



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ **Ε**ΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ **Ι**ΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: "Ηλεκτροδότηση της νήσου Χρυσής με εισαγωγή τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας"

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΕΜΜ. ΠΡΩΤΟΨΑΛΤΗ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΚΑΤΣΑΜΠΡΑΚΑΚΗΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΙΟΥΝΙΟΣ 2011

Στην μητέρα μου



Περίληψη

Η νήσος «Χρυσή» είναι ένα μικρό νησάκι που βρίσκεται 8 ναυτικά μίλια νότια της πόλης της Ιεράπετρας. Συγκεκριμένα στην νήσο «Χρυσή» υπάρχουν μια δημοτική ταβέρνα η οποία λειτουργεί κατά τους θερινούς μήνες, ένα φυλάκιο και ένα αλιευτικό καταφύγιο τα οποία λειτουργούν όλο το έτος. Το νησί δεν είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ και ως εκ τούτου τις παρούσες ενεργειακές ανάγκες τις καλύβουν δυο Ντιζελογεννητριες συνολικής ισχύος 90 KW.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η αξιοποίηση του υψηλού αιολικού και ηλιακού δυναμικού του νησιού για την μελέτη, βέλτιστη διαστασιολόγηση και χωροθέτηση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ενός συστήματος παραγωγής πόσιμου νερού. Το υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυάζει τριών ειδών πηγές ενέργειας: την ενέργεια του ανέμου, την ενέργεια του ήλιου και τη θερμική που προέρχεται από την καύση πετρελαίου. Θα σχεδιαστεί για να προσφέρει αξιόπιστη και καθαρή ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων της μονάδας μαζικής εστίασης. Το αποτέλεσμα θα είναι να μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές ρύπων άρα και η μόλυνση του περιβαλλοντικά ευαίσθητου οικοσυστήματος της νήσου.



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κατσαπρακάκη Δημήτρη για την καθοδήγησή του και τη μετάδοση των γνώσεων του σε όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά αίσθηση ευγνωμοσύνης και υποχρέωσης στην οικογένεια μου και τους φίλους μου, και ιδιαίτερα στην μητέρα μου, για την κατανόηση και την αγάπη τους κατά τη διάρκεια της πενταετούς πανεπιστημιακής μου φοίτησης.



Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ- ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΠΙΝΑΚΩΝ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	7
1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	7
1.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	8
1.2.1. Οι μονάδες βάσης για το προτεινόμενο σύστημα στη νήσο Χρυσή.....	8
1.3 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ (Α/Γ).....	8
1.3.1. Θόρυβος Α/Γ.....	9
1.4. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ (Φ/Β).....	11
1.4.1. Μονοκρυσταλλικά κύτταρα Si.....	14
1.4.2. Πολυκρυσταλλικά κύτταρα Si.....	14
1.4.3. Άμορφα κύτταρα Si.....	15
1.5. ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΧΡΥΣΗΣ.....	16
1.6. ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ.....	17
1.7. ΟΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΦΕΔΡΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΧΡΥΣΗ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	18
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
2.2. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α.Π.Ε.....	18
2.3. ΝΗΣΟΣ UTSIRA.....	20
2.3.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία.....	20
2.3.2. Περιγραφή συστήματος.....	20
2.3.3. Λειτουργική Εμπειρία.....	22
2.4. KING ISLAND.....	24
2.4.1 Δημογραφικά - Γεωγραφικά στοιχεία.....	24
2.4.2. Περιγραφή Συστήματος.....	24
2.4.3. Λειτουργική Εμπειρία.....	26
2.5. ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ WALES, ALASKA.....	28
2.5.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία.....	28
2.5.2. Περιγραφή συστήματος.....	28
2.5.3. Λειτουργική εμπειρία.....	31
2.6. ΝΗΣΙ SAMSO.....	32
2.6.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία.....	32
2.6.2 Περιγραφή συστήματος – Λειτουργική εμπειρία.....	32
2.7. ΗΛΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ ΣΤΗΝ ΠΕΥΚΗ.....	33
2.7.1. Παθητικά συστήματα.....	34
2.7.2. Ενεργητικά συστήματα.....	35
2.7.3. Αποτελέσματα - Αξιολόγηση.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΝΗΣΟ ΧΡΥΣΗ.....	37
3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΝ ΝΗΣΟΥ ΧΡΥΣΗΣ.....	37



3.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	40
3.2.1. Προσδιορισμός φορτίων δημοτικής ταβέρνας	41
3.2.2. Προσδιορισμός φορτίων φυλακίου και αλιευτικού καταφυγίου	42
3.2.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ	43
3.2.4. Προσδιορισμός ετήσιων φορτίων.....	47
3.3. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΩΝ Α.Π.Ε. ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΥΣΗ	48
3.3.1. Ανεμολογικά χαρακτηριστικά	48
3.3.2. Ηλιακά χαρακτηριστικά.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ	
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	54
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	54
4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	54
4.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ LCC.	56
4.4. ΒΗΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ L.C.C.	57
4.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΖΩΗΣ ΤΟΥ.....	58
4.6. ΔΥΝΑΜΙΚΟ Α.Π.Ε.	62
4.6.1. Υπολογισμός συντελεστή ισχύος ανεμογεννήτρια.....	62
4.6.2. Υπολογισμός συντελεστή ισχύος φωτοβολταϊκού.....	66
4.7. Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	71
4.8. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	75
4.8.1. Προσδιορισμός βέλτιστης ονομαστικής ισχύος ΑΓ και ΦΒ	75
4.8.2. Αποτελέσματα αυτόνομου Υ/Σ της νήσου Χρυσής	77
4.9. Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.....	79
4.9. ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	81
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84



Περιεχόμενα Εικόνων- Σχημάτων-Πινάκων

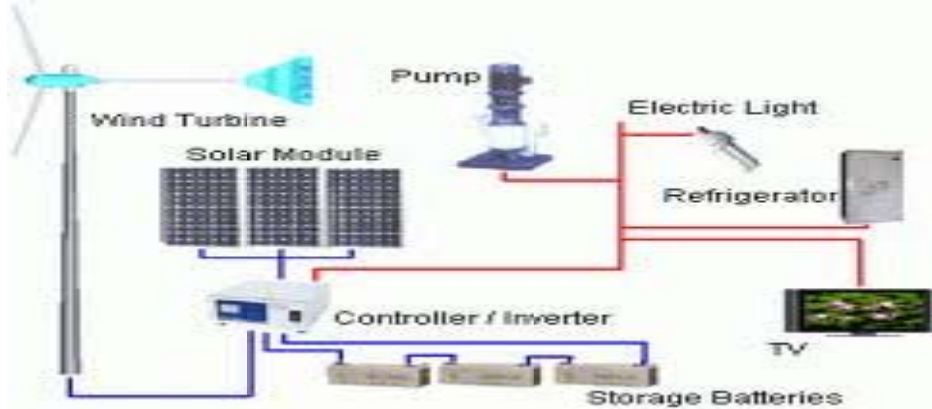
ΣΧΗΜΑ 1.1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΟΙΚΙΑ.....	7
ΕΙΚΟΝΑ 1.1: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ.....	12
ΣΧΗΜΑ 1.2: ΤΟΜΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 1.2: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 1.3: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΑΠΟ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ SI.....	14
ΕΙΚΟΝΑ 1.4: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΑΠΟ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ SI.....	14
ΕΙΚΟΝΑ 1.4: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΑΠΟ ΑΜΟΡΦΑ ΚΥΤΤΑΡΑ SI.....	15
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 : ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΠΕ.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΝΗΣΟΣ UTSIRA.....	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 : ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ UTSIRA.....	22
ΣΧΗΜΑ 2.1 : ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ UTSIRA ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΑΠΟ ΤΟ ΜΑΡΤΙΟ ΤΟΥ 2005 ΕΩΣ ΤΟΝ ΜΑΡΤΙΟ ΤΟΥ 2006 [4]. Η ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ 100% ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΕ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΕ ΑΥΤΕΣ ΤΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: KING ISLAND.....	24
ΣΧΗΜΑ 2.2 : ΈΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ VRB.....	27
ΣΧΗΜΑ 2.3 : ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΑ.....	28
ΧΡΟΝΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΝΗΣΙ KING ISLAND.....	28
ΣΧΗΜΑ 2.4 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ WALES.....	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 : ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ WALES.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 2.3: ΝΗΣΙ SAMSO.....	32
ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΗΛΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ ΣΤΗΝ ΠΕΥΚΗ.....	33
ΕΙΚΟΝΑ 3.1: ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΝΗΣΟ ΧΡΥΣΗ ΝΟΤΙΟ-ΔΥΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.2: Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΡΥΣΗΣ ΝΟΤΙΟ-ΔΥΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 : ΠΑΝΟΡΑΜΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΡΥΣΗΣ.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.4 :ΚΟΜΜΑΤΙ ΑΠΟ ΤΟ ΔΑΣΟΣ ΤΩΝ ΚΕΔΡΩΝ.....	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.5: ΧΑΡΤΗΣ ΝΗΣΙΟΥ.....	39
ΕΙΚΟΝΑ 3.6: ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ.....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΤΑΒΕΡΝΑ.....	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟΥ ΦΥΛΑΚΙΟΥ.....	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3: ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟΥ ΑΛΙΕΥΤΙΚΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ.....	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΦΥΛΑΚΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΗΝ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ... 43	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΤΑΒΕΡΝΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΗΝ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ.....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΛΙΕΥΤΙΚΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΗΝ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ.....	44
ΣΧΗΜΑ 3.1: ΤΕΧΝΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΧΡΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ.....	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΦΥΛΑΚΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ.....	45



ΠΙΝΑΚΑΣ 3.8: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΛΙΕΥΤΙΚΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΕΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ	46
ΣΧΗΜΑ 3.2: ΤΕΧΝΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΧΡΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΝΗΣΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΝΟΣ ΕΤΟΥΣ	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.10: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΡΥΣΗΣ	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.11: ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΡΥΣΗΣ	48
ΣΧΗΜΑ 3.3: ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ	49
ΣΧΗΜΑ 3.4: ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΥ	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.12: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ C ΚΑΙ K	50
ΣΧΗΜΑ 3.5: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ WEIBULL ΠΟΥ ΜΕΤΡΙΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΝΗΣΟ ΧΡΥΣΗ	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.13: ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΡΥΣΗΣ	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.14: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΡΥΣΗΣ	52
ΣΧΗΜΑ 3.6: ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	52
ΣΧΗΜΑ 3.7: ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΝΑ ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	53
ΣΧΗΜΑ 3.8: ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΝΑ ΓΩΝΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	53
ΣΧΗΜΑ 4.1: ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΚΡΗΣ ΑΓ 5 KW	62
ΣΧΗΜΑ 4.2: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 5KW	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΗΝΑ	64
ΣΧΗΜΑ 4.3: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΗΝΑ	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ	75
ΣΧΗΜΑ 4.4: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ L.C.C. (€) ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΤΩΝ ΑΠΕ	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΧΡΥΣΗΣ	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9: ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΧΡΥΣΗΣ	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10: ΕΤΗΣΙΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΟΣΤΩΝ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12: ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	80
ΣΧΗΜΑ 4.5: ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	80
ΣΧΗΜΑ 4.6: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥ ΤΗΣ ΑΓ Η ΤΟΥ ΦΒ ..	82
ΣΧΗΜΑ 4.6: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΑΓ ΚΑΙ ΦΒ	83



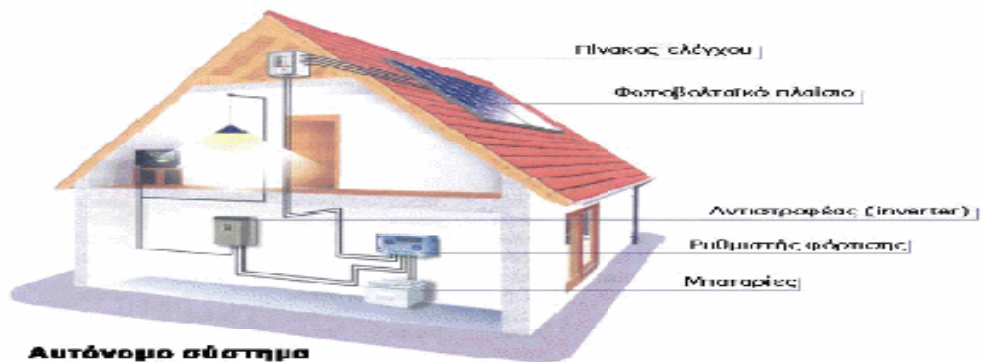
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ανάλυση υβριδικών συστημάτων



1.1. Ορισμός αυτόνομου ενεργειακού συστήματος

Με τον όρο αυτόνομο ενεργειακό σύστημα εννοούμε το σύστημα που δεν είναι συνδεδεμένο με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Το σύστημα αυτό ονομάζεται Υβριδικό Ενεργειακό Σύστημα αν στηρίζει την παραγωγή του σε ενεργειακές πηγές μη εγγυημένης παραγωγής.

Ένα υβριδικό ενεργειακό σύστημα μπορεί να απαρτίζεται από πολλές παράλληλα λειτουργούσες ενεργειακές πηγές και πάντα συνοδεύεται από τον κατάλληλο ηλεκτρονικό-ηλεκτρολογικό εξοπλισμό για έλεγχο και επιτήρηση της λειτουργίας τους.



Σχήμα 1.1: Σχηματική απεικόνιση αυτόνομου υβριδικού ενεργειακού συστήματος για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε κατοικία.



1.2. Ανάλυση αυτόνομου υβριδικού συστήματος

Οι βασικές συνιστώσες - μονάδες που αποτελούν ένα υβριδικό σύστημα είναι:

α. Οι μονάδες βάσης, από τις οποίες προέρχεται το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης της ζήτησης.

β. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, που σκοπό έχουν την προσαρμογή της μη εγγυημένης παραγωγής των μονάδων βάσεων στη ζήτηση ισχύος.

γ. Οι μονάδες εφεδρείας, που σκοπό έχουν την κάλυψη ζήτησης ισχύος σε περιόδους που τούτη αδυνατεί να καλυφθεί από τις μονάδες βάσης ή τις μονάδες αποθήκευσης.

δ. Τα συστήματα ελέγχου ή διαχείρισης ισχύος, που βάσει του προσχεδιασμένου αλγορίθμου λειτουργίας ελέγχουν και συντονίζουν τη συνδυασμένη λειτουργία των ανωτέρω μονάδων βάσης, αποθήκευσης και εφεδρείας.

1.2.1. Οι μονάδες βάσης για το προτεινόμενο σύστημα στη νήσο Χρυσή

Οι μονάδες βάσης του προτεινόμενου αυτόνομου υβριδικού συστήματος στη νήσο Χρυσή είναι:

1. ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους (Α/Γ)
2. φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β)

1.3 Ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους (Α/Γ)

Αιολική μηχανή λέγεται κάθε σύστημα που μπορεί να εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια για να παράγει έργο. Οι αιολικές μηχανές είναι γνωστές από την αρχαιότητα, χρησιμοποιούμενες για την άντληση νερού και την άλεση των δημητριακών. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε κάποιες μεμονωμένες περιοχές για άντληση.

Οι αιολικές μηχανές που χρησιμοποιούνται για μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική ονομάζονται σήμερα ανεμογεννήτριες.

Σκοπός της ανεμογεννήτριας είναι η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: i) κατακόρυφου και ii) οριζόντιου άξονα με δημοφιλέστερες της δεύτερης κατηγορίας. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη μιας Α/Γ είναι η καμπύλη ισχύος-ταχύτητας ανέμου, ο τύπος κινητήρα, η τιμή της τάσης εξόδου.

Η ισχύς των μικρών Α/Γ κυμαίνεται από 400 W ως 50 kW (συνήθως 1-10 kW), είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με τις Α/Γ που προορίζονται για τη στελέχωση Αιολικών Πάρκων που έχουν ισχύ συνήθως πάνω από 700 kW. Στις μέρες μας έχουν κατασκευαστεί τα πρώτα εμπορικά μοντέλα ανεμογεννητριών ονομαστικής ισχύος 5 MW. Οι Α/Γ μικρής ισχύος διαθέτουν 3 ή 4 κινούμενα μέρη, ώστε να έχουν πολύ χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Έχουν 2 ή 3 πτερύγια, η διάμετρος του δρομέα κυμαίνεται μεταξύ 1 και 15 μέτρων και το ύψος του πύργου μεταξύ 5 και 30 μέτρων. Η ονομαστική ταχύτητα ανέμου είναι 12 - 16 m/sec. Συνήθως επιθεωρούνται κάθε 2 έτη και η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40 ετών. Αν και δεν είναι στο προσκήνιο όσο άλλες τεχνολογίες, οι μικρές Α/Γ έχουν



αποδείξει την ικανότητά τους να παράγουν ενέργεια αξιόπιστα και με χαμηλό κόστος. Υπάρχει μεγάλη εμπειρία στην λειτουργία τους αφού πάνω από 150.000 μονάδες έχουν εγκατασταθεί παγκοσμίως. Δεδομένου ότι η ζήτηση για μικρά συστήματα αιολικής ενέργειας αυξάνεται, το κόστος αυτών των συστημάτων αναμένεται να μειωθεί στο μισό κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας.

Εκτός από την ίδια την ανεμογεννήτρια, σε ένα αιολικό σύστημα μικρής ισχύος απαιτούνται τα εξής:

- θεμέλια, συνήθως από ενισχυμένο σκυρόδεμα
- καλωδίωση για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας
- διακόπτης, ο οποίος επιτρέπει στην ηλεκτρική παραγωγή να απομονωθεί από το φορτίο
- μια μονάδα επεξεργασίας ισχύος, η οποία καθιστά την ισχύ της Α/Γ συμβατή με το δίκτυο (inverter DC/AC)
- ένας μετρητής ενέργειας, ο οποίος καταγράφει την ενεργειακή παραγωγή της Α/Γ
- εάν το σύστημα σχεδιάζεται για απομονωμένη λειτουργία ή έτσι ώστε να μπορεί να τροφοδοτήσει το φορτίο σε μια διακοπή ρεύματος, θα χρειαστούν μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης για να αποθηκεύσουν ενέργεια και ένας ελεγκτής της φόρτισης για να τις διαχειρίζεται κατάλληλα. Ένα σύστημα που συνδέεται με το δίκτυο και δεν προορίζεται για λειτουργία σε διακοπή ρεύματος, δεν απαιτεί μπαταρίες.

Τα συστήματα με Α/Γ μικρής ισχύος χαρακτηρίζονται, μερικές φορές, ως οικιακές εφαρμογές, και πράγματι είναι. Μπορούν, όμως, να παρέχουν ενέργεια σε αγροκτήματα, σχολεία και αγροτικές επιχειρήσεις. Μικρά συστήματα μπορούν, επίσης, να εγκατασταθούν για να τροφοδοτήσουν μια συγκεκριμένη εφαρμογή όπως η άντληση του νερού σε τοποθεσία απομακρυσμένη από το δημόσιο δίκτυο. Το μέγεθος του συστήματος που απαιτείται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες ενός δεδομένου πελάτη εξαρτάται από την ενέργεια που χρειάζεται ο πελάτης και την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου της τοποθεσίας. Σε μία τυπική οικιακή εφαρμογή, σύστημα 4-10 kW μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες.

Οι επιπτώσεις που μπορεί να έχουν οι μικρές Α/Γ στον περιβάλλοντα χώρο διακρίνονται στην ηχητική όχληση, στην οπτική όχληση και σε πιθανές παρεμβολές σε ραδιοηλεκτρονικά κύματα.

1.3.1. Θόρυβος Α/Γ

Το πρόβλημα του θορύβου αποτελεί ίσως τη μόνη πραγματική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την ύπαρξη των αιολικών μονάδων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πολλών μηχανών μεγάλων διαστάσεων. Βέβαια, στο σημείο αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η εγκατάσταση αιολικών πάρκων γίνεται κυρίως σε απομονωμένες περιοχές, ενώ ο προσεκτικός σχεδιασμός των σύγχρονων μηχανών έχει περιορίσει στο ελάχιστο τόσο τον αεροδυναμικό όσο και κάθε άλλο ηλεκτρομηχανολογικό θόρυβο .



Εν γένει ο μηχανικός θόρυβος προξενεί τη μεγαλύτερη όχληση σε ανεμογεννήτριες μικρού ή μεσαίου μεγέθους ($\leq 200\text{kW}$), ενώ στις μεγαλύτερες μηχανές ο μηχανικός θόρυβος είναι σημαντικά μικρότερης έντασης από το συνολικά μετρούμενο θόρυβο (έως και 10dB).

Κύριες πηγές μηχανικού θορύβου είναι το κιβώτιο μετάδοσης, η ηλεκτρογεννήτρια και τα έδρανα στήριξης. Η αντιμετώπιση του μηχανικού θορύβου γίνεται είτε στην πηγή είτε στη διαδρομή του. Ο μηχανικός θόρυβος στην πηγή μειώνεται είτε με επέμβαση στα στοιχεία που θορυβούν (π.χ χρησιμοποιώντας οδοντωτούς τροχούς στο κιβώτιο μετάδοσης με πλάγια οδόντωση αντί ευθείας οδόντωσης) είτε με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης, ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται και στη διαδρομή του χρησιμοποιώντας ηχομονωτικά πετάσματα καθώς και αντικραδασμικά πέλαμα στήριξης. Τέλος, σημαντική μείωση του μηχανικού θορύβου επιτυγχάνεται με τη μείωση των εξαρτημάτων που «θορυβούν», π.χ. κατάργηση του κιβωτίου μετάδοσης.

Αντίστοιχα ο αεροδυναμικός θόρυβος πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά το στάδιο του σχεδιασμού και κατασκευής της μηχανής, αποτελείται δε από το θόρυβο περιστροφής και το θόρυβο τύρβης. Ο θόρυβος περιστροφής περιλαμβάνει όλους τους θορύβους οι οποίοι έχουν διακριτές συχνότητες και παράγονται σε πολλαπλάσιες αρμονικές της συχνότητας της διέλευσης των πτερυγίων (δηλαδή το γινόμενο του αριθμού των πτερυγίων επί την τιμή της γωνιακής ταχύτητας). Η στάθμη του θορύβου περιστροφής αυξάνεται με τη διάμετρο, τη μείωση του αριθμού των πτερυγίων, τη μεγαλύτερη ταχύτητα των ακροπτερυγίων και την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων (αύξηση απορροφούμενης ισχύος). Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι αθόρυβες και γίνονται ακόμα πιο αθόρυβες και για να το κατανοήσουμε αυτό είναι χρήσιμο να γνωρίσουμε κάποια πράγματα για τη φυσική και τη μεθοδολογία του ήχου.

Ο ήχος μετριέται σε dB σε λογαριθμική κλίμακα. Το dB είναι ένα μέτρο του επιπέδου πίεσης του ήχου. Το μέγεθος της πίεσης που προκαλεί (ποικίλει στον αέρα) μια αύξηση 3 dB είναι ίση με διπλασιασμό της πίεσης του ήχου επομένως υπάρχει μια αισθητή αλλαγή στο επίπεδο του ήχου.

Μια αύξηση 10 dB ακούγεται σαν διπλασιασμός της ηχηρότητας. Μετρήσεις περιβαλλοντολογικού ήχου γίνονται σε dB περιλαμβανομένου μιας διόρθωσης και της ευαισθησίας του ανθρώπινου αυτιού. Επίσης, η μέτρηση του ήχου απαιτεί κάποιους επιπρόσθετους παράγοντες όπως είναι ο τύπος της αναπαράστασης και ο χρόνος στον οποίο ο ήχος μετριέται τυπικά (1 λεπτό, 10 λεπτά ή 1 ώρα)

Παράλληλα ο θόρυβος τύρβης συνδέεται με το στροβιλισμό στο χείλος εκφυγής των ακροπτερυγίων αλλά και με το γενικό πεδίο τύρβης πίσω από την πτερωτή. Για να μειωθεί ο θόρυβος τύρβης πρέπει να ελαττωθεί η ταχύτητα των ακροπτερυγίων, περιορίζοντας ταυτόχρονα την αποδιδόμενη αιολική ισχύ.

Κάνοντας το σχέδιο μιας αεροτομής δίνεται προσοχή σε οποιοδήποτε ήχο μπορεί να ακουστεί κοντά σε σπίτια έξω και στο εσωτερικό τους. Είναι πιθανόν το επίπεδο να είναι πολύ χαμηλό ακόμα και με ανοιχτά παράθυρα. Το πιθανό αποτέλεσμα του ήχου υπολογίζεται συνήθως με την πρόβλεψη των ήχων οι οποίοι θα παραχθούν όταν φυσάει αέρας από τις



ανεμογεννήτριες προς τα σπίτια (συντηρητική υπόθεση). Ο ήχος του κινητήρα αυξάνεται ελαφρώς με τη ταχύτητα του ήχου, ο ήχος του αέρα στα κοντινά σπίτια, στα γύρω δένδρα και πάνω από τη περιοχή αυξάνεται επίσης με την ταχύτητα του αέρα, αλλά με μια ταχύτερη συχνότητα και έτσι συχνά καλύπτει τον ήχο του κινητήρα .

Πριν 10 χρόνια οι ανεμογεννήτριες ήταν πιο ηχηρές (στον ήχο) από ότι σήμερα. Μεγάλη προσπάθεια έχει γίνει για τη δημιουργία της τωρινής παραγωγής αθόρυβων μηχανών μέσα από λεπτομερή παρατήρηση του σχεδίου των πτερυγίων και το μηχανικών μερών της μηχανής. Σαν αποτέλεσμα, ο ήχος δεν αποτελεί πρόβλημα στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες που τοποθετούνται προσεκτικά .

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες ισχύος 800 - 1500 KW «παράγουν» ήχο έντασης περίπου 40 dB σε απόσταση 800m. Ο ήχος των 34 dB ισοδυναμεί με αυτόν που ακούγεται από ένα σπουργίτι σε απόσταση περίπου 20 μέτρων ή σε ένα ήσυχο σπίτι όπου δεν ακούγονται συνομιλίες ή σε ένα γραφείο που εργάζεται ένας άνθρωπος χωρίς να μιλάει.

Επειδή οι μικρές Α/Γ τοποθετούνται σε ψηλούς πύργους στήριξης, είναι ορατές από σχετικά μεγάλη απόσταση. Μπορεί να υπάρξουν αντιρρήσεις από τους γείτονες, οι οποίες ρυθμίζονται με τη διατήρηση κατάλληλων αποστάσεων, ανάλογα με την επιφάνεια της ιδιοκτησίας.

Δεν έχει παρατηρηθεί ποτέ παρεμβολή από μικρές Α/Γ στη λήψη της τηλεόρασης ή του ραδιοφώνου. Άλλωστε, τα υλικά από τα οποία είναι φτιαγμένα τα πτερύγια δεν επηρεάζουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ραδιοφώνου ή της τηλεόρασης.

1.4. Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β)

Με το γενικό όρο φωτοβολταϊκά χαρακτηρίζονται οι διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από το Γάλλο φυσικό Αντουάν Μπεκερέλ (Antoine Henri Becquerel, 15 December 1852 – 25 August 1908). Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.



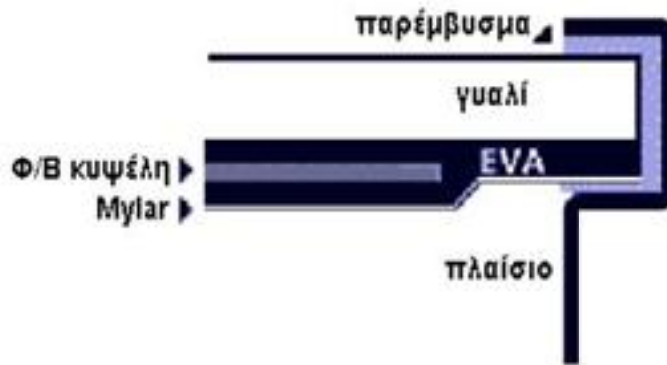
Εικόνα 1.1: Φωτοβολταϊκή συστοιχία

Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20 W έως 300 W. Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays).

Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες συστημάτων, το διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και το αυτόνομο. Η απλούστερη μορφή του δεύτερου εκ των δύο αποτελείται απλώς από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα περιέχει συνήθως μια διάταξη για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος, όπως στην περίπτωση που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια.

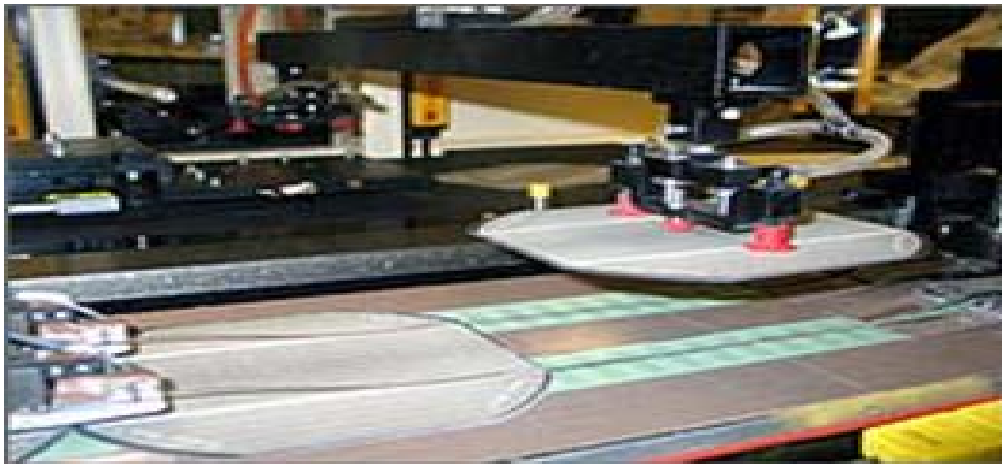
Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη Φ/Β γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Όλη η παραγόμενη ισχύς από τους Φ/Β σταθμούς τροφοδοτείται στο δίκτυο.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο μπορεί να συνδεθεί σε σειρά ή παράλληλα με άλλα Φ/Β στοιχεία, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ρεύμα και τάση. Το Φ/Β πλαίσιο (panel) είναι μια σύνθεση πολλών Φ/Β στοιχείων σε μια ενιαία κατασκευή, εύκολη στη μεταφορά, την τοποθέτηση και στην αντικατάστασή της. Στο πίσω μέρος της κατασκευής υπάρχει κατάλληλο ηλεκτρικό κιβώτιο για τη συνδεσμολογία με την υπόλοιπη εγκατάσταση. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η εγκάρσια τομή ενός τυπικού πλαισίου που χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμογές. Τα Φ/Β στοιχεία ενθυλακώνονται σε κάποιο πολυμερές υλικό, όπως ο οξικός εστέρας αιθυλενίου-βινυλίου (EVA), το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται μεταξύ γυαλιού στην επάνω επιφάνεια και Mylar ή Tedlar στην κάτω.



Σχήμα 1.2: Τομή Φ/Β πλαισίου.

Οι ακμές σφραγίζονται με ένα στεγανωτικό παρέμβυσμα και υποστηρίζονται από ένα πλαίσιο. Ο συνδυασμός πολλών Φ/Β πλαισίων, καλωδιωμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα λέγεται Φ/Β συστοιχία (PV array). Τοποθετούνται συνήθως στην ίδια επίπεδη επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη. Η παράλληλη σύνδεση αυξάνει το ολικό ρεύμα, ενώ η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση. Συνήθως συνδέονται κατά κλάδους. Κάθε κλάδος αποτελείται από πλαίσια σε σειρά. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα. Έτσι επιτυγχάνονται μεγάλες τάσεις (μέσα σε επιτρεπτά όρια, 600 V max) και μικρά ρεύματα, άρα μικρές θερμικές απώλειες στους αγωγούς μεταφοράς της ισχύος και χαμηλό κόστος αγοράς των αγωγών και της τοποθέτησής τους. Πολλές συστοιχίες συνεργαζόμενες, εν σειρά ή παράλληλα αποτελούν ένα Φ/Β συγκρότημα ή Φ/Β πάρκο.



Εικόνα 1.2: Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατά τη συναρμολόγηση του πλαισίου.

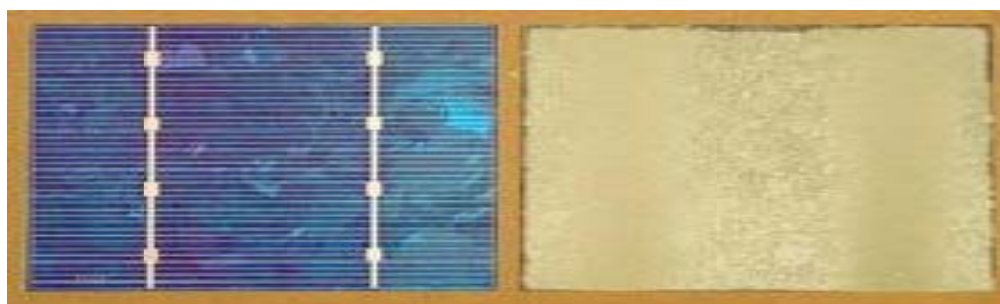
Τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου αποτελούν περίπου το 93,8% της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β γεννητριών για το 2003. Το υπόλοιπο της αγοράς καλύπτεται από τεχνολογίες Φ/Β λεπτών υμενίων, όπως το άμορφο-πυρίτιο (a-Si), το τελουριούχο κάδμιο (CdTe) και το δισελινιούχο ινδικό χαλκό με διάφορες προσμίξεις (CIGS). Αν και η τεχνολογία Φ/Β στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου έχει έναν υψηλό βαθμό ωριμότητας,



αναμένονται περαιτέρω βελτιώσεις στην απόδοση και στην τεχνολογία παραγωγής τους. Οι μεγάλες επιχειρήσεις που ασχολούνται με την παραγωγή Φ/Β γεννητριών, ενώ διατηρούν και επεκτείνουν το δυναμικό παραγωγής τους σε κρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν ήδη επενδύσει σε μια τουλάχιστον από τις τεχνολογίες των λεπτών υμενίων.

Τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά και τα άμορφα:

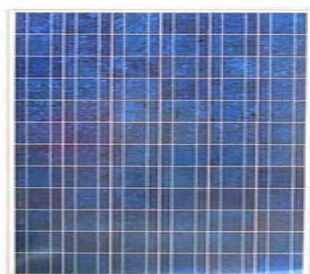
1.4.1. Μονοκρυσταλλικά κύτταρα Si



Εικόνα 1.3: Φωτοβολταϊκό στοιχείο από μονοκρυσταλλικά κύτταρα Si

Η ονομασία τους προέρχεται από τη μορφή του κρυσταλλικού πλέγματος των ατόμων Si που πλησιάζει τον τέλειο κρύσταλλο. Κατασκευάζονται ύστερα από ψύξη λιωμένου Si και πριονισμό του σε λεπτές πλάκες, τα κύτταρα. Η ανάγκη χρησιμοποίησης ιδιαίτερα καθαρού Si (ακριβή «πρώτη» ύλη), η χρήση εξειδικευμένων μεθόδων τήξης και κοπής για την επίτευξη του μονοκρυσταλλικού πλέγματος, αυξάνει το κόστος παραγωγής δίνοντάς τους όμως τον καλύτερο συντελεστή απασχόλησης (capacity factor) από τις τρεις κατηγορίες, φθάνοντας σε μέσες ετήσιες τιμές της τάξης του 15-18%, για τις συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα. Το ποσοστό αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα είναι πιο ευαίσθητα στην υπέρυθη ακτινοβολία που το ενεργειακό της περιεχόμενο είναι σχετικά χαμηλό.

1.4.2. Πολυκρυσταλλικά κύτταρα Si



Εικόνα 1.4: Φωτοβολταϊκό στοιχείο από πολυκρυσταλλικά κύτταρα Si

Σε αντίθεση με τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα περιλαμβάνουν στο πλέγμα τους κρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών. Αιτία αυτής της διαφοροποίησης είναι η μαζική και λιγότερο ελεγχόμενη ψύξη του Si, κάτι που μειώνει αισθητά το κόστος παραγωγής. Όπως και στην προηγούμενη τεχνολογία, μετά την ψύξη, το πολυκρυσταλλικό



πλέγμα πριονίζεται στα λεπτά Φ/Β κύτταρα. Η ύπαρξη διαφόρων κρυστάλλων μέσα στο πλέγμα αυξάνει την εσωτερική αντίσταση στα σημεία σύνδεσής τους, με αποτέλεσμα ο μέσος ετήσιος συντελεστής απασχόλησης να μην μπορεί να ξεπεράσει το 13-15%, για τις ηλιακές συνθήκες στην Ελλάδα.

1.4.3. Άμορφα κύτταρα Si



Εικόνα 1.4: Φωτοβολταϊκό στοιχείο από άμορφα κύτταρα Si

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η μη κρυσταλλική της δομή. Κατασκευάζονται με τη εφαρμογή Si σε ειδικό υπόστρωμα γυαλιού. Η μικρή και οικονομική ποσότητα πρώτων υλών, ο απλός τρόπος κατασκευής, η ευκολία στην εγκατάσταση και συναρμολόγηση καθιστούν τα άμορφα κύτταρα ικανά για μαζική παραγωγή. Δυστυχώς, η έλλειψη του κρυσταλλικού πλέγματος από τη δομή τους περιορίζει το μέσο ετήσιο συντελεστή απασχόλησης μόλις στο 5-8%. Για το λόγο αυτό τα άμορφα κύτταρα δεν απαρτίζουν αμιγώς Φ/Β πλαίσια, αλλά προτιμώνται σε τεχνολογίες όπως υβριδικά Φ/Β πλαίσια ή Thin Film.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την τάση της βασικής μονάδας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του συστήματος συνήθως πρέπει να ταιριάζει με την ονομαστική τάση του υποσυστήματος αποθήκευσης. Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά έχουν, επομένως, σταθερές διατάξεις, οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 12 volts. Προνοώντας για κάποια υπέρταση προκειμένου να φορτισθεί η μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, κάτω από συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών, έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία.

Έτσι η ισχύς των βασικών μονάδων πυριτίου συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 W. Οι παράμετροι της βασικής μονάδας καθορίζονται από τον κατασκευαστή κάτω από τις ακόλουθες κανονικές συνθήκες:

- 1 μέση ηλιακή ακτινοβολία 1 kW/m^2
- 2 φασματική κατανομή AM 1,5
- 3 θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου 25°C .

Πρόκειται για τις ίδιες συνθήκες με αυτές που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρισθούν τα ηλιακά στοιχεία. Η ονομαστική έξοδος συνήθως ονομάζεται ισχύς κορυφής (peak power) μιας βασικής μονάδας και εκφράζεται σε W κορυφής (Wpeak).



Τα τρία περισσότερο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας βασικής μονάδας είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τάση ανοικτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία. Αυτές οι χαρακτηριστικές μοιάζουν με τη χαρακτηριστική I-V ενός ηλιακού στοιχείου, ωστόσο υπάρχουν συγκεκριμένες ιδιομορφίες.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής μιας διάταξης είναι το που θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες, αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις ή οι προσανατολισμοί τους θα ακολουθούν (ιχνηλατούν) την κίνηση του ηλίου.

Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό έχει το πλεονέκτημα της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.

Στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερης αξιοπιστίας και υψηλότερου κόστους συντήρηση. Η μονού άξονα παρακολούθηση (ιχνηλάτηση) είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Έχει υπολογιστεί ότι σε κλίματα με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δυο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κρίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγεται με ένα σύστημα δυο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο.

Το σύστημα παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα συστήματα, που λειτουργούν κάτω από συγκεντρωμένο ηλιακό φως. Η δομή αυτών των συστημάτων εκτείνεται από έναν απλό σχεδιασμό βασισμένο πάνω σε πλευρικούς ενισχυτικούς καθρέπτες μέχρι τα συγκεντρωτικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν υπερσύγχρονες οπτικές τεχνικές, για να αυξήσουν την είσοδο φωτός προς τα ηλιακά στοιχεία κατά μερικές τάξεις του μεγέθους. Αυτά τα συστήματα πρέπει να προνοούν για ένα σημαντικό γεγονός, ότι δηλαδή συγκεντρώνοντας το ηλιακό φως ελαττώνουν το γωνιακό άνοιγμα των ακτίνων, που το σύστημα μπορεί να δεχθεί. Η παρακολούθηση γίνεται απαραίτητη από τη στιγμή που ο λόγος συγκέντρωσης υπερβαίνει το 10 περίπου και το σύστημα μπορεί να μετατρέψει μόνο την άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας.

1.5. Μονάδες αποθήκευσης για το προτεινόμενο σύστημα της Χρυσής

Η μεταβλητότητα ορισμένων πηγών ενέργειας, ιδιαίτερα των ανανεώσιμων, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μη πλήρη κάλυψη της ζήτησης φορτίου από την παραγωγή. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι γεννήτριες δεν θα είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν σε μια απότομη



αύξηση της ζήτησης. Για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί αυτοί μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας είναι τα ηλεκτροχημικά συστήματα με εσωτερική αποθήκευση (μπαταρίες). Διατίθενται όμως και άλλες μέθοδοι αποθήκευσης όπως είναι τα ηλεκτροχημικά συστήματα με εξωτερική αποθήκευση (συστήματα υδρογόνου, κυψέλες καυσίμου), μηχανικά συστήματα (σφόνδυλοι, πεπιεσμένος αέρας, άντληση νερού) ή και ηλεκτρικά συστήματα (πυκνωτές). Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα επιλογή για τη χώρα μας είναι τα «αντλητικά υδροηλεκτρικά» συστήματα (π.χ. στην περίπτωση των αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων).

1.6. Τύποι συσσωρευτών

Τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των πλακών κατηγοριοποιούν τους συσσωρευτές μολύβδου και νικελίου σε υποκατηγορίες. Αυτοί οι συνδυασμοί, μαζί με άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, καθορίζουν τις ιδιαιτερότητες των επιδόσεων τους και τις εφαρμογές για τις οποίες είναι περισσότερο κατάλληλοι. Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι:

1. Μπαταρίες Μολύβδου Οξέως
2. Μπαταρίες Νικελίου Καδμίου
3. Μπαταρίες Νικελίου Υδριδίου Μετάλλου
4. Μπαταρίες Νατρίου Θείου
5. Μπαταρίες Τεχνολογίας Λιθίου
6. Μπαταρίες Ροής

1.7. Οι μονάδες εφεδρείας για το προτεινόμενο σύστημα στη νήσο Χρυσή

Η μονάδα εφεδρείας για το προτεινόμενο σύστημα θα είναι ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, δηλαδή μία κοινή ντιζελογεννήτρια, η οποία λειτουργεί με συμβατικό καύσιμο diesel ή με βενζίνη και παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η ενσωμάτωση ενός H/Z σε κάποιο υβριδικό σύστημα έχει ως στόχο τη συμπληρωματική λειτουργία του σε καταστάσεις υστέρησης του υπολοίπου συστήματος π.χ. συννεφιασμένες μέρες, άπνοια, εκφόρτιση μονάδων αποθήκευσης.

Η συμμετοχή του H/Z επιδιώκεται να περιοριστεί σε χαμηλά επίπεδα λόγω μόλυνσης του περιβάλλοντος από τα εκπεμπόμενα καυσαέρια, λόγω υψηλού θορύβου και λόγω της υψηλής τιμής του καυσίμου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Παρουσίαση υβριδικών συστημάτων

2.1. Εισαγωγή

Η συνεχής αύξηση των τιμών του πετρελαίου, οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί για τη μεταφορά, χρήση και αποθήκευσή του, καθώς και η επιβολή προστίμων για την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου οδήγησε απομονωμένες κοινότητες στη χρησιμοποίηση εναλλακτικών μεθόδων για την παραγωγή ενέργειας. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών παρατηρείται αύξηση της χρήσης της αιολικής ενέργειας, της ηλιακής ακτινοβολίας, της βιομάζας και της γεωθερμίας σε εφαρμογές μικρής κλίμακας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας, με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου diesel.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ενδεικτικά υβριδικά συστήματα που έχουν υλοποιηθεί σε νησιωτικές και απομονωμένες κοινότητες με έμφαση στα συστήματα υψηλής διείσδυσης Α.Π.Ε. Επιχειρείται η συλλογή πληροφοριών για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κοινοτήτων και τη συγκρότηση των υβριδικών συστημάτων, καθώς και η συγκέντρωση λειτουργικής εμπειρίας. Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση των σημαντικότερων υβριδικών συστημάτων ορίζουμε τη διείσδυση Α.Π.Ε. και τον τρόπο κατηγοριοποίησης των συστημάτων με βάση αυτή.

2.2. Διείσδυση Α.Π.Ε.

Η πολυπλοκότητα ενός υβριδικού συστήματος και οι απαιτήσεις σε έλεγχο είναι μεγέθη ανάλογα με το βαθμό διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) σε αυτό. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται μία μέθοδος που προτάθηκε από τον Steve Drouilhet για την κατηγοριοποίηση των υβριδικών συστημάτων με βάση τη διείσδυση Α.Π.Ε. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ορίζονται δύο τύποι διείσδυσης Α.Π.Ε. σε ένα ενεργειακό σύστημα:

στιγμιαία διείσδυση ισχύος Α.Π.Ε. = παραγωγή ισχύος Α.Π.Ε. / ζήτηση ισχύος

μέση διείσδυση ενέργειας Α.Π.Ε. = παραγωγή ενέργειας Α.Π.Ε. / συνολική ζήτηση ενέργειας.

Η στιγμιαία διείσδυση ισχύος Α.Π.Ε. σχετίζεται με την πολυπλοκότητα του συστήματος και τον απαιτούμενο βαθμό ελέγχου ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική ποιότητα ισχύος. Στα υβριδικά συστήματα με χαμηλή στιγμιαία διείσδυση ο έλεγχος εξασφαλίζεται από τη μονάδα ελέγχου της ντιζελογεννήτριας και δεν απαιτείται επιπλέον έλεγχος. Με την αύξηση της στιγμιαίας διείσδυσης απαιτείται περισσότερος έλεγχος επειδή οι διακυμάνσεις στην ισχύ εξόδου των Α.Π.Ε. ίσως ξεπερνούν την ικανότητα του συστήματος ελέγχου της ντιζελογεννήτριας. Σε υψηλές στιγμιαίες διεισδύσεις όπου η παραγωγή Α.Π.Ε. είναι περίπου ίση ή ακόμα και μεγαλύτερη από τις απαιτήσεις του συστήματος σε ενέργεια, επιπρόσθετος έλεγχος πρέπει να χρησιμοποιηθεί ώστε να επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος και ευστάθεια.



Η μέση διείσδυση ενέργειας Α.Π.Ε. υπολογίζεται για μία δεδομένη χρονική περίοδο, τυπικά ένα μήνα ή ένα έτος και επιτρέπει μία εκτίμηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος, της εξοικονόμησης και των αναγκών αποθήκευσης καυσίμου, καθώς και της μακροπρόθεσμης οικονομικής επίδρασης. Η μέση διείσδυση υπολογισμένη για μεγαλύτερο διάστημα ολοκλήρωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ιστορικό του συνολικού ποσού ενέργειας που προέρχεται από Α.Π.Ε. Ο Πίνακας 2.1 παρουσιάζει την ταξινόμηση των υβριδικών συστημάτων με βάση το βαθμό διείσδυσης ΑΠΕ. Οι τιμές στιγμιαίας και μέσης διείσδυσης που αποτελούν τα όρια μεταξύ των τριών τάξεων είναι ενδεικτικές και εξαρτώνται έντονα από την ηλικία των νηξελογεννητριών και του συστήματος ελέγχου.

Τάξη Διείσδυσης ΑΠΕ	Λειτουργικά Χαρακτηριστικά	Διείσδυση	
		Μέγιστη Στιγμιαία	Μέση Ετήσια
Χαμηλή	Οι νηξελογεννήτριες λειτουργούν συνεχώς. Η αιολική ισχύς μειώνει το καθαρό φορτίο που αναλαμβάνει η συμβατική παραγωγή. Η αιολική ισχύς μειώνει το καθαρό φορτίο που αναλαμβάνει η συμβατική παραγωγή.	<50%	<20%
Μέτρια	Δεν υπάρχει σύστημα ελέγχου και εποπτείας κατάσταση υψηλής αιολικής ισχύος εντάσσονται τα δευτερεύοντα φορτία για να εξασφαλιστεί ότι η τα δευτερεύοντα φορτία για να εξασφαλιστεί ότι η περίσσεια αιολικής παραγωγής δεν προκαλεί αστάθεια. Απαιτείται σχετικά απλό σύστημα ελέγχου.	50% - 100%	20% - 50%
Υψηλή	Οι νηξελογεννήτριες μπορούν να σβήσουν σε κατάσταση υψηλής αιολικής ισχύος. Απαιτείται βοηθητικός εξοπλισμός για τον έλεγχο της τάσης και της συχνότητας. Απαιτείται εκλεπτυσμένο σύστημα ελέγχου και εποπτείας, ελεγχόμενα φορτία (dump loads), αποθήκευση ενέργειας και σύστημα διαχείρισης φορτίου.	100% - 400%	50% - 150%

Πίνακας 2.1 : Ταξινόμηση υβριδικών συστημάτων με βάση τη διείσδυση ΑΠΕ



2.3. Νήσος Utsira



Εικόνα 2.1: Νήσος Utsira

2.3.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία

Το νησί Utsira βρίσκεται 20 km από τις δυτικές ακτές της Νορβηγίας, έχει έκταση 6,2 km² και, με βάση την απογραφή του 2008, πληθυσμό 235 κατοίκους. Η περιοχή έχει εξαιρετικές αιολικές συνθήκες και το φορτίο του νησιού είναι μικρό αλλά εμφανίζει σημαντική διακύμανση. Κατά τη διάρκεια του έτους 2006 η αιχμή του φορτίου ήταν 900 kW και η συνολική ζήτηση ενέργειας 3,5 GW h.

2.3.2. Περιγραφή συστήματος

Το υβριδικό ενεργειακό σύστημα κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια των ετών 2003 και 2004 από τη Νορβηγική εταιρία Norsk Hydro σε συνεργασία με τη Γερμανική εταιρία ανεμογεννητριών Enercon. Η επιλογή του νησιού έγινε λόγω του υψηλού αιολικού του δυναμικού και της διασύνδεσης με την ενδοχώρα μέσω ενός υποθαλάσσιου καλωδίου 1 MW, στοιχείο που εξασφαλίζει εφεδρεία. Πρόκειται για το πρώτο παγκοσμίως υβριδικό σύστημα αιολικής ισχύος και υδρογόνου πλήρους κλίμακας και πρωταρχικά αποτελεί ένα έργο έρευνας και ανάπτυξης. Ο βασικός στόχος του είναι να εξετάσει εάν η αιολική ισχύς σε συνδυασμό με το υδρογόνο μπορούν να αποτελέσουν μία αξιόπιστη ενεργειακή λύση για απομακρυσμένες περιοχές.

Όπως αναφέρθηκε το αιολικό δυναμικό είναι εξαιρετικό και η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 10 m/sec. Ωστόσο, αναπόφευκτα η ταχύτητα του ανέμου και συνεπώς η αιολική παραγωγή θα εμφανίζει διακύμανση. Επιπρόσθετα, τόσο κατά τη διάρκεια έντονων καιρικών φαινομένων όπως οι θύελλες, όσο και κατά τη διάρκεια άπνοιας, οι ανεμογεννήτριες είναι εκτός λειτουργίας. Επομένως, για τη διασφάλιση της αυτονομίας



απαιτείται ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο στο συγκεκριμένο σύστημα στηρίζεται στη χρήση του υδρογόνου. Η περίσσεια αιολικής ισχύος χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου με τη βοήθεια ηλεκτρολύτη, το οποίο και αποθηκεύεται. Όταν η αιολική παραγωγή δε μπορεί να καλύψει τη ζήτηση, το υδρογόνο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση μίας γεννήτριας καύσης υδρογόνου καθώς και μίας κυψέλης καυσίμου. Επίσης, χρησιμοποιούνται μπαταρίες και ένας σφόνδυλος ως επιπλέον μέσα αποθήκευσης.

Το υβριδικό σύστημα απαρτίζεται από τα ακόλουθα στοιχεία τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2.2 όπου δίνονται και οι κατασκευαστές:

1. Δύο ανεμογεννήτριες E-40 της εταιρίας Enercon ονομαστικής ισχύος 600 kW η καθεμιά με πύργο ύψους 46 μέτρα και διάμετρο πτερυγίων 40 μέτρα. Σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας η παραγόμενη ισχύς είναι υπεραρκετή για την τροφοδοσία ολόκληρης της κοινότητας. Η ταχύτητα ένταξης της ανεμογεννήτριας είναι 2,5 m/s και μπορεί να λειτουργεί σε ονομαστική ισχύ εξόδου μέχρι ταχύτητα ανέμου 25 m/sec. Όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει την τιμή αυτή η ισχύς εξόδου μειώνεται, ενώ σε ταχύτητα ανέμου 34 m/sec η ανεμογεννήτρια αποσυνδέεται αυτόματα.

2. Έναν ηλεκτρολύτη της εταιρίας Norsk Hydro Electrolysers (NHEL) ισχύος 48 kW με ικανότητα παροχής $10 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της περίσσειας αιολικής ισχύος σε υδρογόνο. Αυτό γίνεται με τη διάσπαση των μορίων του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο κατά τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από νερό παρουσία ηλεκτρολύτη για βελτίωση της αγωγιμότητας.

3. Έναν συμπιεστή ισχύος 5,5 kW που χρησιμοποιείται για την αύξηση της πίεσης του υδρογόνου μέχρι μέγιστη τιμή 200 bar.

4. Μία δεξαμενή αποθήκευσης υδρογόνου χωρητικότητας 12 m^3 (ή 2.400 Nm^3 δεδομένου ότι το υδρογόνο είναι συμπυκνωμένο στα 200 bar) που είναι αρκετή για να καλύψει τη ζήτηση για 2 – 3 μέρες χωρίς άνεμο.

5. Μία κυψέλη καυσίμου ισχύος 10 kW και μία μηχανή εσωτερικής καύσης υδρογόνου ισχύος 55 kW που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ισχύος όταν η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας δεν επαρκεί για την κάλυψη του φορτίου.

6. Ένα σφόνδυλο ικανότητας αποθήκευσης ενέργειας 5 kWh και μία σύγχρονη μηχανή ισχύος 100 kVA, που χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση της τάσης και της συχνότητας του δικτύου.

7. Μονάδα αποθήκευσης με μπαταρίες SAFT Νικελίου – Καδμίου ονομαστικής ικανότητας αποθήκευσης 35 kWh που χρησιμοποιείται για την παροχή εφεδρείας. Οι μπαταρίες μπορούν να δίνουν ενέργεια για μισή ώρα εξασφαλίζοντας διαθεσιμότητα σε περιπτώσεις απότομων αλλαγών στην τιμή του φορτίου, αστοχίας εξοπλισμού ή κατά τη μετάβαση από μία κατάσταση λειτουργίας σε άλλη.

Μέχρι το έτος 2008 στο έργο επίδειξης του νησιού συμμετείχαν δέκα κατοικίες με συνολική αιχμή περίπου 50 kW και ετήσια κατανάλωση ενέργειας περίπου 200 MWh. Το



υβριδικό σύστημα σχεδιάστηκε για να μπορεί να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες αυτών των κατοικιών, ενώ περίσσεια ενέργειας που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί ούτε από το σύστημα αποθήκευσης πωλείται στην αγορά. Μάλιστα, η παραγόμενη ισχύς από τη μία εκ των δύο ανεμογεννητριών προορίζεται μόνο για πώληση και όχι για χρήση από το υβριδικό σύστημα.

Στοιχεία Συστήματος	Χαρακτηριστικά Μεγέθη	Κατασκευαστής
2 Ανεμογεννήτριες 600 kW Enercon	600 kW	Enercon
Συστοιχία Μπαταριών	35 kWh	Enercon
1 Σφόνδυλος	5 kWh, 200 kWmax	Enercon
1 Σύγχρονη Μηχανή	100 kVA	Enercon
1 Ηλεκτρολύτης	10 Nm ³ /h - 48 kW	Hydro Electrolyser
1 Συμπιεστής	11 Nm ³ /h - 5,5 kW	Andreas Hofer
1 Μονάδα Αποθήκευσης Υδρογόνου	12 m ³ υπό πίεση 200 bar → 2400 Nm ³	Martin Larsson
1 Μηχανή Εσωτερικής Καύσης υδρογόνου	55 kW	Continental
1 Κυψέλη Καυσίμου	10 kW	IRD

Πίνακας 2.2 : Τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος του νησιού Utsira

2.3.3. Λειτουργική Εμπειρία

Το υβριδικό σύστημα ξεκίνησε τη λειτουργία του το χειμώνα 2004/2005 και κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους της επίδειξης ο βασικός στόχος ήταν η αρμονική λειτουργία των επιμέρους συνιστωσών του συστήματος και η εξασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας της διανεμημένης ισχύος.

Κατά το σχεδιασμό του συστήματος πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας τα μεγέθη του Πινάκα 2.1 και τις μετρημένες χρονοσειρές ανέμου και ζήτησης ισχύος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρολύτη και της μηχανής καύσης υδρογόνου ήταν 2.000 και 1.000 ώρες αντίστοιχα, ενώ ο αριθμός των εκκινήσεων ήταν περίπου 100 και στις δύο περιπτώσεις. Μετά από ένα χρόνο λειτουργίας του συστήματος ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρολύτη ήταν 1.500 ώρες, της μηχανής καύσης υδρογόνου 500 ώρες και ο αριθμός των εκκινήσεων περίπου 300. Είναι λοιπόν προφανές ότι κατά τη φάση του σχεδιασμού η αιολική ισχύς είχε υποεκτιμηθεί.

Τα πιο σημαντικά επιτεύγματα κατά το πρώτο έτος της λειτουργίας είναι:

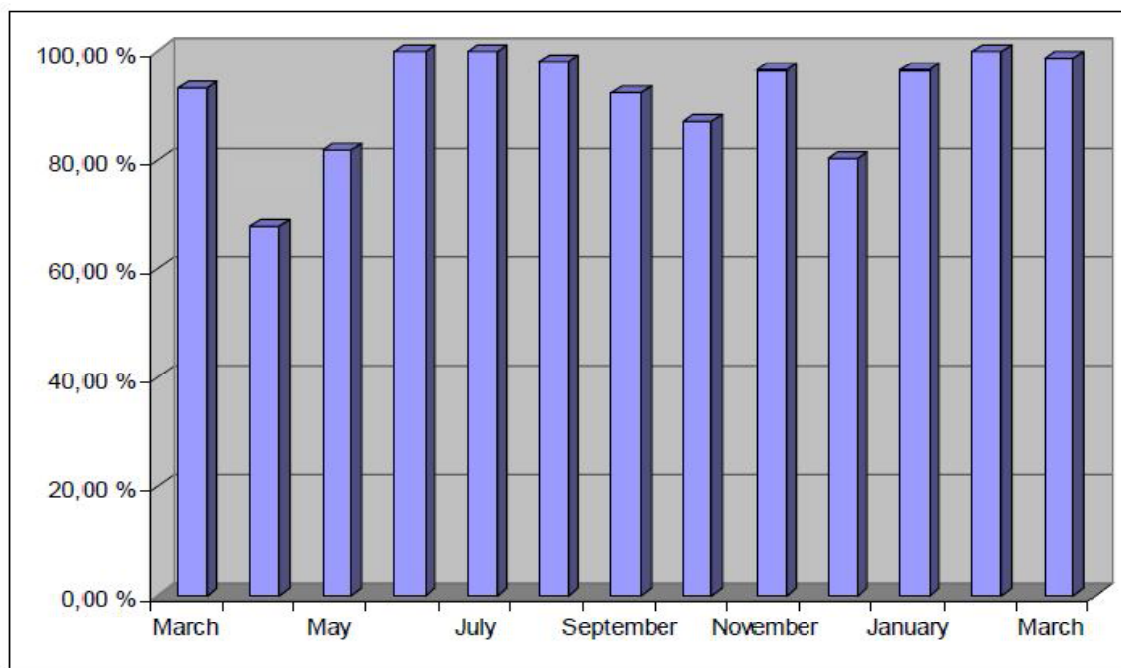
- πάνω από έξι μήνες σε αυτόνομη λειτουργία
- διαθεσιμότητα κοντά στο 100% (Σχήμα 2.1).
- πολύ καλή λειτουργικότητα



- πολύ καλή ποιότητα ισχύος, ευχαριστημένοι οι κάτοικοι της κοινότητας
- κανένα ατύχημα
- συνεισφορά στις τοπικές δραστηριότητες και στον τουρισμό.

Η μεγαλύτερη καινοτομία αυτού του έργου είναι ο τρόπος που όλα τα επιμέρους στοιχεία του συνεργάζονται μεταξύ τους εξασφαλίζοντας εύρυθμη λειτουργία. Οι μεγαλύτερες προκλήσεις ήταν ο μεγάλος αριθμός διατάξεων του συστήματος, ο έλεγχος του μικροδικτύου όταν η μεγάλη αιολική παραγωγή συμπίπτει με χαμηλή ζήτηση και η παράλληλη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου και της μηχανής εσωτερικής καύσης υδρογόνου. Οι αποκλίσεις τάσης και συχνότητας ήταν αναπόφευκτες τουλάχιστον στην αρχή της λειτουργίας του συστήματος.

Το έργο στο Utsira έδειξε ότι σε ανάλογα εγχειρήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη προβλήματα αρμονικών και συντονισμού που μπορεί να οφείλονται στην παροχή ισχύος από την κυψέλη καυσίμου. Επιπρόσθετα, λόγω της αδυναμίας πρόβλεψης της μελλοντικής αιολικής παραγωγής και του μελλοντικού φορτίου συνίσταται η υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος έχοντας πάντα υπόψη τον παράγοντα του κόστους. Πρέπει να σημειωθεί ότι η κυψέλη καυσίμου και η ηλεκτρολυτική κυψέλη δεν πρέπει να εκτίθενται σε θερμοκρασίες μικρότερες από 0 °C.



Σχήμα 2.1 : Διαθεσιμότητα του υβριδικού συστήματος στο Utsira κατά την περίοδο από το Μάρτιο του 2005 έως τον Μάρτιο του 2006 [4]. Η απόκλιση από το 100% οφείλεται σε σφάλματα του συστήματος και σε αυτές τις περιπτώσεις οι καταναλωτές συνδέονται στο ηπειρωτικό δίκτυο.

Επιπλέον, μία μελλοντική πρόκληση είναι η χρήση του αποθηκευμένου υδρογόνου σαν καύσιμο για τα οχήματα και τις βάρκες του νησιού. Η επόμενη φάση του έργου στο



Utsira περιλαμβάνει τη δοκιμή ηλεκτρολυτικής κυψέλης τεχνολογίας PEM (Proton Exchange Membrane), η οποία θα χαρακτηρίζεται από υψηλότερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερη λειτουργική ευελιξία.

2.4. King Island



Εικόνα 2.2: King Island

2.4.1 Δημογραφικά - Γεωγραφικά στοιχεία

Το King Island είναι ένα από τα κατοικημένα νησιά που βρίσκονται στον πορθμό Bass μεταξύ Αυστραλίας και Τασμανίας. Έχει έκταση 1.098 km^2 και πληθυσμό 1.723 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του Ιουνίου του 2007. Το φορτίο του νησιού είναι σχετικά μεγάλο με ελάχιστη τιμή 1,2 MW και τιμή αιχμής 3,3 MW, η οποία παρατηρείται κατά τους κρύους χειμερινούς μήνες. Η ημερήσια χρονολογική καμπύλη φορτίου έχει τυπική μορφή με δύο αιχμές, μία το πρωί και μία το απόγευμα.

2.4.2. Περιγραφή Συστήματος

Το King Island δεν είναι διασυνδεδεμένο ούτε με την Αυστραλία ούτε με την Τασμανία και μέχρι πρόσφατα η ηλεκτρική ισχύς παραγόταν στο νησί αποκλειστικά από ντιζελογεννήτριες. Ωστόσο, σήμερα η αιολική ισχύς καλύπτει ένα σημαντικό ποσοστό της ετήσιας ζήτησης ενέργειας. Η αιολική ισχύς εμφανίζεται ανταγωνιστική οικονομικά και αναδεικνύεται σε σημαντική πηγή ενέργειας του νησιού λόγω του εξαιρετικού αιολικού δυναμικού. Σύμφωνα με μετρήσεις η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης είναι 9,2 m/s.

Η εταιρία Hydro Tasmania είναι υπεύθυνη για την παραγωγή, τη διανομή και την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο King Island. Αρχικά, το κόστος για την ηλεκτροδότηση του νησιού ήταν πολύ μεγαλύτερο από τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Για να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ εξόδων και



εσόδων η εταιρία έθεσε σε εφαρμογή σημαντικές βελτιώσεις στο σύστημα του νησιού κατά τα τελευταία δέκα χρόνια. Αυτή η προσέγγιση επέτρεψε μία σταδιακή μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και συνεπώς του αντίστοιχου κόστους.

Το 1985 κατασκευάστηκε στο Currie, στη δυτική ακτή του νησιού, ο τοπικός σταθμός παραγωγής ο οποίος αρχικά αποτελούνταν από δύο ντιζελογεννήτριες των 1.200 kW και μία των 800 kW, ενώ στα επόμενα χρόνια προστέθηκε μία τέταρτη ντιζελογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 1.200 kW. Σήμερα ο σταθμός αποτελείται από τρεις ντιζελογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 1.600 kW και από μία ονομαστικής ισχύος 1.200 kW.

Το 1998 η Hydro Tasmania εγκατέστησε τρεις ανεμογεννήτριες Nordex N29 συνολικής ισχύος 750 kW στο λόφο Huxley κοντά στο Currie, ιδρύοντας το δεύτερο εμπορικής φύσης αιολικό πάρκο της Αυστραλίας. Δύο ακόμα ανεμογεννήτριες Vestas V52, ονομαστικής ισχύος 850 kW η καθεμιά, εγκαταστάθηκαν στο αιολικό πάρκο το 2003 αυξάνοντας τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ του στα 2,45 MW. Την ίδια χρονιά εγκαταστάθηκε επίσης ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας VRB (Vanadium Redox Battery) και πραγματοποιήθηκε ουσιαστική βελτίωση του συστήματος ελέγχου του υβριδικού σταθμού, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται βέλτιστη λειτουργία με το ελάχιστο κόστος. Μέσα στο 2008 ολοκληρώθηκε η κατασκευή και ξεκίνησε η λειτουργία ενός νέου συστήματος ελέγχου με ωμικό φορτίο και εγκαταστάθηκαν έξι φωτοβολταϊκά συστήματα συνολικής ισχύος περίπου 100 kW.

Σήμερα, ο υβριδικός σταθμός του νησιού Utsira περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

Συμβατική Παραγωγή:

- τρεις ντιζελογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 1.600 kW η καθεμιά
- μία ντιζελογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 1.200 kW.

Αιολική Ισχύς:

- τρεις ανεμογεννήτριες Nordex N29 ονομαστικής ισχύος 250 kW έκαστη
- δύο ανεμογεννήτριες Vestas V52 ονομαστικής ισχύος 850 kW έκαστη.

Σύστημα Αποθήκευσης VRB:

- δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας 800 kWh.
- τέσσερις πλαστικές δεξαμενές ηλεκτρολύτη συνολικής χωρητικότητας 68.000 λίτρα
- έξι cell stacks της εταιρίας Sumitomo
- δυνατότητα απόδοσης ισχύος 200 kW για τέσσερις ώρες
- δυνατότητα απόδοσης ισχύος αιχμής 400 kW για δέκα δευτερόλεπτα και ισχύος 300 kW για πέντε λεπτά.

Ηλιακή Ισχύς:

- έξι φωτοβολταϊκά συστήματα SOLON Movers της εταιρίας SOLON AG ολικής ονομαστικής ισχύος 100 kW
- κάθε σύστημα παράγει 16 kW σε συνθήκες άριστης ηλιοφάνειας



- σύστημα παρακολούθησης του ήλιου δύο αξόνων για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ισχύος
- τα συστήματα είναι ικανά να αντέχουν ισχυρούς ανέμους.

Σύστημα ελέγχου συχνότητας με ωμικό φορτίο:

- τρεις αντιστάτες ονομαστικής ισχύος 500 kW η καθεμιά σε συνδυασμό με σύστημα ψύξης με ανεμιστήρα.
- η ισχύς εξόδου του αντιστάτη ελέγχεται μέσω έξι ελεγκτών γωνίας φάσης
- ακριβής έλεγχος συχνότητας με τη βοήθεια PID ελεγκτή
- λειτουργεί σε συνδυασμό με το σύστημα ελέγχου του υβριδικού σταθμού ώστε να μεγιστοποιείται η χρησιμοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας από Α.Π.Ε.

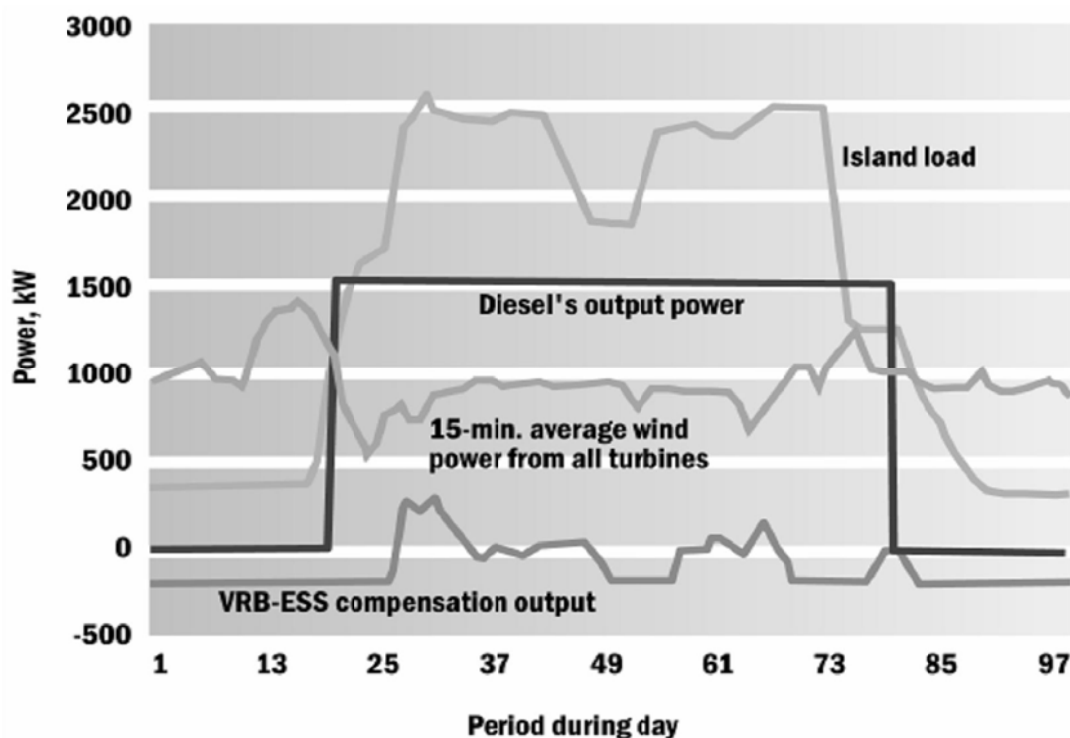
Σύστημα ελέγχου:

- Allen Bradley Programmable Logic Controller based system
- Custom programming για τον έλεγχο των ανεμογεννητριών, των ντιζελογεννητριών, του συστήματος αποθήκευσης και του συστήματος ωμικού φορτίου
- εξασφαλίζει μεγιστοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας από Α.Π.Ε.

2.4.3. Λειτουργική Εμπειρία

Η διείσδυση αιολικής ενέργειας μετά το 1998 και πριν το 2003 έφτασε το 13% και αυτό είχε ως αποτέλεσμα 16% λιγότερη ετήσια κατανάλωση καυσίμου, κάτι που μεταφράζεται σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 590 λίτρα ετησίως. Είναι, δηλαδή, προφανές ότι η λειτουργία του αιολικού πάρκου είχε ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση στην ετήσια κατανάλωση καυσίμου και συνεπώς μείωση των λειτουργικών εξόδων του σταθμού. Επιπλέον, κατά το έτος 1999 μετρήθηκε ότι οι ολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ελαττώθηκαν κατά 2.000 τόνους ετησίως.

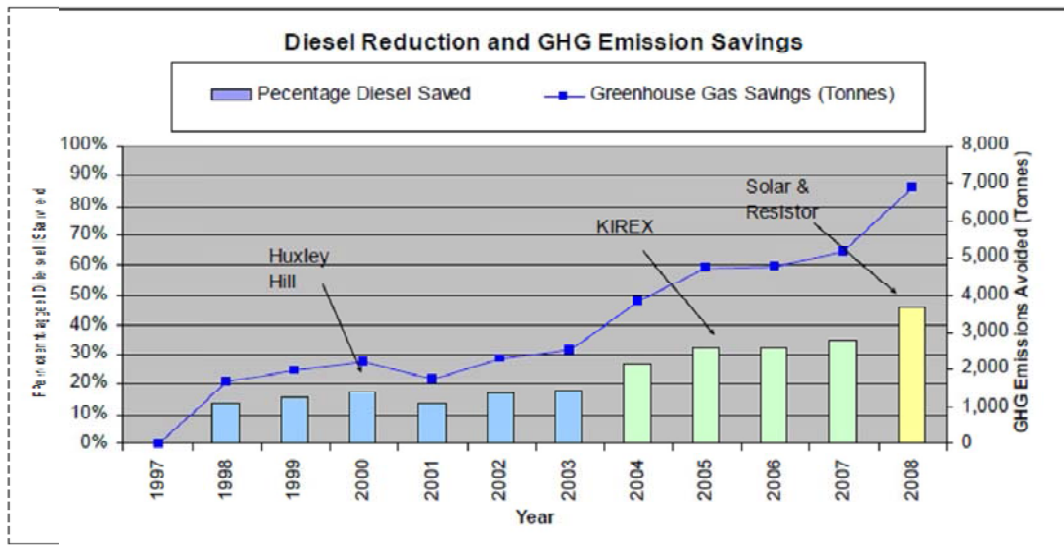
Μετά το 2003 με την επέκταση του αιολικού πάρκου και την ενσωμάτωση του συστήματος VRB, παρατηρήθηκε φυσικά αύξηση της μέσης διείσδυσης Α.Π.Ε., η οποία το 2005 έφτασε το 33%. Επιπλέον, το σύστημα αποθήκευσης εξομάλυνε την τάση εξόδου του αιολικού πάρκου αποθηκεύοντας την περίσσεια ενέργειας και παρέχοντάς την στο σύστημα όταν αυτή χρειαζόταν. Κατ' αυτόν τον τρόπο, παρέχεται εγγυημένη ισχύς που προέρχεται από αιολική παραγωγή. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε την κατάσταση λειτουργίας του σχήματος 2.2, κατά την οποία το φορτίο εξυπηρετείται από μία ντιζελογεννήτρια και την αιολική παραγωγή. Όταν παρατηρηθεί μείωση της αιολικής ισχύος, αντί να ξεκινήσει η δεύτερη ντιζελογεννήτρια δίνεται σήμα στη μονάδα αποθήκευσης να παρέχει στο σύστημα την υπολειπόμενη ενέργεια.



Σχήμα 2.2 : Ένα παράδειγμα της λειτουργίας του συστήματος αποθήκευσης VRB.

Ο αντιστροφέας του συστήματος αποθήκευσης έχει δυνατότητα ρύθμισης τάσης και συχνότητας και επιτρέπει τη βέλτιστη λειτουργία του υβριδικού συστήματος.

Το σύστημα ελέγχου που εγκαταστάθηκε το 2008 περιλαμβάνει ένα ωμικό φορτίο μεγάλης τιμής το οποίο μπορεί να μεταβάλλεται γρήγορα ώστε να απορροφά την περίσσεια αιολικής ισχύος, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα απορριπτόταν επιβραδύνοντας τις ανεμογεννήτριες. Έτσι, δε μειώνεται η παραγωγή των ανεμογεννητριών και η περίσσεια ισχύος μετατρέπεται στην ουσία σε στρεφόμενη εφεδρεία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά προς τη συμβατική παραγωγή. Με αυτόν τον τρόπο, το ωμικό φορτίο διατηρεί ισορροπία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης και συμβάλει στη διατήρηση σταθερής συχνότητας στο μικροδίκτυο. Ακόμα, το σύστημα ελέγχου θα επιτρέπει τη φόρτιση των ντιζελογεννητριών στο τεχνικό τους ελάχιστο όποτε το φορτίο του νησιού είναι μικρότερο από το συνδυασμό αιολικής και ηλιακής παραγωγής, συμβάλλοντας στην περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Το σχήμα 2.3 δείχνει πως τα έργα Α.Π.Ε. επηρέασαν την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές σε όλη την πορεία της λειτουργίας του υβριδικού σταθμού. Εκτιμάται ότι η λειτουργία του συστήματος ελέγχου θα αυξήσει τη διείσδυση Α.Π.Ε. σε ποσοστό 45% .



Σχήμα 2.3 : Εξέλιξη της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στα χρόνια της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος στο νησί King Island.

Μελλοντικά σχεδιάζεται η επέκταση του υβριδικού σταθμού με την εγκατάσταση νέων ανεμογεννητριών, carbon block energy storage, χρήση βιοντίζελ, αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων, ενώ έχει δημοσιευτεί και εργασία που εξετάζει τη δυνατότητα εγκατάστασης συστήματος αποθήκευσης με υδρογόνο.

2.5. Κοινότητα Wales, Alaska

2.5.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία

Η κοινότητα Wales των 160 κατοίκων περίπου βρίσκεται στο δυτικότερο άκρο της χερσονήσου Seward στην Αλάσκα, περίπου 180 μίλια νοτιοδυτικά από το Kotzebue, και βρέχεται από το Βερίγγειο Πορθμό. Το μέσο ηλεκτρικό φορτίο της κοινότητας είναι περίπου 70 kW, το φορτίο αιχμής περίπου 140 kW, ενώ επιπλέον υπάρχουν σημαντικά θερμικά φορτία για θέρμανση κτιρίων και νερού.

2.5.2. Περιγραφή συστήματος

Το 1995 η Αρχή Ενέργειας της Αλάσκα, ο ηλεκτρικός οργανισμός του Kotzebue, ο ηλεκτρικός συνεταιρισμός των κοινοτήτων της Αλάσκα και το Εθνικό Εργαστήριο Α.Π.Ε. (N.R.E.L.) συνεργάστηκαν με σκοπό τη δημιουργία ενός υβριδικού συστήματος που συνδυάζει ντιζελογεννήτριες και ανεμογεννήτριες στην κοινότητα. Διάφορα εμπόδια



αντιμετωπίστηκαν κατά τα έτη 1996 – 1999 καθυστερώντας την εγκατάσταση του συστήματος αρκετά χρόνια.

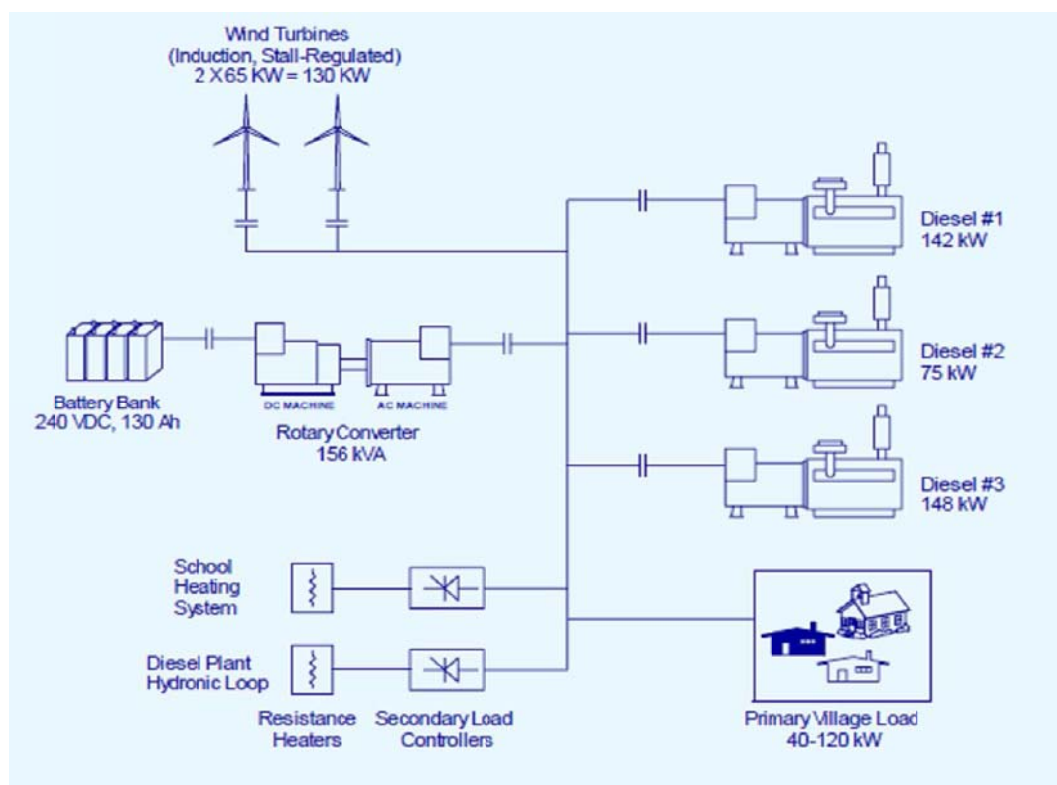
Η δοκιμαστική λειτουργία του συστήματος ελέγχου ολοκληρώθηκε την άνοιξη του 2000 στο Εθνικό Κέντρο Αιολικής Τεχνολογίας (N.W.T.C.) του N.R.E.L. Οι ανεμογεννήτριες, οι πίνακες ελέγχου και ο βοηθητικός εξοπλισμός εγκαταστάθηκαν το καλοκαίρι του 2000. Το υβριδικό σύστημα ξεκίνησε τη μερική λειτουργία του τον Οκτώβριο του 2000, ωστόσο η επιτυχής επίδειξη όλων των καταστάσεων λειτουργίας πραγματοποιήθηκε το φθινόπωρο του 2001.

Το υβριδικό σύστημα (σχήμα 2.4), που ξεκίνησε πλήρως τη λειτουργία του το Μάρτιο του 2002, συνδυάζει συμβατική παραγωγή, ανεμογεννήτριες, αποθήκευση ενέργειας, μετατροπείς ισχύος καθώς και διάφορες διατάξεις ελέγχου. Ο βασικός στόχος του συστήματος ήταν η ικανοποίηση της ζήτησης της κοινότητας διατηρώντας υψηλή ποιότητα ισχύος και παράλληλα η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου και του χρόνου λειτουργίας των μονάδων diesel. Επιπλέον, το σύστημα διοχετεύει την περίσσεια αιολικής ισχύος σε διάφορα θερμικά φορτία της κοινότητας εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο καύσιμα θέρμανσης.

Οι ανεμογεννήτριες AOC 15/50 έχουν ύψος πλήμνης 25 m, διάμετρο πτερυγίων 15 m, ονομαστική ισχύ 50 kW για ονομαστική ταχύτητα ανέμου 11,3 m/sec και peak continuous ισχύ 65 kW. Η χωρητικότητα των μπαταριών επαρκεί για να καλύψει τα δύο τρίτα του μέσου φορτίου του συστήματος για περίπου δεκαπέντε λεπτά. Η καρδιά του συστήματος ελέγχου είναι τέσσερα PLC. Η λογική ελέγχου υπαγορεύει ότι εάν κάποιο στοιχείο του εξοπλισμού δεν λειτουργεί σωστά, τότε το σύστημα θα μεταβεί σε κατάσταση λειτουργίας που εξασφαλίζει την πιο αποδοτική λειτουργία. Για παράδειγμα, εάν ο περιστροφικός μετατροπέας ή οι μπαταρίες υποστούν βλάβη, τότε το σύστημα θα λειτουργεί ως υβριδικό σύστημα χωρίς αποθήκευση.

Ο περιστροφικός μετατροπέας είναι ένας ηλεκτρομηχανικός μετατροπέας ισχύος AC/DC διπλής κατεύθυνσης. Αποτελείται από μία σύγχρονη γεννήτρια συνδεδεμένη στον άξονα μίας μηχανής συνεχούς ρεύματος. Όταν λειτουργεί, η σύγχρονη μηχανή συνδέεται στον AC ζυγό του συστήματος, ενώ η μηχανή συνεχούς ρεύματος συνδέεται στην έξοδο των μπαταριών.

Ελέγχοντας το ρεύμα πεδίου στις μηχανές μπορεί να ελέγχεται τόσο η ενεργός όσο και η άεργος ισχύς που διακινείται μεταξύ του περιστροφικού μετατροπέα και του AC ζυγού. Όταν τουλάχιστον μία ντιζελογεννήτρια είναι συνδεδεμένη, αυτή αναλαμβάνει τον έλεγχο της τάσης και της συχνότητας, αλλά όταν όλες οι ντιζελογεννήτριες είναι σβηστές ο έλεγχος γίνεται από τον περιστροφικό μετατροπέα. Η AC μηχανή μπορεί να λειτουργεί και ενώ η DC μηχανή είναι αποσυνδεδεμένη, οπότε σε αυτήν την περίπτωση ο περιστροφικός μετατροπέας λειτουργεί ως σύγχρονος πυκνωτής.



Σχήμα 2.4 : Διάγραμμα του υβριδικού συστήματος στο Wales

Στοιχείο	Τιμή	Κατασκευαστής και Μοντέλο
2 Ανεμογεννήτριες	65 kW (peak continuous)	Atlantic Orient Corp. 15/50
2 Ντηζελογεννήτριες	168 kW	Cummins LTA10
1 Ντηζελογεννήτρια	75 kW	Allis-Chalmers 3500
1 Ελεγκτής Τοπικού Ελεγχόμενου Φορτίου Σχεδιασμένος από το NREL	89 kW AC	Σχεδιασμένος από το NREL
1 Ελεγκτής Απομακρυσμένου Ελεγχόμενου Φορτίου DC Μηχανή: Reliance Electric	144 kW 1.2 VDC	Σχεδιασμένος από το NREL
1 Περιστροφικός Μετατροπέας	156 kVA	Σχεδιασμένος από το NREL AC Μηχανή: Reliance Electric
1 Σύστημα Αποθήκευσης με Μπαταρίες	1.2 VDC 130 Ah 31.2 kWh	SAFT SPH130, Νικελίου – Καδμίου 200 κελιά
1 Βοηθητικός Φορτιστής Μπαταριών 31.2 kWh	300 VDC 30 A	Σχεδιασμένος από το NREL

Πίνακας 2.3 : Τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος στο Wales



2.5.3. Λειτουργική εμπειρία

Δυστυχώς, υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα από τη συμπεριφορά του συστήματος σε όλες τις δυνατές καταστάσεις λειτουργίας. Ωστόσο, τον Αύγουστο του 2002 πραγματοποιήθηκε μία περίοδος δοκιμών διάρκειας 18 ημερών σύμφωνα με την οποία το σύστημα λειτούργησε με σβηστές τις ντιζελογεννήτριες για το 20% του χρόνου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν αναλογιστεί κανείς ότι ο Αύγουστος είναι ένας από τους μήνες με τη μικρότερη μέση ταχύτητα ανέμου στο Wales. Κατά τη διάρκεια της περιόδου δοκιμών οι ανεμογεννήτριες κάλυψαν το 41% της ζήτησης, ενώ το υπόλοιπο φορτίο καλύφθηκε από τη συμβατική παραγωγή. Παράλληλα, οι ανεμογεννήτριες παρείχαν 10.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας στα θερμικά φορτία του συστήματος εξοικονομώντας κατ' εκτίμηση 450 λίτρα καυσίμου θέρμανσης. Τα αποτελέσματα από την περίοδο δοκιμών διαφέρουν αρκετά από τα αποτελέσματα των αρχικών προσομοιώσεων. Σύμφωνα με τα τελευταία, η μέση διείσδυση της αιολικής ισχύος θα ήταν περίπου 70%, η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου θα ήταν 45% και ο χρόνος λειτουργίας των μονάδων diesel θα μειωνόταν κατά 25%. Επιπλέον, στο διάστημα δοκιμών, ο συντελεστής χρησιμοποίησης των δύο ανεμογεννητριών ήταν 0,382 και 0,377.

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του υβριδικού συστήματος στο Wales είναι ότι, σε αντίθεση με άλλα, αναπτύχθηκε σαν μία μετασκευή του ήδη υπάρχοντος συστήματος ντιζελογεννητριών, γεγονός που έθεσε πολλές κατασκευαστικές προκλήσεις. Επιπρόσθετα, από την έναρξη της λειτουργίας του σημειώθηκαν πολλά προβλήματα, κάποια από αυτά τεχνικά και άλλα λειτουργικά. Η πολυπλοκότητα του συστήματος επέφερε πολυάριθμες και σε μερικές περιπτώσεις μεγάλης διάρκειας διακοπές παροχής αιολικής ισχύος. Αυτές οι διακοπές οφείλονται κυρίως στο μεγάλο χρόνο εντοπισμού και επιδιόρθωσης των τυχόν βλαβών, ακόμα και αν είναι μικρής έκτασης όπως σε μία βαθμίδα του ελεγκτή ή σε έναν ηλεκτρονόμο. Το δεύτερο σημαντικότερο πρόβλημα είναι η απροθυμία του διαχειριστή του συστήματος να επιτρέψει στο σύστημα να λειτουργήσει σε κατάσταση υψηλής διείσδυσης Α.Π.Ε. κυρίως λόγω μίας παραταθείσας στιγμής χαμηλής ποιότητας ισχύος. Το γεγονός αυτό πέραν του ότι μειώνει τη μέση διείσδυση Α.Π.Ε. του συστήματος, αποτελεί αρνητική ανάδραση για τους κατοίκους γειτονικών κοινοτήτων.

Συμπερασματικά, παρόλο που το πρόγραμμα εξελίχθηκε σε μία λειτουργική απογοήτευση και παρά την περιορισμένη λειτουργική εμπειρία εξαιτίας περιορισμών κεφαλαίου, το συγκεκριμένο υβριδικό σύστημα αποτέλεσε μία καλή πηγή απόκτησης εμπειρίας.



2.6. Νησί Samsø



Εικόνα 2.3: Νησί Samsø

2.6.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία

Το νησί Samsø βρίσκεται στον κόλπο Kattegat στη Βόρεια Θάλασσα, δεκαπέντε χιλιόμετρα από τη χερσόνησο της Γιουτλάνδης και ανήκει στη Δανία. Ο πληθυσμός του νησιού το έτος 2009 ανέρχεται σε 4.300 κατοίκους περίπου, η έκταση του είναι 114 km², ενώ ετήσια κατανάλωση ενέργειας το 1997 ανερχόταν σε 29.000 MWh.

2.6.2 Περιγραφή συστήματος – Λειτουργική εμπειρία

Το 1997 το Samsø κέρδισε το διαγωνισμό του Υπουργείου Ενέργειας της Δανίας για τη δημιουργία ενός ενεργειακά αυτόνομου και «πράσινου» νησιού. Ο στόχος του προγράμματος ήταν να επιτευχθεί κάλυψη του 100% των ενεργειακών αναγκών του νησιού από Α.Π.Ε. μέσα σε μία δεκαετία, γεγονός που αποτελεί παγκόσμια καινοτομία καθώς δεν έχει προηγηθεί ανάλογο έργο στο παρελθόν. Για την επίτευξη αυτού του φιλόδοξου στόχου οι ενέργειες που έπρεπε να γίνουν δεν αφορούσαν μόνο τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά γενικότερα το ενεργειακό προφίλ του νησιού.

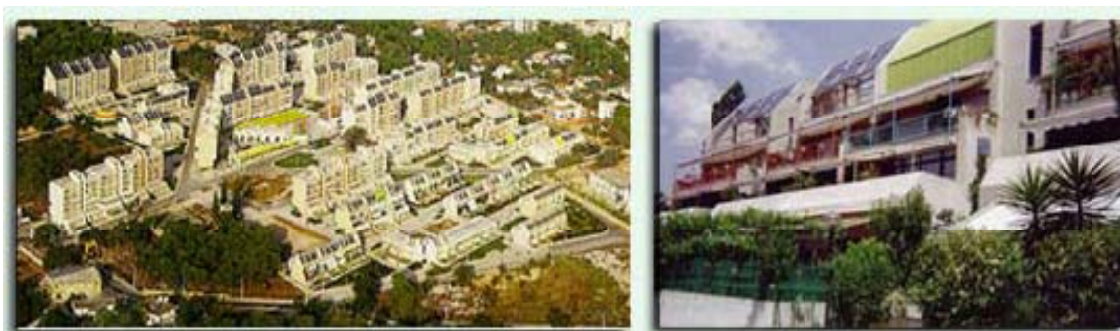
Εξοικονόμηση ενέργειας και αύξηση του βαθμού απόδοσης στο ηλεκτρικό σύστημα, το σύστημα θέρμανσης και τον τομέα των μεταφορών, επέκταση του δικτύου τηλεθέρμανσης (district heating) σε συνδυασμό με τη χρησιμοποίηση των τοπικών αποθεμάτων βιομάζας, επέκταση των αυτόνομων συστημάτων θέρμανσης με χρήση αντλιών θερμότητας, ηλιακών συλλεκτών, εγκαταστάσεων βιομάζας και κατασκευή onshore και offshore αιολικών πάρκων ήταν κάποιες από τις ενέργειες που έπρεπε να γίνουν.



Το Samsø είναι διασυνδεδεμένο με τη χερσόνησο της Γιουτλάνδης μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου, ενώ υπεύθυνη για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί είναι η εταιρία NRGi. Για να εξασφαλίζεται η ενεργειακή αυτονομία του νησιού ήταν απαραίτητη εγκατεστημένη ισχύς αιολικών μεγέθους 11 MW. Οι έντεκα Α/Γ ισχύος 1 MW έκαστη τοποθετήθηκαν σε τρεις ομάδες και το ύψος της πλήμνης τους είναι 77 μέτρα. Ο μόνος κατασκευαστής που παρήγαγε ανεμογεννήτριες αυτής της ισχύος και με τέτοιο ύψος πλήμνης ήταν η εταιρία Bonus. Η πρώτη ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε το 2000, ενώ το συνολικό κόστος επένδυσης ανήλθε σε 8,8 εκατομμύρια ευρώ. Επιπλέον, για την αποζημίωση των εκπομπών CO₂ του τομέα των μεταφορών εγκαταστάθηκαν δέκα offshore Α/Γ ισχύος 2,3 MW έκαστη στα νότια του νησιού με συνολικό κόστος επένδυσης 33,3 εκατομμύρια ευρώ. Συνολικά, το πρόγραμμα μετατροπής του Samsø σε πράσινο νησί πρέπει να θεωρηθεί σχεδόν απόλυτα επιτυχές, καθώς ικανοποίησε τους περισσότερους από τους στόχους που είχαν τεθεί. Ο πρωταρχικός στόχος της 100% ενεργειακής αυτονομίας με τη χρήση Α.Π.Ε. επιτεύχθηκε σε οχτώ χρόνια, δηλαδή δύο χρόνια νωρίτερα από τον προγραμματισμένο. Επίτευγμα επίσης αποτελεί η κατασκευή τριών νέων εγκαταστάσεων district heating καθώς και δέκα offshore και έντεκα onshore ανεμογεννητριών. Αντίθετα, στον τομέα των μεταφορών και στο στόχο για αλλαγές στις καταναλωτική συμπεριφορά της τοπικής κοινωνίας, το πρόγραμμα σημείωσε λιγότερη επιτυχία.

2.7. Ηλιακό χωριό στην Πεύκη

Το ηλιακό χωριό βρίσκεται στην Πεύκη Αττικής, στα Βόρεια Προάστια της Αθήνας, σε απόσταση 18 km από το κέντρο της πόλης. Πρόκειται για ένα οικιστικό συγκρότημα 435 “ηλιακών” κατοικιών οι οποίες στεγάζουν δικαιούχους του Οργανισμού Εργατικής Κατοικίας (Ο.Ε.Κ.). Ο σχεδιασμός και η ανέγερση του ηλιακού χωριού έγιναν με τη συνεργασία του ΥΒΕΤ (σημερινού Υπουργείου Ανάπτυξης), του Οργανισμού Εργατικής Κατοικίας (ΟΕΚ) και του Υπουργείου Έρευνας και Τεχνολογίας της Ομοσπονδιακής Γερμανίας. Το έργο κατασκευάστηκε το 1984.



Εικόνα 2.4: Ηλιακό χωριό στην Πεύκη

Στο έργο υλοποιήθηκε η πειραματική εφαρμογή ενεργητικών και παθητικών ηλιακών συστημάτων προηγμένης τεχνολογίας για παροχή θέρμανσης και ζεστού νερού για οικιακή



χρήση, με κύριο σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Εκτός από τη μεγάλη ποικιλία ηλιακών συστημάτων, ο οικισμός σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με υψηλές προδιαγραφές εξοικονόμησης ενέργειας (μονώσεις πάχους 10 cm, διπλά τζάμια, νυχτερινές μονώσεις, νότιες μεγάλες γυάλινες προσόψεις, κ.ά.). Ο ενεργειακός σχεδιασμός των παθητικών συστημάτων (εξωτερικά κελύφη κτιρίων) και των ενεργητικών συστημάτων (συστήματα παραγωγής ζεστού νερού οικιακής χρήσης) του ηλιακού χωριού στηρίζεται στη μελέτη και αξιοποίηση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής.

2.7.1. Παθητικά συστήματα

Οι βασικοί κανόνες που εφαρμόστηκαν στον πολεοδομικό και αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων του Ηλιακού Χωριού είναι:

1. Κατάλληλη διάταξη των κτιριακών όγκων, που λειτουργούν σαν φράγμα προστασίας από τους χειμερινούς ανέμους και που να εξασφαλίζουν το μέγιστο χειμερινό ηλιασμό, αλλά και το θερινό σκιασμό.
2. Ελαχιστοποίηση των βορινών, ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων και χρήση νότιων ανοιγμάτων.
3. Εκμετάλλευση της μάζας των υλικών του κελύφους των κτιρίων και ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών με μονώσεις των τοίχων και των ορόφων και με διπλά υαλοστάσια.

Σε 34 σπίτια του Ηλιακού Χωριού εφαρμόστηκαν συνδυασμοί των επικρατέστερων παθητικών ηλιακών συστημάτων, που «αιχμαλωτίζουν» τον ήλιο χωρίς καμιά κατανάλωση συμβατικής ενέργειας.

Οι κύριοι συνδυασμοί παθητικών ηλιακών συστημάτων που εφαρμόστηκαν είναι:

- άμεσης απολαβής (πάγκος νερού)
- έμμεσης απολαβής (τοίχοι Trombe, τοίχοι νερού)
- εκτεταμένης έμμεσης απολαβής (θερμοκήπιο, τοίχοι trombe ή αποθήκευση νερού)
- απομονωμένης απολαβής (θερμοσιφωνικά πανέλλα αέρα)
- εκτεταμένης απομονωμένης απολαβής (θερμοκήπιο, συλλέκτες φυσικής κυκλοφορίας).



2.7.2. Ενεργητικά συστήματα

Στο ηλιακό χωριό έχουν εγκατασταθεί 6 βασικοί τύποι ενεργειακών συστημάτων. Η θέρμανση χώρων και η παροχή ζεστού νερού οικιακής χρήσης γίνεται από 17 συνολικά διαφορετικούς συνδυασμούς αντλιών θερμότητας και ηλιακών συλλεκτών. Η εξοικονόμηση ενέργειας υπολογίζεται μεταξύ 45-90% ανάλογα με το σύστημα.

2.7.3. Αποτελέσματα - Αξιολόγηση

Μετά το πέρας της κατασκευής και για ένα διάστημα λειτουργίας έγιναν συστηματικές μετρήσεις στα κτίρια, με στόχο τη διαπίστωση της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων και εν γένει, των κτιρίων. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέκυψαν συμπεράσματα όχι μόνο για την απόδοση των συστημάτων, αλλά και για τη συμπεριφορά των χρηστών και την επίδρασή τους σ' αυτά, καθώς η ενεργός συμμετοχή του ενήμερου χρήστη παίζει καθοριστικό ρόλο στη σωστή λειτουργία των συστημάτων αλλά και στο σύνολο του οικισμού.

Η επιστημονική ομάδα του Εργαστηρίου Οικοδομικής του Α.Π.Θ., η οποία έκανε τις μετρήσεις και επί τόπου παρατηρήσεις, διαπίστωσε την εν γένει, κακή ενεργειακή συμπεριφορά χρηστών. Ακολουθούν ορισμένα μόνο χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της συμπεριφοράς:

- Μια ψυχρή θερινή ημέρα με πλήρη ηλιοφάνεια, οι μισές τέντες ηλιοπροστασίας των κτιρίων είναι κατεβασμένες, ενώ ρούχα απλωμένα ή κουρτίνες κλειστές καλύπτουν τις νότιες προσόψεις μην αφήνοντας τον ήλιο να μπει και να θερμάνει τα διαμερίσματα.
- Έπιπλα τοποθετημένα στους νότιους τοίχους “κλείνουν” και απομονώνουν τους τοίχους θερμικής αποθήκευσης που υπάρχουν σε ορισμένα κτίρια.
- Ορισμένα από τα τζάμια τις ψυχρές μέρες του χειμώνα μένουν ανοιχτά για αερισμό ολόκληρο το πρωινό, ενώ για το σκοπό αυτό θα αρκούσε μόνο μισή ώρα.

Από τις μετρήσεις, προκύπτουν συνοπτικά τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Τα διαμερίσματα με παθητικά ηλιακά συστήματα εν γένει συμπεριφέρονται καλύτερα από τα συμβατικά, αν και έχουν περισσότερες εκτεθειμένες επιφάνειες.
- Η σπουδαιότερη παράμετρος που επηρεάζει την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων είναι η ενεργειακή συμπεριφορά των κατοίκων. Παράδειγμα αποτελεί η αλλαγή χρήσης του χώρου του θερμοκηπίου σε χώρο μόνιμης παραμονής, η οποία ουσιαστικά μηδένισε την απόδοση του τοίχου νερού που είναι μεταξύ θερμοκηπίου και εσωτερικού χώρου, ή ακόμη ο εκτεταμένος αερισμός των χώρων καθώς και το κατέβασμα της τέντας στις νότιες όψεις των διαμερισμάτων την περίοδο θέρμανσης.



Η επίδραση της συμπεριφοράς του χρήστη φαίνεται χαρακτηριστικά από τα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται σε πέντε διαμερίσματα του ηλιακού χωριού τα οποία μετρήθηκαν και τα οποία είναι ιδιαίτερα ανόμοια μεταξύ τους. Από την ενεργειακή ανάλυση 6 κτιρίων του οικισμού, προέκυψε ότι η ενεργειακή συμπεριφορά των ενοίκων, κατά τη φάση λειτουργίας των κτιρίων είναι δυνατόν να ανατρέπει κάθε πρόβλεψη ως προς τη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων. Ειδικότερα, από την ενεργειακή μελέτη προέκυψε ότι σε δύο διαμερίσματα η ενεργειακή κατανάλωση που προκύπτει από τις πραγματικές συνθήκες χρήσης είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή σε ιδανικές συνθήκες χρήσης (εάν υπήρχε επαρκής ηλιασμός των κτιρίων, εάν ήταν σωστά ρυθμισμένος ο θερμοστάτης και εάν δεν γινόταν υπερβολικός αερισμός), σε ένα κτίριο η κατανάλωση ενέργειας είναι στα ίδια επίπεδα, ενώ σε δύο είναι χαμηλότερη, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι χρήστες πιθανώς να μην απολαμβάνουν πλήρεις συνθήκες άνεσης. Συνεπώς, αποδεικνύεται ότι αδράνεια ή λανθασμένη, από μέρους των ενοίκων, ενεργειακή συμπεριφορά οδηγεί είτε σε αυξημένη κατανάλωση είτε σε έλλειψη θερμικής άνεσης.

Σημειώνεται ότι, τόσο η εσωτερική θερμοκρασία των χώρων, όσο και ο αερισμός τους θεωρούνται από τις πιο βασικές παραμέτρους, που καθορίζονται από την ενεργειακή συμπεριφορά των ενοίκων. Η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω αυξημένης εσωτερικής θερμοκρασίας από τους ενοίκους καθώς και λόγω αλόγιστου αερισμού των χώρων, οδηγεί, εκτός από τη χωρίς λόγο συνεχή αύξηση των δαπανών για θέρμανση και στη μη αποδοτικότητα όλων των πρόσθετων επενδύσεων για εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων ή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Παρουσίαση χαρακτηριστικών μεγεθών για την νήσο χρυσή

3.1. Περιγραφή την νήσου Χρυσής

Η νήσος Χρυσή είναι ένα μικρό νησί που βρίσκεται στο Λιβυκό πέλαγος, 8 ναυτικά μίλια νότια της Ιεράπετρας. Πιο γνωστό είναι με το όνομα Γαϊδουρονήσι, αν και οι κάτοικοι της Ιεράπετρας το αποκαλούν απλά «Νησί», καθώς η σχέση τους μαζί του είναι ιδιαίτερη.



Εικόνα 3.1: Χάρτης της Κρήτης με την νήσο Χρυσή Νότιο-Δυτικά της πόλης Ιεράπετρας.



Εικόνα 3.2: Η θέση της νήσου χρυσής Νότιο-Δυτικά της πόλης Ιεράπετρας.



Η νήσος Χρυσή είναι μία νησίδα στα νότια παράλια του νομού Λασιθίου στο Λιβυκό πέλαγος και ανήκει στον Δήμο Ιεράπετρας. Έχει μέγιστο μήκος 5 χλμ και μέσο πλάτος 1 χλμ. Το ψηλότερο μέρος είναι η κορυφή Κεφάλια στα 31 μέτρα. Είναι σχεδόν επίπεδο με κύριο χαρακτηριστικό του την πληθώρα των κοχυλιών στη βόρεια παραλία (Μπελεγκρίνα), τις ξανθές παραλίες, τα γαλαζοπράσινα νερά του και το δάσος κέδρων. Στα 700 μέτρα ανατολικά της Χρυσής βρίσκεται το Μικρονήσι, ένα βραχώδες νησάκι συνολικής έκτασης 117 στρεμμάτων. Στο Μικρονήσι φωλιάζουν εκατοντάδες χιλιάδες ζευγάρια γλάρων.



Εικόνα 3.3 : Πανοραμική άποψη της νήσου Χρυσής

Το δάσος κέδρων που υπάρχει στο νησί έχει έκταση 350 στρέμματα με μέσο όρο 14 δέντρα ανά στρέμμα ηλικίας 200 ετών. Στο δυτικό μέρος του νησιού βρίσκεται το εκκλησάκι του Αγίου Νικολάου (πιθανότατα χτισμένο τον 13^ο αιώνα), η παλιά αλυκή που ακόμα μαζεύει αλάτι, οι λαξευτοί τάφοι της Ρωμαϊκής περιόδου, τον αρχαίο λιμενοβραχίονα και το φάρο.

Παρόλο που η ανθρώπινη παρουσία στο Γαϊδουρονήσι αναφέρεται ότι άρχισε κατά τη Μινωική Περίοδο, φαίνεται ότι το νησί δεν έχει επηρεαστεί απ' αυτήν. Ο Stasiasmus αναφέρει ότι η Ιεράπετρα έχει ένα νησί με το όνομα Χρυσή, το οποίο έχει νερό και λιμάνι. Ο Buondelmonti (το 1945) αναφέρει ότι η Χρυσή ένα σχεδόν ακαλλιέργητο νησί με σκήνους και κέδρους.

Ο θαλάσσιος πλούτος της Χρυσής είναι υπέροχος. Τα απολιθώματα που έχουν βρεθεί πάνω σε ηφαιστειακά πετρώματα χρονολογούνται από 350.000 έως 70.000 χρόνια, όταν το νησί ήταν ακόμα βυθισμένο στο νερό. Συνολικά έχουν βρεθεί 49 είδη απολιθωμάτων. Μεγάλος αριθμός από αυτά βρίσκονται ακόμα και σήμερα στη θαλάσσια περιοχή γύρω από τη Χρυσή σε μεγάλους πληθυσμούς με αποτέλεσμα τον κατακλυσμό των βόρειων ακτών (Μπελεγκρίνα, Χατζηβόλακα, Καταπρόσωπο) με τεράστιο αριθμό κοχυλιών, που αποτελούν ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του νησιού.



Για όλο αυτό το πανέμορφο και διατηρημένο οικοσύστημα η Χρυσή έχει ενταχθεί στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα προστασίας τοπίων φυσικού κάλλους (NATURA 2000).



Εικόνα 3.4 :Κομμάτι από το δάσος των κέδρων

Από τα μέσα Μαΐου έως τα τέλη Σεπτεμβρίου εκτελούνται καθημερινά δρομολόγια σκαφών από το λιμάνι της Ιεράπετρας στις 10:30. Μετά από ταξίδι μίας ώρας περίπου γίνεται η αποβίβαση στο νότιο μέρος του νησιού στη θέση «Βουγιού Μάτι», δίπλα στη δημοτική ταβέρνα. Από το χώρο της αποβίβασης υπάρχει μονοπάτι, που οδηγεί τον επισκέπτη στο βόρειο τμήμα του νησιού, στον όρμο της Μπελεγρίνας.

Ο επισκέπτης σε διάστημα περίπου έξι ωρών έχει το χρόνο να περιπλανηθεί στις απέραντες παραλίες, να απολαύσει τα γαλαζοπράσινα νερά, να επισκεφτεί το εκκλησάκι του Αγίου Νικολάου, και να αφήσει αυτό το μοναδικό οικοσύστημα να του κλέψει την καρδιά και να τον κάνει να ονειροπολήσει.



Εικόνα 3.5: Χάρτης νησιού



3.2. Προσδιορισμός φορτίων

Το σύστημα που θα διαστασιολογηθεί θα πρέπει να καλύψει την ενεργειακές απαιτήσεις του νησιού για όλη την διάρκεια του έτους. Στο νησί υπάρχουν τρία κτίρια με διαφορετικές απαιτήσεις ενέργειας και διάρκεια λειτουργίας.

- Δημοτική ταβέρνα
- Φυλάκιο
- Αλιευτικό καταφύγιο

Η Δημοτική ταβέρνα καθώς και το αλιευτικό καταφύγιο βρίσκονται στο νότιο-ανατολικό τμήμα του νησιού στην θέση "Βλιχάδια" καθώς εκεί υπάρχει ο μόλος πρόσδεσης των πλοίων της γραμμής που μεταφέρουν καθημερινά τους τουρίστες και των αλιευτικών καϊκιών των επαγγελματιών ψαράδων. Το Φυλάκιο βρίσκεται στο ανατολικό άκρο του νησιού πάνω στο μοναδικό ύψωμα του νησιού με το όνομα "Κεφάλια" και υψόμετρο 30 μέτρα. Η απόσταση του Φυλακίου από την Ταβέρνα και το καταφύγιο είναι 1200 μέτρα. Παρακάτω σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί η επιλογή της θέσης όπου θα εγκατασταθεί το υβριδικό σύστημα έτσι ώστε να έχουμε της μικρότερες απώλειες ενέργειας λόγω της μεταφοράς της μέσω των καλωδίων σε μεγάλες αποστάσεις αλλά και το μικρότερο δυνατό συνολικό κόστος του συστήματος σε σχέση με το ψήλο κόστος των καλωδίων. Επίσης επειδή είναι από κάθε άποψη αντικοινομικό να επιδιώκεται η χρήση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος για την τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη θερμική κατανάλωση (ηλεκτρικές κουζίνες, αερόθερμα, ηλεκτρικά καλοριφέρ, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες κ.λπ). Οι ανάγκες αυτές του νησιού θα καλυφτούν με κουζίνες υγραερίου, θερμάστρες υγραερίου η πετρελαίου κ.τ.λ.



Εικόνα 3.6: Θέση κτιρίων στο νησί



3.2.1. Προσδιορισμός φορτίων δημοτικής ταβέρνας

Η λειτουργία της δημοτικής ταβέρνας είναι εποχιακή . Λειτουργεί από τα μέσα της άνοιξης έως τα τέλη του φθινοπώρου και εξυπηρετεί τους επισκέπτες και τους τουρίστες που καταφθάνουν καθημερινά στο νησί. Τα συστατικά της απαιτούμενης ισχύος της ταβέρνας περιγράφονται παρακάτω στον πίνακα 3.1.

Φορτία	Ισχύς (kW)	Ποσότητα	Συνολική ισχύς φορτίου (kW)	Μέγιστη ώρα κατανάλωσης ανά ημέρα (h)
Ψυγείο τύπου ντουλάπας	1,35	1,00	1,35	24
Ψυγείο τύπου πάγκος	0,80	1,00	0,80	24
Ψυγείο αναψυκτικών	0,55	1,00	0,55	24
Καταψύκτης τύπου μπαούλο	0,35	2,00	0,70	24
Καταψύκτης τύπου ντουλάπας	0,42	1,00	0,42	24
Βιτρίνα ψύξης	1,40	1,00	1,40	8
Βιτρίνα θέρμανσης	2,40	1,00	2,40	8
Πλυντήριο πιάτων	2,61	1,00	2,61	2
Πλυντήριο ρούχων	1,50	1,00	1,50	1
Καφετιέρα	4,00	1,00	4,00	3
Φραπεδιέρα	0,14	1,00	0,14	3
Τηλεοράσεις	0,15	2,00	0,30	5
Παγομηχανή	0,60	1,00	0,60	12
Τοστιέρα	2,80	1,00	2,80	3
Αντλίες	9,00	1,00	9,00	3
Ανεμιστήρες	0,19	5,00	0,94	9
Αποχυωτής	0,25	1,00	0,25	1
Ζαμπονομηχανή	0,21	1,00	0,21	1
Πιεστικό νερού	1,10	1,00	1,10	4
Φώτα	0,03	25,00	0,63	5

Πίνακας 3.1: Συστατικά κατανάλωσης ισχύος της δημοτικής ταβέρνας



3.2.2. Προσδιορισμός φορτίων φυλακίου και αλιευτικού καταφυγίου

Το φυλάκιο και το αλιευτικό καταφύγιο λειτουργούν για όλο το έτος για να κ υπάρχει μόνιμα προσωπικό της Δασικής υπηρεσίας και έντονη δραστηριότητα απο επαγγελματίες αλιείς. Τα συστατικά της απαιτούμενης ισχύος του φυλακίου και του αλιευτικού καταφυγίου περιγράφονται παρακάτω στον πίνακα 3.2 και 3.3 αντίστοιχα.

Φορτία	Ισχύς (kW)	Ποσότητα	Συνολική ισχύς φορτίου (kW)	Μέγιστη ώρα κατανάλωσης ανά ημέρα (h)
Ψυγείο	0,35	1,00	0,35	24
Φώτα	0,03	3,00	0,08	5
Πλυντήριο ρούχων	1,50	1,00	1,50	1
Ανεμιστήρες	0,04	2,00	0,08	14
Τηλεοράσεις	0,15	1,00	0,15	5

Πίνακας 3.2: Συστατικά κατανάλωσης ισχύος του φυλακίου

Φορτία	Ισχύς (kW)	Ποσότητα	Συνολική ισχύς φορτίου (kW)	Μέγιστη ώρα κατανάλωσης ανά ημέρα (h)
Ασύρματος	0,15	1,00	0,15	24
Ψυγείο	0,35	1,00	0,35	24
Φώτα	0,03	3,00	0,08	5
Προβολής	1,50	1,00	1,50	5
Ανεμιστήρες	0,04	2,00	0,08	14
Πιεστικό	0,50	1,00	0,50	1,5

Πίνακας 3.3: Συστατικά κατανάλωσης ισχύος του αλιευτικού καταφυγίου



3.2. 3. Προσδιορισμός ημερήσιων φορτίων

Δεν υπήρξε καμία καταγεγραμμένη χρονική σειρά απαίτησης ισχύος για την νήσο Χρυσή. Οι χρονικές σειρές έχουν δημιουργηθεί τεχνητά. Η ημερήσια κατανάλωση ισχύος χωρίστηκε σε δυο περιόδους, την θερινή όπου λειτουργούν και τα τρία κτίρια μαζί και την χειμερινή όπου λειτουργούν μόνο το φυλάκιο και το αλιευτικό καταφύγιο. Οι βασικές αρχές του αλγορίθμου προσδιορισμού των ημερησίων απαιτήσεων ισχύος (ανά περίοδο) της νήσου Χρυσή παρουσιάζονται παρακάτω:

3.2.3.1.Θερινή περίοδο λειτουργίας της νήσου

- Οι θερινοί μήνες λειτουργίας είναι οι Απρίλιος, Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος. Κατά την θερινή περίοδο λειτουργούν και τα τρία κτίρια.
- Για κάθε θερινό μήνα λειτουργίας των κτιρίων καθορίζεται ένας εποχιακός συντελεστής κατανάλωσης ισχύος. Αυτός ο συντελεστής προσπαθεί να αντισταθμίσει την εποχιακή μεταβλητότητα της απαιτούμενης ισχύος. Η απαιτούμενη ισχύ τίθεται 0,3 για τον μήνα Απρίλιο , 0,6 για τον μήνα Μάιο 0,9 για τον μήνα Ιούνιο και 1 για τους υπολοίπους θερινούς μήνες (Ιούλιο, Αύγουστο , Σεπτέμβριο).
- Η κατανομή των καταναλώσεων κατά την διάρκεια μίας τυπικής ημέρας, έγινε με βάση το ωράριο επισκεψιμότητας του νησιού από τους τουρίστες και μια εμπειρική άποψη των συνήθειων των μόνιμων κατοίκων του νησιού (εργαζόμενοι στην δημοτική ταβέρνα , δασικοί φύλακες και ψαράδων που διαμένουν στο αλιευτικό καταφύγιο).

Παρακάτω στον πίνακα 3.4, 3.5, 3.6 και σχήμα 3.1 παρουσιάζονται η καταναλώσεις ισχύος μιας τυπικής μέρας κατά τους θερινούς μήνες.

Φυλάκιο				
A/A	Φορτία	Συνολική ισχύς φορτίου (kW)	Μέγιστη ώρα κατανάλωσης ανά ημέρα (h)	Διάρκεια λειτουργίας φορτίου μέσα στην ημέρα
1	Ψυγείο	0,35	24	όλο το 24ωρο
2	Φώτα	0,075	5	20:00 έως 1:00
3	Πλυντήριο ρούχων	1,5	1	19:00 έως 20:00
4	Ανεμιστήρες	0,08	14	8:00 έως 22:00
5	Τηλεοράσεις	0,15	5	20:00 έως 1:00

Πίνακας 3.4: Κατανομή φορτίου Φυλακίου κατά την διάρκεια της ημέρας την θερινή περίοδο

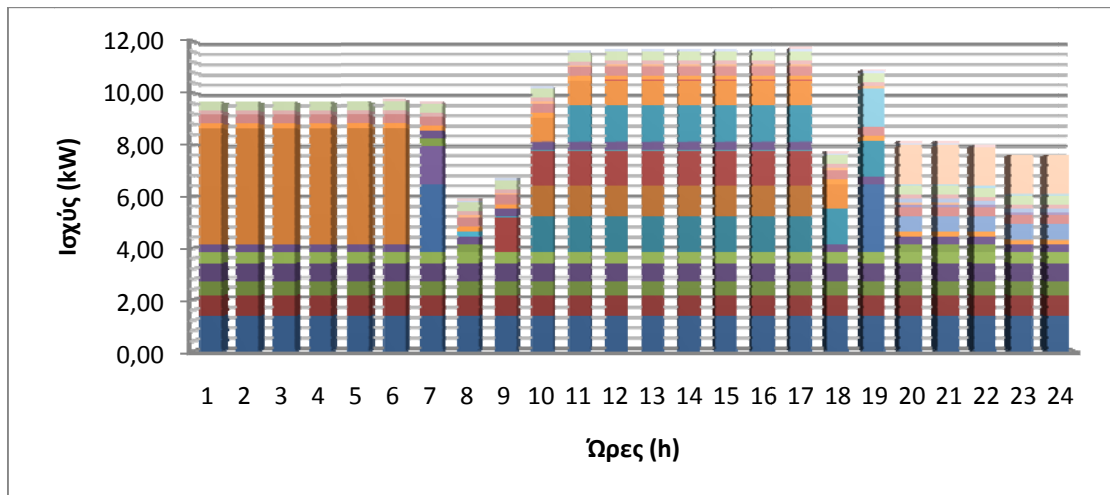


Δημοτική ταβέρνα				
A/A	Φορτία	Συνολική ισχύς φορτίου (kW)	Μέγιστη ώρα κατανάλωσης ανά ημέρα (h)	Διάρκεια λειτουργίας φορτίου μέσα στην ημέρα
1	Ψυγείο τύπου ντουλάπας	1,35	24	όλο το 24ωρο
2	Ψυγείο τύπου πάγκος	0,8	24	όλο το 24ωρο
3	Ψυγείο αναψυκτικών	0,55	24	όλο το 24ωρο
4	Καταψύκτης τύπου μπαούλο	0,7	24	όλο το 24ωρο
5	Καταψύκτης τύπου ντουλάπας	0,42	24	όλο το 24ωρο
6	Βιτρίνα ψύξης	1,4	8	10:00 έως 18:00
7	Βιτρίνα θέρμανσης	2,4	8	10:00 έως 18:00
8	Πλυντήριο πιάτων	2,61	2	7:00 έως 8:00 και 19:00 έως 20:00
9	Πλυντήριο ρούχων	1,5	1	7:00 έως 8:00
10	Καφετιέρα	4	3	9:00 έως 18:00 για 20 λεπτά κάθε ώρα
11	Φραπεδιέρα	0,14	3	9:00 έως 18:00 για 20 λεπτά κάθε ώρα
12	Τηλεοράσεις	0,3	5	7:00 έως 9:00 και 20:00 έως 23:00
13	Παγομηχανή	0,6	12	24 ώρες για 30 λεπτά κάθε ώρα
14	Τοστιέρα	2,8	4,5	11:00 έως 20:00 για 30 λεπτά κάθε ώρα
15	Αντλίες	9	3	1:00 έως 7:00 για 30 λεπτά κάθε ώρα
16	Ανεμιστήρες	0,94	9	10:00 έως 19:00
17	Αποχυωτής	0,25	1	12:00 έως 18:00 για 10 λεπτά κάθε ώρα
18	Ζαμπονομηχανή	0,21	1	8:00 έως 9:00
19	Πιεστικό νερού	1,1	4	24 ώρες για 10 λεπτά κάθε ώρα
20	Φώτα	0,63	5	20:00 έως 1:00

Πίνακας 3.5: Κατανομή φορτίου Δήμοτικής ταβέρνας κατά την διάρκεια της ημέρας την θερινή περίοδο

Αλιευτικό καταφύγιο				
A/A	Φορτία	Συνολική ισχύς φορτίου (kW)	Μέγιστη ώρα κατανάλωσης ανά ημέρα (h)	Διάρκεια λειτουργίας φορτίου μέσα στην ημέρα
1	Ασύρματος	0,15	24	όλο το 24ωρο
2	Ψυγείο	0,35	24	όλο το 24ωρο
3	Φώτα	0,075	5	20:00 έως 1:00
4	Προβολής	1,5	5	20:00 έως 1:00
5	Ανεμιστήρες	0,08	14	8:00 έως 22:00
6	Πιεστικό	0,5	1,5	6:00 έως 9:00 και 17:00 έως 22:00 για 10 λεπτά κάθε ώρα

Πίνακας 3.6: Κατανομή φορτίου Αλιευτικού καταφυγίου κατά την διάρκεια της ημέρας την θερινή περίοδο



Σχήμα 3.1: Τεχνητά παραγομένη ημερήσια κατανάλωση ισχύος στη νήσο Χρυσή για την θερινή περίοδο.

3.2.3.2. Χειμερινή περίοδο λειτουργίας της νήσου

- Οι χειμερινοί μήνες λειτουργίας είναι οι Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος, Οκτώβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος. Κατά την διάρκεια αυτών των μηνών λειτουργούν μόνο το φυλάκιο και το αλιευτικό καταφύγιο.
- Η κατανομή των καταναλώσεων κατά την διάρκεια μίας τυπικής ημέρας, έγινε με βάση μια εμπειρική άποψη των συνήθειων των μόνιμων κατοίκων του νησιού (δασικοί φύλακες και ψαράδων που διαμένουν στο αλιευτικό καταφύγιο).
- Για την χειμερινή περίοδο λειτουργίας έχει λυφθεί υπόψη και η μικρότερη διάρκεια της ημέρας. Φορτία όπως τα φώτα και τηλεοράσεις λειτουργούν περισσότερες ώρες. Ενώ οι ανεμιστήρες δεν λειτουργούν καθόλου.

Παρακάτω στον πίνακα 3.7, 3.8 και σχήμα 3.2 παρουσιάζονται η καταναλώσεις ισχύος μιας τυπικής μέρας κατά τους χειμερινούς μήνες.

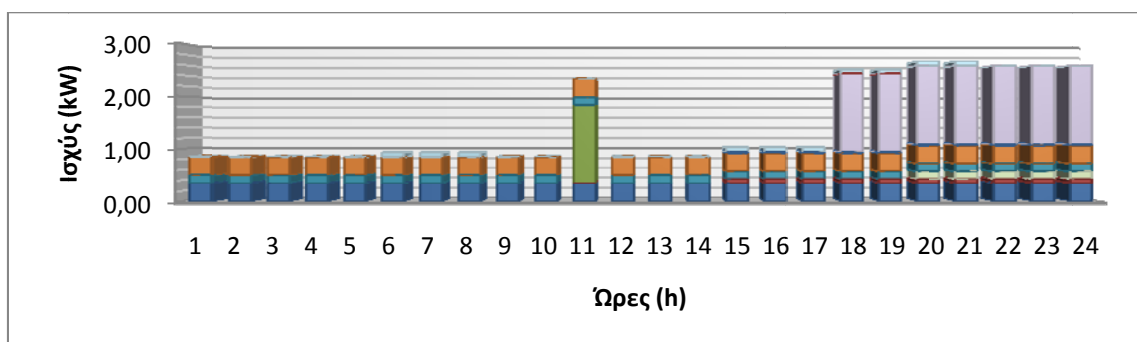
Φυλάκιο				
A/A	Φορτία	Συνολική ισχύς φορτίου (kW)	Μέγιστη ώρα κατανάλωσης ανά ημέρα (h)	Διάρκεια λειτουργίας φορτίου μέσα στην ημέρα
1	Ψυγείο	0,35	24	όλο το 24ωρο
2	Φώτα	0,075	8	17:00 έως 1:00
3	Πλυντήριο ρούχων	1,5	1	19:00 έως 20:00
4	Τηλεοράσεις	0,15	7	18:00 έως 1:00

Πίνακας 3.7: Κατανομή φορτίου φυλακίου κατά την διάρκεια της ημέρας την χειμερινή περίοδο



Αλιευτικό καταφύγιο				
A/A	Φορτία	Συνολική ισχύς φορτίου (kW)	Μέγιστη ώρα κατανάλωσης ανά ημέρα (h)	Διάρκεια λειτουργίας φορτίου μέσα στην ημέρα
1	Ασύρματος	0,15	24	όλο το 24ωρο
2	Ψυγείο	0,35	24	όλο το 24ωρο
3	Φώτα	0,075	8	17:00 έως 1:00
4	Προβολής	1,5	5	20:00 έως 1:00
5	Πιεστικό	0,5	1,5	6:00 έως 9:00 και 17:00 έως 22:00 για 10 λεπτά κάθε ώρα

Πίνακας 3.8: Κατανομή φορτίου Αλιευτικού καταφυγείου κατά την διάρκεια της ημέρας την χειμερινή περίοδο



Σχήμα 3.2: Τεχνητά παραγομένη ημερήσια κατανάλωση ισχύος στη νήσο Χρυσή για την χειμερινή περίοδο

Μήνες	Ημέρες	Εποχιακός συντελεστής κατανάλωσης ισχύος	Κατανάλωση ισχύος (kW)
Ιανουάριος	31	1,00	1,48
Φεβρουάριος	28	1,00	1,48
Μάρτιος	31	1,00	1,48
Απρίλιος	30	0,30	2,88
Μάιος	31	0,60	5,76
Ιούνιος	30	0,90	8,63
Ιούλιος	31	1,00	9,59
Αύγουστος	31	1,00	9,59
Σεπτέμβριος	30	1,00	9,59
Οκτώβριος	31	1,00	1,48
Νοέμβριος	30	1,00	1,48
Δεκέμβριος	31	1,00	1,48

Πίνακας 3.9: Κατανομή μηνιαίων φορτίων νησιού κατά την διάρκεια ενός έτους



3.2.4. Προσδιορισμός ετήσιων φορτίων

Για τον προσδιορισμό της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας του νησιού χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$(1)$$

Όπου

- i : είναι η μήνες του έτους
- E_L : είναι η ετήσια κατανάλωση ενέργειας του νησιού σε (kWh)
- $P(i)$: είναι η μηνιαία κατανάλωση ισχύος του νησιού σε (kW)
- $T(i)$: είναι η ημέρες του κάθε μήνα
- h : είναι η ώρες της ημέρας (=24h)

Η μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας και συνολική ετήσια παρουσιάζονται στον πίνακα 3.10.

Μήνες	Ημέρες ανά Μήνα	E_L (kWh)
Ιανουάριος	31	1.099,98
Φεβρουάριος	28	993,53
Μάρτιος	31	1.099,98
Απρίλιος	30	2.072,34
Μάιος	31	4.282,84
Ιούνιος	30	6.217,02
Ιούλιος	31	7.138,06
Αύγουστος	31	7.138,06
Σεπτέμβριος	30	6.907,80
Οκτώβριος	31	1.099,98
Νοέμβριος	30	1.064,50
Δεκέμβριος	31	1.099,98
Συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας		40.214,08

Πίνακας 3.10: Κατανάλωση ενέργειας της νήσου Χρυσή



3.3. Δυναμικό των Α.Π.Ε. για την Χρυσή

3.3.1. Ανεμολογικά χαρακτηριστικά

Για την νήσο Χρυσή δεν υπάρχουν καταγεγραμμένες χρονοσειρές ανεμολογικών δεδομένων. Για αυτόν τον λόγο η δύναμη του αέρα αξιολογήθηκε από έναν εγκατεστημένο μετεωρολογικό σταθμό στην πόλη της Ιεράπετρας που σύλλεγε στοιχεία αέρα για μία περίοδο 24μηνών, από 9/8/2009 έως της 8/8/2009. Τα ανεμολογικά δεδομένα που συλλέχτηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό της πόλης της Ιεράπετρας, παραχωρήθηκαν από το Αιολικό Εργαστήριο του Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.

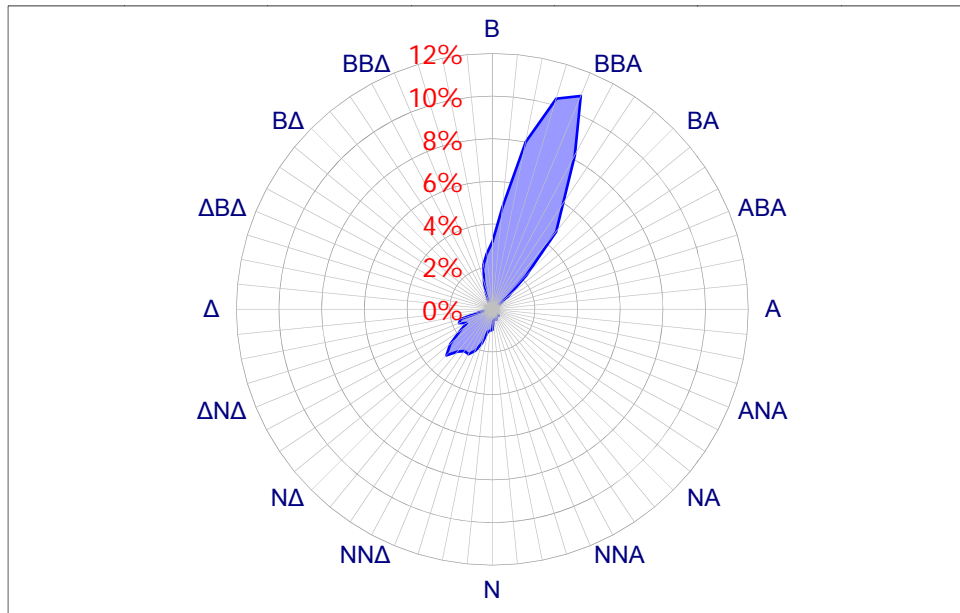
Στον πίνακα 3.11 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές έντασης του αέρα για την περίοδο καταγραφής του μετεωρολογικού σταθμού.

Μήνες	Ημέρες ανά Μήνα	Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου (m/s)	Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (m/s)	Κύρια διεύθυνση ανέμου
Ιανουάριος	31	8,29	27,07	ΝΔ
Φεβρουάριος	28	7,58	24,66	ΝΔ
Μάρτιος	31	7,53	20,70	ΒΒΑ
Απρίλιος	30	7,69	17,48	ΒΒΑ
Μάιος	31	6,03	15,86	ΒΒΑ
Ιούνιος	30	6,25	19,17	ΒΒΑ
Ιούλιος	31	9,84	20,00	ΒΒΑ
Αύγουστος	31	10,53	20,95	ΒΒΑ
Σεπτέμβριος	30	9,07	19,26	ΒΒΑ
Οκτώβριος	31	7,37	19,30	ΒΒΑ
Νοέμβριος	30	8,25	25,05	ΒΒΑ
Δεκέμβριος	31	7,49	23,72	ΒΒΑ
Μέσες τιμές έτους		7,99	21,10	ΒΒΑ

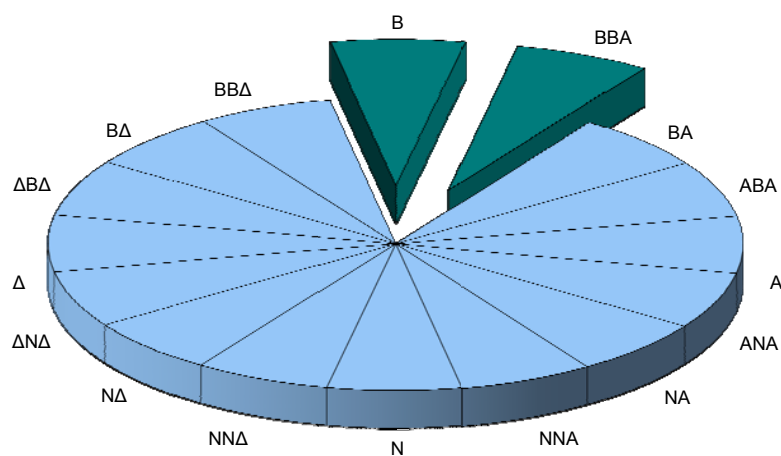
Πίνακας 3.11: Ανεμολογικά δεδομένα της νήσου Χρυσής



Στο σχήμα 3.3 και 3.4 παρουσιάζονται το ροδόγραμμα του ανέμου ως προς τον χρόνο που προσδιορίζει την κύρια διεύθυνση του ανέμου μέσα στο έτος και η κύριες διευθύνσεις του ανέμου.



Σχήμα 3.3: Ροδόγραμμα ανέμου ως προς τον χρόνο



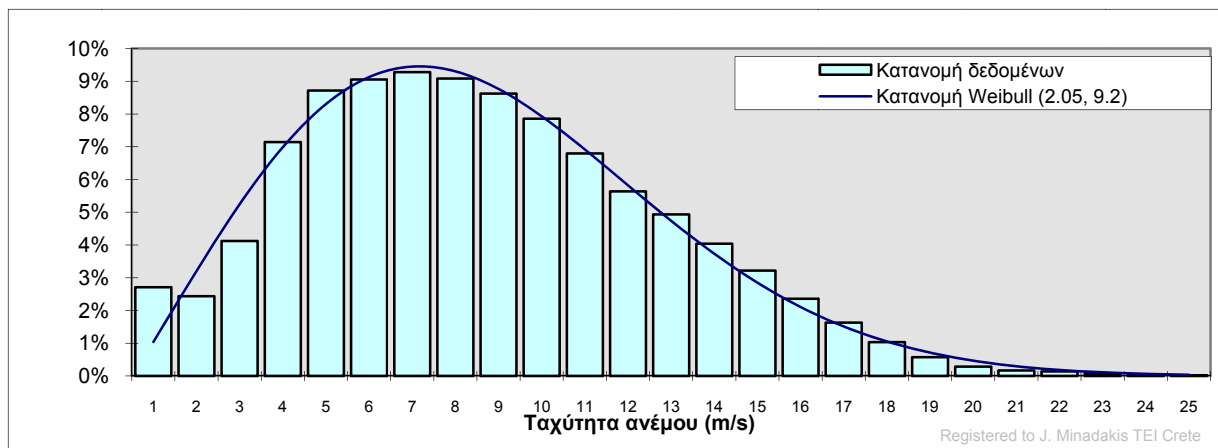
Σχήμα 3.4: Κύριες διευθύνσεις ανέμου



Για τον υπολογισμό του συντελεστή ισχύος της ανεμογεννήτριας $C_{ΑΓ}$ που θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο, είναι απαραίτητος και ο καθορισμός της παραμέτρου κλίμακας C και της παραμέτρου μορφής K . Ο καθορισμός αυτών των παραμέτρων έγινε με βάση τα ανεμολόγια δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Ιεράπετρας και παραχωρήθηκαν επίσης από το εργαστήριο Αιολικής ενέργειας του Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.

Μήνες	Ημέρες ανά Μήνα	C παράμετρος κλίμακας (m/s)	K παράμετρος μορφής
Ιανουάριος	31	8,93	1,91
Φεβρουάριος	28	8,60	1,90
Μάρτιος	31	8,15	1,82
Απρίλιος	30	8,46	2,17
Μάιος	31	6,45	2,05
Ιούνιος	30	6,85	1,94
Ιούλιος	31	10,39	2,43
Αύγουστος	31	11,27	2,10
Σεπτέμβριος	30	9,97	2,25
Οκτώβριος	31	7,62	2,09
Νοέμβριος	30	9,25	1,92
Δεκέμβριος	31	8,12	1,93
Μέσες τιμές έτους		8,67	2,04

Πίνακας 3.12: Παραμέτροι C και K



Σχήμα 3.5: Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Weibull που μετρείται στην νήσο Χρυσή



3.3.2. Ηλιακά χαρακτηριστικά

Οι ηλιακές πιθανές μετρήσεις, που παρουσιάζονται παρακάτω στους πίνακες 3.13 και 3.14, έχουν ολοκληρωθεί και έχουν δημοσιευθεί από το Κέντρο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (C.R.E.S.- www.cres.gr). Τα ακόλουθα στοιχεία έχουν συλλεχθεί στους ηλιακούς σταθμούς μετρήσεων που εγκαταστάθηκαν στην πόλη της Ιεράπετρας.

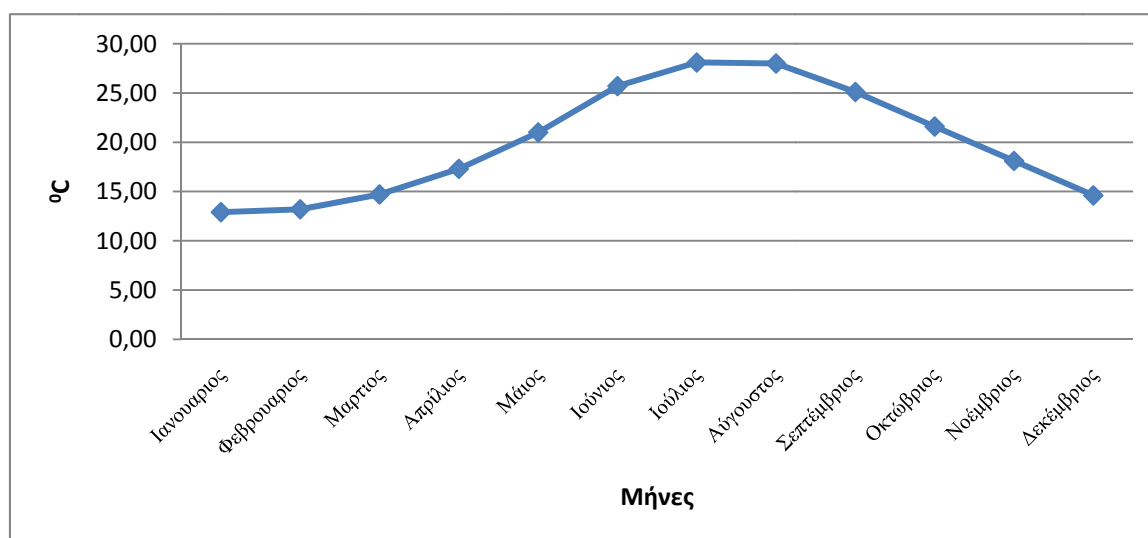
Μήνες	Ημέρες ανά Μήνα	Μέση θερμοκρασία αέρα (°C)	Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επιπ. (kWh/m ²)	Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 30° (kWh/m ²)	Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 45° (kWh/m ²)	Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 60° (kWh/m ²)
Ιανουάριος	31	12,90	72,00	88,00	93,00	93,00
Φεβρουάριος	28	13,20	85,00	96,00	98,00	96,00
Μάρτιος	31	14,70	127,00	145,00	144,00	136,00
Απρίλιος	30	17,30	155,00	162,00	154,00	138,00
Μάιος	31	21,00	195,00	194,00	176,00	149,00
Ιούνιος	30	25,70	216,00	199,00	175,00	142,00
Ιούλιος	31	28,10	227,00	213,00	188,00	154,00
Αύγουστος	31	28,00	211,00	213,00	195,00	168,00
Σεπτέμβριος	30	25,10	164,00	184,00	178,00	162,00
Οκτώβριος	31	21,60	120,00	148,00	149,00	143,00
Νοέμβριος	30	18,10	87,00	112,00	118,00	117,00
Δεκέμβριος	31	14,60	69,00	86,00	92,00	92,00

Πίνακας 3.13: Μηνιαία ηλιακά δεδομένα της νήσου Χρυσής

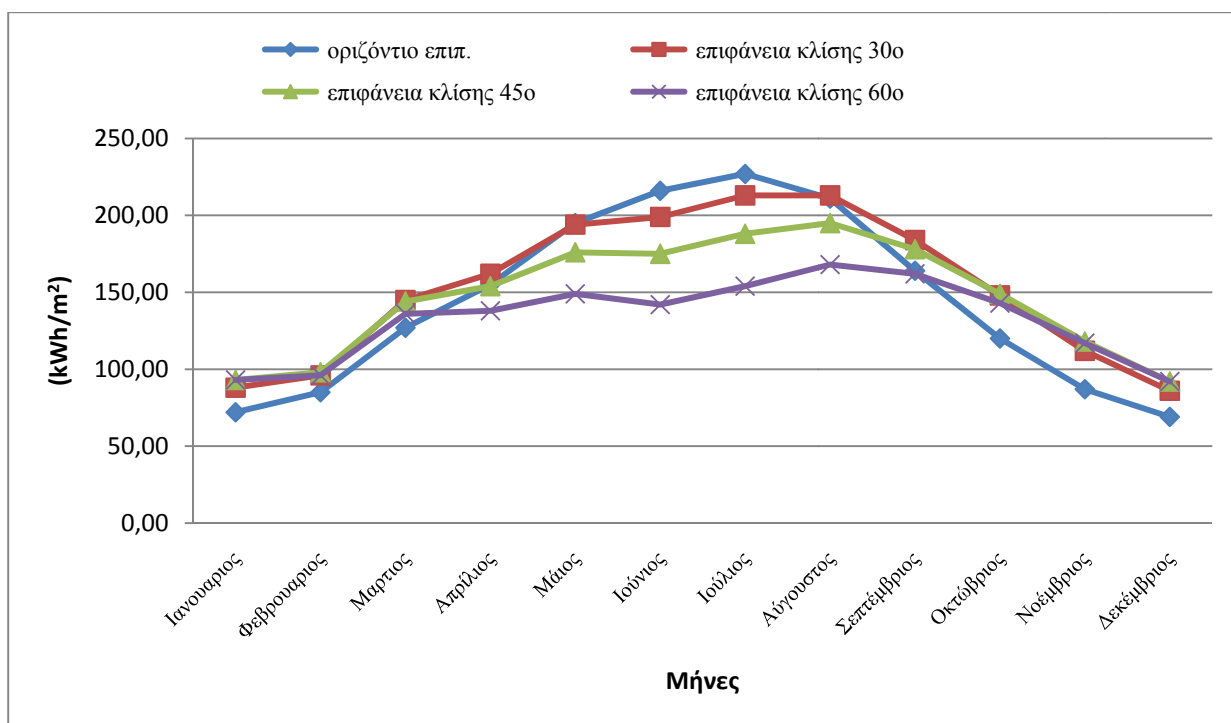


Μήνες	Ημέρες ανά Μήνα	Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επιπ. (kWh/m ² *day)	Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 30° (kWh/m ² *day)	Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 45° (kWh/m ² *day)	Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια κλίσης 60° (kWh/m ² *day)
Ιανουάριος	31	2,32	2,84	3,00	3,00
Φεβρουάριος	28	3,04	3,43	3,50	3,43
Μάρτιος	31	4,10	4,68	4,65	4,39
Απρίλιος	30	5,17	5,40	5,13	4,60
Μάιος	31	6,29	6,26	5,68	4,81
Ιούνιος	30	7,20	6,63	5,83	4,73
Ιούλιος	31	7,32	6,87	6,06	4,97
Αύγουστος	31	6,81	6,87	6,29	5,42
Σεπτέμβριος	30	5,47	6,13	5,93	5,40
Οκτώβριος	31	3,87	4,77	4,81	4,61
Νοέμβριος	30	2,90	3,73	3,93	3,90
Δεκέμβριος	31	2,23	2,77	2,97	2,97

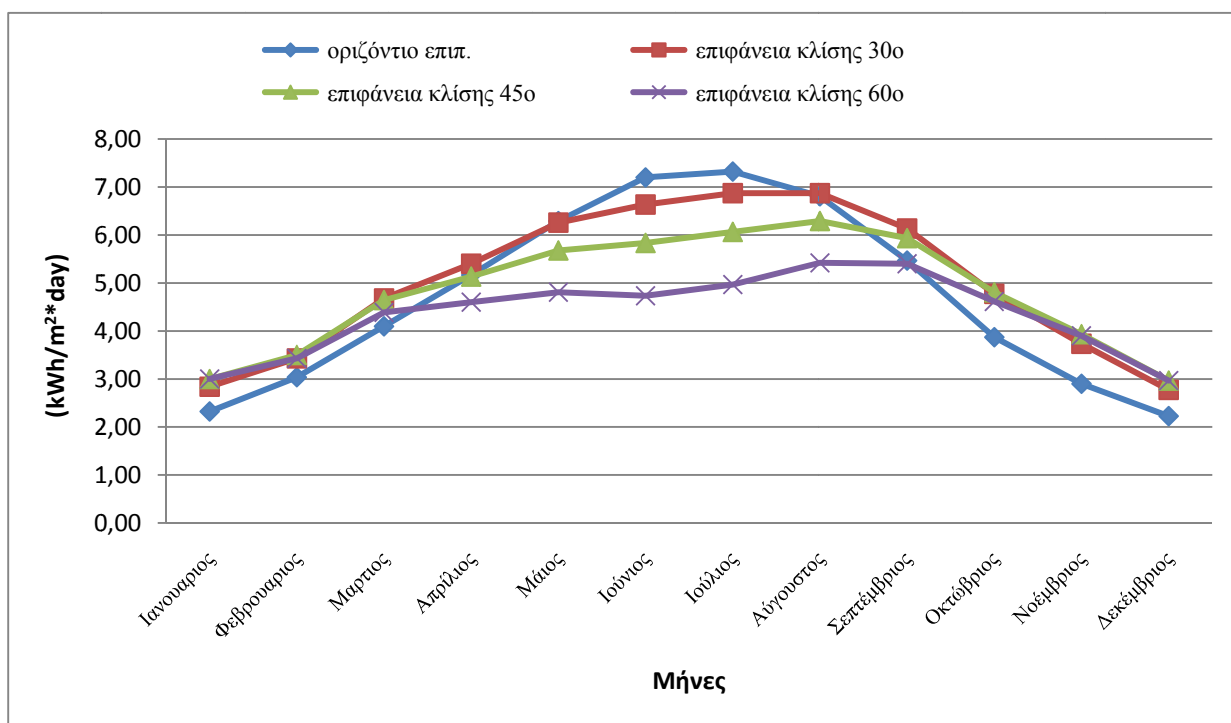
Πίνακας 3.14: Ημερήσια ηλιακά δεδομένα της νήσου Χρυσής



Σχήμα 3.6: Ετήσια κατανομή μέσης θερμοκρασίας



Σχήμα 3.7: Ετήσια κατανομή μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας ανα γωνία πρόσπτωσης



Σχήμα 3.8: Ετήσια κατανομή ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ανα γωνία πρόσπτωσης



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αναλυτική παρουσίαση διαδικασίας διαστασιολόγησης του υβριδικού συστήματος

4.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μελέτη και οικονομική ανάλυση για την βέλτιστη διαστασιολόγηση του αυτόνομου υβριδικού σταθμού για την περίπτωση της νήσου Χρυσής. Το αυτόνομο ενεργειακό σύστημα του νησιού θα αποτελείται από ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά που αναλαμβάνουν να υποστηρίξουν τις καθημερινές καταναλώσεις. Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που θεωρείται εφεδρικό σύστημα αλλά πολύ σημαντικό για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος κατά τις ημέρες μηδενικής παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια. Και τέλος τους συσσωρευτές που είναι οι μονάδες αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας του ενεργειακού συστήματος.

4.2. Περιγραφή αυτόνομου υβριδικού συστήματος

Το υβριδικό σύστημα εκμεταλλεύεται ταυτόχρονα την ηλιακή & την αιολική ενέργεια. Διαθέτει φωτοβολταϊκούς συλλέκτες και ανεμογεννήτρια ώστε να παράγει ρεύμα από τον ήλιο και από τον άνεμο. Ο μετατροπέας (inverter-charger) του συστήματος είναι και φορτιστής συσσωρευτών από εφεδρική γεννήτρια και διαθέτει αυτόματο μεταγωγικό διακόπτη φορτίων (UPS). Έτσι όταν λειτουργεί η γεννήτρια τότε αυτόματα τα φορτία τροφοδοτούνται από αυτήν και ταυτόχρονα φορτίζεται ο συσσωρευτής. Ανάλογα με τον τύπο της γεννήτριας υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης εκκίνησης της.

Επιμέρους ανάλυση Υβριδικού συστήματος

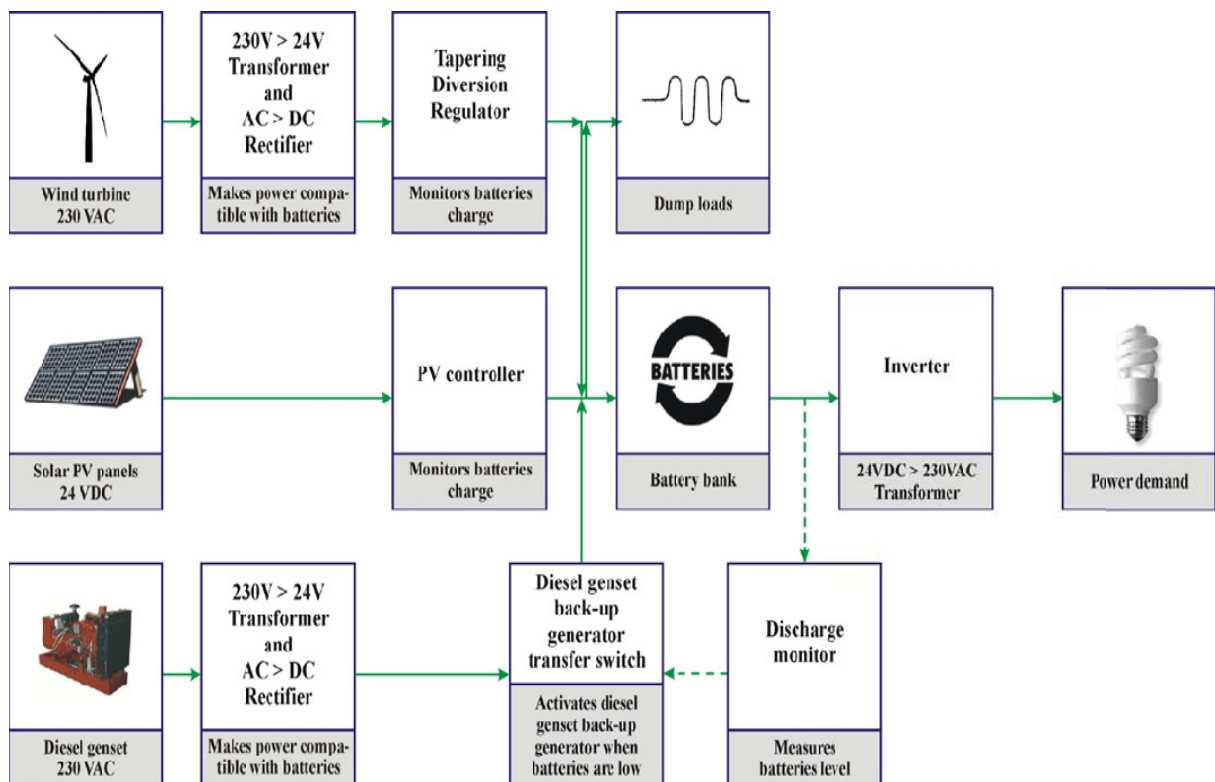
- Ανεμογεννήτριες
- Φωτοβολταϊκά πάνελ
- Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (πετρελαιομηχανή)
- Ελεγκτής πετρελαιομηχανής
- Μπαταρίες
- Φορτιστές μπαταριών
- Μετασχηματιστές τάσης και AC-DC διορθωτές
- Ένας inverter DC-AC και δυο μετασχηματιστές τάσης
- Φορτία απορρίψεων



Συγκεκριμένα:

- Οι κύριες μονάδες παραγωγής ενέργειας είναι οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Το παραχθέν AC ρεύμα από την ανεμογεννήτρια και DC από τα φωτοβολταϊκά αποκαθίσταται και μετασχηματίζεται προκειμένου να αποθηκευτεί στις μπαταρίες του συστήματος. Εάν οι μπαταρίες φορτίζονται πλήρως η παραχθείσα δύναμη διατίθεται σε ένα σύστημα αφαλάτωσης και στα φορτία απορρίψεων (αντιστάσεις).
- Η διαθέσιμη πετρελαιομηχανή τίθεται σε ενέργεια μόνο σε περίπτωση χαμηλού επιπέδου φόρτισης μπαταριών και μηδενικής παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ ή τις ανεμογεννήτριες.
- Η απαίτηση ισχύος ικανοποιείται πάντα από την αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες, μέσω ενός inverter DC-AC και ενός μετασχηματιστή τάσης.

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ονομαστικής ισχύς των μονάδων παραγωγής και η ικανότητα των μπαταριών παρουσιάζονται στο επόμενο τμήμα.



Σχήμα 4.1: Σχεδιαστική απεικόνιση του υβριδικού συστήματος



4.3. Περιγραφή Μεθόδου LCC.

Με τη μέθοδο LCC γίνεται διερεύνηση της κατάλληλης σύνθεσης του υβριδικού συστήματος, που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος κτήσης, εγκατάστασης και λειτουργίας, στο χρόνο αναφοράς της ζωής του.

Η διαδικασία προσδιορισμού του κόστους αυτού αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως υπολογισμός του κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost, L.C.C.) του συνολικού υβριδικού συστήματος.

Αναλυτικότερα ο προσδιορισμός του LCC γίνεται με υπολογισμό του κόστους αρχικής επένδυσης και αναγωγή κάθε μελλοντικού κόστους αντικατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης των συνιστωσών του συστήματος, σε κόστος παρούσας αξίας.

Το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του συστήματος επομένως είναι άθροισμα των εξής παραμέτρων :

α) Του αρχικού κόστους του συνολικού συστήματος (Capital cost), αποτελούμενο από το κόστος αγοράς των συστημάτων ΑΠΕ (C_{RES}), του συσσωρευτή (C_{Batt}), των ηλεκτρονικών διατάξεων ($C_{Electr.}$), του μετατροπέα τάσεως ($C_{Inv.}$), του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (C_{HZ}) και του καλωδίου μεταφοράς της ενέργειας σε μακρινές αποστάσεις (C_{cable}).

β) Του κόστους εγκατάστασης του συστήματος ($C_{Inst.}$).

γ) Του κόστους αντικατάστασης τμημάτων (συσσωρευτών, Η/Ζ κ.α.), υπολογίζοντας το κόστος αυτό με αναγωγή του στο έτος μηδέν της επένδυσης, με βάση την έννοια του παράγοντα παρούσας αξίας (PVF).

δ) Της παρούσας τιμής του κόστους συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος ($C_{Maint.}$), που αφορά δαπάνες επαναλαμβανόμενες ετησίως. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κόστους έχει και η παρούσα τιμή λειτουργίας του Η/Ζ (C_{Fuel}).

ε) Την αξία της επένδυσης μετά το τέλος της περιόδου ζωής της (S). Συνήθως είναι κατ' εκτίμηση ίσος σε 10-20% του αρχικού κόστους της συνολικής επένδυσης. Στην παρούσα μελέτη το θέτουμε ίσο με το 20% του αρχικού κόστους της συνολικής επένδυσης.

$$L.C.C. = C_{RES} + C_{Inst.} + C_{Maint} + C_{Batt} + C_{Inv} + C_{Electr.} + C_{cable} + C_{HZ} + C_{Fuel} - S$$

Ως ελάχιστος κύκλος ζωής του συστήματος λαμβάνονται, συνήθως τα είκοσι έτη, που αποτελούν τον ελάχιστο χρόνο ζωής των ΦΒ πλαισίων, της πλέον μακρόβιας συνιστώσας του υβριδικού συστήματος. Σ' αυτό το χρονικό διάστημα μερικά από τα υπόλοιπα τμήματα



της εγκατάστασης, π.χ. οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές θα πρέπει να αντικατασταθούν μερικές φορές.

4.4. Βήματα υπολογισμού της μεθόδου L.C.C.

Τα βήματα που ακολουθούνται για την εφαρμογή της μεθόδου L.C.C., είναι τα επόμενα :

➤ Προσδιορισμός των φορτίων

Προσδιορίζονται τα φόρτια κατανάλωσης που θα πρέπει να καλύψει 100% το αυτόνομο υβριδικό σύστημα που θα διαστασιολογηθεί.

➤ Δυναμικό ΑΠΕ

Προσδιορισμός του δυναμικού των πηγών ΑΠΕ, που συνιστούν το υβριδικό σύστημα, με βάση τα ηλιακά και ανεμολόγια δεδομένα του τόπου εγκατάστασης. Συγκεκριμένα αξιοποιούνται τα υπάρχοντα δεδομένα της περιοχής για τον προσδιορισμό των μηνιαίων μέσων τιμών των συντελεστών ισχύος του Φ/Β και τις Α/Γ.

➤ Υπολογισμός του κόστους του υβριδικού συστήματος στον κύκλο ζωής του

Προσδιορίζεται για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των τιμών ονομαστικής ισχύος των πηγών ΑΠΕ, που συνθέτουν το σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη την ενεργό συμμετοχή της συμβατικής πηγής (H/Z). Η σημασία αυτής της μεθόδου βασίζεται στο ότι ενδιαφέρει να προσδιοριστεί εκείνη η σύνθεση του συνολικού ενεργειακού συστήματος, η όποια να καλύπτει με τον πλέον οικονομικό τρόπο τις ενεργειακές ανάγκες της εφαρμογής.



4.5. Υπολογισμός του κόστους του υβριδικού συστήματος στον κύκλο ζωής του

Το τελευταίο κριτήριο για τις διαστάσεις του προτεινόμενου συστήματος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους κύκλων ζωής της επένδυσης (LCC). Το συνολικό LCC της επένδυσης δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$(2) \quad L.C.C. = C_{RES} + C_{Inst.} + C_{Maint} + C_{Batt} + C_{Inv} + C_{Electr.} + C_{cable} + C_{HZ} + C_{Fuel} - S$$

όπου:

C_{RES} :

Το κόστος των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών. Αυτό το κόστος υπολογίζεται εύκολα με την εισαγωγή του αρχικού κόστους για την μονάδα παραγωγής ΑΠΕ. Στην παρούσα μελέτη σύμφωνα με τις ελληνικές συνθήκες στην αγορά οι ακόλουθες συγκεκριμένες δαπάνες ορίστηκαν :

αρχικό κόστος ανεμογεννητριών: 3.500 €/kW

αρχικό κόστος φωτοβολταϊκού: 4.000 €/kW.

C_{inst} :

Το κόστος εγκατάστασης ολόκληρου του συστήματος. Αυτό το κόστος είναι περίπου υπολογισμένο μετά από μια σχετική έρευνα αγοράς, υποθέτοντάς το ίσο με ένα ποσοστό του κόστους C_{RES} . Συγκεκριμένα το κόστος εγκατάστασης συστημάτων υποτίθεται ότι είναι ίσο με 15% του αρχικό κόστος των ΑΠΕ (C_{RES}):

$$(3) \quad C_{inst.} = a \cdot C_{RES}, \quad a=15\%$$

C_{maint} :

Η παρούσα αξία του συνόλου του συστήματος ανάλογα τη διάρκεια ζωής του και το κόστος συντήρησης. Το ετήσιο κόστος συντήρησης υπολογίζεται επίσης ότι είναι ίσο με το 2% του αρχικό κόστος των ΑΠΕ (C_{RES}):

$$(4) \quad C_{maint.} = a \cdot C_{RES}, \quad a=2\%$$

Η παρούσα αξία $P_V(N)$ ενός ποσού στο έτος N , δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$(5)$$



όπου το r είναι το κόστος των χρημάτων. Στην παρούσα μελέτη το κόστος των χρημάτων είναι υποτιθέμενος ίσος σε $r=8\%$ και η περίοδος ζωής επένδυσης είναι υποτιθέμενος ίσος με 20 έτη.

Το συνολικό κόστος συντήρησης για την περίοδο ζωής της συνολικής επένδυσης δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

(6)

$C_{\text{Batt.}}$:

Το κόστος του συνολικού αριθμού των μπαταριών υπολογίζεται ως το αρχικό κόστος των μπαταριών βάση της αρχικής έρευνας αγοράς. Συγκεκριμένα, ένα σύνολο μπαταριών ικανότητας 3.000 Ah και με μια συνολική ονομαστική τάση 48 βολτ κοστίζει 1.000 €.

Οι μπαταρίες δεν μπορούν να διαρκέσουν κατά τη διάρκεια όλης της περιόδου ζωής επένδυσης. Μια ή δύο φορές πρέπει οι μπαταρίες να αντικατασταθούν με νέες. Το κόστος C_B πρέπει επίσης να περιλαμβάνει και τις συμπληρωματικές δαπάνες αντικατάστασης μπαταριών. Εάν $C_{\text{Batt.0}}$ είναι το αρχικό κόστος μπαταριών κατά την διάρκεια της εγκατάστασης συστημάτων, κατόπιν το κόστος $C_{\text{Batt.}}$ θα δοθεί από την ακόλουθη σχέση:

(7)

όπου το n είναι ο συνολικός αριθμός των αντικαταστάσεων όλων των μπαταριών και του N_j είναι τα έτη αντικαταστάσεων.

$C_{\text{inv.}}$:

Το αρχικό κόστος αναστροφών δεν μπορεί να καθοριστεί αναλυτικά, δεδομένου ότι εξαρτάται έντονα από την κλίμακα της ισχύς της μηχανής. Στην παρούσα μελέτη σύμφωνα με τις ελληνικές συνθήκες στην αγορά οι ακόλουθη δαπάνη ορίστηκε στα 700 €/kW. Υποτίθεται επίσης ότι όταν αλλαχτούν οι μπαταρίες θα αλλαχτούν και οι αντιστροφής τάσης του συστήματος (σχέση 6 προσαρμοσμένη στο αρχικό κόστος των αντιστροφών τάσης).

$C_{\text{electr.}}$:

Το κόστος των ηλεκτρονικών διατάξεων ολόκληρου του ενεργειακού συστήματος (εκτός του αντιστροφέα τάσης) . Αυτό το κόστος είναι περίπου υπολογισμένο μετά από μια σχετική έρευνα αγοράς, υποθέτοντάς το ίσο με ένα ποσοστό του κόστους C_{RES} . Συγκεκριμένα το κόστος των ηλεκτρονικών διατάξεων υποτίθεται ότι είναι ίσο με 15% του αρχικό κόστος των ΑΠΕ (C_{RES}). Υποτίθεται επίσης ότι όταν αλλαχτούν οι μπαταρίες θα αλλάξουν και οι



ηλεκτρονικές διατάξεις (σχέση 6 προσαρμοσμένη στο αρχικό κόστος ηλεκτρονικών διατάξεων).

C_{cable} :

Το κόστος καλωδίων μεταφοράς ενέργειας για μεγάλες αποστάσεις εξαρτάται από την διατομή που θα επιλεγθεί έχοντας ως βασική προϋπόθεση η πτώση τάσης να μην είναι μεγαλύτερη από το 1%. Παρακάτω παρουσιάζεται το κόστος του καλωδίου ανάλογα την διατομή του, μετά από σχετική έρευνα αγοράς που έγινε πίνακας 4.1.

Διατομή (mm ²)	Κόστος (€/m)
4	0,89
6	1,50
10	4,00
16	7,00

Πίνακας 4.1: Κόστος καλωδίου

$C_{H/Z}$:

Στο τρέχον κόστος το αρχικό κόστος πετρελαιομηχανής $C_{H/Z.0}$ και το συνολικό C_{Fuel} δαπανών κατανάλωσης καυσίμων στην περίοδο ζωής της επένδυσης συμπεριλαμβάνονται:

$$C_{H/Z} = C_{H/Z.0} + C_{Fuel} \quad (7)$$

Το αρχικό κόστος της πετρελαιομηχανής μετά από έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε καθορίστηκε στα 450 €/kW.

Η συνολική κατανάλωση καυσίμων C_{Fuel} στην περίοδο ζωής της επένδυσης υπολογίζεται με την ακόλουθη σχέση:

$$(8)$$

όπου

- V_{FC} : η ετήσια κατανάλωση καυσίμων diesel ανά lt
- : η τιμή καυσίμων diesel κατά την διάρκεια της εγκατάστασης του συστήματος €/lt
- $FPIR$: το ετήσιο ποσοστό αύξησης τιμών καυσίμων, θέτετε ίσο με 4.3%
- r : το κόστος των χρημάτων, θέτετε ίσο με 8%
- N : η περίοδος ζωής της επένδυσης (20 έτη).

Η τρέχουσα τιμή του πετρελαίου Diesel στην Κρήτη (μέσα 2011) διαμορφώνεται σε 1.41 €/lt. Η τιμή καυσίμων που εισάγεται στην παρούσα μελέτη είναι 1.50 €/lt, προκειμένου να περιληφθούν οι δαπάνες μεταφορών από την Ιεράπετρα στη νήσο Χρυσή.

S :



Αυτό μας δείχνει την αξία της επένδυσης μετά το τέλος της περιόδου ζωής της. Συνήθως είναι κατ' εκτίμηση ίσος σε 10-20% του αρχικού κόστους της συνολικής επένδυσης. Στην παρούσα μελέτη το θέτουμε ίσο με το 15% του αρχικού κόστους της συνολικής επένδυσης.



4.6. Δυναμικό Α.Π.Ε.

4.6.1. Υπολογισμός συντελεστή ισχύος ανεμογεννήτρια

Ο συντελεστής ισχύος της ανεμογεννήτριας παρέχει την αποδιδόμενη από την ανεμογεννήτρια μέση ημερήσια (μηνιαία, ετήσια) ηλεκτρική ισχύ ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος της. Ουσιαστικά, προσδιορίζει την ισχύ με την οποία θα απέδιδε ηλεκτρική ενέργεια η ΑΓ, λειτουργώντας συνεχώς μέσα στη χρονική περίοδο αναφοράς (ημέρα, μήνας, έτος).

Η διαδικασία υπολογισμού καθώς και τα αποτελέσματα του συντελεστή ισχύος της ανεμογεννήτριας παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω.

Υπολογισμός της ανοιγμένης ισχύος της ΑΓ η οποία ορίζεται ως ο λόγος της στιγμιαίας παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος της ανεμογεννήτριας προς την ονομαστική ισχύ

$$(8) \quad \text{---}$$

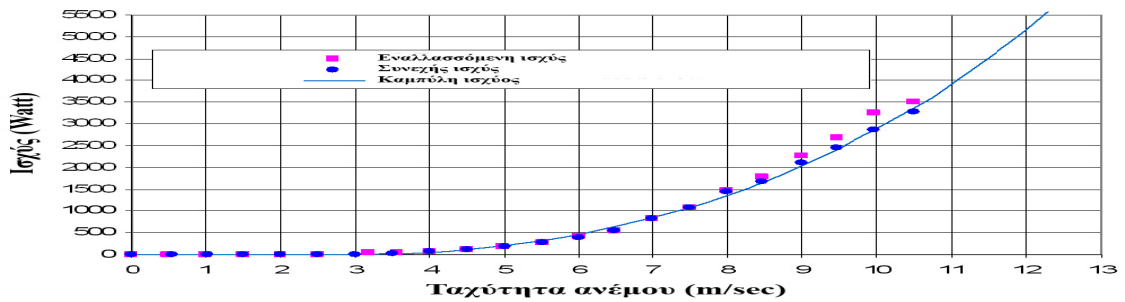
- : Στιγμιαία παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ σε συνάρτηση με την ένταση του ανέμου
- : Ονομαστική ισχύ ανεμογεννήτριας

Συνεπώς αν είναι γνωστά η χαρακτηριστική της ΑΓ, δηλαδή η σχέση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος $P_{ΑΓ}$ σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου και η ονομαστική ταχύτητα της ανεμογεννήτριας όπου παρέχονται από τον κατασκευαστή της ΑΓ, υπολογίζεται η ανοιγμένη ισχύ της ανεμογεννήτριας.

Η ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ανηγμένης ισχύς κατασκευάστηκε από το Αιολικό εργαστήριο του ΤΕΙ ηρακλείου και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2 και σχήμα 4.2 .

Ονομαστική ισχύς (kW)	5
Τύπος ανεμογεννήτριας	οριζοντίου άξονα
Αριθμός πτερυγίων	3
Ρύθμιση ισχύος	Παθητικός έλεγχος πτερυγίων
Ταχύτητα ανέμου έναρξης λειτουργίας (m/sec)	3 ή 4
Ταχύτητα ανέμου έναρξης ονομαστικής λειτουργίας (m/sec)	11
Ταχύτητα αποκοπής (m/sec)	≥ 16

Πίνακας 4.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά μικρής ΑΓ 5 kW



Σχήμα 4.2: Μετρήσεις και εκτίμηση καμπύλης ισχύος μικρής ανεμογεννήτριας ονομαστικής ισχύος 5kW

Υπολογισμός της πυκνότητας πιθανότητας $f(v)$ εμφάνισης των ανέμων για κάθε ταχύτητα και μήνα.

$$(9) \quad - \quad - \quad -$$

Όπου:

- **C:** ονομάζεται παράμετρος κλίμακας έχει μονάδες ταχύτητας (m/s) και η τιμή της είναι λίγο μεγαλύτερη της μέσης ταχύτητας ανέμου των πειραματικών δεδομένων. Αύξηση της C προκαλεί μετατόπιση της καμπύλης Weibull σε μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας ανέμου.
- **K:** ονομάζεται παράμετρος μορφής, είναι αδιάστατη και οι τιμές της βρίσκονται συνήθως περί την τιμή 2. Αύξηση της K προκαλεί αύξηση στο ύψος της κατανομής και ταυτόχρονα μικρή μετατόπιση προς τις μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας.

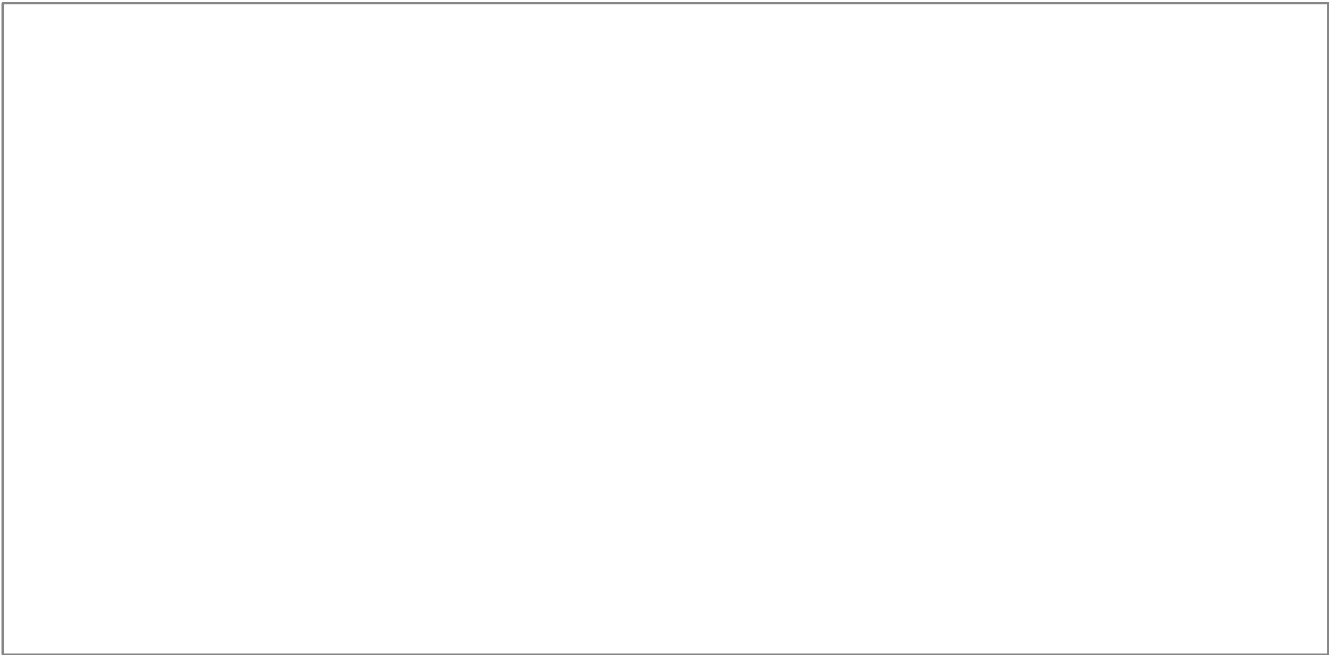
Η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Weibull $f(v)$ περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 μέτρα από το έδαφος. Η εν λόγω κατανομή προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας "v" βάσει των τιμών C και K. Οι τιμές C και K εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κατανομής της ταχύτητας του ανέμου στον συγκεκριμένο τόπο. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων για την νήσο Χρυσή παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3 (πίνακας 3.11).

Η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας $f(v)$ για την νήσο Χρυσή παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3 και σχήμα 4.3.



Ένταση ανέμου v (m/sec)	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03
2	0,05	0,06	0,07	0,05	0,08	0,08	0,02	0,03	0,03	0,06	0,05	0,06
3	0,07	0,07	0,08	0,07	0,12	0,11	0,04	0,04	0,05	0,09	0,07	0,08
4	0,08	0,09	0,09	0,09	0,13	0,12	0,05	0,05	0,06	0,10	0,08	0,10
5	0,09	0,09	0,10	0,10	0,13	0,12	0,07	0,06	0,08	0,11	0,09	0,10
6	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,08	0,07	0,09	0,12	0,09	0,10
7	0,09	0,09	0,09	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,09	0,11	0,09	0,10
8	0,09	0,09	0,08	0,10	0,08	0,08	0,09	0,08	0,09	0,10	0,09	0,09
9	0,08	0,08	0,07	0,09	0,06	0,07	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08
10	0,07	0,07	0,06	0,07	0,04	0,05	0,09	0,07	0,08	0,06	0,07	0,06
11	0,06	0,06	0,05	0,06	0,03	0,04	0,08	0,07	0,07	0,05	0,06	0,05
12	0,05	0,05	0,04	0,05	0,02	0,02	0,07	0,06	0,06	0,03	0,05	0,04
13	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,06	0,06	0,05	0,02	0,04	0,03
14	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05	0,05	0,04	0,02	0,03	0,02
15	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01	0,03	0,04	0,03	0,01	0,03	0,02
16	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01
17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01
18	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00
19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 4.3: Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας ανα ταχύτητα και μήνα



Σχήμα 4.3: Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας ανα ταχύτητα και μήνα

Υπολογισμός συντελεστή ισχύος ανεμογεννήτριας . Ο συντελεστής ισχύος της ΑΓ μας δίνει τη μέση αποδιδόμενη ισχύ της ΑΓ ως ποσοστό της ονομαστικής της ισχύος.

(10)

Όπου:

- : Η ανοιγμένη ισχύς της ΑΓ συναρτήσει της έντασης του ανέμου (σχέση 8)
- : Η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας συναρτήσει της έντασης του ανέμου (σχέση 9)

Το άθροισμα των γινομένων για κάθε ταχύτητα ανέμου αποτελεί τον μέσο συντελεστή ισχύος της ανεμογεννήτριας για τον εκάστοτε μήνα. Οι μέσοι συντελεστές ισχύος για κάθε μήνα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4 .



Μήνες	Ήμερες ανά Μήνα	Συντελεστής ισχύος
Ιανουάριος	31	0,38
Φεβρουάριος	28	0,36
Μάρτιος	31	0,33
Απρίλιος	30	0,35
Μάιος	31	0,20
Ιούνιος	30	0,23
Ιούλιος	31	0,50
Αύγουστος	31	0,51
Σεπτέμβριος	30	0,46
Οκτώβριος	31	0,29
Νοέμβριος	30	0,40
Δεκέμβριος	31	0,33

Πίνακας 4.4: Συντελεστής ισχύος ανεμογεννήτριας για κάθε μήνα

4.6.2. Υπολογισμός συντελεστή ισχύος φωτοβολταϊκού

Για τον υπολογισμό του συντελεστή ισχύος χρησιμοποιήθηκαν τα ηλιακά δεδομένα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 (πίνακας 3.12 και 3.13). Εν προκειμένου να πετύχομε την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας ετησίως από τους συλλέκτες, ρυθμίζουμε την γωνία κλίσης δυο φορές. Ποιο συγκεκριμένα για τους χειμερινούς μήνες ρυθμίζουμε τους συλλέκτες υπό γωνία $\lambda+15^{\circ}$ και για τους θερινούς μήνες $\lambda-15^{\circ}$ (όπου λ το γεωγραφικό πλάτος του νησιού= 35°). Βέλτιστη γωνία κλίσης για τους χειμερινούς μήνες είναι οι 60° και για τους θερινούς μήνες 20° . Για τον υπολογισμό του συντελεστή ισχύος χρησιμοποιήθηκαν τα υπάρχοντα ηλιακά δεδομένα του κεφαλαίου 3 και συγκεκριμένα για τους χειμερινούς μήνες χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε συλλέκτη υπό κλίση 60° ενώ για τους θερινούς μήνες σε συλλέκτη υπό γωνία 30° . Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία υπολογισμού του συντελεστή ισχύος του ΦΒ.

➤ Υπολογισμός μέσης μηνιαίας πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας

Λαμβάνοντας υπόψη τη μηνιαία μέση καθημερινή ηλιακή ακτινοβολία \bar{H}_i (πίνακας 3.13, σχήμα 3.8), η μηνιαία μέση καθημερινή πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας \bar{G}_i υπολογίζεται από τη σχέση.

$$(11) \quad \text{— σε } (\text{kW/m}^2)$$



Όπου:

- τ : είναι το καθημερινό χρονικό διάστημα σε ώρες (24h) δεδομένου ότι το
- \bar{H}_t : είναι η μέση μηνιαία καθημερινή ακτινοβολία δίνεται σε kWh/m²*day

Έπειτα υπολογίζεται η μηνιαία μέση πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας

$$(12) \quad \text{— σε (W/m}^2\text{)}$$

Όπου

- \bar{H}_t : μηνιαία μέση καθημερινή πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (σχέση 11)
- τ_D : η αναλογία του καθημερινού χρόνου τ (h) τόξων του ήλιου κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος $T=24h$. Για τα γεωγραφικά πλάτη της Κρήτης, η αναλογία τ_D υπολογίζεται περίπου ίσος με 0.43 το χειμώνα και 0.58 το καλοκαίρι.

➤ Υπολογισμός της παραμέτρου F

$$(13) \quad \text{) σε (W/m}^2\text{)}$$

Όπου

- \bar{H}_t : μηνιαία μέση πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (σχέση 12)

➤ Υπολογισμός της παραμέτρου κ

$$(14) \quad \text{— σε (}^{\circ}\text{C/W/m}^2\text{)}$$



Όπου

- $T_{amb} = 19.6 \text{ } ^\circ\text{C}$, $T_{ref} = 11.5 \text{ } ^\circ\text{C}$, $T_{cell} = 3 \text{ } ^\circ\text{C}$, και $B = -0.223 \text{ (m/s)}^{-1}$ είναι εμπειρικές σταθερές, για ΦΒ πλαίσια c-Si με διαδοχικά στρώματα διάταξης: γυάλινη πλάκα/ κυψελίδα c-Si/ μονωτική επίστρωση Tedlar
- V_{oc} : μέση μηνιαία ένταση ανέμους σε m/s (πίνακας 3.10)

➤ Υπολογισμός μέσης μηνιαίας ενεργός θερμοκρασία κυψελίδας

$$(15) \quad \theta_{c,wa} = \theta_{a,D} + (F \cdot G_{t,D}) \quad \text{σε } (^\circ\text{C})$$

Όπου

- $\theta_{a,D}$: υπολογίζεται από την σχέση 14
- F : υπολογίζεται από την σχέση 13
- $G_{t,D}$: μηνιαία μέση πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (σχέση 12)
- $\theta_{a,D}$: μηνιαία μέση τιμή θερμοκρασίας αέρα (πίνακας 3.12)

➤ Υπολογισμός επίδρασης της θερμοκρασιακής φωτοβολταϊκής κυψελίδας

$$(16) \quad PR_T = 1 + \gamma_{mp} * (\theta_{c,wa} - \theta_{STC})$$

Όπου

- $\gamma_{mp} = -0,0045 \text{ (} ^\circ\text{K)}^{-1}$ θερμικός συντελεστής απόδοσης για το πυρίτιο
- $\theta_{STC} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ θερμοκρασία αναφοράς ΦΒ συστοιχίας
- $\theta_{c,wa}$: μέσης μηνιαίας ενεργός θερμοκρασία κυψελίδας (σχέση 15)

➤ Υπολογισμός της συνολική αποδοτικότητα (λόγος επίδοσης) μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας

$$(17)$$



Όπου

- PR_{opt} : ο λόγος επίδοσης οπτικών απωλειών (αντανακλάσεις, φάσμα ακτινοβολίας, κ.λπ.)
- PR_T : ο λόγος επίδοσης που οφείλεται στη διαφοροποίηση της θερμοκρασίας κυψελίδας από την θερμοκρασία αναφοράς $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (σχέση 16)
- PR_{NIT} : ο λόγος επίδοσης που αφορά στη μη σύμπτωση του φωτοβολταϊκού σημείου λειτουργίας (ΣΛ) με το σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ) της ΦΒ συστοιχίας.
- η_{aa} : ο λόγος επίδοσης άλλων απωλειών (συνδέσεις καλωδίων, δίοδοι, κ.λπ.).

Οι χαρακτηριστικές τιμές για τα ανωτέρω μεγέθη, εκτός από PR_T , για τους ηλιακούς όρους ακτινοβολίας στη νότια Ελλάδα είναι:

$$PR_{opt}: 0.96, PR_{NIT}: 0.95, \eta_{aa}: 0.95$$

➤ Υπολογισμός συντελεστή ισχύος φωτοβολταϊκών συστοιχιών

(18)

Όπου

- G : είναι η ηλιακή πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας στους τυποποιημένους όρους ελέγχου ($=1\text{ kW/m}^2$).
- η_{PV} : λόγος επίδοσης ΦΒ συστοιχίας (σχέση 17)
- G_{m} : μηνιαία πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (σχέση 11)

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού του συντελεστή ισχύος του ΦΒ παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5.



Μήνες	H_t (Kwh/m ² d)	Θ_{aD} (°C)	G_t (kW/m ²)	G_{tD} (W/m ²)	F	$\kappa(wsD)$ (C/W/m ²)	$\Theta_{c,wa}$ (°C)	PR _T	PR _σ	C _{ΦB}
Ιανουάριος	3,00	12,90	0,13	290,70	1,83	0,02	22,23	1,01	0,88	0,11
Φεβρουάριος	3,43	13,20	0,14	332,23	1,76	0,02	23,76	1,01	0,87	0,12
Μάρτιος	4,39	14,70	0,18	425,11	1,60	0,02	27,03	0,99	0,86	0,16
Απρίλιος	5,40	17,30	0,23	387,93	1,66	0,02	28,91	0,98	0,85	0,19
Μάιος	6,26	21,00	0,26	449,57	1,56	0,02	34,71	0,96	0,83	0,22
Ιούνιος	6,63	25,70	0,28	476,53	1,51	0,02	39,63	0,93	0,81	0,22
Ιούλιος	6,87	28,10	0,29	493,60	1,48	0,02	40,29	0,93	0,81	0,23
Αύγουστος	6,87	28,00	0,29	493,60	1,48	0,02	39,97	0,93	0,81	0,23
Σεπτέμβριος	6,13	25,10	0,26	440,61	1,57	0,02	36,93	0,95	0,82	0,21
Οκτώβριος	4,61	21,60	0,19	446,99	1,56	0,02	34,36	0,96	0,83	0,16
Νοέμβριος	3,90	18,10	0,16	377,91	1,68	0,02	29,27	0,98	0,85	0,14
Δεκέμβριος	2,97	14,60	0,12	287,57	1,83	0,02	24,18	1,00	0,87	0,11

Πίνακας 4.7: Συντελεστής ισχύος φωτοβολταϊκού για κάθε μήνα



4.7. Η διαδικασία υπολογισμού βέλτιστης διαστασιολόγησης

➤ Υπολογισμός χωρητικότητας μπαταρίας

$$(19) \quad \text{σε (Ah)}$$

Όπου:

- $C(n)$: η χωρητικότητα των μπαταριών
- n : ο απαραίτητος αριθμός ημερών για αυτόνομη λειτουργία των μπαταριών ($n=5$)
- E_L : η καθημερινή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- b : το ποσοστό απαίτησης ηλεκτρικής ενέργειας την νύχτα ($b=E_{L\text{night}}/E_L=0,42$)
- m : ένας συντελεστής για την αύξηση ασφάλειας της υπολογισμένης χωρητικότητας ($m=1,2$)
- $\eta_{\gamma,B}$: συντελεστής απόδοσης μπαταρίας στην διάρκεια ζωή της (μέση απόδοση 90% για ολόκληρη την περίοδο ζωής των μπαταριών)
- η_{trans} : ένας συντελεστής που εκφράζει την αποδοτικότητα της ενεργειακής μεταφοράς από τις μπαταρίες στα $\eta_{\text{trans}}=90\%$)
- b_{dis} : το μέγιστο ποσοστό εκφόρτισης των μπαταριών ($b_{\text{dis}}=80\%$)
- V_B : η καθορισμένη ονομαστική τάση των μπαταριών ($V_B=48V$).

➤ Η μηνιαία παραγωγή ισχύος από ΑΠΕ

$$(20) \quad \text{σε (kW)}$$

Όπου:

- : η συνολική απόδοση μεταφοράς από τα (φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες) ΑΠΕ στις μπαταρίες τίθεται ίσο με 90%



- και : είναι η εκτιμημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών πάνελ και των ανεμογεννητριών αντίστοιχα σε (kW).
- και : είναι η συντελεστές ισχύος της ανεμογεννήτριας και των φωτοβολταϊκών για κάθε μήνα (πίνακας 4.6 και 4.7).

Η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ δίδεται από την σχέση:

$$(21) \quad \text{σε (kWh)}$$

Όπου

- i : είναι η μήνες του έτους
- : είναι η ετήσια παραγωγή ενέργειας από της ΑΠΕ σε (kWh)
- : είναι η μηνιαία παράγωγή ισχύος των ΑΠΕ σε (kW)
- $T(i)$: είναι η ημέρες του κάθε μήνα
- h : είναι η ώρες της ημέρας (=24h)

➤ Η μηνιαία παραγωγή ισχύος από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Έχοντας υπολογίσει την μηνιαία παραγωγή ισχύος από τις ΑΠΕ μπορούμε να υπολογίσουμε την μηνιαία παραγωγή του ηλεκτροπαραγωγικού ζεύγους. Το ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος αποτελεί μονάδα εφεδρείας για το σύστημα οπότε λειτουργεί μόνο στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Οι μονάδες ΑΠΕ δεν μπορούν να φορτίσουν την μπαταρία είτε λόγο χαμηλού αιολικού ή ηλιακού δυναμικού, είτε λόγω βλάβης τους.
- Παρατηρείται μέσο του ελεκτητή φόρτισης χαμηλό επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας.

Σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές η μηνιαία παραγόμενη ισχύς του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους είναι:

$$(22)$$

Όπου



- : είναι η μηνιαία κατανάλωση ισχύος σε (kW)
- : είναι η μηνιαία παραγωγή ισχύος σε (kW)

Η ετήσια παραγωγή ενέργειας το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος δίδεται από την σχέση:

$$(23) \quad \text{σε (kWh)}$$

Όπου

- i : είναι η μήνες του έτους
- : είναι η ετήσια παραγωγή ενέργειας από το H/Z σε (kWh)
- : είναι η μηνιαία παράγωγή ισχύος του H/Z σε (kW)
- $T(i)$: είναι η ημέρες του κάθε μήνα
- h : είναι η ώρες της ημέρας (=24h)

Η ετήσια κατανάλωση καυσίμων υπολογίζεται τελικά από την σχέση:

$$(24) \quad \text{σε (lt)}$$

Όπου:

- Θ_u : η θερμική ικανότητα του πετρελαίου Dieselc(9.90 kWh/lt)
- $n_{H/Z}$: βαθμός απόδοσης του H/Z (40%)
- $n_{\text{μετ}}$: συντελεστής μεταφοράς (90%)
- $E_{H/Z}$: ετήσια παραγωγή ενέργειας του H/Z (kWh)

➤ Υπολογισμός διατομής καλωδίου μεταφοράς ενέργειας

Το φυλάκιο βρίσκεται στα 1200m απόσταση από την θέση της εγκατάστασης του αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Η μεταφορά ενέργειας και πτώση τάσης στον αγωγό που μεταφράζεται σε απώλειες ενέργειας. Γι' αυτό τον λόγο θα πρέπει να υπολογιστεί η κατάλληλη διατομή του αγωγού έτσι ώστε να έχουμε πτώση τάσης μικρότερη του <1%. Η διαδικασία υπολογισμού της κατάλληλης διατομής του αγωγού παρουσιάζεται παρακάτω.



$$(25) \quad \text{---} \quad \sigma\epsilon \text{ (A)}$$

Όπου

- P: μέγιστη μεταφερόμενη ισχύ (W)
- U: πολική τάση (V)
- Cosφ: 1

$$(26) \quad \text{---} \quad \sigma\epsilon \text{ (mm}^2\text{)}$$

Όπου

- l: μήκος αγωγού (m)
- P: μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς (W)
- K: ηλεκτρική αγωγιμότητα αγωγού ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$)
- u : η μέγιστη πτώση τάσης στον αγωγό
- U: η πολική τάση (V)

➤ Υπολογισμός ισχύος ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και μετατροπέα τάσης

Η διαστασιολόγηση του μετατροπέα τάσεως (Inverter) και του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους έγινε με βάση την μέγιστη ημερήσια υπολογισμένη (κεφάλαιο 3) κατανάλωση ισχύος του νησιού $P_{L\text{μεγ.}} = 11,80 \text{ (kW)}$, αυξημένη κατά ένα ποσοστό ασφαλείας 15%.



4.8. Παρουσίαση αποτελεσμάτων διαστασιολόγησης

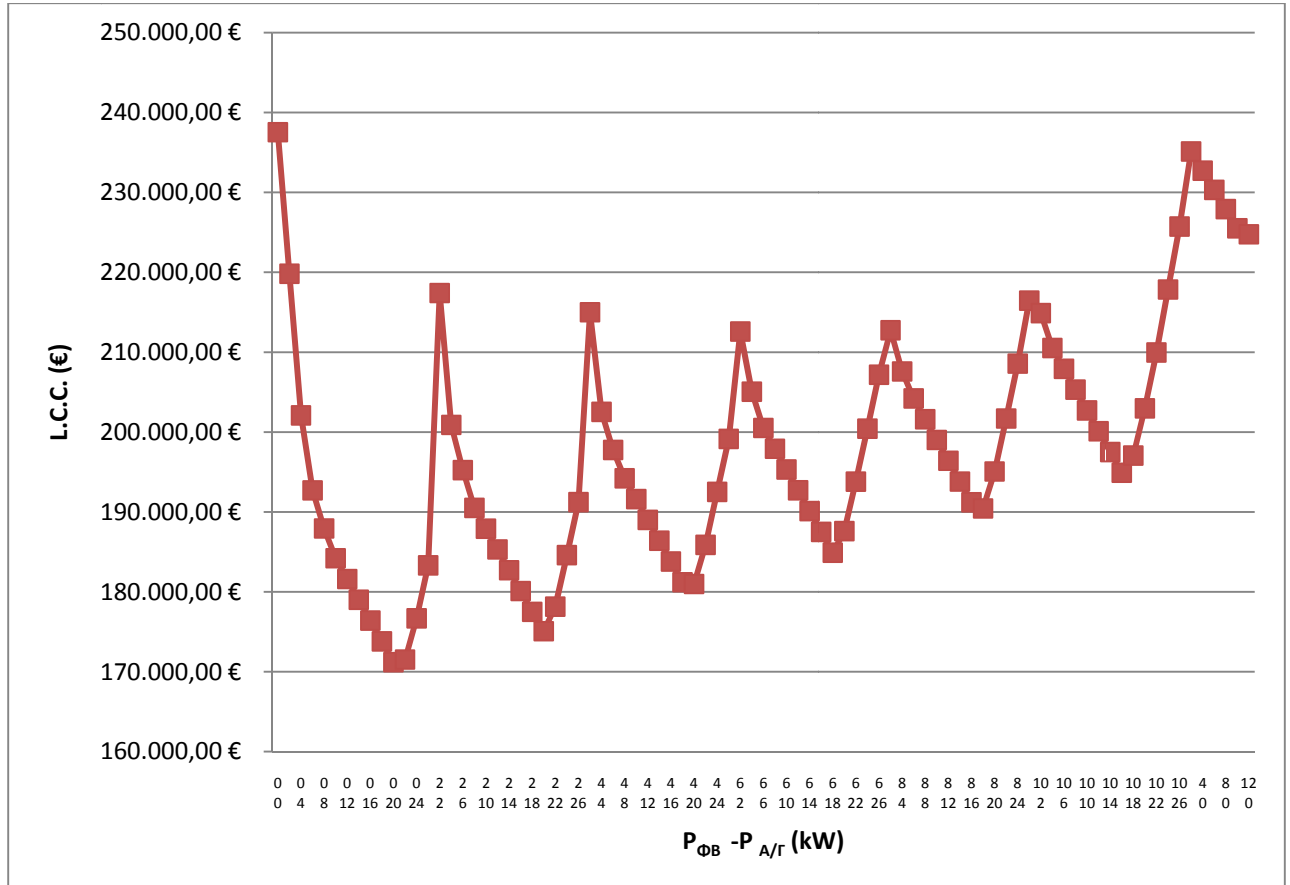
4.8.1. Προσδιορισμός βέλτιστης ονομαστικής ισχύς ΑΓ και ΦΒ

Το κόστος κύκλου ζωής (L.C.C.) της επένδυσης υπολογίζεται για το προτεινόμενο σύστημα που επιλέχθηκε βάση των επιλεγμένων φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών. Ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών μονάδων εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών, αρχίζουν από ένα ζευγάρι ελάχιστου και τελειώνουν σε ένα ζευγάρι των μέγιστων εγκατεστημένων μονάδων. Το L.C.C. υπολογίζεται για κάθε συνδυασμό των Α.Π.Ε. συστημάτων και το ελάχιστο κόστος κύκλου ζωής επιλέγεται. Η αντίστοιχη επένδυση εισάγεται ως η βέλτιστη διαστασιολόγηση του συστήματος.

Παρακάτω (πίνακας 4.6) παρουσιάζονται τα δεδομένα υπολογισμού και τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κόστους κύκλου ζωής (L.C.C.).

Κόστος ΦΒ	$C_{\Phi B}$ (€/kWp)	4.000,00
Κόστος ΑΓ	$C_{ΑΓ}$ (€/kWp)	3.500,00
Κόστος συσσωρευτών	C_{bat} (€/3000Ah)	1.000,00
Κόστος καυσίμου	C_{fuel} (€/lt)	1,50
Κόστος Η/Ζ	CH/Z (€/kW)	450,00
Κόστος Inverter	C_{Inve} (€/kW)	700,00
Κόστος καλωδίου	C_{cable} (€/m)	7,00
Μήκος καλωδίου	(m)	1.200,00
Κόστος εγκατάσταση	α_{inst}	15%
Κόστος συντήρησης	α_{maint}	2%
Κόστος ηλεκτρονικών διατάξεων	$\alpha_{Electr.}$	15%
Αξία συστήματος μετά τα 20 έτη	S	15%
Επιτόκιο Αναγωγής	r (%)	8,00
Πληθωρισμός	F_{price} (%)	4,30
Θερμογόνος δύναμη Deisel	Hu (kWh/lt)	9,90
Βαθμός απόδοσης Η/Ζ	$n_{H/Z}$	40%
Τάση συσσωρευτών	V_{batt} (V)	48,00
Ημέρες αυτονομίας συστήματος	n	5,00
Συντελεστής Γήρανσης συσσωρευτών	n_{γ}	90%
Βάθος Εκφόρτισης συσσωρευτή	$b_{εκφ}$	80%
Συντελεστής Μεταφοράς	$n_{μετ}$	90%
Συντελεστής Ασφάλειας	m	1,20
Πόσοστό απαίτησης ενέργειας την νύχτα	b	42%

Πίνακας 4.6: Συντελεστής ισχύος φωτοβολταϊκού για κάθε μήνα



Σχήμα 4.4: Διακύμανση L.C.C. (€) σε σχέση με την ισχύ των ΑΠΕ

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4, η βέλτιστη διαστασιολόγηση του αυτόνομου υβριδικού συστήματος για την νήσο Χρυσή σύμφωνα με ελάχιστο κόστος κύκλου ζωής (L.C.C._{min}) συνάρτηση της ισχύς και , είναι για ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος = 22 kW και φωτοβολταϊκά ονομαστικής ισχύος = 0 kW. Τα αποτελέσματα της βέλτιστης διαστασιολόγησης του συστήματος καθώς και τα κόστη, για κάθε συνιστώσα του συστήματος παρουσιάζονται παρακάτω.



4.8.2. Αποτελέσματα αυτόνομου Υ/Σ της νήσου Χρυσής

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του αυτόνομου υβριδικού συστήματος της που επιλέχθηκε για την νήσο χρυσή, με βάση τις επιλεγμένες τιμές ονομαστικής ισχύος της ΑΓ και του ΦΒ που παρουσιάστηκαν παραπάνω (πίνακας 4.7).

Τελική ονομαστική ισχύ ανεμογεννητριών	kW	22,00
Τελική ονομαστική ισχύ φωτοβολταϊκών	kW	0,00
Τελική ονομαστική ισχύ ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους	kW	14,00
Τελική ονομαστική ισχύ μετατροπέα (inverter)	kW	14,00
Τελική ονομαστική χωρητικότητα συσσωρευτών	Ah	49.000,00

Πίνακας 4.7: Προτεινόμενη σύνθεση συστημάτων

Μήνες	Ημέρες ανά Μήνα	Μέση ημερήσια κατανάλωση ισχύος νησιού P_L (kW)	Παραγόμενη ισχύ ΦΒ $P_{\Phi/B}$ (kW)	Παραγόμενη ισχύς ΑΓ $P_{ΑΓ}$ (kW)	Παραγόμενη ισχύ ΑΠΕ $P_{ΑΠΕ}$ (kW)	Παραγόμενη ισχύ Η/Ζ $P_{Η/Ζ}$ (kW)
Ιανουάριος	31	1,48	0,00	7,57	7,57	0,00
Φεβρουάριος	28	1,48	0,00	7,15	7,15	0,00
Μάρτιος	31	1,48	0,00	6,56	6,56	0,00
Απρίλιος	30	2,88	0,00	7,01	7,01	0,00
Μάιος	31	5,76	0,00	3,91	3,91	1,84
Ιούνιος	30	8,63	0,00	4,63	4,63	4,00
Ιούλιος	31	9,59	0,00	9,87	9,87	0,00
Αύγουστος	31	9,59	0,00	10,15	10,15	0,00
Σεπτέμβριος	30	9,59	0,00	9,16	9,16	0,43
Οκτώβριος	31	1,48	0,00	5,72	5,72	0,00
Νοέμβριος	30	1,48	0,00	7,95	7,95	0,00
Δεκέμβριος	31	1,48	0,00	6,52	6,52	0,00

Πίνακας 4.8: Μέση μηνιαία κατανάλωση και παραγωγή ισχύος της Χρυσής



Ετήσια κατανάλωση ενέργειας Χρυσής	kWh	40.214,08
Ετήσια παραγωγή ενέργειας από ΑΓ	kWh	62.936,66
Ετήσια παραγωγή ενέργειας από ΦΒ	kWh	-
Ετήσια παραγωγή ενέργειας από ΗΖ	kWh	4.562,36
Ετήσια περίσσια ενέργειας	kWh	27.284,93

Πίνακας 4.9: Ετήσια κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας της Χρυσής

Φωτοβολταικά ΦΒ	Ανεμογεννήτριες ΑΓ	Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος Η/Ζ
0%	93%	7%

Πίνακας 4.10: Ετήσια συμμετοχή ενεργειακών μονάδων στην παραγωγή ενέργειας

Κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του συστήματος κάποια συστήματα που το απαρτίζουν (το ηλεκτρονικό ζεύγος, οι συσσωρευτές, ο μετατροπέας τάσης και οι ηλεκτρονικές διατάξεις), ίσως χρειαστεί να αλλαχτούν λόγω βλάβης ή χαμηλής απόδοσης τους. Για να παρατηρηθεί το πώς μεταβάλλεται το κόστος κύκλου ζωής (L.C.C.) συναρτήσει των εξαρτημάτων που θα αλλαχτούν, υποθέτουμε ότι τα θα γίνει αλλαγή τους :

- Καμία φορά
- Μια φορά (τον δέκατο χρόνο)
- Δύο φορές (τον όγδοο χρόνο και τον δέκατο έκτο)

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.11



		Καμία αλλαγή	1 αλλαγή στα 10 χρόνια	2 αλλαγές στα 8 και 16 χρόνια
Κόστος ανεμογεννητριών ΑΓ	$C_{AG}(\text{€})$	77.000,00	77.000,00	77.000,00
Κόστος φωτοβολταϊκών ΦΒ	$C_{\Phi B}(\text{€})$	0,00	0,00	0,00
Κόστος ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους Η/Ζ	$C_{H/Z}(\text{€})$	6.300,00	9.218,12	11.542,60
Κόστος μετατροπέα τάσης (inverter)	$C_{invert}(\text{€})$	9.800,00	14.339,30	17.955,16
Κόστος συσσωρευτών	$C_{Batt}(\text{€})$	16.333,33	23.898,83	29.925,27
Κόστος ηλεκτρονικών διατάξεων	$C_{electr.}(\text{€})$	11.550,00	16.899,88	21.161,44
Κόστος καλωδίου μεταφοράς ενέργειας	$C_{cable}(\text{€})$	8.400,00	8.400,00	8.400,00
Κόστος Καυσίμου Deisel	$C_{Fuel}(\text{€})$	25.367,93	25.367,93	25.367,93
Κόστος συντήρησης	$C_{maint}(\text{€})$	15.119,95	15.119,95	15.119,95
Κόστος εγκατάστασης	$C_{inst}(\text{€})$	11.550,00	11.550,00	11.550,00
Απομένουσα αξία συστήματος	$S(\text{€})$	27.213,18	30.269,10	32.703,35
Κόστος κύκλου ζωής (L.C.C.) (€)		154.208,03	171.524,90	185.319,00

Πίνακας 4.11: Ανάλυση επιμέρους κόστων του κόστους κύκλου ζωής

4.9. Η προοπτική αφαλάτωσης

Προς το παρόν το νησί της Χρυσής καλύπτει τις ανάγκες του για πόσιμο νερό είτε μεταφέροντας το από την πόλη της Ιεράπετρας είτε μέσω μικρών γεωτρήσεων που έχουν πραγματοποιήσει στο νησί. Για αυτό θα εξεταστεί η προοπτική της εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης που θα εκμεταλλεύεται την περίσσια ενέργεια από της ανανεώσιμες πηγές του συστήματος, που αντί να απορρίπτεται στις αντιστάσεις του υβριδικού συστήματος, θα διοχετεύεται για παράγωγη πόσιμου νερού από την αυτήν.

Στον πίνακα 4.9 φαίνεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας του προτεινόμενου σύστημα που παρουσιάζεται ίση με



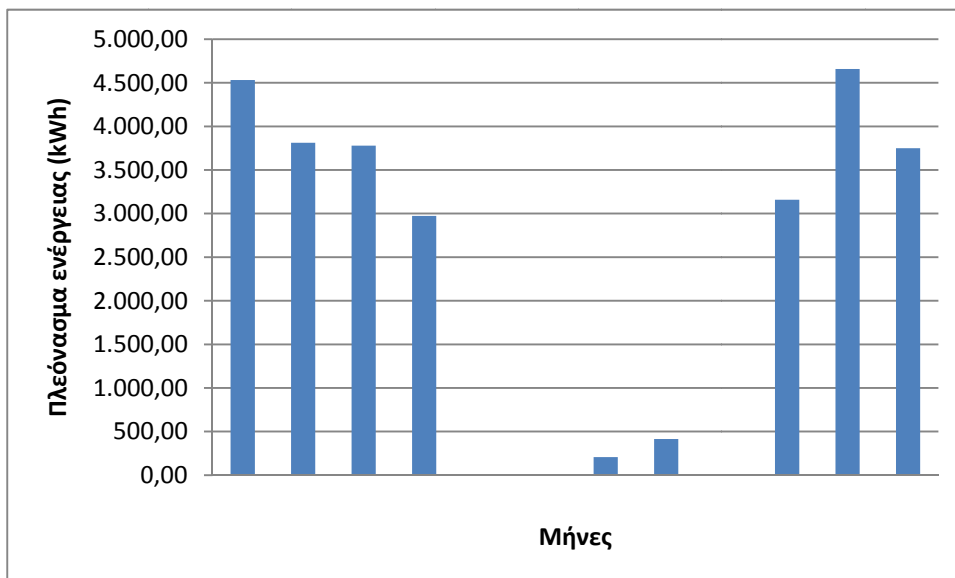
62.936,66 kWh. Η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού είναι ίση με 40.214,08 kWh. Ως εκ τούτου, υπάρχει ένα ετήσιο πλεόνασμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ίσο με 22.722,75 kWh.

Μια μικρή μονάδα αφαλάτωσης καταναλώνει 2,5-4,0 kWh ενέργεια για την παραγωγή 1 m³ πόσιμο νερό. Το διαθέσιμο ετήσιο πλεόνασμα ενέργειας των 22.722,57 kWh συνεπάγεται με τη δυνατότητα παραγωγής 6.492 m³ πόσιμο νερό ετησίως. Το ειδικό κόστος ανά ημέρα μιας μικρής μονάδας αφαλάτωσης ανέρχεται στα 1500 €/m³, και το κόστος μιας δεξαμενής αποθήκευσης του παραγόμενου νερού ανέρχεται στα 20 €/m³.

Το σύστημα αφαλάτωσης θα εγγυάται την παροχή πόσιμο νερό του νησιού. Επιπλέον, αυτό θα ορίσει τη βάση για την ανάπτυξη μιας θεμελιώδους υποδομής του νησιού όσον αφορά κυρίως το μικρό λιμάνι και τις οικιστικές ανάγκες. Η χρήση του μη πόσιμου νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα της νήσου θα περιορίζεται στη συνέχεια μόνο για αρδευτικούς σκοπούς. Η κατασκευή ενός κατάλληλου ταμιευτήρα υπογείων νερών με χωρητικότητα περίπου 1.500m³ – 2.500 m³ είναι απαραίτητο για την ασφαλή αποθήκευση νερού. Το συνολικό κόστος της μονάδας αφαλάτωσης σύμφωνα με μία μικρή έρευνα αγοράς υπολογίζεται στον πίνακα 4.12.

Μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (€)	26.680,13
Ταμιευτήρας αποθήκευσης υδάτων (€)	40.000,00

Πίνακας 4.12: Κόστος μονάδας αφαλάτωσης



Σχήμα 4.5: Πλεόνασμα ενέργειας



4.9. Χωροθέτηση συστήματος

Το προτεινόμενο αυτόνομο υβριδικό σύστημα πρόκειται να εγκατασταθεί σε μια περιοχή έκτασης 18 στρεμμάτων στα νότιο-δυτικά του νησιού. Η επιλογή της περιοχής αυτής έγινε διότι πληροί της παρακάτω προϋποθέσεις:

- Βρίσκεται μακριά από το προστατευόμενο κεδρόδασος και κάθε άλλου προστατευόμενου φυσικού ή τεχνικού μνημείου. Έτσι το σύστημα δεν επηρεάζει το φυσικό οικοσύστημα του νησιού αλλά και δεν επηρεάζεται το ίδιο από αυτό.
- Πρόκειται για μεγάλη έκταση και έτσι θα αποφευχθούν φαινόμενα σκίασης μεταξύ των ανεμογεννητριών.
- Βρίσκεται κοντά (στα 150 m) στα κτίρια που παρουσιάζουν τα ψηλότερα φορτία κατανάλωσης. Έτσι δεν χρειάζεται να γίνει μεταφορά ενέργειας σε μεγάλη απόσταση, που συνεπάγεται και μεγαλύτερο κόστος του συστήματος, λόγω μεγάλης διατομής καλωδίου για να την ελαχιστοποιήση των απωλειών λόγω μεταφοράς. Παρόλα αυτά θα πρέπει να καλυφτεί ένα μικρό φορτίο κατανάλωσης (φυλάκιο), που βρίσκεται στα 1200m από την προτεινόμενη περιοχή εγκατάστασης του συστήματος. Το φορτίο αυτό όμως είναι πολύ μικρότερο από τα υπόλοιπα δύο (δημοτική ταβέρνα, αλιευτικό καταφύγιο) που βρίσκονται σχεδόν δίπλα από το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα, οπότε το κόστος του καλωδίου είναι πολύ μικρότερο λόγω μικρότερης διατομής.
- Το δωμάτιο ελέγχου του συστήματος μπορεί να εγκατασταθεί στην δημοτική ταβέρνα, οπότε θα είναι και ευκολότερος ο έλεγχος του συστήματος.



Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας πτυχιακής μελέτης είναι να προσδιοριστεί η σύνθεση του κατάλληλου αυτόνομου ενεργειακού συστήματος, το οποίο να καλύπτει με τον οικονομικότερο τρόπο τις ενεργειακές ανάγκες της νήσου Χρυσής. Έτσι, στη διαδικασία υπολογισμού που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια προσδιοριστήκαν οι τιμές ονομαστικής ισχύος κάθε συνιστώσας του συστήματος (ΦΒ , ΑΓ , Η/Ζ κ.τ.λ.).

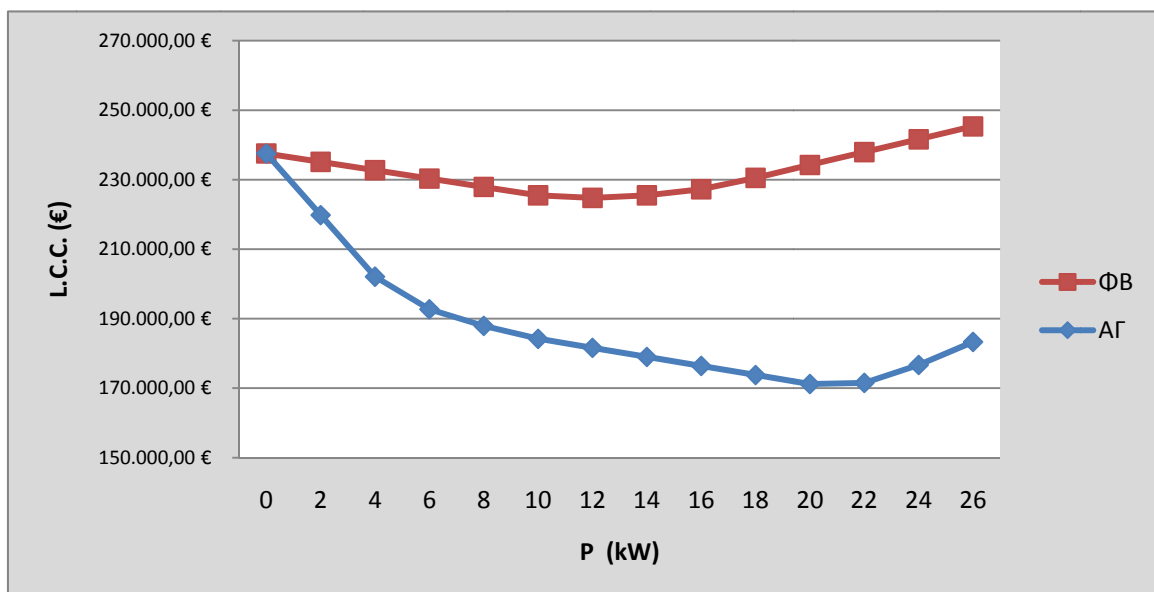
Ο βαθμός συμμετοχής κάθε συνιστώσας του συστήματος εξαρτάται απο:

- Το κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος κάθε πηγής
- Τα ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης.

Είναι λοιπόν προφανές ότι η σύνθεση του συστήματος εξαρτάται σημαντικά από την ενεργειακή απόδοση κάθε πηγής στον συγκεκριμένο τόπο.

Τα αποτελέσματα με βάση την οικονομικότερη διαστασιολόγησης του συστήματος έδειξαν ότι το υβριδικό σύστημα, όσο αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα αποτελείται μόνο από ανεμογεννήτριες που σε συνδυασμό με την μονάδα εφεδρείας (Η/Ζ) θα καλύπτουν τα φορτία κατανάλωσης του νησιού.

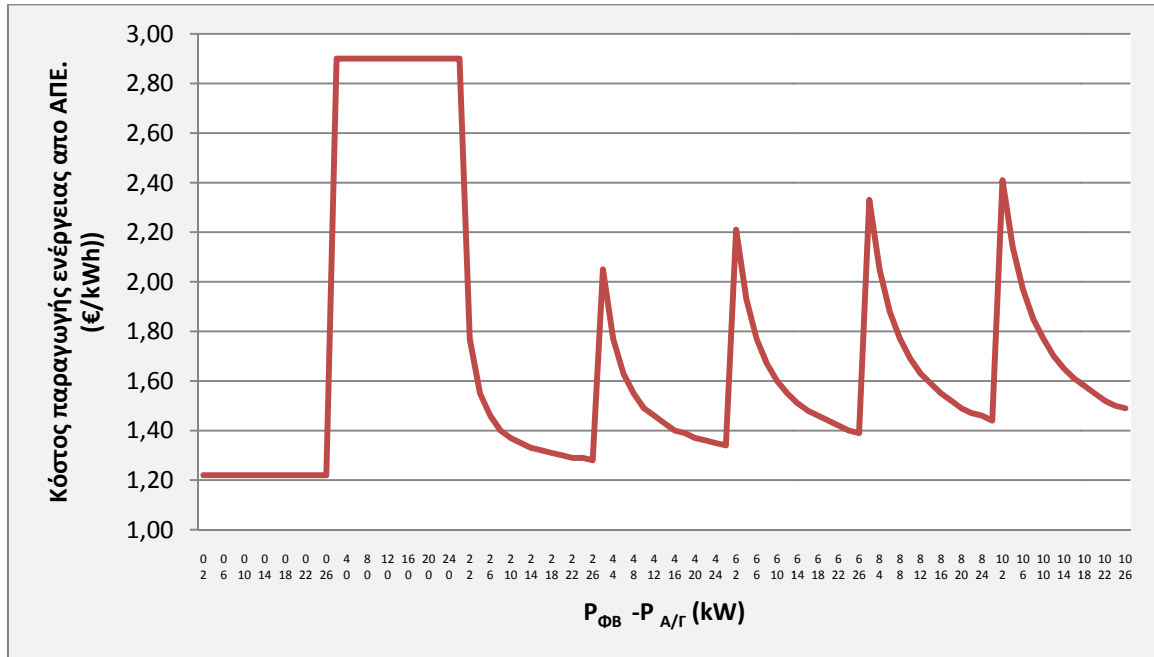
Η μη χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών, στο υβριδικό σύστημα, δικαιολογείται λόγω του υψηλού αρχικού κόστους αγοράς τους και της χαμηλής απόδοσης τους σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες. Στο σχήμα 4.6 απεικονίζεται η διακύμανση του κόστους κύκλου ζωής ανάλογα την συνολική ισχύ των ΑΓ και τον ΦΒ αντίστοιχα. Η διαφορά στο κόστους κύκλου ζωής είναι εμφανής.



Σχήμα 4.6: Μεταβολή του κόστους κύκλου ζωής ανάλογα την συνολική ισχύ της ΑΓ ή του ΦΒ



Στο σχήμα 4.7 παρατηρούμε ότι όσο περισσότερο διεισδύουν τα αιολικά πέφτει το κόστος της παραγόμενης ενέργειας από της μονάδες ΑΠΕ. Αυτό συμβαίνει λόγω του φθηνότερου κόστους ανα ΚW για τις ανεμογεννήτριες. Το κόστος της παραγόμενης ενέργειας από ΑΓ είναι 1,22 €/kWh ενώ των ΦΒ είναι 2,99 €/kWh



Σχήμα 4.6: Μέταβολή του κόστους παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ συναρτηση του συνδιασμού ισχύος ΑΓ και ΦΒ

Καθώς εμφανίζονται συνεχώς νέες συνθήκες και δεδομένα πάνω στα οποία βασίζεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις μέρες μας, το πεδίο της έρευνας γύρω από τα συστήματα αυτά διευρύνεται. Έτσι αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες και μέσα για την βελτίωση των χαρακτηριστικών τους, με αποτέλεσμα το επιστημονικό ενδιαφέρον γύρω από το πεδίο αυτό να παραμένει ανεξάντλητο.



Βιβλιογραφία

- [1] ΚΑΠΕ (2001), Οδηγός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ.
- [2] ΤΑΣΣΙΟΥ ΙΩΑΝΝΑ, Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π. (2005), επιβλέπων Καθ. Ν. Χατζηαργυρίου.
- [3] DIMITRIS AL. KATSAPRAKAKIS et al, Pumped storage systems introduction in isolated power production systems, Renewable Energy, Vol. 33 (2008): 467-490.
- [4] ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΟΣ, Στρατηγικές διαχείρισης υβριδικού σταθμού με ανεμογεννήτριες και συσσωρευτές σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, Ε.Μ.Π. (2008), επιβλέπων Επίκουρος Καθ. Σ. Παπαθανασίου.
- [5] HYDRO TASMANIA, King Island - Towards a sustainable renewable energy future.
- [6] S. DROUILHET, Overview of the high penetration wind-diesel system in Wales,
- [7] P. J. JORGENSEN et al, Samsø – a renewable energy island - 10 years of development and evaluation, 2007.
- [8] Ε. ΒΑΡΚΑΡΑΚΗ, Ε. ΖΟΥΛΙΑΣ, Ν. ΛΥΜΠΕΡΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ, Χ. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Ε. ΚΑΛΥΒΑΣ, Υλοποίηση και πρώτα αποτελέσματα από μονάδα παραγωγής υδρογόνου από αιολική ενέργεια.
- [9] J.K. KALDELLIS, D. ZAFIRAKIS, E. KONDILI, Optimum sizing of photovoltaic energy storage systems for autonomous small islands, Electrical Power and Energy
- [10] http://www.cres.gr/energy-saving/efarmoges_iliako_xorio.htm
- [11] «Φωτοβολταϊκά συστήματα», Ι.Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- [12] «Αιολικά Συστήματα» Δ.Χρηστάκης, Κ.Κονταξάκης, Β.Φασουλάς, Ηράκλειο 1999
- [13] «Διαχείριση της αιολικής ενέργειας» Ι. Καλδελλης Δρ. Μηχανολόγος μηχανικός
- [14] «Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις» Σταμάτης Δ.Πέρδιος Μηχανολόγος μηχανικός πολυτεχνείου Λαζάνης.
- [15] «Electricity supply on the island of dia based on renewable energy sources(R.E.S.)», Dimitris Al. Katsaprakakis, Nikos Papadakis, George Kozirakis, Giannis Minadakis, Dimitris Christakis, Konstadinos Kondaxakis.