



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ Α.Π.Ε. ΓΙΑ
ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΣΥΡΟΥ.**



Ονοματεπώνυμο σπουδαστή

Δαλέζιος Κωνσταντίνος

Α.Μ. σπουδαστή

6327

Επιβλέπων καθηγητής

Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός Κατσαπρακάκης Δημήτρης

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή πραγματεύεται τη διαστασιολόγηση και χωροθέτηση, βάσει των κανονισμών που ισχύουν, ενός υβριδικού συστήματος (παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) στο νησί της Σύρου όπως επίσης και ο έλεγχος εάν είναι οικονομικά βιώσιμο κάτι τέτοιο. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή ενός υβριδικού συστήματος εγγυημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση αιολικού πάρκου ως μονάδας βάσης, αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών με τη χρήση θαλασσινού νερού ως μονάδα αποθήκευσης και χρησιμοποιώντας τη διασύνδεση ή τις θερμοηλεκτρικές μηχανές σαν εφεδρική πηγή ενέργειας. Έτσι πραγματοποιείται μεγιστοποίηση διείσδυσης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. στην κατανάλωση και αναδεικνύει τον νησί σε ένα πράσινο φιλικό προς το περιβάλλον μέρος.

ABSTRACT

This work deals with the dimensioning and location, based on the regulations in force, of a hybrid system (electricity production) on the island of Syros as well as the control if such a thing is economically viable. This is achieved by introducing a hybrid system of guaranteed electricity production using a wind farm as a base unit, reversible hydroelectric plants using seawater as a storage unit and using interconnection or thermal power plants as a backup power source. Thus, the penetration of the production of electricity from RES is maximized in consumption and highlights the island in a green environmentally friendly place.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κλείνοντας τον κύκλο των σπουδών μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπον καθηγητή μου κύριο Δημήτρη Κατσαπρακάκη για την καθοδήγηση του στην εργασία αυτή, διότι μέσω των μαθημάτων του στη σχολή και ιδιαίτερα των Υδροδυναμικών Μηχανών και της Σύνθεσης Ενεργειακών με έκανε να σιγουρευτώ με ποιον τομέα θα ήθελα να ασχοληθώ στο μέλλον. Γι' αυτό και του πρότεινα αυτή την πτυχιακή εργασία. Θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλους τους καθηγητές με τους οποίους συναντήθηκα σ' αυτό το ταξίδι των γνώσεων. Τα χρόνια αυτά θα είναι εφόδιο για την επαγγελματική μου σταδιοδρομία. Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου που στάθηκαν δίπλα μου σε όλο το φάσμα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	5
1.1 Η έννοια της ενέργειας και οι μορφές της.....	5
1.1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	7
1.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια και υδροηλεκτρικό έργο	8
1.2.1 Αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας.....	8
1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΥΗΕ.....	9
1.2.3 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα	10
1.2.4 Υδροστρόβιλοι.....	12
1.2.5 Επιλογή τύπου υδροστροβίλου και απόδοση	15
1.2.6 Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αναστρέψιμων ΥΗΕ.....	17
1.3 Αντλίες.....	17
1.3.1 Ταξινόμηση αντλιών με βάση την αρχή λειτουργίας.....	18
1.4 Αιολική ενέργεια	19
1.4.1 Ανεμογεννήτριες	20
1.5 Αποθήκευση ενέργειας και τρόποι αποθήκευσης.....	21
1.5.1 Αντλησιοταμίευση.....	22
1.5.2 Ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας	23
Κεφάλαιο 2: Υβριδικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	24
2.1 Γενικά.....	24
2.2 Εφαρμογές υβριδικών σταθμών	24
2.3 Μονάδες βάσης.....	25
2.4 Μονάδες αποθήκευσης	25
2.5 Μονάδες εφεδρείας.....	25
2.6 Υβριδικά έργα στην Ελλάδα	26
Κεφάλαιο 3: Το νησί της Σύρου	28
3.1 Ιστορικές αναδρομές.....	28
3.1.1 Νεώριο Σύρου (Ναυπηγείο).....	29
3.1.2 Το 1 ^ο Ελληνικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο Enfield.....	29

3.1.3 Πτηνοτροφική μονάδα	30
3.2 Μορφολογία νησιού	31
3.3 Το διασυνδεδεμένο σύστημα της Σύρου	31
3.3.1 Ανάγκη για διατήρηση παραγωγής.....	32
3.4 Ζήτηση ισχύος Σύρου	33
Κεφάλαιο 4: Μελέτη υβριδικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την Σύρο..	34
4.1 Σκοπός έργου	34
4.2 Περιγραφή υβριδικού συστήματος	34
4.3 Τρόπος λειτουργίας του συστήματος	34
4.4 Θέση εγκατάστασης του υδροηλεκτρικού σταθμού	38
4.5 Διαστασιολόγηση και χωροθέτηση του έργου	39
4.5.1 Δεξαμενή αποθήκευσης.....	40
4.5.2 Αγωγός άντλησης-υδατόπτωσης	41
4.6 Αιολικό πάρκο	46
4.7 Επιλογή υδροδυναμικών μηχανών	48
4.8 Ονομαστικά μεγέθη Υ.Σ.....	50
4.9 Ετήσια μεγέθη παραγωγής Υ.Σ.....	50
Κεφάλαιο 5: Οικονομική ανάλυση του έργου	53
5.1 Αρχικό κόστος εγκατάστασης.....	53
5.2 Χρηματοδοτικό σχήμα.....	54
5.3 Ετήσια χρηματοροή.....	54
Κεφάλαιο 6: Επίλογος	57
6.1 Αξιολόγηση έργου	57
6.2 Συμπεράσματα	57
Βιβλιογραφία	58

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Η έννοια της ενέργειας και οι μορφές της

Κάθε φυσικό σύστημα περιέχει (ή εναλλακτικά αποθηκεύει) μία ποσότητα που ονομάζεται ενέργεια. Ενέργεια, συνεπώς, είναι η ικανότητα ενός σώματος ή συστήματος να παραγάγει έργο. Είναι βαθμωτό ή μονόμετρο μέγεθος

Μέτρηση της Ενέργειας:

Κύρια μονάδα μέτρησης της Ενέργειας, Θερμότητας, Έργου στο SI είναι το τζάουλ (J), Ισχύει $J = N \cdot m$ δηλ. 1 τζάουλ = 1 Νιούτον * 1 μέτρο.

Οποιαδήποτε μορφή δράσης από τα παιδικά παιχνίδια μέχρι τη λειτουργία των μηχανών και από το μαγείρεμα τροφών μέχρι τη γραμμή παραγωγής στο εργοστάσιο προϋποθέτει κατανάλωση ενέργειας. Οι πράγματι πολυποίκιλες μορφές ενέργειας βρίσκονται πίσω από την ασύλληπτη ποικιλία των φυσικών φαινομένων.

Η ενέργεια με την οποία τροφοδοτείται ο πλανήτης μας προέρχεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τον Ήλιο.

Η ενέργεια χαρακτηρίζεται, τόσο στη θεωρία όσο και στη πράξη, περισσότερο ως μια λογιστική έννοια, που δίνει τη δυνατότητα πρόβλεψης της εξέλιξης ή της κίνησης ενός συστήματος. Ορίζεται σαν το ποσό του έργου που απαιτείται προκειμένου το σύστημα να πάει από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική. Ακριβώς πόση ενέργεια περιέχεται σε ένα σύστημα μπορεί να υπολογιστεί παίρνοντας το άθροισμα ή το ολοκλήρωμα ενός αριθμού ειδικών εξισώσεων (όπως οι εξισώσεις Λαγκράνζ ή οι εξισώσεις Χάμιλτον), καθεμιά από τις οποίες δίνει την ενέργεια που έχει αποθηκευτεί κατά έναν ιδιαίτερο τρόπο. Ανάλογα με τον τρόπο που έχει αποκτηθεί, ανταλλαχθεί ή αποθηκευτεί, μπορούμε να μιλήσουμε για πολλές μορφές ενέργειας:

Πυρηνική ενέργεια: αυτή είναι η δυναμική ενέργεια που αποθηκεύεται στον πυρήνα του ατόμου που συγκρατεί τα υποατομικά σωματίδια μαζί, αλλά όταν αντιδρά μετατρέπει ένα άτομο σε διαφορετικό. Η πυρηνική ενέργεια μπορεί να ληφθεί με πυρηνική σύντηξη ή πυρηνική σχάση, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση ηλεκτρικής ενέργειας, μεταξύ άλλων.

Θερμική ενέργεια: έχει σχέση με τους βαθμούς θερμότητας και τη θερμοκρασία του σώματος καθώς τα εσωτερικά του σωματίδια κινούνται, επομένως, εάν υπάρχει πολλή κίνηση, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμική ενέργεια. Κίνηση αυτοκινήτων: η θερμική ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της σε κινητική ενέργεια, η οποία θα επιτρέψει στον κινητήρα του οχήματος να λειτουργεί και να κινείται.

Χημική ενέργεια: είναι το σύνολο της δυναμικής ενέργειας που απαιτείται για τη συγκρότηση μορίων χημικών ουσιών από διάφορα άτομα, κάτω από την αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων. Η χημική ενέργεια αποδίδεται συνήθως ως θερμική ή

ηλεκτρική, όταν τα μόρια διασπώνται και πάλι σε άτομα ή μετασχηματίζεται στους οργανισμούς σε θερμική και κινητική, με βιολογικούς μηχανισμούς, και ονομάζεται ζωική ενέργεια.

Κινητική ενέργεια: είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα όταν κινείται και αναφέρεται στην ικανότητά του να παράγει έργο και εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες: τη μάζα και την ταχύτητα ενός κινούμενου σώματος.

Δυναμική ενέργεια: ως δυναμική ενέργεια ορίζεται η ενέργεια που κατέχει ένα σώμα λόγω της θέσεως ή της κατάστασής του, είναι δηλαδή η δυνατότητα του σώματος να παράγει έργο επειδή βρίσκεται μέσα σε κάποιο πεδίο δυνάμεων. Συγκεκριμένα, η δυναμική ενέργεια διακρίνεται σε ενέργεια θέσεως (π.χ. ένα σώμα σε πεδίο βαρύτητας που έχει τη δυνατότητα να κινηθεί σε χαμηλότερη θέση παράγοντας έργο) και ενέργεια μορφής η αλλιώς παραμόρφωσης, που εμφανίζεται όταν συστρέφουμε, συμπιέζουμε, τεντώνουμε ή λυγίζουμε ένα υλικό αλλάζοντας τη φυσική του μορφή (π.χ. το παραμορφωμένο ελατήριο ή λάστιχο). Στην περίπτωση αυτή, το σώμα μπορεί να παράγει έργο επανερχόμενο στη "φυσική" του μορφή. Στην περίπτωση ενός ομογενούς δυναμικού πεδίου, δηλαδή ενός πεδίου όπου η δύναμη είναι σταθερή σε όλη την έκτασή του, η δυναμική ενέργεια ενός σώματος ορίζεται ως το γινόμενο της δύναμης που ασκείται επάνω του επί την απόστασή του από την περιοχή του πεδίου, όπου θεωρούμε συμβατικά ότι η δυναμική ενέργεια έχει μηδενική τιμή: $E_{δυν} = F * r$ όπου F = δύναμη του πεδίου που ασκείται στο σώμα, r = απόσταση από το σημείο με μηδενική δυναμική ενέργεια. Εάν το πεδίο δεν είναι ομογενές, δηλαδή η δύναμη μεταβάλλεται κατά μέτρο και φορά από σημείο σε σημείο, ο παραπάνω ορισμός ισχύει μόνο τοπικά, δηλαδή μας δίνει τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειας για μια απειροστή μετακίνηση μέσα στο πεδίο, κατά την οποία η δύναμη είναι περίπου σταθερή. Η συνολική μεταβολή της δυναμικής ενέργειας δίνεται από το άθροισμα τέτοιων απειροστών μετατοπίσεων (ολοκλήρωμα) μεταξύ δύο θέσεων (από τις οποίες η μία μπορεί να είναι το σημείο όπου ορίσαμε μηδενική τη δυναμική ενέργεια). Για να έχει νόημα η δυναμική ενέργεια, πρέπει ο παραπάνω υπολογισμός να μην εξαρτάται από τη διαδρομή που ακολουθήσαμε μεταξύ των δύο σημείων. Ένα δυναμικό πεδίο με την ιδιότητα αυτή ονομάζεται συντηρητικό ή διατηρητικό.

Η Κινητική και η Δυναμική ενέργεια θεωρούνται ως οι δύο μορφές της Μηχανικής ενέργειας. Κατά την κίνηση ενός σώματος ή φορτίου σε συντηρητικό πεδίο δυνάμεων, και εφόσον δεν υπάρχουν τριβές, η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια και το αντίστροφο, το άθροισμά τους όμως είναι πάντα σταθερό και ίσο με τη μηχανική ενέργεια που αρχικά είχε το σώμα. Δυναμική είναι η ενέργεια που έχουν τα σώματα, λόγω της κατάστασής τους ή της θέσης τους. Δυναμική είναι η ενέργεια του βέλους σε τεντωμένο τόξο, του συμπιεσμένου ελατηρίου αλλά και του νερού της λίμνης ή της πέτρας που βρίσκεται σε μεγάλο υψόμετρο.

Ηλεκτρική ενέργεια: αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού ή τάσης στα άκρα ενός αγωγού.

Οι μη ανανεώσιμες ή Συμβατικές προέρχονται από ορυκτά καύσιμα τα οποία διακρίνονται σε:

Στερεά (άνθρακας), Υγρά (πετρέλαιο), Αέρια (φυσικό αέριο)

Στις μη ανανεώσιμες ανήκει και η Πυρηνική ενέργεια, καθότι για την παραγωγή της καίμε το ορυκτό καύσιμο ουράνιο ή άλλα ασταθή στοιχεία, τα οποία μετατρέπονται σε ελαφρύτερα στοιχεία.

Η κυριότερη ιδιότητά της είναι ότι η συνολική ενέργεια ενός απομονωμένου (κλειστού) συστήματος είναι σταθερή, πρόταση που έχει αποδειχθεί από πλήθος πειραμάτων και χαρακτηρίζεται ως μία από τις πλέον θεμελιώδεις αρχές διατήρησης της φυσικής.

Πλέον, η συζήτηση για την ενέργεια έχει πάρει μια διαφορετική μορφή, για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), το Περιβάλλον καθώς και την Αειφόρο ανάπτυξη. Γενικά, η παρουσία της ενέργειας ανιχνεύεται από έναν παρατηρητή κάθε φορά που υπάρχει αλλαγή στις ιδιότητες ενός αντικειμένου ή ενός συστήματος

1.1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Όσον αφορά στους φυσικούς πόρους - πηγές που χρησιμοποιούμε για να την αποκτήσουμε, η ενέργεια διακρίνεται σε ανανεώσιμη και μη ανανεώσιμη ή συμβατική. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι οι παρακάτω :

Ηλιακή ενέργεια: είναι αυτή που λαμβάνεται από την ακτινοβολία του Ήλιου στη Γη και περνά από μια διαδικασία μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια για τη χρήση του. Είναι μια καθαρή και ανανεώσιμη ενέργεια.

Αιολική ενέργεια: η ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Γεωθερμική ενέργεια: είναι αυτή που εξάγεται από την εσωτερική θερμότητα της Γης, από τα υπεδάφη. Θεωρείται μία από τις καθαρότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς έχει ελάχιστο περιβαλλοντικό και τοπικό αντίκτυπο.

Υδροηλεκτρική ενέργεια: είναι αυτή που λαμβάνεται μέσω της δύναμης πτώσης των υδάτων. Ονομάζεται επίσης υδροηλεκτρική ή υδροηλεκτρική ενέργεια, η πιθανή ενέργεια από τους καταρράκτες μετατρέπεται μέσω στροβίλων σε ηλεκτρική ενέργεια.

Βιομάζα: είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων ή υπολειμμάτων βιολογικής προέλευσης, από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοπονία και τους συναφείς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας. Όπως επίσης και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών αποβλήτων και των οικιακών απορριμμάτων. Ουσιαστικά, η βιομάζα αποτελεί την ύλη που έχει άμεση ή έμμεση βιολογική (οργανική) προέλευση. Σε περίπτωση που η βιομάζα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας μιλάμε για στερεά, υγρά και αέρια βιοκαύσιμα. Παραδείγματα στερεών βιοκαυσίμων αποτελούν τα πέλλετ ξύλου, οι μπριγκέτες, τα πυρηνόξυλα, τα ροκανίδια, τα καυσόξυλα. Παραδείγματα υγρών βιοκαυσίμων αποτελούν η βιοαιθανόλη και το βιοντήζελ τα οποία έχουν συχνή εφαρμογή ως καύσιμα κίνησης

Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια: συνδυάζει την ηλεκτρική και τη φωτεινή ή ενέργεια ακτινοβολίας.

1.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια και υδροηλεκτρικό έργο

1.2.1 Αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας

Οι υδροστρόβιλοι είναι οι μηχανές μέσω των οποίων μετατρέπεται η ενέργεια του υγρού σε μηχανική ενέργεια, δηλαδή σε κινητήρια ροπή στην στρεφόμενη άτρακτο του δρομέα. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, εκτός κάποιων πολύ ειδικών περιπτώσεων, το διακινούμενο υγρό είναι το φυσικό νερό ενώ η ενέργεια την οποία διαθέτει είναι η δυναμική ενέργεια που εκφράζεται από τη στάθμη της θάλασσας. Η ενέργεια αυτή του υγρού, η οποία επιδιώκεται να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια μέσω του υδροστροβίλου, είναι ανανεώσιμη καθώς προέρχεται από μία φάση του υδρολογικού κύκλου, τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις). Κινητήρια δύναμη του υδρολογικού κύκλου είναι η δράση του ήλιου, οπότε συνάγεται ότι η υδραυλική ενέργεια προέρχεται και αυτή από την ηλιακή ενέργεια.

Μέρος της ποσότητας του νερού που προέρχεται από τις βροχοπτώσεις και την τήξη των χιονιών σε μια υδραυλική λεκάνη αποτελεί το επιφανειακό νερό των ποταμών και υδατορευμάτων γενικότερα. Το νερό αυτό, λόγω της βαρύτητας ρέει συνεχώς προς χαμηλότερες στάθμες μέχρι να καταλήξει στην στάθμη της θάλασσας. Κατά την φυσική αυτή ροή στην κοίτη του υδατορεύματος, η δυναμική ενέργεια του νερού συνεχώς υποβαθμίζεται και μετατρέπεται σε θερμότητα μέσω μηχανισμών υδραυλικών απωλειών, τύρβης και μεταφοράς υλικών. Εάν το νερό μίας φυσικής ροής συλληχθεί σε μία υψηλότερη στάθμη z_E , οδηγηθεί σε μία χαμηλότερη στάθμη z_A αφού διέλθει μέσω ενός υδροστροβίλου γίνεται δυνατή η μετατροπή της ανά μονάδα μάζας ενέργειας:

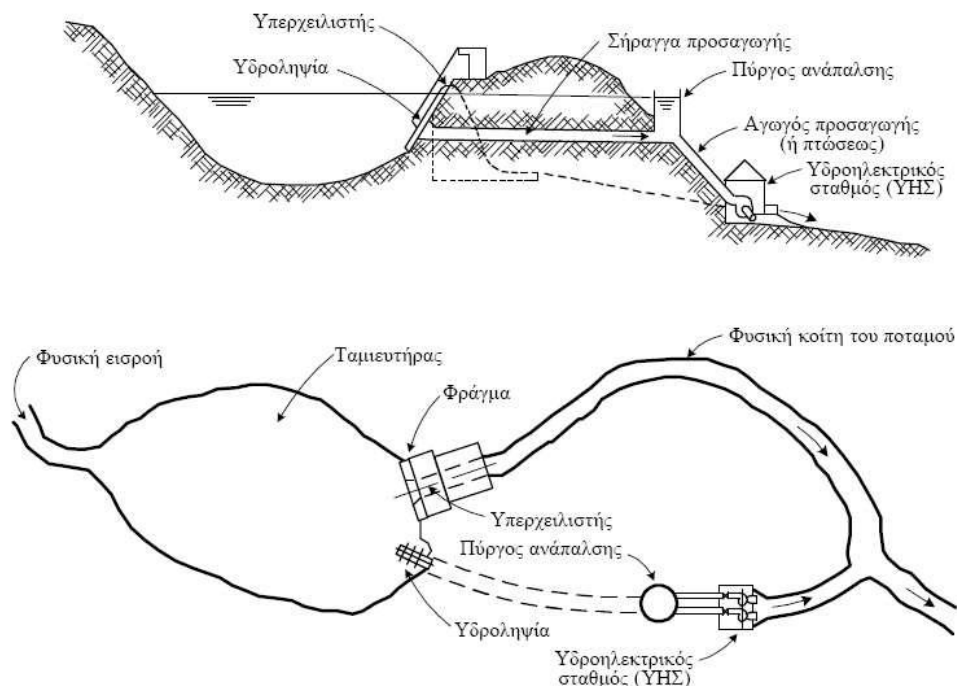
$$g * (z_E - z_A)$$

της διερχόμενης παροχής σε μηχανική ενέργεια, αφού αφαιρεθούν οι πάσης φύσεως απώλειες.

Επειδή η παραγόμενη με τον τρόπο αυτό μηχανική ενέργεια, δηλαδή κινητήρια ροπή στην στρεφόμενη άτρακτο, δεν είναι δυνατόν να μεταφερθεί ικανοποιητικά στον τόπο κατανάλωσης της μετατρέπεται επί τόπου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας συζευγμένης στην άτρακτο του υδροστροβίλου. Για τον λόγο αυτό το σύνολο των έργων και του εξοπλισμού μέσω των οποίων η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική και έπειτα σε ηλεκτρική ονομάζεται υδροηλεκτρικό έργο (ΥΗΕ). Γίνεται επίσης φανερό ότι για να είναι δυνατή αξιόλογη παραγωγή μηχανικής-ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να συνυπάρχουν τόσο σημαντική αφθονία επιφανειακών υδάτων (βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις, θαλασσινό νερό) όσο και σημαντικές υψομετρικές διαφορές, έντονο ανάγλυφο (βουνά) ώστε να είναι μεγάλη η ανά μονάδα μάζας ενέργεια του νερού. Σύμφωνα με τα προηγούμενα ένα ΥΗΕ αποτελείται από ένα σύνολο που το οποίο θα μπορούσε να διακριθεί σε έργα πολιτικού μηχανικού και σε ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Βασικός σκοπός των έργων πολιτικού μηχανικού είναι η συγκέντρωση της επιφανειακής ροής, η οδήγηση της μέσω των υδροστροβίλων ώστε να γίνει μετατροπή της ενέργειας του νερού σε μηχανική και τέλος η απαγωγή και οδήγηση της παροχής στην φυσική κοίτη όπου η παροχή συνεχίζει την φυσική της ροή σε χαμηλότερες στάθμες. Στα έργα πολιτικού μηχανικού περιλαμβάνονται και κατασκευές που αναφέρονται στην ασφάλεια των έργων και στην διαδικασία κατασκευής, καθώς και των έργων που σκοπό έχουν τη στέγαση και ασφάλεια του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, στον οποίο

περιλαμβάνονται οι υδροστρόβιλοι, οι γεννήτριες, οι μετασχηματιστές, οι ασφαλειοαποζεύκτες κλπ.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η αρχή διαμόρφωσης του υδροηλεκτρικού έργου εκτροπής.



Σχήμα 1.1: Αρχή διαμόρφωσης ΥΗΕ

1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΥΗΕ

Η σημαντική θέση της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην παραγωγή ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο είναι αποτέλεσμα των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν τα υδροηλεκτρικά έργα από τεχνικής, οικονομικής και οικολογικής πλευράς, τα σημαντικότερα των οποίων είναι:

Πλεονεκτήματα των ΥΗΕ

- Οι υδατοπτώσεις είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και έτσι δεν αντιμετωπίζουν ορατό κίνδυνο εξαντλήσεως τους, όπως αντιμετωπίζεται το ενδεχόμενο αυτό για τα συμβατικά καύσιμα.
- Τα ΥΕΑ δεν έχουν απόβλητα ή κατάλοιπα, δεν μολύνουν το περιβάλλον και δεν αυξάνουν την θερμοκρασία του νερού των ποταμών.
- Η κατασκευή τους συνδυάζεται συχνά και με άλλες διευθετήσεις όπως άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση πλημμύρας, αλιεία κλπ.
- Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις και αντιστοιχεί ουσιαστικά στις αποσβέσεις του έργου (το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι σημαντικά μικρότερο).
- Οι υδροστρόβιλοι είναι στιβαρές μηχανές που απαιτούν μικρή συντήρηση και επίβλεψη (ο προληπτικός έλεγχος γίνεται μετά από 5000 ώρες λειτουργίας περίπου) και για το λόγο αυτό το προσωπικό των ΥΗΕ είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με την εγκατεστημένη ισχύ (περίπου 25 άτομα για ΥΗΕ συνολικής ισχύος 300 MW).

- Για τις ανάγκες του ΥΗΕ κατασκευάζονται έργα υποδομής (δρόμοι, γέφυρες) που βοηθούν στην αξιοποίηση απομακρυσμένων περιοχών.
- Η διάρκεια ζωής των ΥΗΕ είναι μεγάλη, της τάξεως των 50 ετών για τα μεγάλα και 20-30 ετών για τα μικρά (ονομαστική ισχύς μικρότερη από 10 MW). Η διάρκεια ζωής μπορεί να γίνει μεγαλύτερη με την ανανέωση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.
- Το πιο σημαντικό και αναντικατάστατο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα πολύ γρήγορης παραλαβής και απόρριψης φορτίου έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας και η κάλυψη των αιχμών ζήτησης του διασυνδεδεμένου δικτύου. Τον ρόλο αυτό αναλαμβάνουν τα μεγάλης ισχύος υδροηλεκτρικά έργα αποθήκευσης (αυτών που το φράγμα δημιουργεί δεξαμενή μεγάλης χωρητικότητας). Από οικονομικής πλευράς η δυνατότητα αυτή είναι πολύ σημαντική επειδή το κόστος της KWH αιχμής είναι πολλαπλάσιο της KWH βάσεως. Σ' αυτό ακριβώς το πλεονέκτημα των ΥΗΕ βασίζεται η κατασκευή αναστρέψιμων μονάδων οι οποίες κατά τη διάρκεια της χαμηλής ζήτησης (νύχτα) λειτουργούν αντλώντας νερό από τον κάτω ταμιευτήρα προς τον άνω αποταμιεύοντα ενέργεια, την οποία είναι έτοιμα να αποδώσουν κατά τις ώρες αιχμής.

Μειονεκτήματα των ΥΗΕ

- Έχουν μεγάλη διάρκεια κατασκευής (της τάξεως των 7-10 ετών για μεγάλα ΥΗΕ) ενώ επίσης μεγάλη είναι η διάρκεια των μελετών και συλλογής υδρολογικών και γεωλογικών στοιχείων τα οποία πρέπει να είναι τόσο πιο πλήρη και αξιόπιστα όσο μεγαλύτερο είναι το έργο.
- Έχουν πού υψηλό κόστος (1.500-4.000 €/KW) και γι' αυτό απαιτούν την διάθεση πολύ μεγάλων κεφαλαίων.
- Η κατασκευή τους προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων υδατοπτώσεων και μεγάλων παροχών. Για το λόγο αυτό η θέση τους είναι πολλές φορές πολύ μακριά από την κύρια ζήτηση γεγονός που απαιτεί σημαντικά έργα για τη μεταφορά και τη διάθεση της ενέργειας.

1.2.3 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα

Με τον όρο αναστρέψιμα ΥΗΕ ή ΥΗΕ αποταμίευσης εννοούνται τα ΥΗΕ που έχουν την δυνατότητα λειτουργίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (λειτουργία υδροστροβίλου) καθώς και την δυνατότητα άντλησης (ή αποταμίευσης) του νερού από τον κάτω ταμιευτήρα στον πάνω (Σχήμα 2). Η άντληση του νερού γίνεται κατά την διάρκεια των ωρών ή ημερών χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από την περίσσεια ενέργειας των μεγάλων θερμικών (συμβατικών ή πυρηνικών) ή υδροηλεκτρικών μονάδων βάσεως (κατά την ροή του ποταμού). Οι μονάδες παραγωγής βάσεως, ιδιαίτερα οι μεγάλοι μεγέθους θερμικές μονάδες, δεν έχουν δυνατότητα γρήγορης μεταβολής του φορτίου τους έτσι ώστε η παραγόμενη από αυτές ηλεκτρική ισχύς να μπορεί να παρακολουθεί την καμπύλη ζήτησης από ένα ηλεκτρικό δίκτυο, η οποία παρουσιάζει έντονες μεταβολές από ώρα σε ώρα και ημέρα σε ημέρα. Κατά την διάρκεια μίας ημέρας θα υπάρχουν ώρες κατά τις οποίες η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες βάσης θα είναι μεγαλύτερη

από την ζήτηση (πχ. Κατά τις μεταμεσονύκτιες ώρες), οπότε με την περίσσεια αυτή του δικτύου πραγματοποιείται η άντληση στα αναστρέψιμα ΥΗΕ. Επίσης θα υπάρχουν διαστήματα που συμβαίνει το αντίθετο: η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή των μονάδων βάσεως, ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής. Η έλλειψη ενέργειας του δικτύου στις ώρες αιχμής καλύπτεται κατά σειρά ως εξής:

- με την λειτουργία ΥΗΕ με μεγάλο ταμιευτήρα αποταμίευσης
- με την λειτουργία αναστρέψιμο ΥΗΕ
- με την λειτουργία αεριοστροβίλων και
- με την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γειτονικές χώρες

Η προηγούμενη σειρά προτεραιότητας εκφράζει το κόστος παραγωγής της μονάδας ενέργειας αιχμής (σημειώνεται ότι ο βαθμός απόδοσης αεριοστροβίλων είναι πολύ χαμηλός, της τάξεως του 30% και για τον λόγο αυτό το κόστος της ΚWh αιχμής είναι πολύ υψηλό).

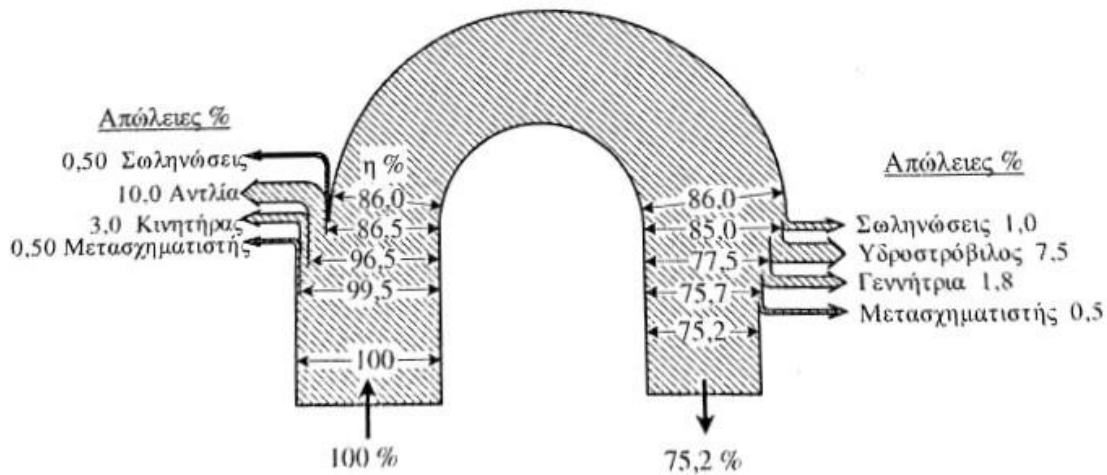
Τα αναστρέψιμα ΥΗΕ έχουν λοιπόν διπλό όφελος:

- απορροφούν την περίσσεια ενέργειας κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντας την σε υδραυλική ενέργεια η οποία αποθηκεύεται στον πάνω ταμιευτήρα και
- αποδίδουν στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής την ενέργεια που έχουν αποταμιεύσει, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις, παράγουν και πρωτογενή ενέργεια από την αξιοποίηση των φυσικών εισροών στον άνω ταμιευτήρα.



Σχήμα 1.2: Διαμόρφωση αναστρέψιμου ΥΗΕ

Φυσικά η διαδικασία αυτή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική (άντληση) και το αντίστροφο (λειτουργία υδροστροβίλων) συνοδεύεται με απώλειες ενέργειας. Παρ' όλα αυτά η επένδυση είναι συμφέρουσα λόγω της σημαντικής διαφοράς στο κόστος της μονάδας ενέργειας αιχμής και βάσεως. Οι συνολικές απώλειες ενέργειας σε ένα κύκλο άντλησης-παραγωγής φθάνει στο 23% περίπου για ΥΗΕ μεγάλου μεγέθους όπως βλέπουμε παρακάτω στο γράφημα του σχήματος 3. Όπως είναι αναμενόμενο οι συνολικές απώλειες ενέργειας είναι αναλογικά μεγαλύτερες όσο το μέγεθος των μηχανών γίνεται μικρότερο.



Σχήμα 1.3: Γράφημα απωλειών ενέργειας σε ένα κύκλο άντλησης-παραγωγής ενέργειας σε αναστρέψιμο ΥΗΕ

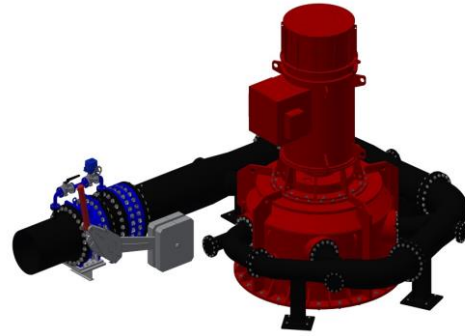
1.2.4 Υδροστρόβιλοι

Ο υδροστρόβιλος αποτελεί τη βασικότερη μονάδα κάθε υδροηλεκτρικού συστήματος καθώς αναλαμβάνει να μετατρέψει την μηχανική ενέργεια του νερού σε περιστροφική. Η ενέργεια μεταφέρεται από ο ρεύμα του νερού με το οποίο έρχεται σε επαφή σε κατάλληλες διαμορφωμένες υδραυλικές επιφάνειες (σκαφίδια ή πτερύγια).

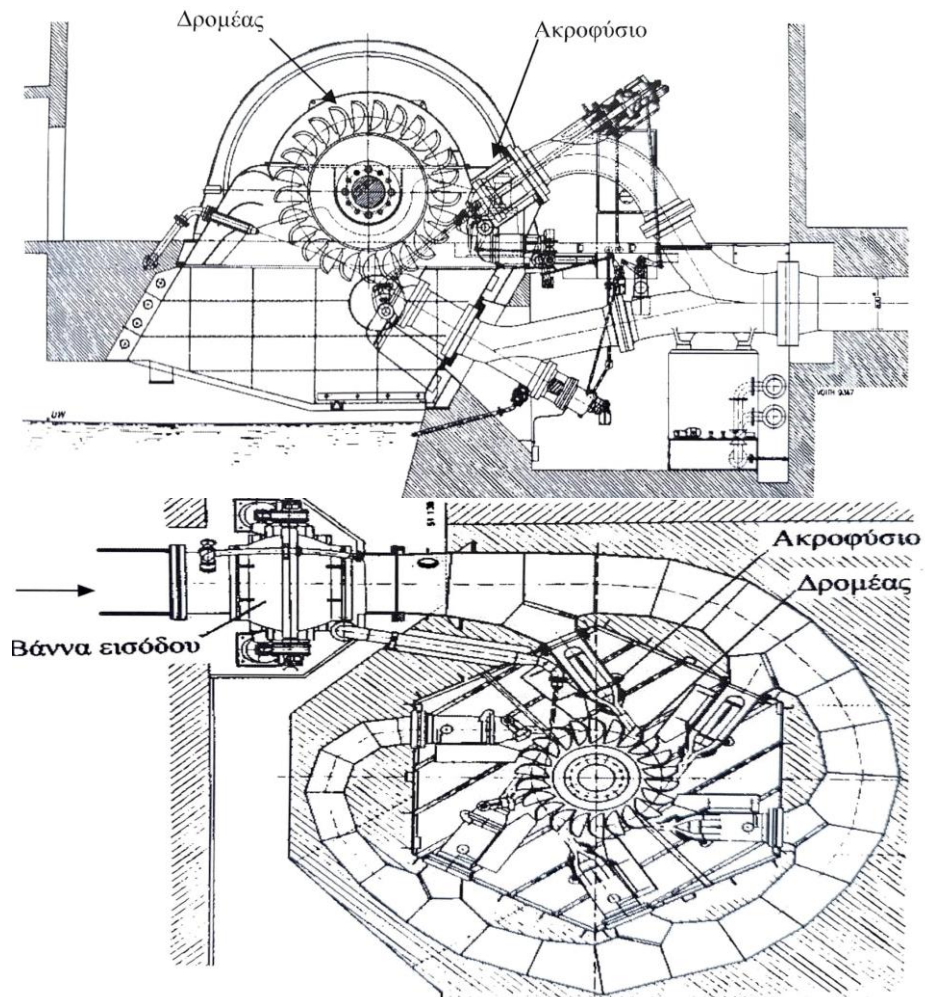
Η επιλογή του τύπου και του μεγέθους του υδροστρόβιλου γίνεται με σκοπό την επίτευξη του βέλτιστου βαθμού απόδοσης, γεγονός που οδηγεί στη μέγιστη παραγωγή ισχύος και στην εκμετάλλευση όσο μεγαλύτερης παροχής είναι οικονομικά συμφέρουσα σε σχέση με την καμπύλη διάρκειας παροχής. Η κύρια παράμετρος σχεδιασμού ενός υδροστρόβιλου είναι η ονομαστική (μέγιστη) παροχή του. Για τη βελτιστοποίηση του συνολικού βαθμού απόδοσης του έργου χρησιμοποιούνται πολλές φορές πάνω από ένας υδροστρόβιλοι έτσι ώστε κάθε φορά να επιλέγεται η λειτουργία που παρέχει συνδυαστικά τον καλύτερο βαθμό απόδοσης.

Οι υδροστρόβιλοι ανάλογα του τρόπου παραλαβής της ενέργειας του νερού, διακρίνονται σε:

- **Υδροστρόβιλος δράσης ή ισοθλιπτικός (τύπου Pelton).** Η διαθέσιμη (κυρίως δυναμική) ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική υπό ατμοσφαιρική πίεση, με τη βοήθεια του ακροφύσιου εξόδου του αγωγού παραγωγής. Η υδάτινη δέσμη του νερού που κατέχει πλέον μόνο κινητική ενέργεια προσκρούει πάνω στα σκαφίδια χωρίς να τα γεμίζει εντελώς και βγαίνει από αυτά με καινούρια διεύθυνση, αφού κατά τα ροή του πάνω σε κάθε πτερύγιο ακολουθεί τη διαμόρφωση της επιφάνειας του σκαφιδίου. Τα σκαφίδια είναι προσαρμοσμένα περιμετρικά στο στροφέιο του υδροστρόβιλου το οποίο περιστρέφεται λόγω του πλήγματος που δέχεται από την εκτροπέομη στα σκαφίδια του υδάτινη δέσμη, με τη στατική πίεση του νερού να παραμένει σταθερή στο χώρο της πτερωτής.

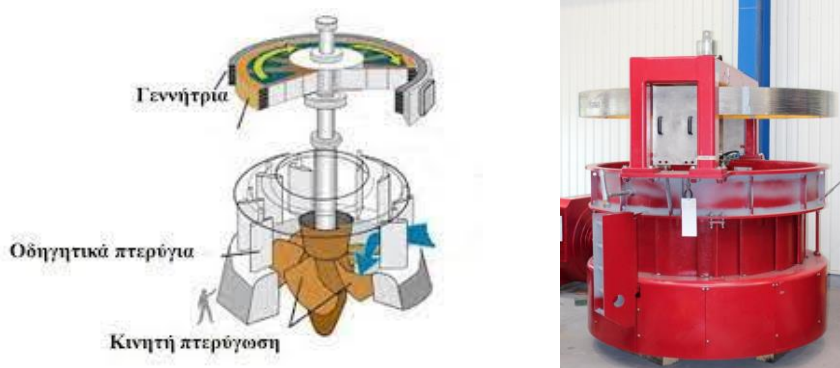


Εικόνα 1.1: Σκαφίδια και ακροφύσιο υδροστρόβιλου Pelton (εσωτερικό) (αριστερά), Υδροστρόβιλος Pelton (κάθετη διάταξη) (δεξιά)

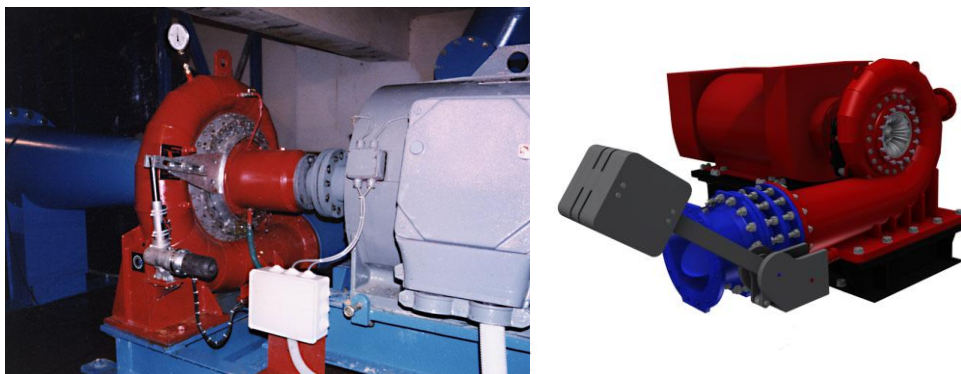


Σχήμα 1.4: Διάταξη υδροστρόβιλου Pelton οριζόντιου άξονα με 2 δέσμες (πάνω σχήμα), διάταξη υδροστρόβιλου Pelton κατακόρυφου άξονα με περισσότερες δέσμες (κάτω σχήμα)

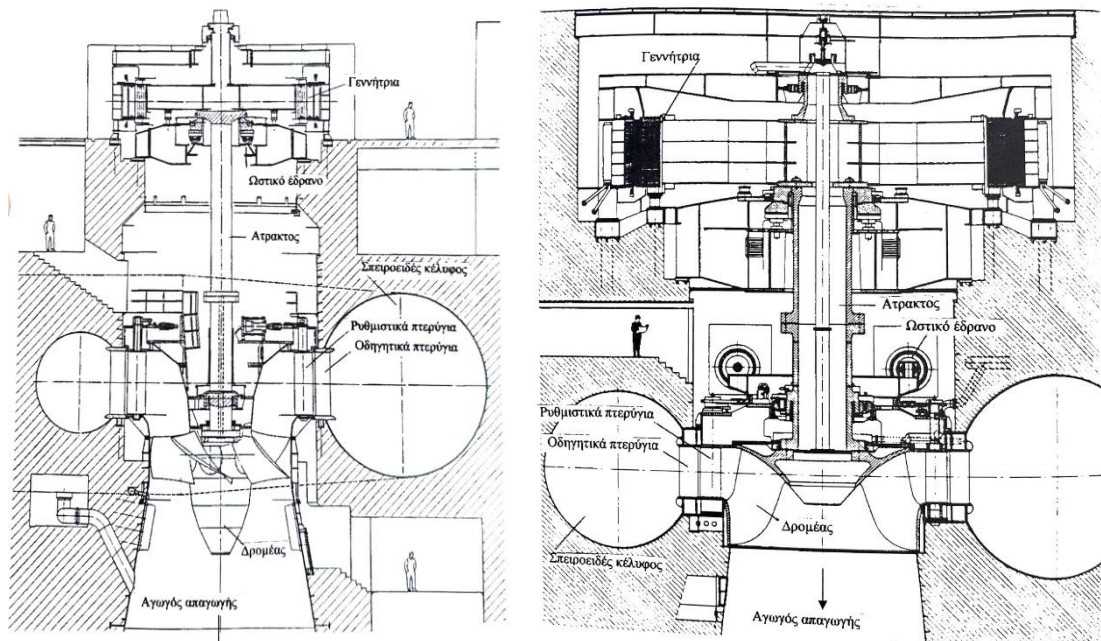
- Υδροστρόβιλος αντίδρασης (τύπου Kaplan, Francis),** στους οποίους το νερό κατέχει κυρίως δυναμική ενέργεια. Μέρος της δυναμικής ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική όταν περάσει μέσα από τα πτερύγια στο εσωτερικό σώμα του κελύφους όπου μέρος της διαθέσιμης πίεσης μετατρέπεται σε ταχύτητα και στη συνέχεια πέφτει πάνω στα πτερύγια του στροφείου. Εκεί, στο μεταξύ των πτερυγίων του στροφείου χώρο, το νερό λόγω της υφιστάμενης υπερπίεσης που έχει αρχικά, επιταχύνεται εξερχόμενο από τα πτερύγια του στροφείου με μεγαλύτερη ταχύτητα και βέβαια μικρότερη πίεση. Έτσι το εξερχόμενο από τα πτερύγια του στροφείου νερού παράγει εξ αντιδράσεως μία συνιστώσα δύναμη μία συνιστώσα δύναμη εφαπτομενικής διεύθυνσης. Στο είδος αυτό των υδροστρόβιλων μέρος μόνο της δυναμικής του ενέργειας του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο παραμένει σαν δυναμική υπό τη μορφή πίεσης. Έτσι το νερό κατά τη διέλευσή του μέσα από τα κινητά και σταθερά πτερύγια περνάει με πίεση καταλαμβάνοντας ολόκληρο το διαθέσιμο χώρο χωρίς να αφήνει κενά. Δηλαδή στους υδροστρόβιλους αντίδρασης η παραγωγή ισχύος οφείλεται κυρίως στη δυναμική ενέργεια και λιγότερο στην κινητική ενέργεια που διαθέτει το νερό σε αντίθεση με τους υδροστρόβιλους δράσης που εκμεταλλεύονται τη μοναδική ενέργεια που διαθέτει το νερό λίγο πριν την πρόπτωση του στον υδροστρόβιλο και αυτή είναι η κινητική. Το νερό κατά την έξοδο του από τον υδροστρόβιλο μπορεί να εκρέει υπό πίεση μέχρι και 8m ύψους στήλης νερού. Για το λόγο αυτό απαιτείται κατά την έξοδο η δημιουργία κατάλληλου αγωγού εκκένωσης (διαχύτης).



Εικόνα 1.2: Υδροστρόβιλος Kaplan



Εικόνα 1.3: Υδροστρόβιλος Francis



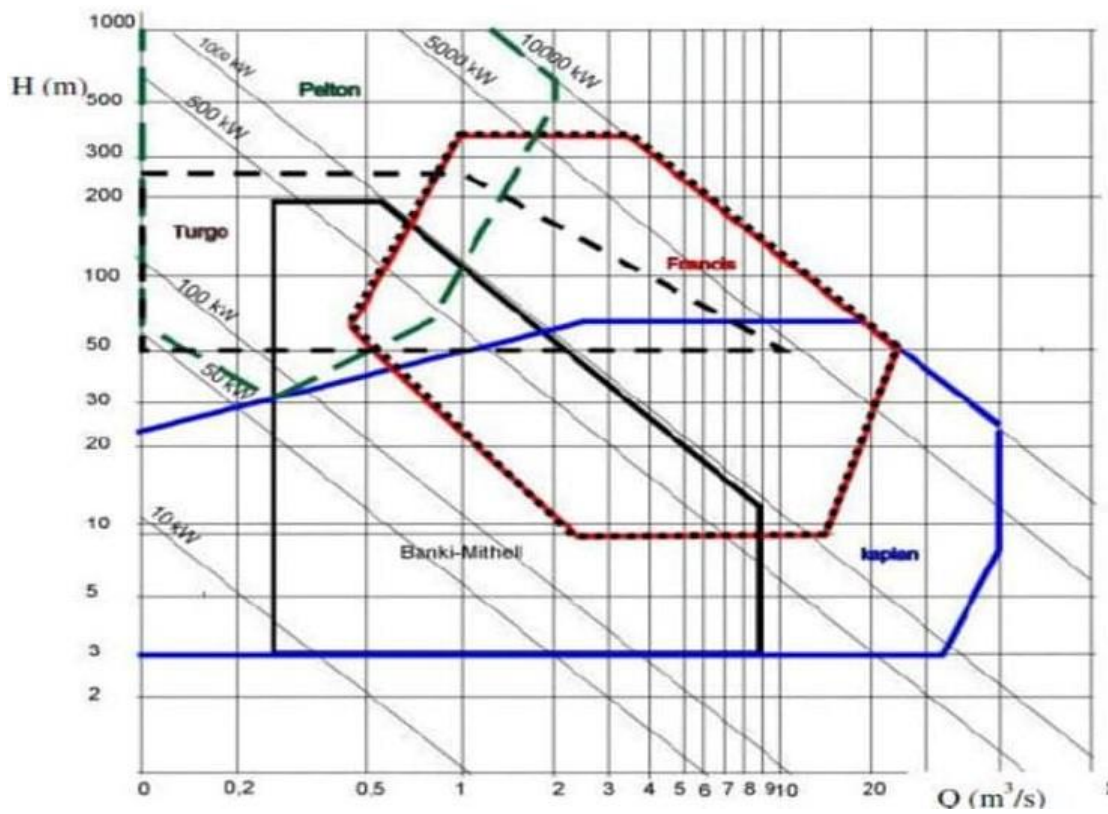
Σχήμα 1.5: Αριστερά - Υδροστρόβιλος Kaplan ΥΗΕ Jebba (Νιγηρία) κατασκευής Sultzer-Etcer Wyss (1983)
 Δεξιά - Υδροστρόβιλος Francis ΥΗΕ Itairu (Βραζιλία), σχεδίασης-κατασκευής Neyrpic και Voith (1984)

Χαρακτηριστικά τύπων υδροστροβίλων:

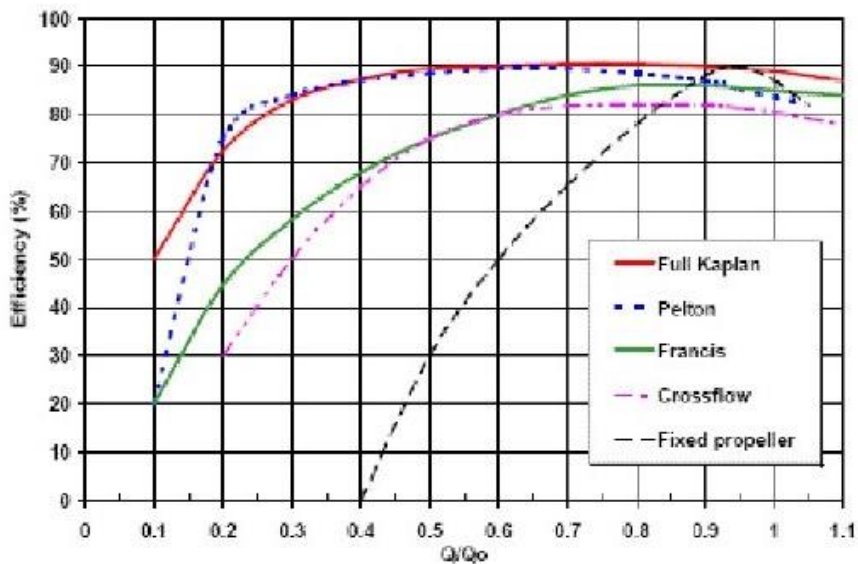
- Pelton
 - ανθεκτική και απλή κατασκευή
 - χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης
 - μικρός όγκος
 - σταθερή λειτουργία σε μεταβλητές παροχές
 - υψηλή απόδοση
- Francis
 - μικρός όγκος
 - υψηλές στροφές λειτουργίας
- Kaplan
 - κατάλληλος για υψηλές ροές

1.2.5 Επιλογή τύπου υδροστροβίλου και απόδοση

Για την επιλογή του πιο αποδοτικού και αξιόπιστου υδροστρόβιλου, για μια δεδομένη παροχή και υδραυλικό ύψος, λαμβάνονται υπόψη οι περιοχές λειτουργίας του κάθε τύπου υδροστροβίλου. Όπως αυτές φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 1.6: Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου για δεδομένη παροχή και καθαρό υδραυλικό



Σχήμα 1.7: Βαθμός απόδοσης διαφόρων τύπων υδροστροβίλων

1.2.6 Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αναστρέψιμων ΥΗΕ

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια νέα ανάγκη για την κατασκευή μονάδων αποταμίευσης ενέργειας, ισχύος μέχρι 15-20MW. Πρόκειται για τα υβριδικά συστήματα που κατασκευάζονται σε αυτόνομα δίκτυα (όπως τα νησιά) που σκοπό έχουν να απορροφούν την απορριπτόμενη ενέργεια που παράγουν αιολικά πάρκα λόγω ορίου διείσδυσης στο δίκτυο και ταυτόχρονα να τροφοδοτούν το δίκτυο με εγγυημένη ενέργεια. Σε αυτή την περιοχή ισχύος ο εξοπλισμός του συστήματος απαρτίζεται από μία σειρά παράλληλα συνδεδεμένων αντλιών, κάθε μία με τον κινητήρα της, σταθερών ή μεταβλητών στροφών, και ανεξάρτητο ή ανεξάρτητους υδροστρόβιλους κάθε ένα με την δική του γεννήτρια. Το πλεονέκτημα είναι η ευκολία χειρισμών, η προμήθεια τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, όμως σε αντάλλαγμα η διαμόρφωση του σταθμού γίνεται πολύπλοκη.

1.3 Αντλίες

Αντλίες ονομάζονται οι ρευστοδυναμικές μηχανές που σκοπός τους είναι η διακίνηση υγρών όπως νερού, λαδιού, παράγωγων του πετρελαίου, γάλακτος, από μία δεξαμενή σε μία άλλη που βρίσκεται σε μεγαλύτερη συνήθως στάθμη από την πρώτη. Ως δεξαμενή μπορεί να θεωρηθεί μία λίμνη, η θάλασσα, ένας ποταμός, δοχείο πίεσης. Στην γενική περίπτωση η διακίνηση του ρευστού μεταξύ των δύο δεξαμενών γίνεται μέσω σωλήνωσης στην οποία παρεμβάλλεται η αντλία: η διατομή εισόδου (αναρρόφησης) συνδέεται προς την πλευρά της δεξαμενής από την οποία γίνεται η αναρρόφηση και η διατομή εξόδου (κατάθλιψης) με την δεξαμενή προς την οποία καταθλίβεται το ρευστό. Η αντλία προσδίδει ενέργεια στο ρευστό η οποία αντιστοιχεί στην ενεργειακή αναβάθμιση του υγρού μεταξύ δεξαμενής κατάθλιψης και δεξαμενής αναρρόφησης (λόγω διαφορά στάθμης και διαφοράς στατικής πίεσης) και στην ενέργεια που δαπανάται λόγω των υδραυλικών απωλειών που αναπτύσσονται στη σωλήνωση μέσω της οποίας γίνεται η διακίνηση του υγρού. Έτσι όταν μία αντλία λειτουργεί μετατρέπει τη διαθέσιμη σ' αυτή μηχανική ενέργεια, σε δυναμική, κινητική και θερμική ενέργεια του υγρού που μεταφέρει.



Εικόνα 1.4: Φυνοκεντρική

1.3.1 Ταξινόμηση αντλιών με βάση την αρχή λειτουργίας

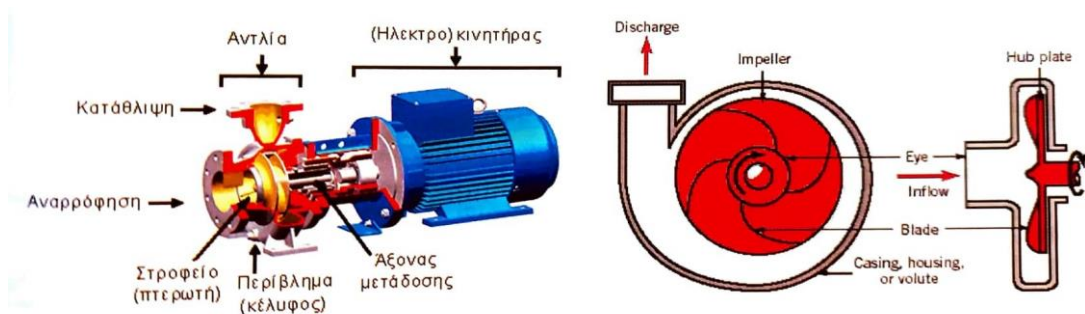
Οι αντλίες ταξινομούνται σε Δυναμικές και Θετικής Μετατόπισης.

Δυναμικές Αντλίες

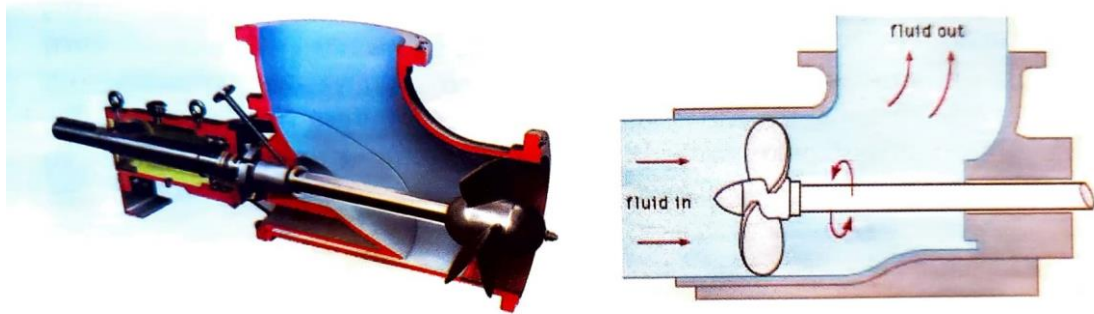
Η λειτουργία των δυναμικών αντλιών στηρίζεται στη μεταβολή της κινητικής κατάστασης του υγρού και τη μετατροπή της κινητικής του ενέργειας σε στατική πίεση. Χαρακτηριστικά:

- Καλή απόδοση, μικρός όγκος και βάρος.
- Εύκολη σύνδεση με διάφορους τύπους κινητήρων.
- Συνεχή και ομοιόμορφη περιστροφική κίνηση με μικρό αριθμό κινούμενων μερών.
- Σταθερή πίεση και παροχή στην έξοδο.
- Ρυθμιζόμενη παροχή.
- Μικρό κόστος κτήσης και λειτουργίας.

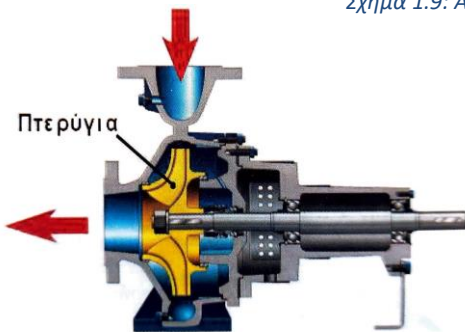
Διακρίνονται σε Φυγοκεντρικές, Αντλίες αξονικής ροής, Αντλίες μεικτής ροής, Αναγεννητικές.



Σχήμα 1.8: Φυγοκεντρική αντλία



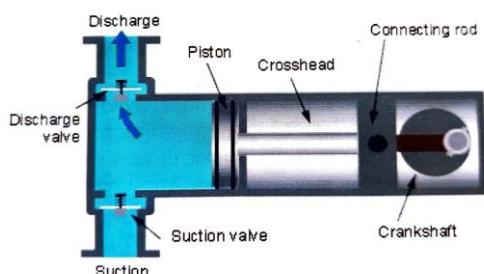
Σχήμα 1.9: Αντλία αξονικής



Σχήμα 1.10: Αντλία μκτής

Αντλίες θετικής μετατόπισης

Οι αντλίες αυτές παραλαμβάνουν το υγρό από το σωλήνα αναρρόφησης και το μετατοπίζουν ή εκτοπίζουν προς το σωλήνα κατάθλιψης με κάποιο είδος κινούμενο εμπόλου ή οδόντωσης, που κινείται μέσα σε κύλινδρο ή ειδικό περίβλημα. Το υγρό εξαναγκάζεται να μετατοπισθεί ανεξάρτητα από την υδραυλική αντίσταση των σωλήνων μεταφοράς του. Οι αντλίες θετικής μετατόπισης ανάλογα με το στοιχείο που μετατοπίζεται διακρίνονται σε Εμβολοφόρες ή Παλινδρομικές και Περιτροφικές.



Σχήμα 1.11: Εμβολοφόρα αντλία

1.4 Αιολική ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Ο άνεμος προκαλείται από τρία γεγονότα, την θέρμανση της ατμόσφαιρας από τον ήλιο, την περιστροφή της γης και την ανομοιογένεια της επιφάνειας της γης. Ο αέρας σε συνθήκες υψηλής πίεσης κινείται προς περιοχές με χαμηλή πίεση, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά στην πίεση, τόσο πιο γρήγορα ρέει ο αέρας και τόσο δυναμώνει ο άνεμος. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζεται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου. Η αιολική ενέργεια είναι μια βιώσιμη και ανανεώσιμη ενέργεια και έχει πολύ μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον σε σύγκριση με την καύση ορυκτών καυσίμων, γι' αυτό αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» της είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιολογικά.

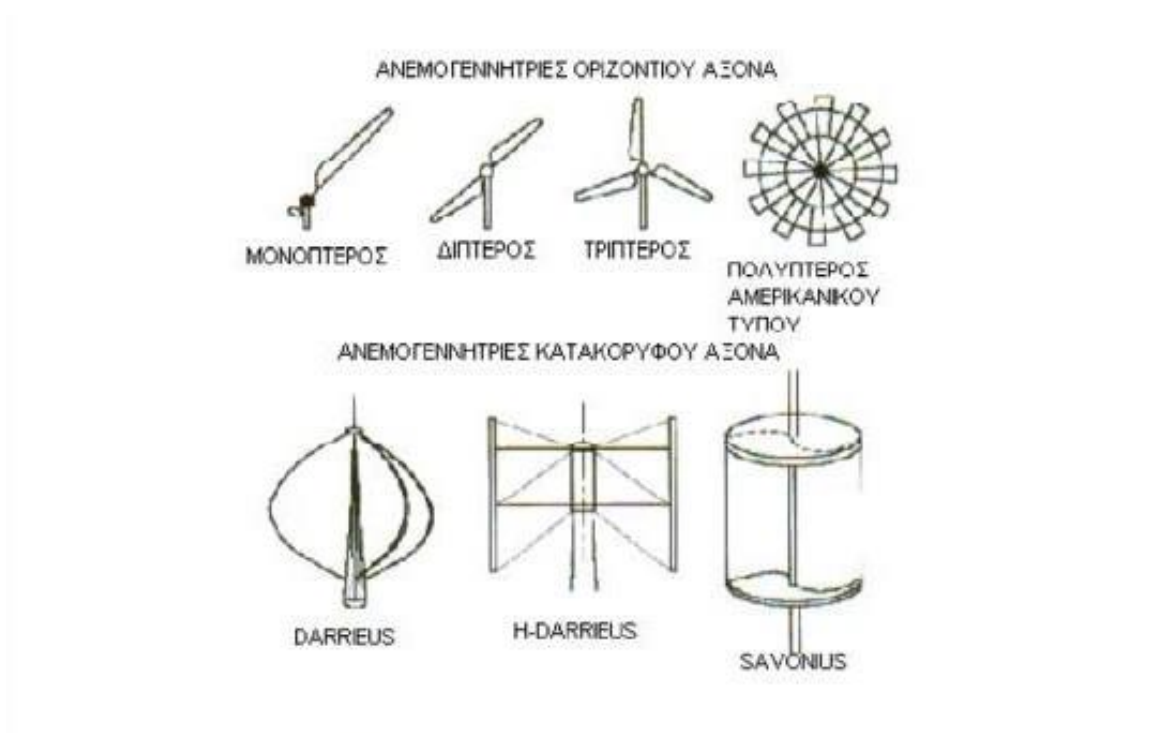
Ο άνεμος είναι μια διακοπτόμενη πηγή ενέργειας, η οποία δεν μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό ούτε να αποστέλλεται κατόπιν ζήτησης. Παρέχει επίσης μεταβλητή ισχύ, η οποία είναι σταθερή συνολικά από έτος σε έτος, χωρίς δηλαδή σημαντικές διακυμάνσεις αλλά ποικίλλει σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιείται μαζί με άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας ή να αποθηκεύεται με σκοπό την παροχή αξιόπιστης και συνεχούς τροφοδοσίας. Όταν αυξάνεται το ποσοστό της αιολικής ενέργειας σε μια περιοχή, απαιτούνται συμβατικές πηγές ενέργειας για την υποστήριξη (όπως η ενέργεια από ορυκτά καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια). Για να μπορέσει να λειτουργήσει όμως ένα τέτοιο δίκτυο, ενδέχεται να χρειάζεται αναβάθμιση. Αυτή η αναβάθμιση μπορεί να επιτευχθεί με τεχνικές διαχείρισης ισχύος, όπως είναι η ύπαρξη πηγών τροφοδοσίας, η

υδροηλεκτρική ενέργεια, η πλεονάζουσα χωρητικότητα, οι γεωγραφικά κατανομημένοι στρόβιλοι, η εξαγωγή και εισαγωγή ισχύος σε γειτονικές περιοχές, η αποθήκευση ενέργειας ή ακόμα και η μείωση της ζήτησης όταν η παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι χαμηλή. Σημαντική βοήθεια προσφέρει η πρόγνωση του καιρού, η οποία επιτρέπει στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας να προετοιμαστεί για τις προβλέψιμες διακυμάνσεις που συμβαίνουν στην παραγωγή.

1.4.1 Ανεμογεννήτριες

Η ανεμογεννήτρια είναι μια συσκευή η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου, σε ηλεκτρισμό. Πολλές ανεμογεννήτριες μαζί αποτελούν ένα αιολικό πάρκο οι οποίες τροφοδοτούν με ενέργεια το ηλεκτρικό δίκτυο. Τις ανεμογεννήτριες μπορεί κανείς να τις συναντήσει κυρίως στη στεριά. Σε αρκετά μέρη του κόσμου, όπως στη βόρεια Ευρώπη υπάρχουν ανεμογεννήτριες και στη θάλασσα. Η ποικιλομορφία είναι μεγάλη, ανάλογα με το σχήμα και το μέγεθός τους. Ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι εκείνος με τα τρία περύγια τοποθετημένα σε έναν οριζόντιο άξονα. Η ισχύς τους κυμαίνεται από μικρή των λίγων kW έως μεγάλη των 12 MW. Τοποθετούνται σε διάφορες περιοχές: σε λόφους, σε πεδιάδες, θεμελιωμένες στον πυθμένα της θάλασσας (πακτωμένες) ή μπορεί να συναντήσουμε και πλωτές ανεμογεννήτριες στους ωκεανούς.

Τύποι ανεμογεννητριών:



Εικόνα 1.5: Τύποι

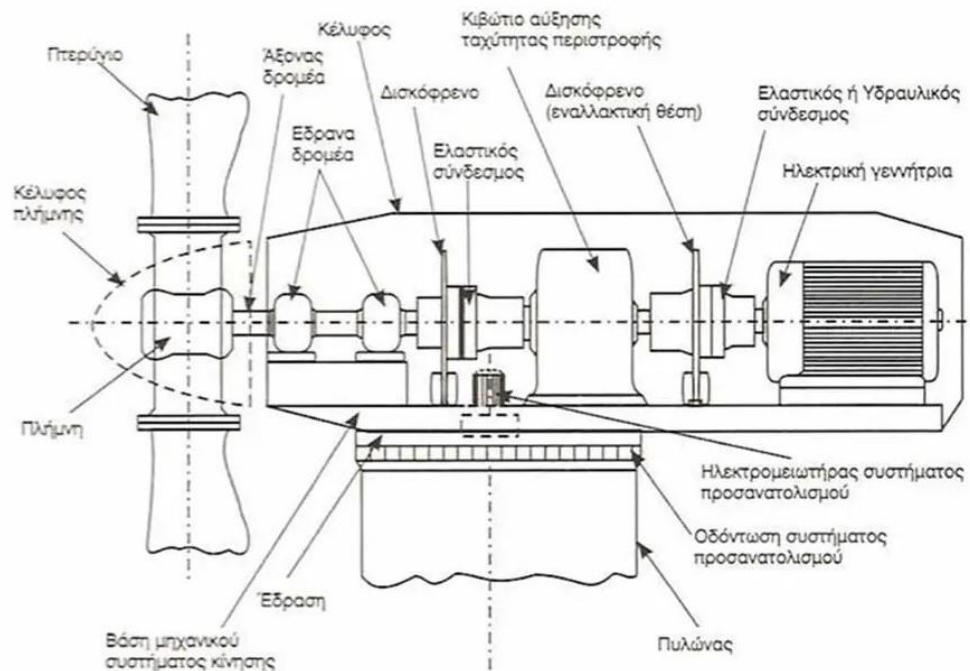
Τρεις μεταβλητές καθορίζουν πόση ενέργεια μπορεί να παράγει μια ανεμογεννήτρια:

- Η ταχύτητα του ανέμου -δυνατότεροι άνεμοι μας επιτρέπουν να παράγουμε περισσότερη ενέργεια. Οι ψηλότερες ανεμογεννήτριες είναι πιο κατάλληλες σε

δυνατούς ανέμους. Οι ανεμογεννήτριες παράγουν ηλεκτρισμό σε ταχύτητες του ανέμου 4 – 25 μέτρα το δευτερόλεπτο.

- Το μήκος πτερυγίων -όσο πιο μεγάλα είναι τα πτερύγια (μεγάλη επιφάνεια σάρωσης αέρα) τόσο περισσότερος ηλεκτρισμός μπορεί να παραχθεί. Ο διπλασιασμός του μήκους των πτερυγίων, μπορεί να συνεπάγεται τον τετραπλασιασμό της παραγωγής ενέργειας.
- Η πυκνότητα του αέρα -Ο πυκνός αέρας κινεί πιο εύκολα τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα

Τα μέρη της ανεμογεννήτριας:



Σχήμα 1.12: Εξαρτήματα μίας ανεμογεννήτριας

1.5 Αποθήκευση ενέργειας και τρόποι αποθήκευσης

Η αποθήκευση της ενέργειας αποτελεί με τον έναν ή τον άλλο τρόπο τόσο μια φυσική διεργασία (π.χ. δημιουργία ορυκτών καυσίμων), όσο και μια τεχνητή μέθοδο για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών του ανθρώπου. Η ταξινόμηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι αρκετά περίπλοκη. Μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το σκοπό του συστήματος (π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος), ανάλογα με τη μορφή της ενέργειας που αποθηκεύεται ή ανάλογα με το αν τα συστήματα αυτά είναι κινητά ή σταθερά.

Τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρισμού μπορούν να ταξινομηθούν ως:

1. Δυναμική Ενέργεια
 - Άντληση νερού
 - Συμπιεσμένος αέρας
 - Ελατήρια
2. Κινητική Ενέργεια
 - Σφόνδυλοι
3. Χημική Ενέργεια
 - Συνθετικά καύσιμα (από τον γαιάνθρακα, υγρά και αέρια, και από τη βιομάζα)
 - Ηλεκτροχημικές ενεργειακές πηγές (Συσσωρευτές, Υδρογόνο - υγρό ή αέριο-, στοιχεία καυσίμων)

1.5.1 Αντλησιοταμίευση

Η αρχή της μεθόδου είναι απλή. Χρησιμοποιεί την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας (κατά τη διάρκεια χαμηλής ζήτησης) για να μεταφέρει νερό από ένα χαμηλότερο σε έναν υψηλότερο υδάτινο ταμιευτήρα (τεχνητό ή φυσικό) κατά τη διάρκεια της νύχτας που υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής ισχύος. Η ανάκτηση της ενέργειας εξαρτάται από τον όγκο του νερού και από το ύψος πάνω από τον στρόβιλο. Για να είναι αποδοτική η αντλησιοταμίευση απαιτείται τουλάχιστον 100 m ύψος, ενώ συνήθως ο κατώτερος ταμιευτήρας είναι τεχνητός (με εκσκαφή). Η μονάδα δεν επηρεάζει τη φυσική ροή της λίμνης, ενώ περιορίζεται η συγκέντρωση ιζημάτων στον πυθμένα του ταμιευτήρα. Επειδή η υδροϊσχύς έχει απόδοση περίπου 80-90%, η συνολική απόδοση της μεθόδου ανέρχεται σε 65-70% (και ίσως λίγο λιγότερο, γιατί η απόδοση για την ανύψωση του νερού είναι μικρότερη από 0,8). Η μέθοδος εφαρμόζεται από το 1929 στις Η.Π.Α. και σήμερα ακόμη παραμένει ουσιαστικά η κυριότερη, σχεδόν η μοναδική, μέθοδος αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεγαλύτερη εγκατάσταση στον κόσμο βρίσκεται στη Virginia ισχύος 3GW.



Εικόνα 1.6: Άνω και κάτω ταμιευτήρας στο Bath County της Virginia στις

1.5.2 Ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας

Η αποθήκευση ενέργειας και κυρίως η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ σημαντική στις μέρες μας. Σήμερα ουσιαστικά χρησιμοποιούμε αποθηκευμένη ενέργεια με τη μορφή των Ορυκτών Καυσίμων, τα οποία αποτελούν εξέλιξη της αποθήκευσης της βιομάζας. Αλλά και η αποθήκευση των συμβατικών καυσίμων (σε δεξαμενές, σε υπόγειες στοές για το φυσικό αέριο, στο ντεπόζιτο της βενζίνης του αυτοκινήτου) αποτελεί μορφή αποθήκευσης ενέργειας. Αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει δυνατή η αξιοποίηση των περισσότερων ΑΠΕ και, ιδιαίτερα, της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Μόνο με αξιόπιστα συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας μπορούν να λειτουργήσουν τα αυτόνομα συστήματα ΑΠΕ, αλλά και να επιτευχθεί η ενσωμάτωση σε μεγάλη κλίμακα της ηλεκτρικής ισχύος από τις ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Είναι σημαντική για την εξισορρόπηση της ηλεκτρικής ισχύος από τις εταιρίες ηλεκτροπαραγωγής: οι σταθμοί παραγωγής λειτουργούν αποδοτικότερα με σταθερή παραγωγή και για να καλύψουν ώρες αιχμής θα ήταν επιθυμητή η αποθήκευση της περίσσειας στα χρονικά διαστήματα με μικρότερη κατανάλωση. Η αποθήκευση ηλεκτρισμού μπορεί να μειώσει το λειτουργικό κόστος μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον βοηθά στο πρόβλημα της «ποιότητας» του ηλεκτρισμού, δηλαδή να μειώνει τις διακυμάνσεις του δυναμικού, της έντασης ή της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος. Η διαθεσιμότητα αξιόπιστης αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας θα οδηγήσει στη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων, τουλάχιστον μέσα στις πόλεις, με προφανή θετική επίδραση στο περιβάλλον της πόλης. Ακόμα μπορεί να καλύψει τους καταναλωτές σε περιπτώσεις διακοπών (συστήματα UPS) και για τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας στις ώρες αιχμής, όταν και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερο.

Η βέλτιστη μέθοδος αποθήκευσης της ενέργειας για κάθε περίπτωση εξαρτάται από την ποσότητα της ενέργειας που πρέπει να αποθηκευτεί (ενεργειακή πυκνότητα του υλικού), τη χρονική διάρκεια αποθήκευσης, τη μορφή της ενέργειας που απαιτείται για αποθήκευση και την απόδοση με την οποία ανακτάται η ενέργεια. Υπάρχουν διάφορα συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας, από μερικά mW για το βηματοδότη μέχρι ορισμένα MW σε μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Η ενεργειακή πυκνότητα καθορίζει κυρίως την επιλογή του συστήματος αποθήκευσης. Η ενεργειακή πυκνότητα ορισμένων υλικών παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Υπενθυμίζεται ότι τα πρώτα αυτοκίνητα ήταν ηλεκτρικά, αλλά η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα της βενζίνης γρήγορα άλλαξε τον τρόπο κίνησης των αυτοκινήτων. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές δεν είναι αρκετή και συνεχίζονται οι προσπάθειες για τη βελτίωσή τους.

Βενζίνη	14
Μπαταρίες μολύβδου	0,04
Υδροαποθήκευση	0,3 (ανά m ³)
Σφόνδυλος (από ανοξείδωτο χάλυβα)	0,05
Σφόνδυλος (από carbon fiber)	0,2
Σφόνδυλος (από πυρίτιο)	0,9
Υδρογόνο	38
Συμπιεσμένος αέρας	2 (ανά m ³)

Πίνακας 1: Ενεργειακή Πυκνότητα Υλικών (σε kW/kg)

Κεφάλαιο 2: Υβριδικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

2.1 Γενικά

Ένας υβριδικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως στόχο να μεγιστοποιήσει τη συμμετοχή μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής, δηλαδή μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), στην κάλυψη μίας συγκεκριμένης ζήτησης ισχύος. Μέχρι πρότινος σε ένα συμβατικό Σύστημα Ηλεκτρικής ενέργειας οι Α.Π.Ε. έχουν συμπληρωματικό ρόλο στην παραγωγή ισχύος και συμμετέχουν έως ένα μέγιστο ποσοστό λόγω του ότι υπαγορεύεται από τους περιορισμούς ασφάλειας και ευστάθειας της λειτουργίας του συστήματος και διαμορφώνεται βάση διάφορων παραμέτρων όπως: α) το μέγεθος του συστήματος, β) οι καιρικές συνθήκες, γ) η ποσότητα και το είδος διατήρησης στρεφόμενης εφεδρείας.

Σκοπός της διεΐδυσης των μονάδων Α.Π.Ε. είναι:

- η κατά το δυνατόν αξιοποίηση του γηγενούς δυναμικού Α.Π.Ε. που οδηγεί σε αντίστοιχο περιορισμό της κατανάλωσης συνήθως εισαγόμενων ενεργειακών πηγών
- η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται από την καύση ορυκτών καυσίμων
- η μείωση του κόστους παραγωγής των Σ.Η.Ε., δεδομένου ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις μονάδες Α.Π.Ε. είναι μικρότερη από το ειδικό κόστος παραγωγής των θερμοηλεκτρικών μονάδων.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, είναι απαραίτητη η συνδυασμένη λειτουργία των μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής με μονάδες αποθήκευσης.

Σε κάθε περίπτωση, για την ασφάλεια ενεργειακής τροφοδοσίας, είναι απαραίτητη και η παρουσία μονάδων εγγυημένης παραγωγής.

Συνεπώς, με βάση τα ανωτέρω, ένας υβριδικός σταθμός αποτελείται από τρεις διακριτές συνιστώσες:

- μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής (μονάδες βάσης)
- μονάδες αποθήκευσης
- μονάδες εφεδρείας.

2.2 Εφαρμογές υβριδικών σταθμών

Υβριδικοί σταθμοί αναπτύσσονται κυρίως για την παραγωγή, ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής ενέργειας. Ανάλογα με, το αν ο υβριδικός σταθμός αναπτύσσεται σε ήδη υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα ή όχι, το μέγεθος και τον τύπο του υφιστάμενου συστήματος και το μέγεθος και τον τύπο του υβριδικού σταθμού.

Ο υβριδικός σταθμός διαστασιολογείται και μελετάται με σκοπό:

- την κάλυψη της ζήτησης ισχύος κατά τις αιχμές ζήτησης, με σκοπό τη μείωση του κόστους παραγωγής του υφιστάμενου συστήματος
- τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας από τον υβριδικό σταθμό, στοχεύοντας ακόμα και στην 100% κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

2.3 Μονάδες βάσης

Οι μονάδες βάσης ενός υβριδικού σταθμού είναι οι μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής. Χαρακτηρίζονται ως μονάδες βάσης ακριβώς εξαιτίας του ότι η παραγωγή του υβριδικού σταθμού βασίζεται κυρίως σε αυτές, είναι δηλαδή οι βασικές μονάδες παραγωγής. Οι μονάδες βάσης σε ένα υβριδικό σταθμό έχουν απόλυτη προτεραιότητα όσον αφορά στην ένταξή τους στην παραγωγή. Σκοπός του υβριδικού σταθμού είναι η μεγιστοποίηση της αξιοποίησης της μη εγγυημένα παραγόμενης ενέργειας από τις μονάδες βάσης που συνήθως είναι, αιολικά πάρκα ή μικρές ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκοί σταθμοί.

2.4 Μονάδες αποθήκευσης

Η μονάδα αποθήκευσης σε ένα υβριδικό σταθμό έχει σκοπό, μέσω της αμφίδρομης ροής ισχύος από και προς αυτήν, να προσαρμόσει την τυχαιά και μη εγγυημένη παραγωγή ισχύος από τις μονάδες βάσης, η οποία καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα του δυναμικού της αξιοποιούμενης τεχνολογίας Α.Π.Ε., στην ανελαστική ζήτηση ισχύος. Η μονάδα αποθήκευσης δεν παράγει ενέργεια από μία πρωτογενή πηγή. Αντιθέτως αποθηκεύει τη διαθέσιμη ενέργεια από τις μονάδες Α.Π.Ε. που δεν μπορεί να εγχυθεί άμεσα προς κάλυψη της ζήτησης, την οποία επιστρέφει, συνήθως ετεροχρονισμένα, πίσω. Σε ένα υβριδικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι μονάδες αποθήκευσης είναι συνήθως:

- ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές διαφόρων τύπων
- κυψέλες καυσίμου σε συνδυασμό με μονάδες ηλεκτρόλυσης
- αντλιοσταμειυτήρες ή αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά
- σταθμοί αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα.

2.5 Μονάδες εφεδρείας

Σκοπός των μονάδων εφεδρείας σε ένα υβριδικό σταθμό είναι η εγγυημένη παραγωγή ισχύος σε περιπτώσεις αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης από τις μονάδες βάσης και από τις μονάδες αποθήκευσης, χαμηλή διαθεσιμότητα δυναμικού Α.Π.Ε. και ταυτόχρονη χαμηλή στάθμη φόρτισης των μονάδων αποθήκευσης. Η προτεραιότητα των μονάδων εφεδρείας είναι έσχατη, εντάσσονται δηλαδή στην παραγωγή εφόσον πριν έχουν εξαντληθεί οι δυνατότητες παραγωγής από τις μονάδες βάσης και αποθήκευσης. Η διαστασιολόγηση του υβριδικού σταθμού με ενεργειακά κριτήρια αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση, με απώτερο στόχο το μηδενισμό, της παραγωγής ενέργειας από τις μονάδες εφεδρείας του υβριδικού σταθμού.

Σε ένα υβριδικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι μονάδες εφεδρείας είναι συνήθως:

- ντιζελογεννήτριες μεγάλου μεγέθους
- ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη μικρότερου μεγέθους
- μονάδες κυψελών καυσίμου, εφόσον η διαθεσιμότητα του καυσίμου είναι δεδομένη.

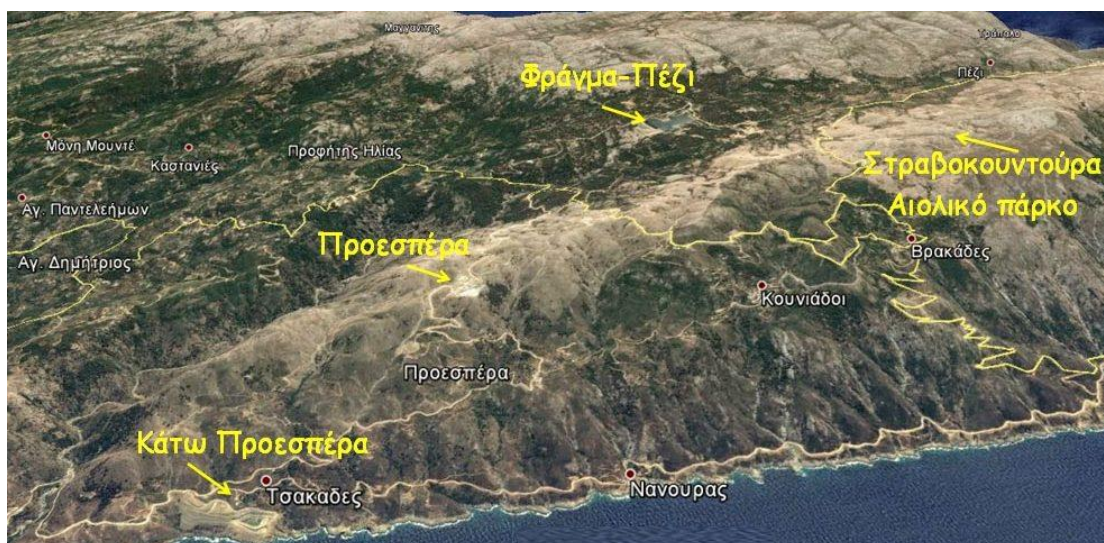
2.6 Υβριδικά έργα στην Ελλάδα

Το υβριδικό ενεργειακό έργο Ικαρίας

Το Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας αποτελείται από ένα Αιολικό Πάρκο στη θέση Στραβοκουντούρα, ισχύος 2,7 MW, ένα Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο στη θέση Προεσπέρα, ισχύος 1,05 MW, ένα δεύτερο Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο στη θέση Κάτω Προεσπέρα, ισχύος 3,10 MW, ένα Αντλιοστάσιο ισχύος 3,00MW και δυο Δεξαμενές χωρητικότητας 80.000 m³ έκαστη (μία στην Προεσπέρα και μια στην Κάτω Προεσπέρα).

Προκειμένου να λειτουργεί με επιτυχία ο συνδυασμός των επί μέρους τμημάτων του Υβριδικού Έργου, αλλά και να υπάρχει συντονισμός όλων των Μονάδων Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ικαρία, συμπεριλαμβανομένου και του υφιστάμενου τοπικού Θερμικού Σταθμού και όλων των λοιπών υφιστάμενων ΑΠΕ, προβλέπεται και Κέντρο Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου στον Άγιο Κήρυκο, στο ανατολικό άκρο του νησιού και το οποίο θα συνδέεται με εκτεταμένο δίκτυο οπτικών ινών με το Υβριδικό Έργο και θα είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο λογισμικό (SCADA), που θα σχεδιασθεί ειδικά για το συγκεκριμένο σκοπό.

Με το παραπάνω πιλοτικό Έργο εκτιμάται ότι θα παράγεται συνολική καθαρή ενέργεια της τάξεως των 9,8GWh/έτος, καλύπτοντας μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών της νήσου Ικαρίας για όλο το έτος, κυρίως το χειμώνα, αλλά και θα εγγυάται, εγγυημένη ισχύ τουλάχιστον 2,55 MW, υποκαθιστώντας σε μεγάλο βαθμό τον τοπικό Σταθμό ντίζελ στον Άγιο Κήρυκο.



Εικόνα 2.1: Απεικόνιση του υβριδικού έργου της Ικαρίας

Υβριδικός σταθμός στο Αμάρι της Κρήτης

Πρόκειται για το μεγαλύτερο υβριδικό έργο στην Ευρώπη, συνολικού ύψους επένδυσης 280 εκατ. €, με καινοτόμο σχεδιασμό σε διεθνές επίπεδο. Το πρωτοποριακό αυτό έργο βασίζεται στην αποτελεσματική ενσωμάτωση της παραγωγής αιολικής ενέργειας με την τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης σε ένα καινοτόμο υβριδικό σύστημα.

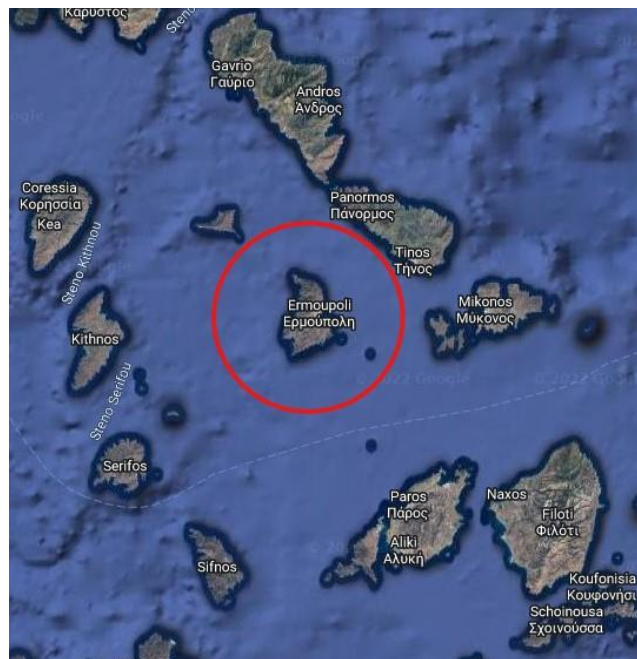
- Αποτελείται από αιολικό πάρκο 27 ανεμογεννητριών στον Δήμο Σητείας, συνολικής ισχύος 89,1 MW και σύστημα αντλησιοταμίευσης στον υφιστάμενο ταμιευτήρα του

φράγματος των Ποταμών, στους Δήμους Αμαρίου και Ρεθύμνου, συνολικής ισχύος 72 MW.

- Έργα διασύνδεσης: σταθμός 20/150kV και γραμμή εναέριας μεταφοράς υψηλής τάσης
- Με πολλαπλά οφέλη, καθώς κατά την κατασκευή θα δημιουργηθούν περισσότερες από 1.000 νέες θέσεις εργασίας κατά την υλοποίηση και τουλάχιστον 100 μόνιμες κατά την περίοδο λειτουργίας
- Αποτελεί επένδυση με υψηλή εγχώρια προστιθέμενη αξία άνω των 170 εκ.€

Κεφάλαιο 3: Το νησί της Σύρου

Η Σύρος βρίσκεται στο κεντρικό σημείο των Κυκλάδων και είναι η πρωτεύουσα του νομού. Απέχει 83 ναυτικά μίλια από τον Πειραιά, 62 από τη Ραφήνα και 174 από τη Ρόδο. Η έκτασή της είναι 84,069 τ.χλμ. Έχει πληθυσμό 21.507 κατοίκους βάση της απογραφής του 2011 πράγμα που την κάνει το πιο πυκνοκατοικημένο νησί των Κυκλάδων. Συνορεύει με αρκετά νησιά του κυκλαδίτικου συμπλέγματος. Στα βόρεια βρίσκεται η Άνδρος, βορειοανατολικά η Τήνος και ανατολικά η Μύκονος καθώς και τα μικρά νησιά της Δήλου και της Ρήνειας. Βορειοδυτικά βρίσκονται η Κέα και η Γυάρος, δυτικά η Κύθνος και νοτιοδυτικά η Σέριφος. Στα νότια βρίσκονται η Σίφνος, η Αντίπαρος, η Πάρος και η Νάξος. Γι' αυτό και ονομάζεται Αρχόντισσα των Κυκλάδων.



Εικόνα 3: Απεικόνιση νήσου Σύρου στον χάρτη

3.1 Ιστορικές αναδρομές

Η Σύρος ξεκινά να αναγνωρίζεται για τις μεγάλες πρωτιές της, για την πρώτη όπερα, το πρώτο εμποροδικείο της Ελλάδος που ιδρύθηκε στο νησί το 1826, το πρώτο γυμνάσιο ιδρύσεως 1833 από το οποίο αποφοίτησε και ο Ελευθέριος Βενιζέλος, το πρώτο πρωτοδικείο το 1834, το πρώτο λοιμοκαθατήριο, επιμελητήριο και τυπογραφείο, την πρώτη ναυτιλιακή εταιρία που ιδρύθηκε το 1857, αλλά και τις πρώτες μηχανοκίνητες βιομηχανίες, όπως η υφαντουργεία και η βυρσοδεψία.

3.1.1 Νεώριο Σύρου (Ναυπηγείο)

Το Νεώριο Σύρου είναι ναυπηγείο που λειτουργεί από το 1861 στο νησί της Σύρου με μεγάλη ιστορία στον ναυπηγικό τομέα των κατασκευών και των επισκευών και ιδιαίτερα στις επισκευές, κατασκευές και αναβαθμίσεις πλοίων. Είναι η μεγαλύτερη βιομηχανική μονάδα του Αιγαίου και ένα από τα παλαιότερα μηχανουργεία της Ελλάδας και η μεγαλύτερη ναυπηγική μονάδα της Ελλάδας σε πλήρη λειτουργία. Οι δραστηριότητες των Ναυπηγείων περιλαμβάνουν τις παραδοσιακές δραστηριότητες της επισκευής και αναβάθμισης εμπορικών πλοίων καθώς και νέες υπηρεσίες που αφορούν στην κατασκευή νέων σκαφών αμυντικού και πολιτικού τύπου και συντήρηση προηγμένων συστημάτων άμυνας.



Εικόνα 3.1: Ναυπηγοεπισκευαστική ζώνη Νεωρίου Σύρου

3.1.2 Το 1^ο Ελληνικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο Enfield

Η Enfield το 1973 παρουσίασε το E8000 στις εγκαταστάσεις του Νεωρίου όπου και κατασκευάστηκε το οποίο είχε σχεδιάσει ο Κωνσταντίνος Αδρακτάς. Το Enfield 8000 ECC (Electric City Car) διέθετε μοναδική αεροδυναμική αφού είχε μικρότερο αεροδυναμικό συντελεστή ακόμα και κι από μοντέλα της Porsche και πλαίσιο αλουμινίου για να μειωθεί το βάρος αλλά για να αντιμετωπιστεί η διάβρωση. Ήταν εξοπλισμένο με ηλεκτρικό μοτέρ ισχύος 10kW και η μετάδοση ήταν συμβατική με 4 ταχύτητες και όπισθεν, ενώ η μέγιστη ταχύτητα ήταν 75 χλμ./ώρα. Ανοίγοντας τις συμβατικές πλέον πόρτες ερχόσυν αντιμέτωπος με τα δερμάτινα καθίσματα, πολυτέλεια που κυριολεκτικά μόνο σε Rolls Royce συναντούσες εκείνη την περίοδο.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του E8000:

- Κινητήρας 6 kW (8ps)
- Σασί φτιαγμένο από ατσάλι
- Αλουμινένιο κουβούκλιο
- Διέθετε 8 μπαταρίες (τέσσερις μπροστά-τέσσερις πίσω)

Την ίδια στιγμή ένα σύγχρονο ηλεκτρικό αυτοκίνητο έχει σήμερα ισχύ από 60 kW έως και 400 kW.



Εικόνα 3.2: Το Enfield E8000 στο λιμάνι της Σύρου

3.1.3 Πτηνοτροφική μονάδα

Το 1974 στο Φοίνικα της Σύρου δημιουργήθηκε από τον παππού μου Ιωάννη Δαλέζιο και τους γιούς του, τον πατέρα μου Ιωσήφ και τον θείο μου Μάρκο μία πτηνοτροφική μονάδα παραγωγής 120.000 κοτόπουλων ανά έτος. Οι ενεργειακές ανάγκες σε αυτή την μονάδα λόγω της μεγάλης παραγωγής τους προέτρεψαν το 1984 να τοποθετήσουν μία ανεμογεννήτρια Vestas – V15 των 55kW για εξοικονόμηση ηλεκτρικού ρεύματος. Η ανεμογεννήτρια αυτό που έκανε ήταν ενεργειακό συμψηφισμό (net-metering) όπως συμβαίνει τώρα με τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Η συγκεκριμένη λειτούργησε 15 χρόνια αισίως πριν τεθεί εκτός λειτουργίας. Ήταν από τις πρώτες δοκιμαστικές ανεμογεννήτριες που τοποθετούνταν τότε σε κάποιο νησί. Η μονάδα σταμάτησε τη λειτουργία της το 2002.



Εικόνα 3.3: Αριστερά η τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας το 1984 και δεξιά η πτηνοτροφική μονάδα.

3.2 Μορφολογία νησιού

Η μορφολογία του νησιού ποικίλη, αποτελείται κυρίως από ηφαιστειογενή μεταμορφωμένα πετρώματα που προσελκύουν γεωλόγους και μικρές πεδινές περιοχές. Ξεκινώντας από το βορεινό μέρος του νησιού παρατηρούμε ότι κατά κύριο λόγο είναι ορεινό (υψηλότερη κορυφή 450m) με χαμηλή βλάστηση (μαραθιές και θαμνώδη φυτά). Το νοτιότερο μέρος μοιράζεται σε πεδινό όπου το μεγαλύτερο μέρος του καλλιεργείται και ορεινό. Το νησί έχει 23 παραλίες με μεγαλύτερες αυτές του Γαλλησά, Κίνοι και των Αγκαθωπών. Το κύριο λιμάνι του νησιού είναι αυτό της Ερμούπολης το οποίο είναι και το εμπορικό λόγω του ότι είναι και ο μεγαλύτερος κόλπος του νησιού και το αμέσως επόμενο είναι αυτό του Φοίνικα που εδρεύει και η μαρίνα τουριστικών σκαφών.



Εικόνα 3.4: Μορφολογία εδάφους νήσου Σύρου

3.3 Το διασυνδεδεμένο σύστημα της Σύρου

Το Μάρτιο του 2018 η Σύρος διασυνδέθηκε με το Λαύριο με υποβρύχιο τριπολικό καλώδιο E.P. 150kV ονομαστικής ικανότητας 200 MVA, μήκους 108km με αποτέλεσμα ο Αυτόνομος Σταθμός Παραγωγής (Α.Σ.Π.) της ΔΕΗ να τεθεί σε θερμή εφεδρεία. Το νησί καλύπτεται ενεργειακά με δίκτυα μεταφοράς μέσης τάσης 150kV. Ο Α.Σ.Π. είχε εγκατεστημένη ισχύ περίπου 26-27MW κατά τη λειτουργία του τα προηγούμενα χρόνια και χρησιμοποιούσε ως καύσιμο πετρέλαιο και μαζούτ. Η ατμοσφαιρική ρύπανση ήταν στα ύψη και επηρέαζε σε μεγάλο βαθμό τις γύρω περιοχές. Ακόμα κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης δεν ανταποκρίνονταν στο βαθμό που έπρεπε με αποτέλεσμα αρκετές φορές κατά τους θερινούς μήνες να παρουσιάζονται αστάθειες στο δίκτυο και διακοπές ρεύματος πολύωρης διάρκειας δημιουργώντας τεράστια προβλήματα στην τοπική κοινωνία.

α/α	Είδος / Κατασκευαστής	Ισχύς (MW)
No 1	WARTSILA	8,25
No 2	WARTSILA	8,25
No 6	SULZER-CEGIELSKI	6
No 7	G.M.T.-FIAT	3
No 8	G.M.T.-FIAT	3
No 9	G.M.T.-FIAT	4,5
No10	G.M.T.-FIAT	4,5
No11	CEGIELSKI	2,2

Πίνακας 3: Υφιστάμενες μονάδες παραγωγής που βρίσκονται σε θερμή εφεδρεία



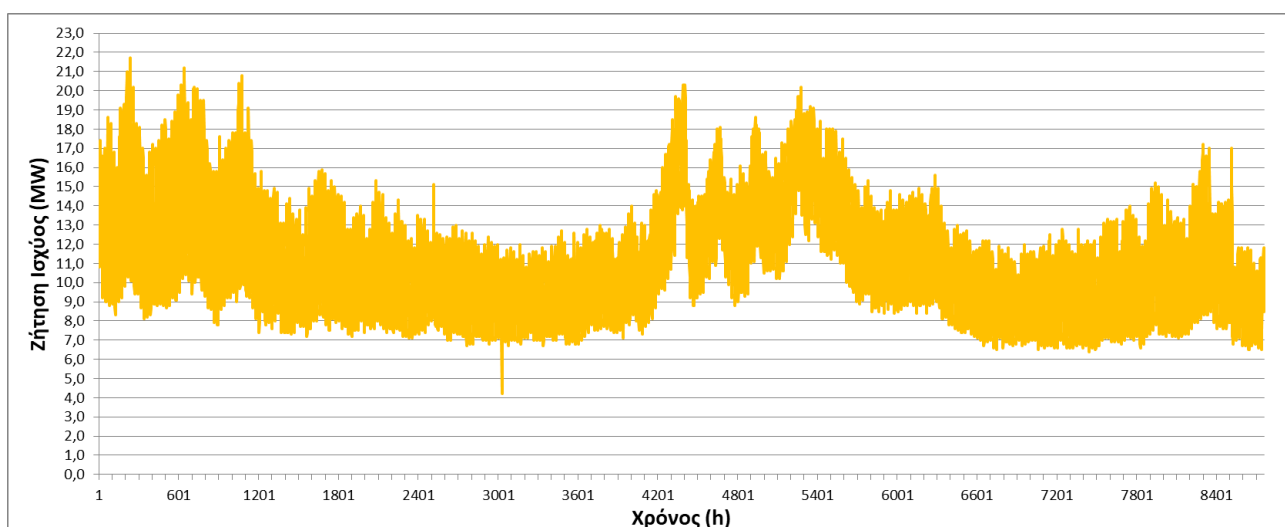
Εικόνα 3.5: Διάταξη καλωδίων διασύνδεσης

3.3.1 Ανάγκη για διατήρηση παραγωγής

Ο απώτερος σκοπός με την διασύνδεση του νησιού να είναι η εξασφάλιση της ασφάλειας και της ευστάθειας του συστήματος και η μείωση του κόστους παραγωγής. Η ιστορία έχει δείξει από διασυνδεδεμένα νησιωτικά συστήματα στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρώπη ότι από μόνη της η διασύνδεση δεν μπορεί να το εγγυηθεί αυτό, παρουσιάζοντας προβλήματα στην υποβρύχια καλωδίωση με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην τροφοδοσία των συστημάτων δημιουργώντας black out μεγάλης διάρκειας. Η ανάγκη να υπάρχει κάποιο άλλο σύστημα παραγωγής ισχύος πάνω στο νησί είναι μεγάλη. Έχοντας βγάλει από την εξίσωση την επαναλειτουργία του εργοστασίου της ΔΕΗ λόγω εκτεταμένης ρύπανσης του περιβάλλοντος, αυξημένου κόστους συντήρησης και κόστος καυσίμου, η διατήρηση παραγωγής θα μπορούσε να γίνει με σύνθεση Α.Π.Ε. Οι Α.Π.Ε. (αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα) από μόνες τους δεν μπορούν να λύσουν το πρόβλημα λόγω της τυχαιότητας της διαθεσιμότητας της πρωτογενούς πηγής ενέργειας. Για να εξασφαλίσουμε την ασφάλεια και την ευστάθεια του συστήματος είναι ο συνδυασμός των Α.Π.Ε. με μονάδα αποθήκευσης, που είναι εγγυημένη η απόδοσή τους μαζί.

3.4 Ζήτηση ισχύος Σύρου

Η μέγιστη κατανάλωση της Σύρου φτάνει την τιμή των 21-22 MW σε ημερήσια βάση. Παρουσιάζεται την περίοδο του καλοκαιριού και του χειμώνα, αλλά η αιχμή της ζήτησης (με μικρή διαφορά από την καλοκαιρινή περίοδο) παρουσιάζεται το μήνα Ιανουάριο. «Χαλαροί» μήνες, με την έννοια της ζήτησης, θεωρούνται οι μήνες Μαρτίου μέχρι μέσα Μαΐου και οι μήνες Σεπτεμβρίου μέχρι και αρχές Νοεμβρίου. Κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο η ζήτηση αιχμής περιορίζεται στα 13-14 MW κατά τις ώρες αιχμής, ενώ τις νυκτερινές ώρες πέφτει στα 8-9 MW. Για την ναυπηγοκατασκευαστική εταιρεία Νεωρίου που καταναλώνει 1,5-2 MW ημερησίως (το οποίο αντιστοιχεί στο 10% - 20% της ζήτησης) υπάρχει απευθείας σύνδεση με τον σταθμό της ΔΕΗ με εφεδρική τροφοδοσία από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη και έτσι λειτουργεί ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες δραστηριότητες. Μαζί με το εργοστάσιο αφαλάτωσης του δήμου Ερμούπολης (1.5 MW) είναι οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί. Στατιστικά στοιχεία που αφορούν στη μέση κατανάλωση ανά νοικοκυριό δεν υπάρχουν, ωστόσο η πιο πρόσφατη μελέτη (Δήμος Άνω Σύρου, 2004) εκτιμά τη μέση μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος σε 250kwh/νοικοκυριό.



Σχήμα 3: Διάγραμμα ετήσιας ωριαίας ζήτησης ισχύος δικτύου για το έτος 2019, από τα δεδομένα της τοπικής ΔΕΔΔΗΕ

Κεφάλαιο 4: Μελέτη υβριδικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την Σύρο

4.1 Σκοπός έργου

Σκοπός του έργου είναι η διαστασιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος (παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) στο νησί της Σύρου. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή ενός υβριδικού συστήματος εγγυημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση αιολικού πάρκου, αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών και χρησιμοποιώντας την υφιστάμενη διασύνδεση με το Λαύριο σαν εφεδρική πηγή ενέργειας. Έτσι πραγματοποιείται μεγιστοποίηση διείσδυσης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. στην κατανάλωση και αναβαθμίζει αυτόματα το νησί σε ένα αυτόνομο σύστημα και φιλικό προς το περιβάλλον και τους κάτοικους του.

4.2 Περιγραφή υβριδικού συστήματος

Το υβριδικό σύστημα θα αποτελείται από τα εξής μέρη:

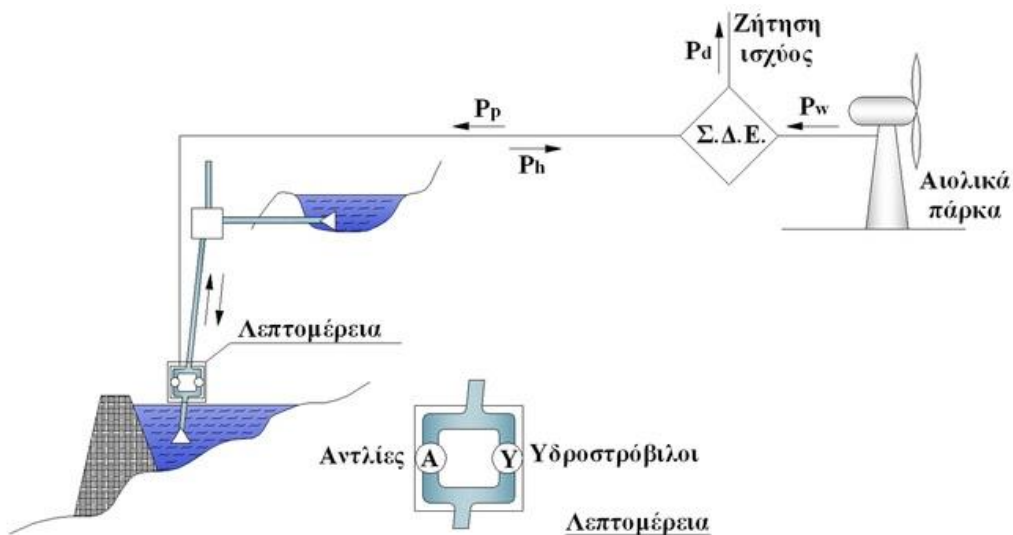
- **Μονάδα βάσης:** Αιολικό πάρκο
- **Μονάδα αποθήκευσης:** Αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό με θαλασσινό νερό
- **Μονάδα εφεδρείας:** Η διασύνδεση με το Λαύριο

Ως μονάδα εφεδρείας ακόμα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι θερμικές μονάδες του εργοστασίου της ΔΕΗ αλλά για να εξαλείψουμε τους ρίπους από νησί τουλάχιστον για την παραγωγή ενέργειας, ευλόγως προτιμάτε το διασυνδεδεμένο σύστημα. Αν υπάρξει το οποιοδήποτε πρόβλημα με τη διασύνδεση οι θερμικές μηχανές θα μπορούν να την αντικαταστήσουν για το διάστημα που θα χρειάζεται η εφεδρεία.

4.3 Τρόπος λειτουργίας του συστήματος

Για την λειτουργία του συστήματος βασιζόμαστε σε ένα αλγόριθμο. Για την ευκολότερη περιγραφή του κρίνεται σκόπιμο να δημιουργηθεί ένα πινακάκι όπου θα περιγράψουμε κάποιες συντομογραφίες.

- | | |
|--|--|
| 1. P_d = Ζήτηση ισχύος. | 7. P_r = Ισχύς εφεδρείας |
| 2. P_w = Παραγόμενη ενέργεια από το Α. Π. | 8. V = Όγκος δεξαμενής |
| 3. $P_{wδ}$ = Απευθείας διείσδυση αιολικής ενέργειας | 9. P_{st} = Αποθηκευόμενη ισχύς |
| 4. δ_{max} = Ποσοστό απευθείας διείσδυσης | 10. V_{st} = Αποθηκευμένος όγκος |
| 5. P_T = Ισχύς Υδροστροβίλων | 11. V_p = Παροχή όγκου αντλιών |
| 6. P_p = Ισχύς αντλιών | 12. V_T = Παροχή όγκου υδροστροβίλων |
| | 13. P_{RES} = Διαθέσιμη ισχύς από Α.Π.Ε. |



Σχήμα 4.1: Συνδυασμός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού και αιολικού πάρκου

Ο υπολογισμός ενός υβριδικού σταθμού με μονάδα αποθήκευσης αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό γίνεται με τη μέθοδο των ετήσιων χρονοσειρών. Το χρονικό βήμα υπολογισμού συνήθως λαμβάνεται ωριαίο. Ο αλγόριθμος λειτουργίας ενός υβριδικού σταθμού με σκοπό τη μεγιστοποίηση της παραγωγής σε όλο το 24ωρο, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ως μονάδα αποθήκευσης αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό, αναλύεται στα ακόλουθα βήματα:

1. Σε κάθε χρονικό βήμα υπολογισμού εισάγονται ως δεδομένα η διαθέσιμη ισχύς P_{RES} από τη μονάδα Α.Π.Ε. του υβριδικού σταθμού (συνήθως αιολικό πάρκο) και η ζήτηση ισχύος P_d . Επίσης εισάγεται ένα ποσοστό δ_{max} μέγιστης στιγμιαίας διείσδυσης της μονάδας Α.Π.Ε.

2. Αν P_w η διαθέσιμη ισχύς από τη μονάδα Α.Π.Ε. και P_d η ζήτηση ισχύος, τότε η απευθείας διείσδυση ισχύος Α.Π.Ε. $P_{w\delta}$ ισούται με:

i. Αν $P_w \geq \delta_{max} \cdot P_d$, τότε $P_{w\delta} = \delta_{max} \cdot P_d$.

ii. Αν $P_w < \delta_{max} \cdot P_d$, τότε $P_{w\delta} = P_w$.

3. Αν P_p είναι η ονομαστική ισχύς των μονάδων αποθήκευσης (αντλίες), υπολογίζεται η δυνάμενη να αποθηκευτεί ισχύς P_{st} :

i. Αν $P_w - P_{w\delta} > P_p$, τότε $P_{st} = P_p$.

ii. Αν $P_{RES} - P_{RES\delta} \leq P_p$, τότε $P_{st} = P_w - P_{w\delta}$.

4. Υπολογίζεται ο όγκος V_p που πρέπει να αντληθεί στην άνω δεξαμενή, προκειμένου να αποθηκευτεί ισχύς P_{st} για χρονικό βήμα διάρκειας t (H_p το διαθέσιμο μανομετρικό άντλησης, γ το ειδικό βάρος του νερού, η_p ο μέσος βαθμός απόδοσης των αντλιών για το χρονικό βήμα υπολογισμού):

$$V_p = \eta_p \cdot t \cdot P_{st} / \rho \cdot g \cdot H_p$$

5. Υπολογίζεται ο όγκος νερού V_T που θα πρέπει να αφαιρεθεί από την άνω δεξαμενή προκειμένου να καλυφθεί η εναπομένουσα ζήτηση ισχύος $P_d - P_{w\delta}$ από τους υδροστρόβιλους για το χρονικό βήμα διάρκειας t (H_T το διαθέσιμο μανομετρικό πτώσης):

$$V_T = t \cdot (P_d - P_{w\delta}) / \eta_T \cdot \rho \cdot g \cdot H_T$$

6. Ο παραμένον όγκος νερού κατά το τρέχον χρονικό βήμα j στην άνω δεξαμενή θα είναι:

$$V_{st}(j) = V_{st}(j-1) + V_p - V_h.$$

7. Ελέγχεται αν ο παραμένον όγκος νερού στην άνω δεξαμενή υπερβαίνει τη μέγιστη χωρητικότητα της δεξαμενής:

i. Αν $V_{st}(j) > V_{max}$, τότε:

$$P_{st} = 0$$

$$P_{rej} = P_w - P_{w\delta}$$

$$V_{st}(j) = V_{st}(j-1) - V_h.$$

ii. Αν $V_{st}(j) \leq V_{max}$, τότε:

$$P_{st} = P_p \text{ ή } P_{st} = P_w - P_{w\delta}$$

$$P_{rej} = P_w - P_{w\delta} - P_{st}.$$

8. Επιπλέον ελέγχεται αν ο παραμένον όγκος νερού στην άνω δεξαμενή είναι μικρότερος από τον ελάχιστο περιεχόμενο σε αυτήν:

i. Αν $V_{st}(j) < V_{min}$, τότε:

$$P_h = 0$$

$$P_{th} = P_d - P_{w\delta}$$

$$V_{st}(j) = V_{st}(j-1) + V_p.$$

i. Αν $V_{st}(j) \geq V_{min}$, τότε:

$$P_h = P_d - P_{w\delta}$$

$$P_{th} = 0$$

$$V_{st}(j) = V_{st}(j-1) + V_p - V_h.$$

Παρατηρούμε από την παραπάνω παρουσίαση ότι προβλέπεται, με βάση τον αλγόριθμο λειτουργίας, η ταυτόχρονη άντληση και πτώση νερού στο ίδιο χρονικό βήμα. Η σκοπιμότητα αυτής της δυνατότητας είναι προφανής από την ανάλυση του αλγόριθμου λειτουργίας. Κάποια χρονική στιγμή, καθώς το αιολικό πάρκο δεν επιτρέπεται να διεισδύσει απευθείας στην παραγωγή σε ποσοστό μεγαλύτερο του δ_{max} ως προς τη ζήτηση ισχύος, θα πρέπει να καλυφθεί το υπόλοιπο της ζήτησης κατά προτεραιότητα από τους υδροστρόβιλους, εφόσον, βέβαια, επαρκεί η αποθηκευμένη ποσότητα νερού στην άνω δεξαμενή. Την ίδια χρονική στιγμή όμως είναι επιθυμητό να αποθηκευτεί η περίσσεια ενέργειας από το αιολικό πάρκο, που είναι αυτή που παραμένει διαθέσιμη μετά την απευθείας διείσδυση αιολικής ισχύος. Η ταυτόχρονη άντληση και πτώση νερού μπορεί να εξασφαλιστεί με την εγκατάσταση δύο ανεξάρτητων μεταξύ τους σωληνώσεων, μίας αποκλειστικά για υδατόπτωση και μίας αποκλειστικά για άντληση.

Με την ανωτέρω διαδικασία, σε κάθε χρονικό βήμα, υπολογίζονται οι τιμές για την απευθείας διείσδυση ισχύος του αιολικού πάρκου, για την παραγωγή ισχύος από τους

υδροστρόβιλους και τις θερμοηλεκτρικές μονάδες εφεδρείας και για την αποθήκευση ισχύος από τις αντλίες. Επίσης υπολογίζονται οι όγκοι νερού που αποθηκεύονται και αφαιρούνται από την άνω δεξαμενή και ο όγκος νερού που τελικά παραμένει αποθηκευμένος σε αυτή μετά από κάθε χρονικό βήμα υπολογισμού. Με την ολοκλήρωση των ετήσιων αποτελεσμάτων είναι δυνατός στο τέλος ο υπολογισμός της ετήσιας παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας από τις συνιστώσες του υβριδικού σταθμού, η διακύμανση της στάθμης φόρτισης της μονάδας αποθήκευσης (πρακτικά ο αποθηκευμένος όγκος νερού στην άνω δεξαμενή) και η σχεδίαση του ετήσιου διαγράμματος σύνθεσης παραγωγής ισχύος από τον υβριδικό σταθμό. Επίσης οι μέγιστες ετήσιες τιμές παραγωγής ισχύος από τους υδροστρόβιλους και την διασύνδεση ή τις θερμοηλεκτρικές μονάδες και αποθήκευσης ισχύος από τις αντλίες θα αποτελέσουν τις ελάχιστες απαιτούμενες τιμές για την ονομαστική ισχύ των μονάδων αυτών.

4.4 Θέση εγκατάστασης του υδροηλεκτρικού σταθμού

Η εύρεση της κατάλληλης θέσης για την δημιουργία του σταθμού είναι μια διαδικασία εξαιρετικά σημαντική και ουσιώδης, καθώς μπορεί να συντελέσει στην επιτυχία ή στην αποτυχία ολόκληρης της εγκατάστασης.

Αρχικά στο συγκεκριμένο έργο που μελετάται η μονάδα αποθήκευσης (αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό) θα χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό όπως αναφέρθηκε παραπάνω μιας και βρισκόμαστε σε νησί. Πράγμα που σημαίνει ότι αποφεύγεται η κατασκευή ενός ταμιευτήρα, στην προκειμένη του κάτω, μειώνοντας σημαντικά το κόστος της εγκατάστασης. Ένα άλλο σημαντικό κριτήριο είναι η εγκατάσταση να βρίσκεται κοντά σε οδικό δίκτυο και να μην είναι κατοικημένη

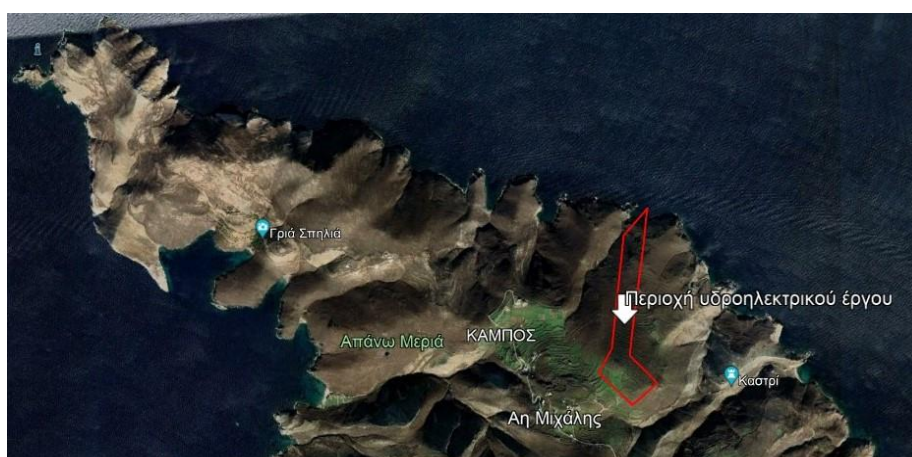
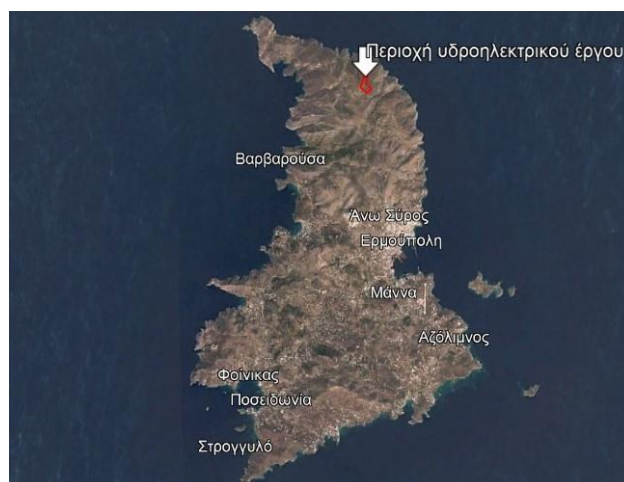
Καταλήγοντας, πρέπει να εξεταστεί ο τόπος από γεωγραφικής άποψης, δηλαδή να διαθέτει ένα ύψωμα για την άνω δεξαμενή αρκετό για τις ανάγκες του συστήματος, συστήνεται συνήθως υψόμετρο πάνω από τα 250m για να καλύπτει τις ανάγκες των υδροστρόβιλων αλλά και μια ομαλότητα ταυτόχρονα στο ανάγλυφο του βουνού (να αποφευχθούν τυχόν ρέματα) έτσι ώστε οι σωληνώσεις να γίνουν με ευκολία, να μην διατρέχουν κάποιο κίνδυνο και να μην παρουσιάζουν σημαντικές απώλειες. Επίσης, εάν είναι εφικτό, εγκαθιστούμε το αιολικό πάρκο σχετικά κοντά στον σταθμό για την αποφυγή μεγάλων απωλειών και υψηλού κόστους καλωδίων, κατά συνέπεια φροντίζουμε να εντοπίσουμε και ένα καλό αιολικό δυναμικό και ένα βουνό ή συστοιχία λόφων ή βουνών που να είναι έτοιμα να δεχθούν τις ανεμογεννήτριες τηρώντας όλους τους κανόνες χωροθέτησης.

Έχοντας υπόψη όλα τα παραπάνω κριτήρια επιλογής της βέλτιστης θέσης βρέθηκε η κατάλληλη τοποθεσία εγκατάστασης του έργου και θα παρουσιαστεί σε εικόνες παρακάτω στη φάση της διαστασιολόγησης.

4.5 Διαστασιολόγηση και χωροθέτηση του έργου

Η διαστασιολόγηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός προγράμματος υπολογισμών στο Microsoft Excel, ενός προγράμματος για την ωριαία ετήσια παραγωγή ισχύος μίας ανεμογεννήτριας, τη χρήση του Global Wind Atlas και το Google Earth.

Η περιοχή που επιλέχθηκε για την κατασκευή του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σταθμού βορειοανατολικά του «Σαν Μιχάλη» ενός χωριού που βρίσκεται στο βόρειο μέρος της Σύρου. Για να γίνει κατανοητή η θέση του παρουσιάζονται κάποιες φωτογραφίες από το Google Earth.



Εικόνα 4.1: Τοποθεσία του υδροηλεκτρικού έργου στο Google Earth

Ο χώρος που θα εγκατασταθεί ο υδροηλεκτρικός σταθμός με τις αντλίες και τους υδροστρόβιλους είναι στο παραθαλάσσιο μέρος του έργου και επιλέγει στο σημείο που θα δείξουμε παρακάτω (Εικόνα 4.2) για το λόγο ότι η μορφολογία της ακτογραμμής μας προστατεύει σαν φυσικός κυματοθραύστης από τους βορεινούς ανέμους άρα και από τον έντονο κυματισμό. Οι νότιοι άνεμοι δεν προκαλούν πρόβλημα στο συγκεκριμένο σημείο.



Εικόνα 4.2: Θέση αντλιοστάσιου

4.5.1 Δεξαμενή αποθήκευσης

Η επιλογή του σημείου για την δεξαμενή έγινε μετά από εκτεταμένη έρευνα στους διαθέσιμους χώρους του νησιού και με βάση τις προϋποθέσεις που πρέπει να τηρεί το σημείο αυτό. Η τελική θέση της είναι βορειοανατολικά από το χωριό «Σαν Μιχάλη» όπως παρουσιάσαμε, σε έναν λόφο 300m υψόμετρο από τη θάλασσα (κάτω δεξαμενή) και κατά το μεγαλύτερο μέρος του επίπεδο, κάτι που θα διευκολύνει στην εκσκαφή. Η υψομετρική διαφορά είναι ικανοποιητική ώστε η ετήσια απορριπτόμενη ενέργεια από το αιολικό πάρκο και η συμβολή των εφεδρικών μονάδων (διασύνδεση ή θερμικά) να μην ξεπερνάει το 10%.

Η χωρητικότητα της δεξαμενής υπολογίστηκε μετά από τις προσομοιώσεις στο Excel και συγκρίθηκε με τον αριθμό των ανεμογεννητριών, ο όγκος που προέκυψε είναι στα $1.500.000\text{m}^3$ με αρχικό αποθηκευμένο όγκο στα 600.000m^3 και επιφάνεια 45.864m^2 .



Εικόνα 4.3: Θέση δεξαμενής αποθήκευσης αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού στο Google Earth

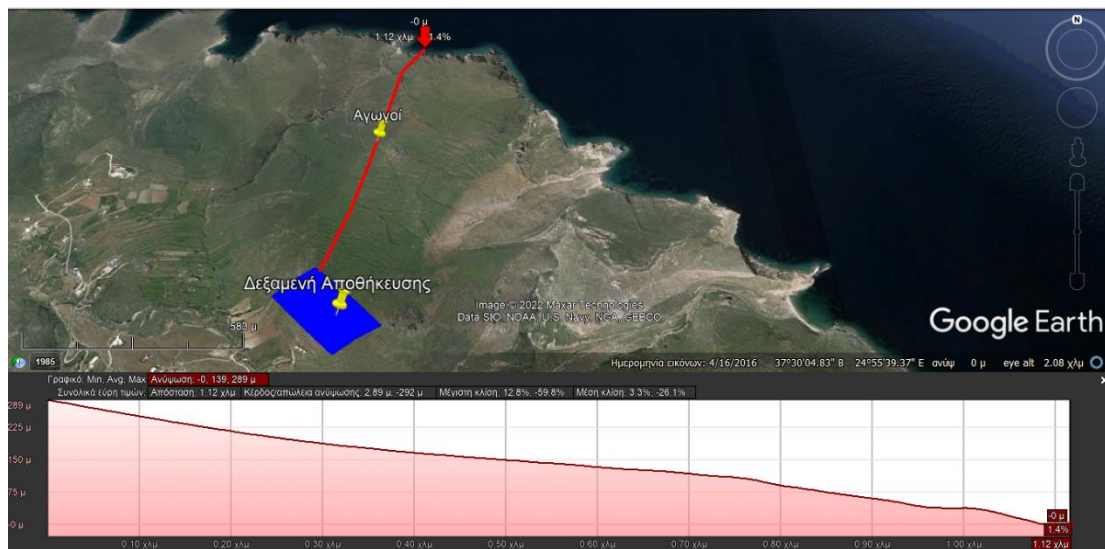
Παρατηρώντας την εικόνα γίνεται αντιληπτό ότι η διάνοιξη δρόμου κρίνεται αναγκαία.

4.5.2 Αγωγός άντλησης-υδατόπτωσης

Έχοντας κατασταλάξει για την θέση της δεξαμενής αποθήκευσης το επόμενο βήμα είναι να χωροθετήσουμε τους χαλύβδινους αγωγούς άντλησης-υδατόπτωσης. Η μορφολογία του εδάφους από τη δεξαμενή προς τη θάλασσα είναι ομαλή, που σημαίνει αποφεύγονται οι απότομες κλίσεις με αποτέλεσμα να εξοικονομείται υλικό από τους αγωγούς. Το μήκος των αγωγών είναι 1071m. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδρομή των αγωγών από τη δεξαμενή προς τη θάλασσα αλλά και η κλίση τους.



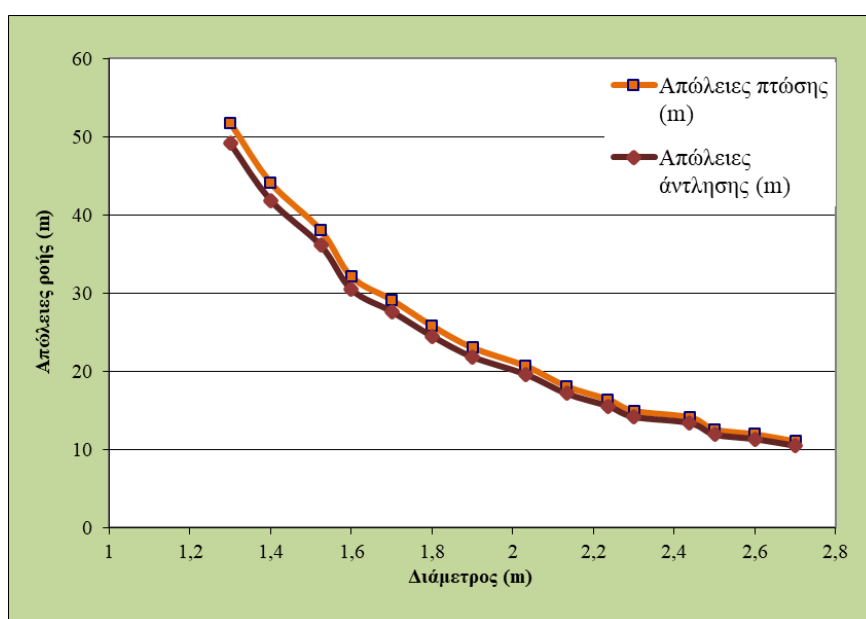
Εικόνα 4.4: Κατεύθυνση των αγωγών προς τη θάλασσα στο Google Earth



Εικόνα 4.5: Η κλίση των αγωγών

4.5.2.1 Υπολογισμός διαμέτρου και απωλειών ροής

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου των αγωγών (άντλησης και υδατόπτωσης) μεταφοράς του νερού με σκοπό την αποφυγή μεγάλων απωλειών ροής και μάζας του υλικού χρησιμοποιήθηκε η σχέση που δίνει τις γραμμικές απώλειες: $hf = f \cdot (L/d^5) \cdot (8 \cdot Q^2 / \pi^2 \cdot g)$, όπου f ο συντελεστής γραμμικών απωλειών, L το μήκος του αγωγού, d η διάμετρος, Q η παροχή του νερού κατά την άντληση και υδατόπτωση αντίστοιχα και g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Το παρακάτω σχήμα 4.1 αναπαριστά τις απώλειες ροής του νερού κατά την άντληση και την πτώση, συναρτήσει της διαμέτρου του αγωγού. Το σχήμα αυτό μας δείχνει την διακύμανση των απωλειών ροής για την επιλογή της βέλτιστης διαμέτρου.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα γραμμικών απωλειών ροής

Στους πίνακες που ακολουθούν 4.1 και 4.2 ανάλογα με την διάμετρο, υπολογίζουμε και παρατηρούμε πως κυμαίνονται οι απώλειες στους αγωγούς άντλησης και πτώσης για να επιλέξουμε την βέλτιστη διάμετρο.

	Υδραυλική πτώση	Άντληση
Μήκος σωληνώσεων (m)	1061	1071
Συντελεστής απωλειών f	0,1014	0,1014
Μέγιστη παροχή όγκου (m^3/s)	7,74	7,28
Ταχύτητα ροής (m/s)	2,17	2,04

Πίνακας 4.1: Στοιχεία υπολογισμού των απωλειών ροής ανάλογα με την διάμετρο

Διάμετρος (m)	Απώλειες πτώσης (m)	Απώλειες άντλησης (m)
1	68,91	65,37
1,1	56,95	54,03
1,2	47,85	45,40
1,3	40,77	38,68
1,4	35,16	33,35
1,5	30,63	29,05
1,6	26,92	25,54
1,7	23,84	22,62
1,8	21,27	20,18
1,9	19,09	18,11
2	17,23	16,34
2,1336	15,14	14,36
2,2352	13,79	13,08
2,3368	12,62	11,97
2,4	11,96	11,35
2,5	11,03	10,46
2,6	10,19	9,67
2,7	9,45	8,97
2,8	8,79	8,34

Πίνακας 4.2 Απεικόνιση απωλειών υδροδυναμικών μηχανών ανάλογα με την διάμετρο

Η διάμετρος των αγωγών που έχει επιλεγεί βάση των απωλειών υδροδυναμικών μηχανών είναι 2,2358m με σκοπό οι μέγιστες απώλειες ροής να διατηρηθούν κάτω του 5% του φυσικού μανομετρικού, κάτω των 15m εφόσον έχουμε μανομετρικό 300m.

4.5.2.2 Υπολογισμός πάχους αγωγών

Γνωρίζοντας την εσωτερική διάμετρο (2,2358m), πλέον μπορούμε να υπολογίσουμε την συνολική πίεση (υδροστατική πίεση και πίεση λόγω υδραυλικού πλήγματος) και την διατομή του αγωγού σε όλο το μήκος του. Οι υπολογισμοί έγιναν στο Excel και μέσω του Google earth υπολογίστηκε το μήκος του αγωγού σε κάθε σημείο ανάλογα με την υψομετρική διαφορά και τη διατομή του. Ακολουθούν τα αποτελέσματα:

Εξωτερική Διαμετρος (mm)	2.336,60
k1	0,70
k2	1,70
D (mm)	2.235,20
σmax (MPa)	800,00
Πυκνότητα Χάλυβα (kg/m ³)	7.850,00
E _B (GPa)	2,20
E (GPa)	260,00
ρ (kg/m ³)	1.000,00
Δu	2,38
γ	9.810,00

Πίνακας 4.3: Δεδομένα υπολογισμών

Outside Diameter		Wall Thickness														
Inches	mm	0,250	0,281	0,312	0,344	0,375	0,406	0,438	0,500	0,562	0,625	0,688	0,750	0,812	0,875	1,000
	mm	6,35	7,14	7,92	8,74	9,53	10,31	11,13	12,70	14,27	15,88	17,48	19,05	20,62	22,23	25,40
24	609,6															
26	660,4															
28	711,2															
30	762,0															
32	812,8															
36	914,4															
40	1.016,0															
44	1.117,6															
48	1.219,2															
52	1.320,8															
56	1.422,4															
60	1.524,0															
64	1.625,6															
68	1.727,2															
72	1.828,8															
76	1.930,4															
80	2.032,0															
84	2.133,6															
88	2.235,2															
92	2.336,8															
96	2.438,4															
100	2.540,0															

Σχήμα 4.3: Διάγραμμα επιλογής εξωτερικής διαμέτρου και παχών διατομής αγωγού. (Corinth Pipeworks S.A.)

Η επιλογή της διαμέτρου έγινε στα 2,235m (88inches), για λόγους ασφαλείας επιλέγουμε την αμέσως επόμενη τυποποιημένη διάμετρο 2,336m (92inches) ώστε και στην χειρότερη περίπτωση που έχουμε το μέγιστο πάχος για τις μεγαλύτερες πιέσεις να έχει καλυφθεί αυτός ο κίνδυνος.

Πάχος (mm)	Pmax (MPa)	ΔΡπληγμα (MPa)	Εσωτερική Διάμετρος (mm)	Διατομή Αγωγού m ²	Μήκος Αγωγού (m)	Όγκος Χάλυβα (m ³)
11,13	2,691	2,15	2.314,34	0,33	109	35,45
12,70	3,154	2,24	2.311,20	0,37	182	67,50
14,27	3,617	2,31	2.308,06	0,42	196	81,62
15,88	4,091	2,38	2.304,84	0,46	262	121,33
17,48	4,563	2,45	2.301,64	0,51	146	74,38
19,05	5,025	2,50	2.298,50	0,55	176	97,64
				Σύνολο:	1.071,00	477,93
					Όγκος Αγωγού (m³)	Μάζα χάλυβα (kg)
					4.202,54	3.751.739,38

Πίνακας 4.3: Αναλυτικά στοιχεία για τους αγωγούς

Υψόμετρο (m)	Ύψος στήλης ύδατος (m)	Υδροστατική πίεση (MPa)	Συνολική πίεση (MPa)
290	0	0	2,149
280	10	0,098	2,247
270	20	0,196	2,345
260	30	0,294	2,443
250	40	0,392	2,541
240	50	0,491	2,639
230	60	0,589	2,737
220	70	0,687	2,835
210	80	0,785	2,933
200	90	0,883	3,032
190	100	0,981	3,130
180	110	1,079	3,228
170	120	1,177	3,326
160	130	1,275	3,424
150	140	1,373	3,522
140	150	1,472	3,620
130	160	1,570	3,718
120	170	1,668	3,816
110	180	1,766	3,914
100	190	1,864	4,013
90	200	1,962	4,111
80	210	2,060	4,209
70	220	2,158	4,307
60	230	2,256	4,405
50	240	2,354	4,503
40	250	2,453	4,601
30	260	2,551	4,699
20	270	2,649	4,797
10	280	2,747	4,895
0	290	2,845	4,994

Πίνακας 4.4: Διαστασιολόγηση πάχους αγωγού

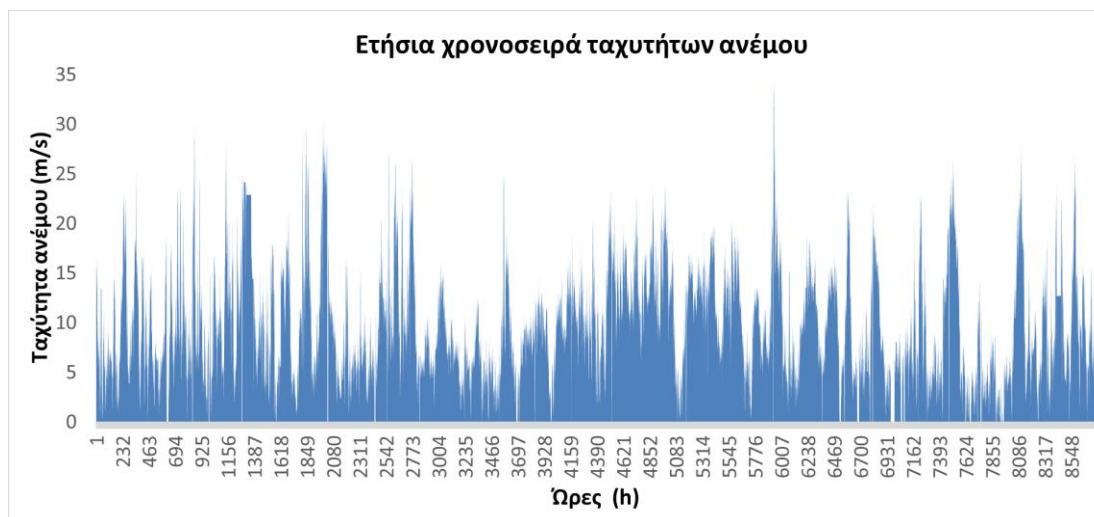
Παρατηρούμε ότι το πάχος του αγωγού αυξάνεται, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όσο κατεβαίνουμε προς τον υδροηλεκτρικό σταθμό τόσο αυξάνει η πίεση άρα και το πάχος του αγωγού. Ο λόγος που δεν επιλέχτηκε από την αρχή το μέγιστο πάχος είναι καθαρά οικονομικός. Βλέπουμε παρακάτω και τη φωτογραφία από το Google Earth με τα πάχη του αγωγού στην πορεία του προς την θάλασσα.



Εικόνα 4.6: Απεικόνιση των παχών του αγωγού στο Google Earth

4.6 Αιολικό πάρκο

Για τη διαστασιολόγηση του αιολικού πάρκου τα κυριότερα κριτήρια που μελετήθηκαν είναι το αιολικό δυναμικό της περιοχής, το ροδόγραμμα με τη διεύθυνση του ανέμου, τα χαρακτηριστικά του, η διαθέσιμη γη-το ανάγλυφο και η ελάχιστη απόσταση των ανεμογεννητριών μεταξύ τους να είναι ίση με τρεις διαμέτρους πτερωτής για την αποφυγή υπερβολικών απωλειών σκίασης. Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία που αναλύθηκαν είναι δυνατός ο υπολογισμός παραγωγής ενέργειας από το αιολικό πάρκο.

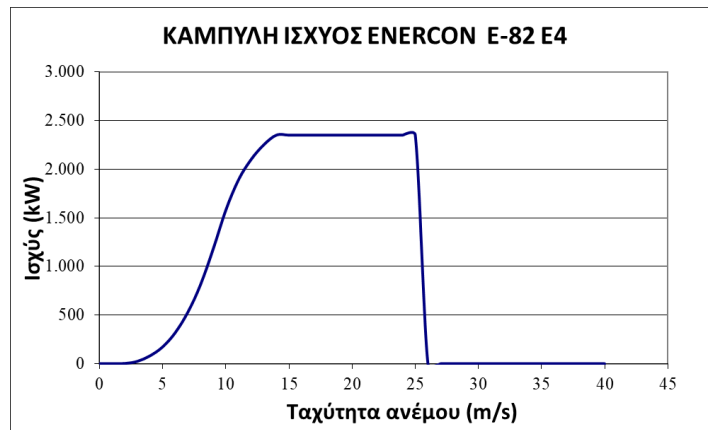


Διάγραμμα 4.4: Ετήσια χρονοσειρά ταχυτήτων ανέμου για το νησί της Σύρου

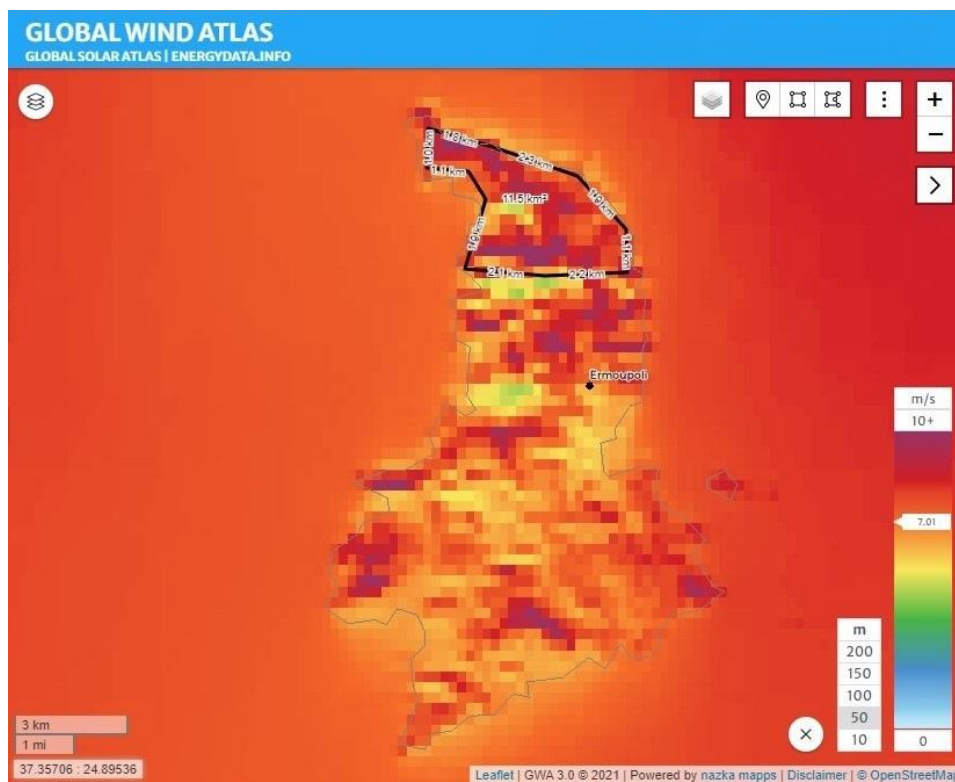
Για να υλοποιηθεί η διαδικασία υπολογισμών παραγωγής αιολικής ενέργειας επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ανεμογεννήτρια της εταιρίας «Enercon» με ονομασία μοντέλου «E-82 E4» χαρακτηριστικών: ονομαστική ισχύ 2,35MW, διάμετρο πτερωτής 82m, ύψος πυλώνα 59m και 3 πτερύγια. Θέλοντας να εισάγουμε στο υπολογιστικό πρόγραμμα την ωριαία παραγωγή μίας ανεμογεννήτριας για ένα έτος, χρειάστηκε η μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου για ένα έτος, η καμπύλη της ανεμογεννήτριας και η χρήση κατάλληλου προγράμματος στο LabVIEW. Ο αριθμός των ανεμογεννητριών επιλέχθηκε έτσι ώστε η συμμετοχή της διασύνδεσης και η απορριπτόμενη ενέργεια να μην ξεπερνά το 10% της συνολικής ετήσια ενέργειας που απαιτεί το δίκτυο. Ο αριθμός που προέκυψε είναι 13 ανεμογεννήτριες.



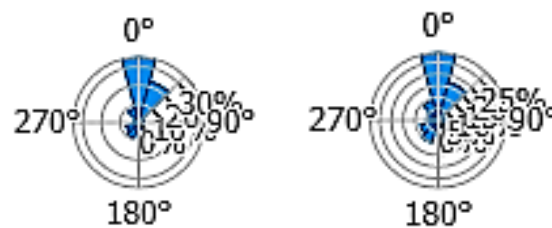
Εικόνα 4.7: Το μοντέλο της ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκε



Διάγραμμα 4.4: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

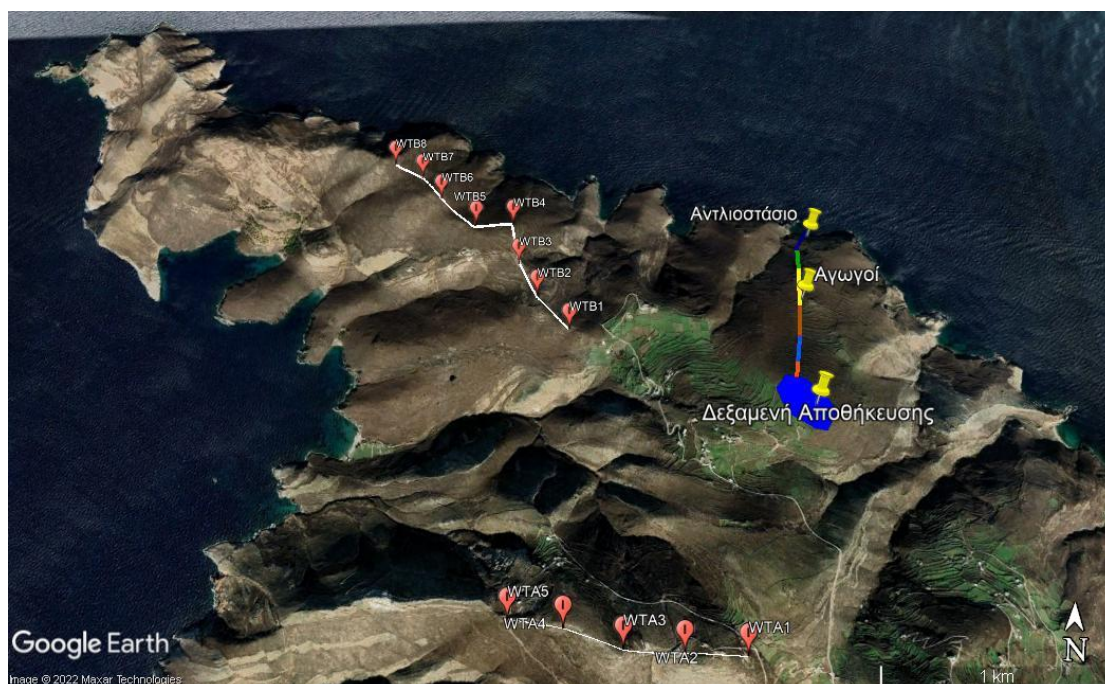


Εικόνα 4.7: Ανεμολογικός χάρτη Σύρου (από το Global Wind Atlas)



Διάγραμμα 4.5: (Αριστερά) Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου, (Δεξιά) Ροδόγραμμα συχνότητας ανέμου (από το Global Wind Atlas)

Παρατηρώντας τον ανεμολογικό χάρτη στην επιλεγμένη περιοχή αντιλαμβανόμαστε ότι υπάρχουν δύο συστοιχίες βουνών που παρουσιάζουν πλούσιο αιολικό δυναμικό σκιαγραφημένες με σκούρο μωβ. Βάση του υπομνήματος οι ταχύτητες ξεπερνούν 10m/s. Αυτό μας το επιβεβαιώνει και το αριστερό ροδόγραμμα της ταχύτητας του ανέμου το οποίο δείχνει ότι κατά την διάρκεια των βορεινών ανέμων επιτυγχάνονται υψηλές ταχύτητες. Το δεύτερο ροδόγραμμα μας δείχνει την συχνότητα των ανέμων για εκείνη την περιοχή, οποίοι είναι βορεινοί κατά το μεγαλύτερο ποσοστό. Βάση όλων των παραπάνω επιλέχθηκε η περιοχή του αιολικού πάρκου. Τοποθετήθηκαν ανεμογεννήτριες και στις δυο συστοιχίες που επικρατεί το έντονο μωβ για να αποφευχθούν απώλειες σκίασης. Παρακάτω βλέπουμε την τοποθεσία εγκατάστασης των αιολικών πάρκων.



Εικόνα 4.8: Τοποθεσία εγκατάστασης των αιολικών πάρκων

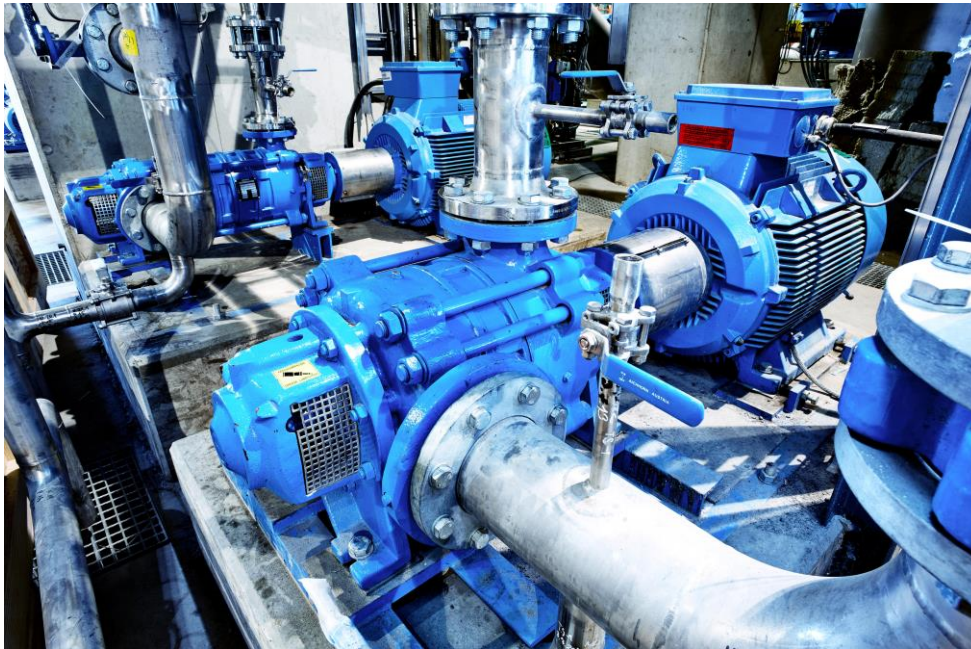
4.7 Επιλογή υδροδυναμικών μηχανών

Ο τύπος υδροστροβίλου που επιλέχθηκε είναι ο Pelton διότι είναι ο μοναδικός υδροστρόβιλος που μπορεί να εγκατασταθεί για μεγάλες υδραυλικές πτώσεις, 300m για την συγκεκριμένη εγκατάσταση. Ακόμα έχει ιδανική προσαρμογή για να λειτουργήσει με μεταβλητή παροχή, σταθερό βαθμό απόδοσης και εξαιρετικά υψηλό, της τάξης του 92-95% και το πεδίο λειτουργίας του έχει παροχή από 0,01m³/s έως 5m³/s. Βάση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών, η μέγιστη παροχή όγκου των υδροστροβίλων είναι 7,74m³/s και η μέγιστη ισχύς φτάνει τα 20,27MW. Οι υδροστρόβιλοι που επιλέχθηκαν είναι από την Τσεχοσλοβάκικη εταιρία CINK HYDRO-ENERGY. Κατασκευάζει υδροστρόβιλους από 50kW έως 10MW. Επιλέχθηκαν έξι (6) υδροστρόβιλοι οριζόντιου άξονα, ισχύος 5MW. Έχει προστεθεί μία παραπάνω μονάδα για εφεδρική για την περίπτωση βλάβης ή συντήρησης.



Εικόνα 4.8: Υδροστρόβιλοι Pelton οριζόντιου άξονα από την CINK HYDRO-ENERGY

Για το αντλητικό σύστημα θα επιλέξουμε βάση της μέγιστης παροχής όγκου των αντλιών που είναι $7,28\text{m}^3/\text{s}$ ή $26.208\text{m}^3/\text{h}$. Η μέγιστη ισχύς των αντλιών είναι $28,5\text{MW}$. Η επιλογή της αντλίας θα γίνει από την Αυστριακή εταιρία ANDRITZ και το μοντέλο MP 125.2 το οποίο στα 300m μανομετρικού δίνει παροχή $400\text{m}^3/\text{h}$ και ισχύ 700kW . Ο αριθμός αντλιών που θα χρειαστούμε είναι 42. Έχοντας 1 παραπάνω για εφεδρική χρήση σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης.



Εικόνα 4.9: Αντλίες ANDRITZ MP 125.2

4.8 Ονομαστικά μεγέθη Υ.Σ.

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης και χωροθέτησης του υβριδικού σταθμού με σκοπό τα βέλτιστα οικονομικά οφέλη στον πίνακα 4.5. 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 4.6.

Τελικά στοιχεία εγκατάσταση	Τιμή μεγέθους
Ονομαστική ισχύς αιολικού πάρκου (MW)	30,55
Ονομαστική ισχύς υδροστροβίλων (MW)	20,27
Ονομαστική ισχύς αντλιών (MW)	28,55
Μήκος σωληνώσεων (m)	1071
Διάμετρος σωληνώσεων (m)	2,235
Ύψος υδατόπτωσης (m)	300
Χωρητικότητα δεξαμενής (m ³)	1500000
Μέγιστη παροχή όγκου υδροστροβίλων (m ³ /s)	7,74
Μέγιστη παροχή όγκου αντλιών (m ³ /s)	7,28

Εικόνα 4.5: Συγκεντρωτικός πίνακας ονομαστικών μεγεθών

Είδος Μηχανής	Τύπος Μηχανής	Αριθμός Μονάδων	Ονομαστική Ισχύς Μονάδων (MW)	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Ανεμογεννήτρια	Enercon E-82 E4	13	2,35	30,55
Υδροστρόβιλος	CINK HYDRO-ENERGY Pelton	6	5	30
Αντλία	Andritz MP 125.2	42	0,7	29,4

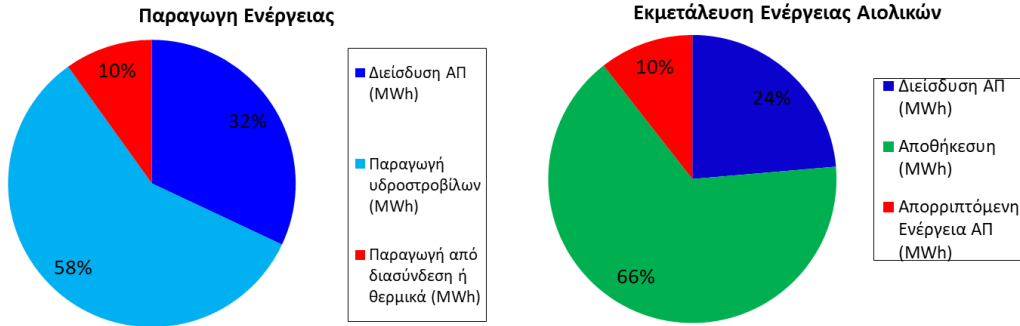
Εικόνα 4.6: Οι εγκατεστημένες μονάδες του υβριδικού σταθμού

4.9 Ετήσια μεγέθη παραγωγής Υ.Σ.

Η ενεργειακή προσομοίωση του συστήματος έδωσε την σύνθεση των μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τα ποσοστά συμμετοχής της διασύνδεσης και του υβριδικού σταθμού. Πολύ σημαντικό κριτήριο της διαστασιολόγησης ήταν η επιθυμία ελαχιστοποίησης όσο γίνεται της συμμετοχής της διασύνδεσης στην παραγωγή και της απορριπτόμενης ενέργειας η οποία παράγεται από το αιολικό πάρκο.

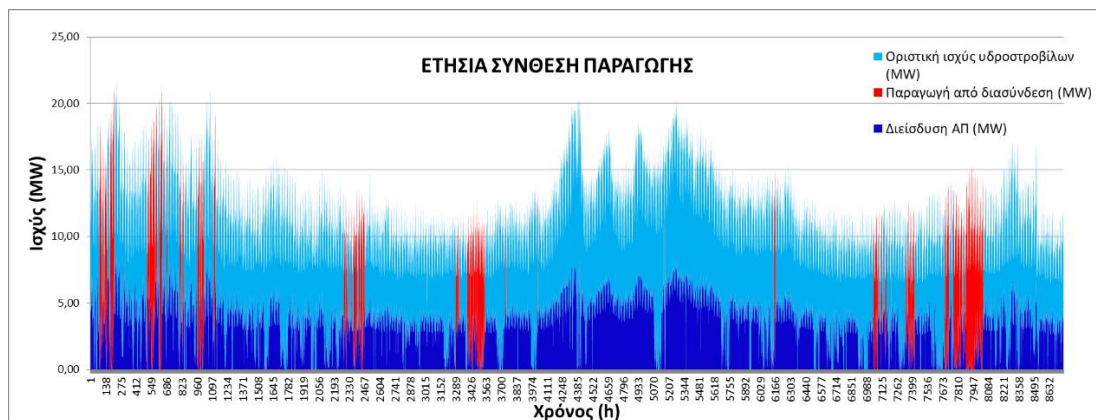
Ετήσιες συγκομιδές ενέργειας	Ποσό ενέργειας
Ετήσια παραγωγή ΑΠ (MWh)	132784,69
Διείσδυση ΑΠ (MWh)	31377,10
Παραγωγή υδροστροβίλων (MWh)	56994,01
Αποθήκευση (MWh)	84383,37
Παραγωγή από διασύνδεση ή θερμικά (MWh)	9704,73
Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠ (MWh)	14024,22

Εικόνα 4.7: Ετήσια μεγέθη παραγωγής

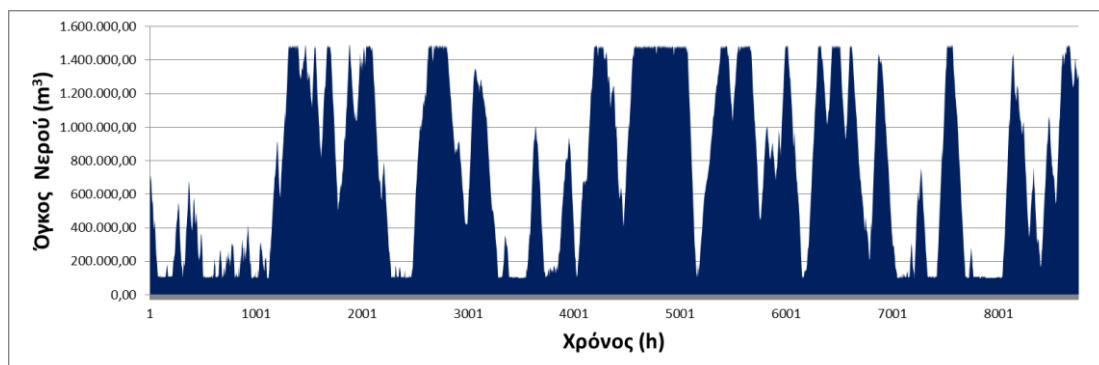


Διάγραμμα 4.6: Αριστερά η σύνθεση παραγωγής ενέργειας για τη διάρκεια ενός έτους και δεξιά η εκμετάλλευση της ενέργειας των αιολικών

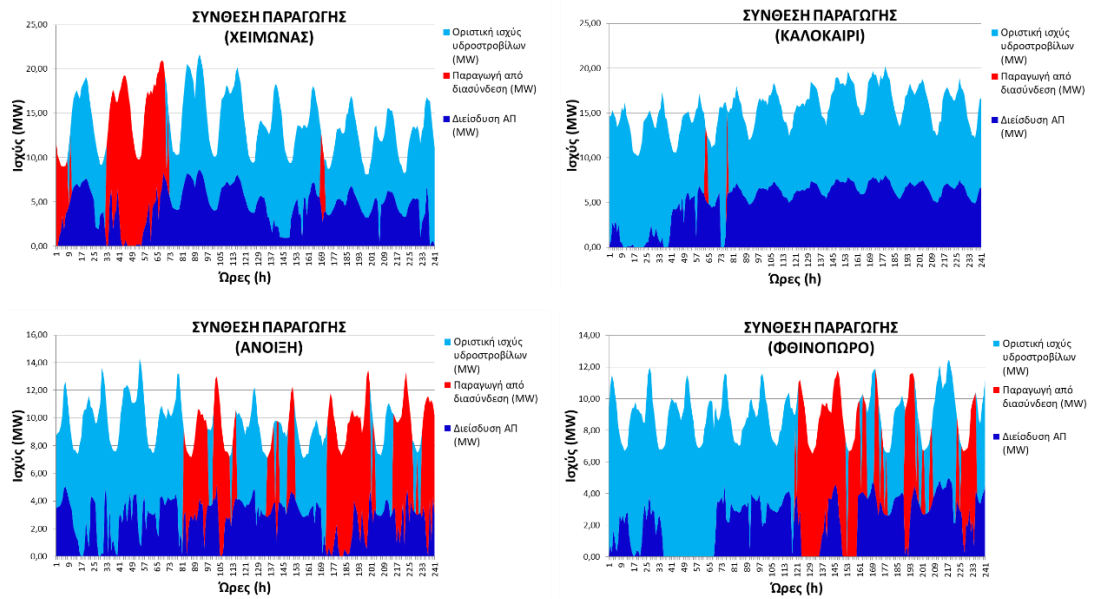
Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που πήραμε στην παρούσα προσομοίωση επιβεβαιώνουν την μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτόνομα ενεργειακά συστήματα. Για το νησί της Σύρου παρατηρούμε ότι τα αιολικά συμβάλουν στο 32% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι υδροστρόβιλοι στο 58% και η διασύνδεση ή οι θερμοηλεκτρικές μηχανές (θερμικά) στο 10%. Η παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε είναι 90%, μειώνοντας στο ελάχιστο την χρήση των εφεδρικών πηγών ενέργειας. Ακόμα η απορριπτόμενη ενέργεια είναι και αυτή μέσα στα πλαίσια που θέλαμε, να μην ξεπερνάει το 10%, αν και μπορεί να διεισδύσει στο δίκτυο της διασύνδεσης με αποτέλεσμα να εκμεταλλευτούμε το 100% της ενέργειας των αιολικών.



Διάγραμμα 4.7: Ετήσια σύνθεση παραγωγής ενέργειας



Διάγραμμα 4.8: Παραμένον όγκος νερού στη δεξαμενή



Διάγραμμα 4.9: Σύθεση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επιλεγμένες περιόδους του έτους

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.7 και 4.8 γίνεται αντιληπτό ότι κατά τη διάρκεια του έτους η δεξαμενή είναι γεμάτη κατά πλειοψηφία γίνεται ταυτόχρονα άντληση και παραγωγή από τους υδροστροβίλους εφόσον έχουμε διαθέσιμο αιολικό δυναμικό. Στο διάγραμμα 4.9 βλέπουμε πιο επιλεκτικά την σύθεση παραγωγής, έχουν επιλεγθεί κομμάτια σκόπιμα και να δείξουμε την συμβολή της διασύνδεσης ή των θερμικών σε περιόδους νημεμίας.

Κεφάλαιο 5: Οικονομική ανάλυση του έργου

5.1 Αρχικό κόστος εγκατάστασης

Η οικονομική αξιολόγηση του υβριδικού σταθμού βασίζεται σε προσεγγιστικά μεγέθη, με το αρχικό κόστος εγκατάστασης να υπολογίζονται από τις παραδοχές που παρουσιάζονται στον πίνακα με τα ειδικά κόστη και τα λοιπά έξοδα που προκύπτουν. Το σύνολο όλων αυτών είναι 68.707.225,75€.

Αρχικό κόστος έργου			
		Τιμή Παραμέτρου Μονάδα	Κόστος (€)
Βιοτικό Πάρκο	1.200,00 €/kW	11,05 MW	13.260.000,00
Αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό			
Υδροστρόβιλοι	600,00 €/kW	20,27 MW	12.161.022,60
Αντλίες	550,00 €/kW	28,55 MW	15.702.500,00
Δεξαμενή			
Χωματοουργικά	5,00 €/m ³	950.000 m ³	4.750.000,00
Στεγανοποίηση - Διαμόρφωση Πυθμένα Φράγματα	15,00 €/m ²	100.000 m ²	1.500.000,00
Χωρητικότητα Δεξαμενής:	1.500.000		500.000,00
		Συνολικό Κόστος Δεξαμενής:	6.750.000,00
		Ειδικό Κόστος:	4,50 €/m³
Αγωγός			
Αγορά Υλικών	0,90 €/kg	3.751.739,38 kg	6.753.130,88
Μεταφορά - Έγκατάσταση			2.025.939,26
Κόστος Εκσκαφής	5,00 €/m ³	10.926,60 m ³	54.633,01
		Συνολικό Κόστος Αγωγού:	8.833.703,15
Λιμάνι			2.000.000,00
Άλλα Έργα			10.000.000,00
		Συνολικό Αναστρέψιμου Υδροηλ.:	55.447.225,75
		Συνολικό Αρχικό Κόστος (€):	68.707.225,75

Πίνακας 5.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αρχικού κόστους εγκατάστασης

5.2 Χρηματοδοτικό σχήμα

Με βάση της τρέχουσας νομοθεσίας επιλέγεται το χρηματοδοτικό σχήμα που παρουσιάζεται στον πίνακα 5.2 με το δανειακό κεφάλαιο να έχει περίοδο αποπληρωμής τα 15 έτη και επιτόκιο 5%.

Χρηματοδοτικό Σχήμα		Ποσοστά (%)
Ίδια κεφάλαια	17.176.806,44	0,25
Επιχορήγηση	20.612.167,72	0,30
Δάνειο	30.918.251,59	0,45
Σύνολο:	68.707.225,75	
Περίοδος Εξόφλησης (έτη)	15	
Επιτόκιο Δανεισμού (%)	0,05	
Τιμή (€/kWh)	0,16	
Ετήσια Ενέργεια (kWh)	88.371.108,99	
Ετήσια Έσοδα (€)/Έτος	14.139.377,44	

Πίνακας 5.2: Χρηματοδοτικό σχήμα έργου

5.3 Ετήσια χρηματοροή

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

- Δημοτικά τέλη το 3% των συνολικών ακαθαρίστων εσόδων
- Συντήρηση αιολικού πάρκου 15.000 Ευρώ ανά ανεμογεννήτρια
- Συντήρηση αναστρέψιμου σταθμού 100.000
- Ετήσια δόση δανείου
- Ασφάλεια εξοπλισμού 0,4% του αρχικού κόστους του έργου
- Μισθοδοσία εργαζομένων μαζί με ένσημα 200.000€
- Απόσβεση με σταθερή μείωση υπολοίπου για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου
- Διάρκεια ζωής του έργου 20 έτη και επιτόκιο αναγωγής 3%

Έτος	Ετήσια Έσοδα (€)	Δημοτικά Τέλη (€)	Συντήρηση (€)	Πληρωμή Δανείου (€)	Ασφάλεια Εξοπλισμού (€)	Μισθοδοσία (€)	Ενοίκιο Γής (€)	Διάφορα Έξοδα (€)	Απόσβεση (€)
1	14.139.377,44	424.181,32	100.000,00	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
2	14.139.377,44	424.181,32	100.000,00	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
3	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
4	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
5	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
6	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
7	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
8	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
9	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
10	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
11	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
12	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
13	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
14	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
15	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	2.978.735,09	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
16	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	0,00	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
17	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	0,00	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
18	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	0,00	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
19	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	0,00	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32
20	14.139.377,44	424.181,32	1.427.846,92	0,00	219.863,12	200.000,00	100.000,00	50.000,00	1.923.802,32

Πίνακας 5.3: Αναγωγή της χρηματοροής σε διάρκεια 20 ετών

Φόροι (€)	Συνολικά Έξοδα (€)	Κέρδη (€)	Κέρδη στην παρούσα Αξία (€)	Αθροιστικά Κέρδη (€)	Αθροιστικά Κέρδη στη παρούσα Αξία (€)
2.361.410,72	6.434.190,25	7.705.187,19	7.480.764,26	7.705.187,19	7.480.764,26
2.361.410,72	6.434.190,25	7.705.187,19	7.262.877,92	15.410.374,37	14.743.642,18
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	6.188.568,49	22.172.790,25	20.932.210,67
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	6.008.318,92	28.935.206,12	26.940.529,58
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	5.833.319,34	35.697.622,00	32.773.848,92
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	5.663.416,83	42.460.037,88	38.437.265,76
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	5.498.462,94	49.222.453,75	43.935.728,70
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	5.338.313,54	55.984.869,63	49.274.042,24
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	5.182.828,68	62.747.285,50	54.456.870,92
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	5.031.872,50	69.509.701,38	59.488.743,42
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	4.885.313,11	76.272.117,26	64.374.056,53
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	4.743.022,44	83.034.533,13	69.117.078,97
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	4.604.876,15	89.796.949,01	73.721.955,12
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	4.470.753,55	96.559.364,88	78.192.708,67
1.976.335,11	7.376.961,56	6.762.415,88	4.340.537,42	103.321.780,76	82.533.246,09
2.840.168,29	5.262.059,65	8.877.317,79	5.532.050,95	112.199.098,55	88.065.297,04
2.840.168,29	5.262.059,65	8.877.317,79	5.370.923,26	121.076.416,33	93.436.220,30
2.840.168,29	5.262.059,65	8.877.317,79	5.214.488,60	129.953.734,12	98.650.708,90
2.840.168,29	5.262.059,65	8.877.317,79	5.062.610,29	138.831.051,91	103.713.319,19
2.840.168,29	5.262.059,65	8.877.317,79	4.915.155,62	147.708.369,70	108.628.474,81

Πίνακας 5.4: Αναγωγή της χρηματοροής σε διάρκεια 20 ετών(συνέχεια)

Κεφάλαιο 6: Επίλογος

6.1 Αξιολόγηση έργου

Αναλύοντας τις καρτέλες της τεχνοοικονομικής αναφοράς καταρχάς καταλαβαίνουμε ότι το έργο αυτό είναι μία βιώσιμη επένδυση. Σε αναγωγή είκοσι ετών βλέπουμε πόσο σύντομα (10 έτη) γίνεται η απόσβεση των χρημάτων που δαπανήθηκαν στην αρχή για την εγκατάσταση. Αξίζει λοιπόν μια τέτοια επένδυση εφόσον τηρηθεί το οικονομικό σχεδιάγραμμα. Από θέμα απόδοσης του συστήματος βάση της μελέτης το έργο καταφέρνει αξιοποιήσει στο 90% τις Α.Π.Ε. κάτι που είναι πολύ σημαντικό.

6.2 Συμπεράσματα

Αξιοποιώντας τις Α.Π.Ε σε ένα υβριδικό σύστημα σαν και αυτό μόνο οφέλη έχει να προσφέρει στο ίδιο το νησί, τέτοια είδους έργα δημιουργούν νέους οικονομικούς πόρους και νέες θέσεις εργασίας τόσο στην κατασκευή που θα συνεργαστούν αρκετοί τομείς μεταξύ τους, όσο και κατά την λειτουργία του έργου ως μόνιμο εξειδικευμένο προσωπικό. Ακόμα τα οφέλη για την τοπική κοινωνία είναι άξια αναφοράς καθώς βελτιώνει την ανάπτυξη του τόπου και εντάσσει άλλο ένα αξιοθέατο για προβολή στην ατζέντα τους για τον τουρισμό, πόσο δε για τους ανθρώπους που έρχονται ένα βήμα πιο κοντά στις Α.Π.Ε. ώστε να ενημερωθούν σωστά και να τις αξιοποιήσουν στην καθημερινή τους ζωή. Τέλος σε ένα υβριδικό σύστημα σαν και αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα θα είναι προσιτό στην τιμή του για όλους

Βιβλιογραφία

- Δημήτρης Παπαντώνης, Αθήνα 2015, Υδροδυναμικές μηχανές αντλίες υδροστρόβιλοι – Υδροδυναμικές μεταδόσεις
- Απόστολος Πολυζάκης, Ρευστοδυναμικές Μηχανές, Στροβυλομηχανές – Υδροδυναμικές Μηχανές
- Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας & Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων, Ηράκλειο Κρήτης 2015
- Ν. Ανδρίτσος, Ενέργεια και Περιβάλλον
- <https://el.wikipedia.org/>
- <https://gr.encyclopedia-titanica.com/>
- <https://eletaen.gr/gnoriste-tin-aioliki-energeia/>
- www.aiolikigi.gr
- Διάφορα δεδομένα για τον άνεμο (χάρτες, ροδόγραμμα κτλπ.)
<https://globalwindatlas.info/>
- <https://www.terna-energy.com/>
- Σωληνουργία Κορίνθου <https://www.cpw.gr/en/>
- Ανεμογεννήτριες <https://www.enercon.de/en/home/>
- Υδροστρόβιλοι <https://www.cink-hydro-energy.com/>
- Αντλίες <https://www.andritz.com/>