



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

### **Διπλωματική εργασία**

**“Ανάπτυξη και Προσομοίωση Τεχνικών Βελτιστοποίησης και  
Αποθήκευσης Ενέργειας για τη Μεγιστοποίηση της Διείσδυσης  
Τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ΑΠΕ στο Αυτόνομο Νησί  
της Μήλου”**

**Αμαλία Μαυρογιάννη**

**Επιβλέπων Καθηγητής Γεώργιος Σταυρακάκης  
Αν. Καθηγητής Ευτύχιος Κουτρούλης  
Επ. Καθηγητής Ιωάννης Κατσίγιαννης**

**Κρήτη Χανιά 2019**



# Περιεχόμενα

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....</b>	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>6</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΕ.....</b>	<b>7</b>
1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	7
1.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	8
1.2.1 Θερμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής .....	8
1.2.2 Εναλλακτικοί σταθμοί παραγωγής - Μορφές Α.Π.Ε. ....	8
1.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	15
1.3.1 Γραμμές μεταφοράς .....	15
1.3.2 Καλώδιο διασύνδεσης με Ηπειρωτική Ελλάδα ως άπειρος ζυγός .....	15
1.4 ΔΙΑΝΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	15
1.5 ΦΟΡΤΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	16
1.6 ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ .....	17
1.7 ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	17
1.8 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΝΗΣΙΩΝ ΜΕ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	18
1.9 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	19
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>20</b>
2.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΕΣ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ .....	20
2.2 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ .....	20
2.3 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ .....	22
2.4 ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ .....	24
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ .....</b>	<b>26</b>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	26
3.2 ΥΠΑΡΧΟΝ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	26
3.2.1 Υπάρχον Σύστημα βάσης - παραγωγής (εργοστάσιο).....	27
3.2.2 Σύστημα ΑΠΕ.....	27
3.2.3 Διανομή και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας .....	29
3.3 ΑΝΑΝΕΩΜΕΝΗ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ .....	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – MATPOWER .....</b>	<b>31</b>
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	31
4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ MATPOWER .....	31
4.2.1 Εισαγωγή δεδομένων.....	32
4.2.2 MATPOWER case.....	32
4.2.3 Επίλυση ενός case .....	35
4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ MATPOWER .....	36
4.3.1 Μορφή δεδομένων.....	36
4.3.2 Γραμμές μεταφοράς .....	37
4.3.4 Γεννήτριες .....	37
4.3.5 Φορτίο.....	38
4.3.6 Εγκάρσιο στοιχείο .....	38
4.3.7 Εξισώσεις ολόκληρου δικτύου .....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ.....</b>	<b>39</b>
5.1 ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ.....	39

5.2 AC ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ.....	39
5.3 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ.....	41
5.3.1 AC Βέλτιστη Ροή ισχύος .....	41
5.3.2 Επέκταση OPF βέλτιστης Ροής φορτίου .....	42
5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΟΗΣ ΙΣΧΥΟΣ .....	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>44</b>
6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ .....	44
6.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ.....	44
6.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	46
6.3.1 Εκτέλεση και αποτελέσματα υπάρχοντος συστήματος .....	48
6.4 ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ .....	50
6.4.1 Περιγραφή πρώτου σεναρίου.....	50
6.4.2 Εκτέλεση και αποτελέσματα πρώτου σεναρίου .....	52
6.4.3 Οικονομική αποτίμηση πρώτου σεναρίου .....	57
6.5 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ.....	61
6.5.1 Περιγραφή δεύτερου σεναρίου.....	62
6.5.2 Εκτέλεση και αποτελέσματα δεύτερου σεναρίου .....	63
6.5.3 Οικονομική αποτίμηση δεύτερου σεναρίου.....	64
6.6 ΤΡΙΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ.....	68
6.6.1 Περιγραφή τρίτου σεναρίου.....	68
6.6.2 Εκτέλεση και αποτελέσματα τρίτου σεναρίου .....	69
6.6.3 Οικονομική αποτίμηση τρίτου σεναρίου.....	72
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>83</b>
7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ .....	83
7.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	84
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>85</b>
ΒΙΒΛΙΑ – ΆΡΘΡΑ – ΕΡΓΑΣΙΕΣ .....	85
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.....	85

# Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Δρ. Κατσίγιαννη Ιωάννη για την πολύτιμη βοήθεια, τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια της διατριβής μου με την διπλωματική αυτήν εργασία. Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου καθηγητή Καθ. Σταυρακάκη Γεώργιο.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τον ΔΕΔ.ΗΕ Μήλου και τον Δήμο Μήλου για τις πολύτιμες πληροφορίες, συμβουλές αλλά και συμβουλές όσον αφορά την διπλωματική μου εργασία.

# Περίληψη

Σκοπός αυτής εδώ της εργασίας είναι η μελέτη του νησιού της Μήλου ως προς το ενεργειακό του ενδιαφέρον. Αρχικά θα εξεταστεί την ήδη υπάρχουσα λειτουργία της ως ένα αυτόνομο νησί που είναι. Πάνω σε αυτήν τη μελέτη προσομοιώνοντας το υπάρχον σύστημα θα εξετάσουμε το κόστος λειτουργίας αλλά και στοιχεία όπως είναι ο σωστός τρόπος λειτουργίας αλλά και πως λειτουργεί στην πραγματικότητα ένα τέτοιο σύστημα.

Επιπλέον, θα θεωρηθούν τρία βασικά σενάρια ανάπτυξης της Μήλου, τα οποία επιμέρους θα έχουν επιπλέον ανάπτυξη ως προς τις δυνατότητες τους. Τα τρία αυτά σενάρια είναι η διασύνδεση της Μήλου με την ηπειρωτική Ελλάδα σε συνδυασμό με την γεωθερμία, η προσθήκη ΑΠΕ σε συνδυασμό με αποθήκευση ενέργειας και τέλος ο συνδυασμός μορφών ΑΠΕ με καλώδιο διασύνδεσης αλλά και την γεωθερμία. Οτιδήποτε αναφέρεται σε μορφή αποθήκευσης και ΑΠΕ υπάρχουν τρεις συνδυασμοί οι οποίοι είναι ανάλογοι με το μέγεθος της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού. Τέλος μετά την υλοποίηση των υπολογισμών θα βρεθεί το αποδοτικότερο σενάριο όσον αφορά το κόστος λειτουργίας, την επιβάρυνση του περιβάλλοντος αλλά και το κόστος κατασκευής.

Η υλοποίηση και οι υπολογισμοί θα γίνουν με το πρόγραμμα MATPOWER. Η εργασία αυτή στηρίζεται σε πραγματικά στοιχεία ως προς τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις αλλά και τα στοιχεία ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα πραγματικά δεδομένα από το έτος 2014 της Μήλου.

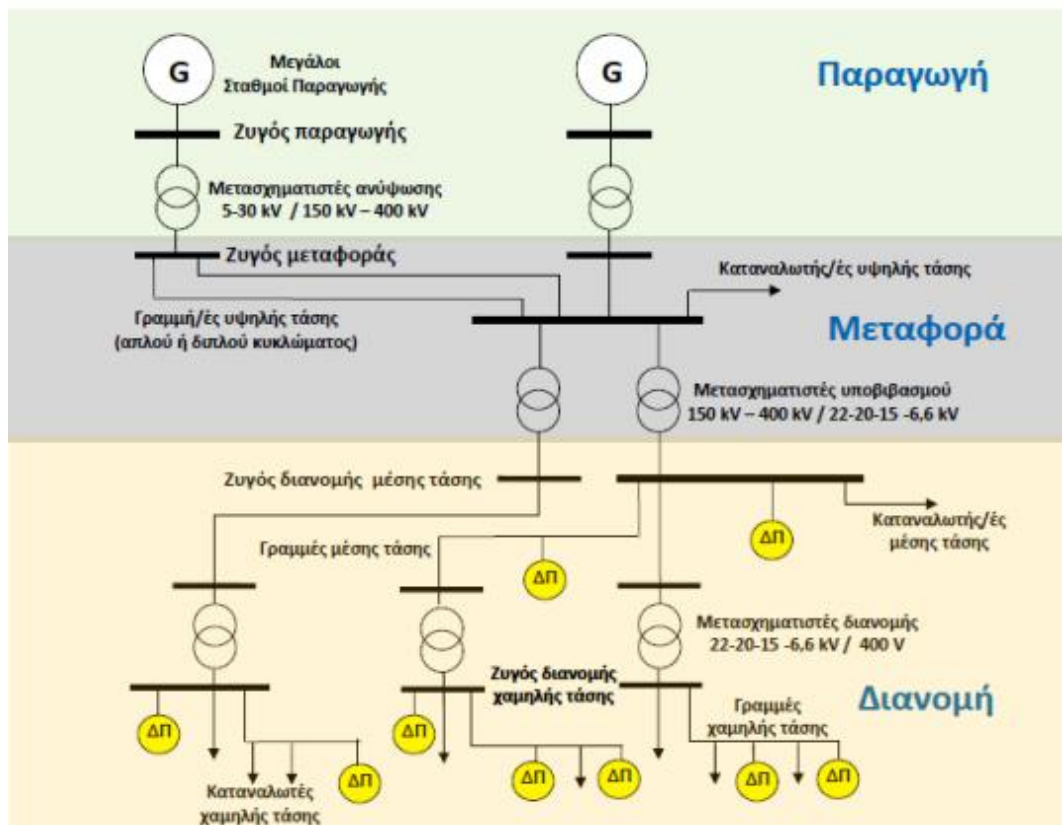
# Κεφάλαιο 1 – Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ΣΗΕ

## 1.1 Περιγραφή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και μεταφορά της αναλογικά με τη ζήτηση. Για την καλή λειτουργίες ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να προσφέρεται ενέργεια όπου ζητείται όμως εξασφαλίζοντας και το χαμηλότερο κόστος, σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και αξιοπιστία. Ένα ΣΗΕ προϋποθέτει τις παρακάτω τρεις λειτουργίες;

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας
- Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

Η ενέργεια που ζητείται επειδή δεν είναι εύκολη η αποθήκευση της πρέπει να παράγεται ακριβώς την στιγμή που καταναλώνεται.



Εικόνα 1 Δομή ενός χαρακτηριστικού ΣΗΕ

## 1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ως παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρούμε την διαδικασία που απαιτείται για την μετατροπή μιας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγωγή ενέργειας γίνεται σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με την καύση ορυκτών καυσίμων, από υδροηλεκτρικούς σταθμούς αξιοποιώντας την ροή ή την πτώση υδάτων, από πυρηνικούς σταθμούς επίσης τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται αρκετά και οι σταθμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα ΣΗΕ όπου λειτουργούν στην Ελλάδα είναι τριφασικά εναλλασσόμενου ρεύματος και συχνότητας 50 Hz.

### 1.2.1 Θερμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής

Υπό ορισμένες συνθήκες και για μικρή ισχύ εγκαθίστανται αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης (μηχανές diesel). Τέτοιοι σταθμοί εγκαθίστανται στα νησιά μας όπου η ζήτηση είναι μικρή και η εγκατάσταση ατμοστροβίλων με μικρή ισχύ είναι ασύμφορη. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης μίγμα καυσίμου και αέρα συμπιέζεται από κάποιο κύλινδρο με τη βοήθεια εμβόλων και αναφλέγεται. Η καύση του μίγματος δημιουργεί πιέσεις που αναγκάζουν τα έμβολα να κινηθούν σε αντίθετη κατεύθυνση δημιουργώντας παλινδρομική κίνηση. Η κίνηση αυτή με τη βοήθεια κατάλληλου μηχανισμού μετατρέπεται σε περιστροφική και μεταδίδεται στον άξονα της γεννήτριας. Στις μηχανές αυτές η θερμότητα εμφανίζεται ως ενδιάμεση ενεργειακή μορφή και για το λόγο αυτό και οι ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες που βασίζονται σε αυτόν τον τύπο των μηχανών εντάσσονται στην κατηγορία των θερμοηλεκτρικών μαζί με τους ατμοηλεκτρικούς. Επειδή το ρεύμα που παράγεται είναι χαμηλής τάσης, δεν απαιτούνται μετασχηματιστές ούτε μεγάλοι αυτόματοι διακόπτες. Οι απαιτούμενοι αυτοματισμοί και τα όργανα ελέγχου είναι ελάχιστα και περιορίζονται σε βαρόμετρα, αμπερόμετρα, βολτόμετρα και μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Εμείς χρησιμοποιούμε ντιζελοηλεκτρικούς σταθμούς.

### 1.2.2 Εναλλακτικοί σταθμοί παραγωγής - Μορφές Α.Π.Ε.

Οι εναλλακτικοί σταθμοί παραγωγής χρησιμοποιούν πηγές ενέργειας που βρίσκονται στη φύση και είναι πρακτικά ανεξάντλητες άρα είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ, renewable energy source-RES) ονομάζεται εκείνη η μορφή ενέργειας η οποία δεν εξαντλείται στο απώτερο ορατό μέλλον της ανθρωπότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σταθερό και αξιόπιστο τρόπο. Είναι μορφές ενέργειας οι οποίες προέρχονται από φυσικούς πόρους του πλανήτη ενώ παράλληλα δεν ζημιώνουν το περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε φυσικά φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν και τα χρησιμοποιούμε ώστε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια. Παρακάτω παραθέτονται οι πιο γνωστές μορφές ΑΠΕ

- Ηλιακή ενέργεια – Φωτοβολταϊκοί σταθμοί
- Υδροηλεκτρική ενέργεια ή υδροίσχύς
- Αιολική ενέργεια – Αιολικά πάρκα
- Καύσιμες ανανεώσιμες πηγές και απορρίμματα (combustible renewables and waste, CRW), βασικά η βιομάζα,
- Γεωθερμία (και οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας)
- Παλιρροϊκή ενέργεια
- Ενέργεια από τα κύματα
- Θερμότητα από τους ωκεανούς

Παρακάτω θα αναλυθούν περισσότερο οι μορφές ΑΠΕ που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την Διπλωματική εργασία.



### 1.2.2.1 Αιολική ενέργεια – Αιολικά πάρκα

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον άνεμο. Ο άνεμος εξαρτάται από την μεταβολή της θερμοκρασίας και προσδιορίζεται από την διεύθυνση του και την ένταση του. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούμε τον άνεμο ως πρωτογενή μορφή ενέργειας και τον μετατρέπουμε σε ηλεκτρική ενέργεια. Από πολύ παλιά ξεκινήσαμε να χρησιμοποιούμε τον άνεμο προς όφελός μας με τους ανεμόμυλους. Οι σύγχρονοι «ανεμόμυλοι» που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται ανεμογεννήτριες ή ανεμοκινητήρες (wind generators, wind turbines) ή καλύτερα συστήματα μετατροπής της αιολικής ενέργειας (wind energy conversion systems).

Η ισχύς μιας αέριας δέσμης υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$P_{air} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \quad (1.1)$$

Όπου:

$\rho$  η πυκνότητα του αέρα,

$A$  η επιφάνεια που καλύπτει η δέσμη του ανέμου που μελετάται (για τις Α/Γ θεωρείται η επιφάνεια σάρωσης των πτερυγίων)

$V$  η ταχύτητα του ανέμου.

Η πυκνότητα του αέρα, εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση  $P$  και την απόλυτη θερμοκρασία  $T$  του μέρους που μελετάται, σύμφωνα με το νόμο των ιδανικών αερίων:

$$\rho = \frac{P}{R \times T} \quad (1.2)$$

όπου  $R$  η παγκόσμια σταθερά αερίων.

Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε συστοιχίες που συνδέονται στον ίδιο ζυγό και αποτελούν τα αιολικά πάρκα. Οι περιοχές οι οποίες είναι κατάλληλες για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων είναι αυτές που έχουν μέση ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη από 5,5 m/sec. Οι συστοιχίες οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω ορίζονται βάση την κατά μέσο όρο κυριότερη διεύθυνση ανέμου της περιοχής. Επιπλέον, για την σωστή τοποθέτηση τους στο χώρο πρέπει να πληρούν τις προϋποθέσεις πως η απόστασή μεταξύ των ανεμογεννητριών δεν πρέπει να είναι μικρότερη κατά 2-4 φορές από την διάμετρο της σαρωτής και η απόσταση μεταξύ των συστοιχιών πρέπει να είναι περίπου 7-10 φορές η διάμετρος της σαρωτής, για να μην υπάρξει αλληλεπίδραση ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες.

Ο άνεμος που προσπίπτει στα πτερύγια μια ανεμογεννήτριας δεν είναι αυτός κάθε αυτός η ισχύ της ανεμογεννήτριας αλλά ένα ποσοστό αυτό του αέρα. Αυτό το ποσοστό είναι ο συντελεστής ισχύος και ορίζεται ως  $C_p$  και το ανώτερο όριο που μπορεί να φτάσει είναι το 59,259%. Στην πραγματικότητα αυτός ο συντελεστής είναι ο αεροδυναμικός βαθμός της πτερωτής μια ανεμογεννήτριας, έτσι ώστε για την βελτίωση του  $C_p$  να χρειάζεται και βελτίωση η αεροδυναμική σχεδίαση των πτερυγίων. Η ισχύς της ανεμογεννήτριας ορίζεται από τον τύπο:

$$P_{ανεμογεννήτριας} = \frac{1}{2} \times C_p \times A \times V^3 \times \eta_{ηλεκτρομηχανικό} \quad (1.3)$$

Όπου:

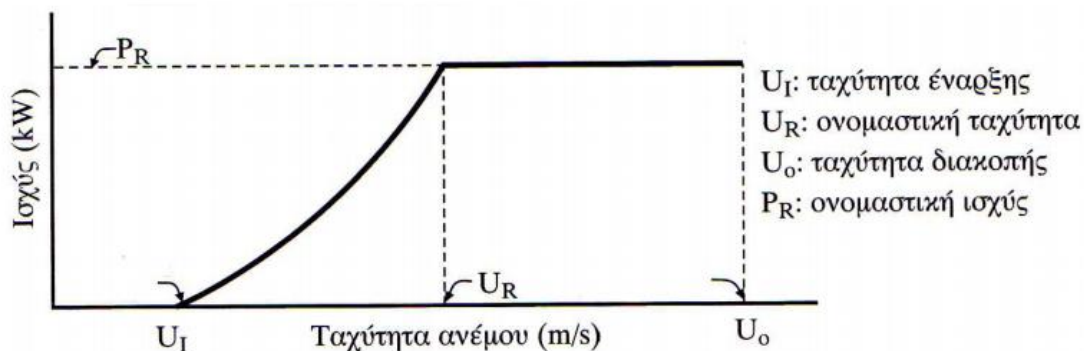
$\rho$  η πυκνότητα του αέρα,

$A$  η επιφάνεια που καλύπτει η δέσμη του ανέμου που μελετάται (για τις Α/Γ θεωρείται η επιφάνεια σάρωσης των πτερυγίων)

## Η ταχύτητα του ανέμου

Ηλεκτρομηχανικό ο ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης της ανεμογεννήτριας

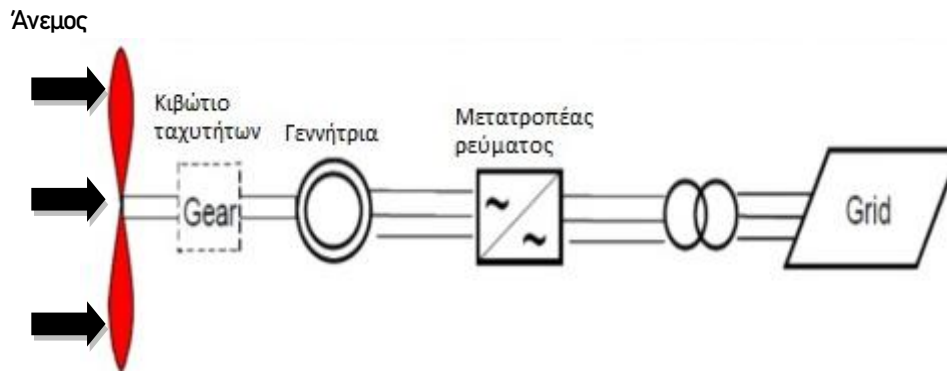
Ένα βασικό χαρακτηριστικό σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες είναι η καμπύλη ισχύος η οποία μας ορίζει τρεις χαρακτηριστικές ταχύτητες ή αλλιώς τρία σημεία λειτουργίας. Μας ενημερώνει για την απόδοση σε ισχύ της ανεμογεννήτριας σε σχέση με το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Παρακάτω στην Κέφ. 1 - Καμπύλη 1 είναι η χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας με τις τρεις χαρακτηριστικές καταστάσεις λειτουργίας.



Κέφ. 1 - Καμπύλη 1 Καμπύλη ισχύος

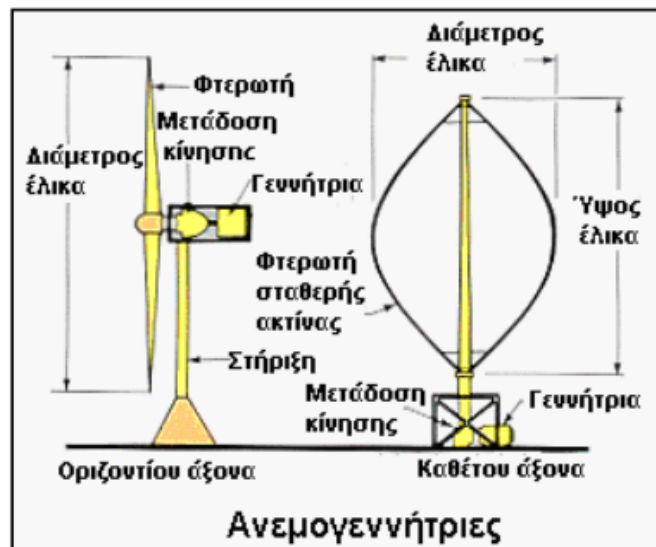
[Πηγή: Κωνσταντίνος Τσιαμπούρης ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Σχεδίαση ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα ισχύος 2kW με μηχανή μονίμων μαγνητών]

Η παραγωγή ενέργειας ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται από την μορφή της ετήσιας καμπύλης κατανομής της ταχύτητας. Η λειτουργία όμως μιας ανεμογεννήτριας είναι διαφορετική, δηλαδή μετατρέπει την κινητική ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο που προσπίπτει στην πτερωτή της ανεμογεννήτριας και την μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια. Συγκεκριμένα, άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα (δρομέας) έτσι η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική. Έπειτα, η χαμηλή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα από τον άνεμο αυξάνεται μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων το οποίο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια, μετατρέποντας πλέον την ενέργεια σε ηλεκτρική. Επιπλέον στη συνέχεια υπάρχουν φρένα τα οποία υπάρχουν για την πρόβλεψη των υψηλών ταχυτήτων περιστροφής, κάτι που προστατεύει την ανεμογεννήτρια. Τέλος σε μια ανεμογεννήτρια υπάρχουν μετατροπείς ρεύματος κάθε τύπου έτσι ώστε να φεύγει από την ανεμογεννήτρια το είδος του ρεύματος που χρειάζεται το δίκτυο. Το Κέφ. 1 - Σχήμα 1 παρακάτω αναπαριστά όσα περιγράφονται παραπάνω όσον αφορά μια τυπική ανεμογεννήτρια.

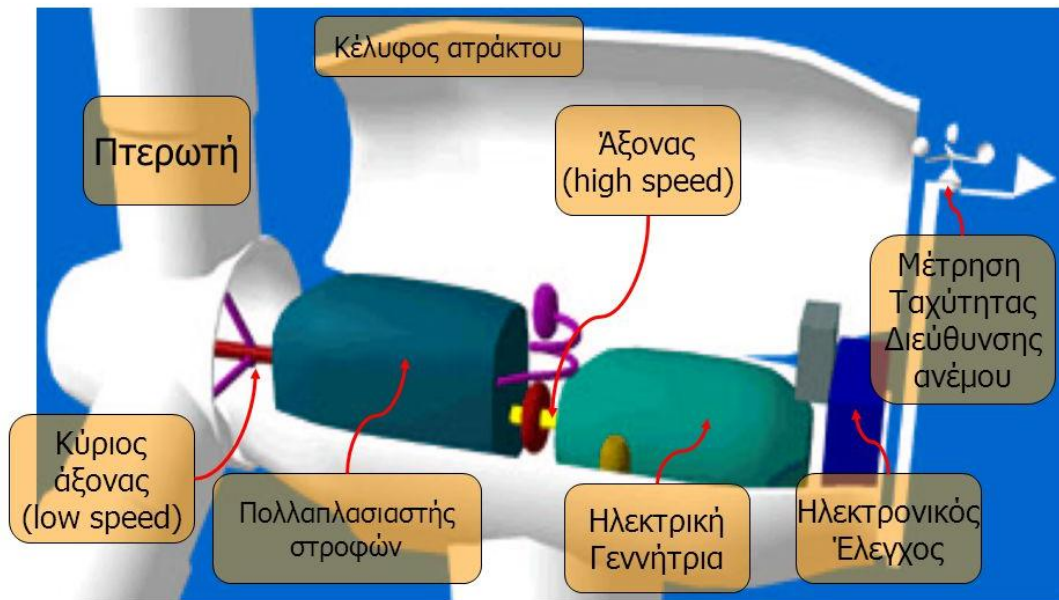


Κέφ. 1 - Σχήμα 1 Μετατροπή αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική από ανεμογεννήτρια

Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες Κέφ. 1 - Εικόνα 2 τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και κατακόρυφου άξονα. Η πιο συνηθισμένη κατηγορία που χρησιμοποιείται είναι οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.



Κέφ. 1 - Εικόνα 2 Κατηγορίες Ανεμογεννητριών



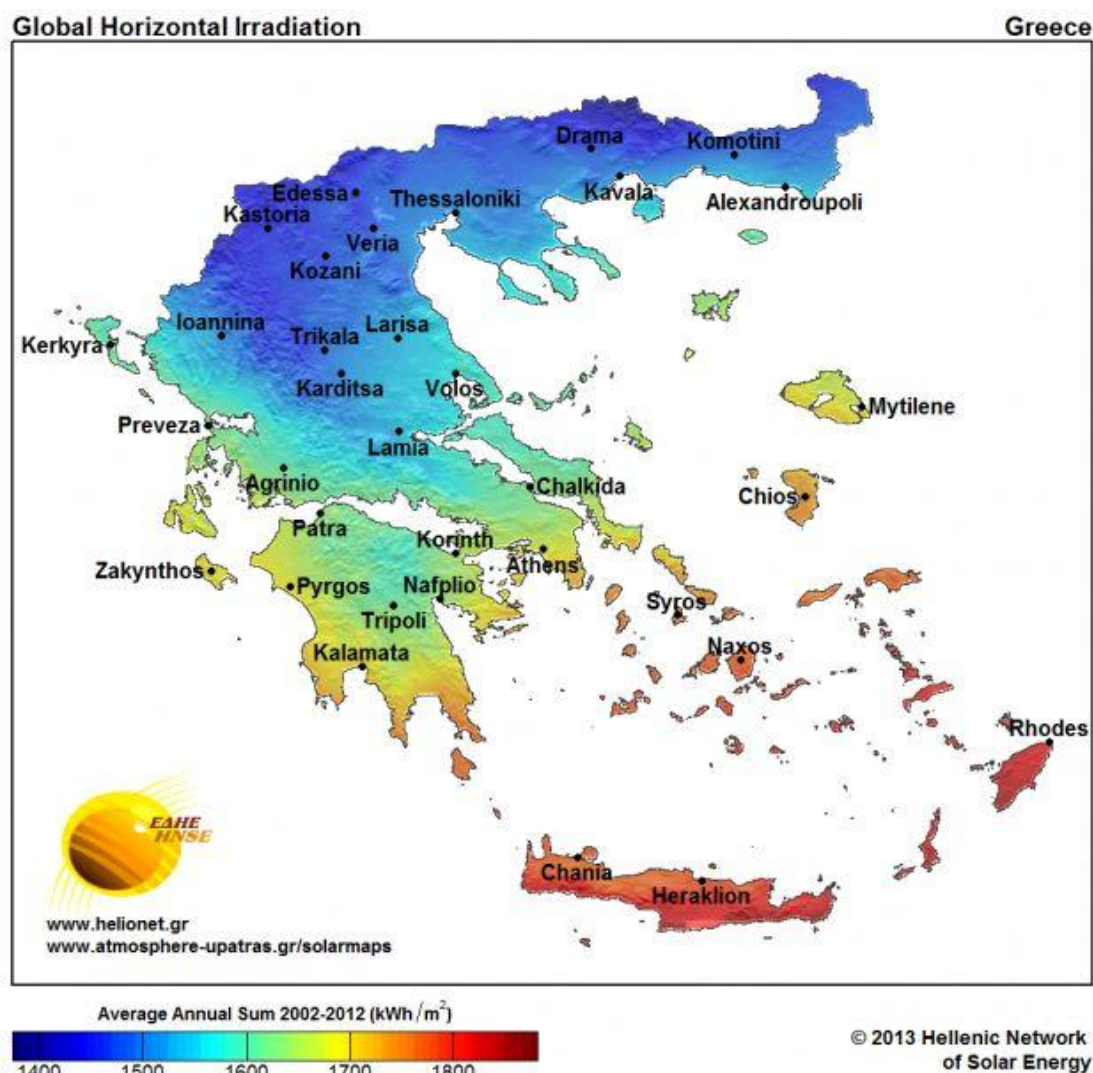
Κεφ. 1 - Εικόνα 3 Εσωτερικό ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα



Κεφ. 1 - Εικόνα 4 Αιολικό πάρκο Μήλου

### 1.2.2.2 Ηλιακή ενέργεια - Φωτοβολταϊκοί σταθμοί

Η ηλιακή ενέργεια με τις διάφορες μορφές της, προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία που ξεκινά από τον ήλιο και διαχέεται στο διάστημα. Υπάρχει άμεση ηλιακή ενέργεια και έμμεση, με τη μορφή της βιομάζας, των ανέμων, της θερμότητας των ωκεανών κτλ. Με τη σημερινή μας γνώση θα υπάρχει για τα επόμενα 5 δισεκατομμύρια χρόνια. Η ανώτερη ατμόσφαιρα της γης δέχεται ετησίως περίπου  $1,5 \times 10^{18}$  kWh ηλιακής ακτινοβολίας, ενέργεια που είναι μεγαλύτερη κατά 23.000 φορές από την ενέργεια που καταναλίσκει όλος ο πλανήτης. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια της γης είναι μειωμένη κατά 60% περίπου, αλλά δεν παύει να είναι μια τεράστια ποσότητα ενέργειας. Για να εκμεταλλευτούμε την ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούμε Φωτοβολταϊκά που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Παρακάτω στην Κέφ. 1 - Εικόνα 5 φαίνονται χαρακτηριστικά η μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας για την Ελλάδα.



Κέφ. 1 - Εικόνα 5 Χάρτης ηλιακής ενέργειας

Οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί αποτελούνται από ένα σύνολο Φωτοβολταϊκών πλαισίων και συνήθως από μετατροπείς συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο και ρυθμιστές τάσης και ρεύματος. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από ηλιακές κυψέλες οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Χαρακτηριστικά μια κυψέλης είναι οι διαστάσεις της όπου είναι στα  $100\text{cm}^2$  και μπορεί να παράγει περίπου 1W. Οι ομάδες κυψελών αποτελούν ένα Φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Τα Φωτοβολταϊκά αυτά πλαίσια μπορεί να είναι δυο διαφορετικών ειδών τα επίπεδα,

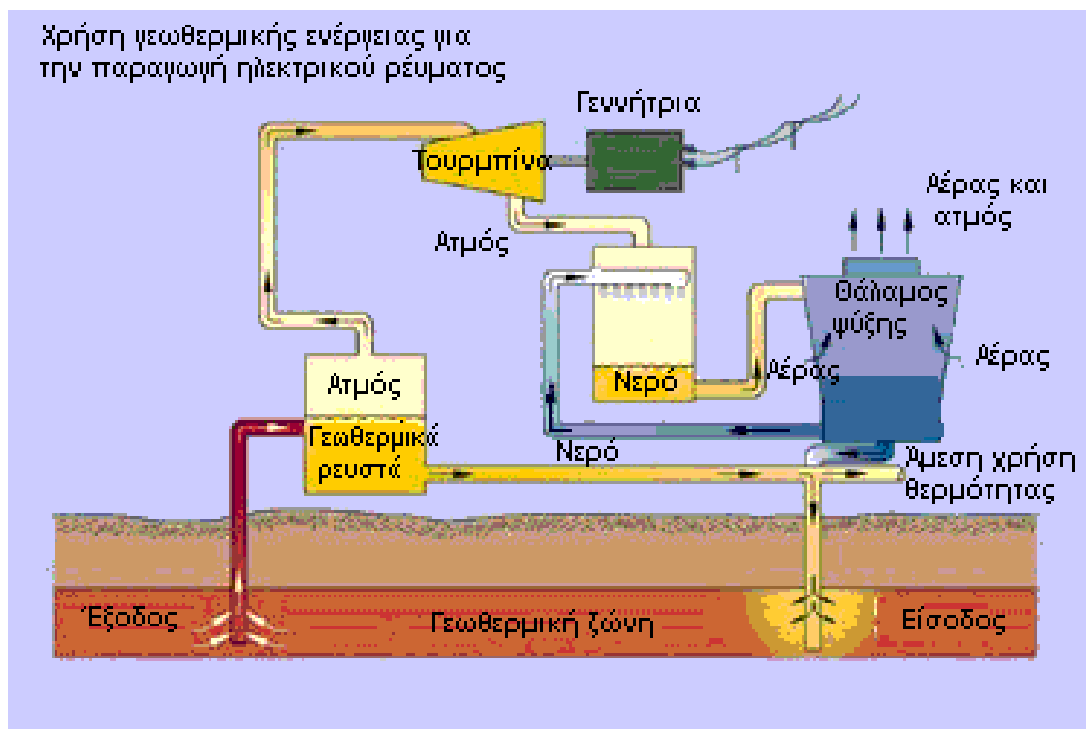


τα οποία είναι και τα πιο σύνθητες, και τα ηλιακής ακτινοβολίας για την αύξηση του βαθμού απόδοσης. Επίσης μια άλλη κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ενός φωτοβολταϊκού σταθμού είναι ο τρόπος στήριξης των πλαισίων. Τα σταθεροποιημένα συστήματα είναι αυτά όπου τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν σταθερό προσανατολισμό και σταθερή κλίση, ενώ η δεύτερη κατηγορία είναι τα συστήματα ιχνηλάτης όπου τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μετακινούνται ακολουθώντας την πορεία του ήλιου για την καλύτερη απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί μπορεί να χωριστούν σε δυο κατηγορίες στους σταθμούς που τροφοδοτούν αυτόνομα μικρά συστήματα με χαρακτηριστικά 100W – 20kW και σε σταθμούς που συνδέονται σε ηλεκτρικά συστήματα και έχουν ισχύ από μερικά kW έως και αρκετά MW. Οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί συνδέονται στο δίκτυο συνήθως στην χαμηλή τάση των 230V. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παράγουν DC ρεύμα την στιγμή που το δίκτυο διαπερνάται από AC ρεύμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η χρήση μετατροπών ρεύματος να είναι απαραίτητη.

### 1.2.2.3 Γεωθερμία

Η γεωθερμία είναι η εκμετάλλευση της θερμότητας του πυρήνα της γης. Όπως ξέρουμε η Γη έχει ένα πυρήνα, κάτω από το στερεό φλοιό, με υψηλή θερμότητα που συντηρείται με αντιδράσεις που γίνονται στο εσωτερικό του. Το θερμό αυτό υλικό όταν βρίσκει διέξοδο εκτοξεύεται στην επιφάνεια της Γης, στα ηφαίστεια. Σε άλλα σημεία ο στερεός φλοιός είναι λεπτός με αποτέλεσμα στρώματα όχι πολύ βαθιά να θερμαίνονται περισσότερο ή λιγότερο. Εάν διοχετεύσουμε νερό μέσα από τα στρώματα αυτά τότε το νερό θερμαίνεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανσή μας ή τη θέρμανση θερμοκηπίων ή άλλων παραγωγικών εγκαταστάσεων όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή (πεδία χαμηλής ενθαλπίας) είτε να κινήσουν ατμοηλεκτρικά εργοστάσια και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.



Κέφ. 1 - Σχήμα 2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

### 1.3 Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Στην μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας κατατάσσεται οτιδήποτε μπορεί να άγει ενέργεια από ένα σημείο σε άλλο. Πιο συγκεκριμένα όταν αναφέρουμε αυτόν τον όρο εννοούμε τις διαδικασίες και τους ελέγχους των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο από τους σταθμούς παραγωγής μέχρι και την τροφοδοσία διαφόρων καταναλωτών. Οι καταναλωτές μπορεί να είναι υψηλής τάσης οι οποίοι κατέχουν το δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού υψηλής τάσης με μέση και χαμηλή.

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διάφορων επιπέδων τάσης που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο μεταφοράς. Η τάση πρέπει να είναι σταθερή και οι τάσεις των τριών φάσεων να είναι συμμετρικές, όπου το κύμα της τάσης είναι ημιτονοειδούς μορφής και συχνότητας σταθερής, στην Ελλάδα είναι στα 50Hz. Υπάρχουν παρεμβολές σε άλλα δίκτυα τα οποία πρέπει να μετριάζονται με διάφορα όργανα. Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε υψηλή τάση γιατί αυτό καταφέρνει να έχουμε μικρότερη απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας άρα και οικονομικότερη λειτουργία. Τέλος το κόστος της μεταφοράς συνιστάται από το κόστος της εγκατάστασης, το κόστος των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας, το κόστος των απωλειών και τέλος το κόστος για την συντήρησή τους.

#### 1.3.1 Γραμμές μεταφοράς

Γενικά οι γραμμές μεταφοράς είναι αγωγοί όπου τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Οι κύριες απαιτήσεις για αγωγίμα υλικά:

- Υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Υψηλή μηχανική αντοχή
- Μικρό ειδικό βάρος
- Χαμηλή οξειδωση στον αέρα
- Ευχέρεια σύνδεσης των αγωγών

Ως ποσοστό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του χαλκού ισχυρής έλξης είναι 97% και του αλουμινίου είναι 60% περίπου. Η διατομή ενός αγωγού καθορίζεται από το ρεύμα που διέρχεται από αυτόν. Επίσης ο αγωγός θερμαίνεται άρα αφού σε μεγάλες θερμοκρασίες η μηχανική αντοχή μειώνεται η θερμοκρασία ισορροπίας δεν πρέπει να υπερβαίνει το ορισμένο για τον αγωγό όριο το οποίο συνήθως ανέρχεται στους 100°C.

#### 1.3.2 Καλώδιο διασύνδεσης με Ηπειρωτική Ελλάδα ως άπειρος ζυγός

Η διασύνδεση μικρών απομακρυσμένων σταθμών παραγωγής είναι κάτι πολύ σύνηθες για την βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας του συστήματος και της εξοικονόμησης χρημάτων αλλά και μείωσης αποβλήτων. Έτσι πολλά νησιά τα οποία βρίσκονται κοντά ομαδοποιούνται και ουσιαστικά συνδέονται μεταξύ τους και επίσης συνδέονται σε ένα πιο μεγάλο σύστημα. Με αυτόν τον τρόπο οι σταθμοί που συνδέθηκαν (τα νησιά) απορρίπτουν τον σταθμό βάσης τους και απλά δέχονται ενέργεια δεν παράγουν. Στα νησιά αυτά είναι σύνηθες να υπάρχει μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ, επειδή υπάρχει αυτή η δυνατότητα, οπότε παράγεται ενέργεια σε αυτούς τους σταθμούς αλλά μόνο από ΑΠΕ.

### 1.4 Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

Ο όρος διανομή ηλεκτρικής ενέργειας εννοούμε τις διαδικασίες λειτουργίας και ελέγχου όπου η ενέργεια μοιράζεται ή διανέμεται στους καταναλωτές. Ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των οποίων φτάνει στους καταναλωτές και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης, οι οποίοι τις συνδέουν με το

σύστημα μεταφοράς. Το δίκτυο διανομής φτάνουν μέχρι το μετρητή που βρίσκεται στους καταναλωτές. Τα τελευταία χρόνια η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτει όλη τη δραστηριότητα της διανομής και χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι απώλειες ενέργειας στο επίπεδο της διανομής είναι περίπου διπλάσιες από αυτές στην μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διάκριση των δικτύων διανομής γίνεται αναλόγως την τάση, τα δίκτυα υψηλής τάσης 60-150kV, δίκτυα μέσης τάσης 1-60 kV και δίκτυα χαμηλής τάσης 100-1000 V. Οι προηγούμενες τάσεις είναι πολικές σε τριφασικό σύστημα. Μια άλλη διάκριση είναι ανάλογα την κατασκευή τους όπου είναι σε εναέρια ή σε υπόγεια, όπου το πλεονέκτημα των εναέριων είναι πιο οικονομικά και η αποκατάσταση οποιαδήποτε βλάβης είναι πολύ γρηγορότερη. Στα εναέρια δίκτυα χρησιμοποιούνται στύλοι ξύλινοι ή τσιμεντένιοι ή σπανιότερα μεταλλικοί. Ενώ οι αγωγοί είναι από αλουμίνιο απλό στα δίκτυα χαμηλής τάσης ή ενισχυμένο με χάλυβα στα δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης. Τα υπόγεια χρησιμοποιούνται συνήθως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου δεν υπάρχει αρκετός χώρος για εναέρια τα οποία τοποθετούνται κάτω από πεζοδρόμια ή σε περιπτώσεις που δεν καλύπτει ο χώρος του πεζοδρομίου, κάτω από το οδόστρωμα. Οι υποσταθμοί υποβιβασμού κατασκευάζονται σε υπόγεια κάτω από πεζοδρόμια ή πλατείες ενώ για την υψηλή τάση σε μέση τάση οι υποσταθμοί υποβιβασμού κατασκευάζονται εντός ειδικά διαμορφωμένων κτιρίων.

## 1.5 Φορτία ηλεκτρικής ενέργειας

Τα φορτία που υπάρχουν σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ή μέγιστο φορτίο ή φορτίο αιχμής. Χαρακτηριστικά του φορτίου είναι η μέγιστη ζήτηση ισχύος από τους καταναλωτές. Το φορτίο των καταναλωτών ποικίλλει αναλόγως με την ζήτηση. Η κατανομή του ηλεκτρικού οικιακού φορτίου στη διάρκεια μιας μέρας εξαρτάται από την περίοδο του έτους αλλά και από τον τύπο του καταναλωτή, δηλαδή από κοινωνικούς παράγοντες και οικονομικούς παράγοντες που συνάδουν με τη ζωή των καταναλωτών εκείνης της περιοχής. Επιμέρους φορτία τα οποία ζητούνται από διαφορετικού τύπου καταναλωτές συντελούν το συνολικό φορτίο μιας πόλης, μιας περιοχής ή ακόμα και μιας χώρας. Κάτι όμως που πρέπει να σημειωθεί είναι πως οι καταναλωτές ίδιας κατηγορίας δεν ζητούν ταυτόχρονα το μέγιστο φορτίο τους, δηλαδή παρατηρείται ένας ετεροχρονισμός με αποτέλεσμα το συνολικό μέγιστο φορτίο μιας κατηγορίας να είναι μικρότερο από το άθροισμα των επιμέρους μεγίστων φορτίων των καταναλωτών της κατηγορίας αυτής. Για την μελέτη και την πρόβλεψη της ζήτησης ή του φορτίου σε σχέση με το χρόνο υπάρχουν δυο καμπύλες οι χρονολογικές καμπύλες φορτίου αλλά και οι καμπύλες διάρκειας φορτίου. Οι δυο αυτές καμπύλες παρουσιάζουν τα φορτία που ζητούνται σε σχέση με τον χρόνο. Η χρονολογική καμπύλη φορτίου έχει ως τεταγμένες τα φορτία που ζητούνται κατά διαδοχικές χρονικές στιγμές και ως τετμημένες τους αντίστοιχους χρόνους κατά τους οποίους ζητήθηκαν, οι καμπύλες αυτές μπορούν να έχουν διάσταση χρόνου από μια ημέρα έως και ετήσια. Η τυπική καμπύλη διάρκειας φορτίου παρουσιάζει τα φορτία κατά την θεωρούμενη περίοδο διατεταγμένα κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους και προκύπτουν από τις αντίστοιχες χρονολογικές καμπύλες. Ο άξονας που παρουσιάζει τον χρόνο απεικονίζει τη χρονική διάρκεια που η ζήτηση είναι ίση με την αντίστοιχη συγκεκριμένη τιμή ισχύος ή την ξεπερνά. Παρακάτω παρουσιάζονται οι δυο παραπάνω καμπύλες:



## 1.6 Υβριδικός σταθμός

Υβριδικός σταθμός, βάση του νομοθετικού πλαισίου της Ελλάδος, λέγεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί μία τουλάχιστον μορφή ΑΠΕ. Η συνολική ενέργεια που απορροφά ο σταθμός από το δίκτυο σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την κάλυψη του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού. Τέλος, η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων, του σταθμού, ΑΠΕ δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού προσαυξημένη κατά 20%. Ένας υβριδικός σταθμός έχει ως σκοπό να μεγιστοποιήσει τον αριθμό μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής, πρακτικά δηλαδή μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), για την κάλυψη μιας συγκεκριμένης ζήτησης ισχύος. Σε ένα συμβατικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ), οι μονάδες μη εγγυημένης ισχύος συμμετέχουν στην παραγωγή ισχύος έως ένα μέγιστο ποσοστό, το οποίο ορίζεται από τους περιορισμούς ασφάλειας και ευστάθειας της λειτουργίας του συστήματος και διαμορφώνεται βάσει διαφόρων παραμέτρων, όπως το μέγεθος του συστήματος, οι καιρικές συνθήκες, η ποσότητα και το είδος διατήρησης στρεφόμενης εφεδρείας κλπ. Όσο υψηλή κι αν είναι η στιγμιαία διείσδυση μονάδων μη εγγυημένης ισχύος σε ένα συμβατικό ΣΗΕ, ο ρόλος τους, δηλαδή των ΑΠΕ, παραμένει συμπληρωματικός ως προς τις μονάδες εγγυημένης ισχύος, που συνήθως είναι θερμοηλεκτρικές μονάδες και, σπανιότερα, υδροστρόβιλοι, οι οποίες παραμένουν οι βασικές μονάδες, στις οποίες στηρίζεται η παραγωγή ισχύος. Ουσιαστικά, είναι εμφανές πως υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης περισσότερων ΑΠΕ όμως υπό τον περιορισμό ότι εάν η παραγόμενη ενέργεια των ΑΠΕ υπερβαίνει κατά 20% τότε απορρίπτεται.

Λοιπόν ένας υβριδικός σταθμός αποτελείται τουλάχιστον από δύο διακριτά μέρη, τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής (μονάδες ΑΠΕ) και τις μονάδες αποθήκευσης. Αν όμως προκύψει κάποια χρονική στιγμή που η διαθεσιμότητα παραγωγής ισχύος από τις μονάδες μη εγγυημένης ισχύος μαζί με την αποθηκευμένη ενέργεια στη μονάδα αποθήκευσης δεν επαρκούν να καλύψουν τη ζήτηση ισχύος, για την εξασφάλιση της αδιάλειπτης και ασφαλούς παραγωγής ισχύος από ένα υβριδικό σταθμό σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να αντιμετωπιστεί η ανωτέρω πιθανότητα, της υστέρησης δηλαδή της παραγωγής ισχύος από τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής ως προς τη ζήτηση ισχύος και της ταυτόχρονης χαμηλής στάθμης αποθηκευμένης ενέργειας στη μονάδα αποθήκευσης. Στην περίπτωση αυτή η μόνη περίπτωση παραγωγής ισχύος είναι η διαθεσιμότητα μιας ή περισσότερων μονάδων εγγυημένης παραγωγής, και πάλι αναλόγως με το μέγεθος του συστήματος και του υβριδικού σταθμού, π.χ. μίας ή περισσότερων θερμοηλεκτρικών μονάδων, αν πρόκειται για ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

## 1.7 Μη διασυνδεδεμένα συστήματα

Μη διασυνδεδεμένα συστήματα, ή νησιά στην περίπτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι συστήματα ενέργειας τα οποία είναι αυτόνομα και δεν στηρίζονται σε κάποιο μεγαλύτερο σύστημα ενέργειας. Ένα τέτοιο σύστημα είναι το νησί της Μήλου. Τα συστήματα αυτά κατηγοριοποιούνται βάση της μέγιστης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας των τελευταίων, από εκείνη την χρονική στιγμή, πέντε ετών.

Οι τρεις κατηγορίες είναι:

- Μεγάλα (>100MW)
- Μεσαία(> 5 και <=100 MW)
- Μικρά(<=5 MW)

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ή οι ιδιαιτερότητες των μη διασυνδεδεμένων νησιών είναι ότι έχουν μεγάλη διαφοροποίηση στο μέγεθος τους, τον πληθυσμό τον οποίο έχουν αλλά και την απόσταση από την Ηπειρωτική Ελλάδα όπου η σύνδεση είναι δύσκολη τις περισσότερες φορές

όπου είναι μέσω θαλάσσης. Επειδή αυτά τα ηλεκτρικά συστήματα τις περισσότερες φορές είναι νησιά δεν έχουν άμεση δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας με άλλα συστήματα, αυτό συνεπάγεται ότι η λειτουργία τους δεν είναι τόσο αξιόπιστη και ασφαλείς. Σε όλα αυτά τα συστήματα υπάρχει μεγάλη δυνατότητα, λόγω υψηλού δυναμικού, για ανάπτυξη ΑΠΕ. Επιπλέον, ένα χαρακτηριστικό είναι ότι η έλλειψη διασυνδέσεων με άλλα ηλεκτρικά συστήματα υψηλής αδράνειας προκύπτουν προβλήματα σταθερότητας τάσης και συχνότητας. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας έχει μεγάλες διακυμάνσεις, όπως και η Αιχμή Ζήτησης που κυμαίνεται από 100KW έως και 650KW. Σε ένα μη διασυνδεδεμένο σύστημα υπάρχει περιορισμός ως προς την μέγιστη επιτρεπόμενη διείσδυση ΑΠΕ.

Για όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά απώτερος μελλοντικός σκοπός είναι ο εκσυγχρονισμός του δικτύου αυτού και η μετατροπή του σε ένα «Εξυπνο Σύστημα» που θα βελτιώνει συνεχώς την εξυπηρέτηση των συνδεδεμένων καταναλωτών και παραγωγών. Το κόστος, η ασφάλεια αλλά και η αξιοπιστία του συστήματος είναι τα βασικά στοιχεία που ο μελλοντικός στόχος είναι η διασύνδεση αυτών των συστημάτων.

Τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας λόγω όλων των παραπάνω θεωρείται πως είναι πιο ενδιαφέροντα λόγω το ότι δεν υπάρχει υποστήριξη από μεγαλύτερα συστήματα και η αξιοπιστία των συστημάτων αυτών είναι πολύ πιο δύσκολο να επιτευχθεί σε μεγάλο ποσοστό. Γενικότερα όμως οτιδήποτε είναι απλό για ένα μεγάλο σύστημα είναι πολύ δυσκολότερο για ένα μικρότερο μη διασυνδεδεμένο σύστημα. Επίσης τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα συνήθως έχουν μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας από ένα μεγαλύτερο σύστημα π.χ. στο σύστημα της ηπειρωτικής Ελλάδας για να καλύψει μια ζήτηση 5MW θα κοστίσει πολύ λιγότερο από το σύστημα της Μήλου, δηλαδή ενός μη διασυνδεδεμένου νησιού να καλύψει το ίδιο φορτίο.

Αυτή τη στιγμή στο σύστημα των μη διασυνδεδεμένων νησιών της Ελλάδας αποτελείται από 60 νησιά τα οποία έχουν χωριστεί σε ομάδες αναλόγως την διασύνδεση τους. Υπάρχουν 32 ηλεκτρικά συστήματα (ΗΞ) εκ των οποίων τα 11 αφορούν σε 39 διασυνδεδεμένα μεταξύ τους νησιά και τα 21 υπόλοιπα αφορούν σε αυτόνομα νησιά. Από αυτά τα 32 ηλεκτρικά συστήματα τα 31 αποτελούν απομονωμένα μικροδίκτυα ενώ το ένα είναι απομονωμένο σύστημα και είναι το νησί της Κρήτης. Όπως αναφέραμε και παραπάνω τα συστήματα χωρίζονται βάση την ισχύ τους. Τα νησιά Ρόδος και Κρήτη κατατάσσονται στα μεγάλα ηλεκτρικά συστήματα, στα μεσαία ηλεκτρικά συστήματα κατατάσσονται τα νησιά Πάρος, Χίος, Μύκονος, Σάμος, Σύρος, Λήμνος, Μήλος, Ικαρία, Θήρα, Κάρπαθος, Κως-Κάλυμνος, Λέσβος, Πάτμος, και Σίφνος, ενώ στα μικρά ηλεκτρικά συστήματα είναι Αγ. Ευστράτιος, Αγαθονήσι, Αμοργός, Ανάφη, Αντικύθηρα, Αρκιοί, Αστυπάλαια, Γαύδος, Δονούσα, Ερεϊκούσα, Κύθνος, Μεγίστη, Οθωνοί, Σέριφος, Σκύρος και Σύμη.

## 1.8 Μελλοντικές διασυνδέσεις νησιών με Ηπειρωτικό σύστημα

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν έργα εν εξέλιξη, το ένα είναι η διασύνδεση των Κυκλάδων και το δεύτερο η διασύνδεση της Κρήτης.

- **Διασύνδεση Κυκλάδων**

Υπό διασύνδεση 3 ΗΞ των ΜΔΝ: ΗΞ Μυκόνου (νησιά: Μύκονος, Δήλος, Ρήνεια), ΗΞ Σύρου (νησί: Σύρος) και ΗΞ Πάρου (νησιά: Πάρος, Νάξος, Αντίπαρος, Κουφονήσι, Σχοινούσα, Ηρακλεία, Σίκινος, Φολέγανδρος, Ίος)

- **Διασύνδεση Κρήτης**

- Κύρια Διασύνδεση Κρήτης με Αττική, μέσω DC ΥΒ, ισχύος 2x350 MW, μήκους 400 Km, έως το 2023

- Διασύνδεση Εξοικονόμησης Κρήτης με Πελοπόννησο, με AC ΥΒ, ισχύος 200 MVA, μήκους 150 Km έως το 2020

Βεβαίως όμως υπάρχουν και μελέτες για την διασύνδεση οι οποίες έχουν σχεδιαστεί ώστε να γίνουν μέσω υποβρυχίου καλωδίου δύο τύπων ΥΤ και ΜΤ.

- **Μελέτη Διασύνδεσης, μέσω Υποβρυχίων καλωδίων ΥΤ**
  - ΗΞ Θήρας (νησιά: Θήρα, Θηρασιά) με ΗΞ Πάρου και ΗΞ Μήλου
  - ΗΞ Σίφνου (νησί: Σίφνος) με ΗΞ Σύρου
  - ΗΞ Μήλου (νησιά: Μήλος, Κίμωλος) με ΗΞ Θήρας, Σίφνου και ενδεχομένως Σερίφου
  - ΗΞ Σερίφου (νησί: Σέριφος) με ΗΞ Σύρου
- **Μελέτη Διασυνδέσεων, μέσω Υποβρυχίων καλωδίων ΜΤ**
  - ΗΞ Σερίφου (νησί: Σέριφος) με ΗΞ Σίφνου
  - ΗΞ Ανάφης (νησί: Ανάφη) με ΗΞ Θήρας
  - ΗΞ Αστυπάλαιας (νησί: Αστυπάλαια) με ΗΞ Θήρα

Όπου ΗΞ σημαίνει ηλεκτρικό σύστημα.

## 1.9 Δομή διπλωματικής εργασίας

Αυτή η διπλωματική εργασία αφορά κάποια σενάρια για την ανάπτυξη και βελτιστοποίηση τεχνικών για την βελτιστοποίηση της μέγιστης διείσδυσης τεχνικών ΑΠΕ στο μη διασυνδεδεμένο νησί της Μήλου. Αναφέρονται και εξετάζονται σενάρια προσθήκης διαφόρων μορφών ΑΠΕ σε συνδυασμό με το υπάρχον σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Μήλου ή και με κάποιες ριζικές αλλαγές.

Αρχική μας σκέψη ήταν να αποθηκεύουμε την ενέργεια που παράγεται και δεν χρησιμοποιείται την ίδια ακριβώς στιγμή και μπορεί να απορρίπτεται. Χρησιμοποιήθηκαν μπαταρίες NaS γιατί είναι μια ώριμη τεχνολογία που ταιριάζει στο σύστημα της Μήλου με χαρακτηριστικά λειτουργίας που ταιριάζουν στο σύστημα της Μήλου. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Μήλου είναι ένα ακριβό σε σχέση με το μέγεθος του, σε σχέση με μεγαλύτερα συστήματα όπως αυτό της Ηπειρωτικής Ελλάδας. Το ΣΗΕ της Μήλου αυτή την στιγμή περιέχει ΑΠΕ όμως σε μικρό βαθμό. Στους σκοπούς αλλά και στα μελλοντικά σχέδια για το νησί είναι η διασύνδεσή του αλλά και η επανεγκατάσταση ενός σωστού και ασφαλή σταθμού γεωθερμίας αφού πριν από κάποια χρόνια είχε τερματιστεί άδοξα.

Επιπλέον μέλημα είναι και η οικονομική λειτουργία λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς συστήματος. χρησιμοποιώντας το λογισμικό MatPower εκτελέστηκε για ένα πλήθος σεναρίων βέλτιστη ροή ισχύος (OPF) για να βελτιστοποιηθεί το σύστημα μας σε ενεργειακό αλλά και οικονομικό επίπεδο. Επιπλέον, παρουσιάζεται και μια οικονομοτεχνική ανάλυση η οποία μας βοηθάει να αποφασίσουμε ποιο σενάριο είναι πιο οικονομικό και καταλληλότερο για το σύστημα της Μήλου.

# Κεφάλαιο 2 – Μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

## 2.1 Αποθήκευση και ανάγκες για αποθήκευση

Σε έναν τόπο όπως είναι η Ελλάδα στην οποία τα φυσικά μετρολογικά δεδομένα είναι ευνοϊκά είναι απολύτως λογικό οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να έχουν ένα πού σημαντικό ρόλο στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδος. Η χρήση των ΑΠΕ δεν αποφέρει ενέργεια σε όλη την διάρκεια της μέρας η ακόμη και για παραπάνω από μια μέρα, αναλόγως την μορφή της ΑΠΕ. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν ένα μειονέκτημα το οποίο είναι ότι μπορεί να μην συμβαδίζει με την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στην ημέρα, κάτι το οποίο σημαίνει πως η ενέργεια μπορεί να μην είναι διαθέσιμη όταν ζητείται ενώ σε άλλες περιπτώσεις να υπερβαίνει την ζήτηση. Με αυτά τα δεδομένα η ανάγκη για αποθήκευση γίνεται απαραίτητη ώστε οτιδήποτε ενέργεια παράγεται να χρησιμοποιείται. Επιπλέον η ανάγκη για αποθήκευση υπήρχε και παλαιότερα διότι οι θερμικές μονάδες δεν είναι ευέλικτες κατά περιόδους όπως η νύχτα και η ενέργεια που παράγεται είναι μεγαλύτερη από αυτήν που ζητείται. Η ενέργεια που έχει αποθηκευθεί είναι πολύ εύκολο να μεταφερθεί και σε μεγάλες αποστάσεις.

Τα Ελληνικά νησιά είναι παραπάνω από κατάλληλα για την εγκατάσταση ΑΠΕ όμως επειδή η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ έχει πολλές διακυμάνσεις, δεδομένου ότι στηρίζονται σε μη προβλέψιμα μετεωρολογικά δεδομένα αυτό θέτει ένα πρόβλημα. Η εγκατάσταση όμως μονάδων αποθήκευσης θα έλυνε αυτό το πρόβλημα και θα έκανε το σύστημα μας πιο οικονομικό σε απόδοση διότι, ουσιαστικά η ενέργεια που μπορεί να παράγουν τα εγκατεστημένα ΑΠΕ σε ένα σύστημα θα αξιοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό και οι θερμικές μονάδες θα λειτουργούν πολύ λιγότερο, επιπλέον, όταν τα ΑΠΕ δεν έχουν την δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια οι μονάδες αποθήκευσης δίνουν στο σύστημα ενέργεια.

## 2.2 Διατάξεις αποθήκευσης

Λόγω της μεγάλης ανάγκης για αποθήκευση όπως έχει ήδη αναφερθεί και παραπάνω, η αποθήκευση δεν είναι εφικτή άμεσα επειδή κοστίζει αρκετά, οπότε ένας τρόπος που χρησιμοποιείται είναι να γίνεται μετατροπή σε άλλη μορφή και όταν χρειάζεται ενέργεια να την ξανά μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια. Υπάρχουν πολλές τεχνικές αποθήκευσης μέχρι σήμερα αλλά συνεχώς αναπτύσσονται και άλλες πιο οικονομικές αλλά και πιο οικονομικές τεχνολογίες. Οι μορφές που μετατρέπεται η ενέργεια είναι:

- Χημική (μπαταρίες)
- Μηχανική υπό την μορφή κινητικής ενέργειας σε σφόνδυλο
- Ηλεκτροστατικού πεδίου, λόγω διαφορετικού ηλεκτρικού φορτίου στους σπλισμούς (υπερπυκνωτές)
- Μαγνητικού πεδίου (υπεραγώγιμο μαγνητικό σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης)
- Πιεσμένου αέρα (συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα)
- Υδραυλική (συστήματα αντλησιοταμίευσης)
- Υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου)
- Θερμότητας

Οι διατάξεις αποθήκευσης χωρίζονται επιπλέον σε δυο μεγάλες κατηγορίες οι οποίες διακρίνονται από το χρονικό διάστημα το οποίο μπορούν να καλύψουν με ηλεκτρική ενέργεια ένα σύστημα οι οποίες είναι Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας και Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας. Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας ονομάζονται αυτές που προσφέρουν ενέργεια για μικρά χρονικά διαστήματα, όπου χρησιμοποιούνται σε κατανεμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής ενώ, οι Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας χαρακτηρίζονται από την μεγάλη χωρητικότητα ηλεκτρικής ενέργειας αλλά επιπλέον παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

[Πηγή: Γεώργιος Σταυρακάκης Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας]

**Κέφ. - 2 - Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά Διατάξεων αποθήκευσης**

Αποθηκευτική διάταξη	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αντλησιοταμίευση (pumped storage)	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία
CAES	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία και αέριο καύσιμο
Μπαταρίες ροής (flow): PS8, VRBr, ZnBr	Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος · ενέργειας	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας
Μετάλλου - αέρος	Πολύ υψηλή πυκνότητα ενέργειας	Δύσκολη η ηλεκτρική φόρτιση
NaS	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή αποτελεσματικότητα	κόστος παραγωγής, μέτρα ασφαλείας (λόγω σχεδιασμού)
Li-ion	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή αποτελεσματικότητα	Υψηλό κόστος παραγωγής, απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης
Ni-Cd	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, αποτελεσματικότητα	
Άλλες ενισχυμένες μπαταρίες	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος	Υψηλό κόστος παραγωγής
Μολύβδου - οξέος	Χαμηλό αρχικό κόστος	Περιορισμένος κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση
Στρεφόμενες μάζες (flywheels)	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας
SMES, DSMES-Υπεραγωγία Πηνία	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής
E.C Capacitors	Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλή αποτελεσματικότητα	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας

## 2.3 Μπαταρίες χρήσης για αποθήκευση

Οι μπαταρίες ή οι συσσωρευτές είναι χημικές πηγές ρεύματος ώστε να μπορούν να αποθηκεύσουν ηλεκτρική ενέργεια αφού την μετατρέψει από χημική, αλλά και να δώσουν ενέργεια στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας όπου είναι συνδεδεμένοι όταν υπάρξει ζήτηση. Οι μπαταρίες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα ή και σε σειρά και παράλληλα ταυτόχρονα. Ένα ηλεκτρικό στοιχείο αποτελείται από δυο πλάκες οι οποίες είναι φτιαγμένες από διαφορετικά αγωγίμα μέταλλα, όπου ονομάζονται ηλεκτρόδια, βυθισμένες μέσα σε ένα επίσης αγωγίμο υγρό, το οποίο ονομάζεται ηλεκτρολύτης. Με την χημική αντίδραση που γίνεται μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη υπάρχει μεταφορά ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος.

Η σύνδεση της μπαταρίας ειδικότερα των ηλεκτροδίων στο κύκλωμα προκαλεί την εκφόρτιση της μπαταρίας. Όταν εκφορτιστεί η μπαταρία φορτίζεται όταν περάσει συνεχές ρεύμα από άλλη πηγή, ενώ με την αντίστροφη χημική διαδικασία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική.

Οι μπαταρίες νατρίου θείου χρησιμοποιούνται στα αιολικά συστήματα όπως και άλλες τεχνολογίες. Οι μπαταρίες νικελίου-μεταλλικού υδριδίου και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου είναι σχετικά σύγχρονες και συγκεκριμένα οι εφαρμογές τους μέχρι σήμερα είναι σε ηλεκτρονικά όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα, οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές και υπόλοιπα ηλεκτρονικά. Οι τύποι αυτοί δεν ήταν όμως ευρέως διαθέσιμοι σε μεγάλες χωρητικότητες. Επιπλέον, οι μπαταρίες αυτές είναι αρκετά πιο ακριβές σήμερα ανά αποθηκευμένη kWh με σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος και συχνά χρειάζονται μια κάπως περίπλοκη προστασία για το κύκλωμα φόρτισής τους, κάτι το οποίο δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί με τη μεταβλητή φύση των ρευμάτων φόρτισης των ΑΠΕ. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί πρόοδος στις μπαταρίες λιθίου. Υπάρχουν και άλλοι τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών υπό ανάπτυξη για μελλοντικές εφαρμογές μπαταριών σε ηλεκτρικά οχήματα ή ανύψωση φορτίου τα οποία δεν είναι εμπορικά διαθέσιμοι ακόμα, εκτός από κάποιες περιορισμένες περιπτώσεις.

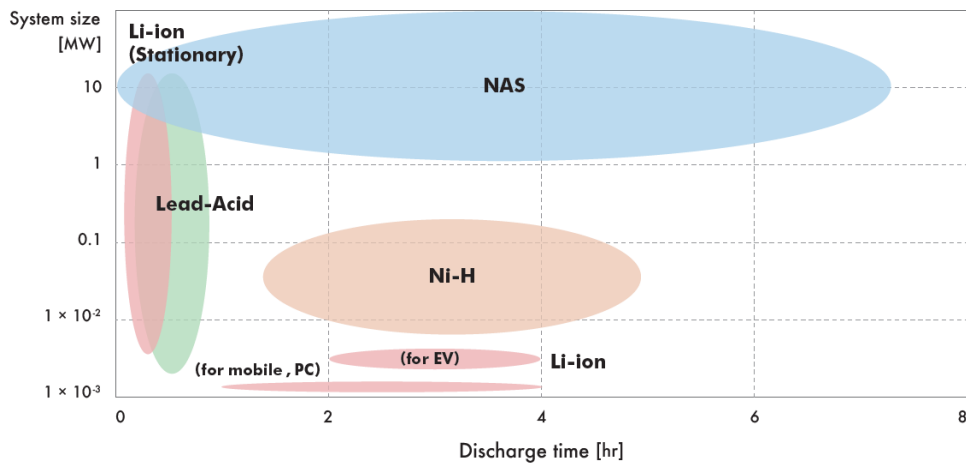
Κέφ. 2 - Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά διαφόρων τεχνολογιών συσσωρευτών

Τεχνολογίες Μπαταριών	Πυκνότητα ενέργειας (kWh/L)	Πυκνότητα ισχύος (kW/L)	Ειδική ενέργεια (Wh/kg)	Ειδική Ισχύς (kW/kg)	Αποδιδόμενη Ισχύς (MW)	Χωρητικότητα ενέργειας (MWh)	Χρόνος ζωής (χρόνια)	Απόδοση %
<b>PHS</b>	$1 \times 10^{-3}$ μέχρι $2 \times 10^{-3}$	$\sim 1 \times 10^{-3}$	0.5-1.5	—	<4000	500-8000	0+	87
<b>Large-scale CAES</b>	$2 \times 10^{-3}$ μέχρι $6 \times 10^{-3}$	$\sim 1 \times 10^{-3}$	30-60	—	1000	2860	20-40	54
<b>Flywheel</b>	0.02-0.08	$\sim 5$	5-100	0.4-1.5	0.1-20	έως 5	20	$\sim 90-95$
<b>Lead-acid</b>	0.05-0.09	0.01-0.40	30-50	180	0.05-10	0.001-40	13	75-80
<b>Li-ion</b>	0.20-0.50	1.5-10	75-200	0.5-2	1-100	$\sim 0.004-10$	14-16	$\sim 90-97$
<b>NaS</b>	0.15-0.30	$\sim 0.14-0.18$	150-240	0.15-0.23	<34	0.4-244.8	12-20	75-85
<b>NiCd</b>	0.06-0.15	0.08-0.60	50-75	0.15-0.30	0-40	6.75	15-20	60-83
<b>VRB</b>	0.025-0.035	$\sim <2 \times 10^{-3}$	10-30	0.166	2	<60	20	65-75
<b>ZnBr</b>	0.03-0.06	$\sim <25 \times 10^{-3}$	30-50	0.1 , 0.045	0.05-10	0.1-3 , 0.005 και 0.5	5-10	66-80
<b>PSB</b>	$\sim 0.02-0.03$	$\sim <2 \times 10^{-3}$	$\sim 15-30$	—	1-15	έως 120	10-15	60-75
<b>Capacitor</b>	$2 \times 10^{-3}$ to 0.01	>100	$\sim <0.05$	$\sim 100$	0-0.05	—	$\sim 1-10$	>70
<b>Supercapacitor</b>	0.01-0.03	>100	2.5-15	$\sim 10$ , 0.50-5	$\sim 0.001-0.1$	0.0005	10-30	84-95
<b>SMES</b>	$\sim 6 \times 10^{-3}$	1-4	10-75	0.5-2	$\sim 1-10$	0.0008	30	95-98
<b>Solar fuel</b>	0.50-10	—	$0.8 \times 10^3$ μέχρι $10^5$	—	0-10	—	—	$\sim 20-30$
<b>Hydrogen fuel cell</b>	0.50-3	>0.5	$0.8-10^4$ μέχρι $10^5$	>0.5	58.8	0.312	+20	45-66
<b>TES</b>	0.20-0.50	—	80-200	0.01-0.03	0.1-300	—	30	-30-60
<b>Liquid Air Storage</b>	0.012-0.024	—	214	—	10-200	2.5	>25	55-80 +

Στην δική μας περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν μπαταρίες νατρίου θείου NaS γιατί είναι μια τεχνολογία η οποία έχει πολύ καλή απόδοση αλλά και οριακά μηδενική αυτοεκφόρτιση. Οι συσσωρευτές NaS όσων αφορά την διάρκεια ζωής τους αλλά και το κόστος τους κυμαίνονται σε ικανοποιητικά αλλά και λογικά πλαίσια, με την συντήρηση τους να έχει περιορισμένες απαιτήσεις. Στην Ιαπωνία ειδικότερα η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι πολύ διαδεδομένη αλλά και δημοφιλής διότι στην Ιαπωνία η εγκατεστημένη ισχύς των συσσωρευτών νατρίου θείου υπερβαίνει τα 20MW και με μελλοντικές μελέτες εγκαταστάσεων οι οποίες φτάνουν μέχρι και τα 300MW. Ένα αρνητικό όπως που πρέπει να αναφερθεί στις μπαταρίες νατρίου θείου είναι ότι το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν πρέπει η θερμοκρασία να υπερβαίνει την θερμοκρασία των 300°C.

Το παρακάτω διάγραμμα Κέφ. 2 - Καμπύλη 2 μας κατατοπίζει ως προς το μέγεθος που μπορεί να καλύψει κάθε τεχνολογία και τον χρόνο αποφόρτισης της





Κέφ. 2 - Καμπύλη 2 Διάγραμμα κάλυψης τεχνολογιών συσσωρευτών

## 2.4 Υβριδικοί σταθμοί με χρήση μονάδων αποθήκευσης

Για τους υβριδικούς σταθμούς η μονάδα αποθήκευσης θα πρέπει να χαρακτηρίζεται καταρχάς από την χωρητικότητα της. Επιπλέον, ανάλογη με το μέγεθος της ζήτησης ισχύος που καλείται να καλύψει ο υβριδικός σταθμός θα πρέπει να είναι και η ισχύς φόρτισης / εκφόρτισης της μονάδας αποθήκευσης. Με βάση τα αποτελέσματα από τη μελέτη και τη διαστασιολόγηση σειράς υβριδικών σταθμών, θα μπορούσαμε εμπειρικά να πούμε ότι οι μονάδες αποθήκευσης που θα υποστηρίξουν ένα υβριδικό σταθμό θα πρέπει να παρουσιάζουν μία χωρητικότητα από 1% έως 3% της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το αιολικό πάρκο του υβριδικού σταθμού, ανάλογα με τον αλγόριθμο λειτουργίας του υβριδικού σταθμού και για συντελεστή απασχόλησης αιολικού πάρκου της τάξης του 30 – 40%. Η ισχύς εκφόρτισης της μονάδας αποθήκευσης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την ετήσια αιχμή ζήτησης ισχύος του συστήματος, στην περίπτωση που ο υβριδικός σταθμός καλείται να καλύψει ολοκληρωτικά τη ζήτηση ισχύος. Η ισχύς φόρτισης της μονάδας αποθήκευσης θα πρέπει να είναι της τάξης της ονομαστικής ισχύος του αιολικού πάρκου του υβριδικού σταθμού (συνήθως λίγο μικρότερη).

Σε αυτήν την διπλωματική εργασία η μέθοδος του υβριδικού σταθμού που έχει επιλεγεί σε ένα σενάριο, είναι η σύνδεση των μπαταριών με αιολικό πάρκο για την βασική τους φόρτιση.

Ο ιδιοκτήτης του υβριδικού σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας δηλώνει την εγγυημένη ενέργεια, η οποία είναι ίση με την μέγιστη ισχύ της μπαταρίας P<sub>bat</sub> επί τον αριθμό των ωρών (στην περίπτωση μας 6 ώρες) της εγγυημένης ισχύος. Παίρνοντας υπόψη την αρχή λειτουργίας ενός υβριδικού σταθμού παραγωγής με αιολικά και μπαταρίες οι παρακάτω δυο περιπτώσεις μπορούν να θεωρηθούν.

- **Περίπτωση 1**

Εάν η συνολική ισχύ που μπορούμε να πάρουμε από τα αιολικά είναι μικρότερη από την ήδη εγκατεστημένη χωρητικότητα του υβριδικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας P<sub>bat</sub>, τότε η παραγόμενη ενέργεια από τα αιολικά μπορεί να αποθηκεύεται στον υβριδικό σταθμό με περιορισμό το ελάχιστο και το μέγιστο όριο αποθήκευσης των μπαταριών.



- **Περίπτωση 2**

Εάν η συνολική ισχύς που μπορούμε να πάρουμε από τα αιολικά είναι μεγαλύτερη από το  $P_{bat}$  και μικρότερη από  $1,2 \times P_{bat}$  τότε η ισχύς που δεν μπορεί να αποθηκευτεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας στο σύστημα, σε περίπτωση μόνο που υπάρχει δυνατότητα επιπρόσθετης ισχύος από ΑΠΕ, σε άλλη περίπτωση απορρίπτεται.

Άλλοι περιορισμοί σε σχέση με τη λειτουργία υβριδικών σταθμών περιλαμβάνουν:

- Την παρεχόμενη ενέργεια από τους υβριδικούς σταθμούς τις πρώτες 6 ώρες της ημέρας δεν μπορούν να υπερβούν την παραγόμενη ενέργεια των τελευταίων 6 ωρών της μέρας.
- Η ημερήσια παραγωγή ενέργειας πρέπει να είναι το λιγότερο  $2 \times P_{bat}$  διαφορετικά θα είναι ίση με 0
- Σε ορισμένες μέρες συγκεκριμένα σε υψηλά φορτία, ο υβριδικός σταθμός πρέπει να παράγει την εγγυημένη ισχύ
- Η τιμή της ενέργειας που προέρχεται από τις μπαταρίες είναι υψηλότερη σε σύγκριση με την τιμή της ενέργειας που πωλείται από τα αιολικά στο δίκτυο.

# Κεφάλαιο 3 – Ενεργειακό σύστημα της Μήλου

## 3.1 Εισαγωγή

Στο νοτιοδυτικό άκρο των Κυκλάδων βρίσκεται η Μήλος, το νησί που έγινε σ' όλο τον κόσμο γνωστό από το περίφημο άγαλμα της Αφροδίτης. Η Μήλος είναι ένα εντυπωσιακό νησί, με μοναδική φύση και πλούσια ιστορία. Το ηφαιστειακό παρελθόν της, τα εκπληκτικά λευκά, κόκκινα, κίτρινα ή μαύρα βράχια, η καταγάλανη θάλασσα και οι σπηλιές, δημιουργούν έναν συναρπαστικό συνδυασμό με εκπληκτικής ομορφιάς τοπία: το Κλέφτικο, η σπηλιά του Παπάφραγκα, το Σαρακήνικο, οι Αρκούδες. Επιπλέον, η Μήλος βρίσκεται στο επίκεντρο παγκόσμιου αρχαιολογικού και θρησκευτικού ενδιαφέροντος χάρη στις Ξακουστές Κατακόμβες της και στη Φυλακωπή με την Κυρά της. Επιπλέον Ξακουστή την κάνουν και η γεωμορφολογική της διάσταση.

Πρωτεύουσα του νησιού, χτισμένη σε ύψος 200 μέτρων πάνω από τον κόλπο της Μήλου, είναι η Πλάκα, ένας από τους πιο γραφικούς οικισμούς των Κυκλάδων, με κατάλευκα σπίτια και ολάνθιστα μπαλκόνια. Στην Πλάκα υπάρχει κάστρο και πολλές εκκλησίες. Επίνειο της Πλάκας είναι ο Αδάμας, ένα από τα ασφαλέστερα και μεγαλύτερα λιμάνια της Μεσογείου, καλά προφυλαγμένο μέσα στον κόλπο της Μήλου, με όμορφα σπιτάκια και στενά δρομάκια.

Στο βορειοανατολικό άκρο του νησιού βρίσκεται η Απολλωνία ή Πολλώνια, όμορφο παραθεριστικό κέντρο και στο κέντρο της ανατολικής Μήλου βρίσκεται η Ζεφυρία ή Χώρα, που υπήρξε η μεσαιωνική πρωτεύουσα του νησιού έως το 1767, οπότε καταστράφηκε από σεισμούς και διάφορες ασθένειες.

Η Μήλος είναι ένα νησί με μεγάλο γεωμορφολογικό ενδιαφέρον αλλά και κλιματικό. Ακόμη και το σχήμα της, από το οποίο πήρε το όνομα της, έχει ενδιαφέρον γιατί μοιάζει σαν μήλο. Ένα ηφαιστιογενές νησί το οποίο έχει κατάλληλο περιβάλλον για ΑΠΕ αλλά και μεγάλο ενδιαφέρον στα ορυκτά τα οποία βρίσκονται κάτω από το έδαφος. Το νησί της μήλου χαρακτηρίζεται ως βιομηχανικό νησί αν και με πολύ τουρισμό. Η εξόρυξη ορυκτών κάνει το νησί αυτό να χαρακτηρίζεται ως βιομηχανικό νησί. Ο ορυκτός πλούτος της την κάνει να είναι ένα από τα μόνα κυκλαδίτικα νησιά πολλούς μόνιμους κατοίκους (περίπου 5000 στην απογραφή του 2000 όπου τώρα αναμένεται να είναι πολλοί περισσότεροι). Το σύστημα της Μήλου ουσιαστικά καλύπτει, με υποβρύχιο καλώδιο, την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και του διπλανού μικρού νησιού της Κιμώλου. Τα δυο αυτά νησιά, Μήλος και Κίμωλος, έχουν αυξανόμενη ζήτηση τους θερινούς μήνες λόγω τουριστικής περιόδου όμως με την Μήλο να ξερνάει την Κίμωλο κατά πολύ στην ζήτηση ετησίως.

## 3.2 Υπάρχον Σύστημα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Το νησί καλύπτει μόνο του τις ανάγκες ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με την βοήθεια ενός σταθμού βάσης και κάποιων ΑΠΕ, συγκεκριμένα ανεμογεννητριών και ηλιακών πάνελ. Υπάρχει το βασικό εργοστάσιο, πάνω στο οποίο στηρίζεται όλο το νησί, και για υποβοήθηση υπάρχουν ΑΠΕ τα οποία χειρίζεται κατάλληλα το εργοστάσιο ώστε να πληρούνται όλοι οι κανονισμοί ενός ΣΗΕ.

### 3.2.1 Υπάρχον Σύστημα βάσης - παραγωγής (εργοστάσιο)

Στην περιοχή της Κάναβας βρίσκεται ο σταθμός της ΔΕΗ όπου είναι οι εγκαταστάσεις του εργοστασίου. Το εργοστάσιο απαρτίζεται από ντιζελομηχανές καταταγμένες με σειρά ένταξης αναλόγως την ζήτηση ενέργειας του νησιού εκείνη την ώρα. Τα χαρακτηριστικά των γεννητριών που λειτουργούν βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα. Χρησιμοποιείται καύσιμο diesel αλλά και mazut.

Πίνακας 3 Μονάδες βάσης

ΑΣΠ ΜΗΛΟΥ								
Α/Α	Τύπος Μονάδας	Μέγιστη Δυναμικότητα / Ισχύς (MW)	Τεχνικό Ελάχιστο / Ισχύς	Καύσιμο	Σειρά Ένταξης	Ειδική κατανάλωση (kg ή lit/MWh)		
						50%	75%	100%
1	MAN V32/40	5,000	2,750	MAZOYT	1Α	207,50	202,00	200,00
2	MAN V32/40	5,000	2,750	MAZOYT	1Β	207,50	202,00	200,00
3	MAN V32/40	5,000	2,750	MAZOYT	1Γ	207,50	202,00	200,00
4	CKD 12V27.5B8S	1,500	1,300	DIESEL	3Α	237,90	227,80	227,20
5	CKD 12V27.5B8S	1,500	1,300	DIESEL	3Β	237,90	227,80	227,20
6	MITSUBISHI S16R-PTA	1,000	0,638	DIESEL	2	226,09	214,49	211,31
ΣΥΝΟΛΟ		19,000						

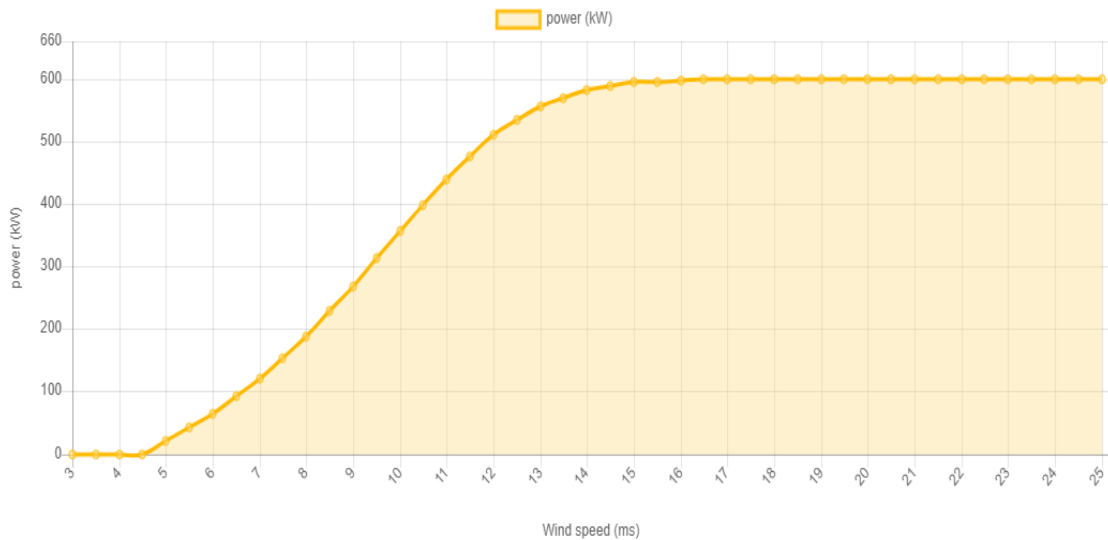
### 3.2.2 Σύστημα ΑΠΕ

Το σύστημα των ΑΠΕ της μήλου αυτή την στιγμή απαρτίζεται από ένα αιολικό πάρκο στην περιοχή Χάλακας - Κουτσούνόρραχη και από λίγα Φωτοβολταϊκά διάσπαρτα σε κάποιες περιοχές της Μήλου, σε συστοιχίες το πολύ των τριών επί τριών, ενώ υπάρχουν και καταναλωτές που έχουν εγκαταστήσει μικρό αριθμό φωτοβολταϊκών σε οροφές για την εξυπηρέτηση των δικών τους αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας.

#### 3.2.2.1 Αιολικό Πάρκο

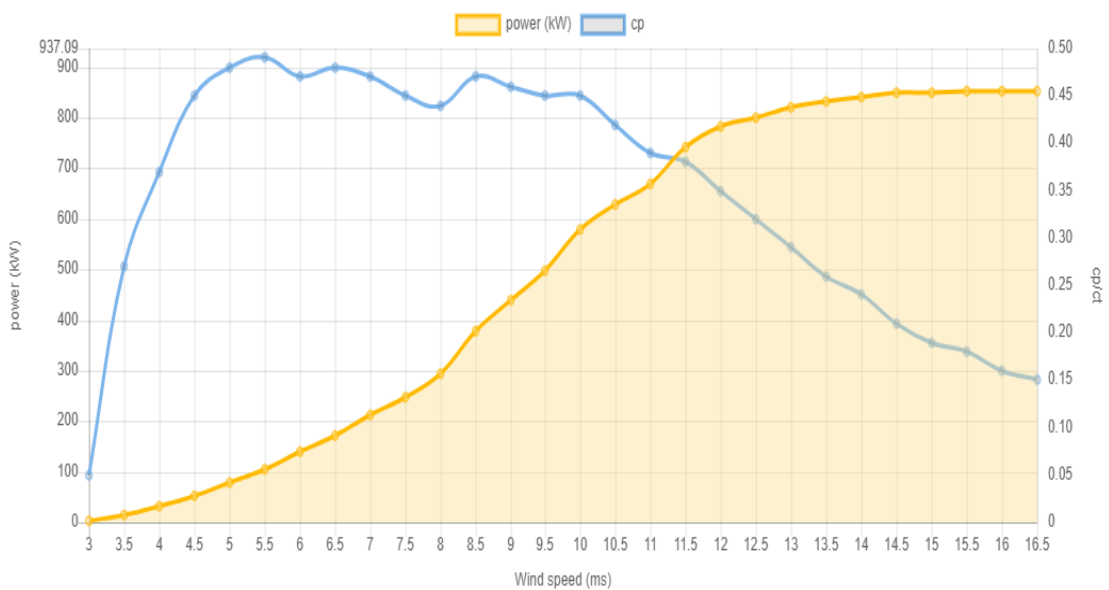
Το αιολικό πάρκο της Μήλου της εταιρείας ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΗΛΟΥ Α.Ε. στη θέση Κουτσούνόρραχη του νήσου αυτήν τη στιγμή απαρτίζεται από τέσσερις ανεμογεννήτριες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 2.9 MW. Οι δύο ανεμογεννήτριες είναι VESTAS τύπου V52-850 kW ενώ οι άλλες δύο ανεμογεννήτριες είναι VESTAS τύπου V42-600 kW. Η άδεια για ανεμογεννήτριες δεν αφήνει περιθώριο στην μια ανεμογεννήτρια να λειτουργήσει στο μέγιστο της όποτε η μια ανεμογεννήτρια VESTAS τύπου V52-850 kW λειτουργεί ως μια VESTAS τύπου V42-600 kW. Η παραγωγή ενέργειας τους καθορίζεται χειροκίνητα από το εργοστάσιο βάσης δηλαδή λειτουργεί ως υποβοήθηση του σταθμού βάσης. Αναλόγως την ωριαία ζήτηση ο διαχειριστής του εργοστασίου ενεργοποιεί όσες από τις ανεμογεννήτριες χρειάζεται ώστε να λειτουργούν όσο λιγότερες γεννήτριες γίνεται.

Οι ανεμογεννήτριες αυτές έχουν χαρακτηριστικά που παραθέτονται παρακάτω, όπως οι χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου.



Κεφ. 3 - Καμπύλη 3 Καμπύλη ισχύος Vestas V42 600 kW

[Πηγή: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/109-vestas-v42>]



Κεφ. 3 - Καμπύλη 4 Καμπύλη ισχύος Vestas V52 850 Kw

[Πηγή: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/71-vestas-v52>]

### 3.2.2.2 Ηλιακό σύστημα - Ηλιακά πάνελ

Με τα Φωτοβολταϊκά συστήματα δεν γίνεται αυτό που γίνεται με τις γεννήτριες. Τα Φωτοβολταϊκά είναι συνδεδεμένα σε ζυγούς οι οποίοι είναι διάσπαρτοι στο δίκτυο, δεν λειτουργούν όπως οι ανεμογεννήτριες γιατί δεν έχουν κάποιον διαχειριστή, αλλά λειτουργούν με τον ήλιο και απλά μετατρέπουν την ενέργεια και την δίνουν ως αρνητική ισχύ στο δίκτυο και συγκεκριμένα στο ζυγό στον οποίο είναι τοποθετημένα. Αυτή η ισχύς ή καταναλώνεται από το Φωτοβολταϊκό πάρκο ή αν είναι παραπάνω δίνεται στο σύστημα. Η ισχύς που υπάρχει ήδη εγκατεστημένη η οποία προέρχεται από τα Φωτοβολταϊκά στη Μήλο είναι 0,618 MW.

### 3.2.3 Διανομή και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Το σύστημα της Μήλου ως κορμός αποτελείται από έναν σταθμό βάσης όπου είναι και ο ζυγός αναφοράς. Στο σύστημα της Μήλου οι ζυγοί συμπίπτουν και με τις γραμμές μεταφοράς. Στον ζυγό αναφοράς περιέχονται οι γεννήτριες που παράγουν την ενέργεια η οποία μεταφέρεται μέσα από γραμμές μεταφοράς των 15KV. Εκεί συνδέονται οι υπόλοιπες ζυγοί οι οποίοι είναι πέντε στον αριθμό καθώς και οι γραμμές μεταφοράς. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά και περιγραφή για τους ζυγούς και γραμμές μεταφοράς. Τα καλώδια ή οι γραμμές είναι τα βασικά που χρησιμοποιούνται για το βασικό σύστημα εναέρια ενώ υπάρχουν και υπόγεια.

Η Μήλος είναι ένα νησί το οποίο βρίσκεται δίπλα στο μικρό νησί της Κιμώλου. Η Κίμωλος συνδέεται με την Μήλο πλέον με ένα υποβρύχιο καλώδιο, διότι είναι ένα μικρό νησί με μικρή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, σε σχέση με την Μήλο.

Κεφ. 3 - Πίνακας 4 Γραμμές μεταφοράς - Ζυγοί

Ονομασία Ζυγού - Γραμμής	Περιοχές	Τύπος Ζυγού	Καλώδια	Θέση	Μήκος	Κίμωλος	Μέγιστα Φορτία (A)
P.21	ΠΛΑΚΑ-ΠΛΑΚΕΣ-ΤΡΥΠΗΤΗ-ΤΡΙΟΒΑΣΑΛΟΣ	Φορτίου (PQ)	3x240 XLPE	Υπόγειο	250 m		100
			3x95 cm	Εναέριο	6900 m		
P.22	ΠΟΛΛΩΝΙΑ-ΚΙΜΩΛΟΣ	Φορτίου (PQ)	3x240 XLPE	Υπόγειο	150 m	Επί Κιμώλου	150
			4(1x50 AL)	Υποβρύχιο	1500 m	Εναέριο 3x35 cm	
			3x95 cm	Εναέριο	2000 m	4200 m	
P.23	ΖΕΦΥΡΙΑ-ΙΜΕΡΥΣ	Φορτίου (PQ)	3x240 XLPE	Υπόγειο	120 m		150
			3x95 cm	Εναέριο	1700 m		
			3x35 cm	Εναέριο	5000 m		
P.24	ΑΔΑΜΑΝΤΑΣ-ΜΥΚΟΜΠΑΡ	Φορτίου (PQ)	3x240 XLPE	Υπόγειο	200 m		100
			3x95 cm	Εναέριο	4000 m		
P.25	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ-ΟΤΤΑΒΙ-ΑΙΟΛΙΚΟ-ΧΑΛΑΚΑΣ-ΤΙΤΑΝ-ΛΑΒΑ-ΠΑΛΙΟΧΩΡΙ	Φορτίου (PQ)	3x240 XLPE	Υπόγειο	140 m		120
			3x95 cm	Εναέριο	8000 m		

### 3.3 Ανανεωμένη μελλοντική λειτουργία

Η Μήλος είναι ένα νησί το οποίο αυτή τη στιγμή εκμεταλλεύεται τα φυσικά φαινόμενα τα οποία υπάρχουν εκεί με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Παραπάνω εκθέσαμε ότι υπάρχουν ένα αιολικό πάρκο και κάποια Φωτοβολταϊκά πάρκα στο νησί αυτό. Παλιότερα στην Μήλο υπήρχαν εγκαταστάσεις Γεωθερμίας η οποία έληξε άδοξα. Τα ιστορικά γεγονότα λένε πως οι εγκαταστάσεις δεν ήταν οι κατάλληλες και υπήρξε έκρηξη στο σταθμό της γεωθερμίας. Οι κάτοικοι της Μήλου εξαγριώθηκαν αλλά και φοβήθηκαν με αποτέλεσμα να μην αφήνουν

περιθώριο μέχρι και σήμερα, με εξελιγμένη τεχνολογία, να ξανά φτιαχτεί ένας σταθμός γεωθερμίας με σωστές προδιαγραφές.

Τα νέα σενάρια βελτιστοποίησης για το νησί της Μήλου θα μπορούσαν να είναι πάρα πολλά, παρακάτω θα παρατεθούν κάποια υποθετικά σενάρια τα οποία παρακάτω θα εξεταστούν κιάλας ως προς την αξία τους, το κόστος παραγωγής ενέργειας αλλά και την μελλοντική τους βοήθεια στο σύστημα της Μήλου αλλά και σε συνδυασμό με το περιβάλλον.

Αρχική ιδέα είναι η αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ στο σύστημα είτε αυτό περιλαμβάνει αιολικά πάρκα, είτε περιλαμβάνει Φωτοβολταϊκά πάρκα είτε και τα δυο σε συνδυασμό το οποίο θεωρούμε και καλύτερο σενάριο. Έπειτα σε αυτό μπορεί να προστεθεί ένας σταθμός αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από συσσωρευτές μεγάλης ισχύος συγκριτικά πάντα και αναλογικά από την διείσδυση των ΑΠΕ που υπάρχει. Επιπλέον είναι γνωστό πως θα κατασκευαστεί καλώδιο διασύνδεσης νησιών, μέσα στα οποία θα είναι και η Μήλος, με την Ηπειρωτική Ελλάδα. Το καλώδιο διασύνδεσης συνεπάγεται και την απαλοιφή του σταθμού βάσης, που υπάρχει αυτή την στιγμή στο νησί, και την αντικατάστασή του με μετασχηματιστές μεγάλου μεγέθους. Συνυπολογίζοντας λοιπόν αυτό το δεδομένο, ένα πολύ καίριο σενάριο είναι αυτό που περιλαμβάνει την διασύνδεση σε συνδυασμό με την γεωθερμία και κάποια νέα αιολικά πάρκα σε διάφορους συνδυασμούς.

Ένας από τους στόχους που έχουμε για το νησί της Μήλου είναι να μετατραπεί σε ένα πολύ οικονομικό αλλά και περιβαλλοντικά φιλικό νησί το οποίο θα βοηθάει με την ενέργεια που παράγει την γενικότερη ζήτηση ενέργειας της Ελλάδας από τη στιγμή που έχει εξασφαλίσει τη δική της ζήτηση, δηλαδή να γίνει ένα αυτόνομο νησί αλλά και ανεξάρτητο.

# Κεφάλαιο 4 – MatPower

## 4.1 Εισαγωγή

Το MATPOWER είναι ένα, δωρεάν αλλά και ανοιχτού κώδικα, εργαλείο προσομοίωσης και βελτιστοποίησης συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο μπορεί να λειτουργήσει με την βοήθεια του περιβάλλοντος του MATLAB και του Octave. Δημιουργήθηκε από τους *Ray D. Zimmerman, Carlos E. Murillo-Sánchez και Deqiang Gan of PSERC* στο πανεπιστήμιο *Cornell University* κάτω από την καθοδήγηση του *Robert J. Thomas*. Τα επόμενα χρόνια έχει καταλήξει να είναι υπό την επίβλεψη του *Ray D. Zimmerman*.

Το MATPOWER είναι ένα πακέτο M-αρχείων που χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης του συστήματος τροφοδοσίας σε σταθερή κατάσταση, όπως ροή ισχύος (PF), ροή ισχύος συνεχούς λειτουργίας (CPF), επεκτάσιμη βέλτιστη ροή ισχύος (OPF) δέσμευση ανά μονάδα (UC) και στοχαστικό, ασφαλές OPF / UC πολλαπλών διαστημάτων. Είναι κατάλληλο για εργαλείο προσομοίωσης για ερευνητές και εκπαιδευτικούς, το οποίο είναι εύκολο στη χρήση και την τροποποίηση όσον αναφορά τον κώδικα και τα αποτελέσματα. Το MATPOWER έχει σχεδιαστεί για να παρέχει την καλύτερη δυνατή απόδοση. Αρχικά αναπτύχθηκε ως μέρος του έργου PowerWeb.

Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιήθηκε κιόλας και ως εργαλείο για την διεκπεραίωση αυτής της Διπλωματικής εργασίας.

## 4.2 Χαρακτηριστικά MatPower

Η κύρια λειτουργία του MATPOWER είναι η επίλυση της ροής ισχύος και ειδικότερα για την βέλτιστη ροή ισχύος. Αυτό περιλαμβάνει την προετοιμασία δεδομένων εισόδου με όλες τις σχετικές παραμέτρους, την εκτέλεση αλλά και την εκτύπωση στην οθόνη και την αποθήκευση σε δομές των αποτελεσμάτων της ροής ισχύος.

Το πρόγραμμα του MATPOWER περιέχει έναν μεγάλο αριθμό έτοιμων μοντέλων ΣΗΕ αλλά και έτοιμα αρχεία για την εκτέλεση διαφόρων διεργασιών πάνω στα ήδη υπάρχοντα μοντέλα. Αυτά τα παραδείγματα μας δείχνουν πως διαχειρίζεται το MATPOWER το κάθε ΣΗΕ αλλά μα δίνει και διάφορα δεδομένα από την επίλυση του προβλήματος. Ο κάθε χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει ή να αφαιρέσει κάποιο στοιχείο του ΣΗΕ ή να αλλάξει μεγέθη όπως η ισχύ ενεργός ή άεργη αλλά και οποιοδήποτε άλλο στοιχείο ώστε να παρακολουθήσει την συμπεριφορά του συστήματος μετά τις αλλαγές.

Βασικές εντολές στο MATPOWER θεωρούνται αυτές που κάνουν εκτέλεση μιας ροής φορτίου σε διάφορες εναλλαγές. Για την εκτέλεση μιας ροής φορτίου η εντολή είναι η "runpf" .. Για την βέλτιστη ροή ισχύος η εντολή που χρησιμοποιούμε είναι "runopf" .. Η βέλτιστη ροή ισχύος που μας δίνει την δυνατότητα να βγάλουμε εκτός τις γεννήτριες με την μεγαλύτερη κατανάλωση είναι η εντολή "runuopf" ..

#### 4.2.1 Εισαγωγή δεδομένων

Για την εισαγωγή δεδομένων ώστε να εκτελεστεί η προσομοίωση τα δεδομένα εισάγονται ως δομή σε πίνακες ενός αρχείου που ονομάζεται ως δομή "MATPOWER case" και φορτώνονται τα δεδομένα του συστήματος από το case με την εντολή `>> mpc = loadcase(casefilename);`. Έτσι η μεταβλητή `mpc` περιέχει όλα τα δεδομένα από το σύστημα ενέργειας και είναι έτοιμα προς επεξεργασία.

#### 4.2.2 MATPOWER case

Η μορφή του αρχείου case είναι μια δομή από πίνακες με αρκετές μεταβλητές ώστε να εξασφαλίζεται όλη η πληροφορία που χρειάζεται για το κάθε μέρος του συστήματός ηλεκτρικής ενέργειας που θέλουμε να προσομοιώσουμε. Παρακάτω προβάλλεται ένα παράδειγμα casefile αλλά και η επεξήγηση των μεταβλητών που περιέχονται σε κάθε πίνακα.

```
function mpc = case5
%CASE5 Power flow data for modified 5 bus, 5 gen case based on PJM 5-bus system
%% MATPOWER Case Format : Version 2
mpc.version = '2';
%%----- Power Flow Data -----%%
%% system MVA base
mpc.baseMVA = 100;
%% bus data
% bus_i type Pd Qd Gs Bs area Vm Va baseKV zone Vmax Vmin
mpc.bus = [
1 2 0 0 0 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9;
2 1 300 98.61 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9;
3 2 300 98.61 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9;
4 3 400 131.47 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9;
5 2 0 0 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9;
];
%% generator data
% bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin Pcl Pc2 Qc1min Qc1max Qc2min Qc2max ramp_agc ramp_10 ramp_30 ramp_q apf
mpc.gen = [
1 40 0 30 -30 1 100 1 40 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
1 170 0 127.5 -127.5 1 100 1 170 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
3 323.49 0 390 -390 1 100 1 520 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
4 0 0 150 -150 1 100 1 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
5 466.51 0 450 -450 1 100 1 600 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
];
%% branch data
% fbus tbus r x b rateA rateB rateC ratio angle status angmin angmax
mpc.branch = [
1 2 0.00281 0.0281 0.00712 400 400 400 0 0 1 -360 360;
1 4 0.00304 0.0304 0.00658 0 0 0 0 0 1 -360 360;
1 5 0.00064 0.0064 0.03126 0 0 0 0 0 1 -360 360;
2 3 0.00108 0.0108 0.01852 0 0 0 0 0 1 -360 360;
3 4 0.00297 0.0297 0.00674 0 0 0 0 0 1 -360 360;
4 5 0.00297 0.0297 0.00674 240 240 240 0 0 1 -360 360;
];
%%----- OPF Data -----%%
%% generator cost data
% 1 startup shutdown n x1 y1 ... xn yn
% 2 startup shutdown n c(n-1) ... c0
mpc.gencost = [
2 0 0 2 14 0;
2 0 0 2 15 0;
2 0 0 2 30 0;
2 0 0 2 40 0;
2 0 0 2 10 0;
];
```

Κεφ. 4 - Εικόνα 6 Χαρακτηριστικό casefile

Οι πίνακες και οι μεταβλητές που εισέρχονται ως δεδομένα είναι οι ακόλουθοι:

- `baseMVA` «μεταβλητή»
- `bus` «πίνακας»
- `branch` «πίνακας»
- `gen` «πίνακας»
- `gencost` «πίνακας» (στην ανάπτυξη λογισμικού αυτής της εργασίας δεν μοντελοποιούνται τα κόστη γεννητριών για την λύση του προβλήματος ροής φορτίου σε ΣΗΕ)



Τα στοιχεία που υπάρχουν σε κάθε πίνακα θα αναλυθούν παρακάτω ξεχωριστά. Αυτά τα στοιχεία είναι τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία το κάνουν να ξεχωρίζει από οποιοδήποτε άλλο και αυτά ακριβώς χρειάζεται και το MATPOWER ώστε να μπορέσει να εκτελέσει τις διεργασίες του.

Bus Data	Στήλη	Περιγραφή
BUS_I	1	αριθμός ζυγού
BUS_TYPE	2	είδος ζυγού (1 = PQ, 2 = PV, 3 = ref, 4 = isolated)
PD	3	ζήτηση ενεργού ισχύος (MW)
QD	4	ζήτηση αέργου ισχύος (MVar)
GS	5	εγκάρσια αγωγιμότητα διακλαδώσεων (MW ζητούμενη σε $V=1.0$ p.u.)
BS	6	εγκάρσια χωρητικότητα (MVar εγχυόμενη $V=1.0$ p.u.)
BUS_AREA	7	Αριθμός περιοχής (positive integer)
VM	8	μέτρο τάσης (p.u.)
VA	9	φασική γωνία της τάσης σε μοίρες
BASE_KV	10	βασική τάση (kV)
ZONE	11	ζώνη απωλειών (positive integer)
VMAX	12	μέγιστο μέτρο τάσης (p.u.)
VMIN	13	ελάχιστο μέτρο τάσης (p.u.)
LAM_P	14	Πολλαπλασιαστής Lagrange της απόκλισης ενεργού ισχύος (u/MW)
LAM_Q	15	Πολλαπλασιαστής Lagrange της απόκλισης αέργου ισχύος (u/MVar)
MU_VMAX	16	Kuhn-Tucker πολλαπλασιαστής του ανώτερου ορίου τάσης (u/p.u.)
MU_VMIN	17	Kuhn-Tucker πολλαπλασιαστής του κατώτερου ορίου τάσης (u/p.u.)

Gen Data	Στήλη	Περιγραφή
GEN BUS	1	όνομα ζυγού
PG	2	ενεργός ισχύς εξόδου (MW)
QG	3	άεργος ισχύς εξόδου (MVar)
QMAX	4	μέγιστη άεργος ισχύς εξόδου (MVar)
QMIN	5	ελάχιστη άεργος ισχύς εξόδου (MVar)
VG	6	μέτρο τάσης αναφοράς (p.u.)
MBASE	7	βασική ισχύς σύνθετη αντίσταση γεννητριών MVA
GEN STATUS	8	Λειτουργία μηχανής, > 0 = μηχανή σε λειτουργία, <=0 = εκτός λειτουργίας
PMAX	9	μέγιστη έξοδος ενεργού ισχύος (MW)
PMIN	10	ελάχιστη έξοδος ενεργού ισχύος (MW)
PC1	11	ελάχιστη έξοδος ενεργού ισχύος από την καμπύλη ικανότητας PQ (MW)
PC2	12	άνω όριο εξόδου ενεργού ισχύος από την καμπύλη ικανότητας PQ (MW)
QC1MIN	13	ελάχιστη έξοδος αέργου ισχύος για ενεργό PC1 (MVar)
QC1MAX	14	μέγιστη έξοδος αέργου ισχύος στο σημείο PC1 (MVar)
QC2MIN	15	ελάχιστη έξοδος αέργου ισχύος για ενεργό PC2 (MVar)
QC2MAX	16	μέγιστη έξοδος αέργου ισχύος στο σημείο at PC2 (MVar)
RAMP AGC	17	μέγιστος ρυθμός αύξησης φορτίου/AGC (MW/min)
RAMP 10	18	μέγιστος ρυθμός αύξησης ισχύος για 10 λεπτά (MW)
RAMP 30	19	μέγιστος ρυθμός αύξησης ισχύος για 30 λεπτά (MW)
RAMP Q	20	μέγιστος ρυθμός αύξησης για άεργο ισχύ (MVar/min)
APF	21	παράγοντας συμμετοχής της περιοχής
MUPMAX	22	Kuhn-Tucker πολλαπλασιαστής του ανώτερου ορίου της Pg (u/MW)
MUPMIN	23	Kuhn-Tucker πολλαπλασιαστής του κατώτερου ορίου της Pg (u/MW)
MUQMAX	24	Kuhn-Tucker πολλαπλασιαστής του ανώτερου ορίου της Qg (u/MVar)
MUQMIN	25	Kuhn-Tucker πολλαπλασιαστής του κατώτερου ορίου της Q (u/MVar)

Branch Data	Στήλη	Περιγραφή
F BUS	1	Ζυγός αναχώρησης (από)
T BUS	2	Ζυγός τέλους (προς)
BR R	3	αντίσταση (α.μ.)
BR X	4	επαγωγική αντίδραση (α.μ.)
BR_B	5	ολική χωρητικότητα γραμμής (α.μ.)
RATE A	6	MVA μακροπρόθεσμο όριο μεταφερόμενης ισχύος
RATE B	7	MVA βραχυπρόθεσμο όριο μεταφερόμενης ισχύος
RATE C	8	όριο μεταφερόμενης ισχύος MVA έκτακτης ανάγκης
TAP	9	ονομαστικός λόγος μετασχηματισμού M/Σ αντίσταση στο ζυγό κατεύθυνσης
SHIFT	10	αλλαγή φάσης μετασχηματιστή, θετική => καθυστέρηση
BR STATUS	11	κατάσταση γραμμή μεταφοράς 1-σε λειτουργία, 0-εκτός λειτουργίας
ANGMIN	12	ελάχιστη διαφορά φάσης τάσεων (σε μοίρες)
ANGMAX	13	μέγιστη διαφορά φάσης τάσεων (σε μοίρες)

Gen Cost Data	Στήλη	Περιγραφή
MODEL	1	μοντέλο, 1 = τμηματικά γραμμικό μοντέλο, 2 = πολυωνυμικό
STARTUP	2	κόστος εκκίνησης σε US dollars
SHUTDOWN	3	κόστος τερματισμού σε US dollars
NCOST	4	αριθμός συντελεστών για πολυωνυμική συνάρτηση κόστους ή αριθμός σημείων για τμηματικά γραμμική συνάρτηση
COST	5	Δεδομένα κόστους που ορίζουν τη συνολική συνάρτηση κόστους: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Για πολυωνυμικό κόστος (πρώτα ο μεγαλύτερης τάξης συντελεστής): π.χ. <math>c_2, c_1, c_0</math> όπου το πολυώνυμο είναι: <math>c_0 + c_1 \cdot P + c_2 \cdot P^2</math></li> <li>▪ Για τμηματικά γραμμικό κόστος: <math>x_0, y_0, x_1, y_1, x_2, y_2, \dots</math> όπου τα <math>x_0 &lt; x_1 &lt; x_2 &lt; \dots</math> και τα σημεία <math>(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots</math> είναι τα ακριανά και ενδιάμεσα σημεία της συνάρτησης κόστους.</li> </ul>

#### 4.2.3 Επίλυση ενός case

Για να λυθεί ένα case, πρέπει να γίνει εκτέλεση μια εκ των εντολών που αναφέρθηκαν παραπάνω: "runpf", "runopf", "runuopf", ... Όλες αυτές οι εντολές εκτελούν μια διαφορετική ροή ισχύος, όμως όλες χρειάζονται ένα case ώστε να λύσουν το οποίο να περιέχει συμπληρωμένους τους παραπάνω πίνακες. Για να καταλάβουμε πως έγινε επίλυση του προβλήματος μια μεταβλητή με όνομα success δημιουργείται και μας δίνει την απάντηση. Η εντολές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν εδώ την διατριβή ήταν η "runopf", και "runuopf", ... Παρακάτω θα παρατεθούν οι περιγραφές από αυτές τις δυο εντολές

. >> help runopf

runopf Runs an optimal power flow.

[RESULTS, SUCCESS] = runopf(CASEDATA, MPOPT, FNAME, SOLVEDCASE)

[baseMVA, bus, gen, gencost, branch, f, success, et] = runopf(casedata, mpoft, fname, solvedcase);

>> help runuopf

runuopf Runs an optimal power flow with unit-decommitment heuristic.

[RESULTS, SUCCESS] = runuopf(CASEDATA, MPOPT, FNAME, SOLVEDCASE)

[baseMVA, bus, gen, gencost, branch, f, success, et] = runuopf(casedata, mpoft, fname, solvedcase);

### 4.3 Σχεδιασμός και λειτουργία MATPOWER

Το MATPOWER έχει την δυνατότητα και φιλοξενεί όλες τις βασικές μορφές ροής φορτίου προς επίλυση. Οι εντολές που χρησιμοποιούνται για την επίλυση ροής φορτίου είναι είτε εναλλασσόμενου ρεύματος, είτε συνεχούς ρεύματος. Τα μεγέθη που παίρνουν μέρος είναι εκφρασμένα σε ανά μονάδα σύστημα, ενώ οι γωνίες είναι εκφρασμένες σε μοίρες. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της επίλυσης γεννήτριες οι οποίες είναι εξορισμού σβηστές δεν παίρνονται υπόψη. Οι ζυγοί είναι αριθμημένοι με ξεχωριστό αριθμό ο καθένας και οι γεννήτριες κατά την δήλωσή τους αναφέρουν και τον ζυγό στον οποίο λειτουργούν. Οι μετατροπές από στοιχεία πινάκων που υπάρχουν κατά τη δήλωση αλλά και αντίστροφα γίνεται μέσω των "ext2int," και "int 2ext,".

#### 4.3.1 Μορφή δεδομένων

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, το MATPOWER επεξεργάζεται δεδομένα σε πίνακες και αρχεία τύπου MATLAB M-file ή MAT-file και επιστρέφει μια δομή δεδομένων MATLAB. Τα πεδία της δομής είναι τα baseMVA, bus, branch, gen and gencost, όπου το baseMVA είναι μια μεταβλητή ενώ τα υπόλοιπα είναι πίνακες. Σε κάθε πίνακα η κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε έναν ζυγό, γραμμή μεταφοράς ή γεννήτρια. Οι στήλες είναι παρόμοιες με τις στήλες στα βασικά IEEE CDF και PTI μοντέλα. Ο αριθμός των γραμμών των ζυγών, γραμμών μεταφοράς και γεννητριών είναι  $n_b$ ,  $n_l$ ,  $n_g$  αντίστοιχα. Ο πίνακας gencost έχει επίσης  $n_g$  ή  $2n_g$  γραμμές οι οποίες περιέχουν είτε κόστος ενεργής ισχύς ή πραγματικής ισχύς.

### 4.3.2 Γραμμές μεταφοράς

Οι γραμμές μεταφοράς μόνο εναλλασσόμενου ρεύματος, οι μετασχηματιστές και οι μετασχηματιστές φάσης είναι μοντελοποιημένοι αποτελούμενο από ένα βασικό μοντέλο π γραμμής μεταφοράς με εν σειρά αντίστασης  $Z_s = r_s + jx_s$  με συνολική χωρητικότητα φόρτισης  $b_c$  σε σειρά με έναν ιδανικό μετασχηματιστή φάσης. Ο μετασχηματιστής του οποίου ο ονομαστικός λόγος μετασχηματισμού έχει μέγεθος  $\tau$  και φάση αλλαγής με γωνία  $\theta_{shift}$  είναι τοποθετημένος στην αρχή και το τέλος της γραμμής μεταφοράς όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Οι παράμετροι  $r_s$ ,  $x_s$ ,  $b_c$ ,  $\tau$ ,  $\theta_{shift}$  αντιστοιχούν στις στήλες BR\_R(3), BR\_X(4), BR\_B(5), TAP(9) και SHIFT(10) του πίνακα των γραμμών μεταφοράς.

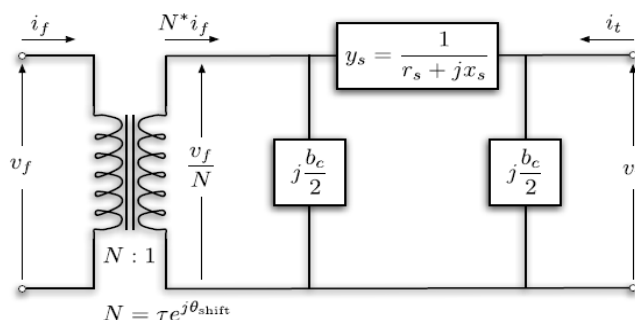
Τα ρεύματα  $i_f$  και  $i_t$  από την αρχή έως το τέλος της γραμμής μεταφοράς αντίστοιχα μπορούν να εκφραστούν ως  $2 \times 2$  πίνακας αγωγιμοτήτων  $Y_{br}$  και τις τάσεις  $v_f$  και  $v_t$ .

$$\begin{bmatrix} i_f \\ i_t \end{bmatrix} = Y_{br} \begin{bmatrix} v_f \\ v_t \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Ο πίνακας αγωγιμοτήτων του π μοντέλου ξέροντας πως  $y_s = 1/z_s$  μπορεί να γραφτεί ως

$$Y_{br} = \begin{bmatrix} (y_s + j\frac{b_c}{2}) \frac{1}{\tau^2} & -y_s \frac{1}{\tau e^{-j\theta_{shift}}} \\ -y_s \frac{1}{\tau e^{j\theta_{shift}}} & y_s + j\frac{b_c}{2} \end{bmatrix}. \quad (4.2)$$

Εικόνα 7 Μοντέλο γραμμών μεταφοράς



### 4.3.4 Γεννήτριες

Μια γεννήτρια αναπαριστάται ως την ισχύ σε έναν συγκεκριμένο ζυγό. Για την γεννήτρια ισχύει

$$S_g = p_g + jq_g. \quad (4.3)$$

Για  $S_g = P_g + jQ_g$  είναι  $n_g \times 1$  διάνυσμα για αυτές τις γεννήτριες. Τα MW και MVar πριν μετατραπούν σε ανά μονάδα σύστημα του  $p_g$  και  $q_g$  καταχωρούνται στον πίνακα gen στις στήλες PG(2) και QG(3). Μια γεννήτρια με αρνητικό φορτίο μπορεί να θεωρηθεί ή να χρησιμοποιηθεί ως ένα απεσταλμένο φορτίο.

#### 4.3.5 Φορτίο

Το φορτίο στο MATPOWER αναπαριστάται ως συγκεκριμένες τιμές ενεργού και άεργου ισχύος που απορροφούνται από έναν ζυγό. Για έναν ζυγό  $i$ , το φορτίο είναι

$$S_d^i = p_d^i + j q_d^i \quad (4.4)$$

όπου  $S_d = P_d + j Q_d$  υποδηλώνει το  $n_b \times 1$  διάνυσμα φορτίων του συστήματος. Τα MW και MVar πριν μετατραπούν σε ανά μονάδα σύστημα του  $p_d^i$  και  $q_d^i$  καταχωρούνται στον πίνακα bus στις στήλες PD(3) και QD(4). Οι στήλες αυτές μπορούν να πάρουν και αρνητικές τιμές ώστε να αναπαριστούν κατανεμημένη παραγωγή.

#### 4.3.6 Εγκάρσιο στοιχείο

Ένα εγκάρσιο συνδεδεμένο στοιχείο, όπως ένας πυκνωτής ή πηνίο αναπαριστάται ως σταθερή σύνθετη αντίσταση στη γείωση ενός ζυγού. Η είσοδος του εγκάρσιου στοιχείου στον ζυγό  $i$  είναι:

$$y_{sh}^i = g_{sh}^i + j b_{sh}^i \quad (4.5)$$

Όπου  $Y_{sh} = G_{sh} + j B_{sh}$  υποδηλώνει το  $n_b \times 1$  διάνυσμα από τις αντιστάσεις των εγκάρσιων στοιχείων όλων των ζυγών. Οι παράμετροι  $g_{sh}^i$  και  $b_{sh}^i$  βρίσκονται στο πίνακα bus στις στήλες GS(5) και BS(6) αντίστοιχα σε μονάδες μεγέθους MW και MVar σε κανονική τάση 1.0 ανά μονάδα και γωνίας 0.

#### 4.3.7 Εξισώσεις ολόκληρου δικτύου

Ένα δίκτυο με  $n_b$  ζυγούς, όλες οι σταθερές σύνθετες αντιστάσεις του μοντέλου ενσωματώνονται σε έναν πίνακα αγωγιμοτήτων  $Y_{bus}$ , διαστάσεων  $n_b \times n_b$ , που σχετίζεται με το ρεύμα στους ζυγούς  $I_{bus}$  με τις τάσεις:

$$I_{bus} = Y_{bus} V \quad (4.6)$$

Παρομοίως για οι  $n_l$  κλάδοι ενός δικτύου, όπου  $n_l \times n_b$  πίνακες αγωγιμοτήτων  $Y_f$  και  $Y_t$  σχετίζονται με τις τάσεις των ζυγών με τα  $n_l \times 1$  διανύσματα  $I_f$  και  $I_t$  ως ρεύματα από την αρχή μέχρι και το τέλος των ζυγών άρα:

$$I_f = Y_f V \quad (4.7)$$

$$I_t = Y_t V \quad (4.8)$$

Οι μήτρες αγωγιμοτήτων:

$$Y_f = [Y_{ff}] C_f + [Y_{ft}] C_t \quad (4.9)$$

$$Y_t = [Y_{tf}] C_f + [Y_{tt}] C_t \quad (4.10)$$

$$Y_{bus} = C_f^T Y_f + C_t^T Y_t + [Y_{sh}] \quad (4.11)$$

Μέσω των παραπάνω σχέσεων μπορούν να υπολογιστούν τα παρακάτω:

$$S_{bus}(V) = [V] I_{bus}^* = [V] Y_{bus}^* V^* \quad (4.12)$$

$$S_f(V) = [C_f V] I_f^* = [C_f V] Y_f^* V^* \quad (4.13)$$

$$S_t(V) = [C_t V] I_t^* = [C_t V] Y_t^* V^* \quad (4.14)$$

Οι εγχύσεις στους ζυγούς-κόμβους αντιστοιχούν στη συνέχεια στις εγχύσεις από τα φορτία και τις γεννήτριες και με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται οι AC εξισώσεις του ενεργειακού ισοζυγίου, οι οποίες δίνονται ως συνάρτηση των τάσεων των ζυγών και των γεννητριών σε μια περίπλοκη μορφή πίνακα:

$$g_s(V, S_g) = S_{bus}(V) + S_d - C_g S_g = 0 \quad (4.15)$$

# Κεφάλαιο 5 – Ροή Ισχύος και Βέλτιστη Ροή Ισχύος

## 5.1 Ροή Ισχύος

Το βασικό πρόβλημα ροής ισχύος ή ροής φορτίου απαιτεί για την επίλυσή του, τα σύνολα των τάσεων και των ροών σε ένα σύστημα με συγκεκριμένο μοτίβο φορτίων και γεννητριών. Τα φορτία πρέπει να εξυπηρετηθούν από ένα δεδομένο αριθμό γεννητριών μέσω των γραμμών του δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την επιλογή μιας βέλτιστης ροής ισχύος μεταξύ των άπειρων άλλων που προκύπτουν. Η επίλυση του προβλήματος της ροής ισχύος είναι ένα υψίστης σημασίας εργαλείο για όλα τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περιορισμοί που θεωρούνται για την ροή ισχύος είναι πέντε και ο καθένας έχει πολύ σημαντικό ρόλο για την σωστή επίλυση του προβλήματος. Είναι απαραίτητο να διατηρούνται οι τάσεις των ζυγών σε σταθερά επίπεδα, μέσα στα επιτρεπόμενα όρια ανοχής, επίσης, πρέπει να διατηρούνται τα όρια λειτουργίας των γραμμών μεταφοράς, σχετικά με τη μεταφορά ενέργειας. Πρέπει να είναι οικονομική η λειτουργία του συστήματος, προσαρμόζοντας την λειτουργία των γεννητριών με απώτερο στόχο την οικονομική κατανομή φορτίου. Επιπλέον, πρέπει να προβλέπονται πιθανές διαταραχές του συστήματος και να αντιμετωπίζονται. Τέλος το σύστημα πρέπει να είναι ευέλικτο στο να δεχθεί προσθήκη άλλων ζυγών οι επιπλέον στοιχείων.

Το MATPOWER έχει την δυνατότητα να λύσει προβλήματα ροής ισχύος AC αλλά και DC όπου απαιτείται η λύση της εξίσωσης

$$g(x)=0, \quad (5.1)$$

η οποία είναι κατασκευασμένη για να παρουσιάζει ένα υποσύνολο από εξισώσεις με κόμβους ισοζυγίου ισχύος, ως συναρτήσεις άγνωστης τάσης. Το πρόγραμμα αυτό εκμεταλλεύεται την σπανιότητα που έχουν τα συστήματα μεταξύ τους και την μεγάλη κλίμακα των συστημάτων αυτών για την καλύτερη επίλυσή τους, εκτός βέβαια από τον Gauss-Seidel.

## 5.2 AC Ροή Ισχύος

Στο MATPOWER, επιλέγεται ένας ζυγός ως ζυγός αναφοράς για να παίξει το ρόλο της αναφοράς των γωνιών των τάσεων και της ενεργού ισχύος όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Η γωνία της τάσης του ζυγού αναφοράς είναι γνωστή, αλλά η παραγωγή ενεργού ισχύος θεωρείται άγνωστη έτσι ώστε να αποφευχθεί ο υπερβολικός ορισμός του προβλήματος. Οι υπόλοιποι ζυγοί παραγωγής του δικτύου χαρακτηρίζονται ως ζυγοί παραγωγής PV bus, με δεδομένα τα μέτρα των τάσεων και την παραγωγή ενεργού ισχύος. Αυτά τα δεδομένα είναι καταχωρημένα στις θέσεις VG(6) και PG(3) στις αντίστοιχες στήλες του πίνακα gen. Αφού δίνονται τα Pd και Qd, όλοι οι ζυγοί μη παραγωγής χαρακτηρίζονται ως ζυγοί φορτίου PQ bus, με δεδομένα την ενεργό και άεργο ισχύ, τα οποία αυτά δυο στοιχεία παίρνουν τη θέση τους στον πίνακα bus στις αντίστοιχες θέσεις PD(3) και QD(4). Ας ορίσουμε  $I_{ref}$ ,  $I_{PV}$ ,  $I_{PQ}$  τους δείκτες των ζυγών αναφοράς, των ζυγών PV και των ζυγών PQ αντίστοιχα.

Στην βασική μοντελοποίηση και επίλυση ενός προβλήματος AC ροής φορτίου, η εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου (4.15) διασπάται σε ενεργό και άεργο μέρος, που εκφράζεται ως συναρτήσει γωνιών των τάσεων  $\theta$  και του μέτρου των τάσεων  $V_m$  καθώς και των στοιχείων των γεννητριών  $P_g$  και  $Q_g$ , ενώ τα φορτία θεωρούνται σταθερά.

$$g_p(\theta, V_m, P_g) = P_{bus}(\theta, V_m) + P_d - C_g P_g = 0 \quad (5.2)$$

$$g_q(\theta, V_m, Q_g) = Q_{bus}(\theta, V_m) + Q_d - C_g Q_g = 0 \quad (5.3)$$

Για το πρόβλημα AC ροής φορτίου, η συνάρτηση  $g(x)$  της εξίσωσης (5.1) σχηματίζεται από το αριστερό μέρος της εξίσωσης του ισοζυγίου ενεργού ισχύος (5.2) για όλους τους ζυγούς εκτός από τον ζυγό αναφοράς και του ισοζυγίου άεργου ισχύος (5.3) για όλους τους PQ ζυγούς εισάγοντας στις εξισώσεις τη γωνία του ζυγού αναφοράς, καθώς και όλα τα γνωστά μεγέθη:

$$g(x) = \begin{cases} g_p^{\{i\}} P(\theta, V_m, P_g) \forall i \in I_{PV} \cup I_{PQ} \\ g_q^{\{j\}} P(\theta, V_m, Q_g) \forall j \in I_{PQ} \end{cases} \quad (5.4)$$

Το διάνυσμα  $x$  είναι οι υπόλοιπες άγνωστες τάσεις εκτός του ζυγού αναφοράς, και τα μέτρα των τάσεων στους PQ ζυγούς:

$$x = \begin{cases} \theta_{\{i\}} \forall i \notin I_{ref} \\ u_m^{\{j\}} \forall i \in I_{PQ} \end{cases} \quad (5.5)$$

Το MATPOWER διαθέτει τέσσερις διαφορετικούς αλγορίθμους για την επίλυση της AC ροής φορτίου. Η κλασική μέθοδος επίλυσης βασίζεται στην κλασική μέθοδο του Newton χρησιμοποιώντας μια πολική μορφή και έναν Jacobian πίνακα σε κάθε επανάληψη. Κάθε βήμα Newton περιλαμβάνει τον υπολογισμό του  $g(x)$ , το σχηματίζοντας τον Jacobian πίνακα με βάση τις ευαισθησίες των αντιστοιχιών σε αυτές τις αλλαγές του  $x$  και λύνοντας για μια ανανεωμένη τιμή του  $x$  με την παραγοντοποίηση του Jacobian πίνακα.

Εκτός από τη μέθοδο Newton περιέχει και άλλες μεθόδους επίλυσης που βασίζονται σε παραλλαγές της ταχείας αποξευγμένης μεθόδου, όπως η XB και η XB μέθοδοι. Οι μέθοδοι αυτοί μειώνουν αισθητά το πλήθος των υπολογισμών που γίνονται σε κάθε επανάληψη, ανανεώνοντας τις τάσεις ως προς τα μέτρα αλλά και τις γωνίες τους ξεχωριστά με βάση τη συνεχή προσέγγιση των στοιχείων του Jacobian πίνακα που παραγοντοποιούνται μόνο μία φορά στην αρχή της διαδικασίας επίλυσης χωρίς να επαναλαμβάνεται. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε ως μειονέκτημα το μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων.

Ο τέταρτος αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την επίλυση της AC ροής φορτίου είναι η κλασική μέθοδος του Gauss-Siedel, η οποίος δημιουργήθηκε από τους Glimm και Stagg. Αυτή η μέθοδος έχει μια πληθώρα μειονεκτημάτων σε σχέση με τη μέθοδο Newton και περιλαμβάνεται κυρίως για ακαδημαϊκό ενδιαφέρον. Οι μέθοδοι επίλυσης της AC ροής φορτίου λύνουν το πρόβλημα που περιγράφηκε παραπάνω αγνοώντας οποιαδήποτε όρια αφορά τις γεννήτριες, τη ροή ισχύος στις γραμμές, τα μέτρα των τάσεων κτλ. Υπάρχει βέβαια μια επιλογή που επιτρέπει να τηρούνται τα όρια άεργου ισχύος των γεννητριών. Έτσι προσθέτουμε έναν εξωτερικό βρόχο η λειτουργία του οποίου είναι αν κάποια γεννήτρια υπερβεί το όριο της άεργου ισχύος, η άεργος ισχύς γίνεται αυτόματα ίση με το όριο, ο αντίστοιχος ζυγός μετατρέπεται σε PQ ζυγό και η ροή ισχύος εκτελείται ξανά. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να μην υπάρχουν πλέον παραβιάσεις των ορίων.



### 5.3 Βέλτιστη Ροή ισχύος

Η βέλτιστη ροή ισχύος, ή αλλιώς "Optimal Power Flow" (OPF) είναι η εξέλιξη της επίλυσης του προβλήματος της ροής φορτίου. Επιδιώκει στην βέλτιστη διαχείριση της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση συγκεκριμένων περιορισμών. Ένας περιορισμός είναι η οικονομική κατανομή ισχύος-φορτίου (Economic Dispatch) με απώτερο σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας των θερμικών μονάδων αλλά και ολόκληρου του δικτύου. Η τεχνική της βέλτιστη ροή ισχύος είναι ανεπτυγμένη συγκεκριμένα σε υπολογιστικά συστήματα, στην επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης, κυρίως σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει τη δυνατότητα λύσης προβλημάτων με βέλτιστο τρόπο, σε μεγάλα αλλά και πολυσύνθετα συστήματα.

Το MATPOWER μπορεί να επιλύσει και τα δυο προβλήματα, AC και DC, βέλτιστης ροής φορτίου παίρνοντας συγκεκριμένη μορφή και περιορισμούς που υπάρχουν παρακάτω:

$$\min_x f(x) \quad (5.6)$$

$$g(x) = 0 \quad (5.7)$$

$$h(x) \leq 0 \quad (5.8)$$

$$x_{min} \leq x \leq x_{max} \quad (5.9)$$

#### 5.3.1 AC Βέλτιστη Ροή ισχύος

Για το πρόβλημα της βέλτιστης ροής φορτίου το διάνυσμα βελτιστοποίησης  $x$  αποτελείται από  $n_b \times 1$  διανύσματα των γωνιών των τάσεων  $\theta$  και των μέτρων  $V_m$  και το  $n_g \times 1$  διανύσματα παραγωγής ενεργού και άεργου ισχύος των γεννητριών  $P_g, Q_g$  αντίστοιχα. Έτσι η μορφή του διανύσματος  $x$  είναι:

$$x = \begin{bmatrix} \theta \\ V_m \\ P_g \\ Q_g \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

Η συνάρτηση (5.6) αποτελεί ένα άθροισμα των επιμέρους συναρτήσεων πολυωνυμικό κόστους  $f_P$  και  $f_Q$  της ενεργού και άεργου ισχύος αντίστοιχα, για κάθε γεννήτρια:

$$f(P_g, Q_g) = \sum_{i=1}^{n_g} f_P^i(p_g^i) + f_Q^i(q_g^i). \quad (5.11)$$

Οι περιορισμοί ισότητας στη σχέση (5.7) είναι το σύνολο των  $2n_b \times 1$  μη γραμμικών εξισώσεων του ενεργού και άεργου ισοζυγίου ισχύος (5.2) και (5.3).

$$g_P(\theta, V_m, P_g) = P_{bus}(\theta, V_m) + P_d - C_g P_g = 0 \quad (5.12)$$

$$g_Q(\theta, V_m, Q_g) = Q_{bus}(\theta, V_m) + Q_d - C_g Q_g = 0 \quad (5.13)$$

Η ανισότητα ως περιορισμός (5.8) αποτελείται από δύο σύνολα  $n_l$  ορίων ροής στους κλάδους ως μη γραμμικές συναρτήσεις των γωνιών και των μέτρων των τάσεων, ένα για το άκρο αναχώρησης και ένα για το άκρο άφιξης του κλάδου:

$$h_f(\theta, V_m) = |F_f(\theta, V_m)| - F_{max} \leq 0 \quad (5.14)$$

$$h_t(\Theta, V_m) = |F_t(\Theta, V_m)| - F_{\max} \leq 0. \quad (5.15)$$

Οι ροές είναι συνήθως ροές φαινόμενης ισχύος εκφρασμένες σε MVA, αλλά μπορεί να είναι και ροές ενεργού ισχύος ή ροές ρεύματος. Οπότε παρακάτω είναι οι πιθανοί σχηματισμοί για τους περιορισμούς ροής:

$$F_f(\Theta, V_m) = \begin{cases} S_f(\Theta, V_m), & \text{apparent power} \\ P_f(\Theta, V_m), & \text{real power} \\ I_f(\Theta, V_m), & \text{current} \end{cases} \quad (5.16)$$

όπου  $I_f = Y_f V$  υπάρχει στην (4.7), το  $S_f$  στην (4.13), ενώ το  $P_f$  είναι το πραγματικό μέρος της  $S_f$  και το διάνυσμα των ορίων ροής  $F_{\max}$  έχει τις κατάλληλες μονάδες ανάλογα με το είδος του περιορισμού. Παρόμοια διαμορφώνεται και το  $F_t(\Theta, V_m)$ . Το MATPOWER για την επίλυση της OPF χρησιμοποιεί για τα όρια ροής το  $F_{\max}$  το οποίο είναι καταχωρημένο στον πίνακα branch στην μεταβλητή RATE\_A της στήλης 6. Για τους περιορισμούς των μεταβλητών στην εξίσωση (5.9) περιλαμβάνουν έναν περιορισμό ισότητας στη γωνία οποιουδήποτε ζυγού αναφοράς καθώς και ανώτερα και κατώτερα όρια για όλα τα μέτρα των τάσεων και την παραγωγή ενεργού και άεργου ισχύος.

$$\theta_i^{\text{ref}} \leq \theta_i \leq \theta_i^{\text{ref}}, \quad i \in \mathcal{I}_{\text{ref}} \quad (5.17)$$

$$v_m^{i,\min} \leq v_m^i \leq v_m^{i,\max}, \quad i = 1 \dots n_b \quad (5.18)$$

$$p_g^{i,\min} \leq p_g^i \leq p_g^{i,\max}, \quad i = 1 \dots n_g \quad (5.19)$$

$$q_g^{i,\min} \leq q_g^i \leq q_g^{i,\max}, \quad i = 1 \dots n_g. \quad (5.20)$$

### 5.3.2 Επέκταση OPF βέλτιστης Ροής φορτίου

Το MATPOWER χρησιμοποιεί μια εκτεταμένη δομή του OPF, που μπορεί να τροποποιηθεί ή να επεκτείνει το πρόβλημα χωρίς να χρειαστεί να ξαναγράψει τα τμήματα που είναι κοινά με το τυπικό OPF, από ιδιότητες που προσθέτει ο χρήστης. Η τυπική μορφή του OPF τροποποιείται δίνοντας την ευκαιρία στο χρήστη να εισάγει επιπρόσθετη κόστη  $f_u$ , περιορισμούς και μεταβλητές  $z$  που μπορούν να γραφούν στην παρακάτω μορφή:

$$\min_{\hat{x}} f(x) + f_u(\hat{x}) \quad (5.21)$$

$$\hat{g}(\hat{x}) = 0 \quad (5.22)$$

$$\hat{h}(\hat{x}) \leq 0 \quad (5.23)$$

$$\hat{x}_{\min} \leq \hat{x} \leq \hat{x}_{\max} \quad (5.24)$$

$$l \leq A\hat{x} \leq u \quad (5.25)$$

#### 5.3.2.1 Όρια διαφοράς γωνιών στους κλάδους

Η διαφορά μεταξύ της γωνίας της τάσης του ζυγού  $\theta_i$  στο ένα άκρο του κλάδου και της γωνίας  $\theta_j$  στο άλλο άκρο μπορεί να οριοθετηθεί πάνω και κάτω ώστε να λειτουργήσει ως υποκατάστατο για ένα παροδικό όριο ευστάθειας. Αν παρέχονται αυτά τα όρια, το MATPOWER δημιουργεί τους αντίστοιχους περιορισμούς για τις μεταβλητές των γωνιών των τάσεων.

## 5.4 Αποτελέσματα Ροής ισχύος

Σε αυτήν εδώ την πτυχιακή εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένα οι εντολές για AC βέλτιστη ροή ισχύος “runopf” και “runuopf”. Με την εκτέλεση αυτών των δυο εντολών το MATPOWER μας δίνει κάποια αποτελέσματα σε έναν πίνακα με όνομα results. Ο πίνακας αυτός δίνεται παρακάτω:

Όνομα	Περιγραφή
results.success	Εάν είναι 1 = επιτυχία, εάν είναι 0 = αποτυχία
results.et	Χρόνος επίλυσης
results.iterations	Αριθμός των επαναλήψεων
results.order	Σύμβαση με ext2int
results.bus(:,VM)	Τάση στον ζυγό
results.bus(:,VA)	Γωνία τάσης στον ζυγό
results.gen(:,PG)	Ενεργός ισχύς γεννήτριας
results.gen(:,QG)	Άεργος ισχύς γεννήτριας
results.branch(:,PF)	Ενεργός ισχύς από την αρχή της διασύνδεσης έως το τέλος
results.branch(:,PT)	Ενεργός ισχύς από την άφιξη της διασύνδεσης έως το τέλος
results.branch(:,QF)	Άεργος ισχύς από την αρχή της διασύνδεσης έως το τέλος
results.branch(:,QT)	Άεργος ισχύς από την άφιξη της διασύνδεσης έως το τέλος
results.f	Τελική τιμή συνάρτησης
results.x	Τελική τιμή της βελτιστοποιημένης μεταβλητής
results.om	OPF μοντέλο
results.bus(:, LAM P)	Πολλαπλασιαστής Lagrange της απόκλισης ενεργού ισχύος
results.bus(:, LAM Q)	Πολλαπλασιαστής Lagrange της απόκλισης άεργου ισχύος
results.mu	Κρυφές τιμές περιορισμών
results.g	Κατ’επιλογή τιμές περιορισμών
results.dg	Κατ’επιλογή περιορισμοί πρώτης παραγώγου
results.raw	Καθαρή έξοδος επιστρεφόμενη από MINOS, και αλλού

# Κεφάλαιο 6 – Δοκιμαστικά σενάρια και αποτελέσματα

## 6.1 Περιγραφή σεναρίων

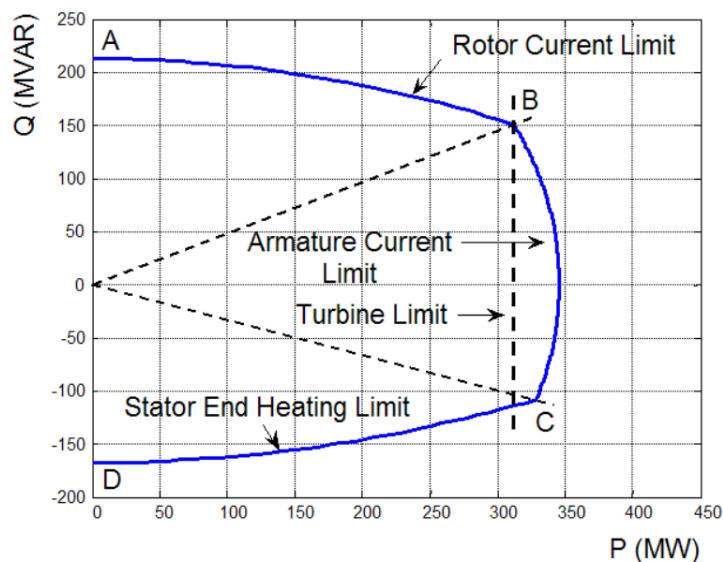
Με σκοπό την ενεργειακή αναβάθμιση του νησιού της Μήλου και την μετατροπή του σε αυτόνομο νησί, χρησιμοποιήθηκαν υπάρχοντα ενεργειακά δεδομένα ώστε να ελέγχει η παρούσα λειτουργία του συστήματος και έπειτα έγιναν οι προσθήκες που θεωρήθηκαν κατάλληλες για το νησί. Υπάρχουν δυο βασικά σενάρια με υποκατηγορίες. Παρακάτω θα παρουσιαστούν ως ξεχωριστά σενάρια. Πρωταρχική ιδέα ήταν η προσθήκη παραπάνω ΑΠΕ όπως αιολικών και φωτοβολταϊκών με τη χρήση μπαταριών, δηλαδή αποθήκευσης. Ένα το ενδιαφέρον στοιχείο είναι το μεγάλο υπόβαθρο της Μήλου σε σχέση με την γεωθερμία. Επίσης, είναι πλέον γνωστό ότι η Μήλος είναι στα μελλοντικά σχέδια για διασύνδεση με την ηπειρωτική Ελλάδα και άλλα νησιά μέσω καλωδίου. Οπότε αυτό έγινε απευθείας ένα σενάριο προς μελέτη. Επιπλέον θεωρήσαμε μια καλή προσθήκη σε αυτό το σενάριο να είναι η προσθήκη ΑΠΕ. Στο σενάριο με την διασύνδεση δεν χρησιμοποιήθηκε το υπάρχον εργοστάσιο βάσης της Μήλου.

## 6.2 Δεδομένα και στοιχεία εισαγωγής

Το πρώτο βήμα για την μοντελοποίηση ήταν η γνώση των πραγματικών στοιχείων λειτουργίας αλλά και εγκατάστασης του νησιού της Μήλου. Ξεκινώντας από το MATPOWER χρειάζεται να κάνουμε την αντιστοίχιση του κάθε συστήματος σε ένα αρχείο με πίνακες caseformat. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω υπάρχουν πίνακες που σχετίζονται με τους ζυγούς, με τις γεννήτριες, με τις γραμμές μεταφοράς και τις συνδέσεις μεταξύ τους αλλά και με το κόστος κάθε γεννήτριας. Έτσι έγινε συλλογή των στοιχείων για όλες αυτές τις παραμέτρους.

Για τον πίνακα των ζυγών χρειάζεται να είναι γνωστό πόσοι και ποιοι είναι οι ζυγοί. Επιπλέον στοιχεία που ήταν απαραίτητα ήταν ο τύπος του ζυγού που χωρίζει σε κατηγορίες τους ζυγούς ανάμεσα σε ζυγό αναφοράς, ζυγό ταλάντωσης και ζυγό αναφοράς. Τέλος ένα από τα βασικά στοιχεία είναι η συμπλήρωση του πεδίου με την βασική τάση η οποία είναι στα 15KV. Αυτά τα στοιχεία αναφέρονται καλύτερα στον Κεφ. 3 - Πίνακας 4.

Για τον πίνακα των γεννητριών δεν μας ήταν γνωστά αρκετά στοιχεία όπως η μέγιστη και η ελάχιστη άεργος ισχύ. Επιπλέον τα δεδομένα μέγιστη και ελάχιστη ισχύς των γεννητριών ήταν γνωστά. Για να προσομοιώσουμε τα όρια της άεργου ισχύος συμβουλευτήκαμε την βασική καμπύλη P-Q όπως φαίνεται στην παρακάτω Κεφ. 6 - Εικόνα 8. Προσαρμόσαμε τα δεδομένα για τις δικές μας γεννήτριες του συστήματός και έτσι καταλήξαμε μετά από υπολογισμούς στις τιμές των  $Q_{min}$  και  $Q_{max}$ .



Κεφ. 6 - Εικόνα 8 Τυπική καμπύλη γεννητριών P - Q

Ο πίνακας που περιέχει τις γραμμές μεταφοράς αλλά και τις συνδέσεις τους ήταν αυτός για τον οποίο χρειάστηκαν να γίνουν πολλοί υπολογισμοί για τα χαρακτηριστικά των γραμμών. Τα μοναδικά στοιχεία που είχαμε γνωστά ήταν, τον τρόπο σύνδεσης των γραμμών, το μέγιστο ρεύμα που περνάει διαμέσου των γραμμών αλλά και τον τύπο του καλωδίου, όπως φαίνεται στον Κεφ. 3 - Πίνακας 4. Συνδυάζοντας αυτά τα δεδομένα αλλά και βασικές εξισώσεις των γραμμών μεταφοράς υπολογίσαμε τα υπόλοιπα δεδομένα που χρειαζόντουσαν.

Τέλος για τον πίνακα του κόστους των γεννητριών τα στοιχεία, για τον υπολογισμό της καμπύλης κόστους, ήταν γνωστά. Όπως έχει προαναφερθεί στον Πίνακας 3 γνωρίζαμε το κόστος των γεννητριών σε τρία στιγμότυπα, κάτι που μας έκανε εφικτό τον υπολογισμό της εξίσωσης κόστους με τη λύση ενός συστήματος τριών εξισώσεων με τρεις αγνώστους, για κάθε γεννήτρια ξεχωριστά.

## 6.3 Λειτουργία υπάρχοντος συστήματος

Το αρχικό μέλημα μας για την περάτωση αυτής της διπλωματικής ήταν η υλοποίηση του υπάρχοντος συστήματος της Μήλου. Με τους υπολογισμούς που έχουν αναφερθεί στην Ενότητα 0 δημιουργήθηκε ένα τυπικό αρχείο τύπου caseformat που φαίνεται παρακάτω στην Κεφ. 6 - Εικόνα 9 με συμπληρωμένους πίνακες από τα παρακάτω στοιχεία και υπολογισμούς.

```
function mpc = my_case
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% CASE5 Power flow data for modified 6 bus, 3 gen case based on Milos existing system 6-bus system
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% MATPOWER Case Format : Version 2
mpc.version = '2';

%%----- Power Flow Data -----%%
%% system MVA base
mpc.baseMVA = 100;

%% gia PD=10MW SUNOLIED KAI COSF=0.97

%% bus data
% bus_i type Pd Qd Gs Bs area Vm Va baseKV sone Vmax Vmin
mpc.bus = [
1 3 0 0 0 0 1 1 0 15 1 1.1 0.9;
2 1 2 0.70168 0 0 1 1 0 15 1 1.1 0.9;
3 1 1.4 0.35084 0 0 1 1 0 15 1 1.1 0.9;
4 1 3.2 0.80192 0 0 1 1 0 15 1 1.1 0.9;
5 1 2.1 0.52626 0 0 1 1 0 15 1 1.1 0.9;
6 1 0.5 0.1253 0 0 1 1 0 15 1 1.1 0.9;
];

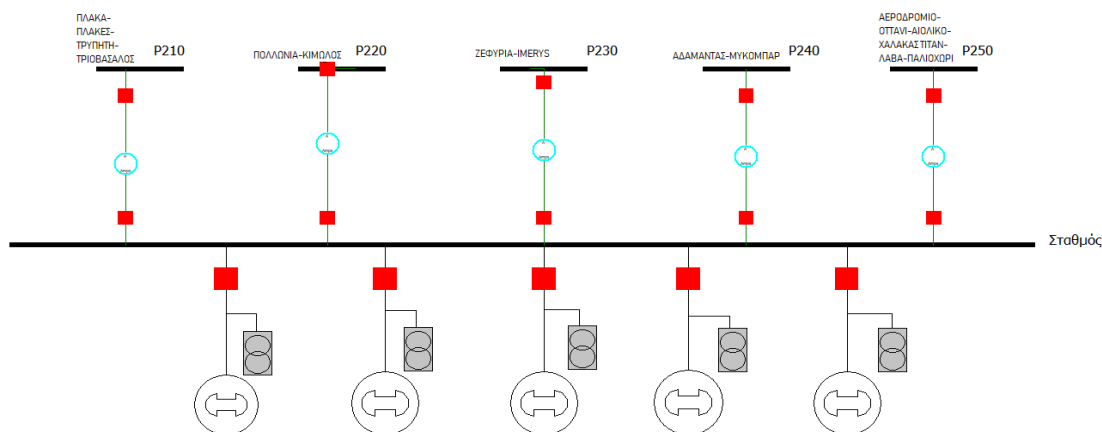
%% generator data
% bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin Pcl Pcd Qclmin Qclmax Qc2min Qc2max ramp_agc ramp_10 ramp_30 ramp_q apf
mpc.gen = [
1 3.2 0 4.7 -3 1 100 1 5 2.75 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
1 3.2 0 4.7 -3 1 100 2 5 2.75 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
1 3.2 0 4.7 -3 1 100 3 5 2.75 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
1 0.9 0 0.9 -0.8 1 100 4 1 0.638 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
1 1.4 0 1.4 -1.2 1 100 5 1.5 1.3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
1 1.4 0 1.4 -1.2 1 100 6 1.5 1.3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
];

%% branch data
% fbus tbus r x b rateA rateB rateC ratio angle status angmin angmax
mpc.branch = [
1 2 0.76666667 0.30666667 0 2.6 0 0 0 0 1 -2.500 2.500;
1 3 0.22222222 0.06666667 0 3.9 0 0 0 0 1 -2.500 2.500;
1 4 0.18888889 0.00755556 0 3.9 0 0 0 0 1 -2.500 2.500;
1 5 0.44444444 0.17777778 0 2.6 0 0 0 0 1 -2.500 2.500;
1 6 0.88888889 0.35555556 0 3.1 0 0 0 0 1 -2.500 2.500;
];

%%----- OPF Data -----%%
%% generator cost data
% 1 startup shutdown n xl yl ... xn yn
% 2 startup shutdown n c(n-1) ... c0
mpc.genccost = [
2 0 0 3 0.42 64.225 18.375;
2 0 0 3 0.42 64.225 18.375;
2 0 0 3 0.42 64.225 18.375;
2 0 0 3 7.326 57.781 8.841;
2 0 0 3 8.3067 57.085 14.962;
2 0 0 3 8.3067 57.085 14.962;
2 0 0 0 0 0 0;
];
```

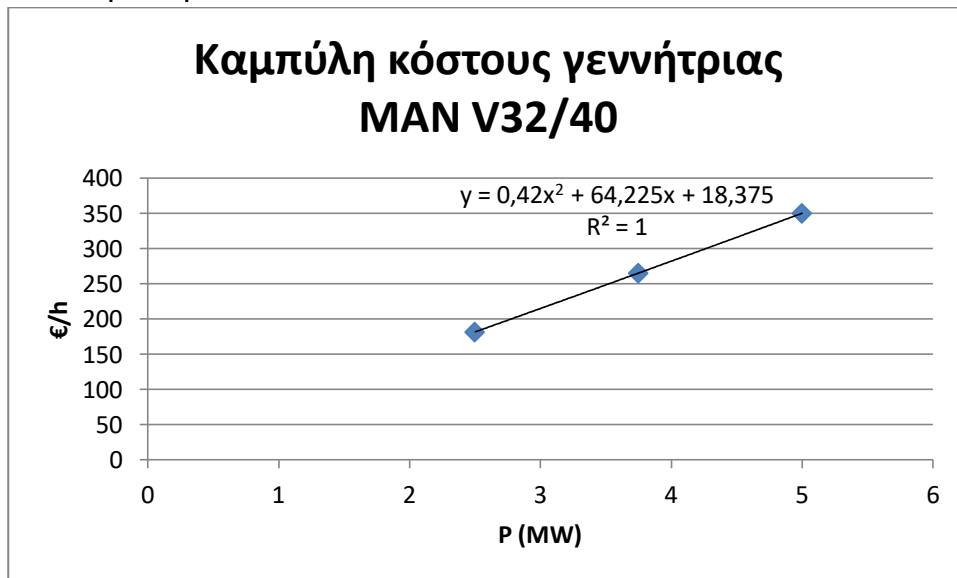
Κεφ. 6 - Εικόνα 9 Αρχείο my\_case

Οι υπολογισμοί που έγιναν και τα αποτελέσματα που τελικά εισήχθησαν και στο αρχείο του MATPOWER παρουσιάζονται παρακάτω. Οι ζυγοί του συστήματος είναι συνδεδεμένοι σύμφωνα με το παρακάτω Κεφ. 6 - Σχήμα 3.

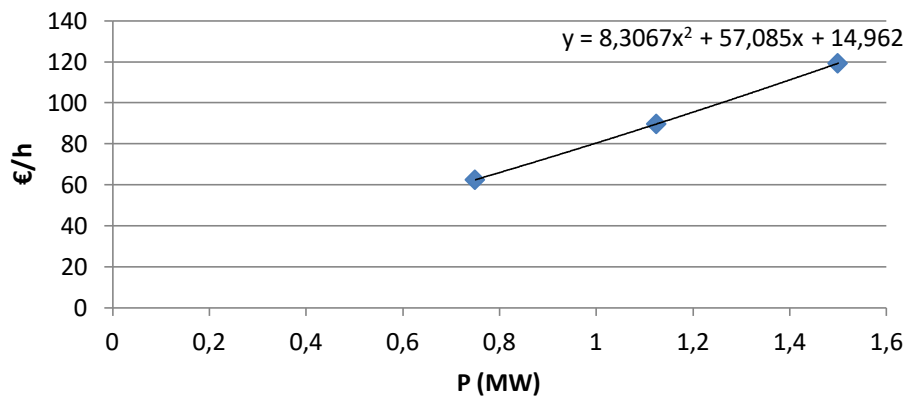


Κεφ. 6 - Σχήμα 3 Μονοφασικό υπάρχοντος συστήματος

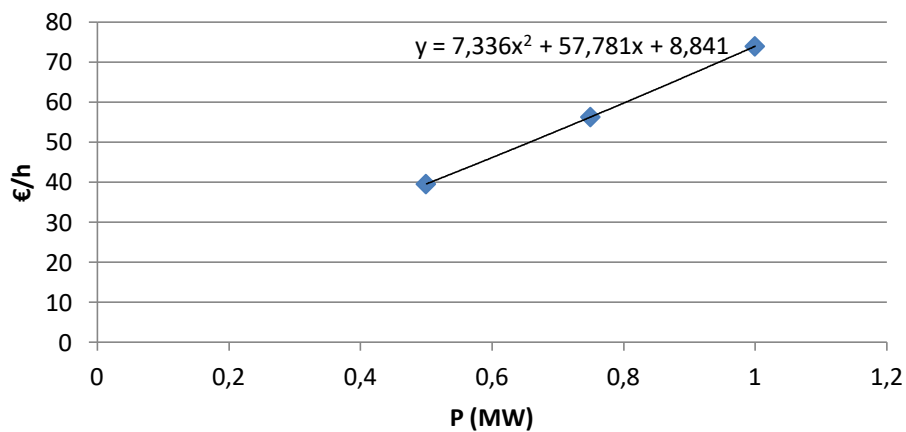
Τα στοιχεία εισαγωγής για τις γεννήτριες ήταν όλα γνωστά όπως έχει ήδη αναφερθεί όμως οι συναρτήσεις κόστους κάθε συνάρτησης δεν ήταν γνωστές. Με την χρήση ενός υπολογιστικού φύλλου παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες για κάθε έναν τύπο γεννήτριας και η εξίσωση δευτέρου βαθμού η οποία ζητείται (οι συντελεστές) στον πίνακα κόστους γεννητριών.



### Καμπύλη κόστους γεννήτριας CKD 12V27, 5BS8



### Καμπύλη κόστους γεννήτριας MITSUBISHI S16R-PTA



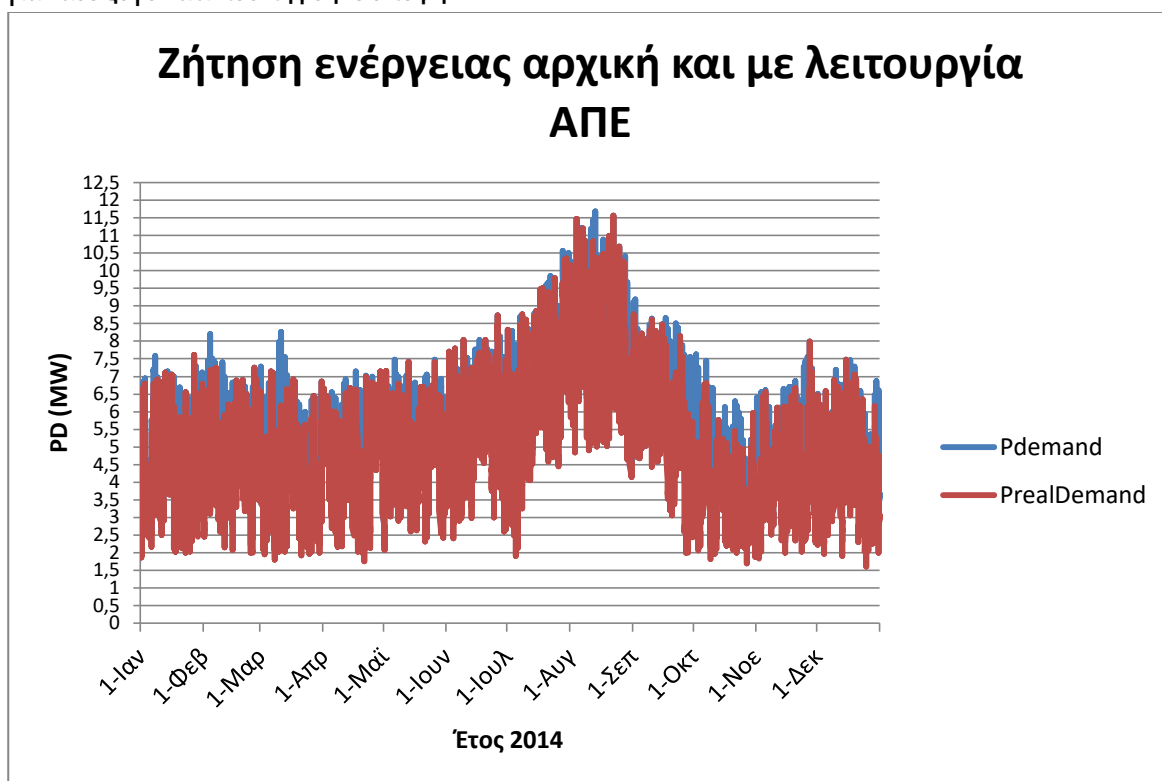
Επιπλέον υπάρχουν και οι τεχνολογίες ΑΠΕ που απαρτίζουν το σύστημα. Υπάρχει ένα αιολικό πάρκο με τέσσερεις ανεμογεννήτριες και λίγα διάσπαρτα φωτοβολταϊκά πάρκα. Τα ηλιακά πάρκα, επτά στον αριθμό, έχουν μέγεθος συνολικής ισχύος 0,618 MW, ενώ το αιολικό πάρκο έχει συνολική εκμεταλλεύσιμη ισχύ 2,650 MW. Το αιολικό πάρκο έχει μεγαλύτερη ισχύ όμως βάση νομοθεσίας για το νησί της Μήλου μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο τα 2,650 MW. Πληροφορίες για το αιολικό πάρκο υπάρχουν στην Ενότητα 3.2.2.1.. Επιπλέον, παρακάτω θα παρουσιαστούν στοιχεία και καμπύλες για τις ανεμογεννήτριες οι οποίες απαρτίζουν το αιολικό μας πάρκο.

#### 6.3.1 Εκτέλεση και αποτελέσματα υπάρχοντος συστήματος

Στην εκτέλεση του βασικού μας σεναρίου όπως είναι γνωστό το νησί της Μήλου φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο και διάσπαρτα φωτοβολταϊκά όσων αφορά την ήδη υπάρχουσα διείσδυση των ΑΠΕ. Δεδομένα για ωριαία ζήτηση αλλά και παραγωγή από αιολικά μας δόθηκε για



ολόκληρο το έτος 2014. Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα εκτελέστηκε για κάθε ώρα του χρόνου ο αλγόριθμος βέλτιστης ροής ισχύος λειτουργώντας κάθε φορά ο βέλτιστος συνδυασμός γεννητριών αναλόγως την ζήτηση εκείνη την στιγμή. Η ζήτηση ενέργειας ήταν διαφορετική για κάθε ζυγό κάτι που λήφθηκε υπόψη.



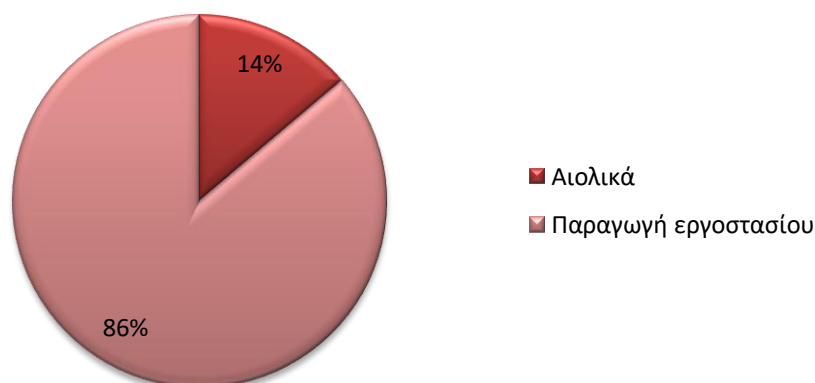
Στο παραπάνω γράφημα παρατηρείται πως τους καλοκαιρινούς μήνες η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται έως και 50%, κάτι πολύ λογικό και αναμενόμενο αφού εξετάζουμε ένα νησί που είναι καλοκαιρινός προορισμός. Επίσης, μπορούμε να διακρίνουμε ότι τα ήδη εγκατεστημένα αιολικά συνεισφέρουν πολύ λίγο στο σύστημα, κάτι που φαίνεται στο γράφημα με κόκκινο χρώμα, το οποίο αναπαριστά την πραγματική παραγωγή ενέργειας από τον σταθμό βάσης. Η διαφορά που φαίνεται ανάμεσα στην μπλε και στην κόκκινη καμπύλη είναι η ενέργεια που καλύπτεται από τα ήδη εγκατεστημένα ΑΠΕ. Η εγκατεστημένη ισχύς που προέρχεται από τα ΑΠΕ, είναι φανερό και από το παραπάνω γράφημα πως είναι χαμηλή. Η χρήση των ΑΠΕ αυτήν την στιγμή στο νησί της Μήλου είναι απλώς βοηθητική και ουσιαστικά έχει ως αποτέλεσμα να μην υπερφορτώνεται ο σταθμός βάσης.

Παρακάτω με συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος του 2014 να ανέρχεται στα 49704,88 MWh παραθέτονται στοιχεία και ποσοστά λειτουργίας για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Κεφ. 6 - Πίνακας 5 Αποτελέσματα

Συνολική ζήτηση (MWh)	Κάλυψη ζήτησης γεννητριών (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ (MWh)	Λειτουργία γεννητριών (%)	Λειτουργία ΑΠΕ (%)	Συνολικό κόστος λειτουργίας (€)
49.704,88	42.854,72	6.850,16	86,1	13,8	3.308.593,909

## Ποσοστιαία παραγωγή ενέργειας

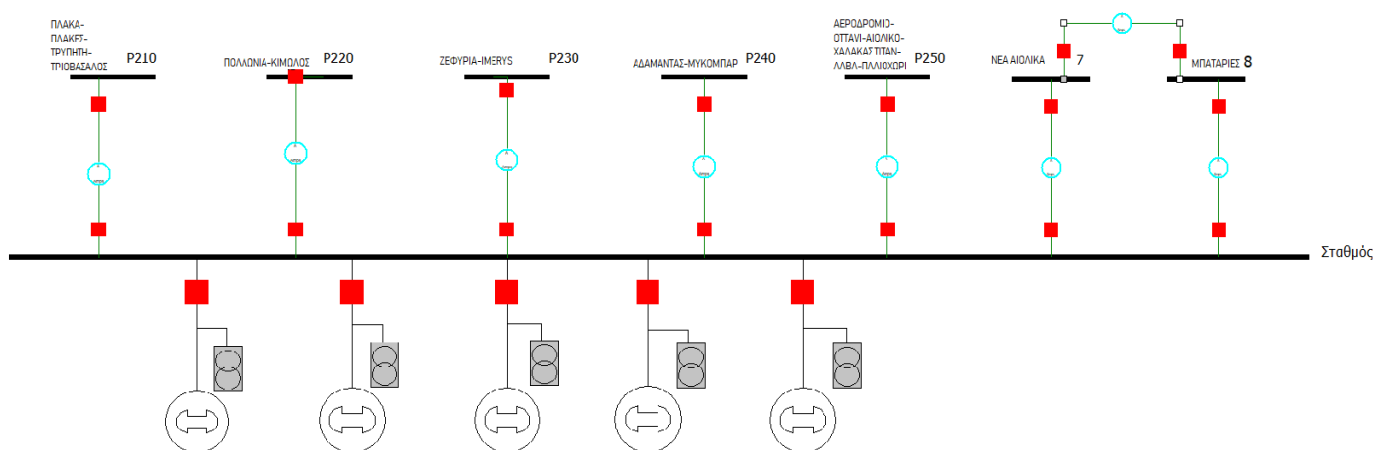


### 6.4 Πρώτο σενάριο

Το πρώτο σενάριο μπορεί να χαρακτηριστεί και ως ένα υβριδικό σύστημα. Απαρτίζεται από μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ και προσθήκη μπαταριών. Το σενάριο αυτό διακρίνεται σε τέσσερις υποκατηγορίες σε σχέση με την διείσδυση και την μέγιστη ισχύ των μπαταριών. Δηλαδή αναλόγως το ποσοστό της διείσδυσης των ΑΠΕ ανάλογο είναι και το μέγεθος των συσσωρευτών ηλεκτρικής ενέργειας. Η επιλογή αυτών των επιλογών έγινε βάση του κανόνα ώστε η διείσδυση των ΑΠΕ, και συγκεκριμένα εδώ των αιολικών, να είναι κατά τουλάχιστον 20% (στην περίπτωση μας κατά 41,6%) μεγαλύτερη από το μέγεθος των μπαταριών. Επιπλέον, προστέθηκαν κάποια φωτοβολταϊκά διάσπαρτα ώστε να φτάσουν το 1MW ισχύ σε όλες τις επιμέρους επιλογές.

#### 6.4.1 Περιγραφή πρώτου σεναρίου

Για την διεκπεραίωση αυτού του σεναρίου χρειάστηκε να δημιουργηθεί ένα καινούριο casefile το οποίο να περιέχει έναν ζυγό για την προσθήκη του νέου αιολικού πάρκου αλλά και έναν ζυγό που προστέθηκαν οι συσσωρευτές ενέργειας. Το μονογραμμικό του νέου συστήματος υπάρχει στο Κεφ. 6 - Σχήμα 4. Προστέθηκαν επιπλέον γραμμές μεταφοράς για αυτούς τους δύο ζυγούς και επιπλέον αφού η φόρτιση των μπαταριών γίνεται από το νέο αιολικό πάρκο υπάρχει και γραμμή μεταφοράς που συνδέει αυτούς τους δυο ζυγούς μεταξύ τους. Αυτές οι γραμμές μεταφοράς έχουν ίδια χαρακτηριστικά και παρόμοιο μήκος εκτός βέβαια από την γραμμή που συνδέει το νέο αιολικό πάρκο με τις μπαταρίες. Οι μπαταρίες και το νέο αιολικό πρέπει να βρίσκονται κοντά ώστε η φόρτιση των μπαταριών να γίνεται με τις λιγότερες απώλειες ενέργειας. Παράλληλα το αιολικό πάρκο όταν δεν χρειάζονται οι μπαταρίες φόρτιση τότε δίνουν την ενέργεια που παράγουν στο σύστημα. Στον Κεφ. 6 - Πίνακας 6 παρακάτω φαίνονται και ακριβώς τα χαρακτηριστικά των νέων γραμμών.



Κεφ. 6 - Σχήμα 4 Μονογραμμικό σεναρίου πρώτου

Κεφ. 6 - Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά γραμμών νέων Αιολικών και Μπαταριών

Ονομασία Ζυγού - Γραμμής	Περιοχές	Τύπος Ζυγού	Καλώδια	Θέση	Μήκος	Μέγιστα Φορτία (A)
P. 7	ΝΕΟ ΑΙΟΛΙΚΟ	Φορτίου (PQ)	3x95 cm	Εναέριο	8000 m	120
P. 8	ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ	Φορτίου (PQ)	3x95 cm	Εναέριο	8000 m	120
P. 7-8	ΝΕΟ ΑΙΟΛΙΚΟ-ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ	Φορτίου (PQ)	3x95 cm	Εναέριο	500 m	120

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι τεχνολογίας NaS δηλαδή νατρίου θείου. Επιπλέον οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιήθηκαν για το νέο αιολικό πάρκο είναι της εταιρίας Vestas. Διαλέξαμε αυτήν τη μάρκα ανεμογεννητριών για το λόγω ότι στο ήδη υπάρχον σύστημα λειτουργούν ανεμογεννήτριες αυτής της εταιρίας. Χαρακτηριστικά για τις ανεμογεννήτριες που προστέθηκαν στο σενάριο αυτό υπάρχουν στην Κεφ. 3 - Καμπύλη 4 των οποίων ο τύπος είναι μόνο Vestas V42 850 kW. Οι συσσωρευτές που χρησιμοποιήθηκαν για αυτό το σενάριο είναι της εταιρίας NGK οι οποίες υφίσταται σε συστοιχίες των 600kW η κάθε μια.

Τα στάδια του σεναρίου ή αλλιώς οι περιπτώσεις του σεναρίου αυτού είναι:

1. Μπαταρίες μεγέθους 0.6 MW, Αιολικό πάρκο ισχύος 0.85MW
2. Μπαταρίες μεγέθους 1.2 MW, Αιολικό πάρκο ισχύος 1.7MW
3. Μπαταρίες μεγέθους 1.8 MW, Αιολικό πάρκο ισχύος 2.55MW

#### 6.4.2 Εκτέλεση και αποτελέσματα πρώτου σεναρίου

Τα αποτελέσματα για αυτό το σενάριο χωρίζονται, όπως προαναφέρθηκε, σε τέσσερις υποκατηγορίες βάση το μέγεθος των νέων αιολικών αλλά και το μέγεθος της χωρητικότητας των μπαταριών. Παρακάτω παρουσιάζονται για κάθε ένα συνδυασμό τα αποτελέσματα.

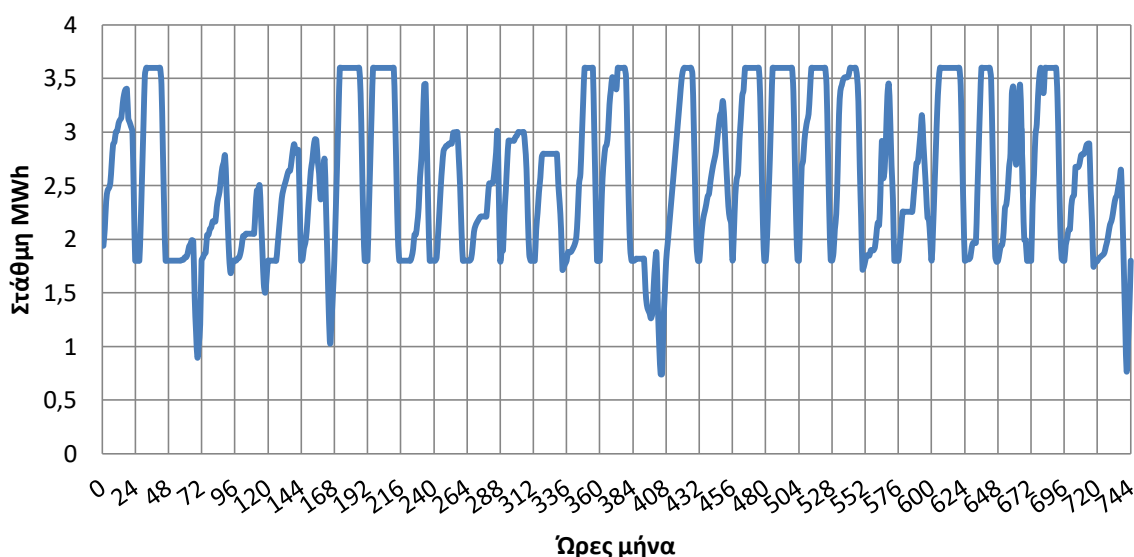
➤ **Μπαταρίες μεγέθους 0.6 MW, Αιολικό πάρκο ισχύος 0.85MW**

Περίπτωση	Συνολική ζήτηση (MWh)	Κάλυψη ζήτησης γεννητριών (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ παλιά (MWh)	Κάλυψη ζήτησης Υβριδικού (MWh)	Συνολικό κόστος λειτουργίας (€)
Case1	49.704,88	38.915,32	6.850,16	3.939,398	3.289.084



Στο παραπάνω γράφημα και πίνακα αναφέρονται τα αποτελέσματα από την εκτέλεση της πρώτης περίπτωσης του δεύτερου σεναρίου. Παρατηρούμε πως το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από τον σταθμό βάσης. Το υπόλοιπο ποσοστό καλύπτεται από τεχνολογίες ΑΠΕ αλλά και μπαταρίες δηλαδή τον υβριδικό σταθμό, ουσιαστικά αυτό το ποσοστό είναι το ένα τέταρτο της συνολικής ζήτησης. Το κόστος λειτουργίας ανέρχεται στα 3.289.084 € για έναν χρόνο.

## Επίπεδο στάθμης Μπαταριών ενός μήνα CASE 1



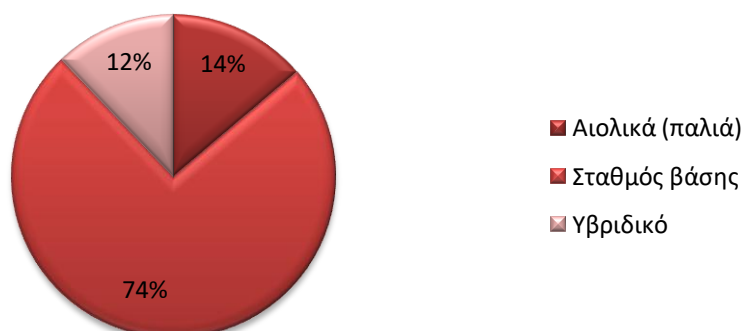
Βάσει του παραπάνω διαγράμματος του μήνα Ιανουαρίου παρατηρούμε πως το επίπεδο της στάθμης για κάθε μέρα βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο στην αρχή αλλά και στο τέλος της ημέρας. Σε κάποιες όμως περιπτώσεις όπως είναι η τελευταία μέρα αλλά και άλλες μέρες με χαρακτηριστικά την μεγάλη πτώση λίγο πριν το τέλος του εικοσιτετράωρου, εκεί φυσάει αρκετά τις τελευταίες ώρες της ημέρας με αποτέλεσμα η μπαταρία να φορτίζει από τις ανεμογεννήτριες, παρά το γεγονός ότι και η αιχμή της ημέρας είναι συνήθως τις βράδυνες ώρες.

### ➤ Μπαταρίες μεγέθους 1.2 MW. Αιολικό πάρκο ισχύος 1.7MW

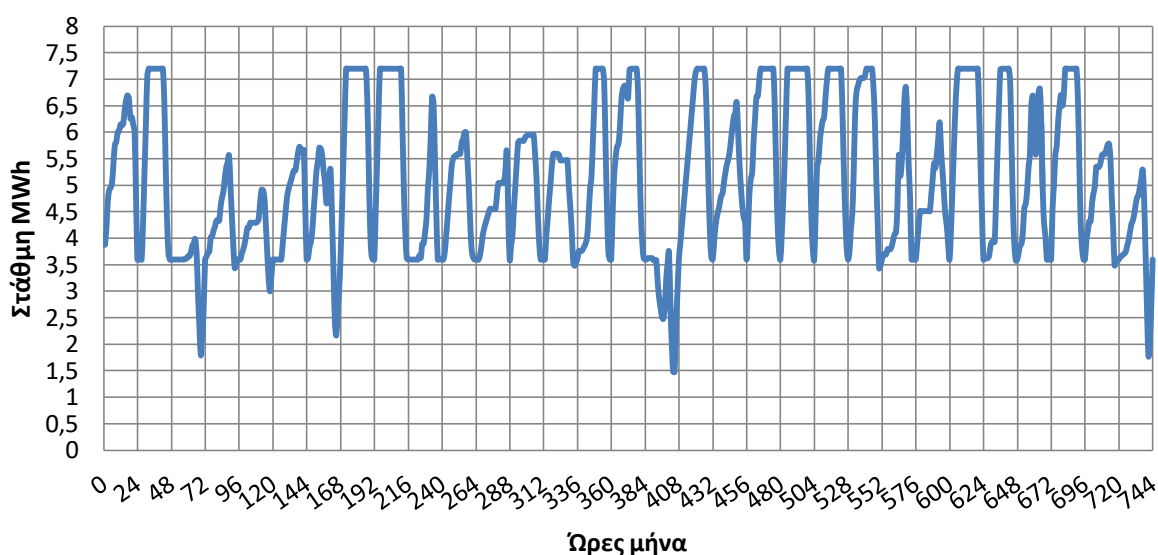
Περίπτωση	Συνολική ζήτηση (MWh)	Κάλυψη ζήτησης γεννητριών (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ παλιά (MWh)	Κάλυψη ζήτησης Υβριδικού (MWh)	Συνολικό κόστος λειτουργίας (€)
Case2	49.704,88	36.832,64	6.850,16	6.022,078	3.159.498

Ο παραπάνω πίνακας μας δείχνει ουσιαστικά το κόστος λειτουργίας αλλά και το σύνολο της ενέργειας που παράγει κάθε παράρτημα σε αυτήν την περίπτωση. Το κόστος λειτουργίας ανέρχεται στα 3.159.498 € σε διάρκεια ενός έτους, περίπου μειωμένο κατά 130.000 € από την προηγούμενη περίπτωση. Παρακάτω παρατηρούμε στο γράφημα πως πάλι ο σταθμός βάσης καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης, ενώ ο υβριδικός σταθμός καλύπτει κατά 4% περισσότερη ζήτηση από την προηγούμενη περίπτωση.

## Ποσοστά λειτουργίας CASE 2



## Επίπεδο στάθμης Μπαταριών ενός μήνα CASE 2



Στο παραπάνω γράφημα ισχύει ότι ακριβώς ισχύει και στην προηγούμενη περίπτωση για την στάθμη της μπαταρίας. Το επίπεδο της στάθμης για κάθε μέρα βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο στην αρχή αλλά και στο τέλος της ημέρας. Σε κάποιες όμως περιπτώσεις όπως είναι η τελευταία μέρα αλλά και άλλες μέρες με χαρακτηριστικά την μεγάλη πτώση λίγο πριν το τέλος του εικοσιτετραώρου, εκεί φυσάει αρκετά τις τελευταίες ώρες της ημέρας με αποτέλεσμα η μπαταρία να φορτίζει από τις ανεμογεννήτριες.

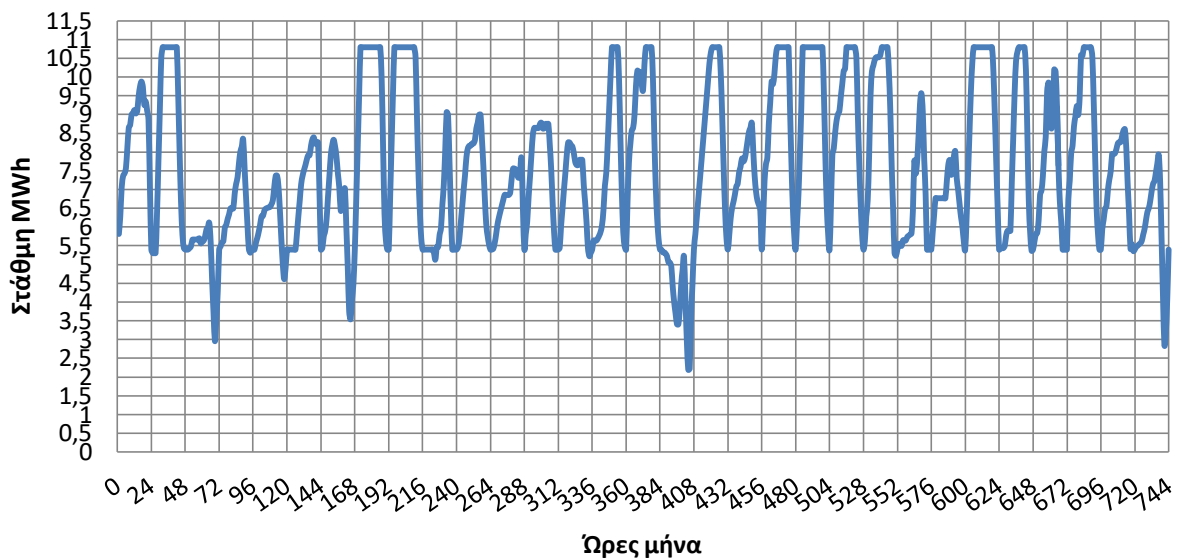
➤ **Μπαταρίες μεγέθους 1.8 MW. Αιολικό πάρκο ισχύος 2.55MW**

Περίπτωση	Συνολική ζήτηση (MWh)	Κάλυψη ζήτησης γεννητριών (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ παλιά (MWh)	Κάλυψη ζήτησης Υβριδικού (MWh)	Συνολικό κόστος λειτουργίας (€)
Case3	49.704,88	35.571,5	6.850,16	7.283,219	3.091.778

Ο παραπάνω πίνακας μας δείχνει ουσιαστικά το κόστος λειτουργίας αλλά και το σύνολο της ενέργειας που παράγει κάθε παράρτημα σε αυτήν την περίπτωση. Το κόστος λειτουργίας ανέρχεται στα 3.091.778 € σε διάρκεια ενός έτους, περίπου μειωμένο κατά 140.000 € από την προηγούμενη περίπτωση. Παρακάτω παρατηρούμε στο γράφημα πως πάλι ο σταθμός βάσης καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης, ενώ ο υβριδικός σταθμός καλύπτει κατά 3% περισσότερη ζήτηση από την προηγούμενη περίπτωση ενώ το κόστος λειτουργίας μειώνεται αρκετά.



### Επίπεδο στάθμης Μπαταριών ενός μήνα CASE 3



Στο παραπάνω γράφημα ισχύει ότι ακριβώς και στα προηγούμενες δύο περιπτώσεις για την στάθμη της μπαταρίας. Το επίπεδο της στάθμης για κάθε μέρα βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο στην αρχή αλλά και στο τέλος της ημέρας. Σε κάποιες όμως περιπτώσεις όπως είναι η τελευταία μέρα αλλά και άλλες μέρες με χαρακτηριστικά την μεγάλη πτώση λίγο πριν το τέλος του εικοσιτετράωρου, εκεί φυσάει αρκετά τις τελευταίες ώρες της ημέρας με αποτέλεσμα η μπαταρία να φορτίζει από τις ανεμογεννήτριες.

Σε μια σύνοψη των στοιχείων που παρατέθηκαν παραπάνω, ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα αποτελέσματα και για τις τρεις υποπεριπτώσεις του αρχικού σεναρίου.

Περίπτωση	Συνολική ζήτηση (MWh)	Κάλυψη ζήτησης γεννητριών (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ παλιά (MWh)	Κάλυψη ζήτησης Υβριδικού (MWh)	Συνολικό κόστος λειτουργίας (€)
Case1	49.704,88	38.915,32	6.850,16	3939,398	3.289.084
Case2	49.704,88	36.832,64	6.850,16	6022,078	3.159.498
Case3	49.704,88	35.571,50	6.850,16	7283,219	3.091.778

Τα αποτελέσματα για κάθε υποπερίπτωση όπου παρουσιάζονται παραπάνω δείχνουν πως όσο αυξάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ και μεγαλώνει η χωρητικότητα των μπαταριών η κάλυψη της ζήτησης από τον σταθμό βάσης μειώνεται και αυτό καλύπτεται από τις προσθήκες των ΑΠΕ και των μπαταριών. Το κόστος λειτουργίας σε κάθε υποπερίπτωση μειώνεται ουσιαστικά κατά περίπου 100,000 € με μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση αυτήν από το case 1 στο case 2.



### 6.4.3 Οικονομική αποτίμηση πρώτου σεναρίου

Οι θεωρήσεις που έγιναν για κάθε σενάριο όσον αφορά τους χρηματοοικονομικούς παράγοντες είναι ίδιοι για όλα τα σενάρια.

- Επιτόκιο αναγωγής δηλαδή το πόσο χάνει το χρήμα την αξία του μέσα στην χρόνο: 8%
- Διάρκεια ζωής έργου: 15 έτη
- Τα αρχικά κόστη για κάθε σενάριο ανέρχονται στα 300.000 €/ΜWh για τις μπαταρίες, και 1.200.000 €/ΜWh για τις ανεμογεννήτριες
- Το 70% του αρχικού κόστους καλύπτεται από ένα τραπεζικό δάνειο με επιτόκιο 6% και διάρκεια 10 έτη για το δάνειο
- Ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης: ανέρχονται στα 1,5% του αρχικού κόστους όπως υπολογίζεται από πάνω
- Ο συντελεστής φορολόγησης είναι 29%

Το κόστος αγοράς και πώλησης για κάθε παράρτημα από το σενάριο υπολογίζεται:

- Συνολική ετήσια ενέργεια μπαταρίας που πωλείται (Pdischarge) πληρώνεται με 200€/ΜWh
- Συνολική ετήσια ενέργεια νέων αιολικών που πωλείται στο δίκτυο και δεν πηγαίνει για πώληση μπαταριών (PNewWindToGrid) πληρώνεται με 98€/ΜWh
- Συνολική ετήσια ενέργεια φόρτισης μπαταρίας που αγοράζεται από το δίκτυο (PBatFromGrid) αγοράζεται με  $200 \cdot (\text{βαθμός απόδοσης των μπαταριών} = 0,8) = 160$  €/ΜWh

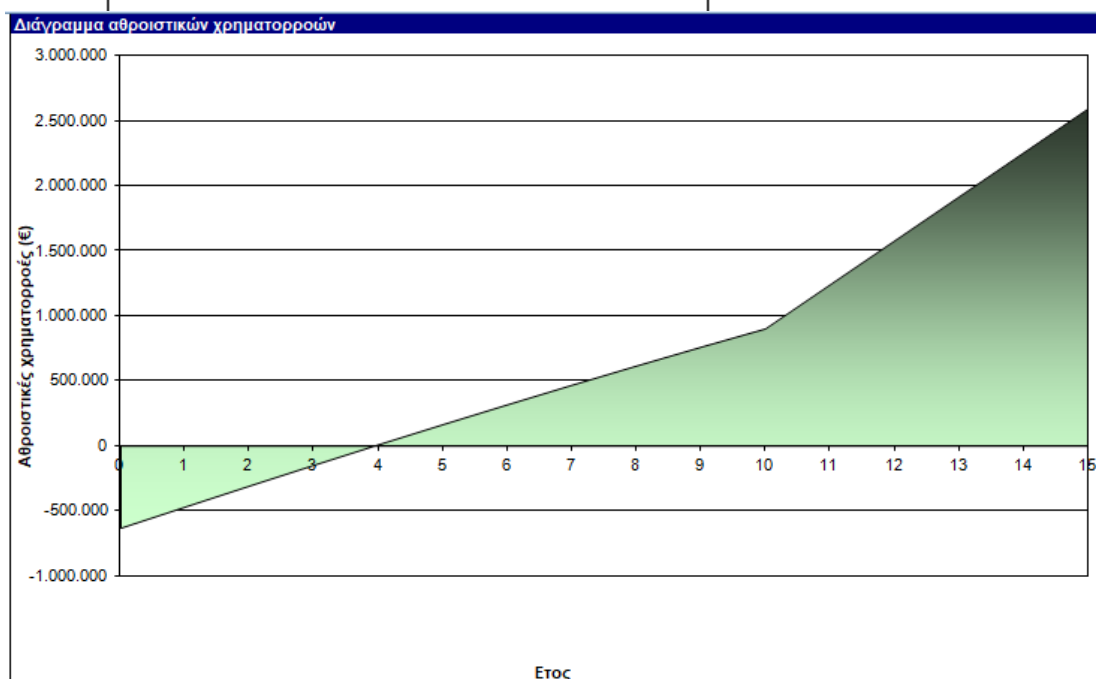
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω ξεχωριστά για κάθε σενάριο χρησιμοποιώντας το λογισμικό RETSCREEN που χρησιμοποιείται για οικονομοτεχνική ανάλυση των υπό μελέτη σεναρίων. Συγκεκριμένα, το RETSCREEN υπολογίζει τις ετήσιες ταμειακές ροές του έργου του εκάστοτε σεναρίου καθώς και χρηματοοικονομικά κριτήρια όπως η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) και τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR), η απλή αποπληρωμή και παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα

- **Μπαταρίες μεγέθους 0.6 MW, Αιολικό πάρκο ισχύος 0.85MW**

Ενέργεια που πωλείται η αγοράζεται (€)	
Pdischarge	203.384,7
PnewWindToGrid	286.402,5
PBatfromGrid	18.296,66

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-630.000	-630.000	-630.000
1	275.874	163.528	-466.472
2	275.874	161.588	-304.884
3	275.874	159.531	-145.354
4	275.874	157.350	11.996
5	275.874	155.039	167.035
6	275.874	152.589	319.624
7	275.874	149.992	469.617
8	275.874	147.239	616.856
9	275.874	144.322	761.177
10	275.874	141.229	902.406
11	475.600	337.676	1.240.082
12	475.600	337.676	1.577.758
13	475.600	337.676	1.915.434
14	475.600	337.676	2.253.110
15	475.600	337.676	2.590.786



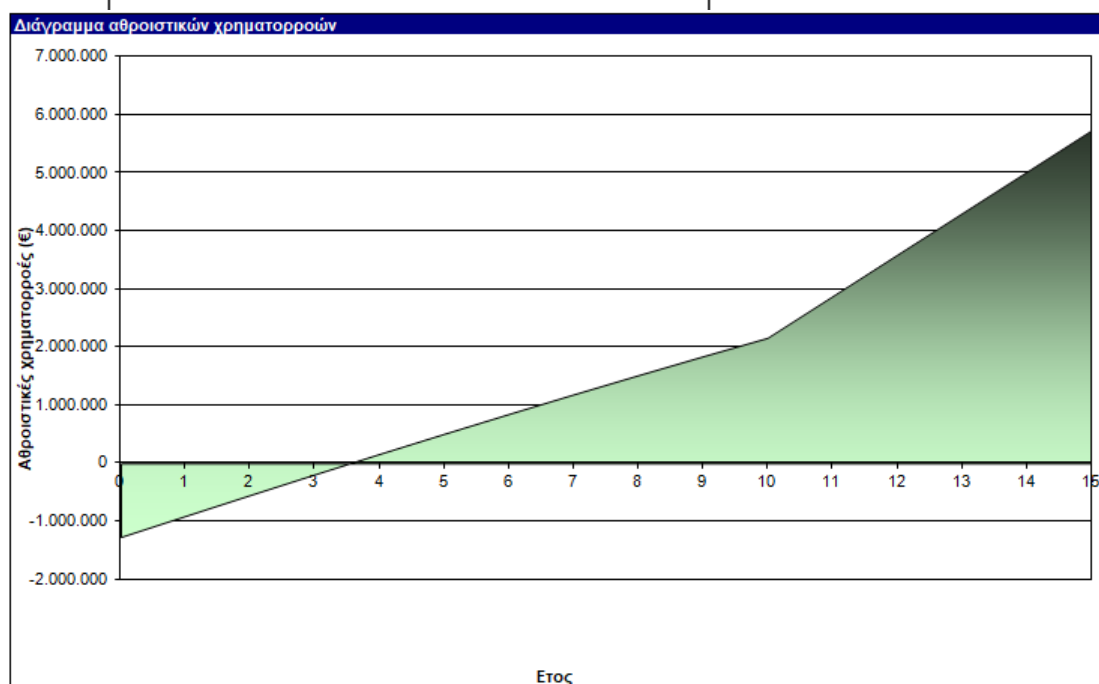
Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	44,3%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	26,2%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	4,9%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4,4
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	3,9
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	1.033.099
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	120.697
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		2,64
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		2,38
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	67,66
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2	(117)

➤ **Μπαταρίες μεγέθους 1.2 MW. Αιολικό πάρκο ισχύος 1.7MW**

Ενέργεια που πωλείται η αγοράζεται (€)	
Pdischarge	406.769,4
PnewWindToGrid	390.846,6
PBatfromGrid	36.593,33

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος #	Προ-φόρων €	Μετά-φόρων €	Αθροιστικά €
0	-1.260.000	-1.260.000	-1.260.000
1	601.748	362.556	-897.444
2	601.748	358.675	-538.769
3	601.748	354.561	-184.208
4	601.748	350.200	165.993
5	601.748	345.578	511.571
6	601.748	340.678	852.249
7	601.748	335.484	1.187.733
8	601.748	329.979	1.517.712
9	601.748	324.143	1.841.855
10	601.748	317.957	2.159.812
11	1.001.200	710.852	2.870.664
12	1.001.200	710.852	3.581.516
13	1.001.200	710.852	4.292.368
14	1.001.200	710.852	5.003.220
15	1.001.200	710.852	5.714.072



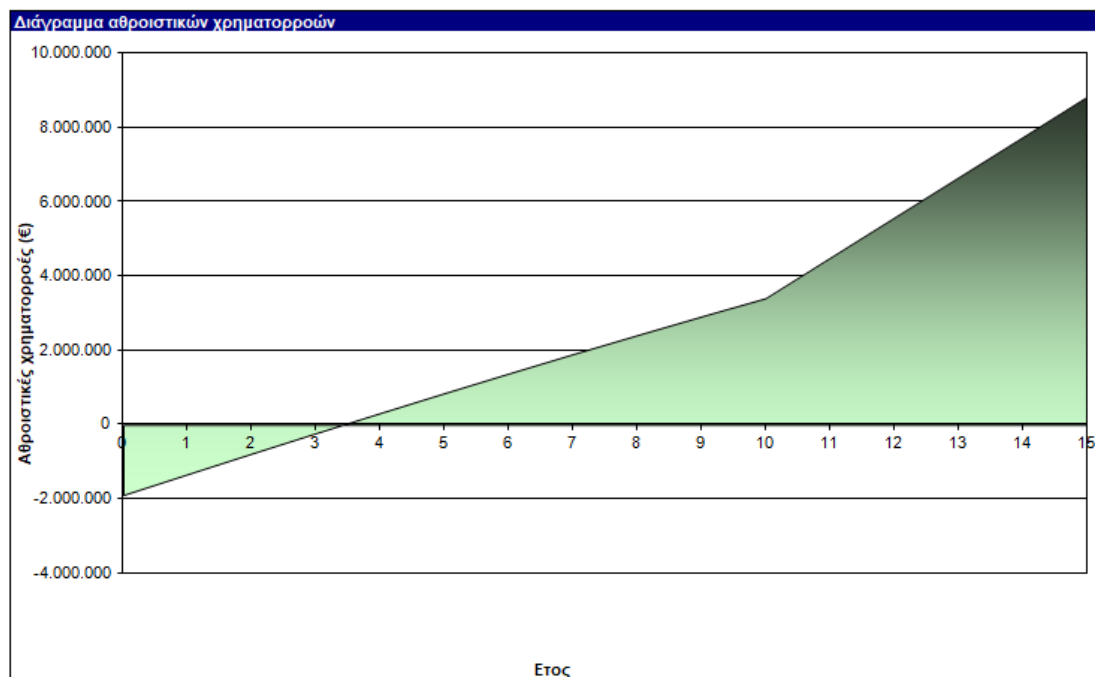
Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	48,2%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	28,9%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	6,0%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4,2
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	3,5
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	2.370.060
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	276.893
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		2,88
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		2,51
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	62,90
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2	(134)

➤ **Μπαταρίες μεγέθους 1.8 MW. Αιολικό πάρκο ισχύος 2.55MW**

Ενέργεια που πωλείται η αγοράζεται (€)	
Pdischarge	610.154,1
PnewWindToGrid	414.780
PBatfromGrid	54.889,99

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματορροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ετήσια χρηματορροή			
Ετος #	Προ-φόρων €	Μετά-φόρων €	Αθροιστικά €
0	-1.890.000	-1.890.000	-1.890.000
1	927.622	561.584	-1.328.416
2	927.622	555.763	-772.653
3	927.622	549.592	-223.061
4	927.622	543.050	319.989
5	927.622	536.117	856.106
6	927.622	528.767	1.384.873
7	927.622	520.976	1.905.850
8	927.622	512.718	2.418.568
9	927.622	503.965	2.922.532
10	927.622	494.686	3.417.218
11	1.526.800	1.084.028	4.501.246
12	1.526.800	1.084.028	5.585.274
13	1.526.800	1.084.028	6.669.302
14	1.526.800	1.084.028	7.753.330
15	1.526.800	1.084.028	8.837.358



<b>Οικονομική Βιωσιμότητα</b>		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή	%	49,5%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	13,9%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	29,8%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	6,4%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4,1
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	3,4
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	3.707.021
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	433.090
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		2,96
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		2,55
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	61,31
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2	(140)

Παραπάνω παραθέτονται ο πίνακας με τους δείκτες για την οικονομική βιωσιμότητα του έργου καθώς επίσης το διάγραμμα και ο πίνακας αθροιστικών χρηματορροών για την διάρκεια ζωής του έργου η οποία ορίστηκε στα 15 έτη.

Η επένδυση για το σενάριο της αντικατάστασης του συστήματος παραγωγής ενέργειας, από ΑΠΕ, μπαταρίες και σταθμό βάσης φαίνεται να είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα με βάση το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ>0) και τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR>i). Επιπλέον είναι εμφανές ότι επιτυγχάνεται ταχύτατα η απόσβεση του κεφαλαίου επένδυσης από 3,9, 3,5 και 3,4 μόλις χρόνια αντίστοιχα για κάθε σενάριο από το πρώτο στο τρίτο. Ως εκ τούτου η επένδυση κρίνεται βιώσιμη και ελκυστική με περισσότερο ελκυστική αυτήν με χαρακτηριστικά Μπαταρίες μεγέθους 1,8 MW και Αιολικό πάρκο ισχύος 2,55MW

## 6.5 Δεύτερο σενάριο

Το δεύτερο σενάριο είναι εντελώς διαφορετικό από το προηγούμενο και από το υφιστάμενο σύστημα της Μήλου. Η σκέψη για την υλοποίηση αυτού του σεναρίου προήλθε από τα μελλοντικά σχέδια που υπάρχουν στον ορίζοντα για την Μήλο. Μέσα στα επόμενα

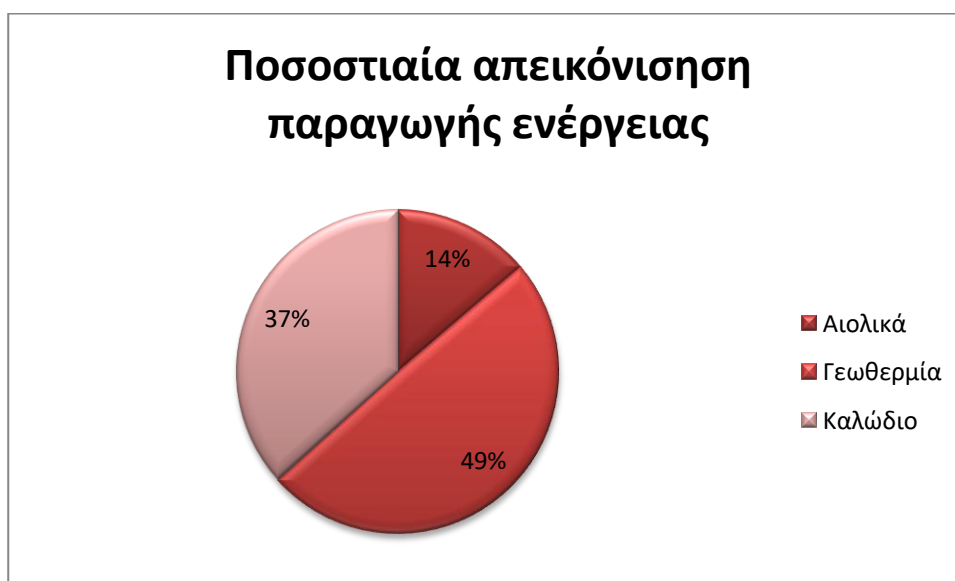
### 6.5.1 Περιγραφή δεύτερου σεναρίου

{ 62 }

Ονομασία Ζυγού	Περιοχές	Τύπος Ζυγού	Καλώδια	Θέση	Μήκος	Μέγιστα Φορτία (A)
P. 7	ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	Φορτίου (PQ)	3x95 cm	Εναέριο	8000 m	120
P. 8	ΚΑΛΩΔΙΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ	Φορτίου (PQ)	-	Υποβρύχιο	-	-

### 6.5.2 Εκτέλεση και αποτελέσματα δευτέρου σεναρίου

Σε αυτό το σενάριο περιοριζόμαστε μόνο στο να παίρνουμε ενέργεια από το καλώδιο διασύνδεσης, λόγω του ότι ο σταθμός της Γεωθερμίας είναι χαμηλής ισχύος και η μέγιστη παραγωγή ενέργειας του είναι τα 3MW. Το κόστος όμως για την αγορά ενέργειας από το καλώδιο ορίζεται από την οριακή τιμή συστήματος για κάθε ώρα του έτους ανά MW.



Συνολική ζήτηση (MWh)	Κάλυψη ζήτησης Γεωθερμία (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ (MWh)	Κάλυψη ζήτησης Καλώδιο (MWh)	Συνολικό κόστος λειτουργίας (€)
49.704,88	24.645,23	6.850,16	18.209,49	2.146.333,061

Παρατηρείται τεράστια αλλαγή και μείωση ταυτόχρονα από το προηγούμενο σενάριο σε σχέση με το κόστος περίπου κατά 1.000.000 €. Επιπλέον αυτό το σενάριο χαρακτηρίζεται ως το πιο απλοϊκό όσον αναφορά την πολυπλοκότητα συστήματος. Αυτό το σενάριο όμως θεωρείται το πιο πιθανό να πραγματοποιηθεί στο νησί της Μήλου μέχρι και το 2022. Τέλος το μεγαλύτερο ποσοστό 63% καλύπτεται από ΑΠΕ κάτι πολύ σημαντικό για το περιβάλλον. Το υπόλοιπο 37% ποσοστό ζήτησης ενέργειας καλύπτεται από το σύστημα που είναι διασυνδεδεμένο το νησί της Μήλου.<sup>6</sup>

### 6.5.3 Οικονομική αποτίμηση δεύτερου σεναρίου

Οι θεωρήσεις που έγιναν για κάθε σενάριο όσον αφορά τους χρηματοοικονομικούς παράγοντες είναι ίδιοι για όλα τα σενάρια.

- Επιτόκιο αναγωγής δηλαδή το πόσο χάνει το χρήμα την αξία του μέσα στην χρόνο: 8%
- Διάρκεια ζωής έργου: 25 έτη
- Τα αρχικά κόστη για κάθε σενάριο ανέρχονται για την γεωθερμία στα 3.000.000€/MW
- Το 70% του αρχικού κόστους καλύπτεται από ένα τραπεζικό δάνειο με επιτόκιο 6% και διάρκεια 10 έτη για το δάνειο
- Ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης: ανέρχονται στα 1,5% του αρχικού κόστους για τις ανεμογεννήτριες και στα 1000 €/MW για την γεωθερμία
- Ο συντελεστής φορολόγησης είναι 29%
- Πληρωμή στα 139€/ΜWh σύμφωνα με τον ορισμό της τιμής αναφοράς του νόμου 44,14/2016 (αισιόδοξο σενάριο) για την γεωθερμία ενώ εναλλακτικά πληρωμή στα 60€/ΜWh σύμφωνα με τη μέση ετήσια οριακή τιμή συστήματος (ΟΤΣ) για το έτος 2018 (απαισιόδοξο σενάριο)

Η μέση ΟΤΣ των 60€/ΜWh για το έτος 2018 μπορεί να προκύψει κατά προσέγγιση από το σταθμισμένο μέσο όρο των μέσων μηνιαίων ΟΤΣ του παρακάτω πίνακα.

Κεφ. 6 - Πίνακας 8 Μέση μηνιαία ΟΤΣ

Μήνας	Μέση μηνιαία ΟΤΣ (€/ΜWh)
Ιανουάριος	53,50
Φεβρουάριος	51,63
Μάρτιος	44,28
Απρίλιος	50,35
Μάιος	56,32
Ιούνιος	60,69
Ιούλιος	64,42
Αύγουστος	63,83
Σεπτέμβριος	67,06
Οκτώβριος	71,40
Νοέμβριος	69,30
Δεκέμβριος	71,25

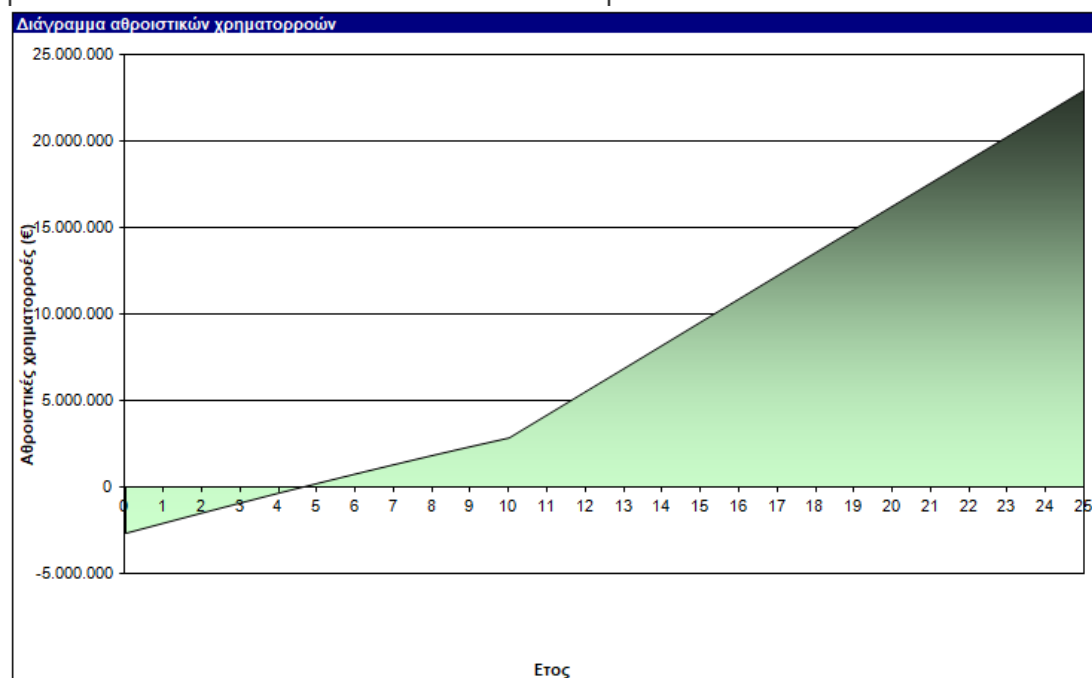
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω ξεχωριστά για κάθε σενάριο χρησιμοποιώντας το λογισμικό RETSCREEN που χρησιμοποιείται για οικονομοτεχνική ανάλυση των υπό μελέτη σεναρίων. Συγκεκριμένα, το RETSCREEN υπολογίζει τις ετήσιες ταμειακές ροές του έργου του εκάστοτε σεναρίου καθώς και χρηματοοικονομικά κριτήρια όπως η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) και τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR), η απλή αποπληρωμή και παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα

- Αισιόδοξο σενάριο με πληρωμή να ανέρχεται στα 139€/ΜWh για την γεωθερμία



Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000
1	1.035.784	596.796	-2.103.204
2	1.035.784	588.479	-1.514.725
3	1.035.784	579.663	-935.062
4	1.035.784	570.319	-364.743
5	1.035.784	560.414	195.671
6	1.035.784	549.914	745.585
7	1.035.784	538.785	1.284.370
8	1.035.784	526.987	1.811.357
9	1.035.784	514.482	2.325.839
10	1.035.784	501.227	2.827.065
11	1.891.752	1.343.144	4.170.209
12	1.891.752	1.343.144	5.513.353
13	1.891.752	1.343.144	6.856.497
14	1.891.752	1.343.144	8.199.641
15	1.891.752	1.343.144	9.542.785
16	1.891.752	1.343.144	10.885.929
17	1.891.752	1.343.144	12.229.073
18	1.891.752	1.343.144	13.572.217
19	1.891.752	1.343.144	14.915.361
20	1.891.752	1.343.144	16.258.505
21	1.891.752	1.343.144	17.601.649
22	1.891.752	1.343.144	18.944.792
23	1.891.752	1.343.144	20.287.936
24	1.891.752	1.343.144	21.631.080
25	1.891.752	1.343.144	22.974.224



<b>Οικονομική Βιωσιμότητα</b>		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή	%	39,5%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	13,3%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	24,2%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	8,1%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4,8
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	4,7
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	6.378.199
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	597.502
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (O-K)		3,36
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		2,21
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	85,63
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO <sub>2</sub>	(193)

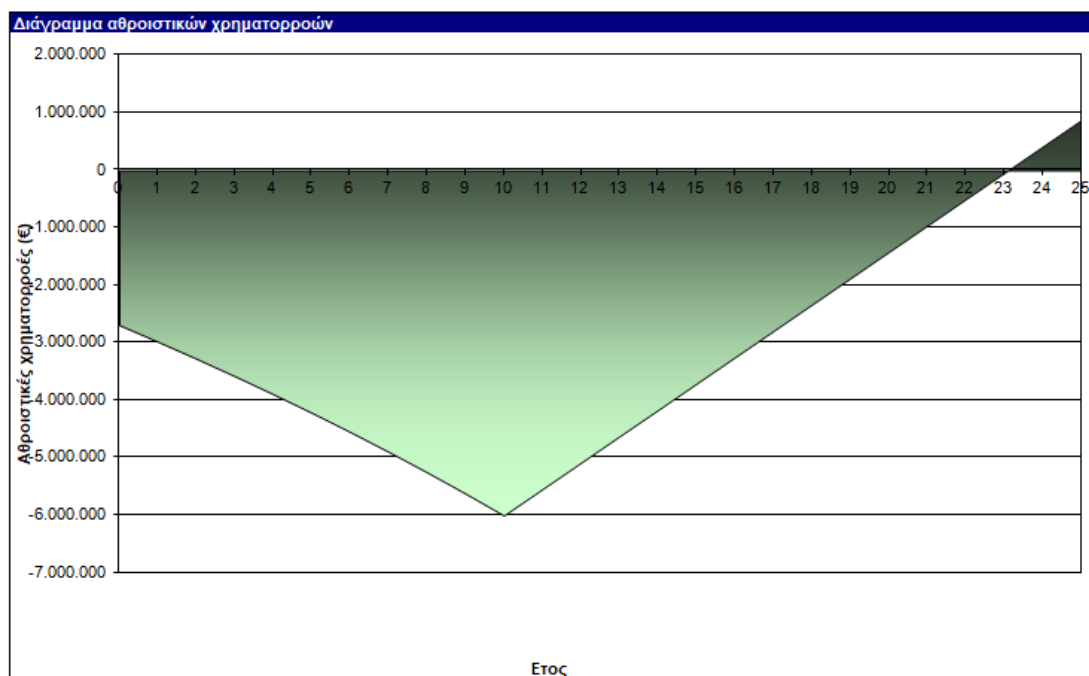
Παραπάνω παραθέτονται ο πίνακας με τους δείκτες για την οικονομική βιωσιμότητα του έργου καθώς επίσης το διάγραμμα και ο πίνακας αθροιστικών χρηματορροών για την διάρκεια ζωής του έργου η οποία ορίστηκε στα 25 έτη.

Η επένδυση για το σενάριο της αντικατάστασης του συστήματος παραγωγής ενέργειας, από Γεωθερμία και καλώδιο διασύνδεσης φαίνεται να είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα με βάση το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ>0) και τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR>i). Επιπλέον είναι εμφανές ότι επιτυγχάνεται ταχύτητα η απόσβεση του κεφαλαίου επένδυσης από 1.4 μόλις χρόνια που κάνει αυτό το σενάριο περισσότερο ελκυστικό από το προηγούμενο.

- **Απαισιόδοξο σενάριο με πληρωμή να ανέρχεται στα 60€/MWh για την γεωθερμία**

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-2.700.000	-2.700.000	-2.700.000
1	-209.888	-287.631	-2.987.631
2	-209.888	-295.948	-3.283.579
3	-209.888	-304.764	-3.588.343
4	-209.888	-314.108	-3.902.451
5	-209.888	-324.013	-4.226.465
6	-209.888	-334.513	-4.560.978
7	-209.888	-345.643	-4.906.620
8	-209.888	-357.440	-5.264.060
9	-209.888	-369.945	-5.634.005
10	-209.888	-383.201	-6.017.206
11	646.080	458.717	-5.558.489
12	646.080	458.717	-5.099.772
13	646.080	458.717	-4.641.055
14	646.080	458.717	-4.182.339
15	646.080	458.717	-3.723.622
16	646.080	458.717	-3.264.905
17	646.080	458.717	-2.806.188
18	646.080	458.717	-2.347.471
19	646.080	458.717	-1.888.755
20	646.080	458.717	-1.430.038
21	646.080	458.717	-971.321
22	646.080	458.717	-512.604
23	646.080	458.717	-53.887
24	646.080	458.717	404.829
25	646.080	458.717	863.546



<b>Οικονομική Βιωσιμότητα</b>		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή	%	4,7%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	-0,8%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	0,9%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	-3,4%
Απλή αποπληρωμή	έτος	13,9
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	23,1
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	-3.062.863
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	-286.925
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		-0,13
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		0,75
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	85,63
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO <sub>2</sub>	93

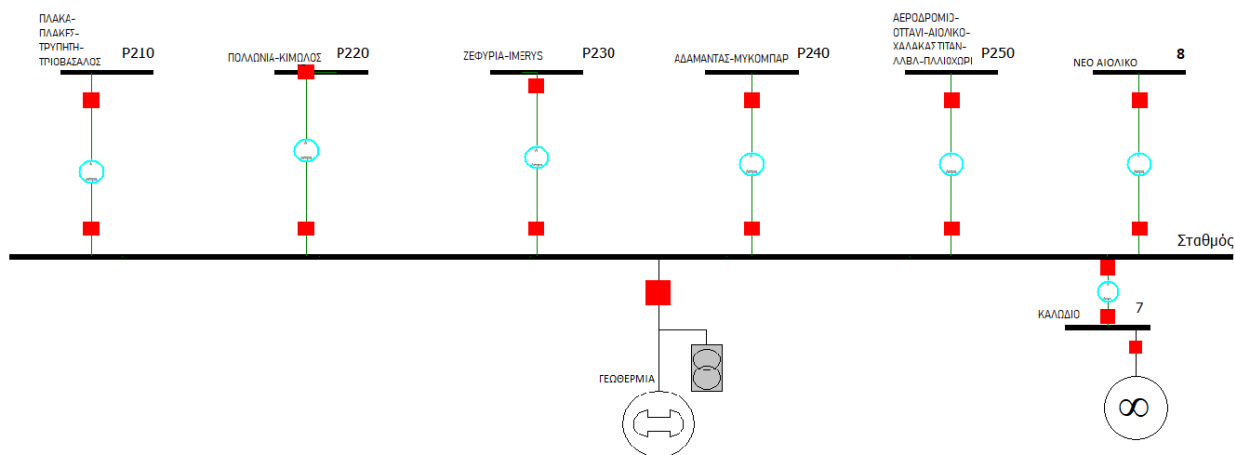
Σε σχέση με τα δυο παραπάνω σενάρια οικονομοτεχνικής ανάλυσης για το ίδιο σενάριο παρατηρούμε πως στο αισιόδοξο σενάριο με ΚΠΑ>0 και αποπληρωμή μετοχών σε 4,7 χρόνια είναι ένα βιώσιμο και συμφέρων σενάριο κάτι που δεν είναι το απαισιόδοξο σενάριο με ΚΠΑ<0 και αποπληρωμή μετοχών σε 23,1 χρόνια.

## 6.6 Τρίτο σενάριο

Ως τρίτο σενάριο θεωρήσαμε βασικό σύστημα αυτό του δεύτερου σεναρίου και το επεκτείνουμε με την προσθήκη ΑΠΕ σε τρία στάδια. Οπότε το σενάριο αυτό λειτουργεί με βασικό σταθμό έναν σταθμό γεωθερμίας χαμηλής ισχύος, με την διασύνδεση του Νησιού της Μήλου με την Ηπειρωτική Ελλάδα αλλά και την προσθήκη τεσσάρων περιπτώσεων διαφορετικής ισχύος αιολικών πάρκων.

### 6.6.1 Περιγραφή τρίτου σεναρίου

Για την διεκπεραίωση του τρίτου σεναρίου από τα στοιχεία που έχουν ήδη αναφερθεί στο 0 επεκτείνουμε το σύστημα μας προσθέτοντας έναν ζυγό για την δημιουργία του νέου αιολικού πάρκου με χαρακτηριστικά γραμμής μεταφοράς που αναγράφονται στον Κεφ. 6 - Πίνακας 9.



Κεφ. 6 - Σχήμα 6 Μονογραμμικό σεναρίου τρίτου

Κεφ. 6 - Πίνακας 9 Γραμμή μεταφοράς για νέο αιολικό τρίτου σεναρίου

Ονομασία Ζυγού	Περιοχές	Τύπος Ζυγού	Καλώδια	Θέση	Μήκος	Μέγιστα Φορτία (A)
P. 8	ΝΕΟ ΑΙΟΛΙΚΟ	Φορτίου (PQ)	3x95 cm	Εναέριο	8000 m	120

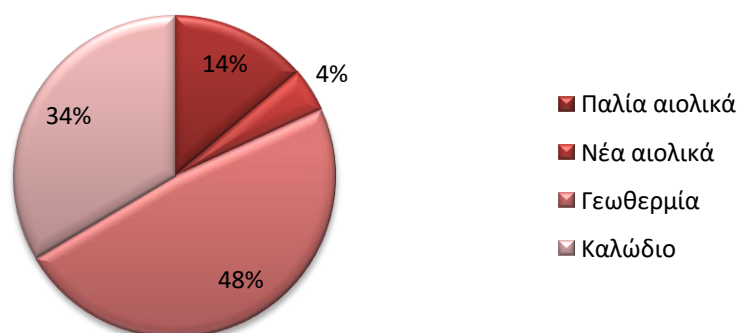
### 6.6.2 Εκτέλεση και αποτελέσματα τρίτου σεναρίου

Με την εκτέλεση αυτού του σεναρίου διακρίνονται τρεις περιπτώσεις ή σενάρια διείσδυσης από ΑΠΕ και συγκεκριμένα αιολικά. Παρακάτω διακρίνονται οι περιπτώσεις σε αύξοντα σειρά σε σχέση με το μέγεθος της διείσδυσης των αιολικών και διάφορα αποτελέσματα για κάθε ένα. Παρακάτω στα διαγράμματα αλλά και στους πίνακες αποτελεσμάτων παρουσιάζονται τα συνολικά MW που παράγει κάθε παράρτημα του συστήματος, για να καλύψει την συνολική ζήτηση ενέργειας μέσα σε ένα έτος. Το κόστος λειτουργίας που αναφέρεται σε € είναι το κόστος που στοιχίζει στο ΣΗΕ της Μήλου για να καλύψει την ζήτηση, επίσης το τελικό κόστος είναι το πραγματικό κόστος που πληρώνει το ΣΗΕ της Μήλου πουλώντας ενέργεια στο διασυνδεδεμένο σύστημα που εντάσσεται.

#### ➤ Αιολικό πάρκο ισχύος 0.85MW

Περίπτωση	Συνολική ζήτηση (MWh)	Κάλυψη ζήτησης γεωθερμίας (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ παλιά (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ νέα (MWh)	Κάλυψη ζήτησης καλωδίου (MWh)	Συνολικό κόστος λειτουργίας (€)	Παραγωγή που δίνεται στο καλώδιο (MWh)	Τελικό Κόστος (€)
Case1	49.704,88	24.004,16	6.850,16	2.197,221	16.653,339	1.532.084,3	0	1.532.084,3

## Ποσοστιαία λειτουργία συστήματος CASE1

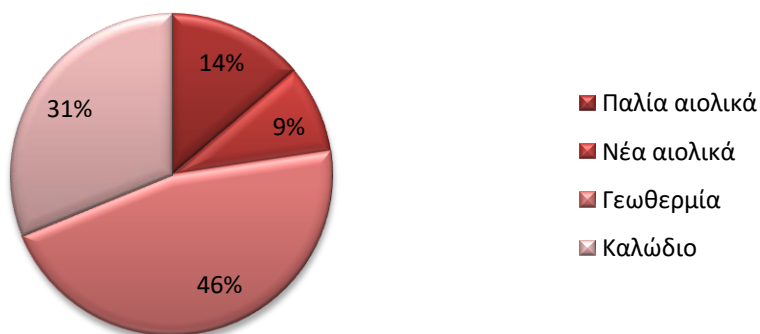


Βάση των παραπάνω διαγραμμάτων για την περίπτωση της προσθήκης αιολικού πάρκου 0,85MW, παρατηρείται πως πολύ παραπάνω από τη μισή ενέργεια παράγεται από ΑΠΕ που είναι εγκατεστημένα στο νησί και το υπόλοιπο 34% προέρχεται από την διασύνδεση. Το κόστος είναι εμφανώς πολύ μικρότερο από το πρώτο σενάριο αλλά και από το δεύτερο σενάριο.

### ➤ Αιολικό πάρκο ισχύος 1.7MW

Περίπτωση	Συνολική ζήτηση (MWh)	Κάλυψη ζήτησης γεωθερμία (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ παλιά (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ νέα (MWh)	Κάλυψη ζήτησης καλωδίου (MWh)	Συνολικό κόστος λειτουργίας (€)	Παραγωγή που δίνεται στο καλώδιο (MWh)	Τελικό Κόστος (€)
Case2	49.704,88	22.965,08	6.850,16	4.394,442	15.495,2	1.434.454	0	1.434.454

## Ποσοστιαία λειτουργία συστήματος CASE 2

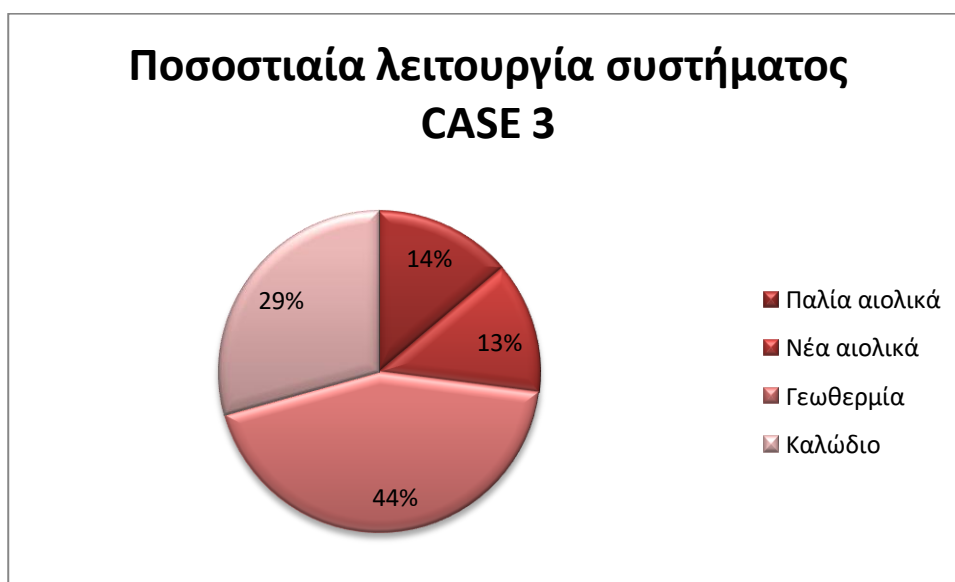


Σε αυτήν την περίπτωση αυξάνοντας την διείσδυση των ΑΠΕ κατά 0,85MW φτάνοντας δηλαδή στα 1,7MW διείσδυση καταφέρνουμε να μειώσουμε το κόστος κατά περίπου 100,000 €. Επίσης

σημαντική αλλαγή αλλά ταυτοχρόνως και αναμενόμενη είναι η μείωση της παραγωγής ενέργειας από το καλώδιο αλλά και από το σταθμό της γεωθερμίας.

➤ **Αιολικό πάρκο ισχύος 2.55MW**

Περίπτωση	Συνολική ζήτηση (MWh)	Κάλυψη ζήτησης γεωθερμία (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ παλιά (MWh)	Κάλυψη ζήτησης ΑΠΕ νέα (MWh)	Κάλυψη ζήτησης καλωδίου (MWh)	Συνολικό κόστος λειτουργίας (€)	Παραγωγή που δίνεται στο καλώδιο (MWh)	Τελικό Κόστος (€)
Case3	49.704,88	21.690,52	6.850,16	6.591,663	14572,53	1.407.967	24,5015	1.405.639



Ακόμη μεγαλύτερη διαφορά φαίνεται σε αυτήν την περίπτωση όπου η διείσδυση ΑΠΕ φτάνει στα 2,55MW με το κόστος να μειώνεται ακόμη περισσότερο και κατά περίπου 30,000 € κάτι που σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο σαν ποσοστιαία μείωση είναι πολύ μικρότερη. Αυτό μας δείχνει πως το νησί δεν μπορεί να δεχτεί πολύ μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ.

Επίσης, στο σενάριο με ισχύ αιολικού πάρκου 2,55MW η ενέργεια που παράγει το αιολικό πάρκο καλύπτει την ζήτηση και την ξεπερνάει με αποτέλεσμα να την στέλνει στο σύστημα που συνδέεται το νησί μέσω του καλωδίου. Η τιμή που αγοράζεται αυτή η ενέργεια από το σύστημα της Μήλου είναι 98€/MWh. Το συνολικό τελικό κόστος λειτουργίας είναι το κόστος της πραγματικής λειτουργίας αφαιρώντας το ποσό που πουλιέται η ενέργεια στο καλώδιο. Ο τύπος αυτής της εξίσωσης είναι:

$$TotalCost = SystemCost - EnergyToLine * 98 \quad (6.1)$$

Συνολικά για αυτό το σενάριο το κόστος για κάθε μια υπόθεση παρατηρείται προφανές στο παρακάτω γράφημα. Ουσιαστικά μας δείχνει ένα αποτέλεσμα που περιμέναμε και είναι προφανές. Το κόστος μειώνεται αρκετά με την προσθήκη περισσότερων ανεμογεννητριών,

### 6.6.3 Οικονομική αποτίμηση τρίτου σεναρίου

Οι θεωρήσεις που έγιναν για κάθε σενάριο όσον αφορά τους χρηματοοικονομικούς παράγοντες είναι ίδιοι για όλα τα σενάρια.

- Επιτόκιο αναγωγής δηλαδή το πόσο χάνει το χρήμα την αξία του μέσα στην χρόνο: 8%
- Διάρκεια ζωής έργου: 25 έτη
- Τα αρχικά κόστη για κάθε σενάριο ανέρχονται στα 1.200.000 €/MW για τις ανεμογεννήτριες και την γεωθερμία 3.000.000 €/MW
- Το 70% του αρχικού κόστους καλύπτεται από ένα τραπεζικό δάνειο με επιτόκιο 6% και διάρκεια 10 έτη για το δάνειο
- Ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης: ανέρχονται στα 1,5% του αρχικού κόστους για τις ανεμογεννήτριες και στα 1000 €/MW για την γεωθερμία
- Ο συντελεστής φορολόγησης είναι 29%
- Πληρωμή για ανεμογεννήτριες ανέρχεται στα 98€/MWh και 139€/MWh σύμφωνα με τον ορισμό της τιμής αναφοράς του νόμου 44,14/2016 (αισιόδοξο σενάριο) για την γεωθερμία ενώ εναλλακτικά πληρωμή στα 60€/MWh σύμφωνα με τη μέση ετήσια οριακή τιμή συστήματος (ΟΤΣ) για το έτος 2018 (απαισιόδοξο σενάριο)

Η μέση ΟΤΣ των 60€/MWh για το έτος 2018 μπορεί να προκύψει κατά προσέγγιση από το σταθμισμένο μέσο όρο των μέσων μηνιαίων ΟΤΣ του Κεφ. 6 - Πίνακας 8.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω ξεχωριστά για κάθε σενάριο χρησιμοποιώντας το λογισμικό RETSCREEN που χρησιμοποιείται για οικονομοτεχνική ανάλυση των υπό μελέτη σεναρίων. Συγκεκριμένα, το RETSCREEN υπολογίζει τις ετήσιες ταμειακές ροές του έργου του εκάστοτε σεναρίου καθώς και χρηματοοικονομικά κριτήρια όπως η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) και τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR), η απλή αποπληρωμή και παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα

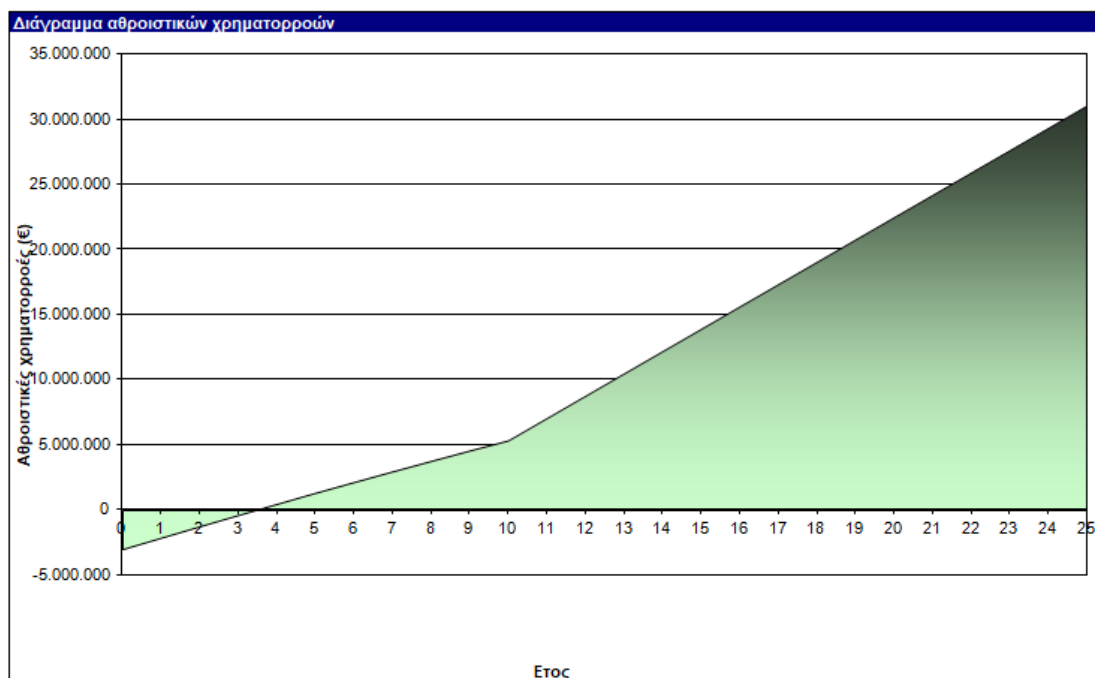
- **Αισιόδοξο σενάριο με πληρωμή να ανέρχεται στα 98€/MWh για τις ανεμογεννήτριες και 139€/MWh για την γεωθερμία**

- **Αιολικό πάρκο ισχύος 0.85MW**

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.



Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-3.006.000	-3.006.000	-3.006.000
1	1.464.422	885.419	-2.120.581
2	1.464.422	876.160	-1.244.420
3	1.464.422	866.345	-378.075
4	1.464.422	855.942	477.867
5	1.464.422	844.914	1.322.781
6	1.464.422	833.224	2.156.005
7	1.464.422	820.834	2.976.839
8	1.464.422	807.699	3.784.538
9	1.464.422	793.777	4.578.315
10	1.464.422	779.019	5.357.334
11	2.417.400	1.716.354	7.073.687
12	2.417.400	1.716.354	8.790.041
13	2.417.400	1.716.354	10.506.395
14	2.417.400	1.716.354	12.222.748
15	2.417.400	1.716.354	13.939.102
16	2.417.400	1.716.354	15.655.456
17	2.417.400	1.716.354	17.371.809
18	2.417.400	1.716.354	19.088.163
19	2.417.400	1.716.354	20.804.517
20	2.417.400	1.716.354	22.520.870
21	2.417.400	1.716.354	24.237.224
22	2.417.400	1.716.354	25.953.578
23	2.417.400	1.716.354	27.669.931
24	2.417.400	1.716.354	29.386.285
25	2.417.400	1.716.354	31.102.639



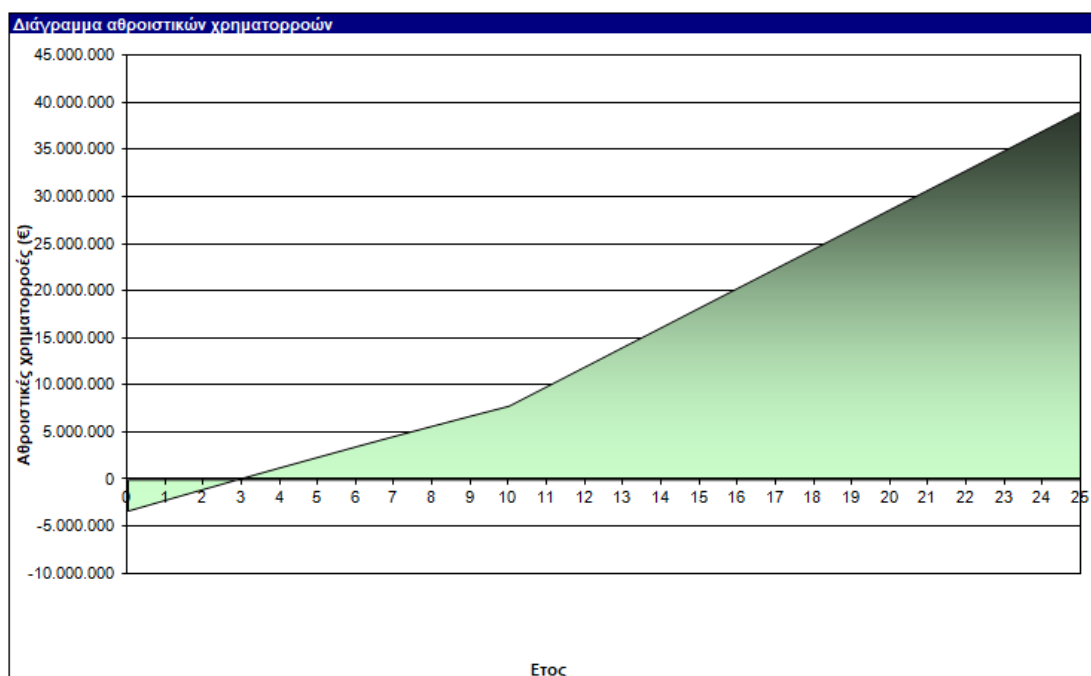
Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	49,3%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	30,5%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	10,2%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4,1
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	3,4
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	9.460.046
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	886.206
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		4,15
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		2,54
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	70,61
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2	(215)

Σε σχέση με τα παραπάνω αποτελέσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης για το σενάριο με αιολική ισχύ 0,85MW παρατηρούμε πως στο αισιόδοξο σενάριο με ΚΠΑ>0 και αποπληρωμή μετοχών σε 3,4 χρόνια είναι ένα βιώσιμο και συμφέρων σενάριο.

#### ➤ Αιολικό πάρκο ισχύος 1.7MW

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος #	Προ-φόρων €	Μετά-φόρων €	Αθροιστικά €
0	-3.312.000	-3.312.000	-3.312.000
1	1.884.440	1.167.923	-2.144.077
2	1.884.440	1.157.721	-986.356
3	1.884.440	1.146.907	160.551
4	1.884.440	1.135.445	1.295.996
5	1.884.440	1.123.294	2.419.290
6	1.884.440	1.110.415	3.529.705
7	1.884.440	1.096.762	4.626.467
8	1.884.440	1.082.291	5.708.758
9	1.884.440	1.066.951	6.775.710
10	1.884.440	1.050.691	7.826.401
11	2.934.427	2.083.443	9.909.845
12	2.934.427	2.083.443	11.993.288
13	2.934.427	2.083.443	14.076.731
14	2.934.427	2.083.443	16.160.175
15	2.934.427	2.083.443	18.243.618
16	2.934.427	2.083.443	20.327.061
17	2.934.427	2.083.443	22.410.504
18	2.934.427	2.083.443	24.493.948
19	2.934.427	2.083.443	26.577.391
20	2.934.427	2.083.443	28.660.834
21	2.934.427	2.083.443	30.744.278
22	2.934.427	2.083.443	32.827.721
23	2.934.427	2.083.443	34.911.164
24	2.934.427	2.083.443	36.994.608
25	2.934.427	2.083.443	39.078.051



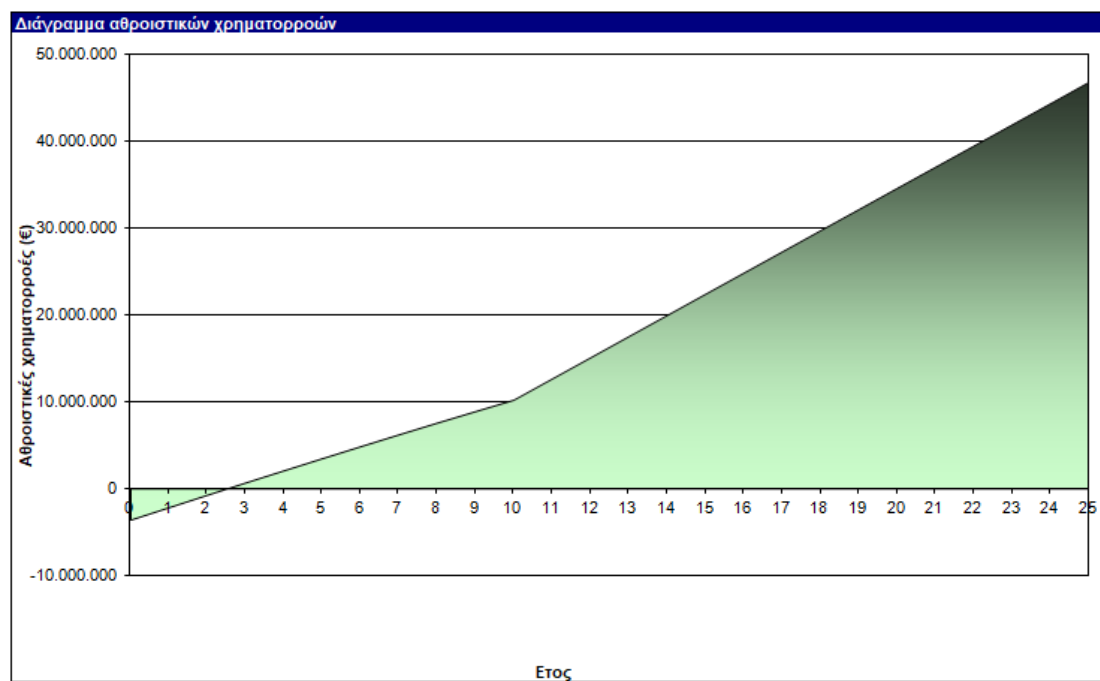
<b>Οικονομική Βιωσιμότητα</b>		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	57,2%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	18,4%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	35,8%
	%	11,9%
Απλή αποπληρωμή	έτος	3,8
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	2,9
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	12.476.562
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	1.168.789
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		4,77
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		2,79
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	61,60
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2	(227)

Σε σχέση με τα παραπάνω αποτελέσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης για το σενάριο με αιολική ισχύ 1,7MW παρατηρούμε πως στο αισιόδοξο σενάριο με ΚΠΑ>0 και αποπληρωμή μετοχών σε 2,9 χρόνια είναι ένα βιώσιμο και συμφέρων σενάριο.

#### ➤ Αιολικό πάρκο ισχύος 2.55MW

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-3.618.000	-3.618.000	-3.618.000
1	2.295.838	1.444.306	-2.173.694
2	2.295.838	1.433.162	-740.532
3	2.295.838	1.421.349	680.818
4	2.295.838	1.408.827	2.089.645
5	2.295.838	1.395.554	3.485.199
6	2.295.838	1.381.485	4.866.684
7	2.295.838	1.366.571	6.233.255
8	2.295.838	1.350.763	7.584.018
9	2.295.838	1.334.006	8.918.024
10	2.295.838	1.316.244	10.234.268
11	3.442.835	2.444.413	12.678.681
12	3.442.835	2.444.413	15.123.094
13	3.442.835	2.444.413	17.567.507
14	3.442.835	2.444.413	20.011.919
15	3.442.835	2.444.413	22.456.332
16	3.442.835	2.444.413	24.900.745
17	3.442.835	2.444.413	27.345.158
18	3.442.835	2.444.413	29.789.571
19	3.442.835	2.444.413	32.233.984
20	3.442.835	2.444.413	34.678.397
21	3.442.835	2.444.413	37.122.810
22	3.442.835	2.444.413	39.567.222
23	3.442.835	2.444.413	42.011.635
24	3.442.835	2.444.413	44.456.048
25	3.442.835	2.444.413	46.900.461



<b>Οικονομική Βιωσιμότητα</b>		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή	%	63,7%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	20,3%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	40,1%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	13,2%
Απλή αποπληρωμή	έτος	3,5
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	2,5
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	15.427.748
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	1.445.253
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		5,26
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		3,00
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	55,59
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/CO2	(233)

Σε σχέση με τα παραπάνω αποτελέσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης για το σενάριο με αιολική ισχύ 2,55MW παρατηρούμε πως στο αισιόδοξο σενάριο με ΚΠΑ>0 και αποπληρωμή μετοχών σε 2,5 χρόνια είναι ένα βιώσιμο και συμφέρων σενάριο.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα όπου, παραθέτονται ο πίνακας με τους δείκτες για την οικονομική βιωσιμότητα του έργου καθώς επίσης το διάγραμμα και ο πίνακας αθροιστικών χρηματοροών για την διάρκεια ζωής του έργου η οποία ορίστηκε στα 25 έτη για κάθε μια υποπερίπτωση.

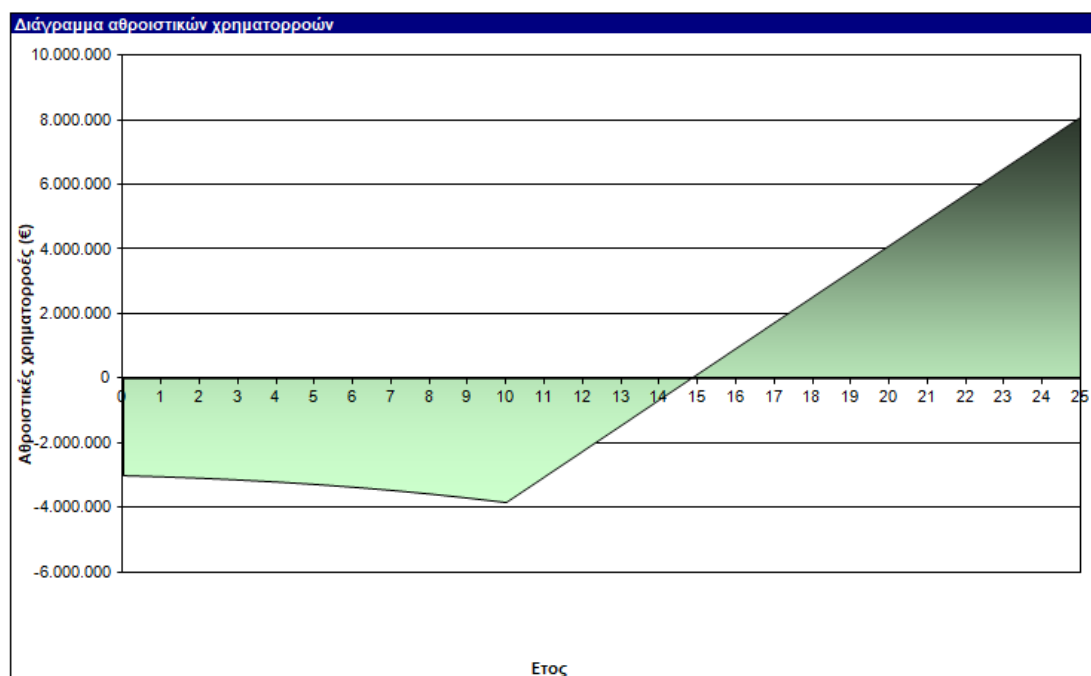
Η επένδυση για το σενάριο της αντικατάστασης του συστήματος παραγωγής ενέργειας, από ΑΠΕ, Γεωθερμία και καλώδιο διασύνδεσης φαίνεται να είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα με βάση το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας ( ΚΠΑ>0 ) και τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR>i). Επιπλέον είναι εμφανές ότι επιτυγχάνεται ταχύτητα η απόσβεση του κεφαλαίου επένδυσης από 3,4, 2,9 και 2,5 μόλις χρόνια αντίστοιχα για κάθε σενάριο από το πρώτο στο τρίτο. Ως εκ τούτου η επένδυση κρίνεται βιώσιμη και ελκυστική με περισσότερο ελκυστική αυτήν με χαρακτηριστικά Αιολικού πάρκου ισχύος 2.55MW.

- **Απαισιόδοξο σενάριο με πληρωμή να ανέρχεται στα 98€/MWh για τις ανεμογεννήτριες και 60€/MWh για την γεωθερμία**

#### ➤ **Αιολικό πάρκο ισχύος 0.85MW**

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-3.006.000	-3.006.000	-3.006.000
1	168.923	-34.385	-3.040.385
2	168.923	-43.644	-3.084.029
3	168.923	-53.459	-3.137.488
4	168.923	-63.862	-3.201.350
5	168.923	-74.890	-3.276.240
6	168.923	-86.580	-3.362.820
7	168.923	-98.971	-3.461.791
8	168.923	-112.105	-3.573.896
9	168.923	-126.027	-3.699.923
10	168.923	-140.785	-3.840.708
11	1.121.901	796.549	-3.044.159
12	1.121.901	796.549	-2.247.609
13	1.121.901	796.549	-1.451.060
14	1.121.901	796.549	-654.510
15	1.121.901	796.549	142.039
16	1.121.901	796.549	938.588
17	1.121.901	796.549	1.735.138
18	1.121.901	796.549	2.531.687
19	1.121.901	796.549	3.328.237
20	1.121.901	796.549	4.124.786
21	1.121.901	796.549	4.921.336
22	1.121.901	796.549	5.717.885
23	1.121.901	796.549	6.514.435
24	1.121.901	796.549	7.310.984
25	1.121.901	796.549	8.107.534



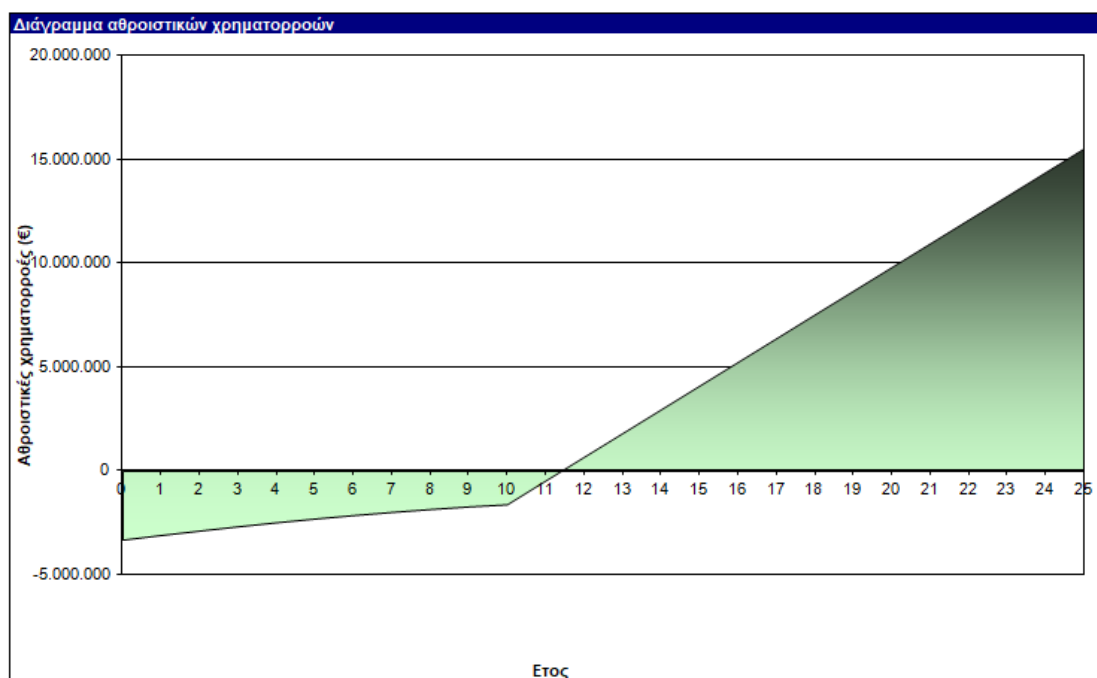
Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	13,1%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	7,3%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	0,6%
Απλή αποπληρωμή	έτος	8,9
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	14,8
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	-358.658
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	-33.599
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		0,88
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		1,18
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	70,61
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2	8

Σε σχέση με τα παραπάνω αποτελέσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης για το σενάριο με αιολική ισχύ 0,85MW παρατηρούμε πως στο απαισιόδοξο σενάριο με ΚΠΑ<0 και αποπληρωμή μετοχών σε 14,8 χρόνια δεν είναι ένα βιώσιμο και συμφέρων σενάριο.

#### ➤ Αιολικό πάρκο ισχύος 1.7MW

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματορροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ετήσια χρηματορροή			
Ετος #	Προ-φόρων €	Μετά-φόρων €	Αθροιστικά €
0	-3.312.000	-3.312.000	-3.312.000
1	555.723	224.534	-3.087.466
2	555.723	214.332	-2.873.134
3	555.723	203.518	-2.669.615
4	555.723	192.056	-2.477.560
5	555.723	179.905	-2.297.654
6	555.723	167.026	-2.130.629
7	555.723	153.374	-1.977.255
8	555.723	138.902	-1.838.353
9	555.723	123.562	-1.714.790
10	555.723	107.302	-1.607.488
11	1.605.710	1.140.054	-467.434
12	1.605.710	1.140.054	672.621
13	1.605.710	1.140.054	1.812.675
14	1.605.710	1.140.054	2.952.730
15	1.605.710	1.140.054	4.092.784
16	1.605.710	1.140.054	5.232.838
17	1.605.710	1.140.054	6.372.893
18	1.605.710	1.140.054	7.512.947
19	1.605.710	1.140.054	8.653.001
20	1.605.710	1.140.054	9.793.056
21	1.605.710	1.140.054	10.933.110
22	1.605.710	1.140.054	12.073.165
23	1.605.710	1.140.054	13.213.219
24	1.605.710	1.140.054	14.353.273
25	1.605.710	1.140.054	15.493.328



<b>Οικονομική Βιωσιμότητα</b>		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	21,1%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	12,6%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	3,3%
Απλή αποπληρωμή	έτος	6,9
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	11,4
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	2.406.096
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	225.400
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		1,73
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		1,53
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	61,60
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2	(44)

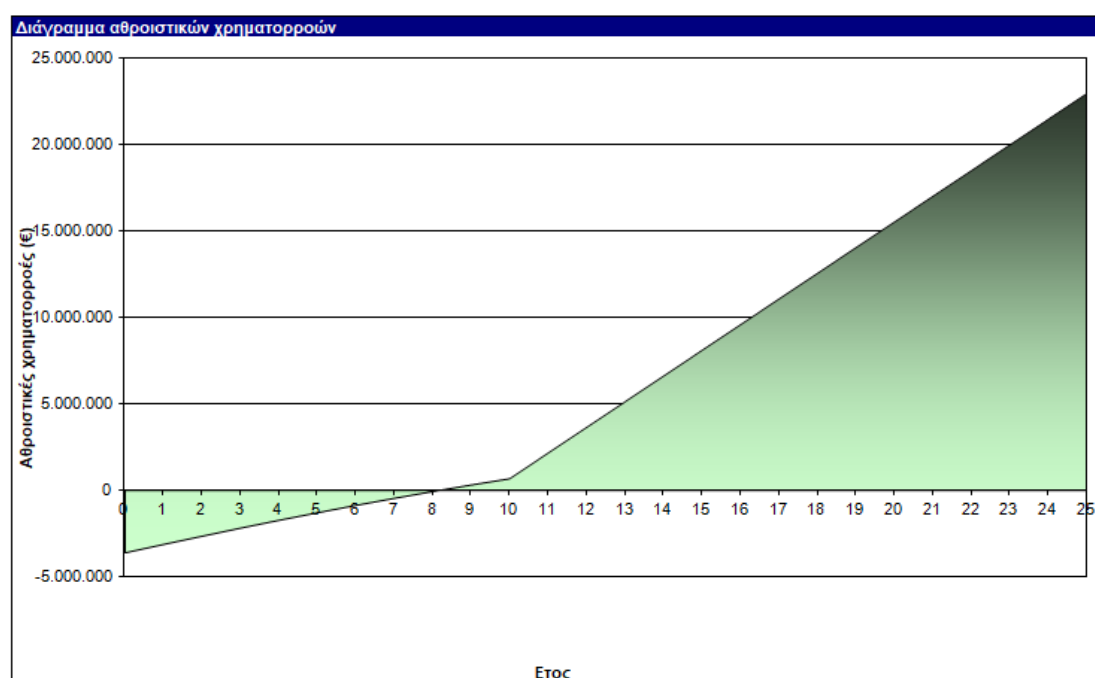
Σε σχέση με τα παραπάνω αποτελέσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης για το σενάριο με αιολική ισχύ 1,7MW παρατηρούμε πως στο απαισιόδοξο σενάριο με ΚΠΑ>0 και αποπληρωμή μετοχών σε 11,4 χρόνια είναι ένα βιώσιμο και συμφέρων σενάριο.

#### ➤ **Αιολικό πάρκο ισχύος 2.55MW**

Τα αποτελέσματα από το RETSCREEN παρατίθενται παρακάτω σε πίνακες αλλά σε διάγραμμα. Παρατίθενται ο πίνακας με στοιχεία για την ετήσια χρηματοροή, το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών και στοιχεία για την οικονομική βιωσιμότητα.



Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-3.618.000	-3.618.000	-3.618.000
1	950.512	489.125	-3.128.875
2	950.512	477.981	-2.650.894
3	950.512	466.168	-2.184.726
4	950.512	453.646	-1.731.080
5	950.512	440.373	-1.290.707
6	950.512	426.304	-864.404
7	950.512	411.390	-453.014
8	950.512	395.582	-57.432
9	950.512	378.825	321.393
10	950.512	361.062	682.455
11	2.097.509	1.489.232	2.171.687
12	2.097.509	1.489.232	3.660.918
13	2.097.509	1.489.232	5.150.150
14	2.097.509	1.489.232	6.639.381
15	2.097.509	1.489.232	8.128.613
16	2.097.509	1.489.232	9.617.845
17	2.097.509	1.489.232	11.107.076
18	2.097.509	1.489.232	12.596.308
19	2.097.509	1.489.232	14.085.539
20	2.097.509	1.489.232	15.574.771
21	2.097.509	1.489.232	17.064.003
22	2.097.509	1.489.232	18.553.234
23	2.097.509	1.489.232	20.042.466
24	2.097.509	1.489.232	21.531.697
25	2.097.509	1.489.232	23.020.929



<b>Οικονομική Βιωσιμότητα</b>		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	28,7%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	17,4%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	5,5%
Απλή αποπληρωμή	έτος	5,7
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	8,2
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	5.231.401
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	490.071
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		2,45
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		1,83
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	55,59
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2	(79)

Σε σχέση με τα παραπάνω αποτελέσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης για το σενάριο με αιολική ισχύ 2,55MW παρατηρούμε πως στο απαισιόδοξο σενάριο με ΚΠΑ>0 και αποπληρωμή μετοχών σε 8,2 χρόνια είναι ένα βιώσιμο και συμφέρων σενάριο.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα όπου, παραθέτονται ο πίνακας με τους δείκτες για την οικονομική βιωσιμότητα του έργου καθώς επίσης το διάγραμμα και ο πίνακας αθροιστικών χρηματοροών για την διάρκεια ζωής του έργου η οποία ορίστηκε στα 25 έτη για κάθε μια υποπερίπτωση.

Η επένδυση για το σενάριο της αντικατάστασης του συστήματος παραγωγής ενέργειας, από ΑΠΕ, Γεωθερμία και καλώδιο διασύνδεσης φαίνεται να είναι συμφέρουσα με βάση το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ>0) και τον Εσωτερικό Συντελεστή Απόδοσης (IRR>i) εκτός της πρώτης υποπερίπτωσης με ισχύ αιολικού 0,85MW όπου η ΚΠΑ<0 και η αποπληρωμή γίνεται στα 14,8 χρόνια. Επιπλέον είναι εμφανές ότι η ταχύτητα απόσβεσης του κεφαλαίου επένδυσης για τα υπόλοιπα σενάρια δεν είναι ταχύτατη συγκεκριμένα σε 14,8 και 11,4 χρόνια αντίστοιχα για κάθε σενάριο. Ως εκ τούτου η επένδυση που κρίνεται βιώσιμη και ελκυστική είναι αυτή με χαρακτηριστικά Αιολικού πάρκου ισχύος 2.55MW.

Συμπερασματικά αποτελέσματα για όλες τις περιπτώσεις παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα.

Κεφ. 7 - Πίνακας 10 Αποτελέσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης τρίτου σεναρίου

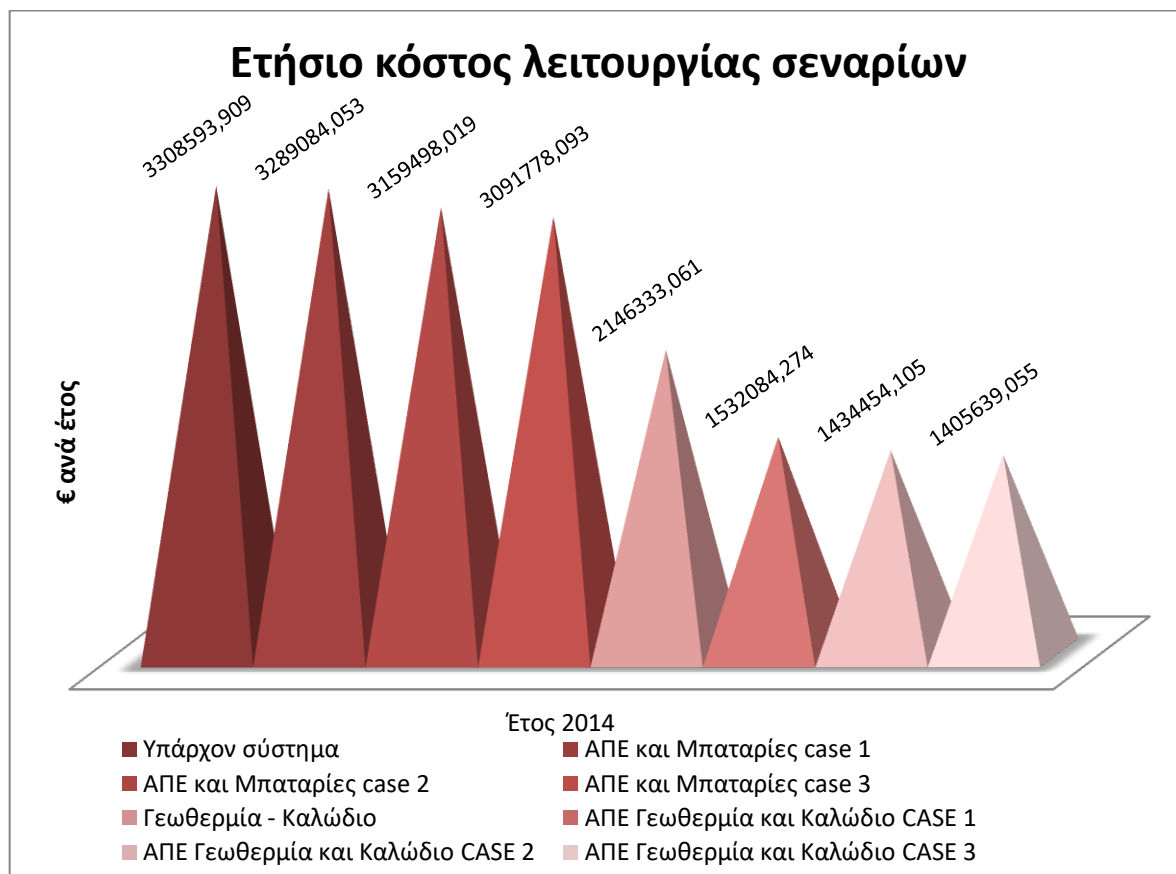
Περίπτωση Αιολικού	Αισιόδοξο σενάριο	Απαισιόδοξο σενάριο	ΚΠΑ (€)	Απλή Αποπληρωμή (χρόνια)
0,85MW	NAI	-	9.460.046	3,4
1,7 MW	NAI	-	12.476.562	2,9
2,55MW	NAI	-	15.427.478	2,5
0,85MW	-	NAI	-358.658	1,8
1,7 MW	-	NAI	2.406.096	11,4
2,55MW	-	NAI	5.231.401	8,2

Από τον παραπάνω πίνακα είναι προφανές πως το πιο συμφέρον σενάριο είναι αυτό με ισχύς αιολικού πάρκου 2,55MW και στις δυο περιπτώσεις του απαισιόδοξου αλλά και αισιόδοξου σεναρίου με 8,2 και 2,5 χρόνια αποπληρωμής αντίστοιχα.

# Κεφάλαιο 7 - Συμπεράσματα

## 7.1 Συμπεράσματα σεναρίων συνολικά

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα με το κόστος για κάθε ένα από τα σενάρια και ουσιαστικά μας κάνει μια σύγκριση για το κόστος λειτουργίας για κάθε ένα σενάριο και κάθε μία από τις περιπτώσεις.



Είναι φανερό πως το πιο συμφέρων σενάριο είναι το τρίτο και η Τρίτη περίπτωση που χρησιμοποιεί την γεωθερμία το καλώδιο ως διασύνδεση αλλά και αιολικό πάρκο μεγέθους 2.55MW.

Μεγάλη πτώση στο ετήσιο κόστος λειτουργίας έχουμε επίσης ανάμεσα στο σενάριο που αποτελείται από ΑΠΕ και μπαταρίες σε σχέση με τα σενάρια που αποτελούνται από γεωθερμία - ΑΠΕ - διασύνδεση και από το σενάριο που αποτελείται από γεωθερμία και διασύνδεση με διαφορά κόστους περίπου στο 1.500.000€ και 1.000.000 € αντίστοιχα.

Η προσθήκη μπαταριών και ΑΠΕ σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας παρότι είναι πιο φιλικό στο περιβάλλον δεν είναι και πιο οικονομικό ούτε στην αγορά και εγκατάσταση εξοπλισμού αλλά και ως προς το κόστος λειτουργίας του.

Επίσης σύμφωνα και με την οικονομοτεχνική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε το πιο συμφέρων αλλά και γρήγορα αποπληρωμένο σενάριο συμπίπτει να είναι αυτό που αποτελείται από γεωθερμία - ΑΠΕ - διασύνδεση μεγέθους αιολικού πάρκου 2,55MW.

## 7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας

Η εργασία αυτή έχει πολλές προοπτικές επέκτασης διότι καλύπτει πολύ μεγάλο εύρος ενεργειακών τομέων. Παίρνοντας δεδομένη αυτήν εδώ την διπλωματική εργασία και καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως στο νησί της Μήλου πιο οικονομικό σενάριο είναι αυτό που αποτελείται από ΑΠΕ – Γεωθερμία – Διασύνδεση, σκοπός μιας επέκτασης θα μπορούσε να είναι η αυτονομία του νησιού με ηλεκτρική ενέργεια να προσφέρετε στο σύστημα μόνο από ΑΠΕ. Αυτό θα μπορούσε να γίνει εφικτό εάν το σύστημα αποτελούνταν από ΑΠΕ – Μπαταρίες – Γεωθερμία.

# Κεφάλαιο 8 - Βιβλιογραφία

## Βιβλία – Άρθρα – Εργασίες

- [1] R. D. Zimmerman and D. Gan, MATPOWER – A MATLAB Power System Simulation Package User's Manual version 7.0b1", School of Electrical Engineering, Cornell University, 1997, available: <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/manual.pdf>
- [2]
- [3] Δημήτρης Αλ. Κατσαπράκης "Υβριδικοί σταθμοί"
- [4] Ρυθμιστική αρχή ενέργειας " Κώδικας διαχείρισης ηλεκτρικών συστημάτων μη διασυνδεδεμένων νησιών "
- [5] Νίκος Χατζηαργυρίου, συνέδριο για Βιώσιμες Ενεργειακές Εφαρμογές στα Νησιά " Διαχείριση Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών με υψηλή διείσδυση ΑΠΕ "
- [6] Tarjei Kristiansen " UTILIZING MATPOWER IN OPTIMAL POWER FLOW "
- [7] Δ.Ε.Δ.Η.Ε. Μήλου. Δεδομένα και πληροφορίες ΣΗΕ Μήλου
- [8] Κωνσταντίνος Τσιαμπούρης ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Σχεδίαση ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα ισχύος 2kW με μηχανή μονίμων μαγνητών
- [9] Yiannis A.Katsigiannis Emmanuel S Karapidakis Operation of Wind-Battery Hybrid Power Stations in Autonomous Greek Islands
- [10] Battery Energy Storage SUSCHEM
- [11] Γεώργιος Σταυρακάκης Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας
- [12] ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ <<ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΝΗΣΙΩΝ ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΗΛΟΥ>>

## Ιστοσελίδες

- [1] Ο.Τ.Σ. οριακή τιμή συστήματος « <http://www.admie.gr/leitoyrgia-dedomena/leitoyrgia-agoras-ilektrikis-energeias/anafores-dimosieyseis-agoras/> »
- [2] Γεωθερμία «<http://www.hellenic-college.gr/works/energy-sources/geothermia.htm> »
- [3] Nas sodium sulfur battery energy storage system « <https://www.ngk.co.jp/nas/> »
- [4] Vestas V52 <<<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/71-vestas-v52>>>
- [5] Vestas V42 <<<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/109-vestas-v42>>>
- [6] Μηνιαίο δελτίο συστήματος συναλλαγών ΗΕΠ <<[http://www.enexgroup.gr/fileadmin/groups/EDRETH/DAS\\_Monthly\\_Reports/201812\\_DAS\\_Monthly\\_Report.pdf](http://www.enexgroup.gr/fileadmin/groups/EDRETH/DAS_Monthly_Reports/201812_DAS_Monthly_Report.pdf)>>
- [7] GEOTHERMAL POWER TECHNOLOGY BRIEF <<[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Aug/IRENA\\_Geothermal\\_Power\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Aug/IRENA_Geothermal_Power_2017.pdf)>>
- [8] EIA in the U.S. sets geothermal construction cost at \$2.9m/ MW <<<http://www.thinkgeoenergy.com/eia-in-the-u-s-sets-geothermal-construction-cost-at-2-9m-mw/>>>