

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟΤΕΛΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΑΙ  
ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΣΚΥΡΟ.**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΑΝΝΙΤΣΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ      ΑΜ:4985**

**Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2012**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟΤΕΛΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΚΑΙ  
ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΣΚΥΡΟ.**

Εθεωρήθη  
Ο εισηγητής:  
Κατσαπρακάκης Δημήτρης

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**  
**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΑΝΝΙΤΣΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ ΑΜ:4985**

**Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΜΑΡΤΙΟΣ 2012**

## **Υπεύθυνη Δήλωση :**

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανολογίας του Τ. Ε.Ι. Κρήτης.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές και όλο το προσωπικό του εργαστηρίου Αιολικής ενέργειας και σύνθεσης ενεργειακών συστημάτων που σε συνδυασμό με την πρακτική μου άσκηση εκεί, απέκτησα γνώση και καθοδήγηση για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας. Επίσης ευχαριστώ τους καθηγητές του τμήματος μου για τις γνώσεις που απέκτησα και την οικογένεια μου που με στήριξε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Ηράκλειο, Μάρτιος 2012  
Μιχαήλ Κ. Αννιτσάκης

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	-3-
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	-4-
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	-6-
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	-7-
1.1 Ενέργεια	-7-
1.1.1 Ενεργειακές πηγές	-8-
1.1.2 Ηλεκτρισμός	-9-
1.2 Αιολικά Συστήματα	-11-
1.2.1 Αιολική Ενέργεια	-11-
1.2.2 Ανεμογεννήτριες	-13-
1.2.3 Κατηγορίες Α/Γ	-14-
1.2.4 Συστήματα αποθήκευσης αιολικής ενέργειας	-15-
1.3 Αναστρέψιμα Υδροηλεκτρικά	-17-
1.3.1 Κατηγορίες αναστρέψιμων ΥΗΕ	-18-
1.3.2 Στοιχεία Εγκατάστασης	-18-
1.3.2.1 Ταμιευτήρας	-19-
1.3.2.2 Αγωγός νερού	-19-
1.3.2.3 Υδροστρόβιλοι	-20-
1.3.2.4 Αντλίες	-22-
1.3.2.5 Κτήριο και μετρητικές διατάξεις	-24-
1.4 Επιλογή τεχνολογιών	-25-
1.4.1 Τεχνολογία αιολικού πάρκου	-25-
1.4.2 Τεχνολογία αναστρέψιμου ΥΗΕ	-25-
2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΝΗΣΙΟΥ	-26-
2.1 Γεωγραφικά στοιχεία	-26-
2.2 Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας	-28-
2.3 Ανεμολογικά δεδομένα	-29-
2.4 Θέση εγκατάστασης υδροηλεκτρικού σταθμού	-31-
3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	-32-
3.1 Σκοπός του έργου	-32-

3.2 Αλγόριθμος λειτουργίας του συστήματος	-32-
3.3 Διαστασιολόγηση του έργου	-34-
3.3.1 Άνω ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού	-35-
3.3.2 Απεικόνιση όδευσης αγωγού	-35-
3.3.3 Αιολικό πάρκο	-37-
3.3.4 Υδροδυναμικές μηχανές	-38-
3.3.5 Κατασκευή σωλήνωσης	-41-
3.3.6 Ονομαστικά μεγέθη-Αποτελέσματα διαστασιολόγησης	-44-
3.4 Ετήσια μεγέθη παραγωγής	-45-
4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	-48-
4.1 Αρχικό κόστος εγκατάστασης	-48-
4.2 Χρηματοδοτικό σχήμα	-50-
4.3 Ετήσια χρηματοροή	-50-
4.4 Οικονομικοί δείκτες επένδυσης	-55-
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	-56-
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	-57-
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	-58-

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη υβριδικού συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο μη διασυνδεδεμένο νησί Σκύρος. Το υβριδικό σύστημα αποτελείται από αιολικό πάρκο και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό με άνω και κάτω δεξαμενή γλυκού νερού και κοινή σωλήνωση άντλησης και υδατόπτωσης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το αιολικό πάρκο ως μονάδα βάσης διατίθεται για την κάλυψη της ζήτησης του νησιού και για την αποθήκευση όγκου νερού στην άνω δεξαμενή, ανάλογα με τις συνθήκες παραγωγής και περίσσειας. Σε περιπτώσεις όπου το αιολικό δυναμικό δεν επαρκεί, λειτουργεί ταυτόχρονα το υδροηλεκτρικό χρησιμοποιώντας την αποθηκευμένη ενέργεια του νερού παρέχοντας εγγυημένη ισχύ στο δίκτυο. Τέλος ως μονάδα εφεδρείας χρησιμοποιούνται θερμοηλεκτρικές μονάδες οι οποίες αναλαμβάνουν να καλύψουν το έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας όταν αυτό απαιτείται.

Η μελέτη περιλαμβάνει χωροθέτηση και διαστασιολόγηση των παραμέτρων του υβριδικού σταθμού καθώς και οικονομοτεχνική ανάλυση για την βιωσιμότητα της επένδυσης του έργου. Βασικά κριτήρια για τον προσδιορισμό αυτών είναι η μεγιστοποίηση της χρήσης των Α.Π.Ε με τον περιορισμό της χρήσης ορυκτών καυσίμων, η ασφάλεια του συστήματος παρέχοντας εγγυημένη ισχύ στο δίκτυο και το χαμηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης.

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ενέργεια

Ενέργεια ορίζεται η ικανότητα-δυνατότητα ενός σώματος να παράγει έργο, ενώ παραγωγή έργου σημαίνει αυτόματα και κατανάλωση ενέργειας. Η έννοια αυτή είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ζωή καθώς σε αυτήν οφείλονται όλες οι φυσικές και ζωτικές διαδικασίες που συμβαίνουν γύρω μας. Τα φυσικά φαινόμενα είναι αποτέλεσμα ενέργειας που αντλήθηκε από τον ήλιο ενώ όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί απαιτούν ενέργεια για να επιζήσουν. Δεν είναι πάντα ορατή υπάρχει όμως παντού γύρω μας όπου εμφανίζεται και χρησιμοποιείται σε διάφορες μορφές όπως κινητική , δυναμική, θερμική, μηχανική, χημική, μαγνητική, πυρηνική και ηλεκτρική.

Η ενέργεια αποτελεί τον κινητήριο μοχλό κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Για χιλιάδες χρόνια ο άνθρωπος στηριζόταν στην ανθρώπινη εργασία καθώς και στην εργασία των ζώων για να παράγει την απαραίτητη για αυτόν ενέργεια. Στη συνέχεια με βάση την εφευρετικότητα του και τις δυνατότητες που του παρείχε απλόχερα η φύση, ανακάλυψε την δύναμη της φωτιάς , του ανέμου, του νερού και του ήλιου με στόχο την βελτίωση συνθηκών διαβίωσης του. Φτάνοντας έτσι στους πιο πρόσφατους αιώνες με την χρήση των γαιανθράκων τον 18<sup>ο</sup> αιώνα και του πετρελαίου τον 19<sup>ο</sup> (σηματοδότησαν την βιομηχανική εποχή) , της πυρηνικής ενέργειας στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπου στις μέρες μας καταβάλλονται προσπάθειες ανάπτυξης τους και χρήσης νέων τεχνολογιών ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας.



### 1.1.1 Ενεργειακές πηγές

Η ενέργεια δεν δημιουργείται εκ του μηδενός ούτε εξαφανίζεται αλλά συνεχώς μετατρέπεται από μια μορφή σε άλλη. Ως πηγή ενέργειας ορίζεται κάθε τι που μπορεί άμεσα ή έμμεσα να προσφέρει ενέργεια σε ένα σύστημα. Οι ενεργειακές αυτές αποθήκες ή πηγές ενέργειας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την διαθεσιμότητα τους με την πάροδο του χρόνου, ως ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Και οι δύο κατηγορίες προσφέρουν πρωτογενείς μορφές ενέργειας καθώς προέρχονται από τον ήλιο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως βρίσκονται στην φύση είτε να μετατραπούν σε δευτερογενείς μορφές ενέργειας (θερμότητα ,ηλεκτρισμός).

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας Α.Π.Ε είναι ανεξάντλητες και ανανεώνονται συνεχώς με φυσικό τρόπο από τον ήλιο ενώ παράλληλα είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς δεν εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες και ραδιενεργά ή τοξικά απόβλητα. Επίσης ενισχύουν την ενεργειακή ανεξαρτησία σε εθνικό επίπεδο και συμβάλουν στην μείωση της εξάρτησης από συμβατικές πηγές ενέργειας. Αυτές είναι η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, η βιομάζα, το κινούμενο νερό και η γεωθερμία.

Τα μειονεκτήματα των Α.Π.Ε. είναι η χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, οι διακυμάνσεις διαθεσιμότητας, ο χαμηλός συντελεστής χρησιμοποίησης CF και το υψηλό μέχρι στιγμής κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος.

Οι μη ανανεώσιμες ή συμβατικές πηγές ενέργειας Σ.Π.Ε. των οποίων τα αποθέματα εξαντλούνται με την χρήση τους, δεν έχουν δυνατότητα ανανέωσης σε σύντομο χρονικό διάστημα και είναι αρκετά ρυπογόνες σε αντίθεση με τις Α.Π.Ε. Αυτές είναι κυρίως τα ορυκτά καύσιμα (γαιάνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και τα παράγωγα τους) και πυρηνικά σχάσιμα υλικά όπως το ορυκτό στοιχείο ουρανίου. Τα ορυκτά καύσιμα προέρχονται και αυτά αρχικά από τον ήλιο ,έχουν δημιουργηθεί μέσω διαδικασιών εκατομμυρίων χρόνων με την επίδραση θερμότητας και πίεσης γήινων στρωμάτων στα απομεινάρια νεκρών ζώων και φυτών. Οι εκπομπές των αερίων καύσης τους προκαλούν την αλλαγή του κλίματος ενώ η πυρηνική διάσπαση δημιουργεί ραδιενεργά απόβλητα.

### 1.1.2 Ηλεκτρισμός

Στα μέσα του 1800 ο Thomas Edison άλλαξε την ζωή όλων μας, καθώς εφεύρει την ηλεκτρική λάμπα πυρακτώσεως φέρνοντας τον ηλεκτρισμό μέσα στα σπίτια ενώ το 1950 ιδρύθηκε στην Ελλάδα η ΔΕΗ ως παραγωγός και διανομέας ηλεκτρικού ρεύματος στη χώρα μας.

Η ηλεκτρική ενέργεια βασίζεται στην ροή των ηλεκτρονίων με βασικό στοιχείο της ύλης το άτομο. Όταν μία εξωτερική δύναμη ανατρέπει την κατάσταση ισορροπίας μεταξύ πρωτονίων και ηλεκτρονίων το άτομο μπορεί να χάσει ή να κερδίσει ένα ηλεκτρόνιο. Έτσι όταν τα ηλεκτρόνια χάνονται από ένα άτομο η ελεύθερη ροή αυτών δημιουργεί το ηλεκτρικό ρεύμα.

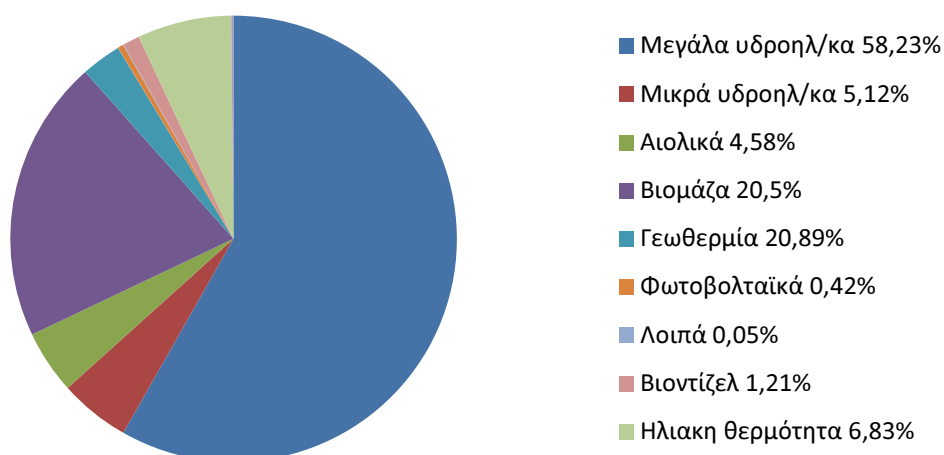
Ο ηλεκτρισμός είναι μια δευτερογενή πηγή ενέργειας και προέρχεται μέσα από κατάλληλες ενεργειακές μετατροπές από τις πρωτογενείς πηγές ενέργειας που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ως δευτερογενή μορφή ενέργειας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα μεταφοράς και αποθήκευσης καθώς επίσης είναι εύκολα διαθέσιμη προς μετατροπή σε άλλες μορφές ενέργειας όπως θερμική, φωτεινή και μηχανική.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται είτε μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου απευθείας από την ηλιακή ακτινοβολία είτε μέσω ηλεκτρικής γεννήτριας όπου η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η μηχανική ενέργεια στην γεννήτρια ύστερα από μετατροπή μπορεί να παρέχεται από την χημική ενέργεια των ορυκτών καυσίμων, τη θερμότητα μέσα από την καύση βιομάζας, την γεωθερμία και το μεγάλο ενεργειακό απόθεμα στους πυρήνες ατόμων, την κινητική ενέργεια του ανέμου, των παλιρροιακών κυμάτων και της υδατόπτωσης. Ακολουθεί ο πίνακας 1 με τις βασικές μετατροπές πρωτογενούς ενέργειας (Α.Π.Ε και Σ.Π.Ε.) σε ηλεκτρισμό.

<b>Πίνακας 1: Βασικές μετατροπές ηλεκτρισμού</b>		
<b>Πρωτογενής ενέργεια</b>	<b>Συγκρότημα μετατροπής</b>	<b>Δευτερογενής ενέργεια</b>
Ορυκτά καύσιμα	Ατμοστρόβιλοι ή πετρελαιομηχανές +γεννήτριες	Ηλεκτρισμός
	Μονάδες συμπαραγωγής	Ηλεκτρισμός +θερμότητα
Πυρηνικά	Πυρηνικοί αντιδραστήρες	Ηλεκτρισμός
Ηλιακή	Φωτοβολταϊκά στοιχεία + ηλιακοί συλλέκτες	Ηλεκτρισμός +θερμότητα
Αιολική	Ανεμογεννήτριες	Ηλεκτρισμός
Βιομάζα	Καυστήρες βιομάζας ή ατμοστρόβιλοι	Ηλεκτρισμός +θερμότητα
Γεωθερμική	Εναλλάκτες ή αντλίες θερμότητας	Ηλεκτρισμός +θερμότητα
Θαλάσσια	Αντλίες θερμότητας, παλιρροιοκινητήρες κ.λπ.	Ηλεκτρισμός +θερμότητα
Υδραυλική	Υδροστρόβιλοι	Ηλεκτρισμός

Παρακάτω φαίνονται τα ποσοστά συμμετοχής των διάφορων πηγών ενέργειας παγκοσμίως ,για την παραγωγή ηλεκτρισμού από ανανεώσιμη πηγές ενέργειας το έτος 2005.

## Ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ παγκοσμίως (έτος 2005)



Σχήμα 1: Ποσοστά συμμετοχής Α.Π.Ε για παραγωγή ηλεκτρισμού.

## 1.2 Αιολικά συστήματα

### 1.2.1 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα τη σημαντικότερη συνιστώσα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης ισχύος. Προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία από την οποία ένα μικρό ποσοστό (περίπου 1-2%) αυτής που φτάνει στην ατμόσφαιρα μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Συνεπώς ο άνεμος προσφέρει μία τελείως καθαρή πηγή ενέργειας χωρίς να παράγει απόβλητα ενώ η κίνηση των στρωμάτων του θεωρείται ανεξάντλητη. Η εκμετάλλευση του δε ρυπαίνει το περιβάλλον, δεν απαιτεί περίπλοκες κατασκευές, δεν εμπεριέχει κόστος καυσίμου και δεν επηρεάζεται από τις ενεργειακές κρίσεις της παγκόσμιας αγοράς. Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων, που τη μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια. Καλύπτεται έτσι ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών: χρησιμοποιείται για τη λειτουργία αντλιών νερού στην ύδρευση και άρδευση περιοχών, για θέρμανση αγροτικών μονάδων και κατοικιών, για τη λειτουργία εγκαταστάσεων αφαλάτωσης νερού, παραγωγή καύσιμου υδρογόνου με την

ηλεκτρόλυση νερού καθώς και φόρτιση συσσωρευτών για το εμπόριο, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί και να τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο της περιοχής. Για την παραγωγή αξιόλογων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργούνται συγκροτήματα από πολλές ανεμογεννήτριες μαζί, τα οποία ονομάζονται αιολικά πάρκα.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι μπορεί, μέσω των ανεμογεννητριών, να μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική, ενώ αντίθετα, τα μειονεκτήματά της εντοπίζονται α) στη διακύμανση που παρουσιάζει ως προς την απόδοση ισχύος, διακύμανση που οφείλεται στη μεταβαλλόμενη -κατά τη διάρκεια της ημέρας, του μήνα και του έτους- ένταση του ανέμου, β) στη χαμηλή πυκνότητα που παρουσιάζει ως μορφή ενέργειας με συνέπεια να απαιτούνται πολλές ανεμογεννήτριες για την παραγωγή αξιόλογης ισχύος, γ) στο χρόνο που απαιτείται για την έρευνα και τη χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού μεγάλων περιοχών, ώστε να εντοπιστούν τα ευνοϊκά σημεία, δ) στο σχετικά υψηλό κόστος έρευνας και εγκατάστασης των αιολικών συστημάτων και ε) στις επιπτώσεις που έχουν για το περιβάλλον (κυρίως αλλοίωση τοπίου, ηχορύπανση), οι οποίες, όμως, συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες των συμβατικών πηγών ενέργειας, θεωρούνται δευτερεύουσας σημασίας.

Η ισχύς του ανέμου σε ολόκληρο τον πλανήτη εκτιμάται σε  $3.6 \cdot 10^8$  MW με τις πλέον ευνοημένες περιοχές από πλευράς αιολικού δυναμικού να είναι οι χώρες της πολικής και εύκρατης ζώνης, ιδιαίτερα κοντά σε ακτές. Στη χώρα μας οι νησιωτικές περιοχές είναι από τις ευνοϊκότερες γεωγραφικές θέσεις παγκοσμίως για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο του πρόσφατου παρελθόντος με εκατοντάδες ανεμόμυλους υπήρξε στο οροπέδιο Λασιθίου ενώ στις μέρες μας κατασκευάζονται περισσότερα από 10 αιολικά πάρκα, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού στην Κρήτη.

## 1.2.2 Ανεμογεννήτριες

Για να αξιοποιήσουμε την ενέργεια του ανέμου, χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Η λειτουργία τους βασίζεται στην περιστροφική κίνηση μιας πτερωτής (δεσμεύοντας ενέργεια από τον άνεμο) η οποία μεταφέρει μέσω άξονα ισχύ σε μια γεννήτρια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα τροφοδοτώντας απευθείας την ζήτηση σε μεμονωμένα συστήματα ή να διοχετεύουν την ενέργεια που παράγουν στο ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ. Οι περιοχές εγκατάστασης αιολικών πάρκων επιλέγονται μετά από μελέτη και καταγραφή του ετήσιου αιολικού δυναμικού, μέσω καταγραφικών συστημάτων που εξετάζονται σε βάθος χρόνου για μια περιοχή.

Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας είναι:

- Η πτερωτή όπου με κατάλληλο αριθμό και τύπο πτερυγίων (ανάλογα με την χρήση της μηχανής) μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε περιστροφική κίνηση.
- Η πλήμνη η οποία αποτελεί το μηχανοστάσιο της ανεμογεννήτριας, περιέχει τον άξονα του δρομέα της πτερωτής, την γεννήτρια και ρυθμιστικές διατάξεις ελέγχου και προστασίας της μηχανής όπως σύστημα μετάδοσης κίνησης, ελαστικούς συνδέσμους, υδραυλικό ή μηχανικό φρένο και μηχανισμό περιστροφής του άξονα (για μηχανές οριζοντίου άξονα) ώστε να βρίσκεται παράλληλα προς την διεύθυνση του ανέμου.
- Ο πύργος ο οποίος αποτελείται από μεταλλικό δικτύωμα ή σωλήνα, ή στήλη από μπετόν. Αναλαμβάνει την στήριξη της ανεμογεννήτριας στη βάση της ενώ ιδιαίτερη σημασία στις μηχανές οριζοντίου άξονα έχει το ύψος και το κόστος κατασκευής του λαμβάνοντας υπόψη την διάμετρο πτερωτής και την αξιοποίηση υψηλότερων ταχυτήτων ανέμου σε μεγαλύτερο υψόμετρο.
- Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός με τα συστήματα αυτοματισμών προστασίας της ανεμογεννήτριας από υπερβολικό μηχανικό φορτίο και τις ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος, ανόρθωσης και προσαρμογής της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

### 1.2.3 Κατηγορίες Ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την διεύθυνση του άξονα του δρομέα, το μέγεθος και την θέση εγκατάστασης τους.

Ως προς την διεύθυνση του άξονα, συναντάμε τις μηχανές οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα με τις πρώτες να είναι πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες στην παγκόσμια αγορά. Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν τον άξονα τους παράλληλα με την επιφάνεια της γης και την διεύθυνση του ανέμου. Μπορούν να έχουν από ένα έως δεκάδες πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε μπροστά (ανάντη) είτε πίσω (κατάντη) από τον πύργο στήριξης. Αντίθετα οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστρέφονται γύρω από ένα άξονα κάθετο στην επιφάνεια του εδάφους και της διεύθυνσης του ανέμου. Οι μηχανές αυτές παρουσιάζουν αυτόματη προσαρμογή στη διεύθυνση του ανέμου λόγω γεωμετρίας της πτερωτής και έτσι αποτελούν πιο απλές κατασκευές. Επίσης έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου αλλά παρουσιάζουν αρκετές ταλαντώσεις και καταπονήσεις.

Ως προς το μέγεθος της ονομαστικής ισχύος που παράγουν οι ανεμογεννήτριες στην έξοδο τους ταξινομούνται σε μικρές (0,05-30KW), μεσαίες (30-300KW) και μεγάλες (0,3-5MW).

Ως προς τη θέση εγκατάστασης των ανεμογεννητριών διακρίνουμε α) τα χερσαία αιολικά πάρκα σε ορεινές περιοχές και συνήθως στις κορυφογραμμές, β) τα παράκτια σε χαμηλό έδαφος κοντά στη θάλασσα ή σε σημεία πάνω από αυτήν σε απόσταση λιγότερη των 10 χιλιομέτρων από την ακτή. Τέλος γ) τα θαλάσσια αιολικά πάρκα εγκαθίσταται πάνω στη θάλασσα και σε απόσταση από την ακτή μεγαλύτερη των 10 χιλιομέτρων, τα οποία παρουσιάζουν αυξημένα κόστη εγκατάστασης λόγω μεγαλύτερων πύργων και αντιδιαβρωτικής προστασίας από το θαλασσινό νερό.

### 1.2.4 Συστήματα αποθήκευσης αιολικής ενέργειας.

Το βασικότερο μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι η αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου, η ασυνέχεια παραγωγής με πολλές διακυμάνσεις και η ανικανότητα παραγωγής ενέργειας κατά βούληση για την κάλυψη της στιγμιαίας ζήτησης. Αυτό δημιουργεί πιθανότητα υπερφόρτωσης του δικτύου, προβλήματα ευστάθειας του συστήματος και ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος. Για το λόγο αυτό η αιολική ισχύς πρέπει να εξισορροπείται με άλλες γρήγορες και ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής όπως θερμοηλεκτρικά ή μονάδες αποθήκευσης με μεγάλη απόκριση εξασφαλίζοντας την ασφάλεια του συστήματος. Ιδιαίτερα τα απομονωμένα συστήματα όπως αυτό που μελετάται, είναι περισσότερο ευάλωτα σε προβλήματα ευστάθειας τάσης και συχνότητας, επομένως έχουν ακόμη πιο έντονη την ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας.

Η αποθήκευση μπορεί να προέρχεται από το αιολικό πάρκο σε συνθήκες περίσσειας παραγωγής ενέργειας. Τα βασικότερα συστήματα αποθήκευσης είναι τα εξής:

- Οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές: ενδείκνυται για μικρές ποσότητες ενέργειας καθώς αποτελούν απλό σύστημα αποθήκευσης όμως κοστίζουν ακριβά για μεγάλα μεγέθη καθώς απαιτούν συντήρηση, αντικατάσταση και ηλεκτρονικά μέσα για την ανόρθωση, τη μετατροπή συχνοτήτων και την σταθεροποίηση τάσης και συχνότητας, για κατανάλωση εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Ο σφόνδυλος όπου εκμεταλλευόμενοι την κινητική αδράνεια μεγάλων μαζών καταφέρνει να μας αποδώσει την ενέργεια που αποθηκεύτηκε σε αυτόν. Το σύστημα αυτό μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια αντικαθιστώντας τις συμβατικές μονάδες παραγωγής, όμως λόγω τριβών εμφανίζει μεγάλες απώλειες ενώ η αυτονομία που παρέχει είναι αρκετά μικρή.



- Ο συμπιεσμένος αέρας: η αποθήκευση αέρα ή αζώτου γίνεται σε υδραυλο-πνευματικούς συσσωρευτές έχοντας έτσι αποθηκευμένη ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ειδικούς αεριοστρόβιλους για την απόδοση της επιθυμητής ισχύος. Η αυτονομία του συστήματος αυτού είναι μικρή ενώ απαιτούνται μεγάλες μονάδες αποθήκευσης του αέρα.
- Το υδρογόνο: παράγεται από νερό κυρίως θαλασσινό μέσω διαδικασίας ηλεκτρόλυσης και αποτελεί πρακτικά ανεξάντλητο και καθαρό καύσιμο καθώς δεν παράγει ρύπους κατά την καύση του, ενώ παράλληλα παρουσιάζει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη από το πετρέλαιο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως καύσιμο στις θερμικές μηχανές, είτε σε κυψέλες καυσίμου αποδίδοντας ηλεκτρική ενέργεια. Θεωρείτε ως μελλοντικό καύσιμο όμως προς το παρών αντιμετωπίζουμε προβλήματα μετακίνησης και αποθήκευσης του σε υψηλές πιέσεις.
- Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά: η λειτουργία τους βασίζεται στην αποθήκευση ενέργειας μέσω άντλησης νερού σε άνω δεξαμενή σε συνθήκες περίσσειας ενέργειας από το αιολικό πάρκο. Χρησιμοποιώντας έτσι την δυναμική ενέργεια του νερού μέσω της υψομετρικής διαφοράς άνω και κάτω ταμιευτήρα μετατρέπουμε την ενέργεια του νερού σε ηλεκτρισμό μέσω υδροστροβίλων όταν επικρατούν συνθήκες άπνοιας ή αυξημένης ζήτησης, που δεν μπορεί να καλυφθεί μόνο από το αιολικό πάρκο. Το σύστημα αυτό παρουσιάζει υψηλό βαθμό απόδοσης και υψηλή απόκριση ,συνδυάζεται εύκολα με τις υπόλοιπες μονάδες παραγωγής παρέχοντας έτσι εγγυημένη ισχύ στο δίκτυο. Επίσης η διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών μονάδων είναι μεγάλη (20-50 έτη ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης), απαιτούν μικρή συντήρηση και φύλαξη, το κόστος παραγόμενης ενέργειας δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις ενώ για την κατασκευή του συνδυάζεται συχνά με άλλες διευθετήσεις όπως άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση της πλημύρας και συνοδεύεται με έργα υποδομής που βοηθούν στην αξιοποίηση απομακρυσμένων περιοχών. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται η μεγάλη γεωγραφική έκταση εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος και το υψηλό

κόστος κατασκευής του. Στη συνέχεια γίνεται αναλυτικότερη αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά τέτοιου συγκροτήματος.

### 1.3 Αναστρέψιμα Υδροηλεκτρικά

Με τον όρο αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά (ΥΗΕ) νοείται η δυνατότητα λειτουργίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδροστροβίλου καθώς και για αποθήκευση υδραυλικής ενέργειας με άντληση νερού στον άνω ταμιευτήρα. Η άντληση του νερού γίνεται κατά την διάρκεια ωρών χαμηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας όπου υπάρχει περίσσεια ενέργειας από τις μονάδες βάσης. Αντιθέτως σε διαστήματα αυξημένης ζήτησης όπου οι μονάδες βάσης δεν επαρκούν, το σύστημα αποδίδει ενέργεια μέσω του υδροστροβίλου χρησιμοποιώντας την αποθηκευμένη ενέργεια του νερού. Φυσικά η διαδικασία μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική και στην συνέχεια εκ νέου σε ηλεκτρική παρουσιάζει απώλειες ενέργειας της τάξης περίπου του 23% , όμως είναι μία συμφέρουσα επένδυση καθώς το κόστος των συμβατικών μονάδων αιχμής είναι αρκετά υψηλό.

Όπως φαίνεται παραπάνω τα υδροηλεκτρικά λόγω του μικρού χρόνου απόκρισης και της μεγάλης αυτονομίας συνδυάζονται ιδανικά με άλλες πηγές ενέργειας και μαζί με αιολικό πάρκο αποτελούν άριστο υβριδικό σύστημα. Σε αυτήν την περίπτωση καταφέρνουν να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα ασυνέχειας της αιολικής ενέργειας και ευστάθειας του συστήματος αφού παρέχουν εγγυημένη ηλεκτρική ισχύ, ενώ παράλληλα αντικαθιστούν τις συμβατικές μονάδες μειώνοντας την χρήση ορυκτού καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων.

### 1.3.1 Κατηγορίες αναστρέψιμων ΥΗΕ

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έχουν να κάνουν με την ονομαστική ισχύ που παράγουν και τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που διαθέτουν με τον οποίο γίνεται η διαδικασία άντλησης και υδατόπτωσης.

- Ως προς την ονομαστική τους ισχύ, τα υδροηλεκτρικά διαχωρίζονται σε: mini για ισχύ μικρότερη του 1 KW, micro για ισχύ από 1-100 KW, μικρά με ισχύ 1-10 MW και μεγάλα υδροηλεκτρικά με ισχύ μεγαλύτερη των 10 MW.
- Ως προς τον μηχανολογικό εξοπλισμό συναντάμε: α) τις σύνθετες μονάδες όπου είναι εξοπλισμένες με ξεχωριστή αντλία για την άντληση και ξεχωριστό υδροστρόβιλο για την υδραυλική πτώση, και β) τις μονάδες που χρησιμοποιούν κοινή υδροδυναμική μηχανή (στροβιλοαντλία), συνδεδεμένη με ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί είτε ως γεννήτρια είτε ως κινητήρας με την αντιστροφή φοράς περιστροφής της πτερωτής και της ροής του νερού ανάλογα με τη λειτουργία που θέλουμε. Τα πλεονεκτήματα της πρώτης περίπτωσης είναι ότι κάθε μηχανή επιλέγεται ώστε να λειτουργεί στο σημείο λειτουργία της με τον καλύτερο δυνατό βαθμό απόδοσης, ενώ είναι καταλληλότερη για εφαρμογές όπου η συχνότητα εναλλαγής λειτουργιών είναι υψηλή. Η δεύτερη περίπτωση απαιτεί λιγότερο χώρο και κόστος εγκατάστασης όμως στην περίπτωση που ενδείκνυται η χρήση υδροστροβίλου τύπου Pelton δεν μπορεί να αντιστραφεί η λειτουργία του και ως αντλία.

### 1.3.2 Στοιχεία εγκατάστασης αναστρέψιμου ΥΗΕ

Τα κύρια μέρη που αποτελούν ένα σύστημα αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού είναι: οι ταμιευτήρες, ο αγωγός του νερού, οι υδροδυναμικές μηχανές (υδροστρόβιλοι και αντλίες), και το κτίριο της μονάς με τις απαραίτητες ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις.

### 1.3.2.1 Ταμιευτήρας

Ο ταμιευτήρας ή δεξαμενή χρησιμοποιείται για την αποθήκευση θαλασσινού ή γλυκού νερού στο σύστημα. Η θέση μεταξύ των άνω και κάτω ταμιευτήρα θα πρέπει να παρουσιάζει υψομετρική διαφορά η οποία θα προσδίδει δυναμική ενέργεια στο εργαζόμενο μέσο. Στην περίπτωση που το σύστημα λειτουργεί με θαλασσινό νερό, ως κάτω δεξαμενή χρησιμοποιούνται τεχνικά φράγματα στην επιφάνεια της θάλασσας.

Η κατασκευή ταμιευτήρα παρέχει τη σιγουριά ότι υπάρχει νερό στην κορυφή του αγωγού και ότι μπορεί να προστεθεί ή να αφαιρεθεί νερό σε αυτόν ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Ο σχεδιασμός του εξαρτάται από το ανάγλυφο της κάθε περιοχής ενώ πρακτικά το βάθος του θα πρέπει να είναι περίπου ίσο με έξι φορές την διάμετρο του αγωγού. Επίσης θα πρέπει να προβλεφτεί το φαινόμενο υπερχειλίσης της δεξαμενής έτσι ώστε το νερό να διαφύγει χωρίς να προκαλέσει ζημιές.

### 1.3.2.2 Αγωγός νερού

Ο αγωγός είναι ο σωλήνας που οδηγεί το νερό στους υδροστρόβιλους και τις αντλίες ενώ συνδέει παράλληλα την άνω και κάτω δεξαμενή. Ανάλογα το εκάστοτε σύστημα μπορεί να υπάρχει είτε ένας κοινός αγωγός είτε δύο ξεχωριστοί για άντληση και υδατόπτωση αντίστοιχα.

Στην αρχή του αγωγού υπάρχει σύστημα φιλτραρίσματος του νερού για την προστασία των μηχανών, ενώ στα σημεία σύνδεσης του με αυτές υπάρχουν κατάλληλες βαλβίδες που ρυθμίζουν την ροή του νερού και ακροφύσια στις εισόδους των υδροστροβίλων.

Υπάρχουν τρεις παράμετροι που χαρακτηρίζουν τον αγωγό και παίζουν σημαντικό ρόλο στην λειτουργία του.

1. Το υλικό κατασκευής του όπου συνήθως είναι πλαστικό ή PVC για χαμηλές πιέσεις και χάλυβας για μεγαλύτερα συστήματα.

2. Η εσωτερική διάμετρος του αγωγού καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στη διαθέσιμη ισχύ. Ανάλογα με το μέγεθος αυτό αυξάνεται ή μειώνεται η διαθέσιμη υδραυλική ισχύς ενώ παράλληλα παρουσιάζονται απώλειες ροής λόγω της τραχύτητας της επιφάνειας του. Η βέλτιστη τιμή εσωτερικής διαμέτρου υπολογίζεται συναρτήσει της παροχής και του υδραυλικού ύψους αφού προστεθούν σε αυτό οι απώλειες ροής.
3. Η πίεση που θα λειτουργεί ο αγωγός καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση τόσο μεγαλύτερο θα πρέπει να είναι το πάχος του αυξάνοντας έτσι και το κόστος κατασκευής του. Για το λόγο αυτό, εφόσον η πίεση εξαρτάται από το υδραυλικό ύψος συνυπολογίζοντας το υδραυλικό πλήγμα υπάρχουν τεχνικές μείωσης του κόστους με λεπτότερο πάχος αγωγού στην κορυφή και παχύτερο στο χαμηλότερο υψόμετρο όπου οι πιέσεις είναι πολύ μεγαλύτερες.

### 1.3.2.3 Υδροστρόβιλοι

Οι υδροστρόβιλοι μετατρέπουν την ενέργεια του νερού που πέφτει σε μηχανική μεταδίδοντας περιστρεφόμενη κίνηση σε ηλεκτρογεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάλογα με το υδραυλικό ύψος λειτουργίας του οι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε μεγάλου, μεσαίου και μικρού υδραυλικού ύψους, ενώ με βάση τη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την μετατροπή της παροχής και του υδραυλικού ύψους σε μηχανική ισχύ διακρίνουμε υδροστρόβιλους δράσεως και υδροστρόβιλους αντιδράσεως.

Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως είναι ολικής προσβολής και ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί συμμετρικά. Ταιριάζουν καλύτερα σε περιπτώσεις μικρού υδραυλικού ύψους και μεγάλων τιμών παροχής νερού επιτυγχάνοντας καλούς βαθμούς απόδοσης όμως απαιτούν καλή στεγανοποίηση στα ανοίγματα του δρομέα και της στέγασης του στροβίλου. Αυτό οφείλεται στο ότι η εφαρμογή του υδραυλικού ύψους γίνεται εγκάρσια του δρομέα και έτσι οποιαδήποτε διαρροή δημιουργεί σημαντικές απώλειες ισχύος. Οι βασικότεροι τύποι υδροστρόβιλων αντιδράσεως είναι οι Francis, Kaplan, αξονικής ροής και οι βολβοειδής υδροστρόβιλοι.

Οι υδροστροβίλοι δράσεως είναι μερικής προσβολής και σε κάθε χρονική στιγμή τμήμα μόνο του δρομέα συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις με μεγάλο υδραυλικό ύψος και μικρή παροχή νερού καθώς σε αυτήν την περίπτωση η μεγάλη ταχύτητα του νερού λόγω του μεγάλου υδραυλικού ύψους συγκεντρώνει αποδοτικά την διαθέσιμη υδραυλική ισχύ σε μία μικρή περιοχή ροής πάνω στα πτερύγια του δρομέα. Η μέγιστη απόδοση ενός υδροστροβίλου δράσεως προκύπτει όταν η ταχύτητα του δρομέα είναι περίπου η μισή από την ταχύτητα ροής του νερού, την στιγμή που αυτό εξέρχεται από το ακροφύσιο. Ένα πλεονέκτημα των υδροστροβίλων δράσεως σε αντίθεση με τους υδροστροβίλους αντιδράσεως είναι ότι εφόσον το υδραυλικό ύψος μετατρέπεται σε ταχύτητα μέσω ακροφύσιων, δεν υπάρχει πτώση πίεσης στον δρομέα επομένως δεν είναι απαραίτητη η στεγανοποίηση μεταξύ του δρομέα και της στέγασης του στροβίλου. Το γεγονός αυτό καθιστά του υδροστροβίλους δράσεως πιο απλούς στην κατασκευή τους και πιο ανεκτικούς σε συνθήκες μη καθαρού νερού. Οι βασικότεροι τύποι υδροστροβίλων δράσεως είναι οι Pelton, Turgo και Cross-Flow.

Στον πίνακα 2 που ακολουθεί φαίνονται συνδυαστικά οι πιο συνήθεις κατηγορίες υδροστροβίλων για τις διάφορες κατηγορίες που αναφέρθηκαν.

<b>Πίνακας 2: διαχωρισμός υδροστροβίλων</b>			
<b>Υδραυλικό ύψος</b>	<b>Μεγάλο (&gt;300m)</b>	<b>Μεσαίο (20-300m)</b>	<b>Μικρό (&lt;20m)</b>
Στρόβιλοι δράσεως	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelton</li> <li>• Turgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cross-Flow</li> <li>• Turgo</li> <li>• Pelton</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cross-Flow</li> </ul>
Στρόβιλοι αντιδράσεως		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Francis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaplan</li> <li>• Αξονικής ροής</li> <li>• Βολβοειδής</li> </ul>

### 1.3.2.4 Αντλίες

Η αποθήκευση ενέργειας στο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό γίνεται για την αποθήκευση του νερού στην άνω δεξαμενή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση αντλιών οι οποίες δεχόμενες την μηχανική ενέργεια που λαμβάνουν από ηλεκτροκινητήρα, προσφέρουν δυναμική και κινητική ενέργεια στο νερό που τις διαρρέει. Η ενέργεια αυτή αυξάνει την πίεση και την ταχύτητα του νερού και καθιστά ικανή την μεταφορά του από την κάτω στην άνω δεξαμενή και την κάλυψη της ενέργειας που δαπανάται λόγω υδραυλικών απωλειών που αναπτύσσονται στον αγωγό.

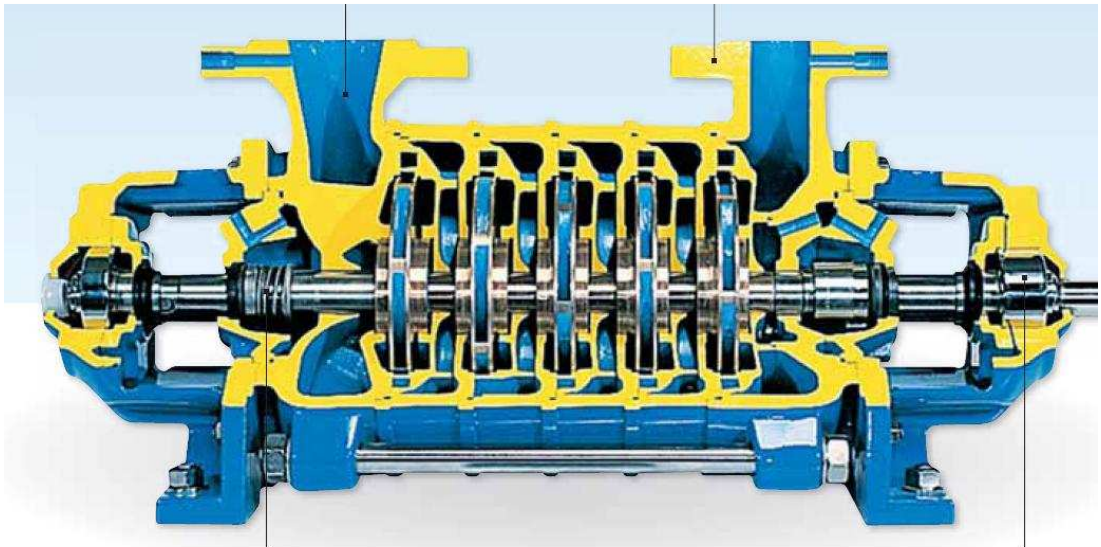
Η πιο διαδεδομένη αντλία όπου και χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα είναι η φυγοκεντρική αντλία η οποία αποτελείται από πτερωτή ή πτερυγιοφόρο δρομέα και από το κέλυφος που τον περιβάλλει. Τα πλεονεκτήματα της φυγοκεντρικής αντλίας έναντι άλλων τύπων μηχανών είναι η δυνατότητα σύνδεσης της κατευθείαν με υψηλής ταχύτητας κινητήρες όλων των τύπων (όπως ηλεκτρικούς, ατμοστρόβιλους, αεριοστρόβιλους), οι μικρές διαστάσεις, η απλότητα κατασκευής σε συνδυασμό με ασφαλή λειτουργία και η χαμηλή τιμή εγκατάστασης και συντήρησης.

Η ταξινόμηση των φυγοκεντρικών αντλιών γίνεται με διάφορα κριτήρια όπως:

1. Την θέση του άξονα της πτερωτής σε οριζόντιες και κάθετες αντλίες.
2. Τον αριθμό και τη διεύθυνση των πτερωτών σε μονοβάθμιες αντλίες όπου έχουν μία μόνο πτερωτή, πολυβάθμιες αντλίες με έναν κινητήρα και πολλές πτερωτές συνδεδεμένες σε σειρά αυξάνοντας το αποδιδόμενο ύψος με καλό βαθμό απόδοσης και πολλαπλής κυκλοφορίας αντλίες με πολλά στοιχεία διευθετημένα σε παράλληλη διάταξη.
3. Την ειδική ταχύτητα. Είναι είναι μια σταθερά που μας βοηθάει στην επιλογή της καταλληλότερης αντλίας και βασίζεται στις συνθήκες όπου η αντλία εργάζεται στον μέγιστο βαθμό απόδοσης. Συμβολίζεται με  $N_s$  και είναι συνάρτηση της ταχύτητας περιστροφής  $N$  (rpm), της παροχής  $Q$  ( $m^3/hr$ ) και του μανομετρικού ύψους κάθε βαθμίδας  $H$  (m).

$$N_s = N * \frac{\sqrt{Q}}{H^{0.75}}$$

Με βάση τις τιμές ειδικής ταχύτητας οι φυγοκεντρικές αντλίες διαχωρίζονται σε ακτινικής ροής με  $N_s$  από 400-4500 για μεγάλα μανομετρικά ύψη, μικτής ροής με  $N_s$  4500-9000 για μεσαία ύψη και παροχές και αξονικής ροής με  $N_s$  9000-15000 για μεγάλες παροχές και σχετικά μικρά ύψη.



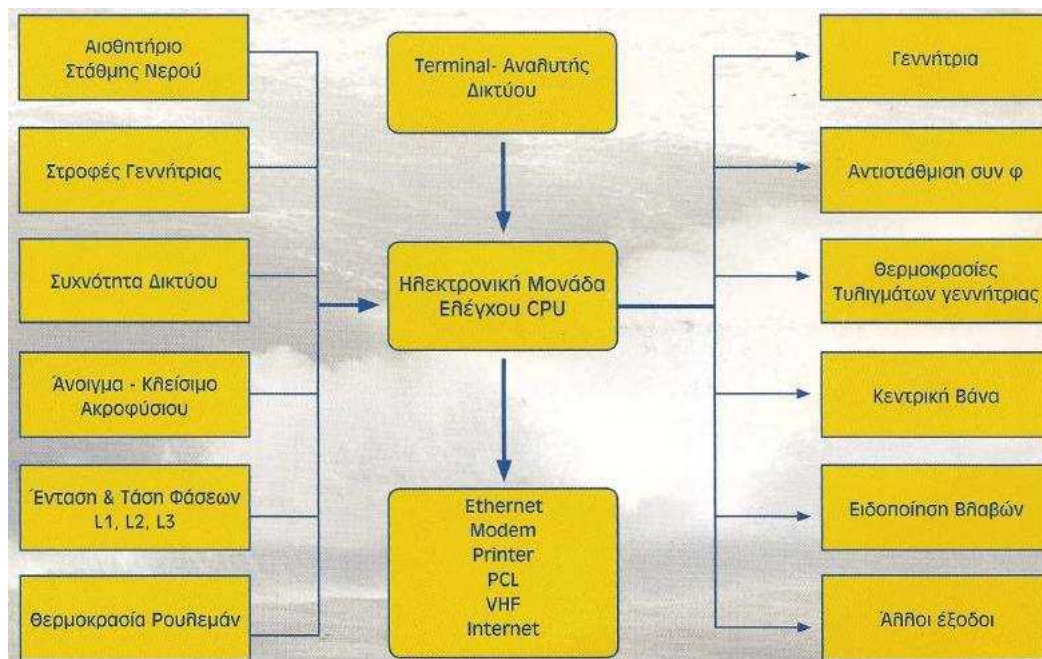
Σχήμα2: Πολυβάθμια αντλία ακτινικής ροής με 5 πτερωτές.



### 1.3.2.5 Κτήριο και μετρητικές διατάξεις

Το κτήριο περιλαμβάνει τον χώρο εγκατάστασης των μηχανών στην κάτω δεξαμενή και των απαραίτητων ηλεκτρονικών μέσων για τον έλεγχο και την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Θα πρέπει να είναι καλά σχεδιασμένο ώστε να εξασφαλίζει την προστασία των μηχανών και του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

Οι μετρητικές διατάξεις θα πρέπει να παρέχουν ακριβείς μετρήσεις των διαφόρων παραμέτρων και έγκυρες πληροφορίες με χρήση κατάλληλων λογισμικών ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων, για το σωστό έλεγχο της μονάδας. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου θα πρέπει να περιλαμβάνει: την προστασία της μονάδας σε περίπτωση βλάβης, ρύθμιση συν φ, τάσης, έντασης, συχνότητας και ασυμμετρίας φάσεων, συγχρονισμό της γεννήτριας με το δίκτυο, εντολή ζεύξης και απόζευξης υδροδυναμικών μηχανών και γεννητριών, ρύθμιση ανοίγματος ακροφυσίων και παροχής νερού, έλεγχο θερμοκρασίας των τυλιγμάτων και των ρουλεμάν καθώς και καταγραφή και αποστολή δεδομένων. Τμηματικά παρουσιάζεται στο σχήμα 3 που ακολουθεί η μέθοδος ελέγχου ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού (1-10MW).



Σχήμα3: Σύστημα ελέγχου μικρού ΥΗΕ σταθμού.

## 1.4 Επιλογή τεχνολογιών

Για το υπό μελέτη υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού στην Σκύρο, θα χρησιμοποιηθούν οι εξής τεχνολογίες μηχανών.

### 1.4.1 Τεχνολογία αιολικού πάρκου

Η παραγωγή της μονάδας βάσης από την αιολική ενέργεια, θα βασίζεται σε χερσαίο αιολικό πάρκο με ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα και μεγάλης ισχύος, παρουσίαση των οποίων γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο. Η επιλογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας οφείλεται στην μεγαλύτερη τεχνογνωσία που παρουσιάζει λόγω της ευρείας χρήσης της, το χαμηλότερο κόστος (εγκατάστασης και συντήρησης ) και την εγγυημένη αποτελεσματικότητα όπως προκύπτει από το ανάγλυφο της περιοχής με αρκετές κορυφογραμμές, οι οποίες παρουσιάζουν καλό αιολικό δυναμικό.

### 1.4.2 Τεχνολογία αναστρέψιμου ΥΗΕ

Λόγω υπό κατασκευή αρδευτικού φράγματος σε σχετικά χαμηλό υψόμετρο στην περιοχή Φερέκαμπου νοτιοδυτικά της πόλης σκύρου, το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό θα χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο έργο ως κάτω δεξαμενή με εργαζόμενο μέσο γλυκό νερό. Η διαδικασία όδευσης του νερού ,λόγω του μεγέθους του συστήματος, θα γίνεται με έναν χαλύβδινο αγωγό, κοινό για άντληση και υδατόπτωση με μεταβλητή διατομή ανάλογα το υψόμετρο για λόγους εξοικονόμησης υλικού. Τέλος επιλέγονται ξεχωριστές υδροδυναμικές μηχανές για άντληση και παραγωγή ηλεκτρισμού για καλύτερο βαθμό απόδοσης και συγκεκριμένα πολυβάθμιες αντλίες και υδροστρόβιλοι τύπου Pelton λόγω του ανάγλυφου της περιοχής με σχετικά μεγάλο υψόμετρο.

## 2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ



Εικόνα 1: Εικόνα Σκύρου από δορυφόρο.

### 2.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Η Σκύρος είναι ένα γεωγραφικό νησί στην καρδιά του Αιγαίου, αποτελεί το μεγαλύτερο και νοτιότερο νησί του νησιωτικού συμπλέγματος των Σποράδων και βρίσκεται ανατολικά της Εύβοιας σε απόσταση 35 χιλιομέτρων (22 ναυτικά μίλια). Η έκτασή του εκτιμάται περίπου στα 210 τετραγωνικά χιλιόμετρα με μεγαλύτερο μήκος 29 χιλιόμετρα και μικρότερο πλάτος 2,5 χιλιόμετρα. Περιβάλλεται από ένα μεγάλο αριθμό νησίδων και βραχονησίδων ενώ ο πληθυσμός του ανέρχεται στους 2.600 κάτοικους με βάση απογραφής το έτος 2001. Κατά το μεγαλύτερο τμήμα του είναι ορεινό νησί ενώ χαρακτηρίζεται από δύο διακριτούς ορεινούς όγκους στο

βόριο και νότιο μέρος όπου ανάμεσα τους διαχωρίζει μία πεδινή λωρίδα σχηματίζοντας ισθμό πλάτους 3 περίπου χιλιομέτρων. Το βόρειο τμήμα είναι δασώδες, καλύπτεται από πυκνό πευκοδάσος, έχει εύφορες κοιλάδες και είναι καλλιεργήσιμο. Με διαδοχικά υψώματα και βουνά δεσπόζει η κορυφή Όλυμπος με 595 μέτρα υψόμετρο. Στο νότιο τμήμα κυριαρχεί ο ορεινός όγκος του Κόχυλα με 792 μέτρα ύψος, ενώ τα βουνά είναι χέρσα και βραχώδη.

Το κλίμα της Σκύρου είναι μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Η επικράτηση των βορινών ανέμων στο νησί καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου διατηρούν χαμηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με την ηπειρωτική χώρα και αυξημένες τιμές υγρασίας λόγω της θάλασσας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17<sup>0</sup>C ενώ, αν και η παρουσία νεφώσεων είναι συχνή, οι βροχοπτώσεις είναι αραιές σε όλη τη διάρκεια του έτους και συνήθως με τη μορφή περιστασιακών καταιγίδων και σπανιότερα παρατεταμένης βροχής μέτριας έντασης.

Οι κάτοικοι του νησιού ασχολούνται με τη γεωργία, την κτηνοτροφία, την αλιεία, τη βιοτεχνία και τη συλλογή ρητίνης. Η Σκύρος φημίζεται για τα μικρά αλογά της, τα μάρμαρα τα ζωοκομικά προϊόντα και τα εργαστήρια λαϊκής τέχνης, όπως ξυλογλυπτικής, κεραμικής και καλαθοπλεκτικής. Έχει ωραίες και καθαρές παραλίες, πυκνά πευκοδάση, βουνό με το άγριο περιβάλλον όπου ζουν τα Σκυριανά αλογάκια, πηγές, εξωκκλήσια και μοναστήρια του 15ου αιώνα. Μεταξύ των άλλων στο βόρειο άκρο του νησιού βρίσκεται η αρχαιολογική περιοχή «Παλαμάρι» της 3<sup>ης</sup>-4<sup>ης</sup> χιλιετηρίδας π.Χ.

Πρωτεύουσα του νησιού είναι η Σκύρος ή Χώρα που βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού κοντά στην ακτή και στις ανατολικές απολήξεις του βουνού Όλυμπος. Γύρω από τη Χώρα υπάρχουν οι οικισμοί Μαγαζιά, Μώλος, Γυρίσματα, Πουριά, Άσπους και Αχίλλι. Σημαντικοί οικισμοί είναι επίσης: στα βόρεια η Ατσίτα και Τραχύ όπου βρίσκεται το αεροδρόμιο του νησιού καθώς και στα δυτικά Πεύκος, Αχερούνες, Καλαμίτσα και η Λιναριά με το λιμάνι που συνδέει ακτοπλοϊκά το νησί με την υπόλοιπη Ελλάδα. Στην εικόνα 2 που ακολουθεί φαίνεται ο χάρτης του νησιού με τις αναφερόμενες περιοχές.

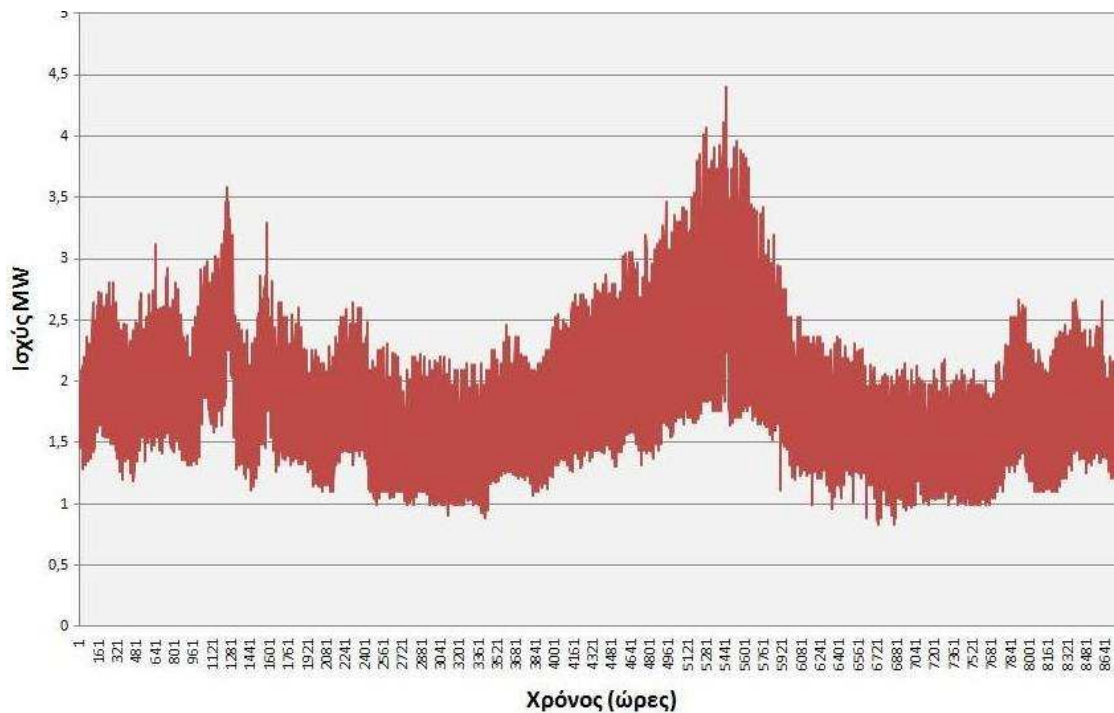


Εικόνα 2: Χάρτης οικισμών του νησιού.

## 2.2 Μεγέθη ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος

Για την σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος απαιτείται μια ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος. Έχοντας ως δεδομένο καταγεγραμμένες μετρήσεις με μέσες ωριαίες τιμές ζήτησης ισχύος για το έτος 2004, προσεγγίζεται η ετήσια χρονοσειρά για το έτος 2015 όπου μελετάται. Η εκτίμηση αυτή έγινε προσαυξάνοντας τα μεγέθη του έτους 2004 κατά 10%. Στο σχήμα 4 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος όπως αναμένεται για τη σκύρο το έτος 2015.





Σχήμα 4: Ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος στη Σκύρο το 2015.

Στον πίνακα 3 φαίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη ισχύος και ενέργειας, όπως προκύπτουν από την χρονοσειρά για τη Σκύρο το έτος 2015.

<b>Πίνακας 3: Μεγέθη ετήσιας ζήτησης ηλεκτρισμού στη Σκύρο το 2015.</b>	
Μέγιστη ισχύς MW	4,4
Ελάχιστη ισχύς MW	0,825
Μέση ημερήσια ισχύ MW	1,840
Συνολική ετήσια ενέργεια MWh	16.114,384
Μέση ημερήσια ενέργεια MWh	44,149

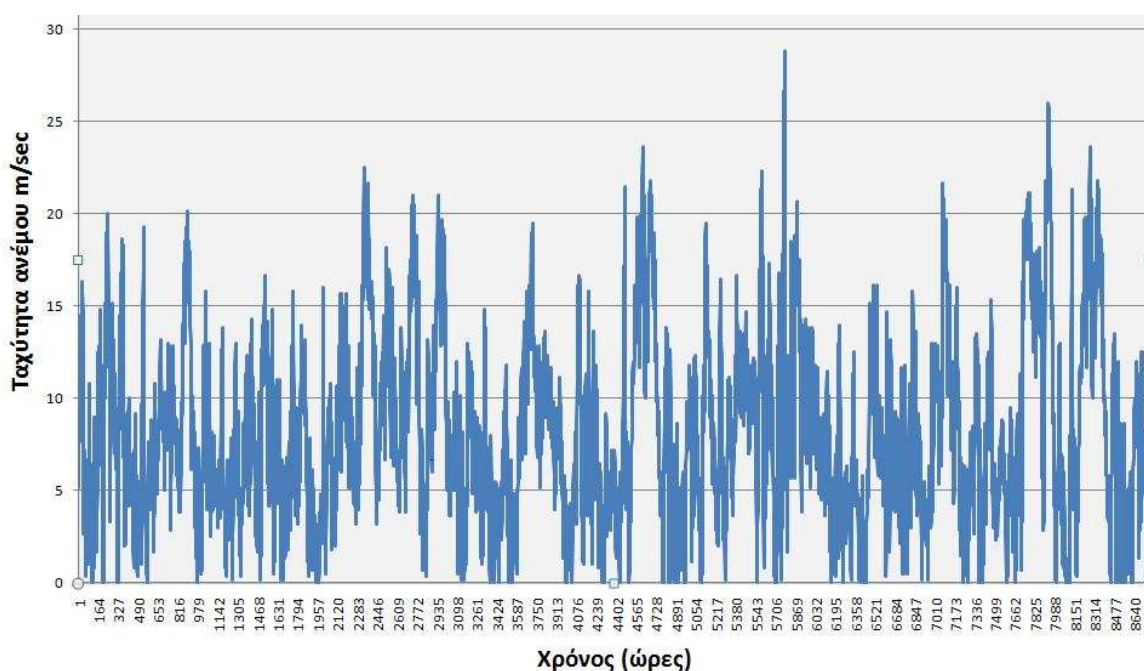
## 2.3 Ανεμολογικά δεδομένα

Η ανάλυση ανεμολογικών δεδομένων είναι πρωταρχικής σημασίας για την μελέτη του υβριδικού συστήματος και την οικονομική βιωσιμότητας του έργου. Είναι επιτακτική η ανάγκη να γνωρίζουμε το αιολικό δυναμικό της περιοχής που εξετάζεται, με τη μέση ταχύτητα του ανέμου, την κύρια διεύθυνση του και την

κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των τιμών ταχυτήτων του ανέμου καθώς και τα διαστήματα νηνεμίας και ισχυρών ανέμων μέσα στο χρόνο.

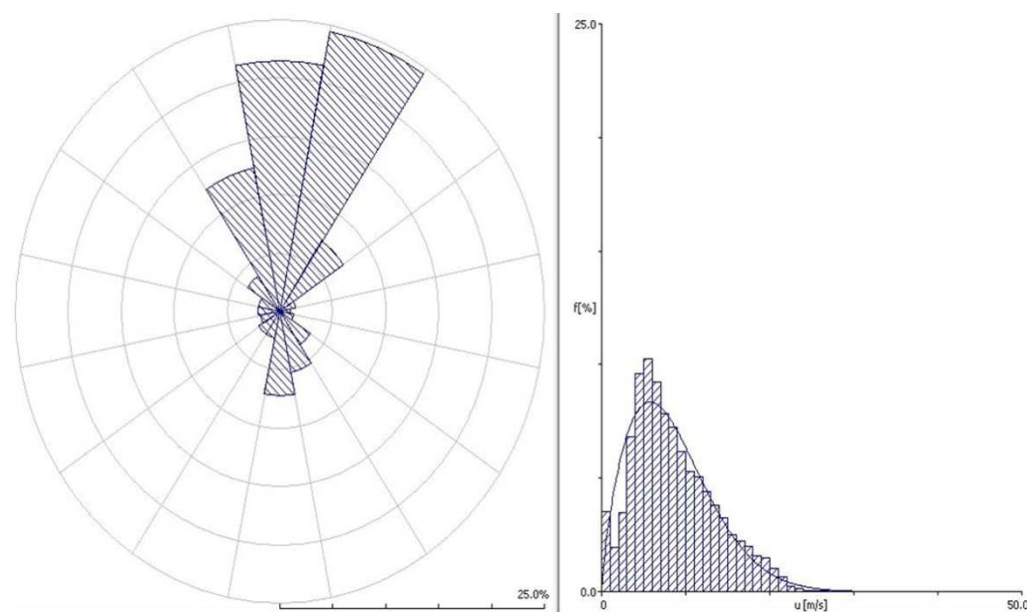
Η ανάλυση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής γίνεται σε βάθος χρόνου τουλάχιστον ενός έτους με την βοήθεια ανεμολογικών ιστών οι οποίοι καταγράφουν μέσω μετρητικών οργάνων την ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου ανά τακτά χρονικά διαστήματα συνήθως κάθε 10 λεπτά. Με αυτόν τον τρόπο ύστερα από ανάλυση των μετρήσεων δημιουργείται η κατανομή Weibull η οποία προσδιορίζει την πιθανότητα εμφάνισης κάθε τιμής της ταχύτητας ανέμου, το ροδόγραμμα της κύριας διεύθυνσης του ανέμου και η ετήσια χρονοσειρά με μέσες ωριαίες τιμές ταχυτήτων. Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση του αιολικού πάρκου, τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από αυτό και την διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος.

Τα στοιχεία αιολικού δυναμικού λόγω της μη διαθεσιμότητας μετρήσεων στην Σκύρο, θα χρησιμοποιηθούν από την πλησιέστερη σε αυτήν διαθέσιμη περιοχή. Η περιοχή αυτή είναι το νησί του Άγιου Ευστρατίου που βρίσκεται 44 ναυτικά μίλια βορειοανατολικά της Σκύρου, τα αποτελέσματα της οποίας ακολουθούν. Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών ταχυτήτων με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου 8,19 m/sec.



Σχήμα 5: Ετήσια χρονοσειρά ωριαίων τιμών ταχυτήτων ανέμου.

Στο σχήμα 6 φαίνεται το ροδόγραμμα του ανέμου και η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Weibull για τις μέσες ωριαίες τιμές ταχυτήτων του ανέμου, με τιμές των παραμέτρων της  $C=9,50$  m/sec και  $k=1,74$  [Παράρτημα 1].



Σχήμα 6: Ροδόγραμμα και κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Weibull.

## 2.4 Θέση εγκατάστασης υδροηλεκτρικού σταθμού

Με βάση έργο αρδευτικού φράγματος που βρίσκεται υπό κατασκευή στην περιοχή του Φερέκαμπου και καθ' υπόδειξη του υπεύθυνου καθηγητή, το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό θα χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο έργο ως κάτω δεξαμενή. Το φράγμα Φερέκαμπου βρίσκεται 1.500 μέτρα νοτιοδυτικά της πόλης της Σκύρου και σε απόσταση 7 χιλιομέτρων από τον θερμοηλεκτρικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Λιναριά. Η χωρητικότητα του φράγματος υπολογίζεται να ανέλθει στο  $1.000.000 \text{ m}^3$  ενώ το απόλυτο υψόμετρο εκτιμάται με τη βοήθεια λογισμικού γεωγραφικής αποτύπωσης Google Earth στα 80 μέτρα.

Επομένως ο υδροηλεκτρικός σταθμός θα εγκατασταθεί στην περιοχή του φράγματος Φερέκαμπου και η σύνδεση του με το υφιστάμενο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνει στον θερμοηλεκτρικό σταθμό της Λιναριάς σε απόσταση περίπου των 7 χιλιομέτρων.



## 3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

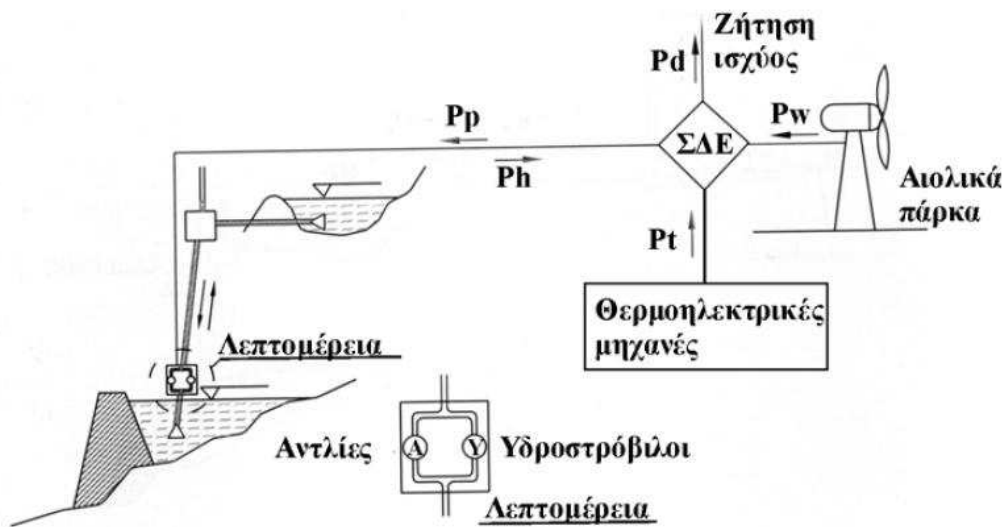
### 3.1 Σκοπός του έργου

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διαστασιολόγηση των βασικών παραμέτρων ενός υβριδικού συστήματος (αιολικό πάρκο, άνω και κάτω δεξαμενή, σωληνώσεις, αντλίες και υδροστρόβιλοι), για την επαρκή τροφοδότηση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο μη διασυνδεδεμένο με την Ηπειρωτική χώρα σύστημα της Σκύρου, ανεξαρτητοποιώντας την έτσι από τις συμβατικές μονάδες που χρησιμοποιεί κατ αποκλειστικότητα μέχρι στιγμής. Βασικά κριτήρια είναι ο περιορισμός της χρήσης ορυκτών καυσίμων με την μεγιστοποίηση των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειάς, η ασφάλεια του συστήματος και ο περιορισμός του αρχικού κόστους εγκατάστασης του έργου.

Το υβριδικό σύστημα που μελετάται, θα χρησιμοποιεί αιολικό πάρκο ως μονάδα βάσης που θα τροφοδοτεί απευθείας την ζήτηση και για λόγους ασφαλείας με μέγιστο ποσοστό διείσδυσης το 60% της ζήτησης. Ως εγγυημένη παραγωγή θα χρησιμοποιηθεί αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό όπου θα αποθηκεύει την περίσσεια αιολικής ενέργεια και θα καλύπτει την ζήτηση αντικαθιστώντας τις συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν ως μονάδες εφεδρείας.

### 3.2 Αλγόριθμος λειτουργίας του συστήματος

Το υπό μελέτη σύστημα απεικονίζεται γραφικά στο σχήμα 7 που ακολουθεί όπου με  $P_d$  συμβολίζεται η ζήτηση ισχύος,  $P_w$  η παραγόμενη ισχύ από το αιολικό πάρκο,  $P_{wd}$  η ισχύ διείσδυσης από το αιολικό πάρκο,  $P_p$  και  $P_h$  αντίστοιχα η παραγωγή ισχύος από τις αντλίες και τους υδροστρόβιλους και τέλος  $P_t$  η ισχύς των θερμοηλεκτρικών.



Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση αιολικού πάρκου, αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού και θερμοηλεκτρικών μονάδων.

Η μέθοδος λειτουργίας του υβριδικού σταθμού ελέγχεται από το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Σ.Δ.Ε) με βάση την παραγόμενη ισχύ  $P_w$  από το αιολικό πάρκο και την ζήτηση ισχύος  $P_d$  από το δίκτυο για κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Ανάλογα τα 2 αυτά μεγέθη προγραμματίζει την λειτουργία του σταθμού η οποία περιγράφεται ως εξής:

- 1) Αν  $P_w < P_d$ , θα πρέπει να υπολογιστεί η ισχύ διείσδυσης που θα προσφέρει το αιολικό πάρκο στη ζήτηση με μέγιστο ποσοστό διείσδυσης το 60%. Αν  $P_w < 0,6 * P_d$  τότε θα χρησιμοποιείται ολόκληρη η παραγωγή από το αιολικό πάρκο  $P_w = P_{wd}$  ενώ σε αντίθετη περίπτωση το ποσό διείσδυσης θα ισούται με το 60% της ζήτησης και θα δημιουργείται περίσσεια ισχύος ίση με  $P_w - P_{wd}$ . Για την κάλυψη της ζητούμενης ισχύος θα ελέγχεται αν η στάθμη της άνω δεξαμενής έχει αποθέματα νερού για να καλύψει την ισχύ τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αν αυτό είναι εφικτό τότε οι υδροστρόβιλοι θα παράγουν το έλλειμμα με ισχύ  $P_h = P_d - P_{wd}$ , ενώ σε αντίθετη περίπτωση

το έλλειμμα θα καλύπτεται από την ισχύ των θερμοηλεκτρικών και η περίσσεια από το αιολικό πάρκο θα καταναλώνεται για αποθήκευση νερού στην άνω δεξαμενή με  $P_p = P_w - P_{wd}$ .

- 2) Αν  $P_w > P_d$ , τότε η ισχύ διείσδυσης θα αποτελεί το 60% της ζήτησης και για την περίσσεια  $P_w - P_{wd}$  θα πρέπει να γίνει έλεγχος της άνω δεξαμενής αν υπάρχει διαθέσιμος όγκος για αποθήκευση νερού, όγκου ανάλογου με την περίσσεια ισχύος την δεδομένη χρονική στιγμή. Στην περίπτωση που είναι δυνατή η αποθήκευση του νερού οι αντλίες θα χρησιμοποιούν την περίσσεια ισχύ και τα θερμοηλεκτρικά θα καλύπτουν την υπόλοιπη ζήτηση ισχύος  $P_w - P_{wd}$ . Αντίθετα αν η στάθμη του νερού πρόκειται να ξεπεράσει την μέγιστη επιτρεπόμενη, τότε η περίσσεια από το αιολικό πάρκο χάνεται (θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε άλλες περιπτώσεις που δεν μελετούνται εδώ) και η ζητούμενη ισχύ καλύπτεται από τους υδροστρόβιλους αντικαθιστώντας τα θερμοηλεκτρικά.

### 3.3 Διαστασιολόγηση του έργου

Η διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος έγινε υπό την καθοδήγηση του υπεύθυνου καθηγητή, με τη βοήθεια μοντέλου υπολογισμών στο υπολογιστικό πρόγραμμα Microsoft Excel και τη χρήση κατάλληλου λογισμικού για την μίξη και προσομοίωση αποτελεσμάτων που δημιουργήθηκε στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Έτσι δημιουργήθηκε μια προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος με κριτήριο την μεγιστοποίηση της εγγυημένης ισχύος από τον υβριδικό σταθμό και την μείωση του αρχικού κόστους εγκατάστασης με την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων μεγεθών ονομαστικής ισχύος αιολικού πάρκου και υδροδυναμικών μηχανών καθώς και των απαιτούμενων σωληνώσεων και όγκου άνω δεξαμενής. Τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης φαίνονται παρακάτω.

### 3.3.1 Άνω ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού.

Με βάση το υπό κατασκευή φράγμα του φερέκαμπου, η βέλτιστη περιοχή για την κατασκευή της άνω δεξαμενής βρίσκεται στην υψηλότερη κορυφή βορειοδυτικά του φράγματος αυτού με απόλυτο υψόμετρο 380 μέτρα και απόσταση από την βορειότερη πλευρά του 1.300 μέτρα περίπου. Η θέση αυτή παρουσιάζει ικανοποιητικά μεγέθη απόστασης και υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των δύο δεξαμενών ενώ το ανάγλυφο της κορυφής είναι σχετικά επίπεδο με ήπιες κλίσεις που κρίνεται ικανοποιητικό για την κατασκευή της άνω δεξαμενής. Η μέγιστη χωρητικότητα της άνω δεξαμενής υπολογίζεται στα 375.000 m<sup>3</sup> με διαθέσιμο όγκο νερού 350.000 m<sup>3</sup>, η διαθέσιμη έκταση επί της κορυφής του εδάφους 25.000 m<sup>2</sup> και μέσο βάθος τα 15 μέτρα.

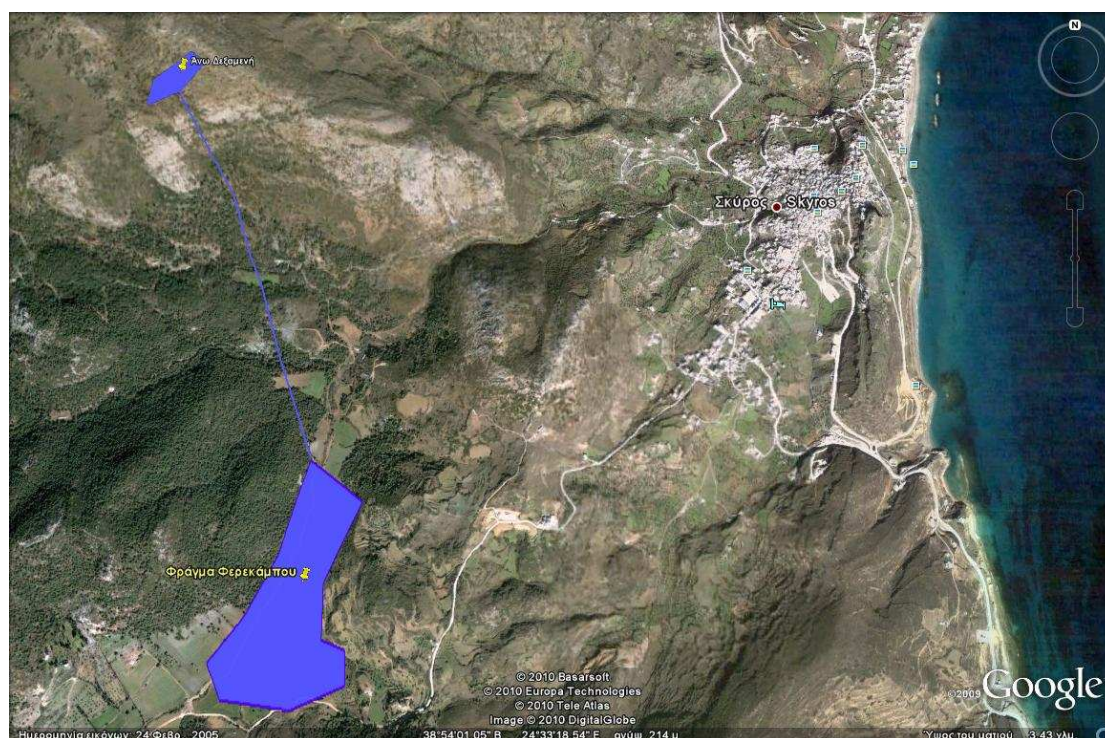
### 3.3.2 Απεικόνιση όδευσης αγωγού

Με δεδομένα πλέον τις θέσεις εγκατάστασης και τη μορφή των δύο δεξαμενών (καθ' υπόδειξη του υπεύθυνου καθηγητή), επιλέγει η κατάλληλη όδευση του χαλύβδινου αγωγού για την σύνδεση των δύο δεξαμενών. Η επιλογή αυτή έγινε με κριτήριο την μορφολογία του εδάφους και την εξοικονόμηση του κόστους κατασκευής του, αποφεύγοντας τις απότομες κλίσεις με όσο το δυνατόν μικρότερο μήκος σωλήνωσης.

Η προσέγγιση της όδευσης του αγωγού έγινε με τη βοήθεια ψηφιοποίησης της περιοχής στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD γνωρίζοντας τα δύο σημεία εκκίνησης και τερματισμού της σωληνογραμμής. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης της Σκύρου είχε προηγηθεί με την κατασκευή του ανάγλυφου του νησιού σε ψηφιακή μορφή χρησιμοποιώντας στον Η/Υ λογισμικό με το πρόγραμμα AutoCAD και την εφαρμογή του Raster Design για την εισαγωγή εικόνας και συγκεκριμένα ειδικού χάρτη του νησιού. Ο χάρτης αυτός ζητήθηκε από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ) σε κλίμακα 1:50.000 και αναπαριστά το ανάγλυφο της περιοχής με νοητές ισοϋψής καμπύλες όπου η κάθε μία ενώνει όλα τα σημεία ίδιου υψόμετρου. Η υψομετρική διαφορά ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ισοϋψείς ισούται με 20 μέτρα.

Τα αποτελέσματα της προσέγγισης αυτής έδωσαν την ακριβή θέση εγκατάστασης του αγωγού με το συνολικό μήκος να εκτιμάται περίπου στα 1.351 μέτρα. Τα βασικά χαρακτηριστικά που χρειάζονται για τους υπολογισμούς ανακεφαλαιώνονται στον πίνακα 4 που ακολουθεί, ενώ στην εικόνα 3 φαίνεται μια απεικόνιση της θέσης των δύο δεξαμενών και του αγωγού μέσω του Google Earth. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης με τις θέσεις των 2 ταμιευτήρων και του αγωγού φαίνεται στο παράρτημα 1.

<b>Πίνακας 4:</b> Χαρακτηριστικά ταμιευτήρων.	
Ενεργή χωρητικότητα φράγματος Φερέκαμπου (m <sup>3</sup> )	1,00·10 <sup>6</sup>
Ενεργή χωρητικότητα άνω δεξαμενής (m <sup>3</sup> )	0,35·10 <sup>6</sup>
Υψομετρική διαφορά άνω και κάτω δεξαμενής (m)	300
Μήκος σωληνώσεων (m)	1.351
Απόσταση υβριδικού σταθμού από πλησιέστερο υποσταθμό υψηλής τάσης υφιστάμενου δικτύου μεταφοράς (km)	7

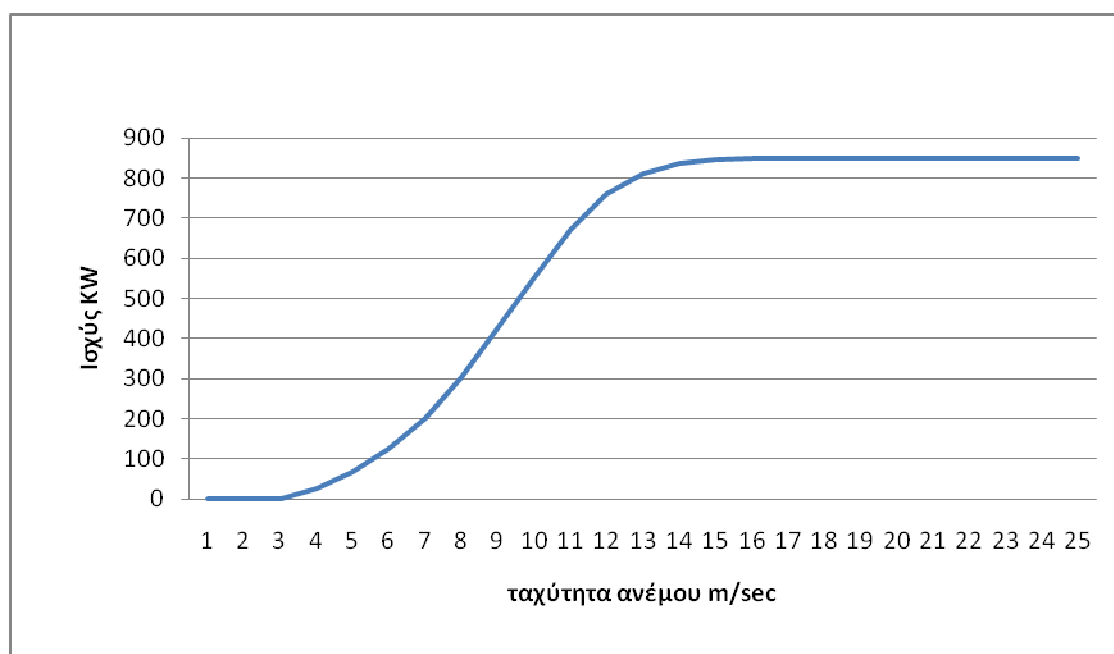


Εικόνα 3: Απεικόνιση εγκατάστασης αγωγού και ταμιευτήρων.

### 3.3.3 Αιολικό πάρκο

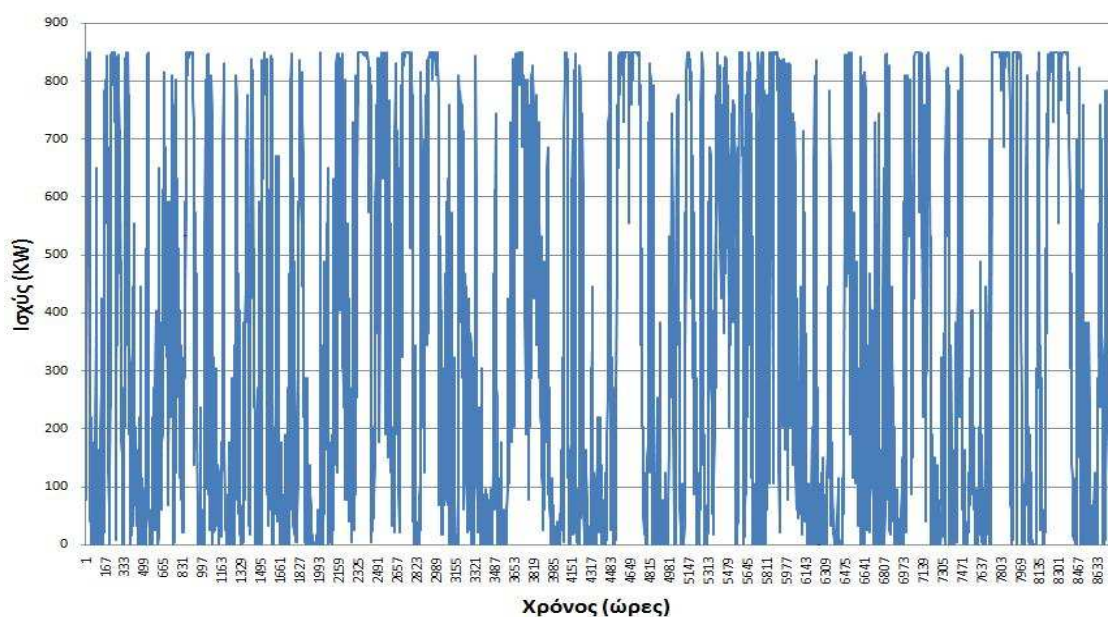
Η θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου δεν μελετάται στην παρούσα μελέτη του υβριδικού συστήματος. Λόγω του ανάγλυφου της γύρω περιοχής εγκατάστασης του υβριδικού σταθμού με καλό αιολικό δυναμικό και της χαμηλής ζήτησης ισχύος (με μέγιστη τιμή 4.4 MW όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο), η ανεύρεση ακριβής θέσης εγκατάστασης του αιολικού πάρκου δεν αποτελεί ύψιστης σημασίας στην παρούσα μελέτη.

Για την υλοποίηση των υπολογισμών επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα χαρακτηριστικό μοντέλο ανεμογεννήτριας της γνωστής εταιρίας Vestas με ονομαστική ισχύ 850 KW. Η ονομασία του μοντέλου αυτού είναι V-52, με τρία πτερύγια, διάμετρο πτερωτής 52 μέτρα και ασύγχρονη γεννήτρια μεταβλητών στροφών όπως αναφέρονται στα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτής στο παράρτημα 2. Η καμπύλη ισχύος που παρουσιάζει η συγκεκριμένη μηχανή συναρτίζει της ταχύτητας του ανέμου, φαίνεται στο σχήμα 8 που ακολουθεί.



Σχήμα 8: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας Vestas V-52.

Εισάγοντας στο κατάλληλο λογισμικό την παραπάνω καμπύλη ισχύος μαζί με την ετήσια χρονοσειρά μέσων ωριαίων τιμών ταχυτήτων ανέμου που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή από κάθε μία ανεμογεννήτρια με μέσες ωριαίες τιμές ισχύος στην Σκύρο. Η ετήσια χρονοσειρά παραγωγής ισχύος ανά ανεμογεννήτρια φαίνεται στο σχήμα 9 που ακολουθεί και παρουσιάζει συντελεστή απασχόλησης CF για τη συγκεκριμένη μηχανή, ίσο με 41,2 %.



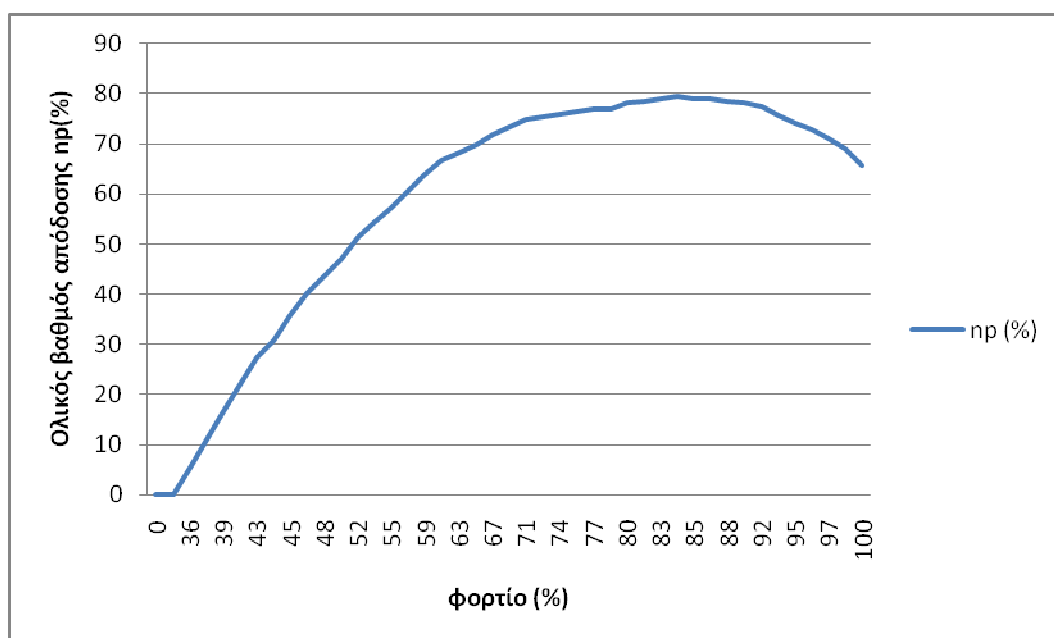
Σχήμα 9: Ετήσια χρονοσειρά μέσων ωριαίων τιμών παραγωγής ισχύος ανά ανεμογεννήτρια.

### 3.3.4 Υδροδυναμικές μηχανές

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή στο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό θα χρησιμοποιηθούν πολυβάθμιες αντλίες και υδροστρόβιλοι τύπου Pelton. Με βάση τα χαρακτηριστικά μεσαίο ύψος υδατόπτωσης στα 300 μέτρα θα μπορούσε να εγκατασταθεί επίσης μηχανή τύπου Francis με αναστρέψιμη φορά περιστροφής λειτουργώντας εναλλάξ ως υδροστρόβιλος και ως αντλία, με λιγότερες μονάδες και

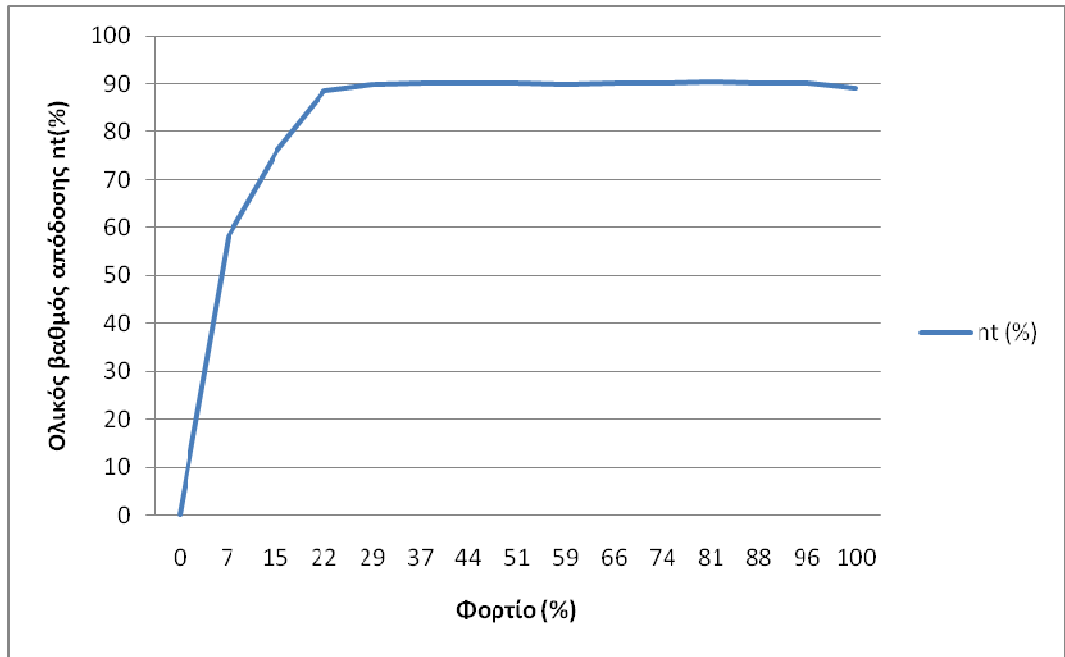
μικρότερο κόστος εγκατάστασης. Η επιλογή όμως του Pelton και των πολυβάθμιων μηχανών στηρίχτηκε στην καλύτερη απόδοση που παρουσιάζει το σύστημα αυτό με την εύρεση του κατάλληλου σημείου λειτουργίας για κάθε μηχανή. Ο ολικός βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου Pelton είναι καλύτερος στα μερικά φορτία και η περιοχή λειτουργίας του είναι πολύ εκτεταμένη (από 10-100% του φορτίου). Επίσης είναι φτηνότερος από τον υδροστρόβιλο Francis, η συναρμολόγηση και συντήρηση του είναι πιο απλή και η λειτουργία του εν κενό ( για την διόρθωση του συντελεστή ισχύος του δικτύου) αρκετά ευκολότερη.

Για καλύτερη απόκριση και αποδοτικότερη λειτουργία επιλέχθηκαν μικρές μονάδες μηχανών με πολυβάθμιες αντλίες ονομαστικής ισχύος 760 KW και υδροστρόβιλους Pelton οριζοντίου άξονα με 2 δέσμες ακροφυσίων και ονομαστικής ισχύος 1.360 KW. Στο παράρτημα 3 βρίσκονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους ,ενώ οι καμπύλες του βαθμού απόδοσης συναρτήσεϊ του φορτίου που προέκυψαν από εκεί, φαίνονται στο σχήμα 10 και 11 που ακολουθεί.



Σχήμα 10: Μεταβολή του βαθμού απόδοσης συναρτήσεϊ του φορτίου ανά μονάδα αντλίας.





Σχήμα 11: Μεταβολή του βαθμού απόδοσης συναρτήσει του φορτίου ανά μονάδα υδροστροβίλου.

Κατά την ενεργειακή προσομοίωση του υβριδικού σταθμού μελετήθηκε η μεταβολή του βαθμού απόδοσης των υδροδυναμικών μηχανών συνάρτηση της αποδιδόμενης ισχύος που παράγουν κάθε χρονική στιγμή. Τόσο στις αντλίες όσο και στους υδροστροβίλους, ανάλογα με την ισχύ που απαιτείται καθορίζεται ο αριθμός των μονάδων που θα λειτουργούν με βάση την αποδοτικότερη λειτουργία παραγωγής και την προστασία του συστήματος. Καθώς η καμπύλη απόδοσης τους χαρακτηρίζει τις μηχανές αυτές αρκετά αποδοτικές για μεγάλο φάσμα του φορτίου τους, γίνεται η παραδοχή ότι η κατανομή του φορτίου μεταξύ των μονάδων που χρησιμοποιούνται θα είναι ισόποση, δηλαδή το φορτίο θα μοιράζεται εξ ίσου σε όσες μονάδες βρίσκονται σε λειτουργία. Στην περίπτωση όπου η ονομαστική ισχύ των ενεργών μονάδων δεν επαρκεί ή περισσεύει για την κάλυψη της ζητούμενης ή αποδιδόμενης ισχύος, θα προσθαφαιρείται ακόμα μία μονάδα υδροστροβίλου ή αντλιών αντίστοιχα.

### 3.3.5 Κατασκευή σωλήνωσης

Για την κατασκευή της σωλήνωσης μεταφοράς του νερού υπολογίστηκαν 2 παράγοντες, η εσωτερική διάμετρος και η διατομή του αγωγού για την μείωση των απωλειών ροής και της μάζας του υλικού.

**Εσωτερική διάμετρος:** Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες ροής λόγω της κίνησης του ρευστού, η επιλογή κατάλληλης διαμέτρου έγινε με βάση το σχήμα 12 που ακολουθεί. Το σχήμα αυτό αναπαριστά τις απώλειες ροής (hf) του νερού συνάρτηση της διαμέτρου του αγωγού που υπολογίστηκαν από την γνωστή σχέση:

$$hf = f \frac{L}{d^5} \frac{8 \cdot Q^2}{g\pi^2}$$

Όπου:

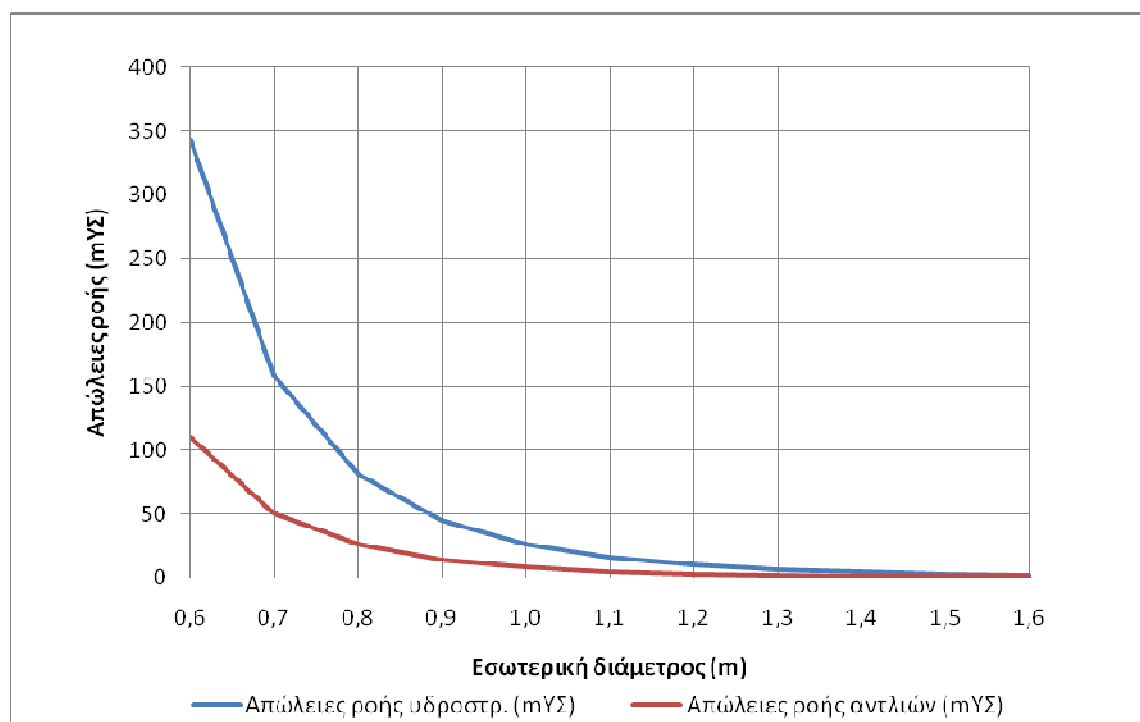
f ο συντελεστής γραμμικών απωλειών ροής

L το μήκος της σωλήνωσης

d η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης

g η επιτάχυνση της βαρύτητας

Q η παροχή του νερού κατά την άντληση και υδατόπτωση αντίστοιχα.



Σχήμα 12: Μεταβολή απωλειών ροής συναρτήσει της εσωτερικής διαμέτρου της σωλήνωσης.

Με δεδομένο ότι οι απώλειες δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το 5% της υψομετρικής διαφοράς των 2 δεξαμενών και με βάση τυποποιημένων τιμών διαμέτρων (όπως φαίνεται στο παράρτημα 4) ,επιλέγει διάμετρος αγωγού ίση με 1.190mm. Στον πίνακα 5 που ακολουθεί φαίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη μεγίστων απωλειών ροής και ταχυτήτων του νερού για τη διάμετρο που επιλέχθηκε.

<b>Πίνακας 5:</b> Μέγιστες απώλειες και μέγιστη ταχύτητα νερού στις σωληνώσεις.		
	Λειτουργία υδατόπτωσης	Λειτουργία άντλησης
Μέγιστες απώλειες ροής (m ΣΥ)	11,17	3,58
Ποσοστό μέγιστων απωλειών ροής επί της φυσικής υψομετρικής διαφοράς (%)	3,72	1,19
Μέγιστη ταχύτητα νερού (m/sec)	1,382	0,717

**Διατομή σωλήνωσης:** Με γνωστή πλέον τη διάμετρο του αγωγού θα πρέπει να υπολογιστεί η σωστή διατομή του με την επιλογή της ποιότητας του χάλυβα, το απαιτούμενο πάχος και την μάζα του, προκειμένου να αντέχει στις υδροστατικές πιέσεις που εμφανίζονται λόγω της υψομετρικής διαφοράς συνυπολογίζοντας και το υδραυλικό πλήγμα.

Το υδραυλικό πλήγμα οφείλεται στην κινητική ενέργεια του νερού και παρουσιάζει αύξηση της πίεσης στα τοιχώματα του αγωγού κατά την εκκίνηση ή απότομο κλεισίματος του αντλητικού συγκροτήματος. Η μέγιστη τιμή πίεσης υδραυλικού πλήγματος ( $dp$ ) υπολογίστηκε ίση με 20,91 atm από την γνωστή σχέση:

$$dp = \rho \cdot c \cdot dV$$

όπου:

$$c = \sqrt{E\beta/\rho} \quad \text{η πίεση ταχύτητας κύματος}$$

$\rho$  η πυκνότητα του νερού

$E\beta$  το μέτρο ελαστικότητας του νερού

$dV$  η διαφορά ταχυτήτων που ισούται με την μέγιστη ταχύτητα του νερού.

Η υδροστατική πίεση οφείλεται στην υψομετρική διαφορά και είναι ανάλογη με την υψομετρική απόσταση που απέχει κάθε σημείο του αγωγού από την θέση της άνω δεξαμενής. Με βάση αυτήν προσθέτοντας και την τιμή πίεσης από το μέγιστο υδραυλικό πλήγμα, υπολογίζεται το απαιτούμενο πάχος του αγωγού το οποίο θα μειώνεται ανά 50 μέτρα ύψους όσο πλησιάζει προς την άνω δεξαμενή.

Χρησιμοποιώντας την ψηφιοποιημένη περιοχή του νησιού με τη βοήθεια του προγράμματος AutoCAD μας έδωσε τα μήκη της σωληνογραμμής που αντιστοιχούν σε κάθε τμήμα ανά 50 μέτρα υψόμετρο. Στη συνέχεια μέσα από τυποποιημένους πίνακες, επιλέγει για τις εμφανιζόμενες πιέσεις το απαιτούμενο πάχος για κάθε τμήμα του αγωγού με τα χαρακτηριστικά του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 6 που ακολουθεί.

<b>Πίνακας 6:</b> Χαρακτηριστικά κατασκευής αγωγού.						
Τμήμα αγωγού	Υψομετρική διαφορά από άνω δεξαμενή (m)	Μήκος αγωγού (m)	Συνολική μέγιστη πίεση (atm)	Πάχος αγωγού (mm)	Όγκος τμήματος αγωγού (m <sup>3</sup> )	Μάζα τμήματος αγωγού (Kgr)
1	300	691,35	50,91	14,30	37,403	293.996,59
2	250	181,43	45,91	12,70	8,706	68.611,38
3	200	113,94	40,91	11,70	5,033	39.728,60
4	150	91,49	35,91	10,70	3,692	29.197,16
5	100	89,90	30,91	9,00	3,048	24.166,02
6	50	183,40	25,91	7,90	5,452	43.423,62
<b>Σύνολο</b>	-	<b>1.351,5</b>	-		<b>1.534,55</b>	<b>499.123,37</b>

Το υλικό του αγωγού που μελετήθηκε είναι χάλυβας ST-52.

### 3.3.6 Ονομαστικά μεγέθη

Τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης και χωροθέτησης του έργου έδωσαν τα μεγέθη των βασικών παραμέτρων που παρουσιάζονται στον πίνακα 7 που ακολουθεί.

<b>Πίνακας 7:</b> Διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος	
Ονομαστική ισχύς αιολικού πάρκου (MW)	4,25
Ονομαστική ισχύς υδροστροβίλων (MW)	4,07
Ονομαστική ισχύς αντλιών (MW)	3,66
Μήκος σωληνώσεων (m)	1.351
Διάμετρος σωληνώσεων (m)	1,19
Ύψος υδατόπτωσης (m)	300
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής (m <sup>3</sup> )	375.000
Χωρητικότητα κάτω φράγματος (m <sup>3</sup> )	1.000.000
Συντελεστής απασχόλησης Α/Γ CF (%)	41,2
Μέγιστη παροχή υδροστροβίλων (m <sup>3</sup> /sec)	1,537
Μέγιστη παροχή αντλιών (m <sup>3</sup> /sec)	0,87

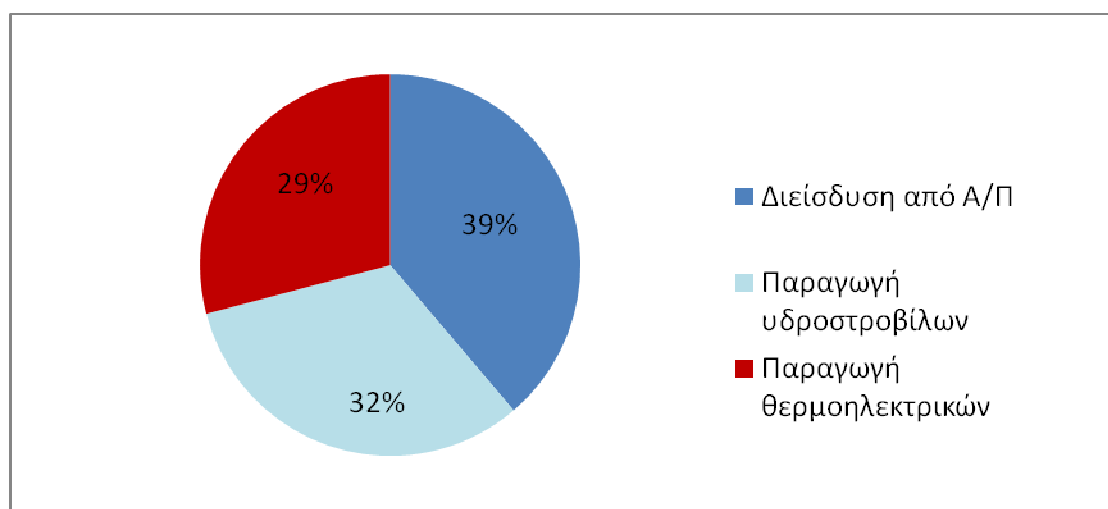
Για λόγους ασφαλείας προστίθεται στις υδροδυναμικές μηχανές επιπλέον μία μονάδα εφεδρείας που θα εξασφαλίζει την εγγυημένη παραγωγή σε περιπτώσεις βλάβης ή συντήρησης κάποιων μονάδων. Οι εγκατεστημένες μονάδες του υδροηλεκτρικού σταθμού και του αιολικού πάρκου περιγράφονται στον πίνακα 8.

<b>Πίνακας 8:</b> Εγκατεστημένες μονάδες υβριδικού σταθμού.				
Είδος μηχανής	Τύπος μηχανής	Αριθμός εγκατεστημένων μονάδων	Ονομαστική ισχύς ανά μονάδα (MW)	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Ανεμογεννήτριες	Vestas V-52	5	0,85	4,25
Υδροστρόβιλοι	Pelton	4	1,36	5,44
Αντλίες	Πολυβάθμιες	6	0,76	4,56

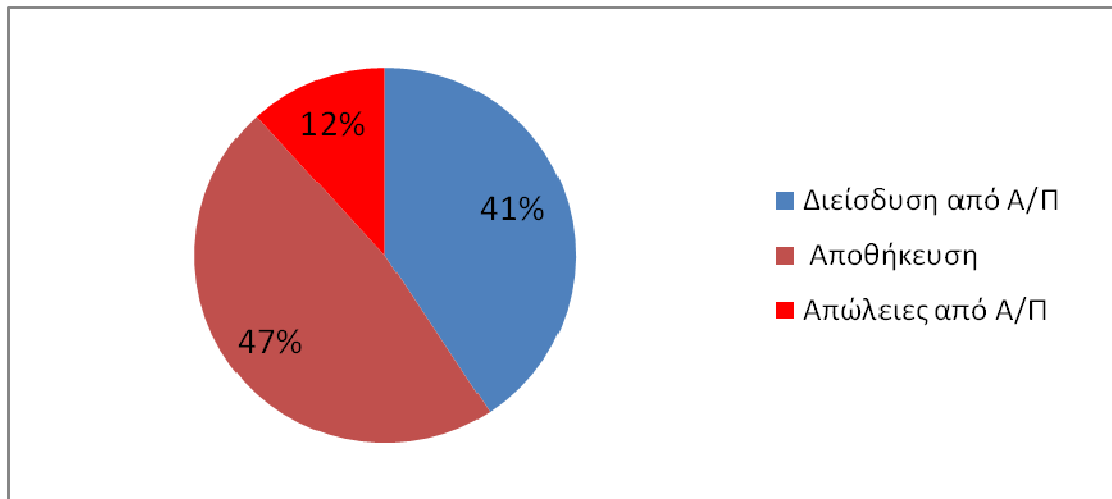
### 3.4 Ετήσια μεγέθη παραγωγής

Η ενεργειακή προσομοίωση του συστήματος έδωσε την σύνθεση που λειτουργούν συνδυαστικά οι μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα ποσά ετήσιας παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας καθώς και τα ποσοστά συμμετοχής των θερμοηλεκτρικών και του υβριδικού σταθμού. Βασικό κριτήριο της διαστασιολόγησης ήταν ο περιορισμός συμμετοχής των θερμοηλεκτρικών με ποσοστό παραγωγής έως του 30 % της συνολικής παραγωγής και η ελαχιστοποίηση της απορριπτόμενης ενέργειας από το αιολικό πάρκο με ποσοστό μικρότερο από 20%. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον πίνακα 9 και στα σχήματα 13, 14 που ακολουθούν.

<b>Πίνακας 9:</b> Ετήσια μεγέθη παραγωγής του συστήματος.	
Παραγωγή ενέργειας από Αιολικό πάρκο (MWh)	15.347,03
Ενέργεια που διεισδύετε στο δίκτυο από Αιολικό πάρκο (MWh)	6.251,04
Παραγωγή ενέργειας από υδροστρόβιλους (MWh)	5.171,44
Αποθήκευση ενέργειας από αντλίες (MWh)	7.290,05
Παραγωγή ενέργειας από θερμοηλεκτρικά (MWh)	4.691,90
Συνολική παραγωγή ενέργειας προς το δίκτυο (MWh)	16.114,38
Απόρριψη ενέργειας από αιολικό πάρκο (MWh)	1.805,94
Μέσος βαθμός απόδοσης αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού (%)	70,94



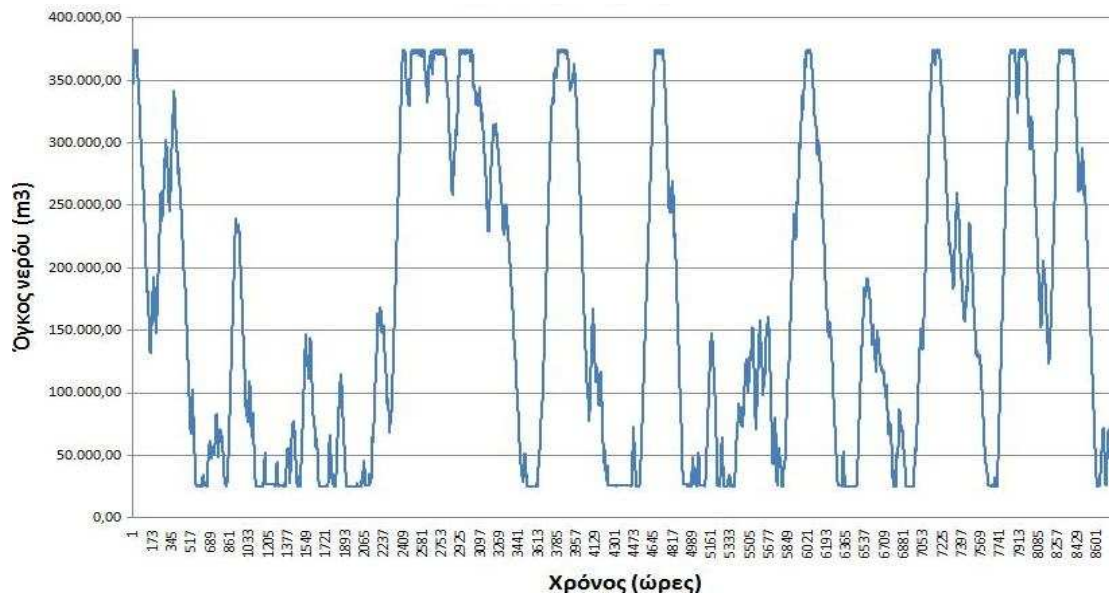
Σχήμα 13: Ετήσια ποσοστά συμμετοχής των μονάδων παραγωγής



Σχήμα 14: Ετήσια ποσοστά διάθεσης της αιολικής ενέργειας

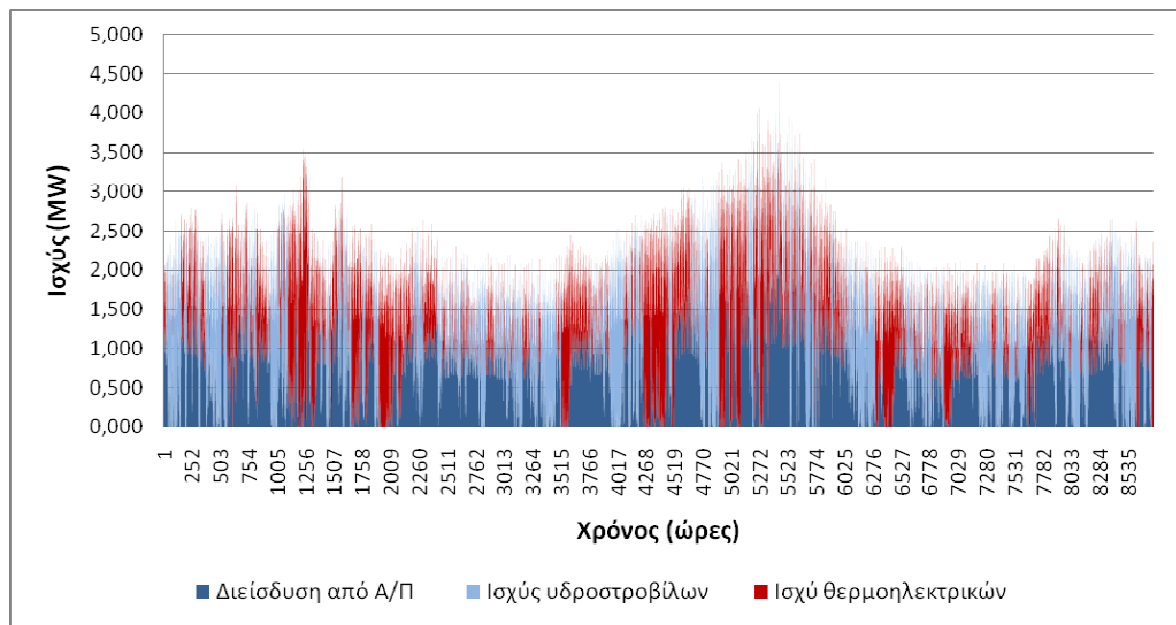
Το ποσοστό απόρριψης της αιολικής ενέργειας προκύπτει από περιπτώσεις όπου λειτουργούν οι υδροστρόβιλοι για την κάλυψη της ζητούμενης ηλεκτρικής ισχύος ή όταν η άνω δεξαμενή είναι γεμάτη. Αυτό επηρεάζεται από το ποσοστό διάσχισης που υιοθετήθηκε για λόγους ασφαλείας στο 60% της ζητούμενης ισχύος, ενώ η ενέργεια αυτή που απορρίπτεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς όπως σε μονάδες αφαλάτωσης του νησιού κλπ.

Η προσομοίωση της μέσης στάθμης του νερού στην άνω δεξαμενή ανά ωριαίες τιμές για ένα έτος παρουσιάζεται στο σχήμα 15 με ελάχιστο όγκο νερού που οριοθετήθηκε για λόγους καλής λειτουργίας στα 25.000 m<sup>3</sup> και ωφέλιμη όγκο τα 350.000 m<sup>3</sup>. Αθροιστικά οι ώρες που υπολογίστηκαν κατά τις οποίες ο όγκος του νερού στην δεξαμενή ήταν στο μέγιστο και ελάχιστο όριο στάθμης είναι 1.276 και 1.314 ώρες αντίστοιχα.



Σχήμα 15: Ετήσια καμπύλη όγκου του νερού ανά ωριαίες τιμές στην άνω δεξαμενή.

Στο σχήμα 16 που ακολουθεί παρουσιάζεται το διάγραμμα με τη σύνθεση παραγωγής από τη διείσδυση του αιολικού πάρκου, τους υδροστρόβιλους και τις μονάδες θερμοηλεκτρικών ανά μέσες ωριαίες τιμές ισχύος για ένα έτος.



Σχήμα 16: Ετήσια σύνθεση των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



## 4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

### 4.1 Αρχικό κόστος εγκατάστασης

Η οικονομική αξιολόγηση του υβριδικού σταθμού βασίζεται σε προσεγγιστικά μεγέθη, με το αρχικό κόστος εγκατάστασης να υπολογίζεται από τις παραδοχές που παρουσιάζονται στον πίνακα 10 με τα ειδικά κόστη και τα λοιπά έξοδα που προκύπτουν.

Αιολικό πάρκο (€/MW)		1.500.000
Υδροστρόβιλοι και γεννήτριες (€/MW)		600.000
Αντλίες και κινητήρες (€/MW)		700.000
Σωληνώσεις	Κόστος υλικού - μεταφοράς (€/kgr)	1,50
	Κόστος εκσκαφής (€/m <sup>3</sup> )	5,00
	Κόστος εγκατάστασης	40% του κόστους υλικού
Άνω δεξαμενή	Κόστος εκσκαφής (€/m <sup>3</sup> )	5,00
	Κόστος διαμόρφωσης επιφάνειας (€/m <sup>2</sup> )	15,00
Κατασκευή νέων δρόμων (€/km)		30.000
Ηλεκτρικό δίκτυο διασύνδεσης (€/km)		50.000
Διάφορα έργα πολιτικού μηχανικού (€)		100.000
Αγορά γης (€)		50.000
Κατασκευή κτηρίων (€)		200.000
Δευτερεύων ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός (€)		500.000
Μονάδα ελέγχου (€)		1.000.000
Αμοιβές συμβούλων και μελετών (€)		200.000
Διάφορα άλλα κόστη (€)		100.000

Για την προσέγγιση του αρχικού κόστους εγκατάστασης με βάση τον παραπάνω πίνακα, συνοψίζονται τα ονομαστικά εγκατεστημένα μεγέθη που προέκυψαν από τη διαστασιολόγηση του έργου και οι παραδοχές που έγιναν ως εξής:

- Ισχύς αιολικού πάρκου 4,25 MW
- Ισχύς υδροστροβίλων 5,44 MW
- Ισχύς αντλιών 4,56 MW
- Μάζα αγωγού 499.123,4 Kgr
- Όγκος εκσκαφής αγωγού (όγκος του αγωγού αυξημένος κατά 30%) 1.995 m<sup>3</sup>.
- Όγκος εκσκαφής άνω δεξαμενής (όγκος δεξαμενής αυξημένος κατά 20%) 450.000 m<sup>3</sup>
- Επιφάνεια διαμόρφωσης άνω δεξαμενής (επιφάνεια δεξαμενής αυξημένη κατά 20%) 30.000 m<sup>3</sup>
- Μήκος δρόμων προς κατασκευή 5 Km
- Απόσταση δικτύου διασύνδεσης 7 Km

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται το αρχικό κόστος εγκατάστασης του έργου στο ύψος των 19.238.928 € όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 11 που ακολουθεί.

<b>Πίνακας 11: Ανάλυση αρχικού κόστους του έργου.</b>	
Αιολικό πάρκο	6.375.000
Υδροστρόβιλοι και γεννήτριες	3.264.000
Αντλίες και κινητήρες	3.192.000
Σωληνώσεις	1.057.929
Άνω δεξαμενή	2.700.000
Κατασκευή νέων δρόμων	150.000
Ηλεκτρικό δίκτυο διασύνδεσης	350.000
Διάφορα έργα πολιτικού μηχανικού	100.000
Αγορά γης	50.000
Κατασκευή κτηρίων	200.000
Δευτερεύων ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	500.000
Μονάδα ελέγχου	1.000.000
Αμοιβές συμβούλων και μελετών	200.000
Διάφορα άλλα κόστη	100.000
<b>Σύνολο</b>	<b>19.238.929</b>

## 4.2 Χρηματοδοτικό σχήμα

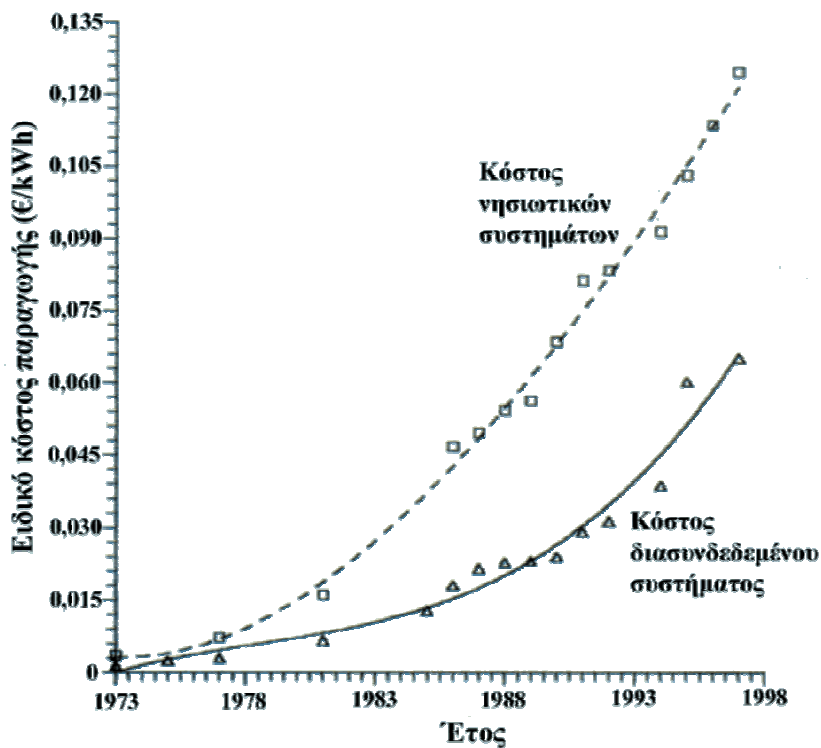
Με βάση της τρέχουσας νομοθεσίας επιλέγεται το χρηματοδοτικό σχήμα που παρουσιάζεται στον πίνακα 12 με το δανειακό κεφάλαιο να έχει περίοδο αποπληρωμής 10 έτη και επιτόκιο δανεισμού 5,5%.

<b>Πίνακας 12:</b> Χρηματοδοτικό σχήμα έργου.		
	Ποσοστό (%)	Ποσό (€)
Αρχικό κόστος	100	19.238.929
Ίδια κεφάλαια	40	7.695.571
Επιχορήγηση	40	7.695.571
Δάνειο	20	3.847.786

## 4.3 Ετήσια χρηματοροή

Τα ετήσια έσοδα της επένδυσης θα προκύπτουν από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας από την διείσδυση του αιολικού πάρκου και τους υδροστρόβιλους που όπως έχει υπολογιστεί εκτιμάται στις 11.422.487 KWh ετησίως.

Η τιμή πώλησης καθορίζεται από το ειδικό κόστος παραγωγής των υφιστάμενων θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, για τα μη διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο της χώρας συστήματα. Με βάση την τιμή του ειδικού κόστους των συμβατικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού στην Κρήτη να ανέρχεται στα 0,098 €/KWh το έτος 2006, το ειδικό κόστος για την Σκύρο αναμένεται μεγαλύτερο λόγω του μικρότερου μεγέθους της. Επίσης λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση του ειδικού κόστους παραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά με την πάροδο των χρόνων όπως φαίνεται στο σχήμα 17 που ακολουθεί και την συνεχή αύξηση της τιμής των ορυκτών καυσίμων τα τελευταία χρόνια το ειδικό κόστος παραγωγής για το σύστημα της Σκύρου θα είναι αρκετά αυξημένο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση για την αξιολόγηση της επένδυσης οριοθετείται η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στα 0,16 €/KWh, κάτι που αποφέρει ετήσια έσοδα ύψους 1.827.598 €.

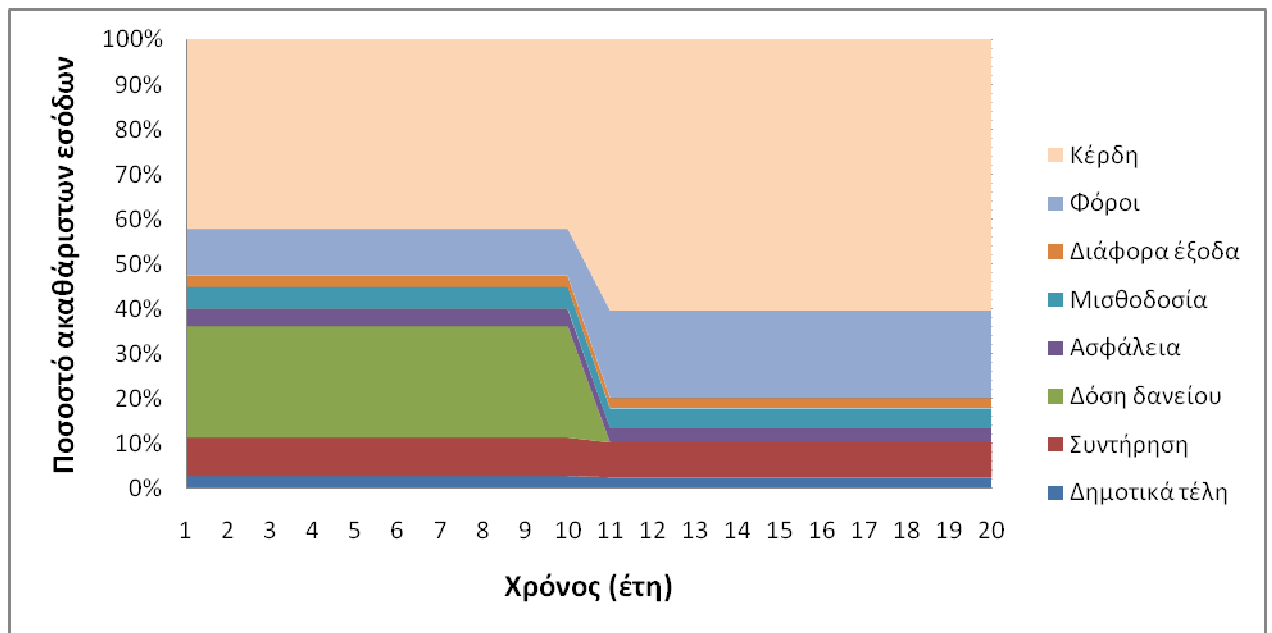


Σχήμα 17: Εξέλιξη του ειδικού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο και τα μη διασυνδεδεμένα συστήματα της χώρας.

Τα ετήσια έξοδα της επένδυσης προκύπτουν μέσα από προσεγγιστικά μοντέλα που αναλύονται ως εξής:

- Δημοτικά τέλη το 3% των συνολικών ακαθάριστων εσόδων
- Συντήρηση αιολικού πάρκου 15.000 € ανά ανεμογεννήτρια
- Συντήρηση αναστρέψιμου ΥΗΕ σταθμού 100.000
- Ετήσια δόση δανείου
- Ασφάλεια εξοπλισμού 0,4% του αρχικού κόστους του έργου
- Μισθοδοσία εργαζομένων 100.000
- Λοιπά έξοδα 50.000 €
- Απόσβεση με σταθερή μείωση υπολοίπου για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου
- Συντελεστής φορολογίας 45% επί των καθαρών εσόδων
- Διάρκεια ζωής του έργου 20 έτη και επιτόκιο αναγωγής ίσο με 5%

Με βάση της παραπάνω παραδοχές υπολογίζονται οι ετήσιες χρηματοροές που εμφανίζονται στο σχήμα 18 και στον πίνακες 13, 14 που ακολουθούν.



Σχήμα 18: Γραφική απεικόνιση ετήσιων χρηματοροών της επένδυσης.

**Πίνακας 13:** ετήσιες χρηματοροές επένδυσης.

Α/Α Έτους	Έσοδα	Δημοτικά τέλη	Συντήρηση	Δόση δανείου	Ασφάλεια	Μισθοδοσία	Διάφορα έξοδα	Αποσβέσεις	Φόροι	Συνολικά έξοδα	Κέρδη
1	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
2	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
3	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
4	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
5	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
6	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
7	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
8	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
9	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
10	1.827.598	54.828	175.000	510.477	76.956	100.000	50.000	384.779	214.001	967.261	860.337
11	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814
12	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814
13	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814
14	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814
15	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814
16	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814
17	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814
18	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814
19	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814
20	1.827.598	54.828	175.000	0	76.956	100.000	50.000	384.779	443.716	456.784	1.370.814

<b>Πίνακας 14: ετήσιες χρηματοροές επένδυσης.</b>		
<b>A/A Έτους</b>	<b>Αθροιστικά κέρδη</b>	<b>Κέρδη στην παρούσα αξία</b>
1	860.337	819.369
2	1.720.674	780.351
3	2.581.011	743.192
4	3.441.349	707.801
5	4.301.686	674.097
6	5.162.023	641.997
7	6.022.360	611.426
8	6.882.697	582.310
9	7.743.034	554.581
10	8.603.371	528.172
11	9.974.186	801.487
12	11.345.000	763.321
13	12.715.814	726.972
14	14.086.628	692.354
15	15.457.443	659.385
16	16.828.257	627.986
17	18.199.071	598.082
18	19.569.886	569.602
19	20.940.700	542.478
20	22.311.514	516.645

#### 4.4 Οικονομικοί δείκτες επένδυσης

Οι οικονομικοί δείκτες της επένδυσης αναφέρονται στα ίδια κεφάλαια της χρηματοδότησης και υπολογίζονται από τα καθαρά ετήσια έσοδα, από τα οποία προκύπτει με αναγωγή στην παρούσα αξία ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης και η καθαρή παρούσα αξία του έργου. Τα αποτελέσματα αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 15.

<b>Πίνακας 15:</b> Οικονομικοί δείκτες επένδυσης	
Καθαρή παρούσα αξία (€)	5.446.035,14
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	6,07
Περίοδος αποπληρωμής (έτη)	8,94
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (έτη)	10,25
Ειδικό κόστος παραγωγής (€/KWh)	0,0623



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής επιβεβαιώνουν την μεγιστοποίηση της χρήσης Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε απομονωμένα ενεργειακά συστήματα όπως αυτό που μελετήθηκε με υψηλά ποσοστά διείσδυσης της αιολικής ενέργειας. Σε συνδυασμό με το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό παρουσιάζουν ως μονάδα βάσης αξιόπιστη και αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τα θερμοηλεκτρικά να λειτουργούν ως μονάδες εφεδρείας για την κάλυψη των αιχμών όταν αυτό απαιτείται. Αυτό φαίνεται από τα ποσοστά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τις ΑΠΕ να καλύπτουν αθροιστικά το 71% (39% από αιολικό πάρκο και 32% από αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό) της ζητούμενης ενέργειας και τα θερμοηλεκτρικά μόλις το 29%.

Η επένδυση ενός τέτοιου έργου με βάση το καλό αιολικό δυναμικό και την υψηλή τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στο νησί χαρακτηρίζεται κερδοφόρα και οικονομικά βιώσιμη όπως μελετήθηκε με αρχικό κόστος επένδυσης 19.238.929 € , ετήσια έσοδα ύψους 1.827.598 € , περίοδο αποπληρωμής ιδίων κεφαλαίων 9 έτη και αθροιστικά κέρδη σε βάθος 20ετίας 22.311.514 €.

Επίσης η δημιουργία του έργου αυτού συμβάλει στην οικονομική ανάπτυξη του νησιού προσφέροντας οικονομικούς πόρους ( δημοτικά τέλη 3% επί των ακαθάριστων εσόδων) νέες θέσεις εργασίας, υλοποίηση έργων υποδομής , αύξηση της προστιθέμενης αξίας της περιοχής και ανάπτυξη τουριστικών δραστηριοτήτων. Επίσης σημαντική είναι και η απορριπτόμενη ενέργεια από το αιολικό πάρκο 1.805,94 MWh ετησίως η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο φάσμα εφαρμογών όπως για τη λειτουργία αντλιών νερού ύδρευσης και άρδευσης, φόρτιση συσσωρευτών κλπ κάτι που δεν μελετάται στην παρούσα μελέτη.

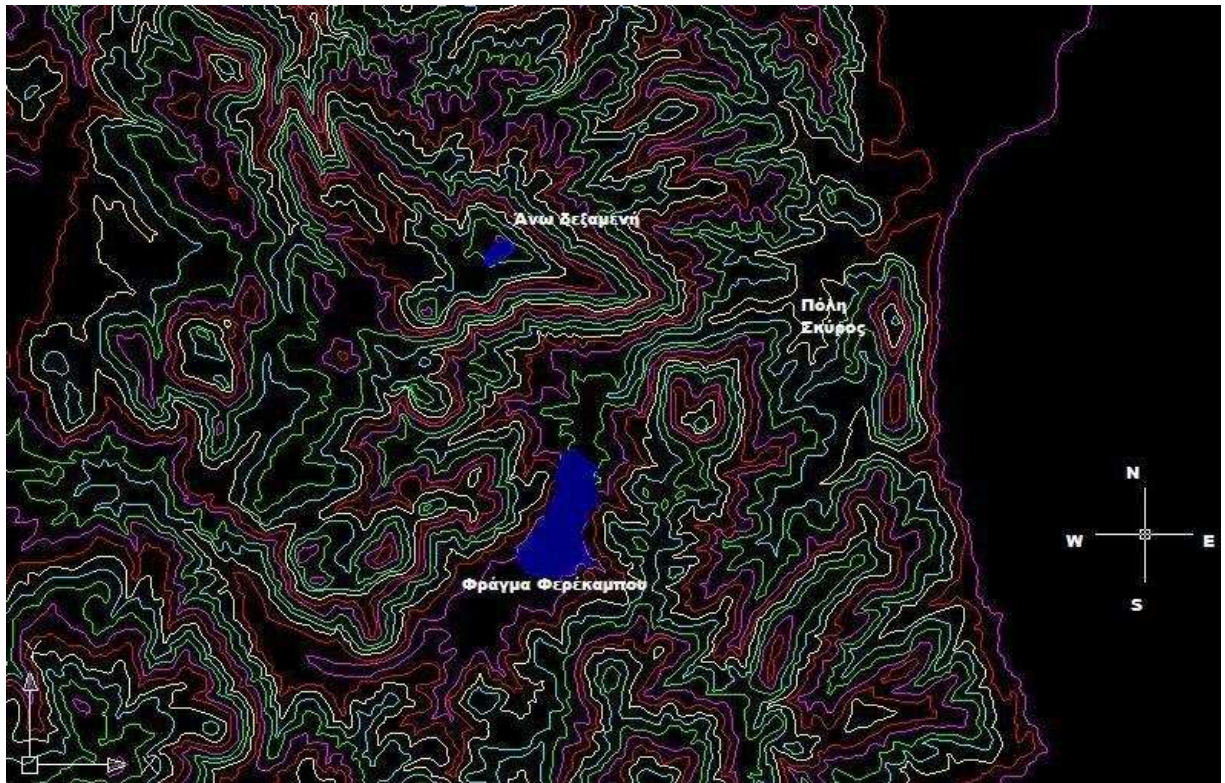
## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δημήτριος Ε. Παπαντώνης, ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ, ΕΜΠ Αθήνα 2001
2. Δημήτριος Ε. Παπαντώνης, ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ: ΑΝΤΛΙΕΣ-ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ, ΕΜΠ Αθήνα 2002
3. Ιωάννης Κλεάνθης Καλδέλης, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Εκδόσεις ΑΘ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ Αθήνα 2005
4. Ι. Ε. Φραγκιαδάκης, ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, Εκδόσεις ΖΗΤΗ 2004
5. Stephen J. Charman, ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, Έκδοση Τζιολα Θεσσαλονίκη 2003
6. Ιωάννης Μαυρουδής, ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ, Εκδόσεις ΑΘ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ Αθήνα 2000
7. Μιχαήλ Η. Ριτσατάκης, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ, ΤΕΙ Κρήτης Ηράκλειο 2006
8. Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης, ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΤΗ ΚΑΣΟ
9. Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών συστημάτων  
[www.wel.teiher.gr](http://www.wel.teiher.gr)
10. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε): [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
11. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.): [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
12. Βικιπαίδεια Ηλεκτρονική Εγκυκλοπαίδεια : <http://en.Wikipedia.org>
13. Vestas : [www.vestas.com](http://www.vestas.com)
14. Υδροστρόβιλοι [www.Gilkes.com](http://www.Gilkes.com)
15. Υδροστρόβιλοι [www.hydrosolarenergy.gr](http://www.hydrosolarenergy.gr)
16. Αντλίες- Υδροστρόβιλοι [www.andritz.com](http://www.andritz.com)
17. Αντλίες [www.sulzerpumps.com](http://www.sulzerpumps.com)
18. Αντλίες [www.dppumps.gr](http://www.dppumps.gr)
19. Σωληνουργεία Θηβών [www.tpw.gr](http://www.tpw.gr)
20. Σωληνουργεία Κορίνθου [www.cpw.gr](http://www.cpw.gr)
21. Ελληνικά Σωληνουργεία [www.hpw.gr](http://www.hpw.gr)
22. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός [www.hydroquebec.com](http://www.hydroquebec.com)

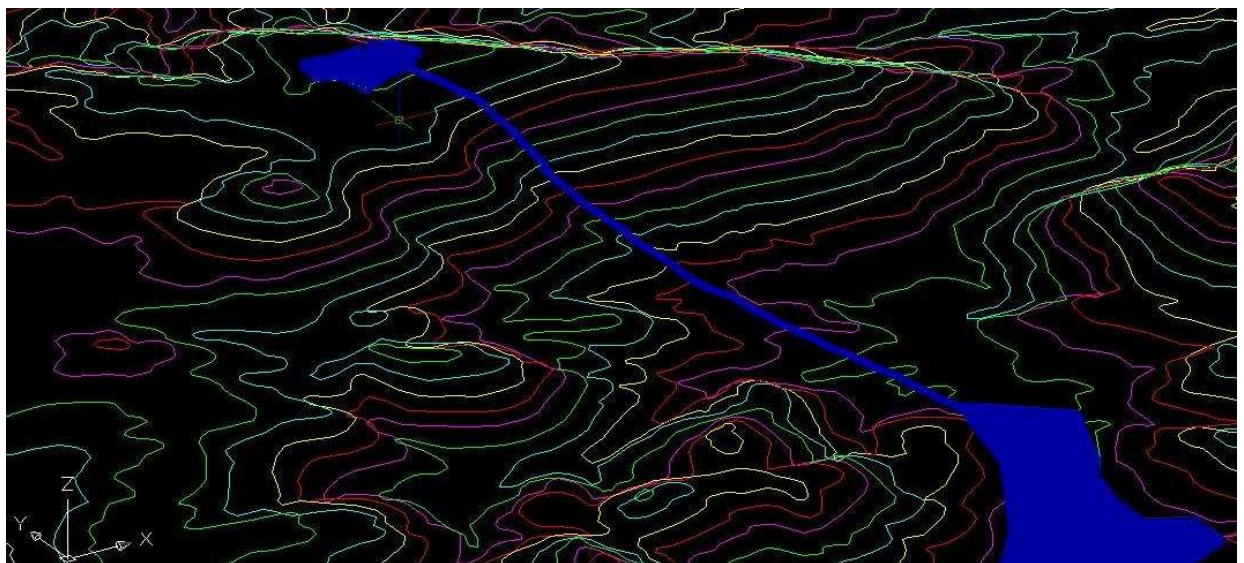
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

### Χωροθέτηση υδροηλεκτρικού σταθμού

Χωροθέτηση άνω και κάτω δεξαμενής με βάση την ψηφιοποίηση του νησιού.



Απεικόνιση όδευσης αγωγού.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

### Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών Vestas V-52

#### Καμπύλη Ισχύος

α/α	Ταχύτητα Ανέμου	Ισχύς
1	0	0
2	1	0
3	2	0
4	3	0
5	4	25,5
6	5	67,4
7	6	125
8	7	203
9	8	304
10	9	425
11	10	554
12	11	671
13	12	759
14	13	811
15	14	836
16	15	846
17	16	849
18	17	850
19	18	850
20	19	850
21	20	850
22	21	850
23	22	850
24	23	850
25	24	850
26	25	850

#### Operational data

Cut-in wind speed: 4 m/s  
Nominal wind speed: 16 m/s  
Cut-out wind speed: 25 m/s

#### Rotor

Diameter: 52 m  
Area swept: 2,124 m<sup>2</sup>  
Nominal revolutions: 26 rpm  
Operational interval: 14.0-31.4 rpm  
Number of blades: 3  
Power regulation: Pitch/OptiSpeed®  
Air brake: Full blade pitch

#### Generator

Type: Asynchronous with wound rotor, slip rings and VCS  
Nominal output: 850 kW  
Operational data: 50 Hz/60 Hz 690 V

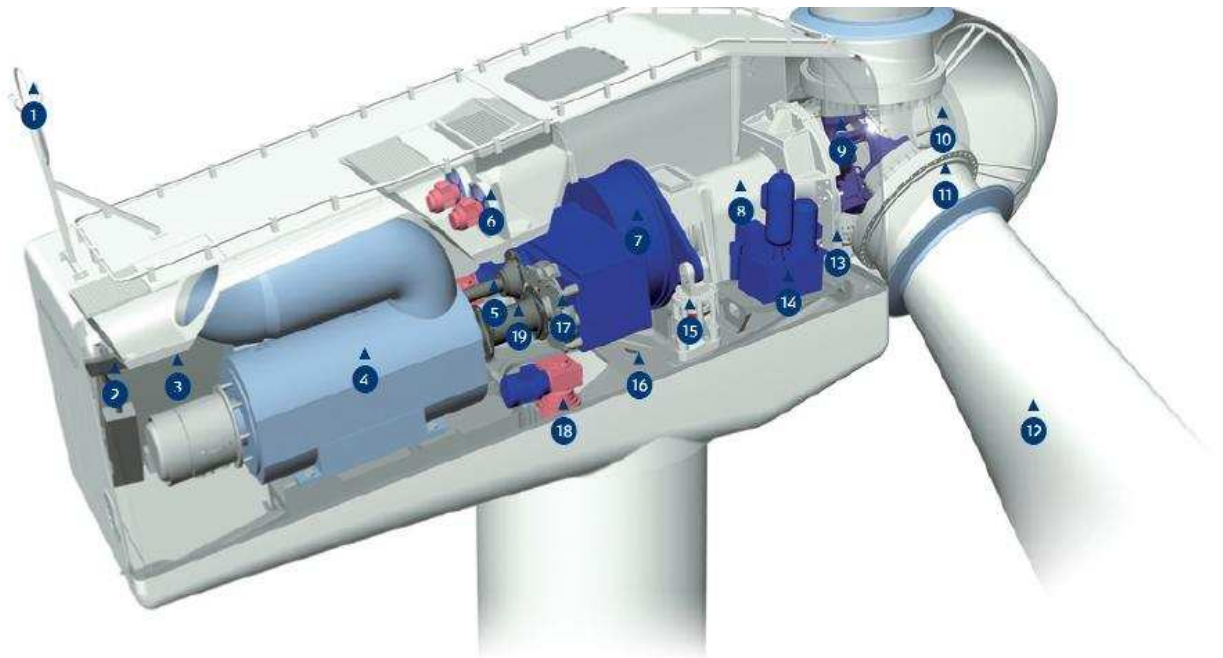
#### Gearbox

Type: One planetary stage, two helical stages

#### Control

Type: Microprocessor-based monitoring of all turbine functions, as well as OptiSpeed® output regulation and OptiTip®





- |                                     |                         |                      |                            |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 Ultrasonic wind sensor            | 6 Oil and water coolers | 11 Blade bearing     | 16 Machine foundation      |
| 2 Service crane                     | 7 Gearbox               | 12 Blade             | 17 Mechanical disc brake   |
| 3 VMP-Top controller with converter | 8 Main shaft            | 13 Rotor lock system | 18 Yaw gear                |
| 4 OptiSpeed® Generator              | 9 Pitch system          | 14 Hydraulic unit    | 19 Composite disc coupling |
| 5 Pitch cylinder                    | 10 Blade hub            | 15 Torque arm        |                            |



# Χαρακτηριστικά Αντλιών

Πολυβάθμιες αντλίες 760KW 5 βαθμίδων:

