	175095
3	1768	0,7513	55293	41542	211865	159177
4	1768	0,6830	60093	41044	211865	144707
5	1768	0,6209	71293	44267	211865	131552
6	1768	0,5645	55293	31211	211865	119592
7	1768	0,5132	55293	28374	211865	108720
8	1768	0,4665	60093	28034	211865	98837
9	1768	0,4241	55293	23449	211865	89852
10	1768	0,3855	71293	27486	211865	81683
11	1768	0,3505	108293	37956	211865	74257
12	1768	0,3186	60093	19147	211865	67507
13	1768	0,2897	55293	16016	211865	61370
14	1768	0,2633	55293	14560	211865	55791
15	1768	0,2394	71293	17067	211865	50719
16	1768	0,2176	60093	13078	211865	46108
17	1768	0,1978	55293	10939	211865	41916
18	1768	0,1799	55293	9945	211865	38106
19	1768	0,1635	55293	9041	211865	34642
20	1768	0,1486	55293	8219	211865	31492
				738975		1803728
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		
				0,4097 (€/kWh)		

Η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μειώνεται λίγο και αυτό φαίνεται από το ποσοστό συμμετοχής των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο Σχήμα 4.14 αλλά και από το Σχήμα 4.15 όπου απεικονίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για κάθε μήνα. Από τα διαγράμματα παρατηρούμε πως η γεννήτρια βιντίζελ λειτουργεί περισσότερες ώρες έτσι ώστε να αντισταθμιστεί η μειωμένη παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μιας και η δομή του συστήματος παραμένει η ίδια. Επίσης μειωμένες είναι οι ώρες που δεν ικανοποιείται το φορτίο, όπως επίσης και οι ώρες που περισσεύει ενέργεια.

**Σχήμα 4.14:** Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 4.15: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 4.16: Κατάσταση γεννήτριας



Σχήμα 4.17: Κατάσταση του φορτίου



Σχήμα 4.18: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας

4.4.3 Αύξηση του αιολικού δυναμικού κατά 10%

Το αιολικό δυναμικό δεν μπορεί να ελεγχθεί. Μια μεταβολή στην ταχύτητα του ανέμου θα έχει συνέπειες στην λειτουργία του συστήματος. Μια αύξηση το αιολικό δυναμικό κατά 10% έχει ως αποτέλεσμα μια αξιοσημείωτη μείωση στο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης του 4.70% σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο. Έτσι, το κόστος ενέργειας διαμορφώνεται στα 0.38898 €/kWh. Επίσης, υπάρχει μείωση στην ανικανοποίητη ζήτηση

κατά 11,16% σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο ενώ η παραγόμενη ενέργεια αυξάνεται κατά 5.58% και κατά συνέπεια υπάρχει αύξηση και στην περίσσεια ενέργειας.

Πίνακας 4.19: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος

Σενάρια	Ανικανοποίητη Ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	3262	42178	274087	0,38898
2	3490	41056	272626	0,38907
3	2648	41247	273970	0,38913
4	2743	40998	273295	0,38918
5	2733	41638	274522	0,38971

Πίνακας 4.20: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος

Σενάρια	Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
1	15	3	24	13
2	14	3	24	16
3	13	3	25	13
4	13	3	25	14
5	14	3	25	13

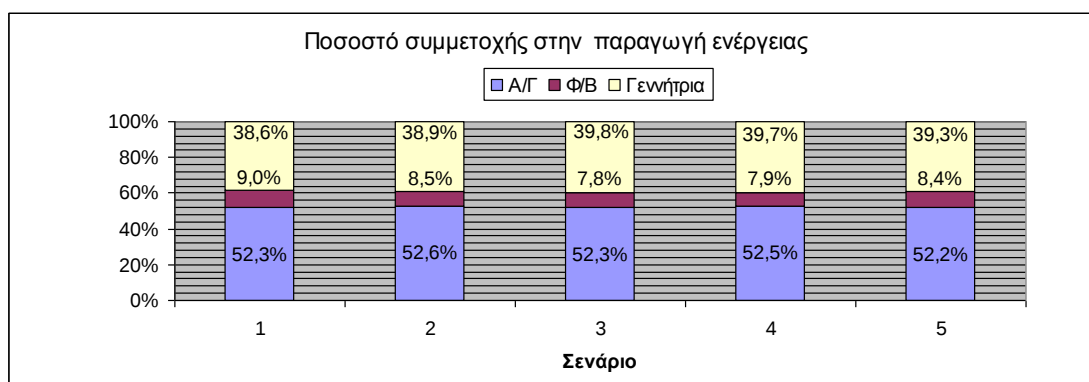
Για το βέλτιστο σενάριο τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 4.21 και 4.22.

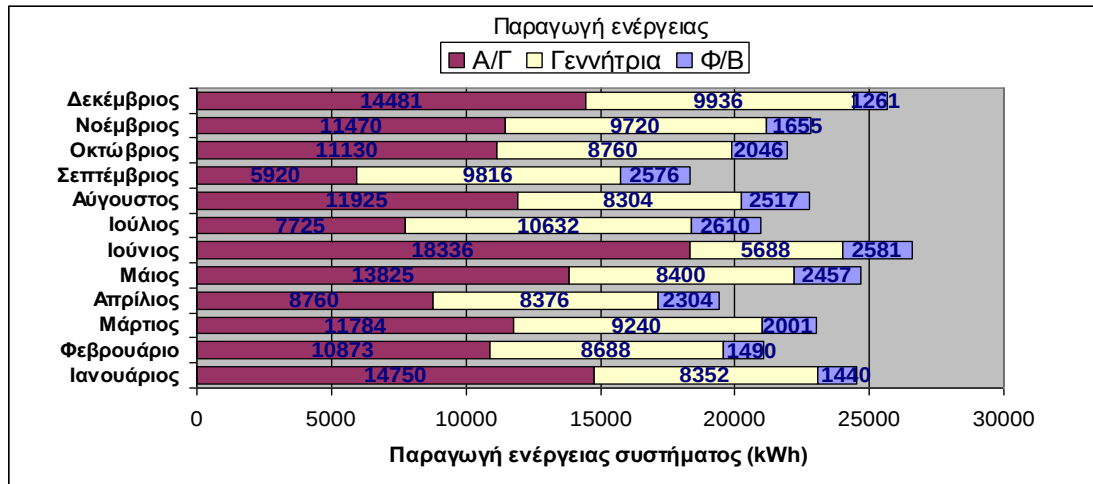
Πίνακας 4.21: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	245800	-	-	48613
2	0	-	-	48613
3	0	-	-	48613
4	17800	NAI	NAI	48613
5	0	-	-	48613
6	0	-	-	48613
7	0	-	-	48613
8	13000	-	NAI	48613
9	4800	NAI	-	48613
10	0	-	-	48613
11	63000	-	-	48613
12	13000	-	NAI	48613
13	4800	NAI	-	48613
14	0	-	-	48613
15	0	-	-	48613
16	0	-	-	48613
17	13000	-	NAI	48613
18	4800	NAI	-	48613
19	0	-	-	48613
20	0	-	-	48613

Πίνακας 4.22: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

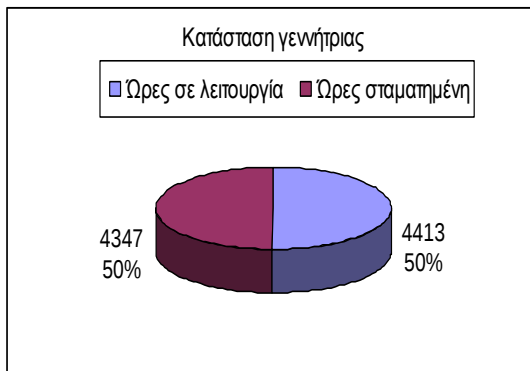
Έτος	Κόστος ανικανοποίητης ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	1631	0,9091	296044	269131	212139	192854
2	1631	0,8264	50244	41524	212139	175322
3	1631	0,7513	50244	37749	212139	159383
4	1631	0,6830	68044	46475	212139	144894
5	1631	0,6209	50244	31198	212139	131722
6	1631	0,5645	50244	28362	212139	119747
7	1631	0,5132	50244	25783	212139	108861
8	1631	0,4665	63244	29504	212139	98964
9	1631	0,4241	55044	23344	212139	89968
10	1631	0,3855	50244	19371	212139	81789
11	1631	0,3505	113244	39691	212139	74353
12	1631	0,3186	63244	20152	212139	67594
13	1631	0,2897	55044	15944	212139	61449
14	1631	0,2633	50244	13231	212139	55863
15	1631	0,2394	50244	12028	212139	50784
16	1631	0,2176	50244	10935	212139	46168
17	1631	0,1978	63244	12513	212139	41971
18	1631	0,1799	55044	9900	212139	38155
19	1631	0,1635	50244	8215	212139	34686
20	1631	0,1486	50244	7468	212139	31533
				702518		1806060,44
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		0,3890(€/kWh)

**Σχήμα 4.19:** Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 4.20: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

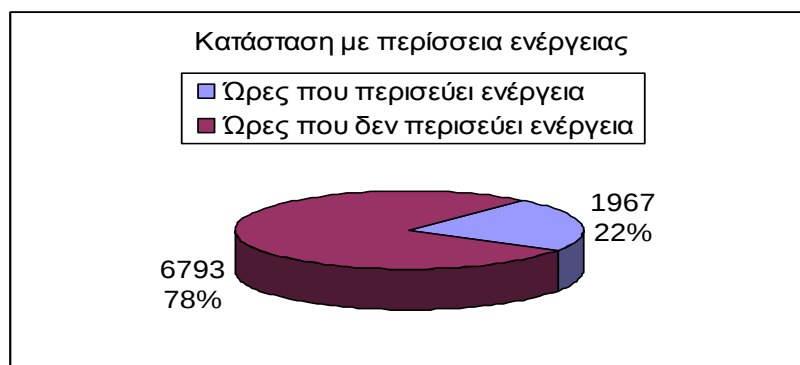
Από την στιγμή που αυξάνεται το αιολικό δυναμικό αυξάνεται και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες και μάλιστα η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας είναι κατά πολύ μεγαλύτερη αφού η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη με τον κύβο της ταχύτητας συμφωνά με την σχέση (2.2). Παρατηρούμε λοιπόν πως το ποσοστό συμμετοχής της ανεμογεννήτριας είναι πλέον 52,3% ενώ η γεννήτρια βιοντίζελ παράγει μόνο το 38,6% της ηλεκτρικής ενέργειας. Από το Σχήμα 4.20 φαίνεται η αύξηση αυτή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες αλλά και ότι η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται. Η γεννήτρια δουλεύει τις μισές ώρες του έτους και συνεπώς λειτουργεί λιγότερο σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο. Το φορτίο μένει ανικανοποίητο λιγότερες ώρες οι οποίες υπολογίζονται σε 455 ώρες του έτους ενώ αυξάνονται και οι ώρες που υπάρχει περίσσειμα ενέργειας οι οποίες υπολογίζονται σε 1967 ώρες του έτους.



Σχήμα 4.21: Κατάσταση γεννήτριας



Σχήμα 4.22: Κατάσταση του φορτίου



Σχήμα 4.23: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας

4.4.4 Μείωση του αιολικού δυναμικού κατά 10%

Αν μειωθεί το αιολικό δυναμικό κατά 10% το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για το βέλτιστο σενάριο αυξάνεται κατά 8,15% σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο. Η δομή του συστήματος μεταβάλλεται και αυτή και έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η ονομαστική ισχύς των φωτοβολταϊκών στοιχείων, να μειωθεί ο αριθμός των ανεμογεννητριών ενώ μειώνεται και ο αριθμός των μπαταριών. Η αύξηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται στο γεγονός ότι η ενέργεια που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες έχει χαμηλό κόστος σε σχέση με το κόστος της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης, παρατηρείται μείωση στην παραγόμενη ενέργεια αλλά και στην περίσσεια ενέργειας ενώ αυξάνεται η ανικανοποίητη ζήτηση.

Πίνακας 4.23: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ανικανοποίητη Ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	3995	8341	235536	0,44145
2	4275	8083	234440	0,44157
3	2880	21746	251883	0,44159
4	3015	7636	235839	0,44173
5	4295	6792	232320	0,44176

Πίνακας 4.24: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
1	24	2	25	6
2	25	2	24	8
3	24	3	25	8
4	25	2	25	9
5	20	2	24	9

Για το βέλτιστο σενάριο τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 4.25 και 4.26

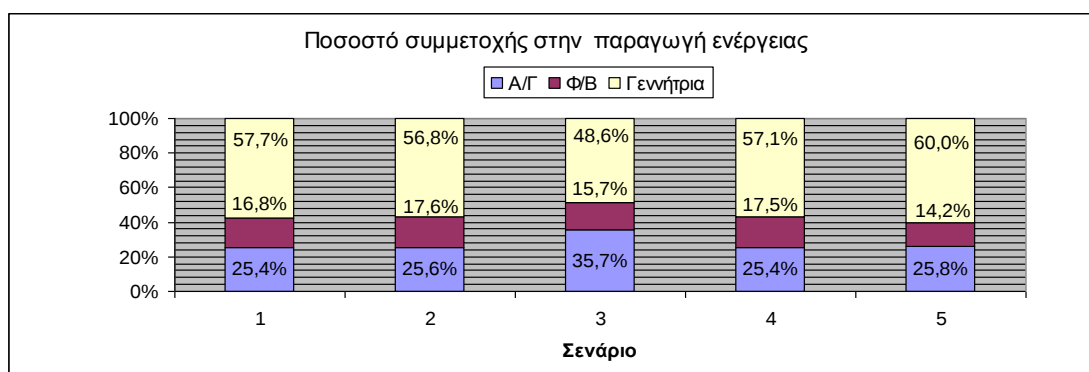
Πίνακας 4.25: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	231000	-	NAI	61279
2	0	-	-	61279
3	11000	NAI	NAI	61279
4	0	-	-	61279
5	6000	-	NAI	61279
6	0	-	-	61279
7	11000	NAI	NAI	61279
8	0	-	-	61279
9	6000	-	NAI	61279
10	0	-	-	61279
11	51000	NAI	NAI	61279
12	0	-	-	61279
13	6000	-	NAI	61279
14	5000	NAI	-	61279
15	6000	-	NAI	61279
16	6000	-	NAI	61279
17	0	-	-	61279
18	11000	NAI	NAI	61279
19	0	-	-	61279
20	0	-	-	61279

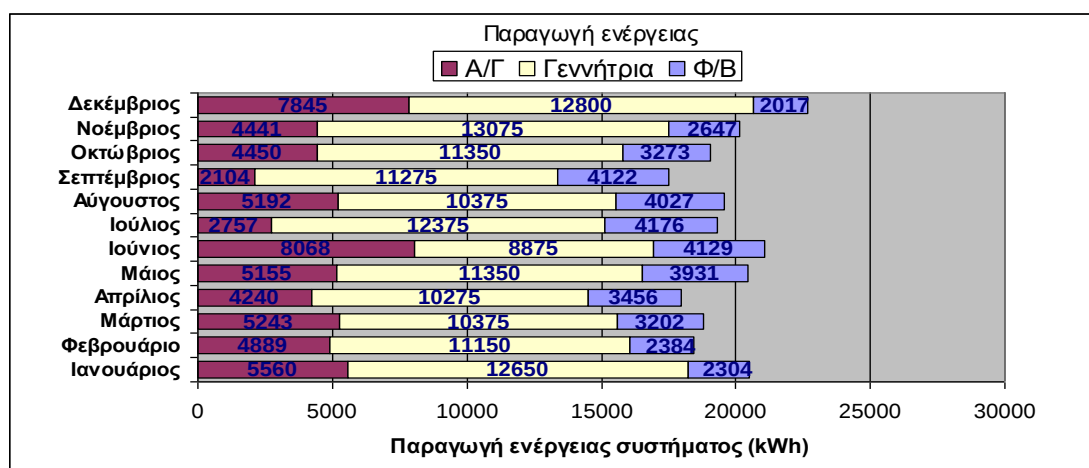
Πίνακας 4.26 Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος ανικανοποίητης ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	1997	0,9091	294276	267524	211407	192188
2	1997	0,8264	63276	52294	211407	174716
3	1997	0,7513	74276	55805	211407	158833
4	1997	0,6830	63276	43218	211407	144394
5	1997	0,6209	69276	43015	211407	131267
6	1997	0,5645	63276	35718	211407	119334
7	1997	0,5132	74276	38115	211407	108485
8	1997	0,4665	63276	29519	211407	98623
9	1997	0,4241	69276	29380	211407	89657
10	1997	0,3855	63276	24396	211407	81506
11	1997	0,3505	114276	40053	211407	74097
12	1997	0,3186	63276	20162	211407	67361
13	1997	0,2897	69276	20067	211407	61237
14	1997	0,2633	68276	17979	211407	55670
15	1997	0,2394	69276	16584	211407	50609
16	1997	0,2176	69276	15077	211407	46008
17	1997	0,1978	63276	12519	211407	41826
18	1997	0,1799	74276	13359	211407	38023
19	1997	0,1635	63276	10346	211407	34567
20	1997	0,1486	63276	9406	211407	31424
				794535		1799824,38
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		0,4415(€/kWh)

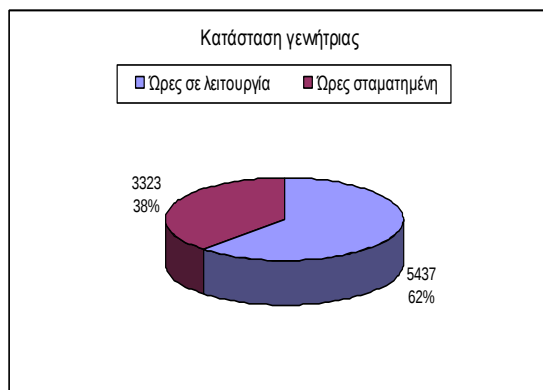
Για το βέλτιστο σενάριο φαίνεται πως υπάρχει συχνή αντικατάσταση των μπαταριών και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η χωρητικότητά τους είναι μικρή. Επίσης, συχνή είναι και η αντικατάσταση της γεννήτριας βιοντίζελ αφού δουλεύει 5437 ώρες τον χρόνο. Έτσι, η συμμετοχή της στην παραγωγή ενέργειας είναι επίσης μεγάλη αφού φτάνει το 57,7% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας όπως φαίνεται και από το Σχήμα 4.24. Από το Σχήμα 4.25 φαίνεται ότι έχει μειωθεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες ενώ αυξημένη είναι η παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και την γεννήτρια βιοντίζελ. Τέλος, αυξημένες είναι οι ώρες που δεν ικανοποιείται το φορτίο ενώ μειωμένες είναι οι ώρες που υπάρχει περίσσεια ενέργειας πάντα σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο.



Σχήμα 4.24: Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 4.25 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 4.18: Κατάσταση γεννήτριας



Σχήμα 4.19: Κατάσταση του φορτίου



Σχήμα 4.20: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας

4.4.5 Αύξηση της ποινης ανικανοποίητης ζήτησης από 0.5€ σε 1€

Εάν αυξηθεί το κόστος ανικανοποίητης ζήτησης από 0,5€ σε 1€ τότε αυξάνεται και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανικανοποίητη ζήτηση μειώνεται αισθητά αφού αυξάνοντας το κόστος ανικανοποίητης ζήτησης είναι σαν να υπάρχει μεγαλύτερη ποινη στην περίπτωση που δεν ικανοποιείται η ζήτηση. Η παραγόμενη ενέργεια αυξάνεται και κατά συνέπεια αυξάνεται και η περίσσεια ενέργειας αφού το φορτίο παραμένει σταθερό. Η δομή του συστήματος διαφοροποιείται λίγο σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο

Πίνακας 4.27: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ανικανοποίητη ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	2068	28897	262131	0,41430
2	1487	29635	264495	0,41480
3	1880	29218	263201	0,41486
4	1942	29458	263554	0,41490
5	2317	27201	259535	0,41532

Πίνακας 4.18: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
1	16	3	26	14
2	19	3	27	15
3	18	3	26	15
4	19	3	26	15
5	11	3	26	14

Για το βέλτιστο σενάριο τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 4.29 και 4.30.

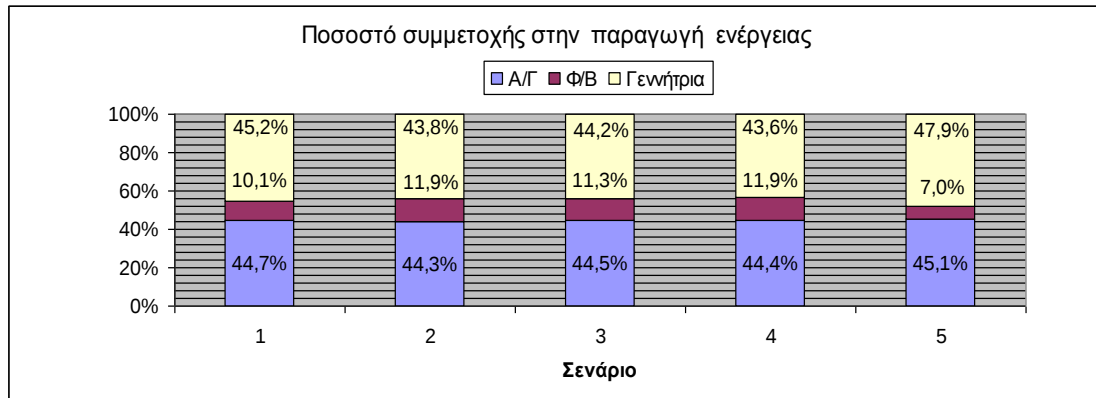
Πίνακας 4.29: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	244200	-	-I	54204
2	0	-	-	54204
3	0	-	-	54204
4	19200	NAI	NAI	54204
5	0	-	-	54204
6	0	-	-	54204
7	0	-	-	54204
8	19200	NAI	NAI	54204
9	0	-	-	54204
10	0	-	-	54204
11	55000	-	-	54204
12	14000	-	NAI	54204
13	5200	NAI	-	54204
14	0	-	-	54204
15	0	-	-	54204
16	14000	-	NAI	54204
17	5200	NAI	-	54204
18	0	-	-	54204
19	0	-	-	54204
20	0	-	-	54204

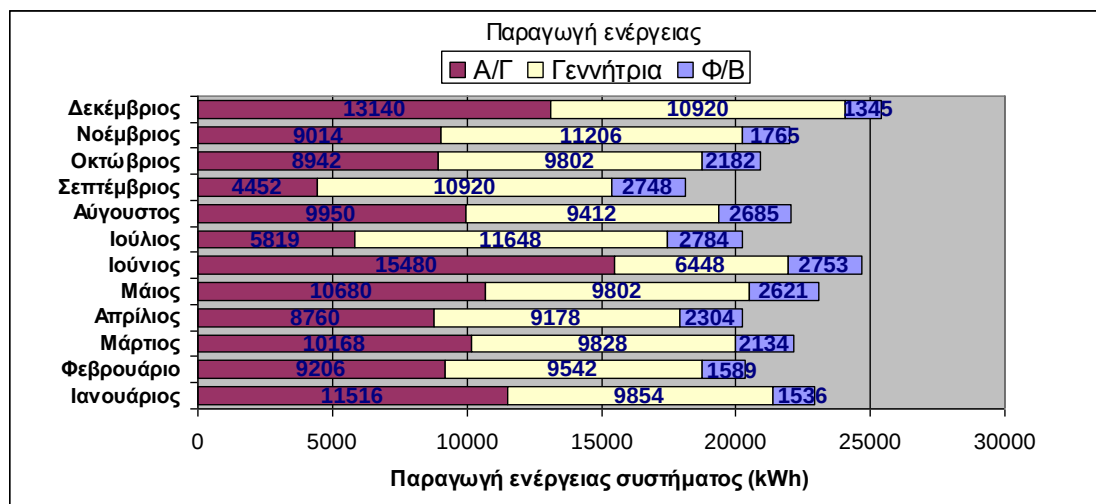
Πίνακας 4.30: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος ανικανοποίητης ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	2068	0,9091	300472	273156	213333	193939
2	2068	0,8264	56272	46506	213333	176308
3	2068	0,7513	56272	42278	213333	160280
4	2068	0,6830	75472	51548	213333	145709
5	2068	0,6209	56272	34940	213333	132463
6	2068	0,5645	56272	31764	213333	120421
7	2068	0,5132	56272	28876	213333	109473
8	2068	0,4665	75472	35208	213333	99521
9	2068	0,4241	56272	23865	213333	90474
10	2068	0,3855	56272	21695	213333	82249
11	2068	0,3505	111272	39000	213333	74772
12	2068	0,3186	70272	22391	213333	67974
13	2068	0,2897	61472	17806	213333	61795
14	2068	0,2633	56272	14818	213333	56177
15	2068	0,2394	56272	13471	213333	51070
16	2068	0,2176	70272	15293	213333	46427
17	2068	0,1978	61472	12162	213333	42207
18	2068	0,1799	56272	10121	213333	38370
19	2068	0,1635	56272	9201	213333	34882
20	2068	0,1486	56272	8364	213333	31711
				752466		1816221
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		0,4143 (€/kWh)

Όπως παρουσιάζεται και από το Σχήμα 4.21 τα ποσοστά συμμετοχής των φωτοβολταϊκών, των ανεμογεννητριών και της γεννήτριας δεν διαφοροποιούνται αισθητά. Αντίθετα όμως η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας βιντίζελ αυξάνεται από 24 kW σε 26 kW ενώ η συνεισφορά της είναι παρόμοια γιατί απλά μειώνονται οι ώρες λειτουργίας της. Επίσης οι ώρες που δεν ικανοποιείται το φορτίο έχουν μειωθεί γιατί έχει αυξηθεί το κόστος ανικανοποίητης ζήτησης. Τέλος οι ώρες που παρουσιάζεται περίσσεια ενέργειας αυξάνονται αφού αυξάνεται και οι συνολική παραγόμενη ενέργεια.



Σχήμα 4.21: Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.



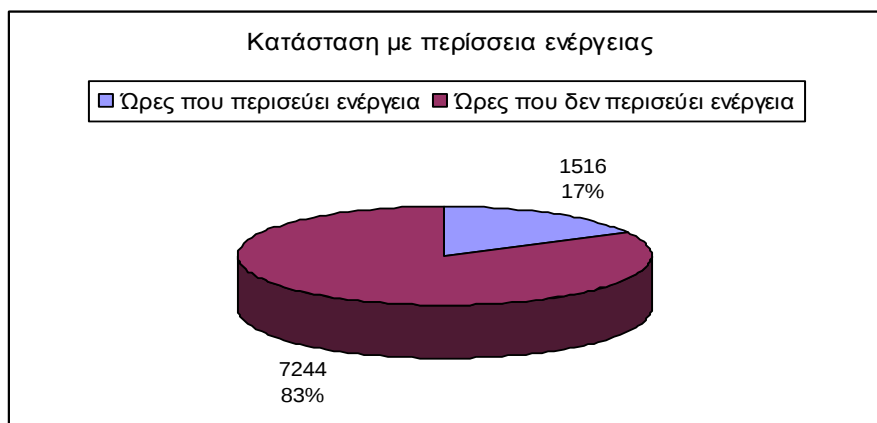
Σχήμα 4.22: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 4.23: Κατάσταση γεννήτριας



Σχήμα 4.24: Κατάσταση του φορτίου



Σχήμα 4.25: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας

4.4.6 Αύξηση της ποιικής ανικανοποίητης ζήτησης από 1€ σε 1.5€

Αυξάνοντας ακόμα περισσότερο το κόστος ανικανοποίητης ζήτησης σημαίνει πως είναι ακόμα πιο σημαντικό για την λειτουργία του συστήματος να ικανοποιεί το φορτίο. Το πόσο σημαντικό είναι να ικανοποιείται το φορτίο σχετίζεται και με το αν το φορτίο προέρχεται από μια αγροτική περιοχή, έναν οικισμό ή μια βιομηχανία. Έτσι, λοιπόν για κόστος ανικανοποίητης ζήτησης ίσο με 1,5€ το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο αλλά και σε σχέση με το εναλλακτικό σενάριο όπου το κόστος ανικανοποίητης ζήτησης είχε οριστεί στο 1€. Παρατηρούμε πως η ισχύς αιχμής των φωτοβολταϊκών μειώνεται σε σχέση με το προηγούμενο εναλλακτικό σενάριο. Η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας βιοντίζελ αυξάνεται όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ελεγχόμενη και συμβάλει έτσι στην καλύτερη ικανοποίηση του φορτίου. Μεγάλη είναι η μείωση της ανικανοποίητης ζήτησης όπου σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο μειώνεται κατά 76.14%.

Πίνακας 4.31: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ανικανοποίητη ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	1023	27163	262429	0,41775
2	1487	29635	264495	0,41828
3	449	29767	266790	0,41832
4	1170	30021	260774	0,41860
5	431	30358	267513	0,41874

Πίνακας 4.32: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
13	3	28	16
19	3	27	15
19	3	30	15
10	3	28	16
20	3	30	15

Για το βέλτιστο σενάριο τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 4.33 και 4.34

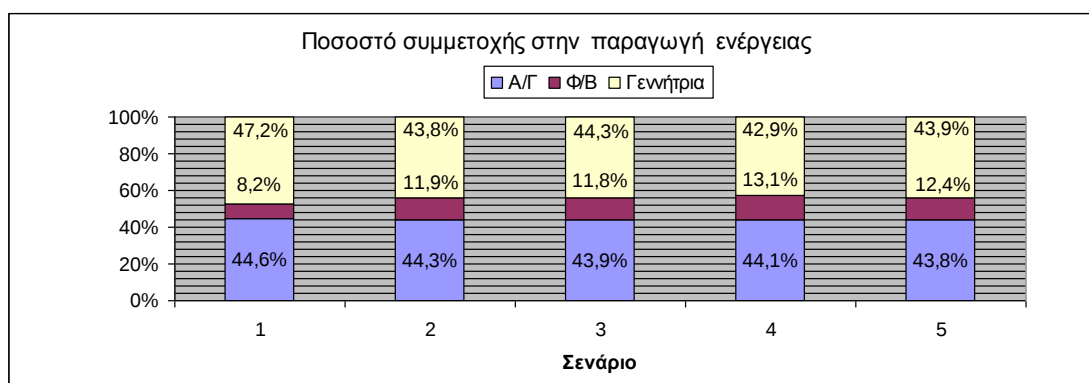
Πίνακας 4.33:Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	233600	-	-	56527
2	0	-	-	56527
3	0	-	-	56527
4	21600	NAI	NAI	56527
5	0	-	-	56527
6	0	-	-	56527
7	0	-	-	56527
8	16000	-	NAI	56527
9	5600	NAI	-	56527
10	0	-	-	56527
11	57000	-	-	56527
12	16000	-	NAI	56527
13	5600	NAI	-	56527
14	0	-	-	56527
15	0	-	-	56527
16	16000	-	NAI	56527
17	0	-	-	56527
18	5600	NAI	-	56527
19	0	-	-	56527
20	0	-	-	56527

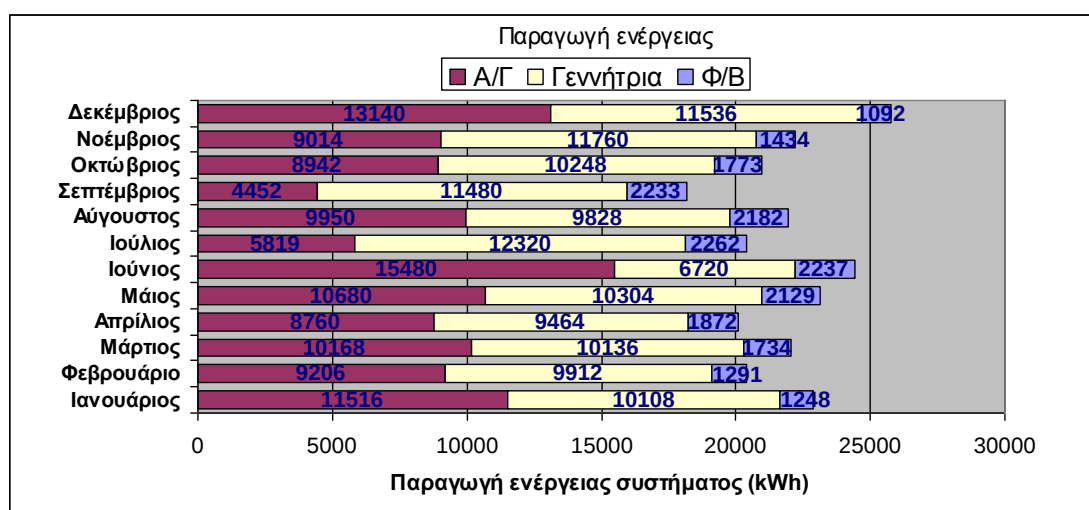
Πίνακας 4.34:Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος ανικανοποίητης ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	1534	0,9091	291661	265146	214379	194890
2	1534	0,8264	58061	47984	214379	177172
3	1534	0,7513	58061	43622	214379	161066
4	1534	0,6830	79661	54409	214379	146423
5	1534	0,6209	58061	36051	214379	133112
6	1534	0,5645	58061	32774	214379	121011
7	1534	0,5132	58061	29794	214379	110010
8	1534	0,4665	74061	34550	214379	100009
9	1534	0,4241	63661	26998	214379	90917
10	1534	0,3855	58061	22385	214379	82652
11	1534	0,3505	115061	40328	214379	75138
12	1534	0,3186	74061	23598	214379	68308
13	1534	0,2897	63661	18440	214379	62098
14	1534	0,2633	58061	15289	214379	56453
15	1534	0,2394	58061	13899	214379	51321
16	1534	0,2176	74061	16118	214379	46655
17	1534	0,1978	58061	11487	214379	42414
18	1534	0,1799	63661	11450	214379	38558
19	1534	0,1635	58061	9493	214379	35053
20	1534	0,1486	58061	8630	214379	31866
				762446		1825125
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		0,4178 (€/kWh)

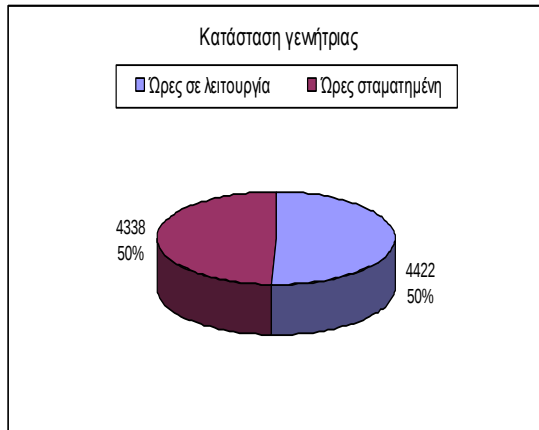
Από το Σχήμα 4.26 φαίνεται πως η γεννήτρια βιοντίζελ λειτουργεί λιγότερες ώρες σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο αλλά επειδή η ονομαστική της ισχύ είναι μεγαλύτερη έχει ως αποτέλεσμα να είναι μεγαλύτερη και η συμμετοχή της στην παραγωγή ενέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό και από το Σχήμα 4.27 όπου φαίνεται αναλυτικά η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος. Το φορτίο δεν ικανοποιείται για μόλις 147 ώρες το έτος. Τέλος ελάχιστα μειώνονται οι ώρες όπου εμφανίζεται περίσσεια ενέργειας.



Σχήμα 4.26: Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 4.27: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 4.28: Κατάσταση γεννήτριας



Σχήμα 4.29: Κατάσταση του φορτίου



Σχήμα 4.30: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας

4.4.7 Αύξηση της τιμής του βιοντίζελ κατά 30%

Λόγω της οικονομικής αστάθειας αλλά και των συνεχόμενων μεταβολών στις τιμές των καυσίμων είναι καλό να εξεταστεί πως θα επηρεάσει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας μια αύξηση κατά 30% στο κόστος των βιοκαυσίμων. Υπολογίστηκε λοιπόν πως το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται κατά 16,6%. Η παραγόμενη ενέργεια δεν αυξάνεται πολύ όμως η περίσσεια ενέργειας και η ανικανοποίητη ζήτηση αυξάνονται αρκετά. Όσον αφορά την δομή του συστήματος, αυξάνεται αρκετά ο αριθμός των φωτοβολταϊκών και μειώνεται κατά 1kW η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας βιοντίζελ. Επίσης μειώνεται και ο αριθμός των μπαταριών. Το τέταρτο σενάριο έχει αρκετά μικρή ανικανοποίητη ζήτηση αλλά για να επιτευχθεί αυτό αυξάνεται και η παραγόμενη ενέργεια του συστήματος αλλά και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 4.35: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ανικανοποίητη Ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	4468	31313	261979	0,47592
2	3558	32057	264362	0,47688
3	4628	31071	261545	0,47743
4	1865	33219	267922	0,47757
5	3524	30625	262667	0,47771

Πίνακας 4.36: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
1	22	3	23	130
2	24	3	24	130
3	21	3	23	130
4	26	3	26	130
5	21	3	24	140

Για το βέλτιστο σενάριο τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 4.36 και 4.37.

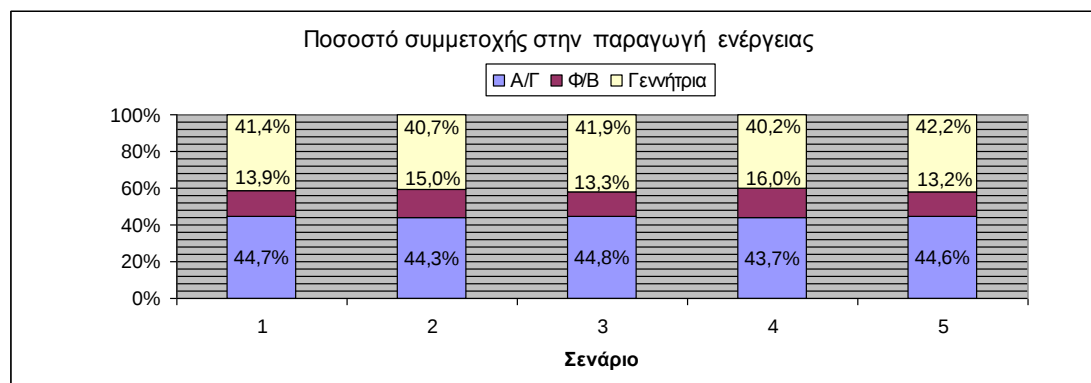
Πίνακας 4.37: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

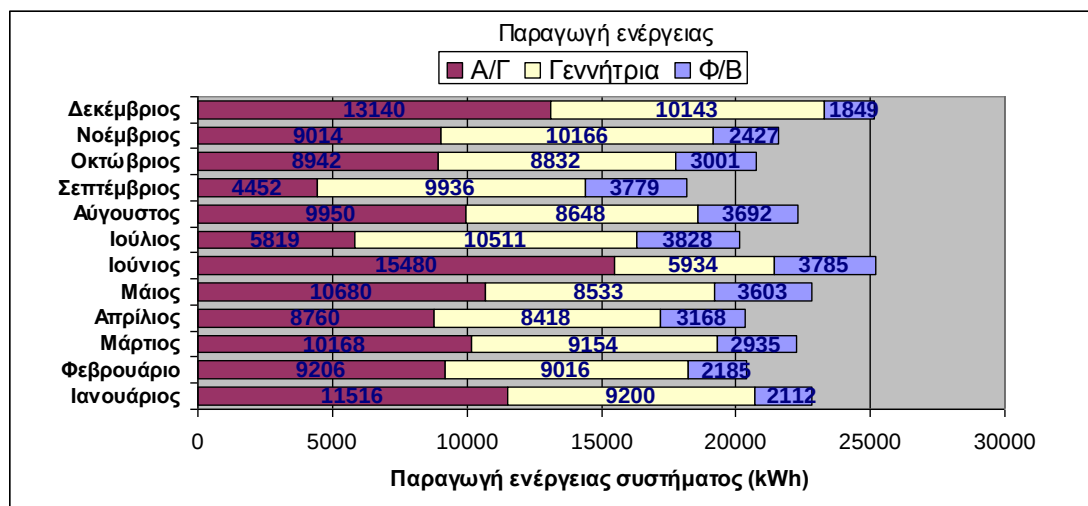
Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	269600	-	-	63813
2	0	-	-	63813
3	0	-	-	63813
4	17600	NAI	NAI	63813
5	0	-	-	63813
6	0	-	-	63813
7	0	-	-	63813
8	17600	NAI	NAI	63813
9	0	-	-	63813
10	0	-	-	63813
11	52000	-	-	63813
12	4600	NAI	NAI	63813
13	13000	-	-	63813
14	0	-	-	63813
15	0	-	-	63813
16	4600	NAI	-	63813
17	13000	-	NAI	63813
18	0	-	-	63813
19	0	-	-	63813
20	0	-	-	63813

Πίνακας 4.38: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

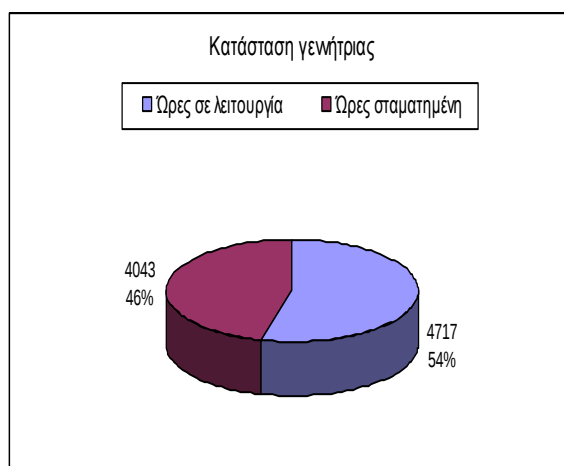
Έτος	Κόστος ανικανοποίητης ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	2234	0,9091	335647	305134	210934	191758
2	2234	0,8264	66047	54585	210934	174325
3	2234	0,7513	66047	49622	210934	158478
4	2234	0,6830	83647	57132	210934	144070
5	2234	0,6209	66047	41010	210934	130973
6	2234	0,5645	66047	37282	210934	119067
7	2234	0,5132	66047	33893	210934	108242
8	2234	0,4665	83647	39022	210934	98402
9	2234	0,4241	66047	28010	210934	89456
10	2234	0,3855	66047	25464	210934	81324
11	2234	0,3505	118047	41375	210934	73931
12	2234	0,3186	70647	22510	210934	67210
13	2234	0,2897	79047	22897	210934	61100
14	2234	0,2633	66047	17392	210934	55545
15	2234	0,2394	66047	15811	210934	50496
16	2234	0,2176	70647	15375	210934	45905
17	2234	0,1978	79047	15639	210934	41732
18	2234	0,1799	66047	11879	210934	37938
19	2234	0,1635	66047	10799	210934	34489
20	2234	0,1486	66047	9818	210934	31354
				854650		1795796
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		0,4759 (€/kWh)

Από τα Σχήμα 4.31 διαπιστώνεται πως αυξάνεται η συμμετοχή των φωτοβολταϊκών στην παραγωγή ενέργειας ενώ μειώνεται η συμμετοχή της γεννήτριας βιοντίζελ καθώς και οι ώρες που λειτουργεί η γεννήτρια. Το πώς διαμορφώνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για κάθε μήνα φαίνεται και από το Σχήμα 4.32. Κατά μια ποσοστιαία μονάδα αυξάνονται και οι ώρες που δεν ικανοποιείται το φορτίο αλλά και οι ώρες που περισσεύει ηλεκτρική ενέργεια.

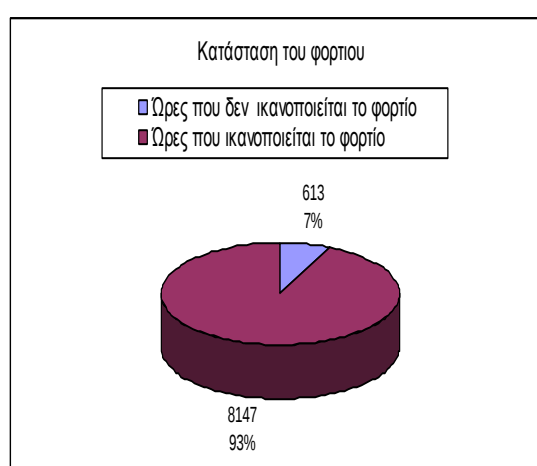
**Σχήμα 4.31:** Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 4.32 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 4.33: Κατάσταση γεννήτριας



Σχήμα 4.34: Κατάσταση του φορτίου



Σχήμα 4.35: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας

4.4.8 Αύξηση του επιτοκίου κατά 10%

Το επιτόκιο προεξόφλησης είναι ακόμα ένας παράγοντας ο οποίος μπορεί να αλλάξει. Μια αύξηση κατά 10% στο επιτόκιο προεξόφλησης θα έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Η δομή του συστήματος δεν διαφοροποιείται για το βέλτιστο σενάριο όμως όταν γίνεται αναγωγή στο παρόν τότε εξαιτίας του συντελεστή παρούσας αξίας το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται.

Πίνακας 4.39: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ανικανοποίητη Ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	3672	28189	259587	0,41502
2	2842	26767	259138	0,41568
3	2974	27043	259516	0,41669
4	3850	27891	259158	0,41677
5	2317	27201	259535	0,41685

Πίνακας 4.40: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
1	16	3	24	160
2	13	3	25	170
3	14	3	25	170
4	15	3	24	160
5	11	3	26	140

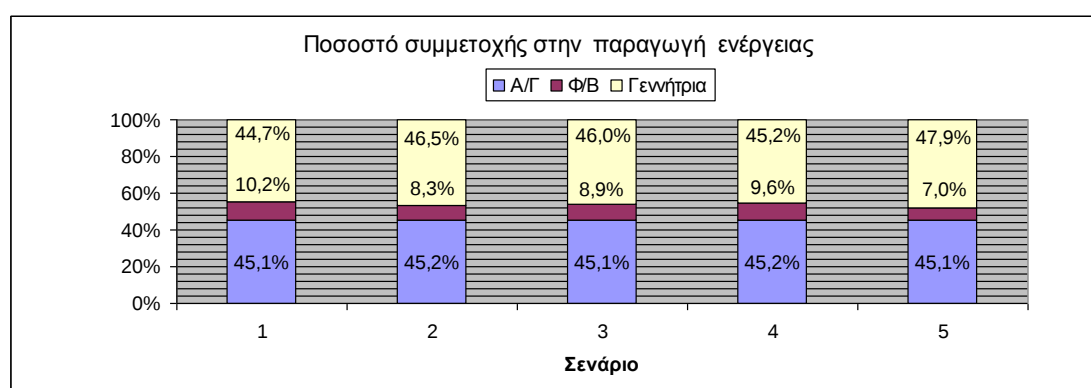
Πίνακας 4.41: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

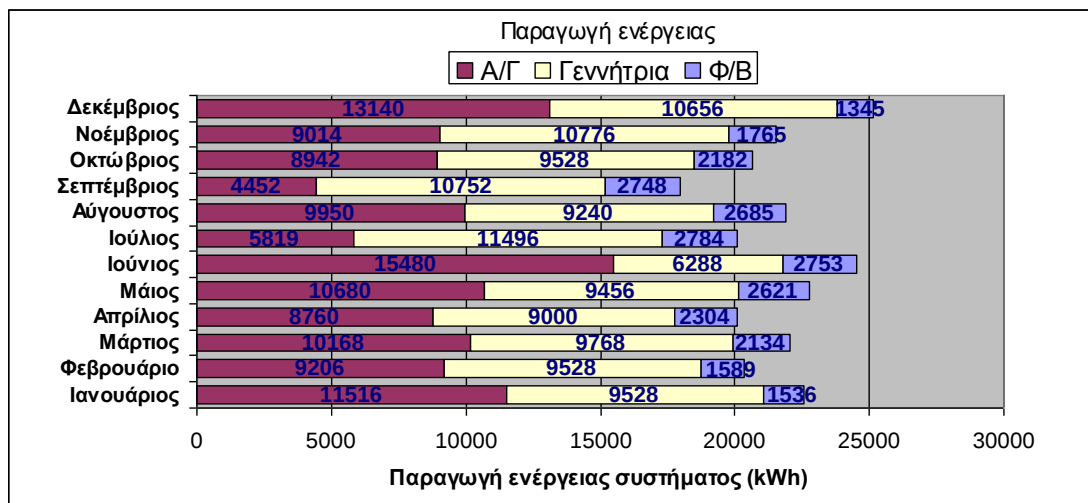
Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	243800	-	-	53079
2	0	-	-	53079
3	0	-	-	53079
4	4800	NAI	-	53079
5	16000	-	NAI	53079
6	0	-	-	53079
7	0	-	-	53079
8	4800	NAI	-	53079
9	0	-	-	53079
10	16000	-	NAI	53079
11	53000	-	-	53079
12	4800	NAI	-	53079
13	0	-	-	53079
14	0	-	-	53079
15	16000	-	NAI	53079
16	4800	NAI	-	53079
17	0	-	-	53079
18	0	-	-	53079
19	0	-	-	53079
20	0	-	-	53079

Πίνακας 4.42: Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

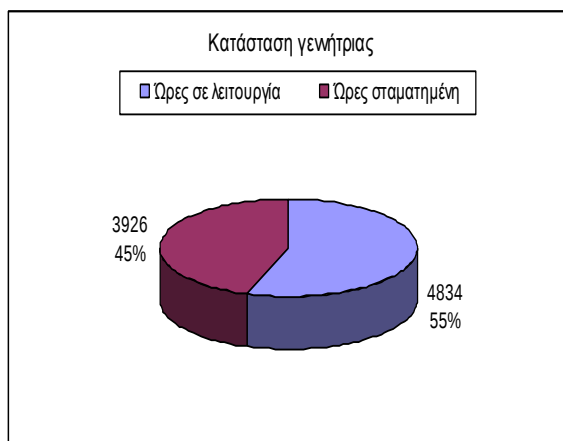
Έτος	Κόστος ανικανοποιητικής ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	1836	0,9009	298715	269113	211729	190747
2	1836	0,8116	54915	44570	211729	171844
3	1836	0,7312	54915	40153	211729	154815
4	1836	0,6587	59715	39336	211729	139473
5	1836	0,5935	70915	42085	211729	125651
6	1836	0,5346	54915	29360	211729	113199
7	1836	0,4817	54915	26450	211729	101981
8	1836	0,4339	59715	25912	211729	91875
9	1836	0,3909	54915	21468	211729	82770
10	1836	0,3522	70915	24975	211729	74568
11	1836	0,3173	107915	34240	211729	67178
12	1836	0,2858	59715	17069	211729	60521
13	1836	0,2575	54915	14141	211729	54523
14	1836	0,2320	54915	12740	211729	49120
15	1836	0,2090	70915	14822	211729	44252
16	1836	0,1883	59715	11244	211729	39867
17	1836	0,1696	54915	9315	211729	35916
18	1836	0,1528	54915	8392	211729	32357
19	1836	0,1377	54915	7561	211729	29150
20	1836	0,1240	54915	6811	211729	26262
				699757		1686069
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		0,4150 (€/kWh)

Από τα διαγράμματα φαίνεται πως δεν διαφοροποιείται τίποτα σε σχέση με το βασικό βέλτιστο σενάριο.

**Σχήμα 4.36:** Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 4.37: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 4.34: Κατάσταση γεννήτριας



Σχήμα 4.35: Κατάσταση του φορτίου



Σχήμα 4.36: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας

4.4.9 Αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου κατά 20%.

Το φορτίο που εξυπηρετεί το απομονωμένο σύστημα είναι ακόμα ένα μέγεθος το οποίο μπορεί να μεταβληθεί. Μια αύξηση κατά 10% στο φορτίο έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς των πηγών ενέργειας του συστήματος αυξάνεται, όπως επίσης αυξάνεται και η χωρητικότητα των μπαταριών. Η δομή λοιπόν του συστήματος τροποποιείται έτσι ώστε να μπορεί να καλυφθεί η αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγόμενη ενέργεια αυξάνεται κατά 15,7 % ώστε να μπορέσει να καλυφθεί η αυξημένη ζήτηση.

Πίνακας 4.43: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ανικανοποίητη Ζήτηση (kWh/έτος)	Περίσσεια Ενέργειας (kWh/έτος)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/έτος)	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
1	3229	22648	300347	0,40923
2	3410	20575	297453	0,40947
3	2683	21325	298725	0,40952
4	4262	42008	321436	0,40961
5	3928	23477	300430	0,40972

Πίνακας 4.44: Τα πέντε σενάρια με το μικρότερο κόστος.

Σενάρια	Ισχύς Φ/Β (kW _p)	Αριθμός Α/Γ	Ισχύς Γεννήτρια (kW)	Αριθμός Μπαταριών
1	25	3	30	19
2	20	3	30	20
3	19	3	31	18
4	17	4	29	19
5	27	3	29	19

Για το βέλτιστο σενάριο τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 4.45 και 4.46.

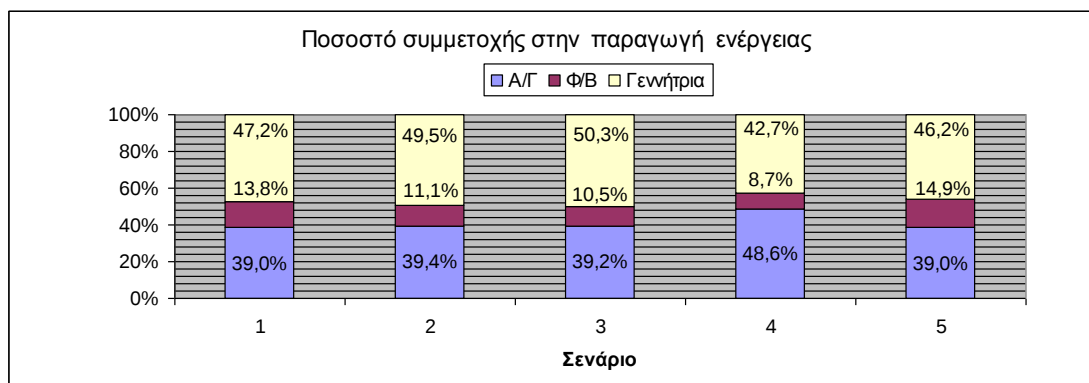
Πίνακας 4.45:Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος συστήματος (€)	Έτος αντικατάστασης γεννήτριας βιοντίζελ	Έτος αντικατάστασης μπαταριών	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)
1	294000	-	-	64520
2	0	-	-	64520
3	0	-	-	64520
4	25000	NAI	NAI	64520
5	0	-	-	64520
6	0	-	-	64520
7	0	-	-	64520
8	6000	NAI	-	64520
9	19000	-	NAI	64520
10	0	-	-	64520
11	54000	-	-	64520
12	6000	NAI	-	64520
13	19000	-	NAI	64520
14	0	-	-	64520
15	0	-	-	64520
16	6000	NAI	-	64520
17	0	-	-	64520
18	19000	-	NAI	64520
19	0	-	-	64520
20	0	-	-	64520

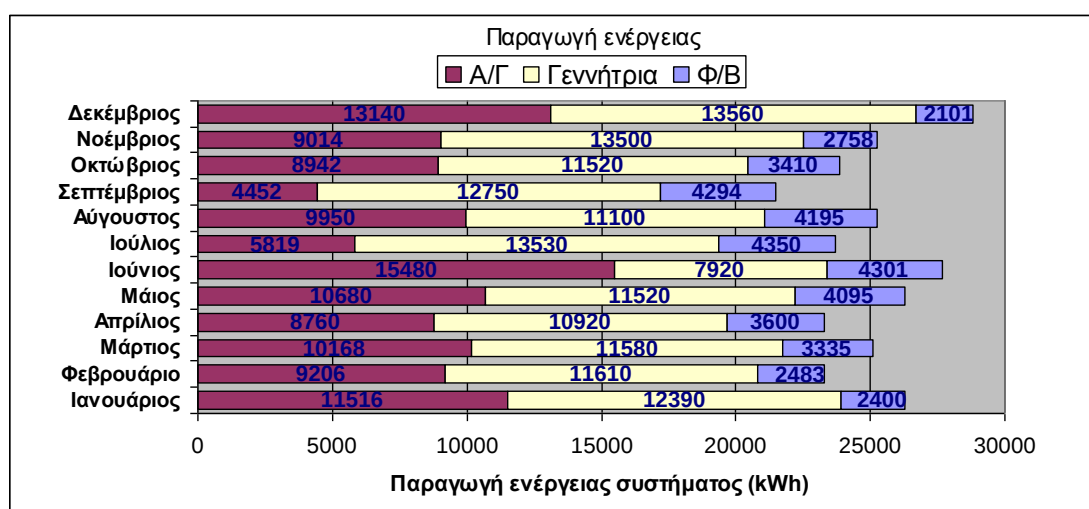
Πίνακας 4.46:Αποτελέσματα για τα 20 χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Έτος	Κόστος ανικανοποίητης ζήτησης (€)	Συντελεστής παρούσας αξίας	Ετήσιο κόστος (€)	Ετήσιο κόστος ανηγμένο στο παρόν (€)	Ενέργεια που καταναλώνεται (kWh)	Ενέργεια που καταναλώνεται ανηγμένη στο παρόν (kWh)
1	1614	0,9091	360134	327395	255253	232048
2	1614	0,8264	66134	54656	255253	210953
3	1614	0,7513	66134	49688	255253	191775
4	1614	0,6830	91134	62246	255253	174341
5	1614	0,6209	66134	41064	255253	158492
6	1614	0,5645	66134	37331	255253	144084
7	1614	0,5132	66134	33937	255253	130985
8	1614	0,4665	72134	33651	255253	119077
9	1614	0,4241	85134	36105	255253	108252
10	1614	0,3855	66134	25498	255253	98411
11	1614	0,3505	120134	42106	255253	89465
12	1614	0,3186	72134	22984	255253	81331
13	1614	0,2897	85134	24660	255253	73938
14	1614	0,2633	66134	17415	255253	67216
15	1614	0,2394	66134	15832	255253	61106
16	1614	0,2176	72134	15698	255253	55550
17	1614	0,1978	66134	13084	255253	50500
18	1614	0,1799	85134	15312	255253	45909
19	1614	0,1635	66134	10813	255253	41736
20	1614	0,1486	66134	9830	255253	37942
				889306		2173111
				Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας		0,4092(€/kWh)

Από το Σχήμα 4.37 φαίνεται πως για τα πέντε πιο βέλτιστα σενάρια το ποσοστό συμμετοχής των αναμογεννητριών μειώνεται ενώ αυξάνεται το ποσοστό συμμετοχής των φωτοβολταϊκών και της γεννήτριας βιντίζελ. Όμως η παραγόμενη ενέργεια από τις αναμογεννήτριες παραμένει σταθερή. Αναλυτικά για κάθε μήνα η παραγόμενη ενέργεια φαίνεται και από το Σχήμα.4.38 Τέλος από τα υπόλοιπα διαγράμματα φαίνεται πως είναι λιγότερες οι ώρες που λειτουργεί η γεννήτρια βιντίζελ, οι ώρες που δεν ικανοποιείται το φορτίο, καθώς και οι ώρες που περισεύει ενέργεια.



Σχήμα 4.37: Ποσοστό συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 4.38 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 4.38: Κατάσταση γεννήτριας



Σχήμα 4.39: Κατάσταση του φορτίου



Σχήμα 4.40: Κατάσταση με περίσσεια ενέργειας

4.5 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ανάλυση αξιοπιστίας της λειτουργίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας διαιρείται σε τρεις κύριες ιεραρχικές στάθμες. Η ιεραρχική στάθμη I περιλαμβάνει μόνο τις εγκαταστάσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η ιεραρχική στάθμη II περιλαμβάνει επιπρόσθετα και το δίκτυο μεταφοράς. Η ιεραρχική στάθμη III περιλαμβάνει όλες τις εγκαταστάσεις του συστήματος (παραγωγή, μεταφορά, διανομή) και υπολογίζει τους δείκτες αξιοπιστίας των καταναλωτών που είναι συνδεδεμένοι στους ζυγούς φορτίου του συστήματος. Σε καθεμιά από τις παραπάνω ιεραρχικές στάθμες αντιστοιχούν διαφορετικοί δείκτες αξιοπιστίας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα μικρό απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας συνδυάζει το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ένα ελάχιστου μεγέθους ή μη υπάρχον δίκτυο μεταφοράς, και με ένα εξαιρετικά μικρό και αρκετά συνεπτυγμένο δίκτυο διανομής. Για το λόγο αυτό, η ανάλυση αξιοπιστίας ενός απομονωμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζει τους δείκτες αξιοπιστίας της ιεραρχικής στάθμης I.

Οι κυριότεροι δείκτες αξιοπιστίας της ιεραρχικής στάθμης I είναι οι ακόλουθοι [4.1] :

1. Η πιθανότητα απώλειας φορτίου (ΠΑΦ). Είναι ο παλαιότερος και ο πιο βασικός δείκτης. Ορίζεται ως η πιθανότητα το ηλεκτρικό φορτίο να υπερβεί τη διαθέσιμη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Μειονέκτημα αυτού του δείκτη είναι ότι ορίζει την πιθανότητα αντιμετώπισης του προβλήματος αλλά όχι τη σοβαρότητά του, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος. Με αυτόν τον τρόπο όμως, δεν μπορεί να αναγνωρίσει τη διαφορά μεταξύ μιας μικρής και μιας μεγάλης απώλειας φορτίου, καθώς όλες οι απώλειες φορτίου θεωρούνται ισοδύναμες.
2. Η αναμενόμενη απώλεια φορτίου (ΑΑΦ). Είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος δείκτης και ορίζεται ως ο μέσος αριθμός των ωρών του έτους κατά τις οποίες το ηλεκτρικό φορτίο αναμένεται να υπερβεί τη διαθέσιμη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Ο δείκτης αυτός παρουσιάζει το ίδιο μειονέκτημα με την ΠΑΦ.
3. Η αναμενόμενη μη τροφοδοτούμενη ενέργεια (ΑΜΤΕ). Ορίζεται ως η αναμενόμενη ενέργεια που δεν θα προσφερθεί στους καταναλωτές λόγω εκείνων των

περιστάσεων κατά τις οποίες το ηλεκτρικό φορτίο υπερβαίνει τη διαθέσιμη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Ο δείκτης αυτός είναι πιο πλήρης σε σχέση με την ΠΑΦ και την ΑΑΦ, καθώς συμπεριλαμβάνει τη σοβαρότητα και την πιθανότητα της ανεπάρκειας εξυπηρέτησης του ηλεκτρικού φορτίου. Για το λόγο αυτό, αντιπροσωπεύει πιο ρεαλιστικά τον κίνδυνο μη εξυπηρέτησης του ηλεκτρικού φορτίου σε ένα ΣΗΕ.

4. Ο δείκτης αναξιοπιστίας ενέργειας (ΔΑΕ). Ο δείκτης αυτός εξομαλύνει την ΑΜΤΕ, διαιρώντας την με την ολική ετήσια ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό διασφαλίζει ότι όλα τα ΣΗΕ μπορούν να συγκριθούν επί ίσοις όροις, ανεξάρτητα από την τάξη μεγέθους της εγκατεστημένης ισχύος.

4.5.1 Αποτελέσματα ανάλυσης αξιοπιστίας

Είναι σημαντικό για να γίνει σύγκριση όλων των σεναρίων που εξετάστηκαν παραπάνω (του αρχικού σεναρίου και των σεναρίων της ανάλυσης ευαισθησίας) ή για να γίνουν διορθώσεις στη δομή των συστημάτων ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα και η συνέχεια στην εξυπηρέτηση του φορτίου να ληφθούν υπόψη και οι δείκτες αξιοπιστίας. Στον Πίνακα 4.22 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά κάποιοι σημαντικοί δείκτες αξιοπιστίας.

Πίνακας 4.22: Βασικοί δείκτες αξιοπιστίας

	ΠΑΦ	ΑΑΦ	ΑΜΤΕ	ΔΑΕ	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)
Βασικό σενάριο	0,05776	506	3672	0,01705	0,40817
Ηλιακό δυναμικό +10%	0,04029	353	2560	0,00474	0,40515
Ηλιακό δυναμικό -10%	0,05468	479	3536	0,01641	0,40967
Αιολικού δυναμικό +10%	0,05194	455	3262	0,01514	0,38898
Αιολικού δυναμικό -10%	0,06153	539	3995	0,01854	0,44145
Ποινή ανικανοποίητης ζήτησης 1€	0,0299	262	2068	0,00960	0,41430
Ποινή ανικανοποίητης ζήτησης 1,5€	0,01678	147	1023	0,00474	0,41775
Τιμή βιοντίζελ +30%	0,06997	613	4468	0,02074	0,47592
Επιτόκιο +10%	0,05776	506	3672	0,01704	0,41502
Ηλεκτρικό φορτίο +20%	0,04189	367	3229	0,012549	0,40923

Ενδεικτικά για το σενάριο όπου η ποινή ανικανοποίητης ζήτησης ανέρχεται στα 1,5€, φαίνεται από τους δείκτες αξιοπιστίας πως το φορτίο εξυπηρετείται πολύ καλύτερα σε σχέση

με τα υπόλοιπα σενάρια με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας όμως να αυξάνεται λίγο σε σχέση με το βασικό σενάριο. Είναι φανερό πως είναι πολύ δύσκολο να βελτιστοποιηθεί είναι απομονωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να γίνουν κάποιες παραχωρήσεις είτε στο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας είτε στην ποιότητα και στη συνέχεια της εξυπηρέτησης του φορτίου.

4.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [4.1] Ι. Κατσίγιαννη, 'Βελτιστοποίηση Δομής και Οικονομική Αξιολόγηση Απομονωμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας που Βασίζεται σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας', Χανιά, Ιούνιος 2008

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία ασχολήθηκε με τα προβλήματα της εύρεσης της οικονομικά βέλτιστης δομής, της ανάλυσης αξιοπιστίας και της ανάλυσης ευαισθησίας ενός μικρού απομονωμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνει τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η επίλυση των παραπάνω προβλημάτων εμπεριέχει σημαντικές δυσκολίες, λόγω της ύπαρξης ενός μεγάλου αριθμού εναλλακτικών επιλογών σχεδίασης καθώς και εξαιτίας της αβεβαιότητας στις τιμές πολλών και σημαντικών παραμέτρων του συστήματος.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών καθώς και οι τεχνολογίες της αιολικής ενέργειας είναι κατάλληλες για εφαρμογή σε απομονωμένες περιοχές. Μπορεί να ειπωθεί ότι πρόκειται για ελπιδοφόρες και πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες, οι οποίες μπορούν με τον καιρό να εξελιχθούν σε αξιόπιστες λύσεις για εφαρμογές σε απομονωμένες περιοχές. Μάλιστα όταν συνδυάζονται με μπαταρίες και κάποια ντιζελογενήτρια που στην περίπτωση του προβλήματος που εξετάζεται είναι γεννήτρια βιοντίζελ τότε μπορούν να τροφοδοτήσουν επάξια μια απομονωμένη περιοχή.

Η στρατηγική συνεργασίας μεταξύ της γεννήτριας βιοντίζελ και των μπαταριών είναι ζήτημα σημαντικό για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος. Η στρατηγική που επιλέχτηκε είναι η στρατηγική φόρτισης κύκλου λειτουργίας. Εξετάστηκαν αρκετά εναλλακτικά σενάρια όπου άλλαζαν κάποιοι παράμετροι του συστήματος άλλα πάντα για τις βέλτιστες λύσεις υπήρχε ανικανοποίητο φορτίο όπως επίσης και περίσσεια ενέργειας η οποία ήταν τουλάχιστον επτά φορές μεγαλύτερη από το ανικανοποίητο φορτίο. Η μόνη περίπτωση όπου η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας κυμάνθηκε σε επίπεδα παρόμοια με το ανικανοποίητο φορτίο είναι αυτή όπου το αιολικό δυναμικό μειώνεται κατά 10% σε σχέση με το αρχικό σενάριο.

Η συμβολή των ανεμογεννητριών στην παραγωγή ηλεκτρικής είναι μεγάλη. Συνήθως κυμαίνεται κοντά στο 45% για τα περισσότερα σενάρια πράγμα που σημαίνει ότι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν είναι αρκετά φθινό και συνδυάζονται ικανοποιητικά μαζί με τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος για την ικανοποίηση του φορτίου. Το αιολικό δυναμικό όμως είναι δεδομένο με μέση ταχύτητα την ώρα στα 6,74 m/s. Αν όμως αυτό αυξηθεί κατά 10% τότε το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος μειώνεται σημαντικά αλλά η αξιοπιστία του συστήματος δεν είναι καλή.

Η αξιοπιστία συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικό κριτήριο για την αξιολόγηση τους. Οι δείκτες αξιοπιστίας λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση των συστημάτων, όταν όμως το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικό κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου τότε η επιλογή είναι δύσκολη. Στην βελτιστοποίηση που έγινε στην παρούσα εργασία το μοναδικό κριτήριο είναι το οικονομικό. Από τα αποτελέσματα όμως της βελτιστοποίησης συμπεραίνεται ότι το πιο αξιόπιστο σενάριο είναι αυτό στο οποίο μπαίνει ποινή ανικανοποίητης ζήτησης αλλά επιβαρύνει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. ΚΩΔΙΚΕΣ

Αλγόριθμος υπολογισμού της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

```
clear
tic

% stoixeia anemogenhtrias WT
Vanem=xlsread('Wind','B1:B8760');
V=Vanem*(30/10)^0.25; %epidrash upsous WT
Vmean=mean(V); %mesh taxuthta anemou
Vi=4; %taxuthta enarkshs leitourgias
Vr=17; %onomastikh taxuthta leietourgias
Vo=24; %taxuthta diakophs leitourgias
Pr=20; %onomastikh isxus WT

%stoixeia fotovoltaikou PV
Lloc=24; %topiko gewgrafiko mhkos se moires
Tc=2; %meshmbrinos topikhs wras
b_pv=38; %h klish tou sullekth
latitude=38; %gewgrafiko platos
azimuth=0; %azimou8ia gwnia
Gsc=1.367; %hliakh sta8era
I=xlsread('It2','A1:A8760'); %('Solar_data')
pg=0.20; %suntelesths anaklashs tou edafous
fpv=0.90; %syntelesths apwleiwn PV
Ypv=1; %onomastikh isxus PV
Is=1; %puknothta hliakhs aktinobolias

%paragwgh energeias apo anemogenhtria WT
Va= (Vi + Vr)/2;
a=Pr*Vi*(Va-2*Vr*(Va/Vr)^3)/(2*(Vr-Va)^2);
b=Pr*(Vr-3*Va+4*Va*(Va/Vr)^3)/(2*(Vr-Va)^2);
c=Pr*(1-2*(Va/Vr)^3)/(2*(Vr-Va)^2);
for i=1:8760
    if V(i)<Vi
        Pwt(i)=0;
    elseif Vi<=V(i) & V(i)<Vr
        Pwt(i)=a+b*V(i)+c*V(i)^2;
    elseif Vr<=V(i) & V(i)<=Vo
        Pwt(i)=Pr;
    else
        Pwt(i)=0;
    end

    if Pwt(i)<0
        Pwt(i)=0;
    end
end
```

```

end
end

% paragvgh energeias apo fotoboltaiko

for i=1:8760
    hour(i)=i-1;
    n(i)=floor(hour(i)/24+1);
    B(i)=(360/365)*(n(i)-1); %einai to hmerisio tokso pou diagrafei
    to kentro ths ghs kata thn perifora ths guro apo ton hlio
    d(i)=23.45*sind((360/365)*(284+n(i))); %hliakh apoklish
    E(i)=3.82*(0.000075+0.001868*cosd(B(i))-0.032077*sind(B(i))-
        0.014615*cosd(2*B(i))-0.04089*sind(2*B(i))); %eksiswsh ths wras

    tc(i)=hour(i)-(n(i)-1)*24; % wrologiakh wra
    ts(i)=tc(i)+(Lloc/15)-Tc+E(i); %hliakh wra
    w(i)=(ts(i)-12)*15; %wriaia gwnia
    angle8(i)=sind(d(i))*sind(latitude)*cosd(b_pv)-sind(d(i))*
        cosd(latitude)*sind(b_pv)*cosd(azimuth)+cosd(d(i))*
        cosd(latitude)*cosd(b_pv)*cosd(w(i))+cosd(d(i))*
        sind(latitude)*sind(b_pv)*cosd(azimuth)*cosd(w(i))+
        cosd(d(i))*sind(b_pv)*sind(azimuth)*sind(w(i));
    %gwnia prosptwshs hliakhs aktinobolias

    angle8z(i)=cosd(latitude)*cosd(d(i))*cosd(w(i))+sind(latitude)*
        sind(d(i)); %zeni8iakh gwnia

    Gon(i)=Gsc*(1+0.033*cosd((360/365)*n(i))); %ekswghinh aktinobolia
    w2(i)=(n(i)-1)*360+w(i); %gwnia wras sto telos ths wras
end

for i=1:8760

    if (i==8760)
        Io(i)=(12*Gon(i)/pi)*(cosd(latitude)*cosd(d(i))*(sind(w2(i))-
            sind(w2(8760)))+(pi*(w2(i)-w2(8760))/180)*sind(latitude)*
            sind(d(i))); %mesh wriaia ekswghinh aktinobolia
    else
        Io(i)=(12*Gon(i)/pi)*(cosd(latitude)*cosd(d(i))*(sind(w2(i+1))-
            sind(w2(i)))+(pi*(w2(i+1)-w2(i))/180)*sind(latitude)*
            sind(d(i)));
    end

    if (Io(i)<=0)
        Io(i)=0;
        Kt(i)=0;
    else
        Kt(i)=I(i)/Io(i); %deikths ka8arothtas
    end

    if (Kt<=0.22)
        DF(i)=1-0.09*Kt(i);
    elseif (0.22<Kt(i) && Kt(i)<=0.80)

```

```

        DF(i)=0.9511-0.1604*Kt(i)+4.388*Kt(i)^2-
16.638*Kt(i)^3+12.336*Kt(i)^4;
    else
        DF(i)=0.165;
    end

    Id(i)=DF(i)*I(i);    %diaxuth aktinobolia
    Ib(i)=I(i)-Id(i);    %amesh aktinobolia
    Rb(i)=angle8(i)/angle8z(i);

    if (Io(i)==0)
        Ai(i)=0;        %deikths anisotropias
    else
        Ai(i)=Ib(i)/Io(i);
    end

    if (I(i)==0)
        f(i)=0;
    else
        f(i)=sqrt(Ib(i)/I(i));
    end

    It(i)=(Ib(i)+Id(i)*Ai(i))*Rb(i)+Id(i)*(1-Ai(i))*
        ((1+cosd(b_pv))/2)*(1+f(i)*(sind(b_pv/2))^3)+I(i)*pg*
        ((1-cosd(b_pv))/2);

    if It(i)<0
        It(i)=0;
    end
    if It(i)>15
        It(i)=15;
    end

    Ppv(i)=fpv*Ypv*(It(i)/Is); %hlektrikh isxus pou paragetai apo to
        fotoboltaiko susthma

    Power_sum_res(i)=Ppv(i)+Pwt(i);
end

xlswrite('Power_sum',Power_sum_res','A2:A8761');
xlswrite('Power_sum',Ppv','B2:B8761');
xlswrite('Power_sum',Pwt','C2:C8761');

toc

```

Κύριος αλγόριθμος για την μοντελοποίηση του συστήματος.

```
clear
tic

Ppv0=xlsread('Power_sum','B2:B8762'); %parogomenh hlektrikh energeia
apo fwtoboltaika PV
Pwt0=xlsread('Power_sum','C2:C8762'); %parogomenh hlektrikh energeia
apo anemogenhtria WT
Load_data=xlsread('load','B1:B8760'); %fortio

bio0=0;
inv=0.9; %syntelesths apodoshs converter
n=0.85; %syntelesths apodoshs batarias
B=zeros(1,8760);
min_EC=20;
z=0;
%oikonomika stoixeia
cost_wt=30000; % kostos mias anemogenhtrias
cost_bio=200; % kostos gennhtrias ana kW onomastikh isxuos
cost_battery=1000; % kostos mias mpatarias 10kW
cost_converter=1000; % kostos converter ana kW
cost_pv=5000; % kostos fotoboltaikwn ana kW
bio_life=20000; % diarkeia zwhs gennhtrias se wres
Fuel_Price=1.2; % kostos biokasimou ana lt
unmet_load_cost=0.5; % kostos anikanopoihths zhthshs
maintenance_cost_WT=600; % kostos sunthrishs ana xrono leitourgias
maintenance_cost_bio=0.01; % kostos sunthrishs ana kw gia ka8e wra
leitourgias
PW_factor=0.10; % epitokio

icount=0;

for iwt=3:1:3 % ari8mos WT
    Pwt=iwt*Pwt0;
    for ipv=11:1:18 % ari8mos PV
        Ppv=ipv*Ppv0;
        for ibio=20:1:26 % onomastikh isxys gennhtrias
            Pmax=1;
            Pmax=ibio*Pmax;
            for ibat=12:1:18 % ari8mos mpatariwn

                %stoixeia batarias
                battery_life=10000*ibat; % xronos zwhs mpatariwn
isoutai me 10000kwh pou apou8hkeuontai epi ton ari8mo twn mpatariwn
                storage_capacity=ibat*10; % xwrhthkothta twn
mpatariwn tou susthatos
                soc_min=0.3*storage_capacity; % to xamhlotero shmeio
katastashs forthshs. ksekinai na douleuei h gennhtria
```

```

        soc_cc=0.8*storage_capacity;      % shmeio katastashs
    forthshs sto opoio stamata h gennhtria
        soc_max=storage_capacity;
        soc0=storage_capacity;
        %%%%%%%%%%%
    icount=icount+1;

    % elegxoi gia thn fortish tis mpatarias,seira proteraiothtas PV-WT-
    BIO-BATARIA kai ypologismos apwleiwn
    for i=1:8760
        if i==1
            %soc(i)=soc0-Load_data(i)+Ppv(i)+Pwt(i);
            if Load_data(i)<=Pwt(i)
                soc(i)=soc0+((Pwt(i)-Load_data(i))*inv +Ppv(i))*sqrt(n)-
                    soc0*0.00025;
                conv_power_right(i)=Pwt(i)-Load_data(i);
            elseif Load_data(i)<=Pwt(i)+ inv*Ppv(i)
                soc(i)=soc0+(Ppv(i)-((Load_data(i)-Pwt(i))*(1/inv)))*
                    sqrt(n)-soc0*0.00025;
                conv_power_right(i)=0;
            elseif Load_data(i)>Pwt(i)+ inv*Ppv(i)
                soc(i)=soc0-((Load_data(i)-Pwt(i)-inv*Ppv(i))*(1/inv))*
                    (1/sqrt(n))-soc0*0.00025;
                conv_power_right(i)=0;
            end

            if soc(i)<soc_min
                bio(i)=1;
                Pbio(i)=Pmax;
                %soc(i)=soc0+(Pbio(i)-(Load_data(i)-Pwt(i)-inv*Ppv(i)))*inv
                if Load_data(i)<=Pbio(i)+Pwt(i)
                    soc(i)=soc0+((Pbio(i)+Pwt(i)-Load_data(i))*
                        inv+Ppv(i))*sqrt(n)-soc0*0.00025;
                    conv_power_right(i)=Pbio(i)+Pwt(i)-Load_data(i);
                elseif Load_data(i)<=Pbio(i)+Pwt(i)+Ppv(i)*inv
                    soc(i)=soc0+(Ppv(i)-(Load_data(i)-Pbio(i)-Pwt(i))*
                        (1/inv))*sqrt(n)-soc0*0.00025;
                    conv_power_right(i)=0;
                elseif Load_data(i)>Pbio(i)+Pwt(i)+Ppv(i)*inv
                    status_error(i)=1;
                    conv_power_right(i)=0;
                end
            else
                bio(i)=0;
                Pbio(i)=0;
            end
        else

            if bio(i-1)==0 && soc(i-1)>=soc_min
                %soc(i)=soc(i-1)-Load_data(i)+Power_sum(i);
                if Load_data(i)<=Pwt(i)
                    soc(i)=soc(i-1)+((Pwt(i)-Load_data(i))*inv+
                        Ppv(i))*sqrt(n)-soc(i-1)*0.00025;
                    conv_power_right(i)=Pwt(i)-Load_data(i);
                    bio(i)=0;
                    Pbio(i)=0;
                end
            end
        end
    end
end

```

```

elseif Load_data(i) <= Pwt(i) + inv*Ppv(i)
    soc(i) = soc(i-1) + (Ppv(i) - (Load_data(i) - Pwt(i)) *
        (1/inv)) * sqrt(n) - soc(i-1) * 0.00025;
    conv_power_right(i) = 0;
    bio(i) = 0;
    Pbio(i) = 0;
elseif Load_data(i) > Pwt(i) + inv*Ppv(i)
    soc(i) = soc(i-1) - ((Load_data(i) - Pwt(i) - inv*Ppv(i)) *
        (1/inv)) * (1/sqrt(n)) - soc(i-1) * 0.00025;
    conv_power_right(i) = 0;
end

if soc(i) < soc_min
    bio(i) = 1;
    Pbio(i) = Pmax;
%soc(i) = soc(i-1) - Load_data(i) + Power_sum(i) + Pbio(i);
    if Load_data(i) <= Pbio(i) + Pwt(i)
        soc(i) = soc(i-1) + ((Pbio(i) + Pwt(i) - Load_data(i)) *
            inv + Ppv(i)) * sqrt(n) - soc(i-1) * 0.00025;
        conv_power_right(i) = Pbio(i) + Pwt(i) - Load_data(i);
    elseif Load_data(i) <= Pbio(i) + Pwt(i) + Ppv(i) * inv
        soc(i) = soc(i-1) + (Ppv(i) - (Load_data(i) - Pbio(i) -
            Pwt(i)) * (1/inv)) * sqrt(n) - soc(i-1) * 0.00025;
        conv_power_right(i) = 0;
    elseif Load_data(i) > Pbio(i) + Pwt(i) + Ppv(i) * inv
        status_error(i) = 1;
        conv_power_right(i) = 0;
    end
else
    bio(i) = 0;
    Pbio(i) = 0;
end

elseif bio(i-1) == 1 && soc(i-1) >= soc_cc
    bio(i) = 0;
    Pbio(i) = 0;
%soc(i) = soc(i-1) - Load_data(i) + Power_sum(i);
    if Load_data(i) <= Pwt(i)
        soc(i) = soc(i-1) + ((Pwt(i) - Load_data(i)) * inv
            + Ppv(i)) * sqrt(n) - soc(i-1) * 0.00025;
        conv_power_right(i) = Pwt(i) - Load_data(i);
    elseif Load_data(i) <= Pwt(i) + inv*Ppv(i)
        soc(i) = soc(i-1) + (Ppv(i) - (Load_data(i) -
            Pwt(i)) * (1/inv)) * sqrt(n) - soc(i-1) * 0.00025;
        conv_power_right(i) = 0;
    elseif Load_data(i) > Pwt(i) + inv*Ppv(i)
        soc(i) = soc(i-1) - ((Load_data(i) - Pwt(i) - inv*Ppv(i)) *
            (1/inv)) * (1/sqrt(n)) - soc(i-1) * 0.00025;
        conv_power_right(i) = 0;
    end

elseif bio(i-1) == 1 && soc(i-1) < soc_cc
    bio(i) = 1;
    Pbio(i) = Pmax;
%soc(i) = soc(i-1) - Load_data(i) + Power_sum(i) + Pbio(i);
    if Load_data(i) <= Pbio(i) + Pwt(i)

```

```

        soc(i)=soc(i-1)+((Pbio(i)+Pwt(i)-Load_data(i))*
            inv+Ppv(i))*sqrt(n)-soc(i-1)*0.00025;
        conv_power_rignt(i)=Pbio(i)+Pwt(i)-Load_data(i);
    elseif Load_data(i)<=Pbio(i)+Pwt(i)+Ppv(i)*inv
        soc(i)=soc(i-1)+(Ppv(i)-(Load_data(i)-Pbio(i)-
            Pwt(i))*(1/inv))*sqrt(n)-soc(i-1)*0.00025;
        conv_power_rignt(i)=0;
    elseif Load_data(i)>Pbio(i)+Pwt(i)+Ppv(i)*inv
        soc(i)=soc(i-1)-((Load_data(i)-Pbio(i)-Pwt(i)-
            Ppv(i)*inv)*(1/inv))*(1/sqrt(n))-
            soc(i-1)*0.00025;
        conv_power_rignt(i)=0;
    end
end
end

% ypologismos anikanopoihtou fortiou
if soc(i)<soc_min
    status_error(i)=1;
    lack(i)=soc_min-soc(i);
    soc(i)=soc_min;
else
    status_error(i)=0;
    lack(i)=0;
end

% ypologismos perisseias energeias
if soc(i)>soc_max
    status_excess(i)=1;
    excess(i)=soc(i)-soc_max;
    soc(i)=soc_max;
else
    status_excess(i)=0;
    excess(i)=0;
end

if i==1
    stored_power(i)=soc_max;
else
    if soc(i)>soc(i-1)
        stored_power(i)=soc(i)-soc(i-1);
    else
        stored_power(i)=0;
    end
end

%ypologismos gia tis wres leitourgias ths gennhtrias
if Pbio(i)==Pmax
    B(i)= 1;
else
    B(i)= 0;
end

```

```

    % ypologismos gia thn euresh katalhlou converter
    if i==1
        conv_power_left(i)=soc_max-soc(i);
    else
        if soc(i)<soc(i-1)
            conv_power_left(i)=soc(i-1)-soc(i);
        else
            conv_power_left(i)=0;
        end
    end

end

% ypologismos gia thn euresh katalhlou converter
conv_p_left=ceil(max(conv_power_left));
conv_p_right=ceil(max(conv_power_right));
stored_power_sum=sum(stored_power);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
BIO_hours =sum(B); %wres leitourgias ths gennhtrias
unit_cost =zeros(1,20);
sum_Load_data=sum(Load_data); %to fortio gia ena xrono
sumlack=sum(lack); %h anikanopoihth zithsh gia ena xrono
sum_excess=sum(excess); %h perisseia energeias gia ena xrono

% ypologismos gia to etos antikatastaashs ths genhtrias
bio_years= bio_life/BIO_hours;
c_bio= floor(20/bio_years);

% ypologismos gia to etos antikatastaashs tw n mpatariwn
battery_years=battery_life/stored_power_sum;
c_battery=floor(20/battery_years);

%ypologismos gia to kostos tou converter
if conv_p_left>conv_p_right
    cost_conv=conv_p_left*cost_converter;
else
    cost_conv=conv_p_right*cost_converter;
end

for i=1:8760
    if Pbio(i)== Pmax
        operative_cost_bio(i)=(0.09*Pmax+ 0.27*Pbio(i))*Fuel_Price;
%kostos katanalwshs kausimou gennhtrias gia ena etos
    else
        operative_cost_bio(i)=0;
    end
    sum_operative_cost_bio=sum(operative_cost_bio);
end

for i=1:20
    if i==1
        unit_cost(i)=iwt*cost_wt+ cost_bio*Pmax+ cost_conv+ ipv*
            cost_pv+ ibat* cost_battery; % kostos agoros
            eksoplismou
    else

```

```

        % ypologismoι gia ta eth antikatastashs twν stoixiwn tou
susthmatos
        for k=1:c_bio
            change_bio(k)=floor(bio_years*k);
            if change_bio(k)==i
                unit_cost(i)=unit_cost(i)+cost_bio*Pmax;
            end
        end
        for k=1:c_battery
            change_battery(k)=floor(battery_years*k);
            if change_battery(k)==i
                unit_cost(i)=unit_cost(i)+ibat*cost_battery;
            end
        end
        if i==11
            unit_cost(i)=unit_cost(i)+cost_conv;
        end

    end

    maintenance_cost(i)= maintenance_cost_WT*iwt+ BIO_hours*
        maintenance_cost_bio*Pmax+ sum_operative_cost_bio;
        %kostos leitourgias kai sunthrishs systhmatos
    lack_cost(i)=sumlack*unmet_load_cost; %kostos anikanopoihths
zhthshs
    PW(i)=(1+ PW_factor)^(-i); %syntelesths parousas aksias
    anual_cost(i)= maintenance_cost(i)+unit_cost(i)+ lack_cost(i);
    %ethsio kostos
    discount_cost(i)=anual_cost(i)*PW(i); %kostos anhgmeno sto paron
    NET_Production(i)= sum_Load_data-sumlack; %fortio pou
    ikanopoieitai
    discount_Production(i)=NET_Production(i)*PW(i); %fortio pou
    ikanopoieitai anhgmeno sto paron
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
sum_discount_cost=sum(discount_cost);
sum_discount_Production=sum(discount_Production);
Evaluated_cost(icount)= sum_discount_cost/sum_discount_Production;
%kostos hlektrikhs energeias ana kWh

G_P=sum(Ppv+Pwt+Pbio');
wt_percent=sum(Pwt)/G_P;
pv_percent=sum(Ppv)/G_P;
bio_percent=sum(Pbio)/G_P;

if (sumlack/sum_Load_data)<0.05
    z=z+1;
    FINAL(z,1)=ipv;
    FINAL(z,2)=iwt;
    FINAL(z,3)=Pmax;
    FINAL(z,4)=storage_capacity;
    FINAL(z,5)=Evaluated_cost(icount);
    FINAL(z,6)=sumlack;
    FINAL(z,7)=sum_Load_data;
end

```

```

        FINAL(z,8)=sum_excess;
        FINAL(z,9)=G_P;
        FINAL(z,10)=wt_percent;
        FINAL(z,11)=pv_percent;
        FINAL(z,12)=bio_percent;
        FINAL(z,13)=icount;
    end

        end

    end

end

xlswrite('FINAL senaria',FINAL,'A2:M2000');

toc

```