

# ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ  
ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ  
ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ  
ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Τ.Ε.Ι ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΙΟΛΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ  
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ  
ΝΗΣΟ ΝΤΙΑ

Τ.Ε.Ι ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΝΤΙΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

Ηράκλειο, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη, η βελτιστοποίηση διαστασιολόγησης και η χωροθέτηση ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτροδότηση της νήσου Ντία, βασιζόμενο σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η Ντία είναι ένα μικρό νησί που βρίσκεται στο Κρητικό πέλαγος, 14 χλμ (περίπου 7.5 ναυτικά μίλια) βόρειο-ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου, με έκταση περίπου 6 km<sup>2</sup>.

Η συμβολή του Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας εστιάζει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί Ντία για τις ακόλουθες χρήσεις:

- τη κατασκευή ενός κατάλληλου συστήματος παροχής νερού για τη βαθμιαία αναδάσωση του νησιού (χρήση άρδευσης), για την πυροπροστασία και για το πόσιμο νερό.

- τη δημιουργία της ήπιας και φιλικής προς το περιβάλλον τουριστικής και κατοικημένης (για τη φύλαξη του νησιού) υποδομής στο νοτιοδυτικό μέρος του νησιού.

Ένα σύστημα παραγωγής ισχύος προτείνεται από το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ως βέλτιστη λύση για την ηλεκτροδότηση του νησιού Ντία. Το προτεινόμενο σύστημα εκμεταλλεύεται την άφθονη ανανεώσιμη δυνατότητα πηγών ενέργειας (R.E.S.) που είναι διαθέσιμη στο νησί.

# Περιεχόμενα

*Περίληψη* - 3 -

---

*Περιεχόμενα* - 4 -

---

*Πρόλογος* - 8 -

---

*ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1* - 9 -

---

*Εισαγωγή* - 9 -

---

*1.1. Ορισμός αυτόνομου ενεργειακού συστήματος* - 9 -

---

*1.2. Ανάλυση αυτόνομου υβριδικού συστήματος* - 10 -

---

*1.2.1. Οι μονάδες βάσης για το προτεινόμενο σύστημα στη νήσο Ντία* - 10 -

---

*1.3 Ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους (Α/Γ)* - 10 -

---

*1.3.1 Θόρυβος Α/Γ* - 12 -

---

*1.4 Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β)* - 14 -

---

*1.4.1 Μονοκρυστάλλικα κύτταρα Si* - 17 -

---

*1.4.2 Πολυκρυσταλλικά κύτταρα Si* - 18 -

---

*1.4.3 Άμορφα κύτταρα Si* - 19 -

---

*1.5 Οι μονάδες αποθήκευσης για το προτεινόμενο σύστημα στη νήσο Ντία* - 21 -

*1.6 Τύποι συσσωρευτών* - 22 -

---

---

*1.6.2 Μπαταρίες Νικελίου Καδμίου* - 27 -

---

---

*1.6.3 Μπαταρίες Νικελίου Υδριδίου Μετάλλου* - 29 -

---

---

*1.6.4 Μπαταρίες Νατρίου Θείου* - 30 -

---

---

*1.6.5 Μπαταρίες Τεχνολογίας Λιθίου* - 31 -

---

---

*1.6.6 Μπαταρίες Ροής* - 33 -

---

---

*1.7 Οι μονάδες εφεδρείας για το προτεινόμενο σύστημα στη νήσο Ντία* - 34 -

---

---

---

---

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

---

---

***ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ*** - 35 -

---

---

*2.1. Εισαγωγή* - 35 -

---

---

*2.2. Διείσδυση Α.Π.Ε.* - 36 -

---

---

*2.3 Νησί Utsira* - 38 -

---

---

*2.3.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία* - 39 -

---

---

*2.3.2. Περιγραφή συστήματος* - 39 -

---

---

*2.3.3. Λειτουργική Εμπειρία* - 43 -

---

---

*2.4. King Island* - 44 -

---

---

*2.4.1 Δημογραφικά - Γεωγραφικά στοιχεία* - 45 -

---

---

*2.4.2. Περιγραφή Συστήματος* - 45 -

2.4.3. Λειτουργική Εμπειρία - 48 -

---

---

2.5. Κοινότητα Wales, Alaska - 50 -

---

---

2.5.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία - 50 -

---

---

2.5.2. Περιγραφή συστήματος - 51 -

---

---

2.5.3. Λειτουργική εμπειρία - 54 -

---

---

2.6. Νησί Samsø - 55 -

---

---

2.6.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία - 55 -

---

---

2.6.2 Περιγραφή συστήματος – Λειτουργική εμπειρία - 56 -

---

---

2.7. Ηλιακό χωριό στην Πεύκη - 57 -

---

---

2.7.1. Παθητικά συστήματα - 57 -

---

---

2.7.2. Ενεργητικά συστήματα - 58 -

---

---

2.7.3. Αποτελέσματα - Αξιολόγηση - 58 -

---

---

2.8 Περιγραφή Υβριδικού Συστήματος Κύθνου. - 58 -

---

---

2.8.1 Εμπειρίες Λειτουργίας του Υβριδικού Συστήματος Κύθνου. - 58 -

---

---

2.9 Το Υβριδικό Σύστημα της Γαύδου. - 58 -

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

---

3.1.Εισαγωγή - 66 -

---

---

3.2.Ο στόχος του άρθρου - 68 -

---

---

3.3Απαιτούμενη ισχύ - 69 -

*3.3. Η διαθέσιμη R.E.S. στη νήσο Ντία.* - 73 -

---

---

*3.3.1. Η δυνατότητα του αέρα* - 73 -

---

---

*3.4.2. Η ηλιακή δυνατότητα* - 79 -

---

---

*3.5. Το ερευνημένο σύστημα παραγωγής ενέργειας* - 82 -

---

---

*3.6. Οι διαστάσεις του προτεινόμενου συστήματος* - 84 -

---

---

*3.6.1. Η υιοθετημένη μεθοδολογία υπολογισμού δαπανών κύκλων ζωής* - 84 -

---

---

*3.6.2. Η διαδικασία υπολογισμού* - 87 -

---

---

*3.7. Αποτελέσματα* - 94 -

---

---

*3.8 Προοπτική αφαλάτωσης* - 99 -

---

---

***ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ*** - 99 -

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα με τα μικρά αυτόνομα συστήματα . Ένα τέτοιο μικρό αυτόνομο σύστημα θα μελετηθεί πιο ειδικά για την νήσο Ντία.

Ελπίζω να είναι έστω και μια ελάχιστη συμβολή στην ενίσχυση και εξάπλωση των ΑΠΕ, ζήτημα πλέον καθοριστικής σημασίας για τη σχέση του ανθρώπου με το περιβάλλον.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Δημήτρη Κατσαπρακάκη , καθηγητή Τ.Ε.Ι ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ για την πολύτιμη βοήθεια, τις υποδείξεις, τις διορθώσεις και την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της εργασίας.



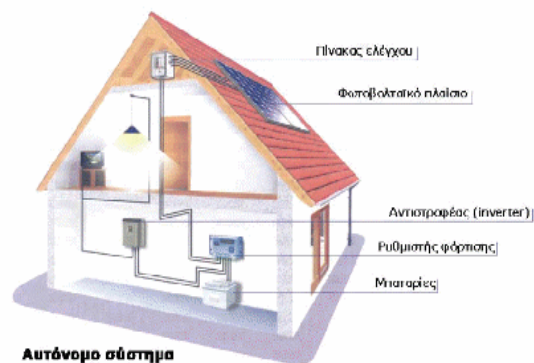
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 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:** 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 Ντία**

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

- i. ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους (Α/Γ)
- ii. 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 και έχουν ισχύ συνήθως πάνω από 700 kW. Στις μέρες 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 της 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.

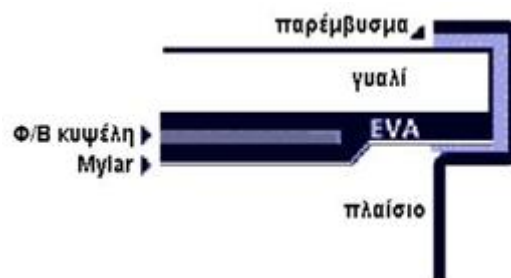


Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται 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 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.



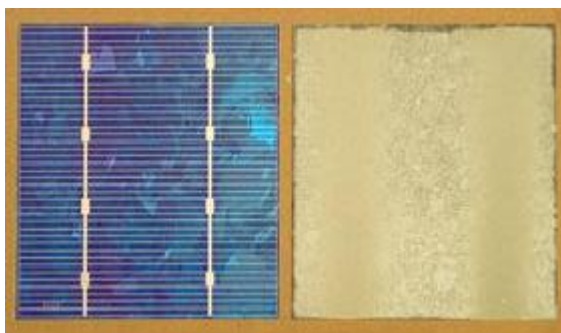


**Εικόνα 1:** Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατά τη συναρμολόγηση του πλαισίου.

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:

- Μονοκρυστάλλικα 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.

- 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.

- 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:

- μέση ηλιακή ακτινοβολία  $1 \text{ kW/m}^2$

- φασματική κατανομή AM 1,5
- 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 ( $W_{peak}$ ).

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 Οι μονάδες αποθήκευσης για το προτεινόμενο σύστημα στη νήσο Ντία**

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:

- a) Μπαταρίες Μολύβδου Οξέως
- b) Μπαταρίες Νικελίου Καδμίου
- c) Μπαταρίες Νικελίου Υδριδίου Μετάλλου
- d) Μπαταρίες Νατρίου Θείου
- e) Μπαταρίες Τεχνολογίας Λιθίου.
- f) Μπαταρίες Ροής

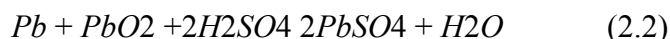
### 1.6.1 Μπαταρίες Μολύβδου Οξέως



*Εικόνα 1: Συσσωρευτές μολύβδου οξέως.*

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως (lead – acid), που εφευρέθηκαν το 1859, αποτελούν την παλαιότερη και πιο διαδεδομένη μορφή επαναφορτιζόμενων ηλεκτροχημικών συσκευών.

Έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε αυτόνομα υβριδικά συστήματα και αποτελούν πλέον ώριμη τεχνολογία. Στην κατάσταση πλήρους φόρτισης αποτελούνται από ένα ηλεκτρόδιο μολύβδου (άνοδος) και ένα ηλεκτρόδιο διοξειδίου του μολύβδου (κάθοδος) βυθισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη με περιεκτικότητα περίπου 37% σε θειικό οξύ. Σε κατάσταση πλήρους εκφόρτισης και τα δύο ηλεκτρόδια αποτελούνται από θειικό μόλυβδο, η τάση στα άκρα του στοιχείου μηδενίζεται και ο ηλεκτρολύτης δεν περιέχει πλέον θειικό οξύ και ουσιαστικά μετατρέπεται σε νερό. Οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την εκφόρτιση και την φόρτιση είναι [3, 7, 15]:



Ανάλογα με τον τύπο της ανόδου οι μπαταρίες διακρίνονται σε τύπου Manhex, σωληνωτού τύπου και τύπου λεπτής επίπεδης πλάκας. Η ονομαστική τάση κάθε κελιού είναι περίπου 2Volt [15]. Με κριτήριο τη λειτουργία, οι δύο κύριοι τύποι μπαταριών μολύβδου οξέως είναι οι flooded batteries και οι VRLA. Στις πρώτες ο ηλεκτρολύτης είναι σε υγρή μορφή και απαιτείται συστηματική προσθήκη αποσταγμένου νερού για σωστή λειτουργία. Σε περίπτωση υπερφόρτισης παρατηρείται υπερβολική ηλεκτρόλυση του νερού με ταυτόχρονη εκπομπή υδρογόνου και οξυγόνου από κάθε κελί, αέρια που συνιστούν ένα εκρηκτικό μίγμα. Για αυτό το λόγο απαιτείται η παρουσία μηχανισμού που σταματά τη διαδικασία φόρτισης όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη (trickle charge) [16]. Οι μπαταρίες VRLA διαφέρουν στο ότι σφραγίζονται με μία βαλβίδα ελέγχου

της πίεσης και στο ότι ο ηλεκτρολύτης είναι ακινητοποιημένος σε μορφή gel ή σε απορροφητικό γυαλί (absorbent glass mat). Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των τελευταίων είναι η δραματική μείωση της απαιτούμενης συντήρησης, η μη εκπομπή όξινων αερίων, το μικρότερο βάρος και η πιο εύκολη τοποθέτηση, ενώ μειονέκτημα αποτελεί το μεγαλύτερο κόστος [4, 16 ,17].

Η βασικότερη αιτία της τόσο ευρείας διάδοσης των μπαταριών μολύβδου οξέως είναι το μικρό κόστος τους συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες μπαταριών (\$200 – 400 ανά kWh), σε συνδυασμό με την εμπορική διαθεσιμότητα, αλλά και η πολυετής συσσωρευμένη λειτουργική εμπειρία. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλούς βαθμούς απόδοσης (roundtrip efficiency) της τάξης του 70 - 90%, καθώς και από υψηλή αξιοπιστία [3]. Η εμπειρία έχει δείξει ότι ο ρυθμός αστοχίας των μπαταριών μολύβδου οξέως είναι μικρότερος από 0,25% [5]. Επίσης, πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι οι μικροί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης που παρουσιάζει και η εξαιρετική συμπεριφορά στην παροχή βηματικής τάσης. Για τον τελευταίο λόγο οι μπαταρίες αυτές μπορούν να παρακολουθήσουν αποτελεσματικά τις γρήγορες αλλαγές του φορτίου, ιδιότητα που τις καθιστά κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος, UPS, διατήρησης στρεφόμενης εφεδρείας και για powerbridging σε υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν ΑΠΕ. Από την άλλη μεριά, οι εφαρμογές τους για διαχείριση ενέργειας μεγάλης κλίμακας είναι πολύ περιορισμένες εξαιτίας της μικρής διάρκειας ζωής τους και της χαμηλής ειδικής ενέργειας, που εν γένει κυμαίνεται μεταξύ 25 και 50 Wh/kg. Επιπρόσθετα αρνητικά χαρακτηριστικά αποτελούν η μειωμένη απόδοση σε πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές θερμοκρασίες (σύνθετες θερμοκρασιακό εύρος -20 °C έως 50 °C ), η χρήση μη φιλικών προς το περιβάλλον υλικών, η ανάγκη για συχνή αναπλήρωση νερού και το συνιστώμενο μικρό βάθος εκφόρτισης. Παρόλα αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί σε μερικές εμπορικές εφαρμογές διαχείρισης ενέργειας μεγάλης κλίμακας όπως στα BEWAG, Iberdrola, PREPA, Chino [4,3]. Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι μπαταρίες μολύβδου οξέως είναι ελκυστικές ως διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας για εφαρμογές ισχύος 100 kW έως 10 MW [7].

Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι:

- Οι συσσωρευτές μολύβδουαντιμονίου (PbSb),
- Οι συσσωρευτές μολύβδουασβεστίου (PbCa) οι οποίοι χωρίζονται σε υγρού καταλύτη με ανοικτή ή με σφραγισμένη βαλβίδα εξαέρωσης,
- Οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδουαντιμονίου / μολύβδουασβεστίου,



- Οι μολύβδου με δεσμευμένο καταλύτη που μπορεί να είναι ή absorbed glass material.

Για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου οι ανάγκες κατανάλωσης πολύ σπάνια συμβαδίζουν με τις ώρες παραγωγής και την παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερο κατάλληλοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν τη δυνατότητα να υποστούν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να αλλοιώνεται η χωρητικότητα τους και να μειώνεται η διάρκεια ζωής. Αναλόγως του φορτίου, άλλοτε είναι απαραίτητη η δυνατότητα παροχής εντόνου ρεύματος για μικρά χρονικά διαστήματα και άλλοτε η παροχή μίας κανονικής τιμής ρεύματος για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συχνά οι απαιτήσεις του φορτίου σε κατανάλωση δεν είναι τόσο μεγάλες όσο η ανάγκη η κατανάλωση να παρέχεται με αξιοπιστία και για μεγάλες χρονικές περιόδους και άλλες φορές ο τόπος της εγκατάστασης είναι τόσο δυσπρόσιτος που προτιμώνται συσσωρευτές με μικρές ανάγκες συντήρησης και επίβλεψης. Ιδιαίτερα για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μία καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής. Για ένα τέτοιο σύστημα, καλή επιλογή θα αποτελούσε ένας συσσωρευτής μολύβδουαντιμονίου (PbS). Αυτοί είναι συσσωρευτές με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, όσο αφορά τις δυνατότητες βαθιάς εκφόρτισης και υψηλού ρυθμού εκφόρτισης. Έχουν, επίσης, μεγάλη διάρκεια ζωής και υφίστανται μικρή διάχυση των ενεργών υλικών τους. Μειονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός αυτοεκφόρτισης που υφίστανται και που οδηγεί στην ανάγκη να υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια υγρών που εξαρτάται και από τις θερμοκρασίες λειτουργίας. Είναι συνήθως συσσωρευτές υγρού ηλεκτρολύτη, με ανοικτή βαλβίδα εξαερισμού και για τον λόγο αυτό απαιτείται συχνή αναπλήρωση των υγρών. Η κατάσταση τους μπορεί εύκολα να ελεγχθεί μετρώντας την ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη

Πολύ δημοφιλής επιλογή για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte LeadAcid Batteries), λόγω της στεγανότητας τους και της ευκολίας μετακίνησης που παρουσιάζουν. Έχουν βαλβίδα εξαέρωσης, που ανοίγει σε ορισμένη πίεση όταν υπερφορτιστούν, για να απελευθερωθούν τα αέρια που δημιουργήθηκαν όμως, δεν υπάρχει δυνατότητα αναπλήρωσης του ηλεκτρολύτη. Το γεγονός ότι δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης (ούτε και δυνατότητα), σε συνδυασμό με την ευκολία στη μετακίνηση, τις καθιστά ιδανικές για συστήματα σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα μέρη. Εκτός από το πρόβλημα της υπερφόρτισης, η απώλεια ηλεκτρολύτη μπορεί να επιταχυνθεί λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα της αναπλήρωσης του, ειδικά μέτρα πρέπει να

ληφθούν. Είναι δυνατόν να γίνει θερμοκρασιακή αντιστάθμιση και ρύθμιση ακριβείας ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτιση και η υπερβολική εκφόρτιση και μέσω του περιορισμού του φορτίου να αποφευχθεί ο μεγάλος ρυθμός εκφόρτισης. Έτσι μειώνεται σημαντικά η απώλεια ηλεκτρολύτη και αυξάνεται αντιστοίχως η διάρκεια ζωής. Μέσω του αλγορίθμου φόρτισης αντιμετωπίζεται η ευαισθησία που παρουσιάζουν οι συσσωρευτές αυτοί στη διαδικασία φόρτισης. Οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη δεν αντιμετωπίζουν τόσο μεγάλο πρόβλημα μείωσης χωρητικότητας σε ψυχρότερο περιβάλλον όσο αυτοί του υγρού ηλεκτρολύτη, παρέχονται σε δύο τύπους (electrolyte, ) και πάνω από τα μισά απομακρυσμένα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα τους χρησιμοποιούν.



**Εικόνα 2:** Συσσωρευτές OPZS

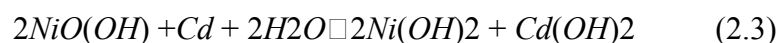
Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι εκτός από τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των ηλεκτροδίων, άλλα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, όπως ο τρόπος κατασκευής τους ή οι σχετικές διαστάσεις, ο αριθμός και η γεωμετρία των πλακών τους, μπορούν να τους κατατάξουν σε ειδικότερες κατηγορίες. Για παράδειγμα, συσσωρευτές μολύβδου με θετικές πλάκες μεγαλύτερης επιφάνειας από αυτή των αρνητικών, αναφέρονται με το συνοδευτικό σύμβολο , ενώ για οπλισμένα θετικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται το συνοδευτικό OpzS, το οποίο είναι και η περίπτωση του φωτοβολταϊκού που χρησιμοποιούμε. Έτσι, το συνοδευτικό 5OpzS, υποδεικνύει κυψελίδα με 5 θετικές πλάκες, τύπου OpzS.



Εικόνα 3: Συσσωρευτές OPZS

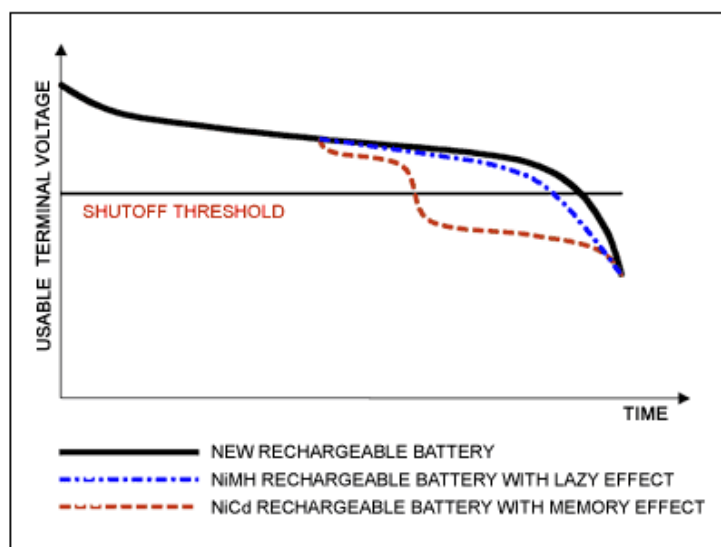
### 1.6.2 Μπαταρίες Νικελίου Καδμίου

Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου (NiCd) κατατάσσονται μαζί με τις μολύβδου οξέως από άποψη δημοτικότητας και τεχνολογικής ωριμότητας, αφού χρησιμοποιούνται για περίπου εκατό χρόνια. Τα κελιά αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, ηλεκτρολύτη με υδροξείδιο του καλίου και ένα διαχωριστή, ενώ συνήθως περικλείονται σε μεταλλική θήκη που σφραγίζεται με μία πλάκα εφοδιασμένη με βαλβίδα ασφαλείας. Το θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο απομονωμένα το ένα από το άλλο μέσω του διαχωριστή τυλίγονται σε σπирάλ σχήμα μέσα στη θήκη. Σε κατάσταση πλήρους φόρτισης το θετικό ηλεκτρόδιο περιέχει υδροξείδιο του νικελίου και το αρνητικό κάδμιο. Η ονομαστική τάση εκφόρτισης του κελιού είναι 1,2 Volt σε ρυθμό εκφόρτισης 0,2C και ελαττώνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας. Η συνολική χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι (με φορά προς τα δεξιά η εκφόρτιση) [3,18,19]:



Συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου οξέως, οι νικελίου καδμίου έχουν μεγαλύτερες τιμές ειδικής ενέργειας (50-75 Wh/kg), μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (2000 – 2500 κύκλοι), υποστηρίζουν υψηλότερους ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης, αλλά έχουν μικρότερη απόδοση (60 – 75%) είναι και πιο ακριβές [4,3,19]. Επιπλέον πλεονεκτήματα τους αποτελούν η αυξημένη αξιοπιστία και οι πολύ μικρές ανάγκες συντήρησης, η δυνατότητα βαθιάς εκφόρτισης και η εξαιρετική παροχή βηματικής τάσης. Για τους λόγους αυτούς είναι γενικά κατάλληλες για φορητές συσκευές, φωτισμό έκτακτης ανάγκης, UPS και εκκίνηση κινητήρων. Ωστόσο, σήμερα οι φορητές συσκευές όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές χρησιμοποιούν άλλες τεχνολογίες ηλεκτροχημικής αποθήκευσης [3,17]. Η τεχνολογία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί και σε εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής.

Έχουν εγκατασταθεί υβριδικά συστήματα που διαθέτουν μπαταρίες νικελίου καδμίου ως διατάξεις αποθήκευσης, όπως το υβριδικό σύστημα στο Wales της Αλάσκας [20,21]. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερης ισχύος σύστημα ηλεκτροχημικής αποθήκευσης παγκοσμίως έχει εγκατασταθεί στο Golden Valley της Αλάσκας και χρησιμοποιεί μπαταρίες NiCd. Αποτελείται από τέσσερις συστοιχίες μπαταριών με 3440 κελιά η καθεμία και έχει ικανότητα απόδοσης ισχύος 40 MW για 7 min ή 27MW για 15 min. [22,23]. Το βασικό μειονέκτημα τους είναι το σχετικά υψηλό κόστος (\$1000/kWh) εξαιτίας της ακριβής κατασκευαστικής διαδικασίας. Επιπλέον, το κάδμιο είναι ένα βαρύ τοξικό μέταλλο που εισάγει προβλήματα διάθεσης και ανακύκλωσης των μπαταριών νικελίου καδμίου [3,4,19]. Αρνητικό χαρακτηριστικό αποτελεί και το φαινόμενο μνήμης (memory effect – Σχ. 2.3), σύμφωνα με το οποίο όταν μία μπαταρία NiCd φορτίζεται και εκφορτίζεται εκατοντάδες φορές σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας, τείνει να το «θυμάται» και τελικά μπορεί να εκφορτιστεί αποτελεσματικά μόνο μέχρι το ποσοστό αυτό. Στην πραγματικότητα, στο σημείο που άρχιζε η επαναφόρτιση παρατηρείται μία δραματική μείωση της τάσης της μπαταρίας, σαν να ήταν πλήρως εκφορτισμένη, ενώ πρωτογενώς η χωρητικότητα δεν μειώνεται σημαντικά. Ωστόσο, εάν το σύστημα που ηλεκτροδοτείται από την μπαταρία δε μπορεί να λειτουργήσει κατά τη διάρκεια της χαμηλής τιμής της τάσης, είναι αδύνατο να αξιοποιήσει όλη την αποθηκευμένη ενέργεια, οπότε πρακτικά η μπαταρία εμφανίζει μειωμένη χωρητικότητα. Αν παρατηρηθεί το memory effect, μπορεί να εξαλειφθεί μετά από μια σειρά πλήρων εκφορτίσεων της μπαταρίας.

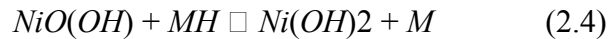


Σχ. 2.3 Σύγκριση του memory effect στους συσσωρευτές NiCd και του lazy effect στους

συσσωρευτές NiMH. Shutoff threshold είναι το ελάχιστο όριο τάσης για να μπορεί να αποδώσει ισχύ ο συσσωρευτής.

### 1.6.3 Μπαταρίες Νικελίου Υδριδίου Μετάλλου

Οι μπαταρίες υδριδίου μετάλλου (NiMH) αποτελούν επέκταση της τεχνολογίας που εφαρμοζόταν στις μπαταρίες νικελίου καδμίου με την κύρια διαφορά να εντοπίζεται στην πλάκα της ανόδου που κατασκευάζεται από υδρίδιο ενός μετάλλου M. Οι συνολικές ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την εκφόρτιση (προς τα δεξιά) και κατά τη φόρτιση (προς τα αριστερά) είναι [24]:

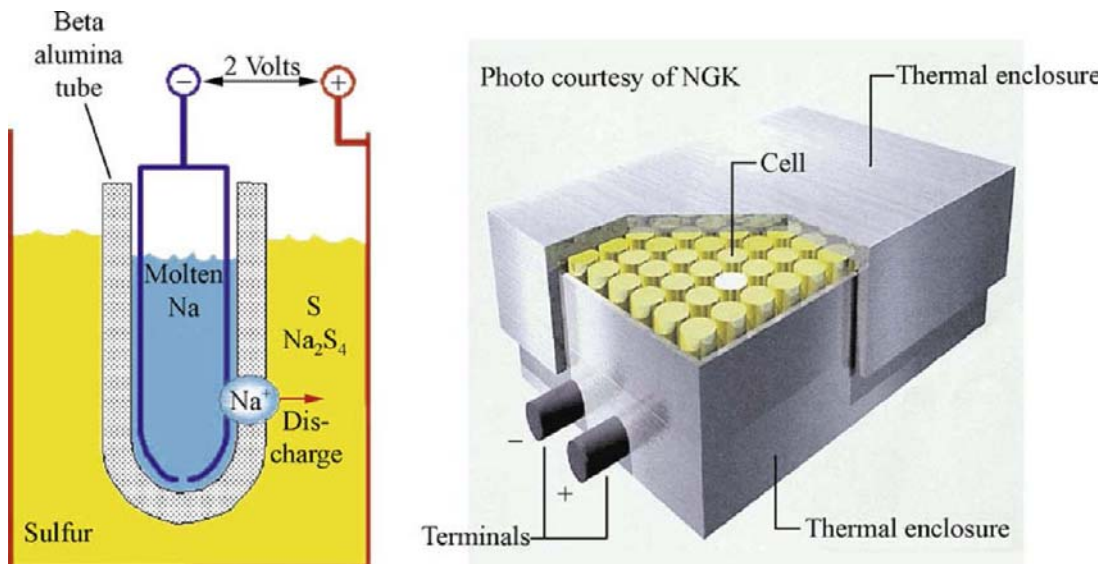
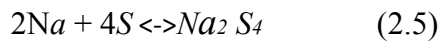


Η χρήση υδριδίου του μετάλλου αντί για κάδμιο εκμηδενίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μπαταριών NiCd, ενώ παράλληλα περιορίζεται η επίδραση του φαινομένου μνήμης, το οποίο εδώ αποκαλείται lazy effect [15]. Υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμες μπαταρίες που παρουσιάζουν διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 1000 κύκλους εκφόρτισης σε βάθος 80%. Η ειδική ενέργεια των μπαταριών NiMH είναι εν γένει 30 – 50% μεγαλύτερη από των μπαταριών NiCd, με μία αντιπροσωπευτική τιμή 70 Wh/kg [24]. Το σημαντικότερο μειονέκτημα έναντι της τεχνολογίας NiCd είναι τα υψηλότερα ποσοστά αυτοεκφόρτισης που κυμαίνεται μεταξύ 5 – 10% την πρώτη μέρα και σταθεροποιείται περίπου σε 0,5 – 1% την ημέρα σε θερμοκρασία δωματίου [19]. Επιπλέον μειονεκτήματα είναι η χαμηλή αποδοτικότητα των κελίων τους, ο σχετικά χαμηλός βαθμός αξιοπιστίας, η υψηλή θερμοκρασία που δημιουργείται κατά την φόρτιση και το υψηλό τους κόστος, το οποίο όμως αναμένεται να μειωθεί δραματικά στο μέλλον [4, 15].

Η τεχνολογία NiMH έχει φτάσει σε μεγάλο βαθμό ωριμότητας για μία ποικιλία εμπορικών εφαρμογών μεταξύ των οποίων εφαρμογές μικρής ισχύος όπως κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές και εργαλεία με κινητήρα, μέχρι εφαρμογές μεγάλης ισχύος όπως αεροδιαστημικές εφαρμογές και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Ακόμα, μέχρι σήμερα έχουν υλοποιηθεί επιτυχώς μερικά αποθηκευτικά συστήματα μεγάλης κλίμακας με τεχνολογία NiMH για σταθερά συστήματα εφεδρείας ηλεκτρικής ισχύος και εφαρμογές διεσπαρμένης παραγωγής. Παράλληλα, γίνονται δοκιμαστικές εφαρμογές της τεχνολογίας ως αποθηκευτικό μέσο σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, ως εφεδρεία σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, καθώς και σε συστήματα κάλυψης αιχμής (peak shaving) [24].

### 1.6.4 Μπαταρίες Νατρίου Θείου

Οι μπαταρίες νατρίου – θείου (NaS) αποτελούν μία νέα τεχνολογία αποθήκευσης που προς το παρόν καταλαμβάνει ένα σχετικά μικρό μερίδιο της αγοράς, αλλά εκτιμάται ότι στο μέλλον θα γίνει εξαιρετικά δημοφιλής [25]. Κατασκευαστικά περιλαμβάνουν ένα θετικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο με ενεργά στοιχεία τηγμένο θείο και τηγμένο νάτριο αντίστοιχα, τα οποία διαχωρίζονται από έναν στερεό κεραμικό ηλεκτρολύτη από β-οξειδίου του αργιλίου (solid beta alumina ceramic electrolyte), ο οποίος επιτρέπει μόνο στα θετικά ιόντα νατρίου να περάσουν διαμέσου αυτού (Σχ. 2.4). Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης ενός κελιού, το νάτριο δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα παρέχοντας τάση περίπου 2 Volt, ενώ τα κατιόντα νατρίου που προκύπτουν μετακινούνται μέσω του ηλεκτρολύτη προς το ηλεκτρόδιο τηγμένου θείου σχηματίζοντας πολυθειούχο νάτριο. Αυτή η διαδικασία είναι αντιστρέψιμη, καθώς κατά τη φόρτιση το εξωτερικό ρεύμα αναγκάζει το πολυθειούχο νάτριο να ελευθερώσει το κατιόν νατρίου στον ηλεκτρολύτη, ώστε να γίνει πάλι στοιχειακό νάτριο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο [3,25]. Η συνολική χημική αντίδραση που πραγματοποιείται είναι (προς τα δεξιά η εκφόρτιση):



Σχ.2.4 Η δομή μίας μπαταρίας NaS [3].

Στα θετικά της τεχνολογίας συμπεριλαμβάνονται οι μεγάλες τιμές πυκνότητα ενέργειας και ισχύος που κυμαίνονται μεταξύ 100-240 Wh/kg και 150-230 W/kg αντίστοιχα. Η τυπική διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 2500 κύκλοι, χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (75- 90%) και από ικανότητα παροχής βηματικής ισχύος για 30 sec πάνω από έξι φορές μεγαλύτερη από την συνεχή ονομαστική ικανότητα. Η τελευταία ιδιότητα καθιστά κατάλληλες και οικονομικές τις μπαταρίες NaS σε εφαρμογές που συνδυάζουν ποιότητα ισχύος και κάλυψη φορτίου [3]. Ακόμα, εξαιτίας της ύπαρξης του κεραμικού ηλεκτρολύτη που χαρακτηρίζεται από μηδενική αγωγιμότητα ηλεκτρονίων, εξαλείφεται το φαινόμενο της αυτοεκφόρτισης. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιούν υλικά φιλικά προς το περιβάλλον, το κόστος τους θεωρείται σχετικά χαμηλό (\$350/kWh), οι ανάγκες συντήρησης ασήμαντες και η περίοδος λειτουργίας πολύ ικανοποιητική [7,25]. Από την άλλη μεριά, σημαντικό μειονέκτημα της τεχνολογίας αποτελεί η μη καταλληλότητα της για συγκεκριμένες εφαρμογές, δεδομένης της ανάγκης να διατηρείται η θερμοκρασία λειτουργίας τους σε υψηλά επίπεδα (μεταξύ 300 °C και 350 °C), ώστε να είναι δυνατή η πραγματοποίηση του ηλεκτροχημικού φαινομένου [7]. Σε γενικές γραμμές οι μπαταρίες NaS είναι περισσότερο κατάλληλες για σταθερές εφαρμογές μεγάλης ισχύος και μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί για κάλυψη φορτίου (load leveling), peak shaving, παροχή έκτακτης ισχύος, UPS, βελτίωση ποιότητας ισχύος σε βιομηχανικές μονάδες και υποβοήθηση μονάδων ΑΠΕ [26]. Στην Ιαπωνία μόνο, έχουν γίνει έργα επίδειξης σε πάνω από 30 εγκαταστάσεις με συνολική ονομαστική ισχύ 20 MW και αποθηκευμένη ενέργεια κατάλληλη για κάλυψη φορτίου για 8 ώρες καθημερινά. Παραδείγματα αποτελούν η μονάδα 6 MW/8h στην επιχείρηση ηλεκτρικής ισχύος του Τόκυο και η μονάδα 8 MW/7,25 h στο εργοστάσιο της Hitachi. Η μεγαλύτερης ισχύος εγκατάσταση μπαταριών NaS είναι 34MW/245MWh για σταθεροποίηση της ισχύος εξόδου αιολικού πάρκου 51 MW στη βόρεια Ιαπωνία [3,26,27,28]. Το 2002 στις ΗΠΑ ξεκίνησε η πρώτη επίδειξη συστήματος NaS στο Ohio με χωρητικότητα 7,2 MWh και δυνατότητα απόδοσης ισχύος έως 1,2 MW [26,3]. Επίσης στην Ιαπωνία, το 2001 ο οργανισμός NEDO ανέπτυξε ένα υβριδικό σύστημα αποτελούμενο από μία Α/Γ ισχύος 500 kW και σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες NaS ισχύος 400 kW, με βασικό στόχο την σταθεροποίηση των διαταραχών μικρής και μεγάλης διάρκειας της ισχύος εξόδου αλλά και την ενίσχυση της αξιοπιστίας [26].

### 1.6.5 Μπαταρίες Τεχνολογίας Λιθίου.

Οι μπαταρίες που βασίζονται στο λίθιο συνιστούν μία σχετικά νέα τεχνολογία η οποία σήμερα εφαρμόζεται κυρίως σε φορητές συσκευές, αλλά στο σύντομο μέλλον αναμένεται η χρήση τους σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα. Η τεχνολογία περιλαμβάνει δύο κύριους τύπους μπαταριών: τις



ιόντων λιθίου (**Li-ion**) και τις λιθίου πολυμερούς (**Li-poly**). Στις πρώτες, η κάθοδος κατασκευάζεται από μεταλλικό οξείδιο λιθίου που συνήθως είναι LiCoO<sub>2</sub>, LiMO<sub>2</sub> ή LiNiO<sub>2</sub>, η άνοδος από γραφίτικο άνθρακα με δομή στοιβάδας, ενώ ο ηλεκτρολύτης από τη διάλυση αλάτων λιθίου (όπως το LiPF<sub>6</sub>) σε οργανικούς ανθρακικούς διαλύτες. Κατά τη φάση της φόρτισης, τα άτομα λιθίου στην κάθοδο μετατρέπονται σε ιόντα και μετακινούνται διαμέσου του ηλεκτρολύτη προς την άνοδο, όπου συνδυάζονται με ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και τοποθετούνται ως άτομα λιθίου μεταξύ των ανθρακικών στοιβάδων. Αυτή η διαδικασία αντιστρέφεται κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης[3,25]. Η σημαντικότερη διαφορά των μπαταριών Li-poly είναι ότι ο διαλύτης είναι από στερεό πολυμερές και χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και ως διαχωριστής [29]. Το βασικότερο πλεονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι οι πολύ υψηλές τιμές ειδικής ενέργειας που κυμαίνονται μεταξύ 80 – 150 Wh/kg για τις μπαταρίες Li-ion και 100 – 150 Wh/kg για τις Li-poly, καθώς και οι πολύ μεγάλοι βαθμοί απόδοσης που μπορεί να αγγίξουν και το 100% [25]. Πιο συγκεκριμένα, οι μπαταρίες Li-ion εμφανίζουν αξιοσημείωτη διάρκεια ζωής συνδυασμένη με αρκετά βαθιές εκφορτίσεις, καθώς 3000 κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης με βάθη εκφόρτισης 80% αποτελούν τυπικές τιμές. Επιπρόσθετα πλεονεκτήματα αποτελούν ο χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης (<5% ανά μήνα), η μικρή ανάγκη για συντήρηση και η ικανότητα παροχής ρευμάτων πολύ υψηλής τιμής [7,28]. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής τους επηρεάζεται αρνητικά σε μεγάλο βαθμό από τις υψηλές θερμοκρασίες, ενώ μπορεί να μειωθεί δραστικά σε περίπτωση υπερβολικά βαθιάς εκφόρτισης, γεγονός που τις καθιστά ακατάλληλες για εφαρμογές εφεδρείας. Επιπλέον αρνητικά στοιχεία αποτελούν ο περιορισμένος ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης για λόγους αποφυγής δημιουργίας metallic lithium plating και η μεγάλη ευαισθησία σε περίπτωση υπερφόρτισης [25]. Οι μπαταρίες Lipoly πλεονεκτούν έναντι των Li-ion από άποψη βάρους και ασφάλειας, καθώς σε αντίθεση με τις τελευταίες δεν εμφανίζουν κίνδυνο αυτανάφλεξης. Από την άλλη μεριά, το σημαντικότερο πρόβλημα που παρουσιάζουν είναι η περιορισμένη διάρκεια ζωής (περίπου 600 κύκλοι) και το πιο στενό θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας σε σχέση με τις μπαταρίες Li-ion [25]. Κοινό πλεονέκτημα και των δύο τεχνολογιών είναι ότι η ονομαστική τάση του κελιού είναι 3,7 Volt, δηλαδή μεγαλύτερη από τις άλλες τεχνολογίες. Για αυτό το λόγο απαιτείται η σύνδεση μικρότερου αριθμού κελιών σε σειρά ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο τάσης, οδηγώντας ίσως έτσι σε μικρότερο τελικό κόστος κατασκευής [15]. Αντίθετα, σημαντικό κοινό μειονέκτημα συνιστά ο μικρότερος βαθμός αξιοπιστίας συγκριτικά με τις συμβατικές τεχνολογίες μολύβδου οξέως και νικελίου καδμίου. Σήμερα, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου καλύπτουν το 50% της αγοράς των μικρών φορητών συσκευών αν και υπάρχουν προκλήσεις για την επέκτασή τους σε εφαρμογές μεγάλης ισχύος. Το μεγαλύτερο εμπόδιο είναι το μεγάλο κόστος εξαιτίας της ακριβής παραγωγής και συσκευασίας, καθώς και της παρουσίας ειδικών κυκλωμάτων προστασίας από υπερφόρτιση [3,25]. Σήμερα η



έρευνα στις μπαταρίες τεχνολογίας λιθίου επικεντρώνεται κυρίως στη μείωση του κόστους που κυμαίνεται γενικά μεταξύ \$900 - \$1300/kWh με τη χρήση φθηνότερων υλικών, την αύξηση της διάρκειας ζωής και τη μείωση του κινδύνου αυτανάφλεξης στην περίπτωση της τεχνολογίας Li-ion [3,25]. Αρκετές εταιρίες προσπαθούν να μειώσουν το κόστος παραγωγής των μπαταριών Li-ion με σκοπό την επέκτασή τους στην αγορά μεγάλης κλίμακας ισχύος και προς αυτήν την κατεύθυνση έχουν παραχθεί μοντέλα επίδειξης ισχύος 3 kW. Το υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ έχει χρηματοδοτήσει ένα έργο των εταιριών SAFT και SatCon για τη σχεδίαση και την κατασκευή συστήματος αποθήκευσης αποτελούμενου από μία μπαταρία Li-ion ικανότητας παροχής ισχύος 100 kW για ένα λεπτό, για χρήση παροχής ποιότητας ισχύος για διασυνδεδεμένες μικροτουρμπίνες [3].

### 1.6.6 Μπαταρίες Ροής

Οι μπαταρίες ροής οξειδοαναγωγής (redox flow batteries), ή πιο απλά μπαταρίες ροής, συνιστούν μία σχετικά νέα τεχνολογία ηλεκτροχημικής αποθήκευσης με δυνατότητα επαναφόρτισης. Σε γενικές γραμμές, αποτελούνται από έναν αριθμό ηλεκτροχημικών κυψελών, δύο ηλεκτρολύτες και δύο δεξαμενές για την αποθήκευσή τους. Κάθε κυψέλη περιλαμβάνει δύο διαμερίσματα, την άνοδο και την κάθοδο, που χωρίζονται από μία μεμβράνη ανταλλαγής ιόντων και είναι ένα για κάθε ηλεκτρολύτη. Με τη βοήθεια αντλιών οι δύο ηλεκτρολύτες κυκλοφορούν διαμέσου των κυψελών και καθώς περνάνε από τη μεμβράνη ο ένας ηλεκτρολύτης οξειδώνεται και ο άλλος ανάγεται, με αποτέλεσμα την παραγωγή ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα. Με αυτόν τον τρόπο η αποθηκευμένη χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική κατά τη φάση της εκφόρτισης. Η χρήση των αντλιών έχει σαν συνέπεια κάποιες παρασιτικές απώλειες στη διάταξη, αλλά παράλληλα συνεισφέρει στη διατήρηση της θερμοκρασίας σε επιθυμητά επίπεδα [7,31]. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μπαταρίες, οι μπαταρίες ροής αποθηκεύουν ενέργεια στο διάλυμα του ηλεκτρολύτη και επιπλέον η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας είναι ανεξάρτητη από την ικανότητα παροχής ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, η χωρητικότητα αποθήκευσης καθορίζεται από την ποσότητα του διαθέσιμου ηλεκτρολύτη και το μέγεθος των δεξαμενών, ενώ η ικανότητα απόδοσης ισχύος εξαρτάται από το ενεργό εμβαδό της στοιβάς των κυψελών. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μπαταρίες ροής διαφέρουν από τις κυψέλες καυσίμου, αφού στις τελευταίες μόνο τα ηλεκτρικά ενεργά χημικά στοιχεία (υδρογόνο, μεθανόλη, οξυγόνο) ρέουν διαμέσου της κυψέλης, ενώ ο ηλεκτρολύτης παραμένει συνεχώς στο εσωτερικό της. Η σημαντικότερη, βέβαια, διαφορά με τις κυψέλες καυσίμου είναι το γεγονός ότι στις μπαταρίες ροής η χημική αντίδραση είναι αντιστρέψιμη, οπότε είναι secondary αποθηκευτικά μέσα και μπορούν να επαναφορτιστούν χωρίς αντικατάσταση του ηλεκτρικά ενεργού υλικού. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι ηλεκτρολυτών που ορίζουν ισάριθμες κατηγορίες

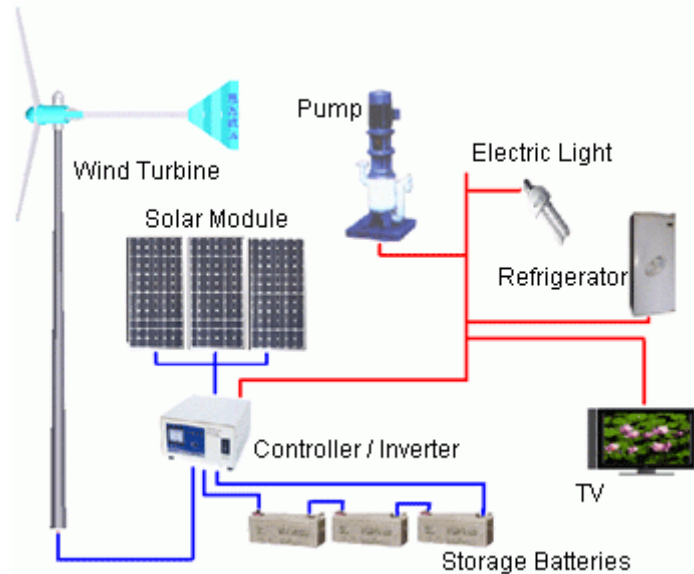
μπαταριών ροής: ηλεκτρολύτης θειικού οξέως με vanadium redox couples, ηλεκτρολύτης βρωμιούχου ψευδαργύρου και ηλεκτρολύτης βρωμιδίου του νατρίου /πολυθειούχου νατρίου [3,17,31]. Οι τρεις τύποι μπαταριών ροής παρουσιάζουν κάποια κύρια κοινά χαρακτηριστικά. Αρχικά, υπάρχει η δυνατότητα παροχής μεγάλων ποσών ισχύος, αλλά και η δυνατότητα συνεχούς απόδοσης ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα έως και δέκα ώρες. Κατά δεύτερο λόγο, επιτρέπεται η ευέλικτη διαστασιολόγηση του συστήματος αποθήκευσης δεδομένου ότι η χωρητικότητα και η ικανότητα απόδοσης ισχύος είναι ανεξάρτητα μεγέθη. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες ροής εμφανίζουν γρήγορη απόκριση και μπορούν να μεταβούν από λειτουργία φόρτισης σε λειτουργία εκφόρτισης σε περίπου 1 ms επειδή η διάρκεια των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής είναι πολύ μικρή. Ακόμα, οι ηλεκτρολύτες μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα, ενώ η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος επιτυγχάνεται απλά με την προσθήκη μεγαλύτερων δεξαμενών και περισσότερου ηλεκτρολύτη. Επιπλέον, αυτά τα συστήματα αποθήκευσης δεν υποφέρουν από αυτοεκφόρτιση αφού οι ηλεκτρολύτες είναι αποθηκευμένοι ξεχωριστά και δε μπορούν να αντιδράσουν. Στις αρνητικές ιδιότητες της τεχνολογίας συγκαταλέγονται ο χαμηλός βαθμός απόδοσης λόγω των απωλειών από τη χρήση των αντλιών και των απωλειών των χημικών αντιδράσεων, οι χαμηλές τιμές ειδικής ενέργειας και το αυξημένο κόστος κτήσης και λειτουργικό κόστος [17,30].

### **1.7 Οι μονάδες εφεδρείας για το προτεινόμενο σύστημα στη νήσο Ντία**

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

### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



#### 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. [38]

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. [21] 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 Πιν. 3-1 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 ντιζελογεννητριών και του συστήματος ελέγχου.

**Πιν. 3-1** Ταξινόμηση υβριδικών συστημάτων με βάση τη διείσδυση ΑΠΕ [38].

Τάξη Διείσδυσης ΑΠΕ	Λειτουργικά Χαρακτηριστικά	Διείσδυση	
		Μέγιστη Στιγμιαία	Μέση Ετήσια
<b>Χαμηλή</b>	Οι νηζελογεννήτριες λειτουργούν συνεχώς.	<50%	<20%
	Η αιολική ισχύς μειώνει το καθαρό φορτίο που αναλαμβάνει η συμβατική παραγωγή.		
	Όλη η αιολική ισχύς παρέχεται στο κύριο φορτίο.		
<b>Μέτρια</b>	Δεν υπάρχει σύστημα ελέγχου και εποπτείας.	50% - 100%	20% - 50%
	Σε κατάσταση υψηλής αιολικής ισχύος εντάσσονται τα δευτερεύοντα φορτία για να εξασφαλιστεί ότι η περίσσεια αιολικής παραγωγής δεν προκαλεί αστάθεια.		
	Απαιτείται σχετικά απλό σύστημα ελέγχου.		

<b>Υψηλή</b>	Οι νηξελογεννήτριες μπορούν να σβήσουν σε κατάσταση υψηλής αιολικής ισχύος.	100% - 400%	50% - 150%
	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.		

### 2.3 Νησί Utsira



### 2.3.1. Δημογραφικά - γεωγραφικά στοιχεία

Το νησί Utsira βρίσκεται 20 km από τις δυτικές ακτές της Νορβηγίας, έχει έκταση 6,2 km<sup>2</sup> και, με βάση την απογραφή του 2008, πληθυσμό 235 κατοίκους[39]. 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 [6].

### 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[40]. 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[40]. 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[40] τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πιν. 3-2 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 Nm<sup>3</sup>/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<sup>3</sup> (ή 2.400 Nm<sup>3</sup> 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.



<b>Στοιχεία Συστήματος</b>	<b>Χαρακτηριστικά Μεγέθη</b>	<b>Κατασκευαστής</b>
2 Ανεμογεννήτριες 600 kW	600 kW	Enercon

7. Μονάδα αποθήκευσης με μπαταρίες SAFT Νικελίου – Καδμίου ονομαστικής ικανότητας αποθήκευσης 35 kWh που χρησιμοποιείται για τη παροχή εφεδρείας. Οι μπαταρίες μπορούν να δίνουν ενέργεια για μισή ώρα προορίζεται μόνο για πώληση και όχι για χρήση από το υβριδικό σύστημα[41]

Enercon		
Συστοιχία Μπαταριών	35 kWh	Enercon
1 Σφόνδυλος	5 kWh, 200 kW <sub>max</sub>	Enercon
1 Σύγχρονη Μηχανή	100 kVA	Enercon
1 Ηλεκτρολύτης	10 Nm <sup>3</sup> /h - 48 kW	Hydro Electrolyser
1 Συμπιεστής	11 Nm <sup>3</sup> /h - 5,5 kW	Andreas Hofer
1 Μονάδα Αποθήκευσης Υδρογόνου	12 m <sup>3</sup> υπό πίεση 200 bar →2400 Nm <sup>3</sup>	Martin Larsson
1 Μηχανή Εσωτερικής Καύσης Υδρογόνου	55 kW	Continental
1 Κυψέλη Καυσίμου	10 kW	IRD

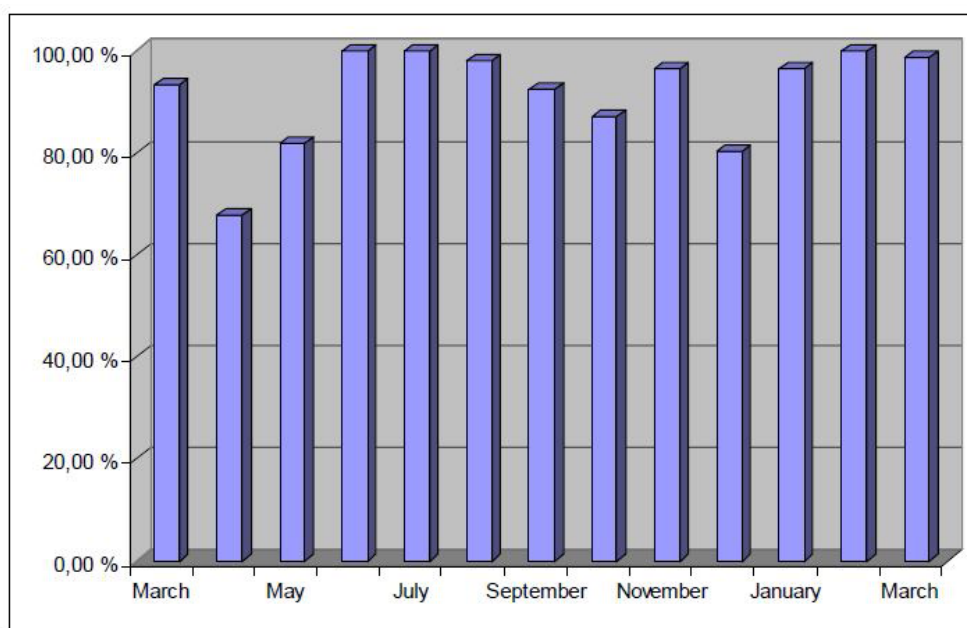
### 2.3.3. Λειτουργική Εμπειρία

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[39]. Κατά το σχεδιασμό του συστήματος πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας τα μεγέθη του Πιν. 3-2 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[40]. 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[40]:

- πάνω από έξι μήνες σε αυτόνομη λειτουργία
- διαθεσιμότητα κοντά στο 100% (Σχ. 3.1).
- 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[40]. 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 3: 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[39].

## 2.4. 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<sup>2</sup> 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[42].

#### 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[43] 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 k

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[42,43].

Σήμερα, ο υβριδικός σταθμός του νησιού Utsira περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία [42]:

#### 1. Συμβατική Παραγωγή:

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

#### 2. Αιολική Ισχύς:

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

#### 3. 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.

#### 4. 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.

#### 5. 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.

#### 6. 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.

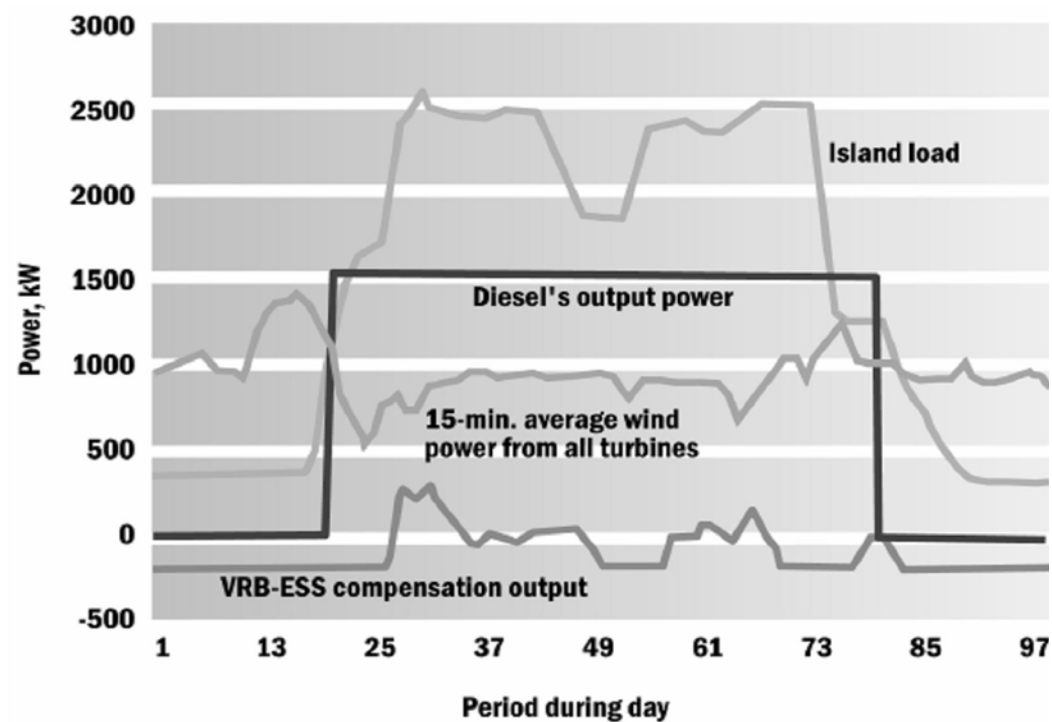
### 2.4.3. Λειτουργική Εμπειρία

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[42,43]. 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[43].

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%[42]. 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 4, 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.



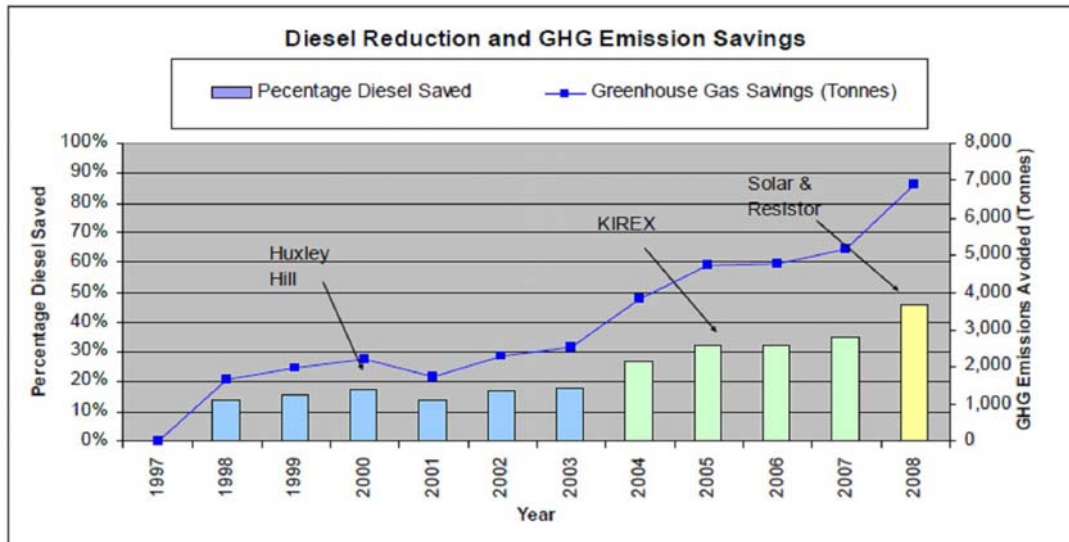


*Σχήμα 4: Ένα παράδειγμα της λειτουργίας του συστήματος αποθήκευσης VRB.*

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[42]. Το σχήμα 5 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%[43] .



Σχ. 3.3: Εξέλιξη της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στα χρόνια της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος στο νησί King Island [42].

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[42,43].

## 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[21,20] .

### 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[20].

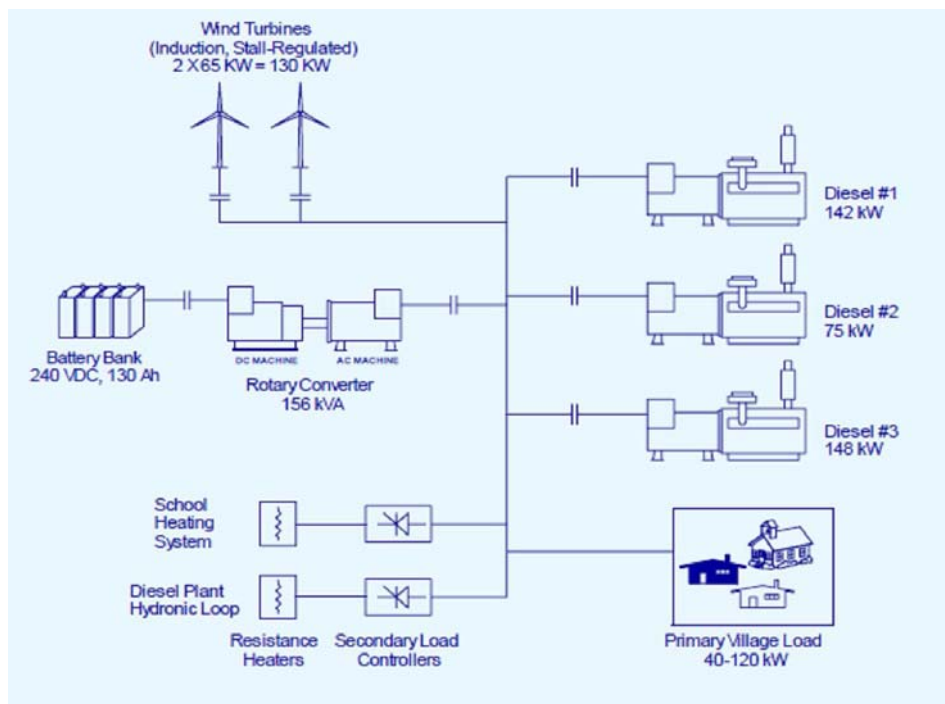
Το υβριδικό σύστημα (σχήμα 6), που ξεκίνησε πλήρως τη λειτουργία του το Μάρτιο του 2002, συνδυάζει συμβατική παραγωγή, ανεμογεννήτριες, αποθήκευση ενέργειας, μετατροπείς ισχύος καθώς και διάφορες διατάξεις ελέγχου. Ο βασικός στόχος του συστήματος ήταν η ικανοποίηση της ζήτησης της κοινότητας διατηρώντας 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[38].

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[18]. Η χωρητικότητα των μπαταριών επαρκεί για να καλύψει τα δύο τρίτα του μέσου φορτίου του συστήματος για περίπου δεκαπέντε λεπτά[44]. 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[21,20].

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[44] .



Σχήμα 6: Διάγραμμα του υβριδικού συστήματος στο Wales[45]

**Πίνακας 3:** Τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος στο Wales [20].

<b>Στοιχείο</b>	<b>Τιμή</b>	<b>Κατασκευαστής και Μοντέλο</b>
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 Μηχανή: Kato	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: Kato  Engineering  DC 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
--	--------------	--------------------------

### 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 διείδυση 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% [38]. Επιπλέον, στο διάστημα δοκιμών, ο συντελεστής χρησιμοποίησης των δύο ανεμογεννητριών ήταν 0,382 και 0,377 [45].

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 [20]. 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 διείδυσης Α.Π.Ε. κυρίως λόγω μίας παρατηρηθείσας στιγμής χαμηλής ποιότητας ισχύος. Το γεγονός αυτό πέραν του ότι μειώνει τη μέση διείδυση Α.Π.Ε. του συστήματος, αποτελεί αρνητική ανάδραση για τους κατοίκους γειτονικών κοινοτήτων [38].

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**



### **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 km<sup>2</sup>, 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.

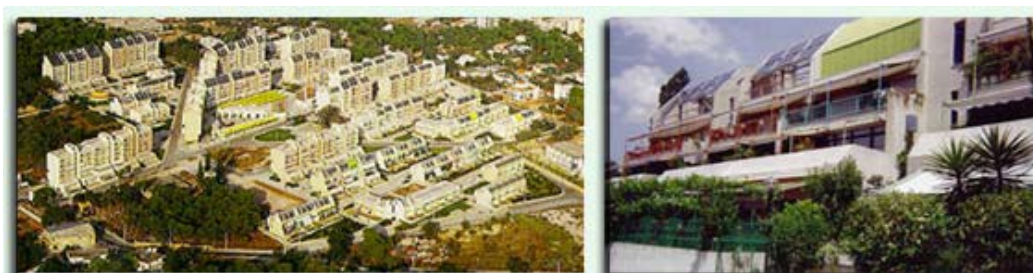
Εξοικονόμηση ενέργειας και αύξηση του βαθμού απόδοσης στο ηλεκτρικό σύστημα, το σύστημα θέρμανσης και τον τομέα των μεταφορών, επέκταση του δικτύου τηλεθέρμανσης (district heating) σε συνδυασμό με τη χρησιμοποίηση των τοπικών αποθεμάτων βιομάζας, επέκταση των αυτόνομων συστημάτων θέρμανσης με χρήση αντλιών θερμότητας, ηλιακών συλλεκτών, εγκαταστάσεων βιομάζας και κατασκευή onshore και offshore αιολικών πάρκων ήταν κάποιες από τις ενέργειες που έπρεπε να γίνουν [47].

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 CO<sub>2</sub> 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 [47].



## 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[93].



*Εικόνα 2: Απόψεις του ηλιακού χωριού Πεύκης.*

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[93].

### 2.7.1. Παθητικά συστήματα

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

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.Ελαχιστοποίηση των βορινών, ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων και χρήση νότιων ανοιγμάτων.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[93].

### **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[93].

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. Επιπλα 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:

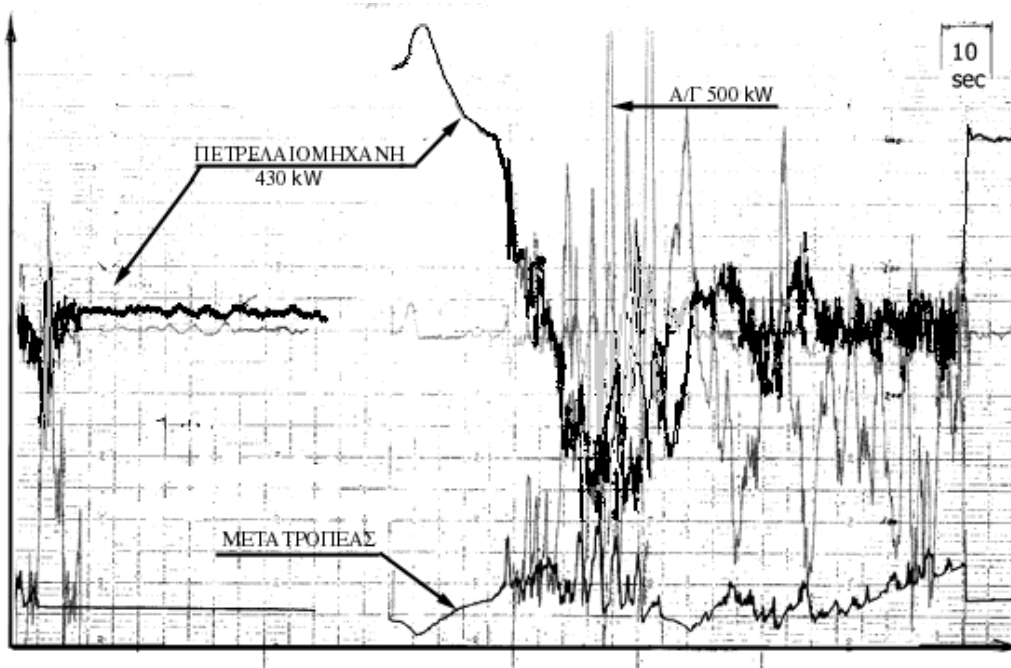
Τα διαμερίσματα με παθητικά ηλιακά συστήματα εν γένει συμπεριφέρονται καλύτερα από τα συμβατικά, αν και έχουν περισσότερες εκτεθειμένες επιφάνειες. Η σπουδαιότερη παράμετρος που επηρεάζει την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων είναι η ενεργειακή συμπεριφορά των κατοίκων. Παράδειγμα αποτελεί η αλλαγή 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[93].

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.

## 2.8 Περιγραφή Υβριδικού Συστήματος Κύθνου.



Στην Κύθνο λειτουργούσαν μέχρι τον Ιούνιο του 2000 ο πετρελαϊκός σταθμός ισχύος 2.120 kW, το Α/Π ισχύος 165 kW και ο Φ/Β σταθμός ισχύος 100 kWp. Στο νέο υβριδικό σύστημα ενσωματώθηκε ο παραπάνω εξοπλισμός και επιπλέον : Μια πρόσθετη Α/Γ ισχύος 500 kW, περιστρεφόμενος πυκνωτής 600 kVA, ειδικές μπαταρίες χωρητικότητας 400 kWh, μετατροπείς συνεχούς-εναλλασσόμενου και εναλλασσόμενου–συνεχούς ρεύματος 500 kW (DC/AC και AC/DC), αντιστάσεις απόρριψης φορτίου 500 kW (αρχικά ήταν 150 kW και στα μέσα Ιουνίου αυξήθηκε στα 500 kW) και σύστημα εποπτικού ελέγχου και διαχείρισης ισχύος.



**Εικόνα 1:** Επιρροή διακυμάνσεων ισχύος της Α/Γ 500kW σταθερών στροφών στην λειτουργία της πετρελαϊκής μονάδας ισχύος 430 kW.



**Εικόνα 2:** Σχηματική παράσταση λειτουργίας του υβριδικού συστήματος της Κύθνου με κάλυψη των αναγκών του νησιού 100 % από ΑΠΕ . (Πετρελαϊκές μονάδες εκτός λειτουργίας)

Τη φροντίδα για την ευστάθεια του δικτύου που μέχρι τότε την είχαν οι πετρελαϊκές μονάδες του ΤΣΠ αναλαμβάνουν στο νέο σύστημα, για όσο χρονικό διάστημα αυτές θα είναι εκτός λειτουργίας, ο περιστρεφόμενος πυκνωτής (ρύθμιση ενεργού και άεργου ισχύος και σταθερότητα τάσης) και ο μετατροπέας συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος (σταθερότητα συχνότητας). Με τον τρόπο αυτό,



και αυτή είναι η καινοτομία του συστήματος, καθίσταται πλέον περιττή η παράλληλη με τις Α/Γ λειτουργία πετρελαϊκών μονάδων, όταν το φορτίο του νησιού είναι μικρότερο από ή ίσο με την Η/Ε που παράγεται από τις Α/Γ και το Φ/Β σταθμό. Έτσι ενώ με το παλαιό σύστημα το δίκτυο της Κύθνου πολλές φορές δεν μπορούσε να απορροφήσει την ενέργεια, που ήταν δυνατό να παραχθεί από τις 5 Α/Γ και το Φ/Β σταθμό συνολικής ισχύος 265 kW, τώρα ανάλογα με τις ανεμολογικές συνθήκες, θα είναι σε θέση να απορροφά ενέργεια από τις ΑΠΕ μέχρι 765 και το κυριότερο με το νέο σύστημα αντιστράφηκαν οι όροι και αντί των Α/Γ βγαίνουν πλέον εκτός λειτουργίας οι πετρελαϊκές μονάδες. Η διείσδυση των ΑΠΕ αναμένεται να είναι κατά μέσο όρο πάνω από 25% και αν αυξηθεί η ισχύς των Α/Γ στα 1500kW θα ξεπεράσει το 50% έναντι 10% περίπου που ήταν μέχρι σήμερα, ενώ στις περιπτώσεις που οι ανάγκες της ζήτησης καλύπτονται από τις ΑΠΕ, όπως αυτό φαίνεται σχηματικά στο διάγραμμα 2, είναι 100% αφού διακόπτεται η λειτουργία όλων των πετρελαϊκών μονάδων. Στην κατάσταση αυτή το σύστημα λειτούργησε μέχρι 12 ώρες για αρκετές φορές. Σημειώνεται ότι η διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα της Κύθνου έφτασε τους πρώτους μήνες λειτουργίας του μέχρι 33.

Από το Νοέμβριο του 1999 μέχρι τον Ιούνιο του 2000 το σύστημα λειτουργούσε με περιορισμένη ισχύ (στα 300 kW) της Α/Γ των 500 kW λόγω των μεγάλων στιγμιαίων διακυμάνσεων της εν λόγω Α/Γ που διαταράσσουν την εύρυθμη λειτουργία των πετρελαιομηχανών (βλέπε Διάγραμμα 1). Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε οριστικά με την επαύξηση των αντιστάσεων απόρριψης φορτίου στα 500 kW τον Ιούνιο του 2000 και το σύστημα μπήκε σε πλήρη λειτουργία. Τώρα άρχισαν να φαίνονται και στην πράξη η αξιοπιστία και οι πραγματικές δυνατότητες των υβριδικών συστημάτων και άνοιξε επιτέλους ο δρόμος ευρύτερης εφαρμογής τους στα υπόλοιπα νησιά μα

### **2.8.1 Εμπειρίες Λειτουργίας του Υβριδικού Συστήματος Κύθνου.**

Με την έναρξη λειτουργίας του το έξυπνο υβριδικό σύστημα παραγωγής IPS (Intelligent Power System) της Κύθνου έδειξε ότι ανταποκρίνεται πλήρως στις βασικές προσδοκίες και απαιτήσεις. Με λίγα λόγια πέτυχε ο κύριος στόχος να καταστήσει την Αιολική Ενέργεια βασική πηγή ενέργειας και τις πετρελαϊκές μονάδες εφεδρικές, βελτιώθηκε σημαντικά την ευστάθεια του δικτύου και κατά συνέπεια η ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος και γενικά αναβαθμίστηκε σημαντικά ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα του νησιού. Όπως ήταν όμως αναμενόμενο, στην αρχή παρουσιάστηκαν και ορισμένες δυσλειτουργίες ή καταστάσεις που με την πάροδο του χρόνου βελτιώθηκαν ή βρίσκονται υπό παρακολούθηση. Πιο συγκεκριμένα τα βασικότερα πλεονεκτήματα του είναι :

- Η αλλαγή των ρόλων μεταξύ Α/Γ και πετρελαϊκών μονάδων είναι πλέον γεγονός και παρουσιάζεται κάθε φορά όταν η ζήτηση του νησιού είναι ίση ή μικρότερη από την παροχή των ΑΠΕ. Μέχρι σήμερα είχαμε αρκετές περιπτώσεις που η διακοπή λειτουργίας των πετρελαϊκών μονάδων διήρκεσε μέχρι 12 ώρες βλέπε π.χ. διάγραμμα 3.
- Η αξιοπιστία του συστήματος είναι εξαιρετικά μεγάλη. Αρκεί να αναφερθεί μόνο το περιστατικό της 14.10.00 όταν κατά την 11:30 έπεσε η ασφάλεια μίας φάσης του δικτύου μέσης τάσης και διακόπηκε απότομα η λειτουργία της Α/Γ 500 kW με ονομαστικό φορτίο την στιγμή που το φορτίο του νησιού ήταν 700 kW περίπου. Το σύστημα διαχειρίστηκε την ανωμαλία αυτή χωρίς καμία αναταραχή στην τροφοδοσία του νησιού, βλέπε διάγρ. 3.
- Η ευστάθεια του δικτύου (σταθερότητα συχνότητας και τάσης) και κατά συνέπεια η ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος είναι σημαντικά βελτιωμένες. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι διακυμάνσεις της συχνότητας και της τάσης κυμαίνονται μεταξύ 49,85 - 50,1 Hz και 230 - 234 V αντίστοιχα, βλέπε διάγραμμα 3. Οι τιμές αυτές είναι καλύτερες και από αυτές του Εθνικού Δικτύου.
- Με το νέο σύστημα επιτυγχάνεται οικονομικότερη λειτουργία των πετρελαϊκών μονάδων διότι αυτές φορτίζονται πλέον με σταθερότερο φορτίο και πλησίον της χαμηλότερης ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.

Αυτά σε γενικές γραμμές είναι τα πλεονεκτήματα του πρώτου υβριδικού συστήματος όπως αυτό εγκαταστάθηκε τελικά στην Κύθνο. Το σύστημα αυτό όμως όπως λειτουργεί σήμερα έχει ορισμένα βασικά μειονεκτήματα όπως π.χ.:

Ο συγκεκριμένος τύπος της μεγάλης Α/Γ 500 kW σταθερών στροφών παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις της ενεργού ισχύος, διότι δεν έχει δυνατότητα ταχείας ρύθμισης της ισχύος όπως απαιτείται από το σύστημα. Αποτέλεσμα της κατάστασης αυτής είναι οι βυθίσεις της τάσης στην γραμμή μέσης τάσης όπου είναι συνδεδεμένη η Α/Γ, έντονα μεταβατικά φαινόμενα και κίνδυνος γενικής διακοπής σε κρίσιμες καταστάσεις απότομων διακυμάνσεων της ισχύος βλέπε π.χ. διάγραμμα 1 και η απόρριψη της ενέργειας αιχμής και της περίσσιας ενέργειας σε αντιστάσεις. Είναι ήδη ευρέως γνωστό ότι Α/Γ μεταβλητών στροφών αντιμετωπίζουν κατά τον καλύτερο δυνατό

τρόπο τα προβλήματα αυτά και ως εκ τούτου μόνο Α/Γ του είδους αυτού επιβάλλεται να υιοθετούνται σε αυτόνομα συστήματα. (βλέπε και. 4.1)

- Η καθυστέρηση εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος για πάνω από 8 χρόνια από το χρόνο έναρξης σχεδιασμού του και 5 χρόνια περίπου από την ημέρα που ήταν έτοιμο για εγκατάσταση έχουν σαν αποτέλεσμα την δραστική μείωση της διείσδυσης των ΑΠΕ από 50% που είχε προϋπολογιστεί το 1992 στο 25-30%. Αυτό οφείλεται κύρια στην αύξηση της ελάχιστης κατανάλωσης του νησιού την χειμερινή περίοδο από 250 - 450 kW περίπου (ελάχιστη - μέγιστη) που ήταν το 1993 σε 420 - 700 kW που ήταν το 2000. Έτσι ενώ για το 1995 αναμένονταν διακοπές λειτουργίας των πετρελαϊκών μονάδων μερικών ημερών τώρα οι διακοπές αυτές περιορίζονται μόνο μέχρι 12 ώρες.
- Η οικονομική λειτουργία του συστήματος περιορίζεται επιπροσθέτως λόγω εμφάνισης και αυξημένου αριθμού περιπτώσεων αναγκαστικής ενάρξεως λειτουργίας μιας πετρελαϊκής μονάδας όταν υπάρχει έλλειψη κάλυψης ζήτησης μερικών μόνο kW από ΑΠΕ. Το πρόβλημα στις περιπτώσεις αυτές είναι ιδιαίτερα οξύ διότι η πετρελαϊκή μονάδα λόγω τεχνικών ελαχίστων πρέπει να λειτουργεί με πρόσθετο φορτίο το οποίο αφαιρείται από τις Α/Γ και απορρίπτεται (σπαταλάται) στις αντιστάσεις απόρριψης φορτίου. Βλέπε π.χ. διαγρ.3 στις 8.30-9.30 περίπου.
- Η έλλειψη βραχυχρόνιας (π.χ. της τάξης των 24 ωρών) ενδιάμεσης αποθήκευσης ενέργειας περιορίζει σημαντικά την οικονομική διείσδυση της Αιολικής Ενέργειας στο νησί και κατά συνέπεια την οικονομικότερη λειτουργία του ενιαίου συστήματος.

Με την χρήση υβριδικών συστημάτων σε αναπτυσσόμενες περιοχές που δεν έχουν ακόμη ρεύμα επιτυγχάνονται ευθύς εξαρχής δύο βασικοί στόχοι ήτοι οικονομική αξιοποίηση των ΑΠΕ και ορθολογική χρήση ενέργειας διότι οι χρήστες Η/Ε δεν έχουν συνηθίσει ακόμη στην σπατάλη ενέργειας.



## 2.9 Το Υβριδικό Σύστημα της Γαύδου.

Η Γαύδος μαζί με τα Αντικύθηρα ήταν τα πρώτα νησιά που κατά την διάρκεια εγκατάστασής των αυτόνομων Φ/Β σταθμών το 1986 γεννήθηκε η ιδέα συνεργασίας Α/Γ και Φ/Β μονάδος σε ένα συνδυασμένο σύστημα που σε αντίθεση με τους αυτόνομους Φ/Β σταθμούς θα έπρεπε να έχει χαμηλές δαπάνες εγκατάστασης, να καλύπτει σε συνεχή βάση τη ζήτηση και να έχει χαμηλό κόστος παροχής Η/Ε. Τόσο τα Αντικύθηρα, όσο και περισσότερο η Γαύδος έχουν προταθεί επανειλημμένα από το τέλος της δεκαετίας τον 1980 για την εγκατάσταση υβριδικών συστημάτων χωρίς δυστυχώς αποτέλεσμα μέχρι σήμερα. Η τελευταία πρόταση για εγκατάσταση στη Γαύδο ενός έξυπνου υβριδικού συστήματος έγινε τον Αύγουστο του 2000. Σύμφωνα με οικονομοτεχνική μελέτη που βρίσκεται στο στάδιο της επεξεργασίας η εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος για την Γαύδο είναι η πλέον ενδεδειγμένη λύση διότι:

- είναι οικονομικότερο από οποιαδήποτε άλλη λύση τόσο από πλευράς επένδυσης όσο και κυρίως από πλευράς λειτουργικού κόστους.
- Καλύπτει σε συνεχή βάση τις ανάγκες του νησιού.
- Προσφέρει δωρεάν την περίσσεια ενέργεια (η οποία αλλιώς θα «καίγεται» σε αντιστάσεις) για χρήση σε εγκαταστάσεις εξασφάλισης πόσιμου νερού και λειτουργίας βιολογικού καθαρισμού που έχει άμεση ανάγκη το νησί.

Ο υπό συζήτηση προγραμματισμός εγκατάστασης δευτέρου απλού Φ/Β σταθμού στην Γαύδο (ο πρώτος λειτουργεί ήδη από το 1987) δεν είναι τεχνικά δόκιμη λύση, διότι πέραν του υψηλού κόστους επένδυσης δεν είναι δυνατόν να καλύπτει συνεχώς τις ανάγκες του νησιού και στην ουσία θα καταλήξει στην “αναγκαιότητα” εγκατάστασης και πετρελαϊκού σταθμού. Θα γίνει δηλαδή το αντίθετο από αυτό που με τόσους κόπους και καθυστερήσεις επιτεύχθηκε στην Κύθνο.

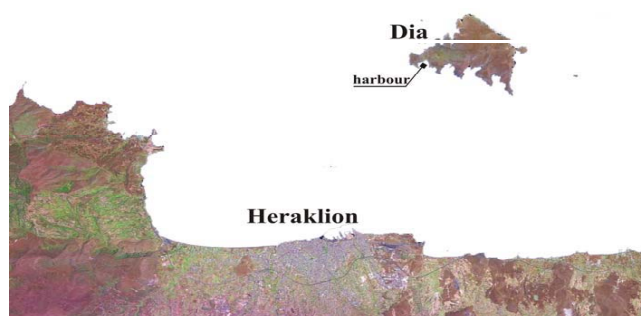
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 1.1. Εισαγωγή

Η νήσος Ντία είναι ένα μικρό νησί που βρίσκεται στο κρητικό πέλαγος, 14 χλμ (περίπου 7.5 ναυτικά μίλια) βόρειο-ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου, με μια έκταση περίπου 6 km<sup>2</sup>. Αν και η Ντία είναι ουσιαστικά ένα ακατοίκητο νησί σήμερα, στην Μινωική εποχή ήταν μια σημαντική τοποθεσία του Μινωικού βασιλείου. Αυτό το γεγονός αποκαλύπτεται από τα ίχνη τοίχων πέρα από τη νότια ακτή του νησιού, του βυθισμένου λιμανιού που ανακαλύφθηκε από τον Jacques Yves Cousteau στα μέσα της δεκαετίας του '70 και τα Μινωικά κτήρια γειτονικά του λιμανιού.



*Σχήμα 1: Χάρτης της Κρήτης με τη νήσο Ντία βόρειο-ανατολικά της πόλης Ηρακλείου.*



*Σχήμα 2: Η νήσος Ντία βόρειο-ανατολικά της πόλης Ηρακλείου.*

Η Ντία είναι μία νησίδα στα βόρεια παράλια του νομού Ηρακλείου στο Κρητικό πέλαγος και ανήκει στον Δήμο Γουβών. Η μυστηριώδης νήσος Ντία, πήρε το όνομά της από τον Θεό Δία. Πριν περίπου 5.000 χρόνια η Ντία ήταν καλυμμένη με δάση και ποτάμια και θεωρούνταν κυριολεκτικά παράδεισος. Ήταν το μέρος που επισκέφθηκε ο Θησέας με την Αριάδνη για «μήνα του μέλιτος», μετά την σφαγή του Μινώταυρου. Η νήσος Ντία υπέστη κάτι που μπορεί να περιγραφεί μόνο ως

μάθημα οικολογίας από την αρχαιότητα. Μια χιλιετία μετά τα δάση σιγά σιγά χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή και επισκευή πλοίων και μαγειρική φωτιά για τα πολλά σπίτια που υπήρχαν στο νησί. Μετά από 500 χρόνια η έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης έστειλε ένα παλιρροιακό κύμα ύψους 90 μέτρων πάνω από το νησί, αφήνοντας πίσω του αυτό που υπάρχει σήμερα. Τα τελευταία 50 χρόνια στη νήσο Ντία υπάρχει μεγάλο πρόβλημα με την βλάστηση λόγω του ότι έχει χρησιμοποιηθεί υπερβολικά ως βοσκότοπος, αρχικά από κατσίκες κτηνοτρόφων και μετά το 1955 από το Κρητικό 'αγρίμι' (Κρι-Κρι). Κατά την διάρκεια των τελευταίων πέντε ετών, έχουν γίνει προσπάθειες από το Δασαρχείο για την απομάκρυνση όλων των Κρι Κρι και την επανατοποθέτησή τους μετά την ανάκαμψη της βλάστησης στο νησί.

Σήμερα η νήσος Ντία ανήκει στην Δασική Υπηρεσία του Ηρακλείου. Από τον Οκτώβριο μέχρι τον Απρίλιο δεν υπάρχει καμία ανθρώπινη δραστηριότητα στο νησί. Κατά τη διάρκεια του υπολοίπου έτους το νησί δέχεται έναν σημαντικό αριθμό καθημερινών επισκέψεων από το λιμάνι του Ηρακλείου. Το κάμπινγκ απαγορεύεται. Μια μικρή παραδοσιακή ξύλινη ταβέρνα και μια ξύλινη κατοικία για ένα φύλακα-υπάλληλο της Δασικής Υπηρεσίας Ηρακλείου είναι τα μόνα κτήρια στο νησί.



**Εικόνα 1:** Το λιμάνι στο νοτιοδυτικό σημείο της νήσου Ντία με τη μικρή ξύλινη παραδοσιακή ταβέρνα.

Οι κύριοι στόχοι της Δασικής Υπηρεσίας Ηρακλείου σχετικά με την προστασία της νήσου Ντία και την αρμονική συνύπαρξη του ευαίσθητου οικοσυστήματος και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αναψυχής του είναι:

- Η αναδάσωση του νησιού και η προστασία των σπάνιων ειδών (κρι-κρι)
- Συγχρόνως κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, οι ανθρώπινες επισκέψεις γύρω από μια μικρή περιοχή στο νοτιοδυτικό σημείο του νησιού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού θα διατηρήσουν την επαφή μεταξύ των τουριστών και του φυσικού περιβάλλοντος του νησιού χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά το ευαίσθητο οικοσύστημα.

## 1.2. Ο στόχος του άρθρου

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα του Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας προς το επίτευγμα των προηγουμένως αναφερθέντων στόχων.

Η συμβολή του Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας εστιάζει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη νήσο Ντία για τις ακόλουθες χρήσεις:

- η κατασκευή ενός κατάλληλου συστήματος παροχής νερού για τη βαθμιαία αναδάσωση του νησιού (χρήση άρδευσης), για την πυροπροστασία και για το πόσιμο νερό
- η δημιουργία της ήπιας και φιλικής προς το περιβάλλον τουριστικής και κατοικημένης (για τη φύλαξη του νησιού) υποδομής στο νοτιοδυτικό μέρος του νησιού.

Ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας προτείνεται από το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ως βέλτιστη λύση για την ηλεκτροδότηση της νήσου Ντία. Το προτεινόμενο σύστημα εκμεταλλεύεται την άφθονη ανανεώσιμη δυνατότητα πηγών ενέργειας (R.E.S.) που είναι διαθέσιμη στο νησί.

### 1.3 Απαιτούμενη ισχύ

Τα φορτία της απαιτούμενης ισχύος για την νήσο Ντία περιγράφονται στον πίνακα 1.

<u>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΤΙΩΝ</u>	<u>ΙΣΧΥΣ (KW)</u>	<u>ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ</u>
<u>ΑΝΤΛΙΕΣ</u>		
1 X ΑΝΤΛΙΑ 8 HP	6,00	3
1 X ΑΝΤΛΙΑ 4HP	3	3
1 X ΑΝΤΛΙΑ 2,5 HP	1,88	3
1 X ΑΝΤΛΙΑ	0,38	3
<u>ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ</u>		
45 X ΛΑΜΠΑ ΦΘΟΡΙΟΥ	45 X 0,025	5
2 X ΠΡΟΒΟΛΕΙΣ	2 X 200	1
<u>ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ</u>		
ΚΟΥΖΙΝΑ	2,00	2
ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ	1,5	1
ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ	0,15	10
3 X ΨΥΓΕΙΟ	3 X 0,05	24
4 X ΚΑΤΑΨΥΚΤΕΣ	4 X 0,39	24

1 ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΨΥΓΕΙΟ ΚΑΤΑΨΥΚΤΗΣ	3	24
--------------------------------------	---	----

**Πίνακας 1** Ανάλυση φορτίων.

Η απαιτούμενη ισχύς είναι εποχιακή. Το νησί είναι ακατοίκητο κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Κατά τα τέλη της άνοιξης, το καλοκαίρι και αρχές φθινοπώρου το νησί κατοικείται από το προσωπικό της Δασικής Υπηρεσίας . Επιπλέον, υπάρχει μια ταβέρνα, που εξυπηρετεί τους επισκέπτες και τους τουρίστες.

Δεν υπήρξε καμία καταγεγραμμένη χρονική σειρά απαίτησης ισχύος για την νήσο Ντία. Οι χρονικές σειρές έχουν δημιουργηθεί τεχνητά. Οι βασικές αρχές του αλγορίθμου παρουσιάζονται παρακάτω:

**1.** Κάθε λειτουργία δημιουργεί την απαίτηση ενέργειας για κάθε τμήμα κατανάλωσης ισχύος για κάθε ώρα της ημέρας.

**2.** Μια περίοδος εργασίας για κάθε τμήμα κατανάλωσης ισχύος καθορίζεται (δείτε τη στήλη 2 και 3 του πίνακα 2).

- Κατά τη διάρκεια των ωρών όπου το φορτίο δεν χρησιμοποιείται η κατανάλωση ισχύος για εκείνη την ώρα είναι μηδέν.

- Εάν κάποιο τμήμα κατανάλωσης φορτίου είναι σε λειτουργία η απαίτηση ισχύς είναι μεταβλητή βάση ενός συντελεστή Weibull (με τους διαφορετικούς παράγοντες κλίμακας και μορφής - δείτε τη στήλη 4 και 5 του πίνακα 2).

- Τα ψυγεία, οι καταψύκτες και τα επαγγελματικά ψυγεία υποτίθεται ότι θα λειτουργούν συνεχώς και θα καταναλώνουν ισχύ ίση με 5 KW ανά ώρα.

**3.** Για κάθε μήνα καθορίζεται ένας εποχιακός συντελεστής κατανάλωσης ισχύος. Αυτός ο συντελεστής προσπαθεί να αντισταθμίσει την εποχιακή μεταβλητότητα της απαιτούμενης ισχύος. Η απαιτούμενη ισχύ τίθεται 0 για το Νοέμβριο μέχρι τον Μάρτιο, αυξάνεται βαθμιαία για τους μήνες της άνοιξης, για τους καλοκαιρινούς μήνες τίθενται 1 και μειώνονται τον Οκτώβριο. Ένας εποχιακός συντελεστής κατανάλωσης ισχύος καθορίζεται για κάθε ημέρα από το συντελεστή ισχύος των μηνών. Ο εποχιακός συντελεστής κατανάλωσης ισχύος για κάθε ημέρα ορίζεται ως η γραμμική

παρεμβολή της ημερομηνίας του μήνα. Η πρώτη ημέρα του μήνα έχει έναν εποχιακό συντελεστή κατανάλωσης ισχύος ίσο με το μέσο όρο του εποχιακού συντελεστή κατανάλωσης ισχύος του προηγούμενου μήνα, και τον τρέχοντα μήνα. Η τελική ημέρα του μήνα έχει έναν εποχιακό συντελεστή κατανάλωσης ισχύος ίσο με το μέσο όρο του εποχιακού συντελεστή κατανάλωσης ισχύος του τρέχοντος μήνα, και του επόμενου μήνα. Αυτό γίνεται προκειμένου να αποφευχθεί η ασυνέχεια στον εποχιακό συντελεστή κατανάλωσης ισχύος.

<i>Πίνακας 2: Ωριαία χρήση φορτίων ανά ημέρα.</i>				
<u><b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b></u>	<u><b>ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ</b></u>	<u><b>ΤΕΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ</b></u>	<u><b>WEIBULL ANA ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΜΕΡΙΔΙΟΥ</b></u>	<u><b>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΙΜΑΚΑΣ WEIBULL</b></u>
<u><b>ΑΝΤΑΙΕΣ</b></u>				
1 ΑΝΤΑΙΑ 8HP	14:00	17:00	8	0,85
1 ΑΝΤΑΙΑ 4HP	14:00	17:00	8	0,85
1 ΑΝΤΑΙΑ 2,5HP	14:00	17:00	8	0,85
1 ΑΝΤΑΙΑ 0,5HP	14:00	17:00	8	0,85
<u><b>ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ</b></u>				
45 ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΦΘΟΡΙΟΥ	18:00	23:00	8	0,5
2 ΠΡΟΒΟΛΕΙΣ	12:00	23:00	10	0,9

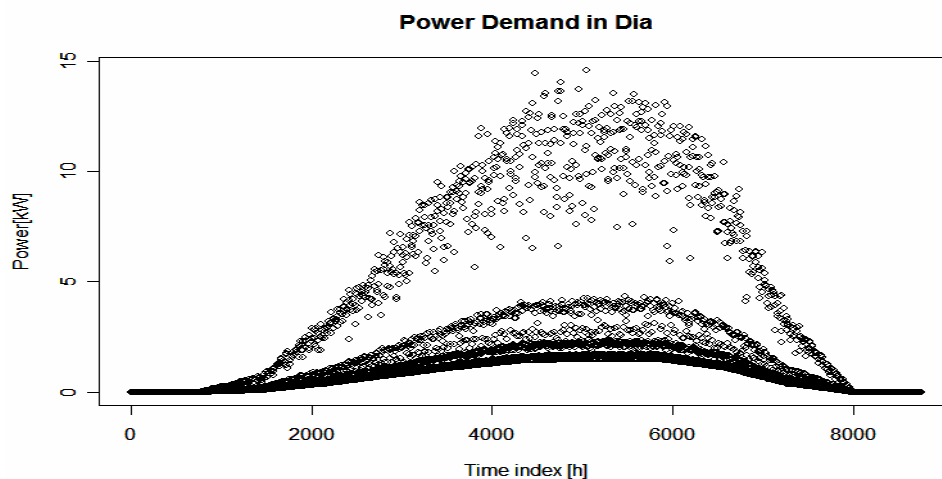
<u>ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ</u>				
ΚΟΥΖΙΝΑ	11:00	13:00	6	0,6
ΠΛΑΥΝΤΗΡΙΟ	14:00	15:00	6	0,6
ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ	8:00	23:00	6	0,6

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3:Μηνιαία φορτία.</b>		
<u>ΜΗΝΑΣ</u>	<u>ΜΕΡΕΣ</u>	<u>ΦΟΡΤΙΑ(KW)</u>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	0,0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28	0,0
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	0,0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	0,4
ΜΑΙΟΣ	31	0,6
ΙΟΥΝΙΟΣ	30	0,9
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	1,0
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	1,0



ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30	1,0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	0,5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30	0,0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	0,0

2. Το ποσό των τμημάτων κατανάλωσης ισχύος για κάθε ώρα (βήμα 2) πολλαπλασιάζεται με τον καθημερινό εποχιακό συντελεστή κατανάλωσης (βήμα 3) (που υποτίθεται για να παραμείνει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας).



*Σχήμα 3: Τεχνητά παραγομένη κατανάλωση ισχύος στη νήσο Ντία για ένα έτος.*

### 3.4 Η διαθέσιμη R.E.S. στη νήσο Ντία.

Στην νήσο Ντία παρουσιάζει άφθονο αέρα και ηλιακή δυνατότητα. Αυτό εμφανίζεται από τις μετρήσεις και τις αναλύσεις που παρουσιάζονται παρακάτω χωριστά για αυτές τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

#### 3.4.1 Η δυνατότητα του αέρα

Η δύναμη του αέρα στην νήσο Ντία αξιολογήθηκε με την εγκατάσταση ενός μετεωρολογικού

σταθμού και τη συλλογή των στοιχείων αέρα για μια περίοδο 24 μηνών, από το 29-6-1990 ως το 19-6-1992 .

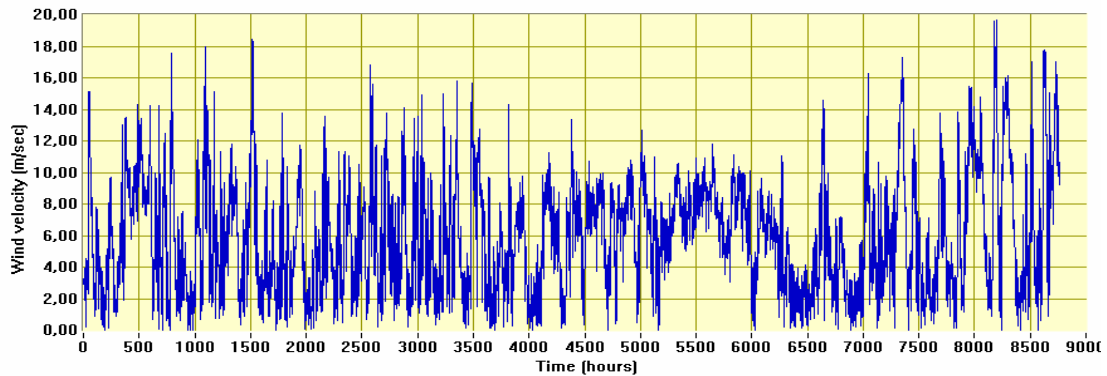
Στον πίνακα 4, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της χρονικής σειράς ταχύτητας αέρα.

<b>Πίνακας 4:</b> Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ταχύτητας του αέρα στο νησί.				
Περίοδος μέτρησης	Μέση ταχύτητα ανέμου(m/sec)	Μέγιστη ταχύτητα ανέμου(m/sec)	Συντελεστής Weibul C (m/sec)	Συντελεστής Weibul k
29/6/1990–31/12/1990	5.73	15.80	6.13	1.80
1/1/1991 31/12/1991	5.96	19.69	6.47	1.70
1/1/1992 – 19/6/1992	5.66	18.35	6.21	1.61

Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται τα πιθανά μηνιαία, υπολογισμένα κατά μέσο όρο, στατιστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα αέρα για το έτος 1991.

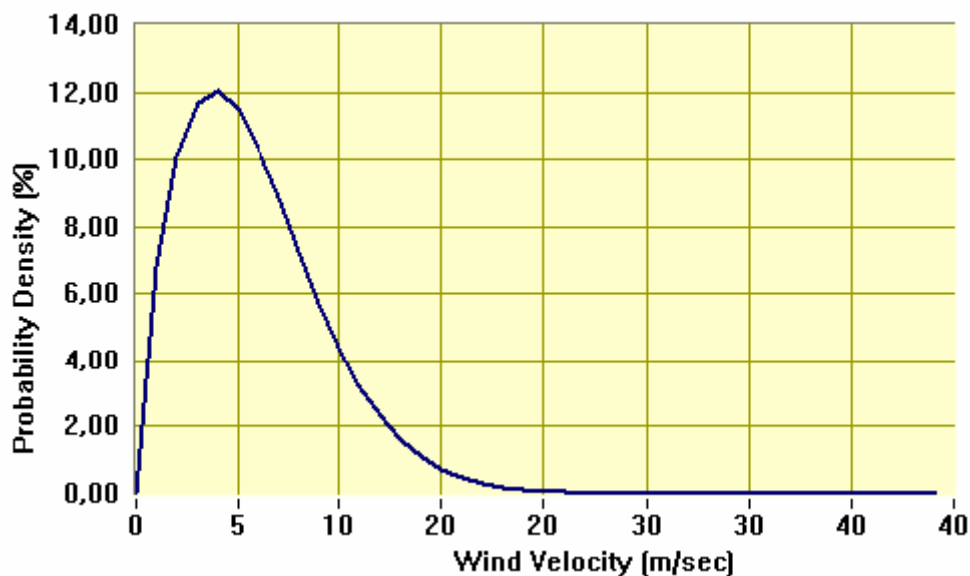
<b>Πίνακας 5:</b> Πιθανά μηνιαία υπολογισμένα κατά μέσο όρο στατιστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα αέρα για το έτος 1991.			
<b>Μήνας</b>	<b>Μέσο Όρος ταχύτητας αέρα(m/sec)</b>	<b>Σταθερή απόκλιση(m/sec)</b>	<b>Κύρια κατεύθυνση αέρα.</b>
Ιανουάριος	6.49	1.28	NNW
Φεβρουάριος	5.68	1.24	NNW
Μάρτιος	4.91	1.10	NNW
Απρίλιος	5.77	1.24	NNW
Μάιος	5.79	1.20	NNW
Ιούνιος	4.63	0.88	NNW
Ιούλιος	6.99	0.93	NNW
Αύγουστος	7.15	0.90	NNW
Σεπτέμβριος	4.99	0.82	NNW
Οκτώβριος	4.59	1.07	NNW
Νοέμβριος	6.39	1.16	NNW
Δεκέμβριος	8.11	1.47	NNW

Στο σχήμα 4 παρουσιάζετε η ετήσια μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου για το έτος 1991



Σχήμα 4: Μέση ετήσια ωριαία ταχύτητα του ανέμου που μετράται στο νησί Ντία το 1991.

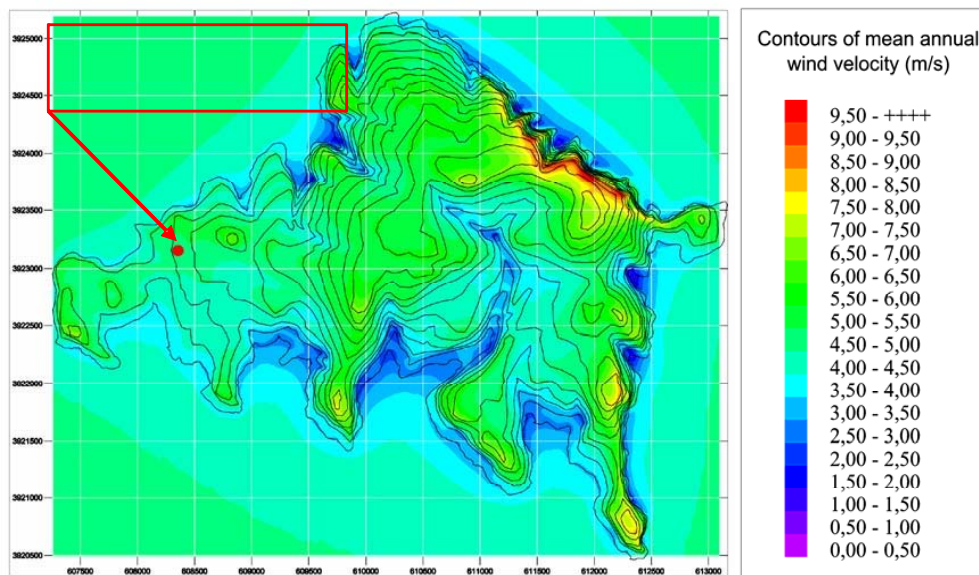
Οι συντελεστές Weibull C και η παράμετρος K της παραπάνω παρουσιαζόμενης χρονικής σειράς ταχύτητας αέρα υπολογίστηκαν 6.47 m/sec και 1.70 αντίστοιχα. Η αντίστοιχη λειτουργία πυκνότητας πιθανότητας Weibull παρουσιάζεται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5: Η ταχύτητα του ανέμου συναρτήση της πιθανής πυκνότητας Weibull.

Ο χάρτης αέρα της νήσου Ντία αναπτύχθηκε βάση της λήψης δεδομένων της δυνατότητας του αέρα και χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο λογισμικό ανάλυσης αέρα (WAsP8.0 – εθνικό εργαστήριο Risø της Δανίας). Μια ομοιόμορφη ταχύτητα σταθερή 0.03μ χρησιμοποιήθηκε για να διαμορφώσει

την τοπική τραχύτητα εκτάσεων, η οποία αποτελείται από τη χαμηλή βλάστηση και την ανυπαρξία των κτηρίων.

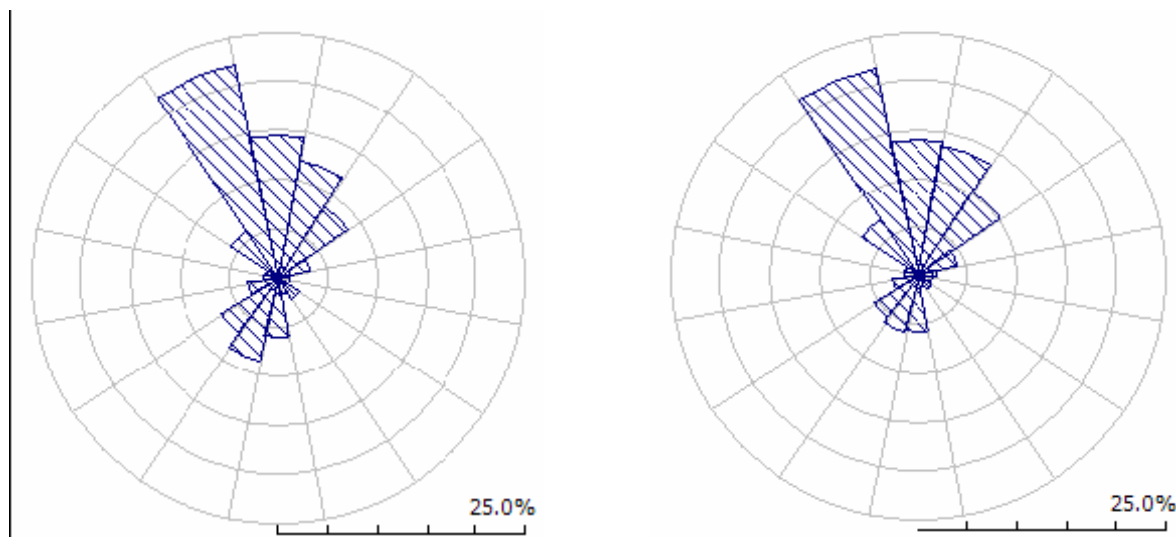


*Σχήμα 6: Παρουσιάζεται ο χάρτης αέρα του νησιού Ντία, η θέση του εγκατεστημένου μετεωρολογικού σταθμού.*

Το σχήμα 6 παρουσιάζει γεμισμένα περιγράμματα της προβλεπόμενης μέσης ετήσιας ταχύτητας αέρα (σε m/sec) σε απόσταση 10 μ επάνω από το επίγειο επίπεδο, που επιβάλλονται πέρα από τα περιγράμματα του μετεωρολογικού σταθμού εκτάσεων που τοποθετείται στην ανύψωση νησιών (στους μετρητές). Χρησιμοποιείται ένα διάστημα 20 μ των περιγραμμάτων ανύψωσης εκτάσεων, με την πρώτη γραμμή -περίγραμμα απεικονίζοντας την ακτή (0 μ επάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας). Μια ήπια δυνατότητα αέρα συναντιέται στις κορυφογραμμές του νησιού ( 6.0 έως 6.5 m/sec) με μια κατεύθυνση επικρατούντος αέρα NNW, η οποία είναι χαρακτηριστική για ολόκληρη την περιοχή της βόρειου - κεντρικής Κρήτης. Τις πιο απότομες κλίσεις εκτάσεων που συναντάμε στο βορειοανατολικό μέρος του νησιού προκαλούν την απότομη άνοδο της μέσης ταχύτητας αέρα στην περιοχή.

Στα σχήματα 7 και 8 παρουσιάζονται τα ροδογράμματα στη θέση του μετεωρολογικού σταθμού για τα δύο διαδοχικά έτη από 1990 ως 1992.

Μέχρι ενός ορισμένου βαθμού τα αποτελέσματα μπορούν να εξηγηθούν εύκολα λόγω των τοπογραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής εγκατάστασης του σταθμού καθώς επίσης και λόγω της αξιοπιστίας του ανεμόμετρου. (10 m a.g.l.)



**Σχήμα 7:** Το ροδόγραμμα στη θέση της μετεωρολογικής εγκατάστασης σταθμών από το 29/06/1990 ως το 29/06/1991.

**Σχήμα 8:** Το ροδόγραμμα στη θέση της μετεωρολογικής εγκατάστασης σταθμών από το 29/06/1991 ως το 10/06/1992.

**Πίνακας 6:** Πιθανά καθημερινά υπολογισμένα κατά μέσο όρο στατιστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα αέρα, που λαμβάνονται από ολόκληρη την περίοδο μέτρησης.

Ώρες	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Σταθέρη απόκλιση ανέμου (m/sec)	Κύρια κατεύθυνση ανέμου	Ώρες	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Σταθέρη απόκλιση ανέμου (m/sec)	Κύρια κατεύθυνση ανέμου
0:00	5.53	1.10	NNW	12:00	6.20	1.11	NNW
1:00	5.57	1.13	NNW	13:00	6.28	1.13	NNW

2:00	5.66	1.10	NNW	14:00	6.31	1.14	NNW
3:00	5.69	1.14	NNW	15:00	6.30	1.11	NNW
4:00	5.69	1.13	NNW	16:00	6.28	1.11	NNW
5:00	5.68	1.19	NNW	17:00	6.09	1.11	NNW
6:00	5.73	1.13	NNW	18:00	5.86	1.10	NNW
7:00	5.74	1.09	NNW	19:00	5.74	1.10	NNW
8:00	5.68	1.12	NNW	20:00	5.53	1.09	NNW
9:00	5.82	1.16	NNW	21:00	5.51	1.12	NNW
10:00	5.93	1.12	NNW	22:00	5.56	1.09	NNW
11:00	6.02	1.14	NNW	23:00	5.56	1.07	NNW

Τέλος, στον πίνακα 6, παρουσιάζονται τα πιθανά στατιστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του καθημερινού μέσου όρου αέρα, που λάβαμε σε ολόκληρη την περίοδο μέτρησης.

### **3.4.2. Η ηλιακή δυνατότητα**

Οι ηλιακές μετρήσεις που παρουσιάζονται παρακάτω στον πίνακα 7, έχουν ολοκληρωθεί και έχουν δημοσιευθεί από το Κέντρο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (C.R.E.S.- [www.cres.gr](http://www.cres.gr)). Τα ακόλουθα στοιχεία έχουν συλλεχθεί στους ηλιακούς σταθμούς μετρήσεων που εγκαταστάθηκαν στο Ηράκλειο.

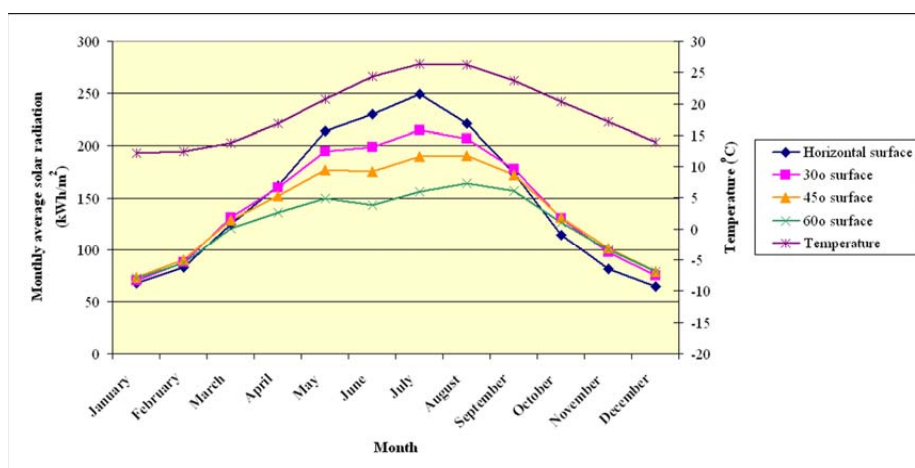
**Πίνακας 7:** Μηνιαία και ετήσια μέση θερμοκρασία και ηλιακές ακτινοβολίες στο Ηράκλειο

Μήνας	Μέση θερμοκρασία αερα (°C)	Ηλιακή ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας (kWh/m <sup>2</sup> )	Ηλιακή ακτινοβολία σε 30° επιφάνεια (kWh/m <sup>2</sup> )	Ηλιακή ακτινοβολία σε 45° επιφάνεια (kWh/m <sup>2</sup> )	Ηλιακή ακτινοβολία σε 60° επιφάνεια (kWh/m <sup>2</sup> )
1	12.2	67.33	70	73	72
2	12.5	82.54	88	90	87
3	13.8	124.87	131	129	121
4	16.8	161.88	160	152	136
5	20.8	213.96	195	177	150
6	24.4	230.23	199	175	143
7	26.4	248.99	215	190	156
8	26.3	221.15	207	191	164
9	23.7	174.12	178	172	157
10	20.3	114.2	130	131	126
11	17.1	81.54	97	101	100
12	13.9	64.6	75	79	79
Μέση τιμη	19.02	148.79	1.745	1.660	1.491

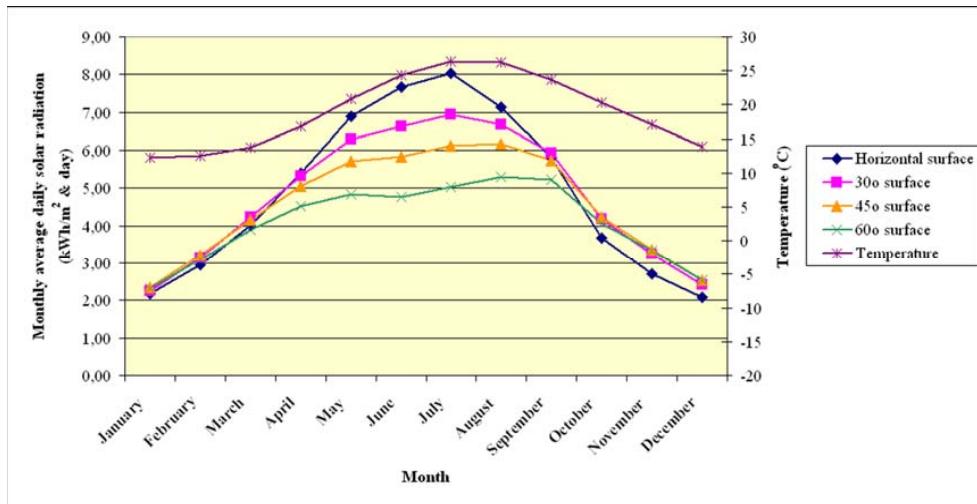


<b>Πίνακας 8:</b> Μηνιαία και ετήσια μέση καθημερινή ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m <sup>2</sup> & ημέρα) στο σταθμό Ηρακλείου.				
Μήνας	Ηλιακή ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας (kWh/m <sup>2</sup> &ημέρα)	Ηλιακή ακτινοβολία σε 30° επιφάνεια (kWh/m <sup>2</sup> &ημέρα)	Ηλιακή ακτινοβολία σε 45° επιφάνεια (kWh/m <sup>2</sup> &ημέρα)	Ηλιακή ακτινοβολία σε 60° επιφάνεια (kWh/m <sup>2</sup> &ημέρα)
1	2.17	2.26	2.35	2.32
2	2.95	3.14	3.21	3.11
3	4.03	4.23	4.16	3.90
4	5.40	5.33	5.07	4.53
5	6.90	6.29	5.71	4.84
6	7.67	6.63	5.83	4.77
7	8.03	6.94	6.13	5.03
8	7.13	6.68	6.16	5.29
9	5.80	5.93	5.73	5.23
10	3.68	4.19	4.23	4.06
11	2.72	3.23	3.37	3.33
12	2.08	2.42	2.55	2.55
Μέση τιμή.	4,88	4,77	4,54	4,08

Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στους πίνακες 7 και 8 συνοψίζονται στα σχήματα 9 και 10.



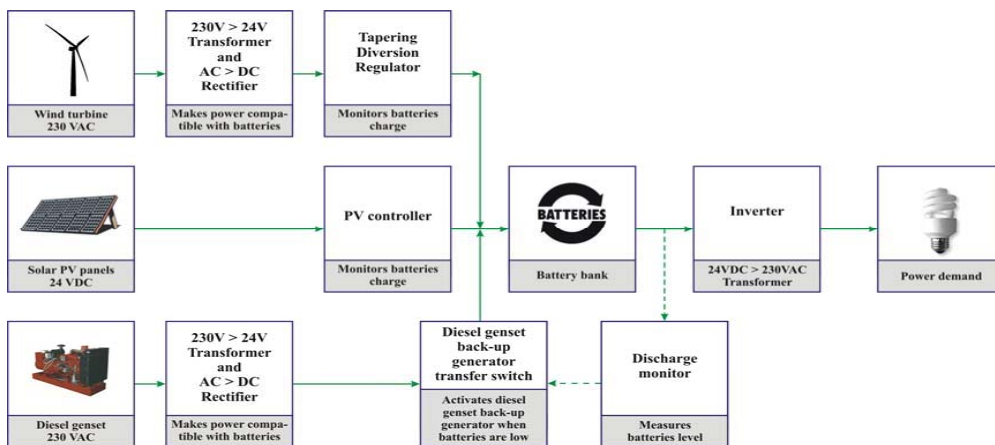
**Σχήμα 9:** Μηνιαίος μέσος όρος ηλιακής ακτινοβολίας και διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στο Ηράκλειο κατά τη διάρκεια ενός έτους.



**Σχήμα 10:** Μηνιαία μέση καθημερινή ηλιακή ακτινοβολία και παραλλαγή θερμοκρασίας στο Ηράκλειο κατά τη διάρκεια ενός έτους.

### 3.5. Το ερευνημένο σύστημα παραγωγής ενέργειας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προτείνεται ένα νέο σύστημα παραγωγής ενέργειας για την νήσο Ντία. Ο στόχος του προτεινόμενου συστήματος είναι να καλυφθεί η παραπάνω απαιτούμενη ισχύς στη νήσο Ντία με την εκμετάλλευση της διαθέσιμης ανανεώσιμης δυνατότητας πηγών ενέργειας. Το προτεινόμενο σύστημα συνδυάζει τα φωτοβολταϊκά πάνελ και τις ανεμογεννήτριες δηλαδή είναι ένα μικρό αυτόνομο υβριδικό σύστημα. Στο σχήμα 11 δίνεται ένα γράφημα ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



**Σχήμα 11:** Υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το συγκεκριμένο υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την νήσο Ντία αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά:

- Ανεμογεννήτριες
- φωτοβολταϊκά πάνελ
- γεννήτρια πετρελαίου
- μπαταρίες
- φορτιστές μπαταριών
- μετασχηματιστές τάσης και AC-DC διορθωτές
- ένας inverter DC-AC και ένας μετασχηματιστής τάσης
- φορτία απορρίψεων.

Συγκεκριμένα:

- Οι κύριες μονάδες παραγωγής ενέργειας είναι οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Το παραχθέν AC ρεύμα και από τις δύο μονάδες αποκαθίσταται και μετασχηματίζεται προκειμένου να αποθηκευτεί στις μπαταρίες του συστήματος. Εάν οι μπαταρίες φορτίζονται πλήρως η παραχθείσα δύναμη διατίθεται 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.

### 3.6. Οι διαστάσεις του προτεινόμενου συστήματος

#### 3.6.1. Η υιοθετημένη μεθοδολογία υπολογισμού δαπανών κύκλων ζωής

Το απόλυτο κριτήριο για την διαστασιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους κύκλου ζωής της επένδυσης (LCC). Συνολική LCC της επένδυσης δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$LCC = C_{RES} + C_{inst.} + C_{maint.} + C_B + C_{inv} + C_{DG-S} \quad (1)$$

όπου:

- $C_{RES}$ :

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

αρχικό κόστος ανεμογεννητριών: 4.000 €/kW

αρχικό κόστος φωτοβολταϊκού: 4.500 €/kW.

Στις παραπάνω δαπάνες συμπεριλαμβάνονται οι απαραίτητοι μετασχηματιστές και η μεταφορά του εξοπλισμού.

- $C_{inst.}$ :

Το κόστος εγκαταστάσεων ολόκληρου του συστήματος. Αυτό το κόστος είναι περίπου υπολογισμένο μετά από μια σχετική έρευνα αγοράς, θέτοντάς το ίσο με ένα ποσοστό του κόστους  $C_{RES}$ . Συγκεκριμένα το κόστος εγκαταστάσεων συστημάτων θεωρείται ίσο με 8% των Α.Π.Ε. δηλαδή το αρχικό κόστος ( $C_{RES}$ ):

$$C_{inst.} = a \cdot C_{RES}, \quad a=8\% \quad (2)$$

- $C_{\text{maint}}$ :

Η παρούσα αξία του συνόλου του συστήματος βάση της διάρκειας ζωής τους και το κόστος συντήρησης. Το ετήσιο κόστος συντήρησης υπολογίζεται επίσης ότι είναι ίσο με ένα ποσοστό του CRES:

$$C_{\text{maint,an}} = a \cdot C_{\text{RES}}, a=2\% \quad (3)$$

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

$$PV(N)=PV(0) \cdot (1+r)^{-N} \quad (4)$$

όπου το r είναι το κόστος των χρημάτων. Στην παρούσα μελέτη το κόστος των χρημάτων είναι θεωρείται ίσο με  $r=4.4\%$  και η περίοδος ζωής επένδυσης θεωρείται ίση με 20 έτη.

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

$$C_{\text{maint}} = a \cdot C_{\text{RES}} \cdot \sum_{j=1}^N (1+r)^{-j} \quad (5)$$

- $C_B$ :

Το κόστος του συνολικού αριθμού των μπαταριών υπολογίζεται ως το αρχικό κόστος των μπαταριών βάση της αρχικής έρευνας αγοράς. Συγκεκριμένα, ένα σύνολο μπαταριών χωρητικότητας 1.000Ah και με μια συνολική ονομαστική τάση 24 βολτ (12 μονάδες μπαταριών από 2 βολτ η κάθε μια), κοστίζει 3.000 €.

Οι μπαταρίες δεν μπορούν να διαρκέσουν καθ 'όλη τη διάρκεια ζωής της επένδυσης. Μια ή δύο φορές πρέπει οι μπαταρίες να αντικατασταθούν με νέες. Το κόστος  $C^B$  πρέπει επίσης να περιλαμβάνει και το πρόσθετο κόστος αντικατάστασης μπαταριών. Εάν  $C^{B_0}$  είναι το αρχικό κόστος μπαταριών κατά την στιγμή της εγκατάστασης, τότε το κόστος  $C^B$  θα δοθεί από την ακόλουθη σχέση:

$$C_B = C_{B0} \cdot \left( 1 + \sum_{j=1}^n (1+r)^{-N_j} \right) \quad (6)$$

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

Στο κόστος του συνολικού αριθμού των μπαταριών CB υπολογίστε ότι οι ελεγκτές συμπεριλαμβάνονται.

- $C_{inv}$ :

Το αρχικό κόστος αναστροφέων(inverter) δεν μπορεί να καθοριστεί αναλυτικά, δεδομένου ότι εξαρτάται έντονα από την κλίμακα της ισχύς της μηχανής. Μια έρευνα αγοράς μας έχει δώσει τα ακόλουθα αποτελέσματα:

για έναν αναστροφέα 8 kVA, συνολικό κόστος 24V/220V 4.500 €

για έναν αναστροφέα 30 kVA, συνολικό κόστος 24V/220V 10.000 €

για την τρέχουσα μελέτη, το αρχικό κόστος του αναστροφέα θεωρείται ίσο με 9.000 €.

- $C_{DG}$ :

Θεωρείται το αρχικό κόστος πετρελαιομηχανής  $C_{DG0}$  και το συνολικό  $C_{FC}$  κόστος δαπανών κατανάλωσης καυσίμων στην περίοδο ζωής της επένδυσης:

$$C_{DG} = C_{DG0} + C_{FC} \quad (7)$$

Το αρχικό κόστος της πετρελαιομηχανής δεν μπορεί να καθοριστεί αναλυτικά, ακριβώς όπως στην περίπτωση αναστροφέων. Μια έρευνα αγοράς έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

για μια πετρελαιομηχανή 10kVA, 220V συνολικό κόστος 4.500 €

για ένα μια πετρελαιομηχανή 100kVA, 220V συνολικό κόστος 20.000 €.

Για την τρέχουσα μελέτη, το αρχικό κόστος πετρελαιομηχανής ήταν υποτιθέμενος ίσος με 10.000€.

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

$$C_{FC} = V_{FC} \cdot c_{FC} \sum_{j=1}^N (1 + FPIR)^j \cdot (1 + r)^{-j} \quad (8)$$

όπου

$V_{FC}$ : η ετήσια κατανάλωση καυσίμων diesel ανά lt

$c_{FC}$ : η τιμή καυσίμων diesel κατά την διάρκεια της εγκατάστασης του συστήματος € ανά lt

FPIR: το ετήσιο ποσοστό αύξησης τιμών καυσίμων, θέτετε ίσο με 5%

r: το κόστος των χρημάτων, θέτετε ίσο με 4.4%

N: η περίοδος ζωής της επένδυσης (20 έτη).

Η τρέχουσα τιμή του πετρελαίου diesel στην Κρήτη (τέλος του 2007) διαμορφώνεται σε 1.20 €/lt. Η τιμή καυσίμων που εισάγεται στην παρούσα μελέτη είναι 1.30 €/lt, προκειμένου να συμπεριληφθούν και οι δαπάνες μεταφορών από την Κρήτη στη νήσο Ντία.

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 θεωρείται ίσο με το 20% του αρχικού κόστους της συνολικής επένδυσης.

### 3.6.2. Η διαδικασία υπολογισμού

Για τον υπολογισμό του LCC όπου παραπάνω παρουσιάσαμε εφαρμόζεται η ακόλουθη διαδικασία:

- CRES:

Το  $C^{RES}$  υπολογίζεται σύμφωνα με τις αρχικές συγκεκριμένες δαπάνες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Ορίζουμε υποθετικά τις μερικές τιμές για την εγκατεστημένη ονομαστική ισχύ των φωτοβολταϊκών πάνελ και των ανεμογεννητριών.

- $C_B$ : (Το κόστος του συνολικού αριθμού των μπαταριών)

Για τον υπολογισμό του  $C^B$  πρέπει να γνωρίζουμε την συνολική ικανότητα των μπαταριών. Θεωρούμε δεδομένη την ικανότητα των μπαταριών άρα γνωρίζουμε τον ακριβές αριθμό των ημερών για τον οποίο οι μπαταρίες μπορούν να καλύψουν συνολικά την απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας για όλα τα φορτία και χωρίς οποιαδήποτε φόρτιση κατά τη διάρκεια των απαραίτητων ημερών από οποιαδήποτε από τις μονάδες παραγωγής (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, diesel genset). Εάν η καθημερινή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τις ημέρες της λειτουργίας αυτονομίας είναι  $E^L$ , η απαιτούμενη ικανότητα μπαταριών θα δοθεί από την ακόλουθη σχέση:

$$C(n) = \frac{(n + b) \cdot m \cdot E_L}{n_{\gamma,B} \cdot n_{trans} \cdot b_{dis} \cdot V_B} \quad (9)$$

όπου:

$C(n)$ : η ικανότητα των μπαταριών

$n$ : ο απαραίτητος αριθμός ημερών για αυτόνομη λειτουργία των μπαταριών

$E_L$ : η καθημερινή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

$b$ : το ποσοστό απαίτησης ηλεκτρικής ενέργειας την νύχτα ( $b = E_{Lnight} / E_L = 50\%$ )

$m$ : ένας συντελεστής για την αύξηση ασφάλειας της υπολογισμένης ικανότητας (το μ τίθεται 1.10)

$n_{\gamma,B}$ : συντελεστής απόδοσης μπαταρίας στην διάρκεια ζωής της (μέση απόδοση 90% για ολόκληρη την περίοδο ζωής των μπαταριών)



$n_{trans}$ : ένας συντελεστής που εκφράζει την αποδοτικότητα της ενεργειακής μεταφοράς από τις μπαταρίες στα  $n_{trans}=90\%$ )

$b_{dis}$ : το μέγιστο ποσοστό απαλλαγής μπαταριών ( $b_{dis}=40\%$ )

$V_B$ : η καθορισμένη ονομαστική τάση των μπαταριών ( $V_B=24V$ , για ένα σύνολο μπαταριών 12 μονάδων με μια ονομαστική τάση 2V κάθε ένα).

Στην παρούσα μελέτη, ο αριθμός των απαραίτητων ημερών για τη λειτουργία αυτονομίας μπαταριών τίθεται ίσος με  $n=1$ . Αυτή η χαμηλή αξία είναι επιλεγμένη να λάβει υπόψη:

- ο υψηλός αέρας και η ηλιακή δυνατότητα που καταγράφονται στο νησί
- η κανονική λειτουργία του συστήματος, το οποίο είναι περιορισμένο μόνο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν δηλαδή οι δυνατότητες των φωτοβολταϊκών και των ανεμογεννητριών φθάνουν στις μέγιστες ετήσιες τιμές τους.

Τέλος, οι καθορισμένες μπαταρίες υποτίθεται ότι αντικατασταίνονται κάθε δέκα έτη. Ως εκ τούτου, για την περίοδο ζωής ενός συστήματος 20 ετών, οι καθορισμένες μπαταρίες θα αντικατασταθούν μόνο μια φορά.

-  $C_{FC}$ :

Ο όρος αυτός μας δίνει το ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμου. Ο όρος αυτός απαιτεί τον υπολογισμό της ετήσιας ηλεκτρικής παραγωγής από την γεννήτρια, το οποίο, στη συνέχεια, μπορεί να εκπληρωθεί μόλις ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της ετήσιας ηλεκτρικής παραγωγής από τις ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά. Η σχετική διαδικασία περιγράφεται παρακάτω.

**• Ο υπολογισμός παραγόντων ηλιακής δύναμης.**

Λαμβάνοντας υπόψη τη μηνιαία μέση καθημερινή ηλιακή ακτινοβολία  $\bar{H}_t$  (πίνακας 8, σχήμα 10), η μηνιαία μέση καθημερινή πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας  $\bar{G}_t$  υπολογίζεται από τη σχέση (10):

$$\bar{G}_t = \bar{H}_t / t_d \quad (10)$$

όπου το  $T_d$  είναι το καθημερινό χρονικό διάστημα σε ώρες (24 ώρες), δεδομένου ότι το  $\bar{H}_t$  δίνεται σε kWh/m<sup>2</sup>• ημέρα και το  $\bar{G}_t$  μετριούνται σε kW/m<sup>2</sup>. Η μηνιαία μέση πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας  $\bar{G}_{t,D}$  δίνεται έπειτα από τη σχέση (11):

$$\bar{G}_{t,D} = \bar{G}_t / r_D \quad (11)$$

όπου  $r_D = \tau(h)/T$  η αναλογία του καθημερινού χρόνου  $\tau(h)$  τόξων του ήλιου κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος  $T=24h$ . Για τα γεωγραφικά πλάτη της Κρήτης, η αναλογία  $r_D$  υπολογίζεται περίπου ίσος με 0.43 το χειμώνα και 0.58 το καλοκαίρι.

Η συνολική αποδοτικότητα  $PR_o$  μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας δίνεται από τη σχέση (12):

$$PR_o = PR_{opt} \cdot PR_T \cdot PR_{NIT} \cdot \eta_{sa} \quad (12)$$

όπου:

$PR^{opt}$  η οπτική απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (αντανακλάσεις, το φάσμα ακτινοβολίας, κ.λπ.)

$PR^T$  η απόδοση της φωτοβολταϊκής κυψέλης που προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας τους από τον αέρα

$PR_{NIT}$  η απόδοση της φωτοβολταϊκής κυψέλης λόγω άλλου είδους ενεργειακών 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

$\eta_{sa}: 0.95$

η αποδοτικότητα  $PR_T$  υπολογίζεται παρακάτω. Λαμβάνοντας υπόψη τη μηνιαία μέση καθημερινή θερμοκρασία  $\theta_{a,D}$  (πίνακας 7, σχήμα 9) η σταθμισμένη μηνιαία μέση θερμοκρασία κυττάρων,  $\theta_{c,wa}$  υπολογίζεται μετά από τη σχέση (13):

$$\bar{\theta}_{c,wa} = \bar{\theta}_{a,D} + F \cdot \kappa(ws_D) \cdot \bar{G}_{t,D} \quad (13)$$

όπου η παράμετρος  $F$  αποδεικνύεται πειραματικά για να αφορά τη μηνιαία μέση πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας ( $\bar{G}_{t,D}$  in  $W/m^2$ ) όπως στη σχέση (14):

$$F = 2.32 - 0.0017 \cdot \bar{G}_{t,D} \quad (14)$$

και  $\kappa(ws_D) = 0.0250C/(W/m^2)$  για τους ηλιακούς και πιθανούς όρους αέρα στη νήσο Ντία. Το  $PR_T$  μπορεί να δοθεί από τη σχέση (15):

$$PR_T = 1 + \gamma_{mp} (\bar{\theta}_{c,wa} - \theta_{STC}) \quad (15)$$

όπου:

$\gamma_{mp}$  μέγιστη θερμοκρασία  $\theta_{STC}$  συντελεστή θερμικής δύναμης ( $= -0.0045 K^{-1}$ )

$\theta_{STC}$  των τυποποιημένων όρων ελέγχου ( $= 25^\circ C$ ).

Οι παράγοντες της ηλιακής ισχύος υπολογίζονται τελικά με τη σχέση (16):

$$CF_{PV} = PR_{\sigma} \cdot \frac{\bar{G}_t}{G_{STC}} \quad (16)$$

όπου  $G_{STC}$  είναι η ηλιακή πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας στους τυποποιημένους όρους ελέγχου ( $= 1 kW/m^2$ ).

### **• Ο υπολογισμός συντελεστών δύναμης αέρα.**

Οι μέσοι μηνιαίοι παράγοντες της αιολικής ενέργειας μπορούν να υπολογιστούν ακριβώς με την εισαγωγή μιας αδιάστατης καμπύλης ισχύος ανεμογεννητριών  $P_{WT}(v)$  ( $v$  είναι η ταχύτητα αέρα) και υπολογίζοντας τη μηνιαία λειτουργία  $f(v)$  πιθανής πυκνότητας της διαθέσιμης χρονικής σειράς ταχύτητας αέρα (σχήμα 4). Οι μηνιαίοι μέσοι συντελεστές της αιολικής ενέργειας θα δοθούν έπειτα από τη σχέση (17):

$$CF_{WT} = \int_0^{\infty} p_{WT}(v) \cdot f(v) \cdot dv \quad (17)$$

### **• Η μέση μηνιαία παραγωγή ισχύος από Α.Π.Ε.**

Η μέση  $P_{RES}$  μηνιαία παραγωγή ισχύος από Α.Π.Ε. δίνονται από τη σχέση (18):

$$\bar{P}_{RES} = \eta_{trans} \cdot (CF_{PV} \cdot N_{PV} \cdot P_{PVr} + CF_{WT} \cdot N_{WT} \cdot P_{WTTr}) \quad (18)$$

Όπου:

$\eta_{trans}$ . η συνολική απόδοση μεταφοράς από τα (φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες) Α.Π.Ε. στις μπαταρίες τίθεται ίσο με 90%

$P_{PVr}$  και  $P_{WTTr}$  είναι η εκτιμημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών πάνελ και των ανεμογεννητριών αντίστοιχα

$N_{PV}$  και  $N_{WT}$  είναι ο αριθμός εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών πάνελ και ανεμογεννητριών αντίστοιχα.

### **• Η μέση μηνιαία παραγωγή ισχύος από την γεννήτρια πετρελαίου.**

Εάν το  $P_L$  είναι η μέση μηνιαία απαίτηση ισχύος, η μέση μηνιαία  $P_{RES}$  παραγωγή ισχύος από την γεννήτρια θα δοθεί απλά από τη σχέση (19):

$$\bar{P}_{DG} = \bar{P}_L - \bar{P}_{RES} \quad (19)$$

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή από την γεννήτρια  $E_{DG}$  θα δοθεί από τη σχέση (20):

$$E_{DG} = \sum_{i=1}^{12} \bar{P}_{DG}(i) \cdot T(i) \quad (20)$$

όπου  $T(i)$   $i^{\text{th}}$  το χρονικό διάστημα του μήνα

Η ετήσια κατανάλωση καυσίμων υπολογίζεται τελικά από τη σχέση (21):

$$V_{FC} = \frac{E_{DG}}{\Theta_u \cdot \bar{\eta}_{DG} \cdot \eta_{trans.}} \quad (21)$$

όπου:

$\Theta_u$ : η θερμική ικανότητα καυσίμων (9.90 kWh/lit για το πετρέλαιο diesel)

$\eta_{DG}$  : η μέση ετήσια αποδοτικότητα της γεννήτριας (32%)

$\eta_{trans.}$ : η συνολική απόδοση μεταφοράς από τα (φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες)

Α.Π.Ε. στις μπαταρίες τίθεται ίσο με 90%

Το κόστος κατανάλωσης καυσίμων από την γεννήτρια μπορεί τώρα να υπολογιστεί εύκολα με τη σχέση (8).

- $C_{inst}$  :κόστος εγκατάστασης συστημάτων,

$C_{maint}$ : το συνολικό κόστος συντήρησης στην περίοδο ζωής του συστήματος,

$C_{inv}$  : αρχικές δαπάνες του αναστροφέα,

$C_{DG}$ : κόστος diesel genset

- Το αρχικό κόστος και παρούσα αξία: Το αρχικό κόστος της επένδυσης αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά:

**α.** το κόστος των μονάδων πηγών ενέργειας CRES

β. κόστος  $C_{inst}$  εγκαταστάσεων.

γ. κόστος  $C_{inv}$  αναστροφών.

δ. αρχικό κόστος μπαταριών  $C_{B0}$

ε. αρχικό κόστος γεννήτριας  $C_{DG0}$ .

Η αξία  $S$  της παρούσας επένδυσης στο τέλος της περιόδου ζωής της υπολογίζεται ως το ποσοστό του υπολογισμένου αρχικού κόστους της επένδυσης.

- ελαχιστοποίηση του κόστους ζωής:

Το κόστος ζωής της επένδυσης υπολογίζεται για το προτεινόμενο σύστημα που επιλέχθηκε βάση των επιλεγμένων φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών. Ο συνδυασμός κατασκευής φωτοβολταϊκών μονάδων γνωστής εγκατεστημένης ισχύος και ανεμογεννητριών αρχίζουν από ένα ζευγάρι ελάχιστου και τελειώνουν σε ένα ζευγάρι των μέγιστων εγκατεστημένων μονάδων. Το LCC υπολογίζεται για κάθε ένα των συνδυασμένων συστημάτων και ο ελάχιστος επιλέγεται. Η αντίστοιχη επένδυση εισάγεται ως η βέλτιστη .

### 3.7. Αποτελέσματα

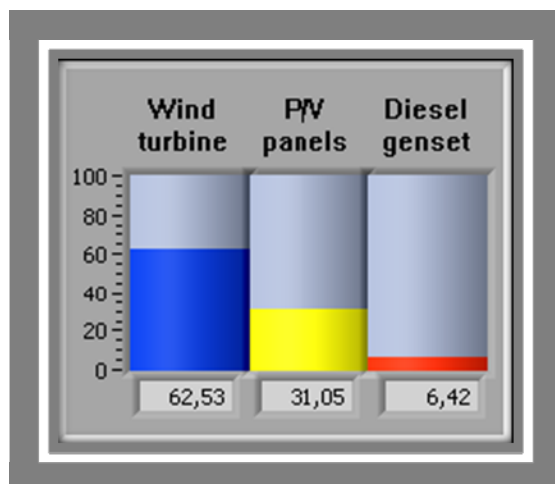
Πίνακας 9 : Παρουσιάζεται η προτεινόμενη σύνθεση του συστήματος.	
Τελική εγκατεστημένη ισχύ ανεμογεννητριών(KW)	7,00
Τελική εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών πάνελ. (KW)	5,00
Ονομαστική ισχύ πετρελαιομηχανής(KVA)	15,00
Ονομαστική ισχύ μετατροπέα (KVA)	15,00
Χωρητικότητα μπαταριών.(Ah)	16.000,00

**Πίνακα 10:** Παρουσιάζετε η μέση μηνιαία παραγωγή ισχύος από τις μονάδες παραγωγής.

ΜΗΝΕΣ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ Σ(KW)	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩ Ν ΠΑΝΕΛ (KW)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝ Η ΙΣΧΥ(KW)	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡ Α (KW)
Ιανουάριος	1.95	0.35	2.30	0.00
Φεβρουάριος	1.34	0.47	1.81	0.00
Μάρτιος	1.03	0.63	1.66	0.00
Απρίλιος	1.21	0.84	2.04	0.00
Μάιος	1.40	1.04	2.44	0.00
Ιούνιος	0.88	1.13	2.01	0.68
Ιούλιος	1.88	1.17	3.05	0.00
Αύγουστος	1.71	1.04	2.75	0.37
Σεπτέμβριος	1.09	0.87	1.95	0.81
Οκτώβριος	0.82	0.56	1.39	0.00
Νοέμβριος	1.94	0.43	2.36	0.00
Δεκέμβριος	2.62	0.34	2.96	0.00

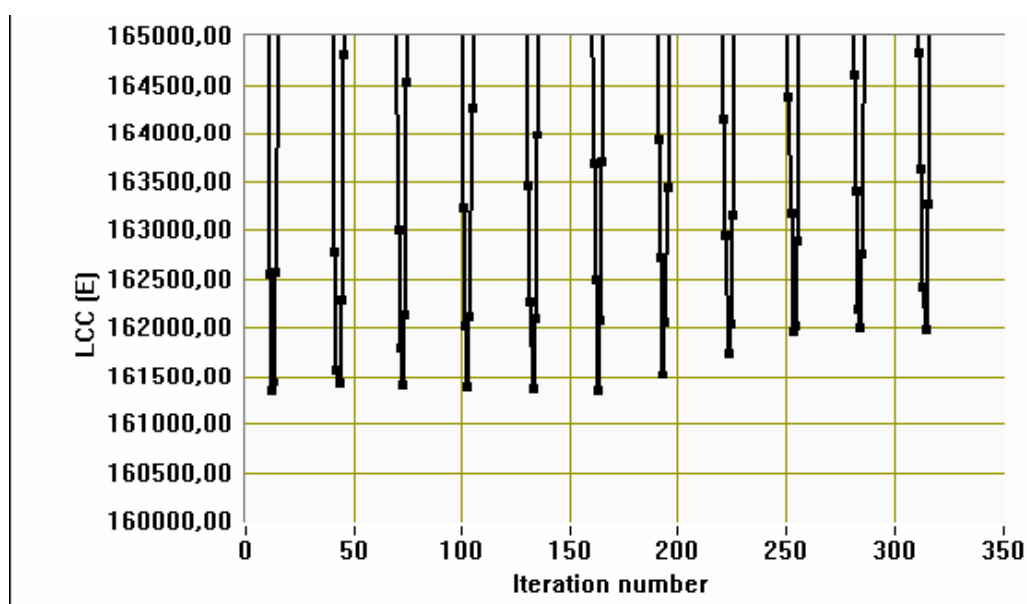
**Πίνακας 11:** Παρουσιάζετε η ενεργειακή παραγωγή για καθεμία των μονάδων παραγωγής. Οι ίδιες πληροφορίες παρέχονται στη γραφική παράσταση ποσοστού της εικόνας 12.

Ετήσια παραγόμενη ενέργεια ανεμογεννήτριας(kWh)	13.061,84
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια φωτοβολταϊκού πάνελ(kWh)	6.486,42
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια πετρελαιομηχανής (kWh)	1.340,95
Συνολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια(kWh)	20.889,22



Εικόνα 12:Ετήσια ενεργειακή παραγωγή ενέργειας από το προτεινόμενο υβριδικό σύστημα για τη νήσο Ντία.

Το σχήμα 13 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της επαναληπτικής διαδικασίας βελτιστοποίησης LCC μέσω μιας γραφικής παράστασης επίσης δείχνει το υπολογισμένο βέλτιστο LCC το οποίο παρουσιάζεται και αναλύεται στον πίνακα 12.



Σχήμα 13: Τα αποτελέσματα της επαναληπτικής διαδικασίας βελτιστοποίησης LCC.

Πίνακας 12: LCC ανάλυση από την προτεινόμενη ισχύ του συστήματος.	
Αρχικά έξοδα R.E.S (€)	50.500,00
Έξοδα εγκατάστασης (€)	4.040,00



Έξοδα συντήρησης (€)	13.252,60
Έξοδα μπαταριών(€)	79.205,87
Έξοδα μετατροπέα(inverter) (€)	9.000,00
Έξοδα πετρελαιομηχανής(€)	16.501,22
Έξοδα πετρελαίου τροφοδοσίας μηχανής(€)	13.139,58
Σταθερή αξία(€)	24.308,00
Έξοδα κόστους ζωής(€)	161.331,27

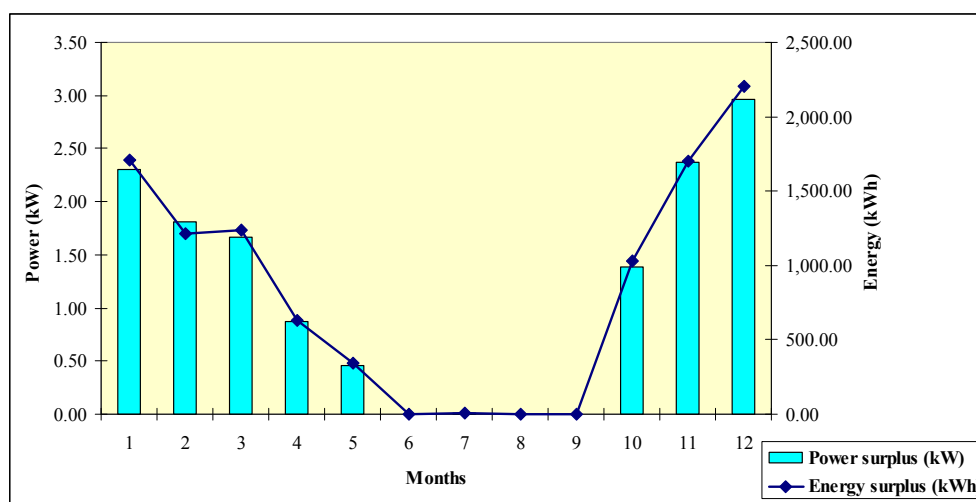
Στον πίνακα 13 παρουσιάζεται η αρχική ανάλυση δαπανών της επένδυσης .

Αρχικά έξοδα R.E.S (€)	50.500,00
Έξοδα εγκατάστασης (€)	4.040,00
Αρχικά έξοδα μπαταριών(€)	48.000,00
Έξοδα μετατροπέα(inverter) (€)	9.000,00
Αρχικά έξοδα πετρελαιομηχανής(€)	10.000,00
Συνολικά αρχικά έξοδα (€)	121.540,00

*Πίνακας 13: Αρχική ανάλυση δαπανών επένδυση*

### 3.8. Η προοπτική αφαλάτωσης

Στον πίνακα 11 φαίνεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το προτεινόμενο σύστημα που παρουσιάζεται ίση με 20.889,22 kWh. Από την άλλη πλευρά, παρουσιάζεται η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 10.808,10 kWh. Ως εκ τούτου, υπάρχει ένα ετήσιο πλεόνασμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ίσο με 10.081,12 kWh. Σύμφωνα με το γράφημα του σχήματος 14 φαίνεται πως γίνεται η διάθεση του πλεονάσματος κατά τη διάρκεια του έτους .



**Σχήμα 14:** Παραλλαγή του πλεονάσματος της ισχύος και ενεργειακής παραγωγής από το προτεινόμενο

σύστημα κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Το σημαντικό ετήσιο πλεόνασμα παραγωγής ενέργειας ορίζει τις προϋποθέσεις για την εισαγωγή μιας μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (Ρουμανία) για την παραγωγή πόσιμου νερού στην νήσο Ντία. Συνεπάγεται ότι, προκειμένου να εκμεταλλευτούμε το συνολικό πλεόνασμα παραγωγής διαθέσιμης ισχύς, είναι απαραίτητη μια μονάδα αφαλάτωσης ονομαστικής ισχύς ίση με 3,00 kW. Λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές μιας τυπικής μονάδας αφαλάτωσης μικρού μεγέθους με ανάκτηση ενέργειας, για την παραγωγή 1 m<sup>3</sup> νερού χρειάζεται να καταναλωθούν περίπου 2.5kWh - 4.0kWh. Το διαθέσιμο ετήσιο πλεόνασμα ενέργειας των 10,081.12 kWh συνεπάγεται με τη δυνατότητα παραγωγής των 2.500 m<sup>3</sup> πόσιμου νερού ετησίως. Προς το παρόν πόσιμο νερό μεταφέρεται στη νήσο Ντία από την Κρήτη.

Το σύστημα αφαλάτωσης θα εγγυάται την παροχή πόσιμου νερού 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 1.500m<sup>3</sup> – 2.000m<sup>3</sup> είναι απαραίτητο για την ασφαλή αποθήκευση νερού. Το συνολικό κόστος της μονάδας αφαλάτωσης σύμφωνα με μία μικρή έρευνα αγοράς υπολογίζεται στον πίνακα 14.

<b>Πίνακας 14:</b> Ανάλυση του κόστους αφαλάτωσης.	
Μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (€)	20.000,00
Ταμιευτήρας αποθήκευσης υδάτων (€)	30.000,00

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα αποτελέσματα που πήραμε κατά την διάρκεια της εργασίας επιβεβαιώνουν την μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτόνομα ενεργειακά

συστήματα. Για την νήσο Ντία παρατηρούμε ότι τα αιολικά συμβάλλουν στο 62,53% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά στο 31,05% και η γεννήτρια πετρελαίου σε ποσοστό 6,42%. Το σύνολό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. είναι 60,33% άρα η γεννήτρια πετρελαίου χρησιμοποιείται ως εφεδρική σε περιόδους νηνεμίας. Το αρχικό κόστος της επένδυσης είναι 121.540.00 €. Συμφώνα με τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η επένδυση είναι βιώσιμη εάν και εφόσον τηρηθεί το παραπάνω οικονομικό σχεδιάγραμμα για το οποίο έχουμε πραγματοποιήσει τους υπολογισμούς μας. Επίσης από τέτοιου είδους έργα δημιουργούνται νέοι οικονομικοί πόροι και νέες θέσεις εργασίας για την τοπική κοινωνία βελτιώνοντας την οικονομική ανάπτυξη του τόπου.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[1] J.F. MANWELL, Hybrid energy systems, Encyclopedia of Energy, Vol. 3 (2004): 215-219.

[2] Νόμος 3468/2006, Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης και λοιπές διατάξεις, Εφημερίς της κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος πρώτο, Αρ. Φύλλου 129, 27 Ιουνίου 2006.

[3] HAISHENG CHEN et al, Progress in electrical energy storage system: A critical review, Progress in Natural Science, Vol. 19 (2009): 291-312.

- [4] ΚΑΠΕ (2001), Οδηγός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ.
- [5] MARCO SEMADENI, Storage of energy, Overview, Encyclopedia of Energy, Vol. 5 (2004):719-738.
- [6] ΤΑΣΣΙΟΥ ΙΩΑΝΝΑ, Ο ρόλος των αποθηκευτικών διατάξεων σε συστήματα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π. (2005), επιβλέπων Καθ. Ν. Χατζηαργυρίου.
- [7] J.K. KALDELLIS, D. ZAFIRAKIS, K.KAVADIAS, Techno-economic comparison of energy storage systems for island autonomous electrical networks, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13 (2009): 378-392.
- [8] S.PAPAEFTHIMIOU, E. KARAMANOU, S. PAPATHANASSIOU, M. PAPADOPOULOS, Operating policies for wind-pumped storage hybrid power stations in island grids, IET Renewable Power Generation, Vol. 3, No. 3 (2009): 293-307.
- [9] K. PROTOPAPAS, S. PAPATHANASSIOU, Application of pumped storage to increase wind penetration in isolated island grids. In Proceedings of European wind Energy Conference – EWEC, 2006, Athens, Greece.
- [10] C. BUENO, J.A. CARTA, Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 10, No. 4 (2006): 312-340.
- [11] DIMITRIS AL. KATSAPRAKAKIS et al, Pumped storage systems introduction in isolated power production systems, Renewable Energy, Vol. 33 (2008): 467-490.
- [12] BJORN BOLUND, HANS BERNHOFF, MATS LEIJON, Flywheel energy and power storage systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 11 (2007): 235-258.

[13] FREMERY JK, Axially stabilized magnetic bearing having a permanently magnetized radial bearing, US patent nr 5,126,610 (1992).

[14] JOHN R. HULL, Flywheels, Encyclopedia of Energy, Vol. 2 (2004): 695-704.

Βιβλιογραφία

220

[15] ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΟΣ, Στρατηγικές διαχείρισης υβριδικού σταθμού με ανεμογεννήτριες και συσσωρευτές σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, Ε.Μ.Π. (2008), επιβλέπων Επίκουρος Καθ. Σ. Παπαθανασίου.

[16] D. BERNDT, Valve-regulated lead-acid batteries, Journal of Power Sources, Vol. 100 (2001): 29-46.

[17] K.C. DIVYA, JACOB OSTERGAARD, Battery energy storage technology for power systems – An overview, Electric Power Systems Research, Vol. 79 (2009):511-520.

[18] [http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel\\_cadmium\\_battery](http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_cadmium_battery)

[19] <http://www.gpina.com/pdf/NiCd.pdf> (Nickel Cadmium Technical book)

[20] S. DROUILHET, M. SHIRAZI, Wales, Alaska high-penetration wind-diesel hybrid power system – Theory of operation, Technical Report, National Renewable Energy Laboratory (2002).

[21] I. BARING-GOULD, M. DABO, Technology, performance, and market report of wind-diesel applications for remote and island communities, In Proceedings of European wind Energy Conference – EWEC, Marseille, France, 2009.

[22] J. McDowall, Integrating energy storage with wind power in weak electricity grids. Journal of Power Sources. Vol. 64 (2006): 162-959.

[23] J. McDowall, High power batteries for utilities – the world’s most powerful battery and other developments, In Proceedings of Power Engineering Society General Meeting – IEEE, Denver, USA, 2004: 2034-2037.

[24] JOHN J.C. KOPERA, Inside the nickel metal hydride battery, Cobasys, 25 June 2004.

[25] I. HADJIPASCHALIS, A. POULIKKAS, V. EFTHIMIOU, Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13 (2009): 1513-1522.

[26] ZHAOYIN WEN et al, Research on sodium sulfur battery for energy storage, Solid

State Ionics, Vol. 179 (2008): 1697-1701.

[27] T. TAKAKOSHI, Recent sodium sulfur applications in Japan, ESA Annual Meeting, Tennessee, USA, 2001.

[28] <http://www.electricitystorage.org/site/technologies/>

[29] [http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium\\_polymer\\_battery](http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery)

[30] SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, Vanadium Redox-Flow Battery (VRB) for a Variety of Applications.

[31] V-FUEL PTY, Company and Technology Information Sheet.

[32] PRITAM SINGH, BJORN JONSHAGEN, Zinc-bromine battery for energy storage, Journal of Power Sources, Vol. 35 (1991): 405-410.

Βιβλιογραφία

221

[33] ANDREAS JOSSEN, DIRK UWE SAUER, Advances in redox-flow batteries, First International Renewable Energy Storage Conference, Gelsenkirchen, Germany, October 2006.

[34] HYDRO TASMANIA, King Island – Towards a sustainable renewable energy future.

[35] BRADSHAW DT, Pumped hydroelectric storage (PHS) and compressed air energy storage (CAES), In proceedings of the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2000.

[36] P. DENHOLM, GL. KULCINSKI, Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems, Energy Conversion Management, Vol. 45 (2004): 2153-2172.

[37] YSH NAJJAR, MS. ZAAMOUT, Performance analysis of compressed air energy storage (CAES) plant for dry regions, Energy Conversion Management. Vol. 39 (1998): 1503-1511.

[38] I. BARING-GOULD, D. CORBUS, Status of wind-diesel applications in arctic climates, In Proceedings of the Arctic Energy Summit Technology Conference, Anchorage, France, 2007.

[39] STATOIL HYDRO, Experiences from the wind-hydrogen plant at Utsira.

[40] T. NAKKEN et al, The Utsira wind-hydrogen system – operational experience, In the Proceedings of the European Wind Energy Conference – EWEC, Athens, Greece, 2006.

[41] STATOIL HYDRO, Utsira wind power and hydrogen plant, Inauguration 1 July 2004.

- [42] HYDRO TASMANIA, King Island - Towards a sustainable renewable energy future.
- [43] V. KARRI, W. K. YAP, J. TITCHEN, Simulation and configuration of hydrogen assisted renewable energy power system, In Proceedings of the World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 30 (2008).
- [44] S. DROUILHET, Preparing an existing diesel power plant for a wind hybrid retrofit: lessons learned in the Wales, Alaska, wind-diesel hybrid power project, In Proceedings of the Windpower Conference, Washington D.C., USA, 2001.
- [45] S. DROUILHET, Overview of the high penetration wind-diesel system in Wales, Alaska.
- [46] JUSTIN DAWE, Flow battery storage applications with wind power, IEEE PES GM (2005).
- [47] P. J. JORGENSEN et al, Samso – a renewable energy island - 10 years of development and evaluation, 2007.
- [48] J.F. MANWELL et al, HYBRID2 – A hybrid system simulation model – Theory manual, submitted to National Renewable Energy Laboratory, June 30, 2006.
- [49] M.R. JONGERDEN, B.R. HAVERKORT, Battery modeling, Technical Report (2008).
- [50] J.F. MANWELL et al, Improvements to the HYBRID2 battery model, In the Proceedings of the Windpower Conference (2005).
- [51] HOMER – The hybrid optimization model for electric renewables, <<http://www.nrel.gov/international/homer>>.
- [52] N. LYMPEROPOULOS, Hydrogen production from renewables, Project Technical Assistant Framework Contract, 2005.
- [53] T. Kraus, Hydrogen fuel and economically viable future for the transportation industry, Duke J. Economics Spring (2007).
- [54] Mohan SV, Bhaskar YV, Sarma PN, Biohydrogen production from chemical wastewater treatment in biofilm configured reactor operated in periodic discontinuous batch mode by selectively enriched anaerobic mixed consortia. Water Res, Vol. 41 (2007).
- [55] Mustafa Balat, Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 33 (2008): 4013-4029.
- [56] OYSTEIN ULLEBERG, Modeling of advanced alkaline electrolyzers: a system simulation approach, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 28 (2003): 21-

33.

- [57] H. WENDT, H. PLZAK, Hydrogen production by water electrolysis, *Kerntechnik*, Vol. 56 (1991).
- [58] J DIVISEK, Water electrolysis in low - and medium - temperature regime, *Electrochemical hydrogen technologies-electrochemical production and combustion of hydrogen*, Oxford: Elsevier, 1990.
- [59] NI. MENG et al, Electrochemistry modeling of Proton Exchange Membrane (PEM) water electrolysis for hydrogen production, In the Proceedings of WHEC, Lyon, France, 2006.
- [60] FRANO BARBIR, PEM electrolysis for production of hydrogen from renewable energy sources, *Solar Energy*, Vol. 78 (2005): 661-669.
- [61] TAO ZHOU, BRUNO FRANCOIS, Modeling and control design of hydrogen production process for an active hydrogen/wind hybrid power system, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34 (2009): 21-30.
- [62] M.J. KHAN, M.T. IQBAL, Analysis of a small wind-hydrogen stand-alone hybrid energy system, *Applied Energy*, Vol. 86 (2009): 2429-2442.
- [63] S. KELOUWANI, K. AGBOSSOU, R. CHAHINE, Model for energy conversion in renewable energy system with hydrogen storage, *Journal of Power Sources*, Vol. 140 (2005): 392–399.
- [64] K. AGBOSSOU, M. KOLHE, J. HAMELIN, TK. BOSE, Performance of a standalone renewable energy system based on energy storage as hydrogen, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 19 (2004): 633–640.

#### Βιβλιογραφία

223

- [65] M. SANTARELLI, D. PELLEGRINO, Mathematical optimization of a RES-H<sub>2</sub> plant using a black box algorithm, *Renewable Energy*, Vol. 30 (2005): 493–510.
- [66] DJ. PICKETT, *Electrochemical reactor design*, 2nd ed. New York: Elsevier, 1979.
- [67] W. HUG, J. DIVISEK, J. MERGEL, W. SEEGER, H. STEEB, Highly efficient advanced alkaline electrolyzer for solar operation, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 17 (1992): 699–705.
- [68] O.C. ONAR, M. UZUNOGLU, M.S. ALAM, Modeling, control and simulation of an autonomous wind turbine/photovoltaic/fuel cell/ultra-capacitor hybrid power system, *Journal of Power Sources*, Vol. 185 (2008): 1273-1283.
- [69] MARIA SAXE, PER ALVFORS, Advantages of integration with industry for



- electrolytic hydrogen production, *Energy*, Vol. 32 (2007): 42-50.
- [70] AMITAVA ROY, SIMON WATSON, DAVID INFIELD, Comparison of electrical energy efficiency of atmospheric and high-pressure electrolysers, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 31 (2006): 1964–1979.
- [71] Ε. ΒΑΡΚΑΡΑΚΗ, Ε. ΖΟΥΛΙΑΣ, Ν. ΛΥΜΠΕΡΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ, Χ. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Ε. ΚΑΛΥΒΑΣ, Υλοποίηση και πρώτα αποτελέσματα από μονάδα παραγωγής υδρογόνου από αιολική ενέργεια.
- [72] S. PAPATHANASSIOU, N. BOULAXIS, Power limitations and energy yield evaluation for wind farms operating in island systems, *Renewable Energy*, Vol. 31 (2006): 457-479.
- [73] Database of Photovoltaic Module Performance Parameters Photovoltaic Systems Research & Development of Sandia National Laboratories  
<http://photovoltaics.sandia.gov/docs/Database.htm>
- [74] J. A. DUFFIE, W. A. BECKMAN, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 1991.
- [75] D. GOLDBERG, *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, 1989.
- [76] ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ, ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΛΥΚΟΘΑΝΑΣΗΣ, Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους, Πάτρα, 1999.
- [77] ΦΑΣΟΥΛΑΚΗΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ, Σχεδίαση βροχοκεραιών Yagi-Uda με χρήση του λογισμικού πακέτου SuperNEC και βελτιστοποίηση τους με τη βοήθεια των γενετικών αλγορίθμων, Ε.Μ.Π. (2009), επιβλέπων Καθ. Καψάλης.
- [78] Μαράτος, *Τεχνικές Βελτιστοποιήσεως (σημειώσεις)*, Ε.Μ.Π. , 1990.
- [79] *Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox™ 2 User's Guide*, MATLAB, the Mathworks.
- [80] DARREL WHITLEY, A genetic algorithm tutorial, *Statistics and Computing*, Vol. 4 (1994): 65-85.
- [81] XINCHAO ZHAO et al, Evolutionary programming based on non-uniform mutation, *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 192 (2007): 1-11.
- [82] Z. MICHALEWICZ, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*,

third ed., Springer, New York, 1996.

[83] A.E. EIBEN, C.A. SCHIPPERS, On evolutionary exploration and exploitation, *Fundamenta Informaticae*, Vol. 35 (1998): 1-16.

[84] ΔΕΣΤΟΥΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ, Βέλτιστος έλεγχος δορυφορικών κεραιών πολλαπλών δεσμών για δορυφορικά δίκτυα επικοινωνιών στη ζώνη Ka (20/30 GHz), Ε.Μ.Π. (2009), επιβλέπων Λέκτορας Α. Παναγόπουλος.

[85] Π. ΚΑΠΡΟΣ, Κ. ΝΤΕΛΚΗΣ, Οικονομική ανάλυση επιχειρήσεων, Ε.Μ.Π. (2001).

[86] A. KASHEFI KAVIANI, G.H. RIAHY, SH. M. KOUHSARI, Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/PV generating system, considering component outages, *Renewable Energy*, Vol. 34 (2009): 2380-2390.

[87] Ν. ΧΑΤΖΗΡΓΥΡΙΟΥ, Αξιολόγηση επενδύσεων αιολικών πάρκων.

[88] RODOLFO DUFO LOPEZ, JOSE L. BERNAL AGUSTIN, Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms, *Solar Energy*, Vol. 79 (2005): 33-46.

[89] RODOLFO DUFO LOPEZ, JOSE L. BERNAL AGUSTIN, Multi-objective design and control of hybrid systems minimizing costs and unmet load, *Electric Power Systems Research*, Vol. 79 (2009): 170-180.

[90] RODOLFO DUFO LOPEZ, JOSE L. BERNAL AGUSTIN, Multi-objective design of PV– wind– diesel– hydrogen– battery systems, *Renewable Energy*, Vol. 33 (2008): 2559-2572.

[91] RIAD CHEDID, SAIFUR RAHMAN, Unit sizing and control of hybrid wind – solar power systems, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 12 (1997).

[92] J.K. KALDELLIS, D. ZAFIRAKIS, E. KONDILI, Optimum sizing of photovoltaic energy storage systems for autonomous small islands, *Electrical Power and Energy*

Systems, 2009. \_\_

[93] [http://www.cres.gr/energy-saving/efarmoges\\_iliako\\_xorio.htm](http://www.cres.gr/energy-saving/efarmoges_iliako_xorio.htm)