



Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: Μελέτη, διαστασιολόγηση, χωροθέτηση και οικονομική αξιολόγηση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα Κω-Καλύμνου



Ονοματεπώνυμο σπουδαστή: Μίχας Πανορμίτης

Αριθμός Μητρώου τμήματος: 5298

Επιβλέπων καθηγητής: κος Κατσαπρακάκης Δημήτρης

ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, προβάλλεται η προσομοίωση ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες βάσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στο σύστημα το οποίο αναφέρεται ο σταθμός δεν υπάρχει διασύνδεση με την ηπειρωτική Ελλάδα και συγκεκριμένα περιλαμβάνει ένα σύμπλεγμα νήσων του νότιο- ανατολικού Αιγαίου. Τα νησιά αυτά είναι η Κάλυμνος (στην οποία λαμβάνει τόπο το έργο), η Κως, η Λέρος, η Νίσυρος, η Αστυπάλαια, η Τήλος, οι Λειψοί, η Τέλενδος και η Ψέριμος. Όλα αυτά τα νησιά τροφοδοτούνται ηλεκτρικά από δύο εργοστάσια με θερμοηλεκτρικά, ένα στην Κάλυμνο και ένα στην Κω.

Το έργο το οποίο προτάσσεται είναι ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό το οποίο θα λειτουργεί σε συνδυασμό με αιολικό πάρκο. Αυτό το σύστημα στην λειτουργία του προϋποθέτει ότι το αιολικό πάρκο θα παράγει ηλεκτρική ενέργεια και θα απορροφάται, όση γίνεται, απευθείας στο δίκτυο. Στις ώρες τις οποίες η παραγωγή από το αιολικό θα είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση ισχύος, άρα το σύστημα θα παρουσιάζει περίσσεια, τότε αντλίες θα στέλνουν αφαλατωμένο θαλασσινό νερό σε μια δεξαμενή. Σε περίπτωση όμως που η ενέργεια από το αιολικό δεν επαρκεί τότε νερό από την δεξαμενή θα πέσει μέσω αγωγού, θα διανύσει μια υψομετρική διαφορά και εν τέλει θα παραχθεί ενέργεια από υδροστρόβιλους. Αν και πάλι δεν επαρκεί η παραγόμενη ενέργεια, τότε υπάρχουν θερμοηλεκτρικά σε μορφή εφεδρείας για να δώσουν ισορροπία στο σύστημα.

Κατά την πορεία της εργασίας αυτής θα διαστασιολογηθεί αυτό το σύστημα, καθώς και τα επιμέρους τμήματά του. Επίσης, θα γίνει χωροθέτηση του έργου και οικονομική αξιολόγηση.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ενασχόλησή μου με το αντικείμενο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και ειδικότερα με το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό πάρκο ήταν άκρως ενδιαφέρουσα. Η ιδιαίτερα ελπιδοφόρα αυτή μέθοδος υβριδικού συστήματος επιλέχθηκε ως αντικείμενο της διπλωματικής μου εργασίας μετά από προτροπή του επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Κατσαπρακάκη Δημήτρη. Θα ήθελα να του εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου τόσο διότι μου έδωσε τη δυνατότητα να εκπονήσω αυτή την πτυχιακή εργασία που ανταποκρίνεται πλήρως στα ερευνητικά μου ενδιαφέροντα, αλλά και για τις κατευθυντήριες γραμμές που μου έδωσε και την ουσιαστική υποστήριξη που μου παρείχε.

Φυσικά, σε μια τόσο γενικευμένη μελέτη όπως αυτή χρειάζονται γενικές γνώσεις και αυτά τα χρόνια φοιτώντας στο Τ.Ε.Ι Ηρακλείου είχα την τύχη να διδαχθώ από σπουδαίους καθηγητές που άφησαν το στίγμα τους στην φοίτηση μου και που θα με ακολουθούν οι γνώσεις που μου πρόσφεραν σαν δυνατό εφόδιο σε όλη μου την καριέρα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|----|
| Περίληψη | 1 |
| Ευχαριστίες | 2 |
| Περιεχόμενα | 3 |
| Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή..... | 5 |
| • <u>1.1</u> : Ενέργεια και πηγές ενέργειας..... | 5 |
| • <u>1.2</u> : Η ανάγκη της αποθήκευσης ενέργειας..... | 6 |
| • <u>1.3</u> : Τρόποι αποθήκευσης ενέργειας..... | 7 |
| • <u>1.3.1</u> : Αποθήκευση σε μορφή πεπιεσμένου αέρα..... | 8 |
| • <u>1.3.2</u> : Αποθήκευση σε υδραυλικό ταμειυτήρα..... | 9 |
| • <u>1.4</u> : Τα οφέλη από την εισαγωγή αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών στην Ελλάδα | 10 |
| • <u>1.5</u> : Κύρια χαρακτηριστικά των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών..... | 11 |
| • <u>1.5.1</u> : Εφαρμογή της αντλησιοταμίευσης στο διασυνδεδεμένο σύστημα..... | 13 |
| • <u>1.5.2</u> : Εφαρμογή της αντλησιοταμίευσης σε υβριδικό σύστημα..... | 16 |
| • <u>1.5.3</u> : Η λειτουργία των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών..... | 16 |
| • <u>1.6</u> : Αιολική ενέργεια..... | 18 |
| • <u>1.6.1</u> : Ανεμογεννήτριες..... | 19 |
| • <u>1.6.2</u> : Κατηγορίες ανεμογεννητριών..... | 20 |
| • <u>1.7</u> : Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αποθήκευσης- απόδοσης ενέργειας..... | 20 |
| • <u>1.8</u> : Σκοπός έργου..... | 23 |
| Κεφάλαιο 2 : Περιγραφή της νήσου Καλύμνου..... | 24 |
| • <u>2.1.1</u> : Θέση νήσου Καλύμνου | 24 |
| • <u>2.1.2</u> : Μορφολογία νησιού..... | 25 |
| • <u>2.1.3</u> : Πληθυσμός νησιού..... | 26 |
| • <u>2.2</u> : Προσδιορισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα παραγωγής αυτού του συμπλέγματος νήσων..... | 26 |
| • <u>2.3</u> : Ζήτηση ισχύος από το δίκτυο..... | 31 |
| Κεφάλαιο 3 : Υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας..... | 34 |
| • <u>3.1</u> : Περιγραφή..... | 34 |
| • <u>3.2</u> : Υβριδικά συστήματα ανά τον κόσμο..... | 34 |
| • <u>3.2.1</u> : Σταθμός παραγωγής ενέργειας στην περιφέρεια Okinawa με χρήση θαλασσινού νερού..... | 35 |
| • <u>3.2.1.1</u> : Πλεονεκτήματα χρήσης θαλασσινού νερού..... | 38 |
| • <u>3.2.1.2</u> : Μειονεκτήματα χρήσης θαλασσινού νερού..... | 39 |
| • <u>3.2.1.3</u> : Ιδιαιτερότητες χρήσης θαλασσινού νερού..... | 39 |
| • <u>3.2.2</u> : Η μελέτη για το σύστημα της Ιρλανδίας..... | 40 |

| | |
|---|----|
| • 3.2.3: Το υπό κατασκευή έργο στο νησί El Hierro..... | 43 |
| • 3.2.4: Το υπό κατασκευή έργο στην Ικαρία..... | 44 |
| Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση υβριδικού σταθμού στο σύστημα Κω- Καλύμνου..... | 51 |
| • 4.1: Περιγραφή σταθμού..... | 51 |
| • 4.2: Αλγόριθμος λειτουργίας του συστήματος..... | 51 |
| • 4.3: Θέση εγκατάστασης του υδροηλεκτρικού σταθμού..... | 52 |
| • 4.4: Διαστασιολόγηση έργου και χωροθέτηση επιμέρους μηχανημάτων..... | 53 |
| • 4.4.1: Ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού..... | 53 |
| • 4.4.2: Απεικόνιση όδευσης αγωγού..... | 55 |
| • 4.4.3: Αιολικό πάρκο..... | 55 |
| • 4.4.4: Υδροδυναμικές μηχανές..... | 58 |
| • 4.4.5: Κατασκευή σωλήνωσης..... | 61 |
| • 4.4.6: Ονομαστικά μεγέθη..... | 62 |
| • 4.4.7: Ετήσια μεγέθη παραγωγής..... | 63 |
| Κεφάλαιο 5: Οικονομική ανάλυση του έργου..... | 65 |
| • 5.1: Αρχικό κόστος εγκατάστασης..... | 65 |
| • 5.2: Χρηματοδοτικό σχήμα..... | 66 |
| • 5.3: Ετήσια χρηματοροή..... | 67 |
| Κεφάλαιο 6: Επίλογος..... | 70 |
| • 6.1: Αξιολόγηση έργου..... | 70 |
| • 6.2: Συμπεράσματα..... | 70 |
| Βιβλιογραφία..... | 71 |

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1: Ενέργεια και πηγές ενέργειας

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

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

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

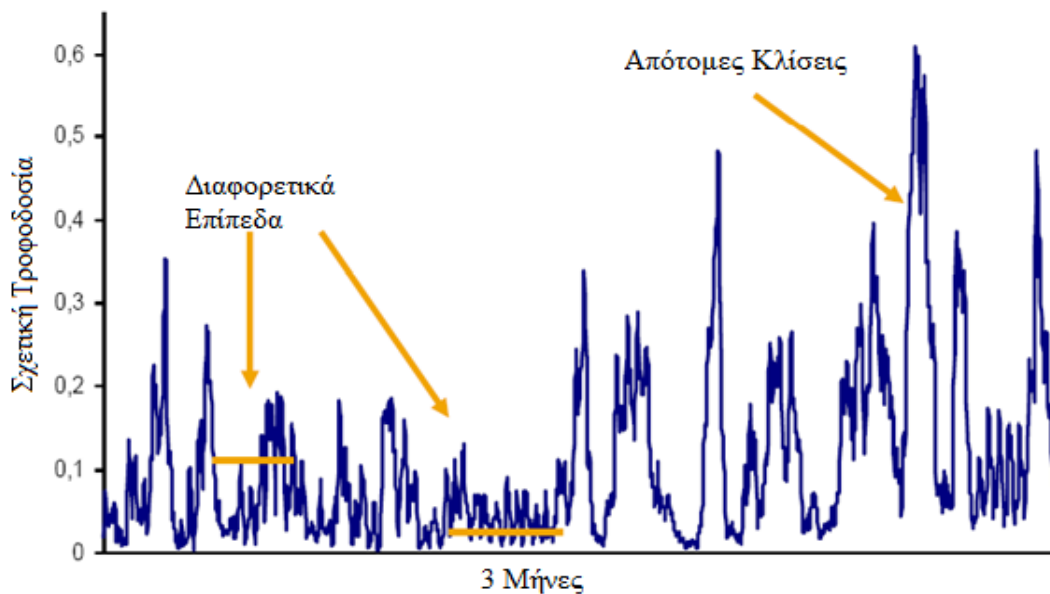
Τα μειονεκτήματα των Α.Π.Ε. είναι η χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, οι διακυμάνσεις διαθεσιμότητας, ο χαμηλός συντελεστής χρησιμοποίησης CF και το υψηλό μέχρι στιγμής κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος.

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

1.2: Η ανάγκη της αποθήκευσης ενέργειας

Σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, είτε αυτό είναι ένα ισχυρό διασυνδεδεμένο δίκτυο (όπως αυτό της ηπειρωτικής χώρας) είτε είναι αυτόνομο (μεγάλης ή μικρότερης ισχύος, όπως τα νησιά ανάλογα με το μέγεθός τους) σε κάθε χρονική στιγμή πρέπει να ικανοποιείται το ισοζύγιο της ισχύος, δηλαδή η ισχύς που απορροφάται από τους καταναλωτές, το φορτίο, πρέπει να είναι ίση, με μικρές αποκλίσεις, προς αυτή που παράγουν οι σταθμοί παραγωγής (θερμικοί, υδροηλεκτρικοί κλπ). Η χρονική διακύμανση του φορτίου είναι σχετικά προβλέψιμη ώστε να προσαρμόζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Για τεχνικούς λόγους και σε περιόδους χαμηλού φορτίου, οι μεγάλοι θερμικοί σταθμοί δεν μπορούν να μειώσουν την παραγωγή τους κάτω από ένα τεχνικό ελάχιστο όριο οπότε τις χρονικές αυτές περιόδους φαίνεται να περισσεύει ισχύς στο δίκτυο.

Η αύξηση της συμμετοχής της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από την αιολική ενέργεια προκαλεί νέα τεχνικά προβλήματα στην διαχείριση ενός ηλεκτρικού δικτύου, τα οποία οφείλονται στην έντονη χρονική διακύμανση που παρουσιάζει η παραγωγή των αιολικών πάρκων και στην αδυναμία πρόβλεψης της παραγωγής από τα αιολικά πάρκα.



Εικόνα 1.1: Διάγραμμα παραγωγής αιολικής ενέργειας στην μονάδα του χρόνου.

Άρα στην ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας που υπήρχε παραδοσιακά λόγω των τεχνικών ελαχίστων των μεγάλων θερμικών σταθμών παραγωγής και την κάλυψη των αιχμών ενός δικτύου προστίθεται μία καινούργια που προέρχεται την αύξηση της συμμετοχής των αιολικών πάρκων στο σύστημα παραγωγής.

Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας που προέρχεται από την παραγωγή αιολικών πάρκων γίνεται απαραίτητη, ακόμη και σε ισχυρά διασυνδεδεμένα δίκτυα, όταν η

συμμετοχή της αιολικής ενέργειας αρχίζει να πλησιάζει κάποια όρια πέρα από τα οποία η διείσδυση της αιολικής ενέργειας προκαλεί αστάθεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ήδη κάποιες χώρες έχουν φθάσει στο όριο αυτό οπότε η περαιτέρω ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας μπορεί να γίνει μόνο μέσω αποθήκευσης.

Στην Γερμανία με συνολική εγκατεστημένη ισχύ περί τις 120.000 MW η ισχύς των αιολικών πάρκων είναι ήδη 22.000 MW. Στην Ελλάδα σήμερα με εγκατεστημένη ισχύ περί τα 14.000 MW, η ισχύς των αιολικών πάρκων είναι περί τα 900 MW (από αυτά τα 700 MW τροφοδοτούν το διασυνδεδεμένο δίκτυο). Για το 2020 ο στόχος είναι να έχουν εγκατασταθεί 5.000-8.000 MW αιολικών πάρκων οπότε θα αρχίζουμε να έχουμε πρόβλημα διείσδυσης. Επίσης στις χρονικές περιόδους υψηλού φορτίου (υψηλού φορτίου) και ιδιαίτερα στις αιχμές του φορτίου είναι ιδιαίτερα επιθυμητή στον διαχειριστή ενός δικτύου η διαθεσιμότητα μεγάλης ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Από τα προηγούμενα προκύπτει η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας τις ώρες που υπάρχει αυτή διαθέσιμη και η δυνατότητα πρόσδοσης ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής.

1.3: Τρόποι αποθήκευσης ενέργειας

Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευθεί με διάφορες μορφές όπως:

- σε ηλεκτρική μορφή συνεχούς ρεύματος σε μία συστοιχία ηλεκτρικών συσσωρευτών (μπαταρίες).
- σε μηχανική μορφή υπό την μορφή κινητικής ενέργειας σε σφόνδυλο.
- υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα ή αερίου γενικότερα σε αεριοφυλάκιο.
- σε υδραυλική μορφή υπό την μορφή ποσότητας νερού που αντλείται από μία χαμηλότερη στάθμη σε μία υψηλότερη.

Στην διαδικασία αποθήκευσης της ενέργειας και στην συνέχεια της επαναπόδοσής της στην κατανάλωση γίνεται με την ανάπτυξη απωλειών με αποτέλεσμα η ενέργεια που αποδίδεται να είναι μικρότερη από την ενέργεια που αποθηκεύεται. Ο τύπος των απωλειών εξαρτάται από την μέθοδο αποθήκευσης. Ως βαθμός απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης ορίζεται ο λόγος της ενέργειας που αποδίδεται προς την ενέργεια που αποθηκεύεται.

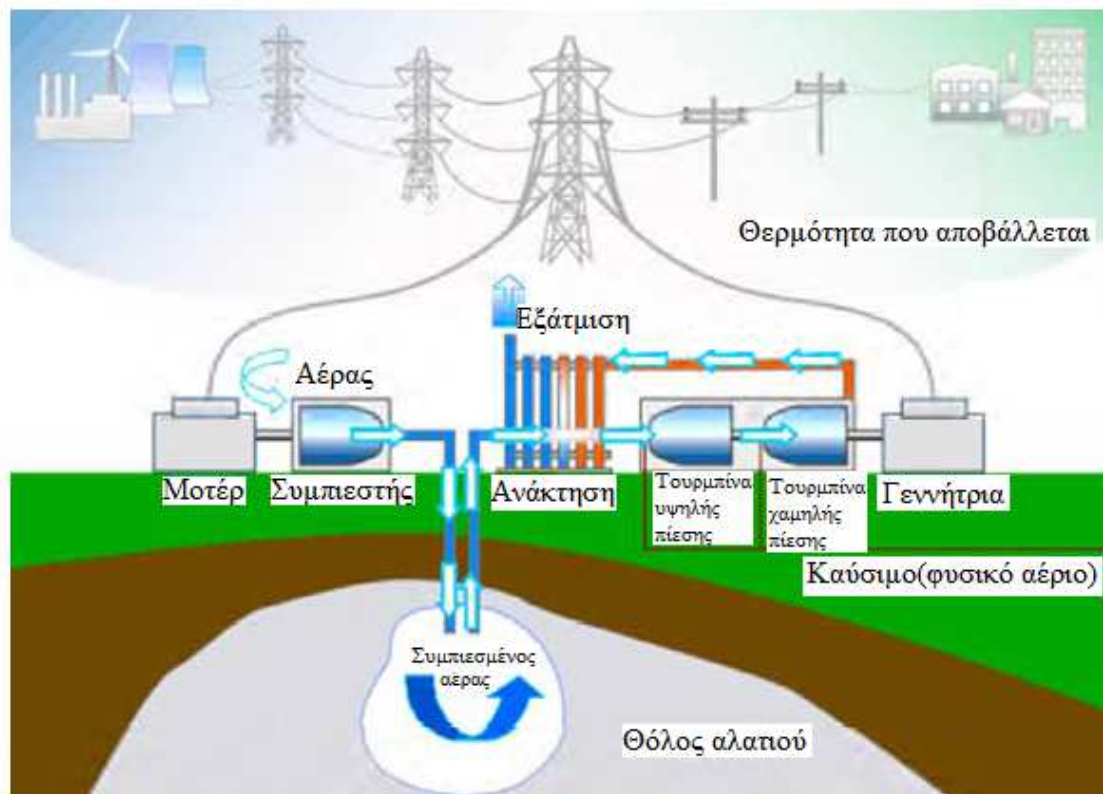
| Τεχνολογία | Ολικός βαθμός Απόδοσης (%) | Μέγεθος (MWh) |
|------------------------|----------------------------|---------------|
| Υδραυλικός Ταμιευτήρας | -75 | 0-20.000 |
| Πεπιεσμένος Αέρας | 90 | 250-2.200 |
| Σφόνδυλος | 90+ | 0,1-20 |
| Ηλ. Συσσωρευτής | 70-84 | 17-40 |

Από όλες τις μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας, μόνο η αποθήκευση της σε μορφή υδραυλικής ενέργειας και υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα καλύπτουν την περιοχή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, όποτε είναι εφαρμόσιμες στην περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου. Επίσης παρουσιάζουν το ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Είναι αναστρέψιμες μέθοδοι (αποθήκευση και τροφοδοσία του ηλεκτρικού δικτύου).
- Έχουν γρήγορη απόκριση.
- Έχουν σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης σε ένα πλήρη κύκλο.

1.3.1: Αποθήκευση σε μορφή πεπιεσμένου αέρα

Ο πλήρης κύκλος περιλαμβάνει αεροσυμπιεστή του ατμοσφαιρικού αέρα, αποθήκευση του πεπιεσμένου αέρα σε υπόγεια σπήλαια σε πίεση 40-80 bar και στην συνέχεια παραγωγή ηλεκτρισμού από 2 αεριοστρόβιλους (υψηλής και χαμηλής πίεσης).



Εικόνα 1.2: Περιγραφή πλήρους κύκλου αποθήκευσης σε μορφή πεπιεσμένου αέρα.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της μεθόδου αποθήκευσης βρίσκονται στις πιλοτικές μονάδες στις ΗΠΑ (Alabama και Ohio) και στην πιλοτική μονάδα στη Γερμανία (Huntorf). Όσον αφορά την μονάδα της Alabama, κατασκευάστηκε το 1991 και περιλαμβάνει αεριοστρόβιλους συνολικής ισχύος 110 MW που λειτουργούν για 26 ώρες. Αντίστοιχα, η μονάδα του Ohio κατασκευάστηκε το 2008 και περιλαμβάνει αεριοστρόβιλους συνολικής ισχύος 2.700 MW που λειτουργούν για 192 ώρες. Τέλος, η

μονάδα του Huntorf κατασκευάστηκε το 1980 και περιλαμβάνει αεριοστροβίλους συνολικής ισχύος 290 MW που λειτουργούν για 2 ώρες και αεροσυμπιεστή ισχύος 60 MW που λειτουργεί για 8 ώρες.

1.3.2: Αποθήκευση σε υδραυλικό ταμιευτήρα

Ο πλήρης κύκλος περιλαμβάνει άντληση νερού από ένα κάτω ταμιευτήρα σε ένα άνω ταμιευτήρα των οποίων η υψομετρική διαφορά είναι ίση προς h για την φάση της αποθήκευσης ενέργειας (μετατρέπεται η ηλεκτρική ενέργεια σε υδραυλική) και για την φάση της παραγωγής διακίνηση του νερού από τον πάνω ταμιευτήρα στον κάτω μέσω υδροστροβίλων οπότε η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική. Πρόκειται για τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα.



Εικόνα 1.3: Περιγραφή πλήρους κύκλου αποθήκευσης σε υδραυλικό ταμιευτήρα.

Η πρώτη εφαρμογή μεγάλης κλίμακας αναφέρεται το 1929 στην Γερμανία. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής είναι η δυνατότητα γρήγορης παραλαβής και γρήγορης απόρριψης φορτίου πολύ μεγάλης ισχύος με αποτέλεσμα να αποτελούν την καλύτερη λύση που διαθέτει ο διαχειριστής ενός δικτύου ώστε να καλύπτει τις αιχμές φορτίου που παρουσιάζονται.

Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα που λειτουργούν σήμερα σε ολόκληρη την υφήλιο έχουν ισχύ περί τις 140.000 MW από τα οποία:

- 100.000 MW στην Ευρώπη, Ασία και Λατινική Αμερική.
- 21.000 MW στην Ιαπωνία.
- 19.000 MW στις ΗΠΑ.

Στην Ελλάδα λειτουργούν 2 αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα: Της Σφηκιάς στον ποταμό Αλιάκμονα (1985) με 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος $3 \times 105 = 315$ MW και του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο (1998) με 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος

3X127=381 MW, διαθέσιμη υδραυλική πτώση $H=154$ m και ταμιευτήρα χωρητικότητας 565.106 m^3 .

1.4: Τα οφέλη από την εισαγωγή αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών στην Ελλάδα

Τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο, οι αλλαγές στον ενεργειακό χάρτη προμηνύονται ιδιαίτερα σημαντικές για την ερχόμενη δεκαετία. Ιδιαίτερα η χώρα μας φιλοδοξεί να συμβαδίσει με τις επιταγές της Ε.Ε. και να έχει επιτύχει μέχρι το 2020, το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται αποκλειστικά από ΑΠΕ.

Είναι πλέον προφανές ότι η εισαγωγή ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σε ένα μη διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να συμβάλει τόσο στην αύξηση της συμμετοχής των μονάδων Α.Π.Ε. στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και στη βελτίωση της ασφάλειας του συστήματος και της δυνατότητας έγκαιρης αντίδρασής του σε ένα περιστατικό διαταραχής στην παραγωγή. Το τελευταίο, τονίζεται ξανά, επιτυγχάνεται μέσω της εισαγωγής των υδροστροβίλων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, μονάδων δηλαδή που είναι ικανές να αναλάβουν άμεσα μεγάλα φορτία και να παρακολουθήσουν επιτυχώς γρήγορες διακυμάνσεις ζήτησης ισχύος. Τα χαρακτηριστικά αυτά βοηθούν στη διατήρηση της τάσης και της συχνότητας του συστήματος εντός των προδιαγεγραμμένων ορίων λειτουργίας.

Ακόμα βέβαια και στο διασυνδεδεμένο ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη μείωση του κόστους παραγωγής μέσω της διαδικασίας της απαλοιφής αιχμών ζήτησης ισχύος.

Ποια λοιπόν μπορεί να είναι τα έμμεσα οφέλη από την εισαγωγή αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών στην Ελλάδα, που προκύπτουν μέσω της μείωσης του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της αύξησης της αξιοποίησης τεχνολογιών Α.Π.Ε.; Επιγραμματικά αναφέρονται τα παρακάτω:

1. Τόνωση της τοπικής οικονομίας στη θέση εγκατάστασης του έργου, τόσο κατά τη φάση κατασκευής όσο και κατά τη φάση λειτουργίας, μέσω της δημιουργίας θέσεων εργασίας και έργων υποδομής.
2. Τόνωση της εθνικής οικονομίας, μέσω της μείωσης του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και του περιορισμού εισαγωγής υγρών ορυκτών καυσίμων.
3. Εκμετάλλευση των εγχώριων πρωτογενών μορφών ενέργειας και συμβολή προς την ενεργειακή απεξάρτηση της χώρας από εισαγόμενες πρωτογενείς πηγές ενέργειας.
4. Συμβολή σε εθνικό επίπεδο στην επίτευξη των στόχων του Κυότο και, κατά συνέπεια, επιπλέον τόνωση της εθνικής οικονομίας μέσω της αποφυγής καταβολής του προβλεπόμενου κόστους εκπομπής ρύπων.
5. Συμβολή σε τοπικό επίπεδο στην περιβαλλοντική ανακούφιση και αναβάθμιση των περιοχών εγκατάστασης των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών.

6. Δημιουργία περιβαλλοντικών και τουριστικών βιότοπων, στις θέσεις εγκατάστασης των δεξαμενών. Δυνατότητες πολυποίκιλης αξιοποίησης των χώρων αυτών και προοπτικές για επιπλέον θέσεις εργασίας και τόνωση της τοπικής οικονομίας.
7. Εφόσον προβλεφθεί στη μελέτη του έργου και εξασφαλισθεί η πληρότητα των δεξαμενών με τις αναγκαίες ποσότητες νερού, δυνατότητα αξιοποίησης του αποθηκευμένου νερού και σε άλλες χρήσεις, όπως οι αρδευτικές αλλά και η ύδρευση. Η διαχείριση της παραγόμενης από ΑΠΕ (Αιολική Ενέργεια κυρίως) παρουσιάζει ευκαιρίες παραγωγής γλυκού νερού με αφαλάτωση ή μεταφοράς νερού με μεγάλα αντλητικά συγκροτήματα για την άρδευση περιοχών σε απομεμακρυσμένα από τις πηγές του γλυκού νερού περιοχές. Γενικά η συνδιαχείριση νερού και ενέργειας είναι μια μεγάλη επενδυτική πρόκληση με σημαντικό πολιτισμικό και οικονομικό χαρακτήρα.
8. Δημιουργία πολλών έργων υποδομής (δρόμοι, γεωτρήσεις, δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, κλπ) και μεγάλη αύξηση της προστιθέμενης αξίας στις περιοχές εγκατάστασης.

Άμεσα οικονομικά οφέλη προς τον Οργανισμό Τοπικής Αυτοδιοίκησης στη γεωγραφική περιφέρεια του οποίου εγκαθίσταται το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό. Για ένα υβριδικό σταθμό ο οποίος παρέχει εγγυημένη ισχύ 12 MW για 8 – 9 ώρες ανά εικοσιτετράωρο, τα ετήσια οικονομικά οφέλη της οικείας Δημοτικής Αρχής ανέρχονται περίπου στις 270.000 €.

1.5: Κύρια χαρακτηριστικά των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών

Η υδραυλική ισχύς N_h δίνεται από το γινόμενο: $N_h = (\rho g) \cdot h \cdot Q$ στην οποία συμβολίζονται:

- με $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ η επιτάχυνση της βαρύτητας
- με ρ η πυκνότητα του νερού ($\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$)
- με Q σε m^3/sec η διακινούμενη παροχή νερού και
- με h σε m η υψομετρική διαφορά μεταξύ κάτω και άνω ταμιευτήρα.

Από την προηγούμενη σχέση γίνεται φανερός ο ρόλος της υψομετρικής διαφοράς h μεταξύ κάτω και άνω ταμιευτήρα: για την αποθήκευση δεδομένης ισχύος N επί κάποιο χρονικό διάστημα Δt , άρα ενέργειας: $E = N \cdot \Delta t$. Όσο μεγαλύτερη είναι η υψομετρική διαφορά h τόσο μικρότερη η αντίστοιχη παροχή Q και η ποσότητα νερού: ($Q \cdot \Delta t$) που αντιστοιχεί.

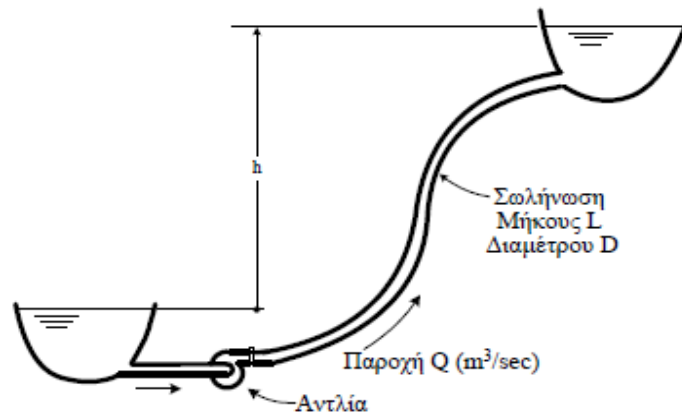
Άρα για την αποθήκευση της ίδιας ισχύος και ενέργειας όσο αυξάνεται η υψομετρική διαφορά h μειώνεται η παροχή, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους:

- της σωλήνωσης (μικρότερη διάμετρος).
- των αντλιών.
- του ταμιευτήρα λόγω της μικρότερης χωρητικότητας που απαιτείται για την αποθήκευση της ίδιας ποσότητας ενέργειας.

Για τον λόγο αυτό τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα θεωρούνται οικονομοτεχνικά αποδοτικά όταν η υδραυλική πτώση είναι υψηλότερη των 150-200 m περίπου.

1.5.α: Φάση της άντλησης

Η ενέργεια H του νερού, την οποία θα πρέπει να δίνει η αντλία, είναι ίση προς: $H=h+\delta hf$ όπου με δh συμβολίζονται οι υδραυλικές απώλειες που αναπτύσσονται στην σωλήνωση που συνδέει τον κάτω με τον άνω ταμιευτήρα. Άρα η ισχύς: $\delta N_f=(\rho g) \cdot \delta hf \cdot Q$ αποτελεί την απώλεια ισχύος που αντιστοιχεί στην ισχύ που χάνεται στις υδραυλικές απώλειες της σωλήνωσης.



Σχήμα 1.4: Περιγραφή φάσης της άντλησης.

Εάν ληφθούν υπόψη οι ενεργειακές απώλειες του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που παρεμβαίνει (αντλία, ηλεκτροκινητήρας, μετασχηματιστές) μέσω του βαθμού απόδοσης τους, προκύπτει ο συνολικός βαθμός απόδοσης: $\eta=\eta_P \cdot \eta_M \cdot \eta_{Tr}$. Άρα εάν υπάρχει ηλεκτρική ισχύς N αυτή μπορεί μέσω άντλησης να μετατραπεί σε υδραυλική ισχύ Nh , προφανώς $Nh < N$ καθώς η διαφορά $(N-Nh)$ αντιστοιχεί στις απώλειες που αναπτύσσονται και αντιστοιχούν σε ενέργεια που δεν αποθηκεύεται.

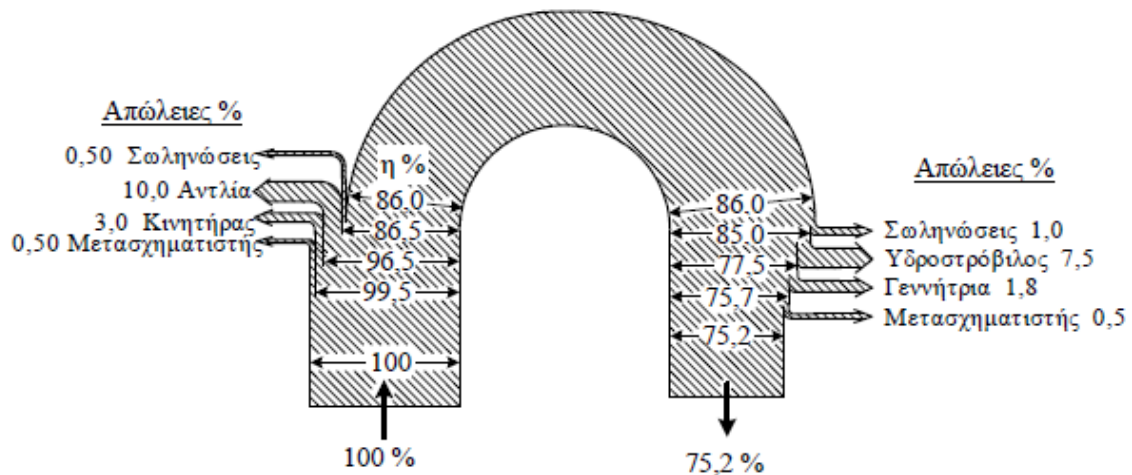
1.5.β: Φάση επαναπρόσδοσης της υδραυλικής ενέργειας

Στην φάση αυτή η φορά της ενέργειας και της ροής του νερού είναι η αντίθετη. Την λειτουργία αυτή εξασφαλίζει ο υδροστρόβιλος και η ηλεκτρική γεννήτρια που στρέφεται από αυτόν. Η ενέργεια που διατίθεται στον υδροστρόβιλο για να την μετατρέψει σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση προς: $H=h-\delta hf$ όπου με δh συμβολίζονται οι υδραυλικές απώλειες που αναπτύσσονται στην σωλήνωση που συνδέει τον κάτω με τον άνω ταμιευτήρα. Άρα η ισχύς: $\delta N_f=(\rho g) \cdot \delta hf \cdot Q$

αποτελεί την απώλεια ισχύος και αντιστοιχεί στην ισχύ που χάνεται στις υδραυλικές απώλειες της σωλήνωσης.

Εάν ληφθούν υπόψη οι ενεργειακές απώλειες του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που παρεμβάινει (υδροστρόβιλος, ηλεκτρική γεννήτρια, μετασχηματιστές) μέσω του βαθμού απόδοσης τους, προκύπτει ο συνολικός βαθμός απόδοσης: $\eta = \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{Tr}$. Άρα από την υδραυλική ισχύ N_h αυτή που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ N_e και τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο είναι μικρότερη κατά τις ολικές απώλειες (σωληνώσεις και ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός), δηλαδή $N_e < N_h$.

Συνολικά σε ένα πλήρη κύκλο, και ανάλογα με τον εξοπλισμό (αντλίες, υδροστρόβιλοι κλπ) ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι της τάξεως του 65-80% (το υπόλοιπο 35-20% της ενέργειας χάνεται σε απώλειες) ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας, την επιλογή του εξοπλισμού της κα.



Σχήμα 1.5: Περιγραφή της φάσης επαναπρόδοσης της υδραυλικής ενέργειας.

1.5.1: Εφαρμογή της αντλησιοταμίευσης στο διασυνδεδεμένο σύστημα

Όπως ήδη αναφέρθηκε το πρόβλημα της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο ηπειρωτικό σύστημα δεν έχει ακόμη εμφανισθεί στην χώρα μας όμως σε μερικά χρόνια θα είναι υπαρκτό. Η αντιμετώπισή του, λόγω των μεγεθών που υπεισέρχονται, πρέπει να ξεκινήσει από τώρα ώστε να δρομολογηθούν οι λύσεις, η εφαρμογή των οποίων θα απαιτεί χρόνο και σημαντικά κονδύλια. Πρόκειται για τις νέες προοπτικές της αντλησιοταμίευσης που προβάλλουν σε Ευρωπαϊκό επίπεδο αλλά και στην Ελλάδα.

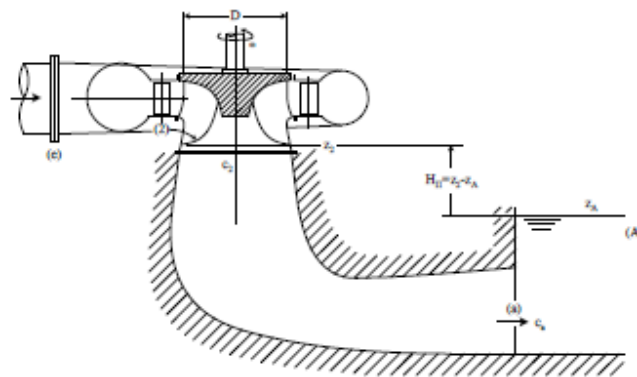
Η αύξηση της δυνατότητας αποθήκευσης ενέργειας μέσω αντλησιοταμίευσης, πέραν των ήδη σε λειτουργία δύο αναστρέψιμων μονάδων της ΔΕΗ (συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περί 700 MW), εξετάζεται ήδη σε προκαταρκτική φάση από ομάδα του ΕΜΠ στην οποία συμμετέχει το Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών του

ΕΜΠ, χρηματοδοτούμενη από την ΡΑΕ. Σκοπός είναι η διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης των ήδη κατασκευασμένων ταμιευτήρων νερού είτε αυτοί εξυπηρετούν υδροηλεκτρικά έργα της ΔΕΗ ή άλλων φορέων , πχ. Υπουργείου Γεωργίας.

Στα υπάρχοντα υδροηλεκτρικά έργα της ΔΕΗ θα εξετασθεί η δυνατότητα προσθήκης συγκροτήματος άντλησης ενώ στον σταθμό παραγωγής δεν θα γίνει καμία επέμβαση. Η επιλογή της ονομαστικής ισχύος, άρα και της αντλούμενης παροχής σε ένα ζευγάρι ταμιευτήρων θα πρέπει να γίνει έτσι ώστε:

- να μην αυξηθεί πέραν μίας επιτρεπόμενης τιμής ο συντελεστής φορτίου του ΥΗΣ Παραγωγής ενώ
- θα πρέπει να ληφθούν υπόψη περίοδοι πλημμυρικών φαινομένων στις οποίες ο άνω ταμιευτήρας είναι πλήρης οπότε δεν έχει δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Η μετατροπή ενός ΥΗΣ παραγωγής σε αναστρέψιμη μονάδα δεν φαίνεται να αποτελεί μία τεχνικά και οικονομικά αποδεκτή λύση επειδή:
- Θα θέσει εκτός παραγωγής και για μεγάλο χρονικό διάστημα μία παραγωγική μονάδα, απαραίτητη στο δίκτυο και η οποία δεν έχει ακόμη αποσβεσθεί.
- Απαιτεί μεγάλης κλίμακας μετατροπές, ακόμη και για έργα που βρίσκονται σε σειρά οπότε υπάρχουν ήδη κατασκευασμένοι και οι δύο ταμιευτήρες: πχ. Κρεμαστά-Καστράκι, Καστράκι-Στράτος.

Ένας υδροστρόβιλος τύπου Francis (ο τύπος που είναι κατάλληλος για μέσες τιμές της υδραυλικής πτώσης) διαφέρει σημαντικά από μία αντλία αντίστοιχου μεγέθους ή ένα αναστρέψιμο υδροστρόβιλο, τόσο από πλευράς μεγέθους όσο κυρίως από την απαιτούμενη βύθιση, σε σχέση με την στάθμη του κάτω ταμιευτήρα. Για να γίνει φανερή η διαφορά αυτή εξετάζονται στην συνέχεια οι διαστάσεις και η απαιτούμενη βύθιση ενός υδροστρόβιλου Francis και τα αντίστοιχα μεγέθη αναστρέψιμης μηχανής ή αντλίας περισσότερων βαθμίδων και για μία τυπική περίπτωση: Ισχύς 50 MW, Υδραυλική πτώση (ή υψομετρική διαφορά) $h=200$ m.



Σχήμα 1.6: Υδροστρόβιλος τύπου Francis.

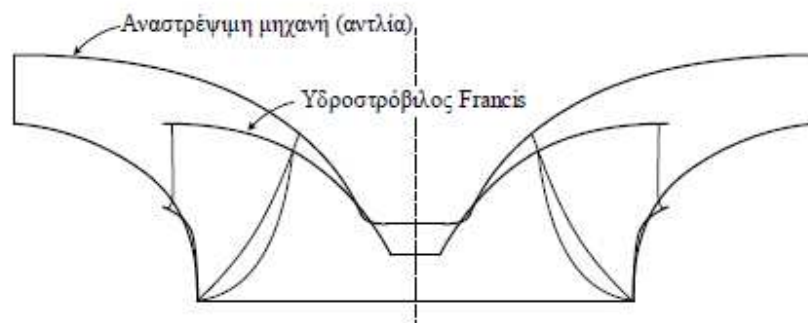
| Πίνακας 1.2: Στοιχεία λειτουργίας υδροστροβίλων και αντλιών | | | | |
|---|-----------------------|--|-----------------|------------------|
| | Υδροστρόβιλος Francis | Αναστρέψιμος υδροστρόβιλος ή μονοβάθμια αντλία | Αντλία διβάθμια | Αντλία τριβάθμια |
| Ταχύτητα περιστροφής(RPM) | 428 | 428 | 333,33 | 300 |
| Διάμετρος δρομέα D(m) | 1,76 | 3,15 | 2,96 | 2,89 |
| Βύθιση H(m) | -4,5 | -16,64 | -9,14 | -6,67 |

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι δεν είναι δυνατή η απλή αντικατάσταση των υδροστροβίλων Francis ενός εν λειτουργία ΥΗΣ με αναστρέψιμες μηχανές ή με αντλίες λόγω των πολύ μεγαλύτερων διαστάσεων των μηχανών αλλά κυρίως λόγω της σημαντικά μεγαλύτερης βύθισης που απαιτείται για την λειτουργία αντλίας που να είναι απαλλαγμένη σπηλαίωσης (ιδιαίτερα εάν η κατάντι στάθμη παρουσιάζει διακυμάνσεις), ούτε φαίνεται δυνατή η μετατροπή υπάρχοντος ΥΗΣ σε ισοδύναμο αναστρέψιμο.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η μεσημβρινή τομή του δρομέα υδροστροβίλου Francis και του ισοδύναμου αναστρέψιμου υδροστροβίλου για:

- την ίδια ονομαστική ισχύ
- την ίδια υδραυλική πτώση και
- την ίδια βύθιση.

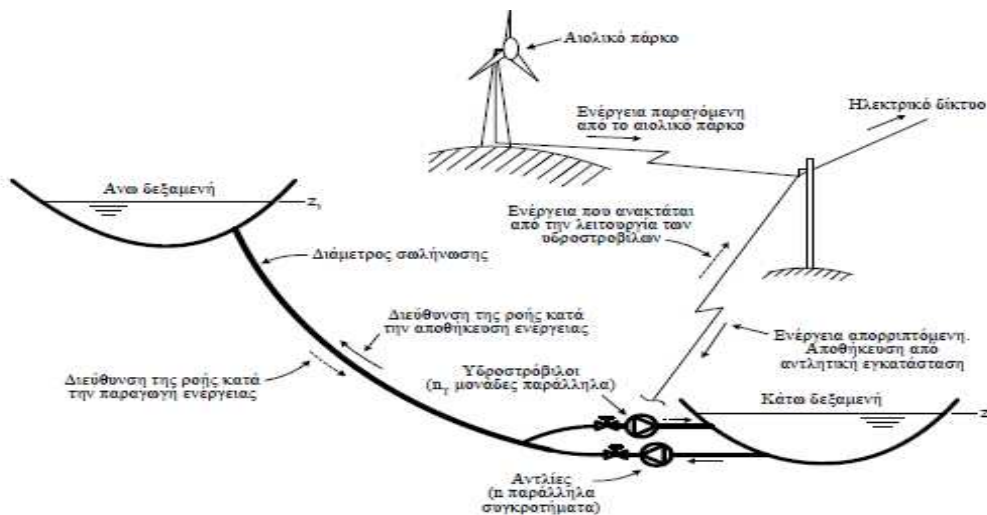
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα προκύπτει αύξηση της διαμέτρου και των ολικών διαστάσεων της μονάδας κατά 67% .



Σχήμα 1.7: Η μεσημβρινή τομή του δρομέα υδροστροβίλου Francis και του ισοδύναμου αναστρέψιμου υδροστροβίλου.

1.5.2: Εφαρμογή της αντλησιοταμίευσης σε υβριδικό σύστημα

Παράδειγμα αιολικού πάρκου σε ένα αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο: για λόγους ευστάθειας του δικτύου η διείσδυση των αιολικών πάρκων (λόγω της αστάθειας που παρουσιάζει η παραγωγή της αιολικής ενέργειας) περιορίζεται στο 30%.



Σχήμα 1.8: Παράδειγμα αιολικού πάρκου για αντλησιοταμίευση.

Ορισμένα από τα νησιά μας που δεν είναι διασυνδεδεμένα έχουν ήδη κορεσθεί από πλευράς εγκατεστημένων αιολικών πάρκων και σε αυτά η αύξηση της διείσδυσης μπορεί να γίνει μόνο μέσω της εισαγωγής της αντλησιοταμίευσης, δηλαδή υβριδικών μονάδων που συνδυάζουν τα αιολικά πάρκα με αντλησιοταμίευση, για παράδειγμα:

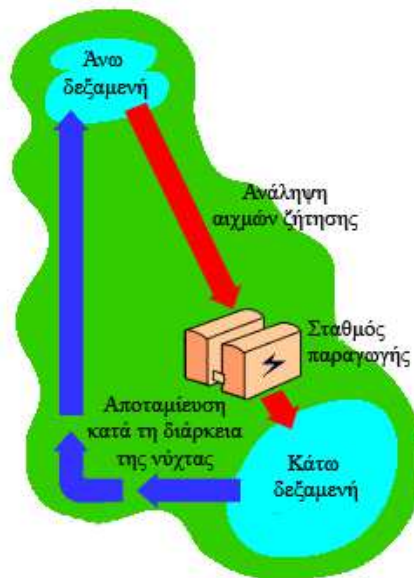
- στην Κρήτη υπάρχει ενδιαφέρον για 2 μονάδες, ισχύος 100 και 50 MW
- στην Λέσβο για μονάδα 12 MW
- στο σύστημα της Παροναζίας για μονάδα 8 MW
- στην Ικαρία είναι υπό κατασκευή από την ΔΕΗ υβριδική ισχύος 3 MW περίπου.

Λόγω του αναλογικά μικρού μεγέθους του δικτύου στα νησιά η διαστασιολόγηση μίας υβριδικής μονάδας θα πρέπει να προκύψει ως αποτέλεσμα βελτιστοποίησης όλων των παραμέτρων που υπεισέρχονται, προβλέποντας επιπλέον την ζήτηση στα επόμενα χρόνια.

1.5.3: Η λειτουργία των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών

Ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό μπορεί να λειτουργήσει με δύο τρόπους σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας:

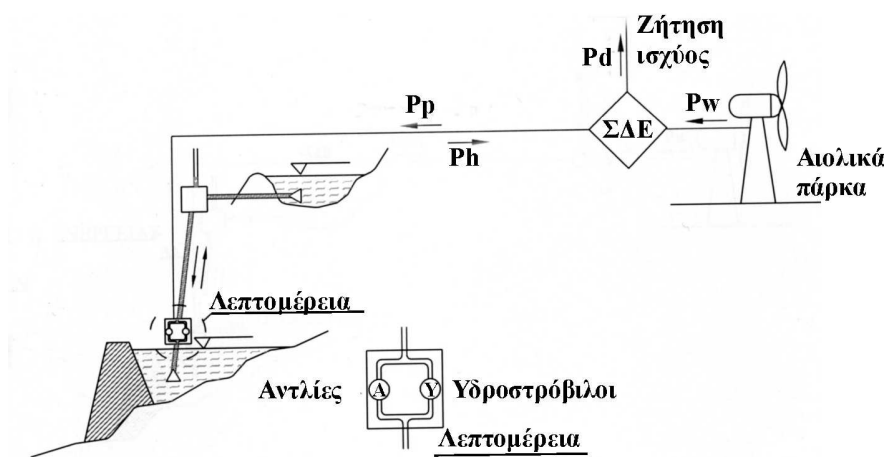
- Αποθηκεύοντας ηλεκτρική ενέργεια από θερμοηλεκτρικές μονάδες κατά τις βραδινές ώρες χαμηλής ζήτησης και φθηνής παραγωγής, με σκοπό να την ανταποδώσει στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής ζήτησης ισχύος (μεσημέρι και απόγευμα ή βράδυ, ανάλογα με την εποχή). Ο τρόπος αυτός λειτουργίας παρουσιάζεται στο σχήμα 1.8. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι επιτελείται απαλοιφή αιχμών ζήτησης ισχύος. Τα περισσότερα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα στον κόσμο λειτουργούν για απαλοιφή αιχμών ζήτησης ισχύος, συνδυαζόμενα με ατμοστρόβιλους πυρηνοληλεκτρικών ή θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής.



Σχήμα 1.9: Απαλοιφή αιχμών ζήτησης ισχύος μέσω αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού.

- Συνδυαζόμενο με μία μονάδα ανανεώσιμης πηγής ενέργειας – Α.Π.Ε. – (π.χ. αιολικό πάρκο) προκειμένου να μεγιστοποιήσει την παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε. σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η λειτουργία αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 1.11. Στο σχήμα 1.11, σε μία δεδομένη χρονική στιγμή ο σταθμός παραγωγής τροφοδοτείται με ηλεκτρική ισχύ P_w από τα αιολικά πάρκα. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Σ.Δ.Ε.) ελέγχει αν η στιγμιαία παραγωγή ισχύος από τα αιολικά πάρκα P_w είναι μεγαλύτερη από τη στιγμιαία ζήτηση P_d . Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:
 - Αν $P_w > P_d$, η ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από τα αιολικά πάρκα. Οι αντλίες του συστήματος αντλησιοταμίευσης τροφοδοτούνται με ισχύ $P_p = P_w - P_d$, με σκοπό να αποθηκευτεί με τη μορφή δυναμικής ενέργειας στην άνω δεξαμενή του συστήματος. Στην περίπτωση που η άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα είναι γεμάτη, η διαθέσιμη περίσσεια ισχύος δεν μπορεί να αποθηκευθεί. Η περίσσεια της ενέργειας αυτής μπορεί να αξιοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές (παραγωγή υδρογόνου, αφαλάτωση, κλπ).

β. Αν $P_w < P_d$, η παραγόμενη αιολική ισχύς προσφέρεται ολόκληρη για την κάλυψη της ζήτησης. Την ίδια χρονική στιγμή, παράγεται από τους υδροστρόβιλους συμπληρωματική ηλεκτρική ισχύς $P_h = P_d - P_w$, προκειμένου να συμπληρωθεί το έλλειμμα στην παραγωγή ισχύος από τα αιολικά πάρκα. Στην περίπτωση που η άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα δεν περιέχει ικανή ποσότητα νερού ώστε να καλυφθεί το έλλειμμα παραγωγής ισχύος μέσω των υδροστρόβιλων, τότε τίθενται σε λειτουργία οι θερμοηλεκτρικές μονάδες.



Σχήμα 1.10: Συνδυασμός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού και αιολικού πάρκου.

Γίνεται αντιληπτό ότι με το εν λόγω σύστημα οι θερμοηλεκτρικές μονάδες έχουν καθαρά εφεδρικό χαρακτήρα. Η συνδρομή των Α.Π.Ε. στην κάλυψη των ετήσιων αναγκών ενός συστήματος σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να ανέλθει σε ποσοστά της τάξης του 80 – 100%. Ο περιορισμός στη λειτουργία των θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής είναι ανάλογος.

1.6: Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα τη σημαντικότερη συνιστώσα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης ισχύος. Προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία από την οποία ένα μικρό ποσοστό (περίπου 1-2%) αυτής που φτάνει στην ατμόσφαιρα μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Συνεπώς ο άνεμος προσφέρει μία τελείως καθαρή πηγή ενέργειας χωρίς να παράγει απόβλητα ενώ η κίνηση των στρωμάτων του θεωρείται ανεξάντλητη. Η εκμετάλλευση του δε ρυπαίνει το περιβάλλον, δεν απαιτεί περίπλοκες κατασκευές, δεν εμπεριέχει κόστος καυσίμου και δεν επηρεάζεται από τις ενεργειακές κρίσεις της παγκόσμιας αγοράς.

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

1.6.1: Ανεμογεννήτριες

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

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

1.6.2: Κατηγορίες ανεμογεννητριών

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

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

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

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

1.7: Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αποθήκευσης-απόδοσης ενέργειας

Όσον αφορά τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (υδροδυναμικές και ηλεκτρικές μηχανές), τα αναστρέψιμα ΥΗΕ διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την σύνθεση των μονάδων τους:

i) Τις σύνθετες (ή τριπλές), αυτές δηλαδή που είναι εξοπλισμένες με υδροστρόβιλο, φυγόκεντρη αντλία και ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί ως κινητήρας ή ως γεννήτρια. Και οι τρεις μηχανές έχουν κοινή άτρακτο. Ανάλογα με την υδραυλική πτώση ο υδροστρόβιλος είναι δράσεως (Pelton) ή αντιδράσεως (Francis), ενώ η αντλία είναι πολυβάθμια, μονοβάθμια, μονής ή διπλής αναρρόφησης ανάλογα με την υψομετρική διαφορά και την παροχή. Στις μονάδες αυτού του τύπου η φορά περιστροφής είναι η ίδια και για τις δύο λειτουργίες. Με σκοπό την μείωση των φθορών τοποθετείται συμπλέκτης (συνήθως υδροδυναμικός) στα δύο άκρα της άτρακτου της ηλεκτρικής μηχανής, έτσι ώστε όταν λειτουργεί ο υδροστρόβιλος η αντλία να μην περιστρέφεται, και αντιστρόφως.

ii) Αυτές στις οποίες το αντλητικό συγκρότημα είναι ανεξάρτητο από το υδραυλικό συγκρότημα παραγωγής, δηλ. τον υδροστρόβιλο και τη γεννήτριά του. Στην περίπτωση αυτή κάθε αντλία έχει τον δικό της κινητήρα και κάθε υδροστρόβιλος τη δική του γεννήτρια.

iii) Αυτές που είναι εξοπλισμένες με αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή (στροβιλοαντλία όπως συνήθως ονομάζεται) και ηλεκτρική μηχανή που, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, λειτουργεί ως γεννήτρια ή ως κινητήρας. Η αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή έχει την δυνατότητα λειτουργίας ως αντλίας και ως υδροστροβίλου με την αντιστροφή της φοράς περιστροφής της περωτής (του δρομέα) και της φοράς της ροής.

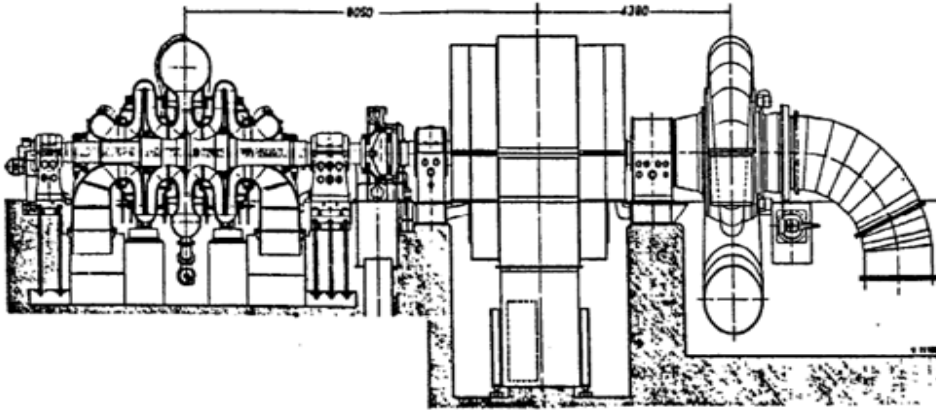
Το βασικό πλεονέκτημα των λύσεων (i) και (ii) είναι ότι κάθε μηχανή (υδροστρόβιλος και αντλία) επιλέγεται ώστε να λειτουργεί στο αντίστοιχο κανονικό σημείο λειτουργίας της, χωρίς να είναι ανάγκη να γίνεται συμβιβασμός στα λειτουργικά χαρακτηριστικά της, όπως θα γίνει φανερό στην συνέχεια. Παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα του σημαντικού κόστους του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (δύο υδροδυναμικές μηχανές συν συμπλέκτης αντί μίας αναστρέψιμης) ενώ επιπλέον κάθε μονάδα καταλαμβάνει χώρο σημαντικά μεγαλύτερο σε σύγκριση με την λύση της αναστρέψιμης υδροδυναμικής μηχανής. Από πλευράς κόστους η λύση (ii) είναι χειρότερη από την λύση (i) επειδή περιλαμβάνει περισσότερες μηχανές (ηλεκτροκινητήρας και γεννήτρια) και καταλαμβάνει περισσότερο χώρο. Όμως σε περιπτώσεις μικρής σχετικά ισχύος, οπότε οι αντλίες και οι υδροστρόβιλοι μπορεί να είναι τυποποιημένοι (π.χ. περίπτωση υβριδικού Ικαρίας), η λύση αυτή έχει σημαντικά πλεονεκτήματα και τελικά μικρότερο κόστος. Στην περίπτωση όπου η προβλεπόμενη συχνότητα εναλλαγής της λειτουργίας είναι υψηλή, οι σύνθετες μονάδες (τριπλές) πλεονεκτούν έναντι των αναστρέψιμων (στις οποίες απαιτείται αντιστροφή της φοράς περιστροφής του δρομέα). Όταν όμως η διαθέσιμη υδραυλική πτώση είναι σημαντική και αντιστοιχεί σε υδροστρόβιλο τύπου Pelton (του οποίου η λειτουργία δεν μπορεί να αντιστραφεί ώστε να λειτουργήσει ως αντλία), είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ανεξάρτητης αντλίας που θα εξασφαλίζει τη λειτουργία της αποταμίευσης.

Στο Σχήμα 1.11 δίνεται παράδειγμα σύνθετης αναστρέψιμης μονάδας σε οριζόντια διάταξη που περιλαμβάνει υδροστρόβιλο τύπου Francis, διβάθμια αντλία διπλής αναρρόφησης και ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί ως γεννήτρια ή ως κινητήρας. Μεταξύ της αντλίας και της ηλεκτρικής μηχανής παρεμβάλλεται υδροδυναμικός συμπλέκτης, καθώς και ο βοηθητικός υδροστρόβιλος Pelton για την εκκίνηση της αντλίας.

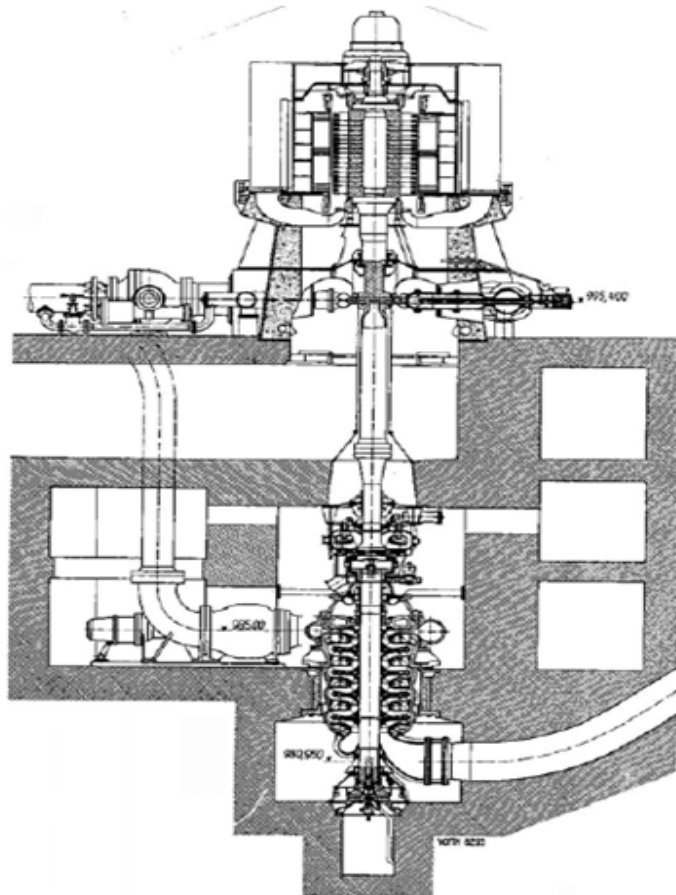
Στο Σχήμα 1.12 δίνεται διάταξη σύνθετης αναστρέψιμης μονάδας σε κατακόρυφο άξονα, που περιλαμβάνει υδροστρόβιλο τύπου Pelton με 4 δέσμες, 5-βάθμια αντλία, ηλεκτρική μηχανή και υδροδυναμικό συμπλέκτη. Πρόκειται για το YHE Lunersee (Αυστρία), κατασκευής VOITH (1954). Στις περιπτώσεις σύνθετης μονάδας σε κατακόρυφη διάταξη η αντλία αποταμίευσης είναι πάντοτε τοποθετημένη στο χαμηλότερο σημείο, ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία της χωρίς σπηλαίωση.

Στο Σχήμα 1.13 δίνεται διάταξη αναστρέψιμης υδροηλεκτρικής μονάδας, που περιλαμβάνει αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή και την ηλεκτρική μηχανή, που λειτουργεί ως γεννήτρια ή ως κινητήρας. Πρόκειται για την μονάδα X του αναστρέψιμου

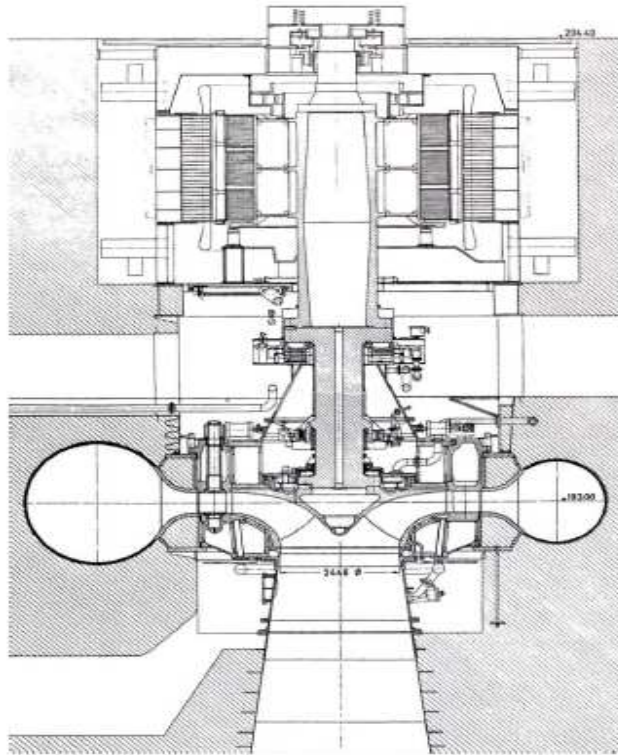
ΥΗΕ Vianden, το οποίο δεν παράγει πρωτογενή ενέργεια, ενώ ο άνω ταμιευτήρας έχει διαμορφωθεί στην κορυφή ενός λόφου.



Εικόνα 1.11: Σύνθετη αναστρέψιμη μονάδα σε οριζόντια διάταξη



Εικόνα 1.12: Σύνθετη αναστρέψιμη μονάδα σε κατακόρυφη διάταξη



Εικόνα 1.13: Αναστρέψιμη υδροηλεκτρική μονάδα, που περιλαμβάνει αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή και την ηλεκτρική μηχανή, που λειτουργεί ως γεννήτρια ή ως κινητήρας.

1.8: Σκοπός έργου

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη, διαστασιολόγηση και χωροθέτηση ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας (αιολικό πάρκο, άνω και κάτω δεξαμενή, σωληνώσεις, αντλίες και υδροστρόβιλοι), για την επαρκή τροφοδότηση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο μη διασυνδεδεμένο με την Ηπειρωτική χώρα σύστημα του συμπλέγματος νήσων Καλύμνου, Κω, Νισύρου, Λέρου, Αστυπάλαιας, Λειψών, Αρκιών, Πάτμου, Ψερίμου και Τελένδου, ανεξαρτητοποιώντας τα έτσι από τις συμβατικές μονάδες που χρησιμοποιεί κατ αποκλειστικότητα μέχρι στιγμής. Βασικά κριτήρια είναι ο περιορισμός της χρήσης ορυκτών καυσίμων με την μεγιστοποίηση των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειάς, η ασφάλεια του συστήματος και ο περιορισμός του αρχικού κόστους εγκατάστασης του έργου. Το υβριδικό σύστημα που μελετάται, θα χρησιμοποιεί αιολικό πάρκο ως μονάδα βάσης που θα τροφοδοτεί απευθείας την ζήτηση και για λόγους ασφαλείας με μέγιστο ποσοστό διείσδυσης το 60% της ζήτησης. Ως εγγυημένη παραγωγή θα χρησιμοποιηθεί αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό όπου θα αποθηκεύει την περίσσεια αιολικής ενέργεια και θα καλύπτει την ζήτηση αντικαθιστώντας τις συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν ως μονάδες εφεδρείας.

Το έργο αναμένεται να λάβει τόπο στην νήσο Κάλυμνο, καθώς το ανάγλυφο του νησιού αυτού επιτρέπει την εγκατάσταση τόσο αιολικού πάρκου, όσο και την δημιουργία αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σταθμού.

Κεφάλαιο 2: Περιγραφή της νήσου Καλύμνου

Η Κάλυμνος είναι νησί των Δωδεκανήσων, στο νοτιοανατολικό Αιγαίο. Η έκταση της είναι 110,581 τ.χλμ με αποτέλεσμα να είναι το 26ο μεγαλύτερο ελληνικό νησί. Η Κάλυμνος περιβάλλεται από ένα μεγάλο αριθμό μικρών νησίδων από τις οποίες σημαντικότερες είναι τα ακατοίκητα Γλαρονήσια, ο Καλαβρός, η κατοικήσιμη Τέλενδος, οι νησίδες Νερά, ο Άγιος Νικόλαος και ο Άγιος Ανδρέας, η κατοικήσιμη Πλάτη, τα Ίμια, η κατοικήσιμη Ψέριμος, η μεγαλύτερη όλων, και τέλος ΒΑ. η Πίττα και η Καλόλιμνος. Ο δήμος Καλύμνιων περιλαμβάνει το νησί της Καλύμνου, τα κοντινά νησιά Ψέριμος και Τέλενδος καθώς και τις γύρω νησίδες. Η Κάλυμνος βάση νόμου είναι η πρωτεύουσα της επαρχίας Καλύμνου, όπου στην επαρχία υπάγονται τα νησιά Λέρος, Πάτμος, Αστυπάλαια, Αγαθονήσι, Λειψοί, Αρκιοί, Ψέριμος και Τέλενδος.



Εικόνα 2.1: Χάρτης Καλύμνου και μικρές νησίδες γύρω από αυτήν.

2.1.1: Θέση νήσου Καλύμνου

Βρίσκεται νότια της Λέρου από την οποία τη χωρίζει ομώνυμος στενός πορθμός (Λέρου), ή διώρυγα Καλύμνου, ή "Διαπόρι", έχοντας ΝΑ. την Κω και σε απόσταση 14

μίλια προς Α. τις τουρκικές ακτές της Μικράς Ασίας. Προς Ν. έχει το Κρητικό πέλαγος και προς Δ. και Β. το Ικάριο πέλαγος.



Εικόνα 2.2: Απεικόνιση Καλύμνου από το αεροπλάνο.

2.1.2: Μορφολογία νησιού

Το έδαφος της νήσου είναι σχετικά πετρώδες ορεινό με μικρές πεδιάδες συνολικής έκτασης 109 τ.χλμ. Τα βουνά της Καλύμνου είναι άδενδρα με κυριότερες κορυφές τον Προφήτη Ηλία, ακριβώς στο κέντρο της νήσου (760 μ.), την Κυρά Ψηλή ή Καραψηγή (700 μ.) στα ΝΑ. και τη "Γαλατιανή" στο ΒΔ. άκρο. Οι ακτές της Καλύμνου είναι σχετικά απόκρημνες σχηματίζοντας πολλά ακρωτήρια, όρμους και λιμένες. Εξ αυτών σπουδαιότεροι είναι ο, της πρωτεύουσας της νήσου που λέγεται και λιμένας Ποθαίας (ΝΑ.), ο Ριναίας, βορειότερα, τα Πεζώντα ή Πέζοντας ακόμα βορειότερα, ο όρμος Παλαιονήσου Β.ΒΑ., ο Εμποριός (Δ.ΒΔ.), τα Λινάρια, νοτιότερα και το Πιθάρι προς Ν.



Εικόνα 2.3: Απεικόνιση Πόθιας (πρωτεύουσα Καλύμνου)



Εικόνα 2.4: Το έντονο ορεινό ανάγλυφο του νησιού προσελκύει ορειβάτες από όλο τον κόσμο για όλη τη διάρκεια του έτους, καθώς η Κάλυμνος συγκαταλέγεται στον τρίτο δημοφιλέστερο προορισμό για ορειβασία παγκοσμίως.

2.1.3: Πληθυσμός νησιού

Η Κάλυμνος είχε πληθυσμό 18.621 κατοίκους (ολόκληρος ο δήμος Καλύμνου έχει πληθυσμό 18.621 κατοίκους) και αποτελεί ένα από τα πιο πυκνοκατοικημένα νησιά της Ελλάδας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της απογραφής του 2011 ο πληθυσμός ανέρχεται στους 18.621 κατοίκους. Το νησί ήταν φημισμένο για τη σπογγαλιεία των κατοίκων, για την οποία σήμερα υπάρχουν στο νησί τρία μουσεία και ένα σύγχρονο αρχαιολογικό μουσείο. Στην Κάλυμνο τα τελευταία χρόνια λειτουργεί αεροδρόμιο, όπου καθημερινά υπάρχουν πτήσεις από και προς Αθήνα. Επίσης διαθέτει ένα μεγάλο λιμάνι στην περιοχή της Πόθιας, που επί καθημερινής βάσεως προσεγγίζεται από μεγάλα φορτηγά πλοία και επιβατικά διαφόρων κατηγοριών.

2.2: Προσδιορισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα παραγωγής αυτού του συμπλέγματος νήσων

Στο αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας των μη διασυνδεδεμένων νησιών της Κω, Λέρου, Τελένδου, Ψερίμου, Γυαλιού, Νισύρου, Τήλου, Λειψών και Καλύμνου, συνδέονται δύο συμβατικοί θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής που είναι ο σταθμός παραγωγής στην νήσο Κω και ο σταθμός παραγωγής στη νήσο Κάλυμνο. Τεχνικά χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως, η τυπική σειρά ένταξής τους, η μέγιστη δυναμικότητα, τα τεχνικά ελάχιστα, το είδος καυσίμου που καταναλώνουν και η ειδική κατανάλωσή τους δίνονται στον πίνακα 2.1 και 2.2 παρακάτω, ενώ στον πίνακα 2.3 φαίνεται η παραγωγή ανά μήνα για το έτος.

Πίνακας 2.1: Περιγραφή σταθμού παραγωγής νήσου Καλύμνου

| ΑΣΠ ΚΑΛΥΜΝΟΥ | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------|---------------|----------------------------|-------|-------|
| Α/Α | Τύπος μονάδας | Μέγιστη δυναμικότητα / Ισχύς (MW) | Τεχνικό ελάχιστο / Ισχύς(MW) | Καύσιμο | Σειρά Ένταξης | Ειδική κατανάλωση (Kg/MWh) | | |
| | | | | | | 50% | 75% | 100% |
| 1 | Wartsila 18V32 | 8,250 | 4,000 | B.K | 3 | 226,0 | 209,2 | 205,2 |
| 2 | Gmt-Fiat C4212ESS | 2,700 | 2,252 | B.K | 5 | 244,5 | 235,7 | 236,2 |
| 3 | Gmt-Fiat C426ESS | 1,800 | 1,152 | B.K | 6Α | 232,1 | 228,9 | 231,5 |
| 4 | Gmt-Fiat C426ESS | 1,800 | 1,152 | B.K | 6Β | 232,1 | 228,9 | 231,5 |
| 5 | Gmt-Fiat C426ESS | 1,800 | 1,152 | B.K | 6Γ | 232,1 | 228,9 | 231,5 |
| 6 | Gmt-Fiat C426ESS | 1,800 | 1,152 | B.K | 6Δ | 232,1 | 228,9 | 231,5 |

Πίνακας 2.2: Περιγραφή σταθμού παραγωγής νήσου Κω

| ΑΣΠ ΚΩ | | | | | | | | |
|--------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------|---------------|----------------------------|-------|-------|
| Α/Α | Τύπος μονάδας | Μέγιστη δυναμικότητα / Ισχύς (MW) | Τεχνικό ελάχιστο / Ισχύς(MW) | Καύσιμο | Σειρά Ένταξης | Ειδική κατανάλωση (Kg/MWh) | | |
| | | | | | | 50% | 75% | 100% |
| 1 | H.S.D/MAN 9K60MC-S | 16,500 | 8,250 | B.K | 1A | 199,6 | 190,7 | 193,9 |
| 2 | H.S.D/MAN 9K60MC-S | 16,500 | 8,250 | B.K | 1B | 199,6 | 190,7 | 193,9 |
| 3 | ABB GT35C | 12,500 | 7,775 | E.K | 10 | 358,2 | 318,2 | 291,7 |
| 4 | Hanjung-MAN 7K60MC-S | 11,600 | 5,800 | B.K | 2A | 201,9 | 191,8 | 192,7 |
| 5 | Hanjung - MAN 7K60MC-S | 11,600 | 5,800 | B.K | 2B | 201,9 | 191,8 | 192,7 |
| 6 | Hanjung - MAN 7K60MC-S | 11,600 | 5,800 | B.K | 2Γ | 201,9 | 191,8 | 192,7 |
| 7 | Sulzer-Fincantieri 18ZAV40S | 8,000 | 5,360 | B.K | 4 | 220,5 | 207,7 | 206,2 |
| 8 | MTU 16V 4000G60F | 1,600 | 0,800 | E.K | 7A | 234,0 | 220,5 | 218,0 |
| 9 | MTU 16V 4000G60F | 1,600 | 0,800 | E.K | 7B | 234,0 | 220,5 | 218,0 |
| 10 | MTU 16V 4000G60F | 1,600 | 0,800 | E.K | 7Γ | 234,0 | 220,5 | 218,0 |

Πίνακας 2.2: Περιγραφή σταθμού παραγωγής νήσου Κω

| ΑΣΠ ΚΩ | | | | | | | | |
|--------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------|---------------|----------------------------|-------|-------|
| Α/Α | Τύπος μονάδας | Μέγιστη δυναμικότητα / Ισχύς (MW) | Τεχνικό ελάχιστο / Ισχύς(MW) | Καύσιμο | Σειρά Ένταξης | Ειδική κατανάλωση (Kg/MWh) | | |
| | | | | | | 50% | 75% | 100% |
| 11 | Mitsubishi S16R-PTA | 1,100 | 0,600 | E.K | 8Α | 226,1 | 214,5 | 211,3 |
| 12 | Mitsubishi S16R-PTA | 1,100 | 0,600 | E.K | 8Β | 226,1 | 214,5 | 211,3 |
| 13 | Mitsubishi S16R-PTA | 1,100 | 0,600 | E.K | 8Γ | 226,1 | 214,5 | 211,3 |
| 14 | Mitsubishi S16R-PTA | 1,100 | 0,600 | E.K | 8Δ | 226,1 | 214,5 | 211,3 |
| 15 | Mitsubishi S16R-PTA | 1,100 | 0,600 | E.K | 8Ε | 226,1 | 214,5 | 211,3 |
| 16 | Mitsubishi S16R-PTA | 1,100 | 0,600 | E.K | 8ΣΤ | 226,1 | 214,5 | 211,3 |
| 17 | Mitsubishi S16R-PTA | 1,100 | 0,600 | E.K | 8Η | 226,1 | 214,5 | 211,3 |
| 18 | Mitsubishi S16R-PTA | 1,100 | 0,600 | E.K | 8Θ | 226,1 | 214,5 | 211,3 |
| 19 | Fincantieri BL230.12P | 1,750 | 1,100 | E.K | 9Α | 251,4 | 240,1 | 238,4 |
| 20 | Fincantieri BL230.12P | 1,750 | 1,100 | E.K | 9Β | 251,4 | 240,1 | 238,4 |

Πίνακας 2.3: Τιμές παραγωγής ενέργειας ανά μήνα.

| Μήνας | Καθαρή παραγωγή (MWh) | Παραγωγή ΑΠΕ (MWh) |
|-------------|-----------------------|--------------------|
| Ιανουάριος | 23.454,924 | 2.744,685 |
| Φεβρουάριος | 20.709,607 | 2.576,887 |
| Μάρτιος | 18.507,519 | 2.460,262 |
| Απρίλιος | 16.602,187 | 2.397,173 |
| Μάιος | 26.155,385 | 2.327,275 |
| Ιούνιος | 35.473,197 | 3.514,746 |
| Ιούλιος | 44.424,256 | 5.500,783 |
| Αύγουστος | 44.490,114 | 5.851,277 |
| Σεπτέμβριος | 33.295,094 | 3.828,514 |
| Οκτώβριος | 24.879,371 | 2.552,285 |
| Νοέμβριος | 15.577,090 | 1.798,380 |
| Δεκέμβριος | 19.663,449 | 2.896,579 |

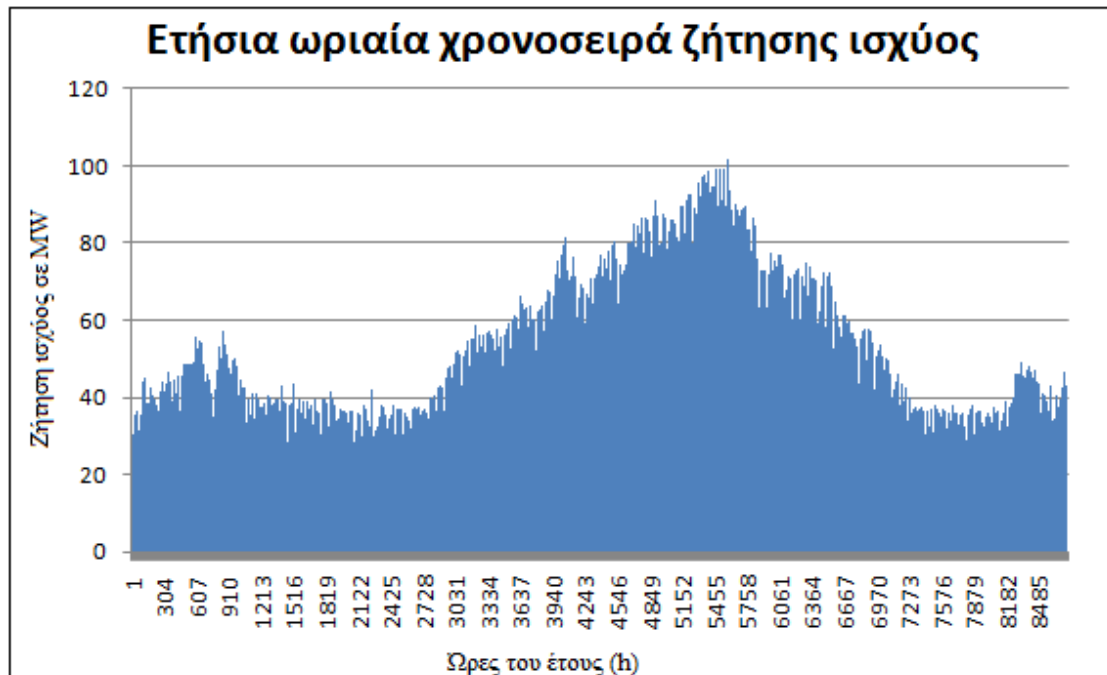
Ως προς την πολιτική της στρεφόμενης εφεδρείας που τηρείται στο αυτόνομο σύστημα Κω-Καλύμνου και τον τρόπο φόρτισης των μονάδων σημειώνονται τα ακόλουθα:

- Η στρεφόμενη εφεδρεία που τηρείται στο σύστημα είναι ίση με την αποδιδόμενη ισχύ της μεγαλύτερης σε λειτουργία μονάδας.
- Η φόρτιση των μονάδων γίνεται με βάση τη ζήτηση, τη διαθεσιμότητα των μονάδων και λαμβάνοντας υπόψη και διάφορα τεχνικοοικονομικά κριτήρια, όπως ο βαθμός απόδοσης και η κατάσταση των μονάδων, τα τεχνικά τους ελάχιστα κλπ.
 - ✓ Πρώτα φορτίζονται στα τεχνικά τους ελάχιστα οι μονάδες Diesel με την μεγαλύτερη ισχύ, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως μονάδες βάσεις.
 - ✓ Στη συνέχεια λαμβάνουν φορτίο οι μονάδες στο πλήρες φορτίο τους.

Όλες οι μονάδες συμμετέχουν στη ρύθμιση της συχνότητας και της τάσης.

2.3: Ζήτηση ισχύος από το δίκτυο

Για την σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος απαιτείται μια ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος. Στην περίπτωσή μας έχουμε ως δεδομένο καταγεγραμμένες μετρήσεις με μέσες ωριαίες τιμές ζήτησης ισχύος για το έτος 2012. Στο σχήμα 2.5 παρακάτω, παρουσιάζεται η ετήσια χρονοσειρά ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος για το σύστημα που μελετάται για το έτος 2012.



Σχήμα 2.5: Απεικόνιση ωριαίας χρονοσειράς ζήτησης ισχύος σε MW.

Τα ανά μήνα απολογιστικά στοιχεία λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος Κω-Καλύμνου για το 2012 έχουν ως ακολούθως στον παρακάτω πίνακα 2.4.

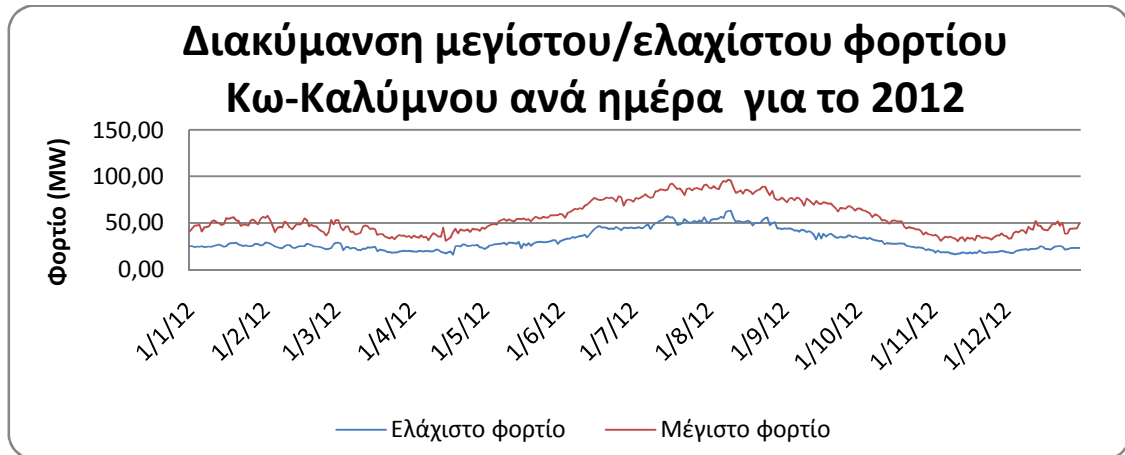
Πίνακας 2.4: Η συνολική ζήτηση ισχύος ανάλογα με τον κάθε μήνα του έτους

| Μήνας | Συνολική ζήτηση (MWh) |
|-------------|-----------------------|
| Ιανουάριος | 26.199,609 |
| Φεβρουάριος | 23.286,494 |
| Μάρτιος | 20.967,781 |
| Απρίλιος | 18.999,360 |
| Μάιος | 28.482,660 |
| Ιούνιος | 38.987,943 |
| Ιούλιος | 49.925,039 |
| Αύγουστος | 50.341,391 |
| Σεπτέμβριος | 37.123,608 |
| Οκτώβριος | 27.431,656 |
| Νοέμβριος | 17.375,470 |
| Δεκέμβριος | 22.560,028 |

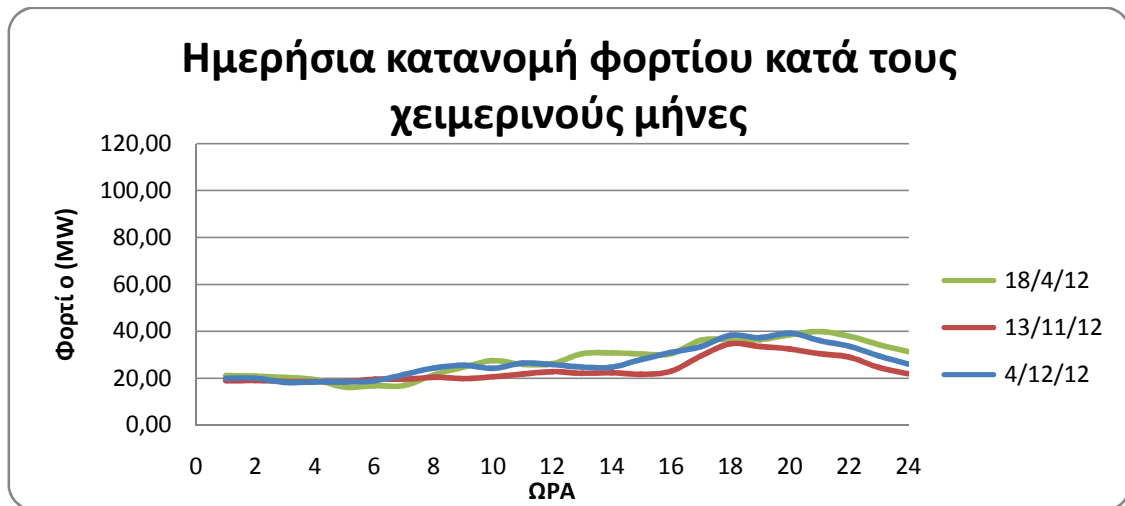
Η διακύμανση του μέγιστου και ελάχιστου φορτίου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας Κω-Καλύμνου ανά ημέρα για το έτος 2012 παρουσιάζεται στο ακόλουθο γράφημα 2.6.

Οι ώρες αιχμής φορτίου μπορούν να προκύψουν από τις χρονοσειρές ισχύος. Σε κάθε περίπτωση σημειώνεται επιγραμματικά ότι:

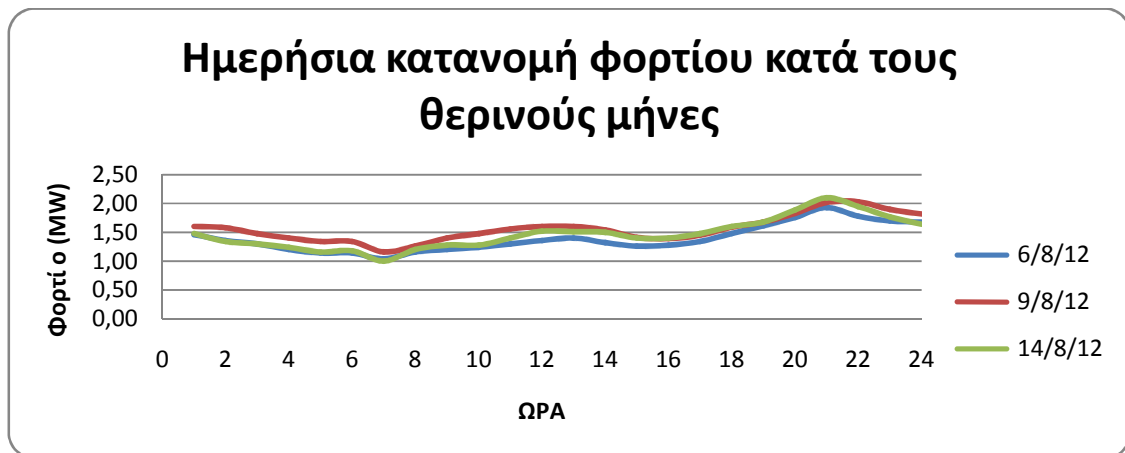
- Κατά την περίοδο του χειμώνα (Νοέμβριος – Μάρτιος) η ημερήσια αιχμή παρουσιάζεται το μεσημέρι από 11:00 μέχρι 14:00 και το βράδυ από 18:00 μέχρι 21:00 (βλ. ακόλουθο διάγραμμα 2.7).
- Κατά την περίοδο του θέρους (Ιούλιος – Αύγουστος) η ημερήσια αιχμή παρουσιάζεται το μεσημέρι από 10:00 μέχρι 14:00 και το βράδυ από 19:00 μέχρι 23:00 (βλ. ακόλουθο διάγραμμα 2.8).



Γράφημα 2.6: Διακύμανση μεγίστου/ελαχίστου φορτίου



Γράφημα 2.7: Κατανομή φορτίου τους χειμερινούς μήνες



Γράφημα 2.8: Κατανομή φορτίου τους θερινούς μήνες

Η αιχμή του θέρους υπερβαίνει σημαντικά την αιχμή του χειμώνα για το σύστημα Κω-Καλύμνου . Αυτό οφείλεται τόσο στην παρουσία υψηλού αριθμού τουριστών στο νησί κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όσο και στην ευρεία διάδοση και εκτεταμένη χρήση των κλιματιστικών.

Η εκτίμηση της εξέλιξης της ζήτησης φορτίου του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας Κω-Καλύμνου παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 2.5: Εκτίμηση εξέλιξης ζήτησης ισχύος στα επόμενα χρόνια.

| Έτος | Συνολική ζήτηση ενέργειας (MWh) | Αιχμή ζήτησης (MW) |
|------|---------------------------------|--------------------|
| 2013 | 351.454 | 90,5 |
| 2014 | 351.454 | 93,76 |
| 2015 | 354.618 | 94,61 |
| 2016 | 359.228 | 95,84 |
| 2017 | 363.898 | 97,08 |
| 2018 | 368.628 | 98,34 |

Κεφάλαιο 3 :Υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

3.1: Περιγραφή

Τα Υβριδικά Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας κατά κανόνα χρησιμοποιούν γλυκό νερό, είτε ποταμών είτε λιμνών. Υπάρχει όμως η δυνατότητα κατασκευής παραθαλάσσιων Υβριδικών Συστημάτων, ώστε να αξιοποιείται το θαλασσινό νερό για την αποθήκευση. Τα συστήματα αυτά, λόγω των ιδιοτεροτήτων της χρήσης θαλασσινού νερού, δεν έχουν τύχει ακόμη ιδιαίτερης ανάπτυξης.

3.2: Υβριδικά συστήματα ανά τον κόσμο

Αυτή τη στιγμή στο κόσμο υπάρχουν έργα παρόμοια με αυτό που μελετάμε όπως είναι το σύστημα που κατασκευάστηκε στο χωριό Kunigami, στην περιφέρεια Okinawa της Ιαπωνίας, το οποίο χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό για την αντλησιοταμίευση και

αναστρέψιμες μηχανές για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης, υπάρχουν έργα τα οποία βρίσκονται υπό κατασκευή, τα οποία είναι ακριβώς ίδια με το δικό μας σύστημα. Η αναφορά φυσικά γίνεται για το σύστημα παραγωγής στο νησί El Hierro της Ισπανίας και στην Ικαρία. Ακόμη, σε ερευνητικό στάδιο βρίσκονται πάρα πολλές προτάσεις, με την περίπτωση της Ιρλανδίας να παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, αναφορικά με το μεγάλο μέγεθος της εγκατάστασης. Παρακάτω, θα παρουσιαστούν τα έργα τα οποία προαναφέρθηκαν.

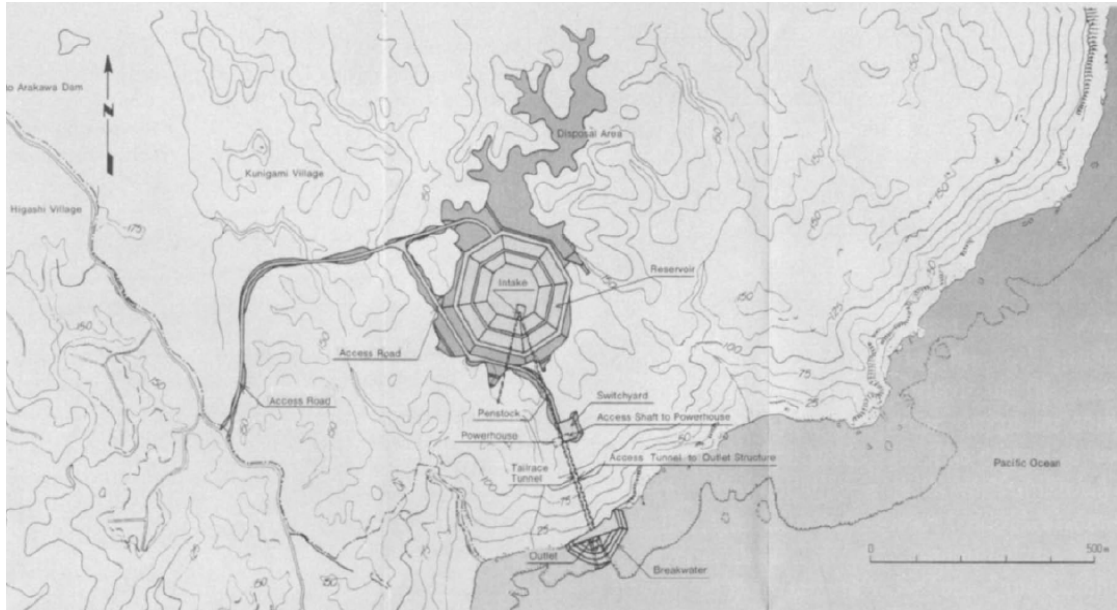
3.2.1: Σταθμός παραγωγής ενέργειας στην περιφέρεια Okinawa με χρήση θαλασσινού νερού

Το εν λόγω σύστημα κατασκευάστηκε στο χωριό Kunigami, στην περιφέρεια της Okinawa της Ιαπωνίας, και αποτελεί παγκόσμια καινοτομία, καθώς είναι το πρώτο σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με χρήση θαλασσινού νερού. Η κατασκευή του πιλοτικού αυτού έργου ξεκίνησε το 1991 και ολοκληρώθηκε το 1999. Στη συνέχεια, διενεργήθηκε ένα πενταετές πρόγραμμα δοκιμών και ελέγχων, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι αξιόπιστη και λειτουργική.

Τα βασικά τμήματα από τα οποία αποτελείται το έργο Yanbaru της Okinawa είναι ο άνω ταμιευτήρας, το σύστημα των αγωγών διακίνησης του νερού, ο Σταθμός Παραγωγής και η υδροληψία στο επίπεδο της θάλασσας, καθώς και η γραμμή διασύνδεσης του έργου με το Δίκτυο.



Εικόνα 3.1: Αεροφωτογραφία του έργου. Διακρίνεται η υδροληψία, ο άνω ταμιευτήρας και οι οδοί προσπέλασης



Εικόνα 3.2: Κάτοψη του έργου με τοπογραφικό υπόβαθρο.

Άνω ταμιευτήρας

Ο άνω ταμιευτήρας είναι κατασκευασμένος στην πλευρά του Ειρηνικού Ωκεανού, περίπου 600 μέτρα από την ακτή, σε ένα οροπέδιο με υψόμετρο περίπου 150 μέτρα. Έχει οκταγωνικό σχήμα, μέγιστη διάμετρο 252 μέτρα και μέγιστο βάθος 22,8 μέτρα. Το σχήμα και η θέση της τεχνητής αυτής λιμνοδεξαμενής αποφασίστηκαν με βάση, i) την ανάγκη για ένα απλό σχήμα, για διευκόλυνση της μόνωσης και ii) την ανάγκη για ελάχιστο όγκο χωματουργικών εργασιών, με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση μεταξύ των όγκων εκσκαφών και αναχωμάτων. Η διακύμανση του νερού στον ταμιευτήρα είναι της τάξεως των 20 μέτρων (από +132 έως +152), η μέγιστη χωρητικότητά του είναι 590.000 m^3 ενώ ο ωφέλιμος όγκος του είναι 564.000 m^3 . Ο περιμετρικός τοίχος του είναι 2 μέτρα ψηλότερος από την ανώτατη στάθμη του νερού, για προστασία λόγω δημιουργίας κυμάτων από θύελλες. Ένα επιπλέον στηθαίο, ύψους ενός μέτρου περίπου, έχει τοποθετηθεί από την πλευρά της θάλασσας προκειμένου να αποφεύγεται ο ψεκάσμος των σταγονιδίων του νερού. Η κατασκευή της τεχνητής λιμνοδεξαμενής έγινε με εκσκαφή και επίστρωση του πυθμένα. Η διαστρωμάτωση περιλαμβάνει ένα στρώμα χαλικιού, πάχους 50 εκατοστών, πάνω στο οποίο έχει τοποθετηθεί ένα προστατευτικό κάλυμμα πολυεστέρα, και το τελικό στρώμα στεγανοποίησης του πυθμένα, πάχους 2 χιλιοστών. Για τη στεγανοποίηση της άνω δεξαμενής, αρχικά μελετήθηκε η κατασκευή του πυθμένα από άσφαλτο ή σκυρόδεμα. Τελικά, ως αξιόπιστη και βέλτιστη οικονομοτεχνικά λύση για την κατασκευή της άνω δεξαμενής, αποφασίστηκε η επίστρωση με μια στεγανωτική μεμβράνη από καουτσούκ. Το στεγανωτικό υλικό της μεμβράνης ήταν μονομερές αιθυλοπροπυλοδιένιο (EPDM) και επιλέχθηκε λόγω της άριστης στεγανότητάς του, της ευκαμψίας και της αντοχής του στις καιρικές συνθήκες. Για τις περιπτώσεις διαρροής, έχουν τοποθετηθεί κάτω από το

υδατοστεγές υλικό ανιχνευτές αλμυρού νερού καθώς και συστήματα αποχέτευσης των υδάτων, τα οποία συνδέονται με το σύστημα ελέγχου του έργου.

Αγωγοί

Το σύστημα περιλαμβάνει δύο ειδών αγωγούς: τον αγωγό προσαγωγής-κατάθλιψης και τον αγωγό φυγής-αναρρόφησης. Ο αγωγός προσαγωγής-κατάθλιψης (penstock) έχει μήκος 314 μέτρα και εσωτερική διάμετρο 2,4 μέτρα. Είναι κατασκευασμένος από FRP (fiberglass reinforced plastic pipe- Σωλήνας εξελάσεως από ενισχυμένο πλαστικό) για να ελαχιστοποιούνται οι διαρροές, ενώ στις γωνίες ή στις ενώσεις έχουν τοποθετηθεί στοιχεία χαλυβδοσωλήνα με αντιδιαβρωτική επεξεργασία. Ο αγωγός φυγής-αναρρόφησης (tailrace) έχει μήκος 205 μέτρα, εσωτερική διάμετρο 2,7 μέτρα και είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα (concrete lining structure). Παρόλο που η ταχύτητα της ροής του νερού σε υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις γενικότερα καθιστά δύσκολη την ανάπτυξη θαλάσσιων οργανισμών, έχει τοποθετηθεί ειδική επικάλυψη στην εσωτερική επιφάνεια των σωληνώσεων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ανάπτυξη των οργανισμών και να διευκολύνεται η αφαίρεσή τους.

Σταθμός Παραγωγής

Ο σταθμός παραγωγής είναι υπόγειου τύπου, κατασκευασμένος περίπου 150 μέτρα κάτω από την επιφάνεια. Οι διαστάσεις του σταθμού είναι 17 μέτρα πλάτος, 32 μέτρα ύψος και 41 μέτρα μήκος. Εκεί στεγάζεται μια αναστρέψιμη μονάδα ισχύος 30 MW, μεταβλητών στροφών, η αντίστοιχη ηλεκτρική μηχανή (γεννήτρια- κινητήρας), καθώς και όλος ο υπόλοιπος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός. Για την κατασκευή του σταθμού, την εγκατάσταση του εξοπλισμού και την μετέπειτα προσπέλαση, κατασκευάστηκε ένα κάθετο φρεάτιο ύψους 153 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους έως το σταθμό. Εντός αυτού του φρεατίου, ορθογωνικής διατομής 7x 7,6 μέτρων, τοποθετήθηκε ο ανελκυστήρας και το κλιμακοστάσιο.

Υδροληψία

Ένα σημείο της ακτής όπου οι κοραλλιογενείς ύφαλοι είναι λιγότερο ανεπτυγμένοι έχει επιλεγεί ως το σημείο εξόδου (και κατά την άντληση εισόδου) του νερού στη θάλασσα. Προκειμένου να εξασφαλίζεται σταθερή παροχή στην υδροληψία κατά την άντληση και την παραγωγή, αλλά και να εκτονώνεται η ενέργεια των κυμάτων του ωκεανού, κατασκευάστηκε ένας κυματοθραύστης από προκατασκευασμένους τσιμεντόλιθους. Η άντληση και η φυγή του νερού στη θάλασσα γίνεται διαμέσου των κενών του κυματοθραύστη, με αποτέλεσμα η ταχύτητα ροής να μειώνεται στο 1m/sec. Η διάταξη της υδροληψίας κατασκευάστηκε έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στο γειτονικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, διεξήχθησαν μελέτες οι οποίες διερευνούσαν τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στη θερμοκρασία και την ποιότητα του

αποθηκευμένου θαλασσινού νερού κατά την έξοδό του στη θάλασσα, μετά από κάποιο διάστημα λειτουργίας. Οι προκαταρκτικές αυτές μελέτες έδειξαν ότι οι επιπτώσεις μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες.

Διασύνδεση

Η παραγόμενη ενέργεια του Υβριδικού Σταθμού διοχετεύεται στο Ηλεκτρικό Δίκτυο του νησιού με μια Γραμμή Μεταφοράς 66kV, συνολικού μήκους περί τα 17 χιλιόμετρα, η οποία συνδέει το έργο με τον Υποσταθμό Taiho της εταιρείας Okinawa Electric Power Co. ,Inc.

3.2.1.1: Πλεονεκτήματα χρήσης θαλασσινού νερού

- Το βασικότερο πλεονέκτημα των συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με χρήση θαλασσινού νερού είναι το χαμηλότερο κόστος Έργων Πολιτικού Μηχανικού σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούν γλυκό νερό για την πλήρωσή τους, κυρίως επειδή δεν απαιτείται η κατασκευή κάτω ταμιευτήρα. Αν μάλιστα ληφθεί υπόψη ότι το κόστος των έργων Πολιτικού Μηχανικού σε ένα μεγάλο ΥΗΕ μπορεί να αντιστοιχούν στο 60-70% της συνολικής επένδυσης, πρόκειται για σημαντική διαφορά στη συνολική δαπάνη.
- Από ενεργειακής άποψης, τα υδροηλεκτρικά έργα άντλησης θαλασσινού νερού είναι πιο ευέλικτα καθώς δεν υπάρχει διακύμανση στον «κάτω» ταμιευτήρα. Το εύρος της διακύμανσης του κάτω ταμιευτήρα δημιουργεί προβληματισμούς όσον αφορά το υψόμετρο τοποθέτησης της υδροληψίας, τη βύθιση των μηχανών (λόγω σπηλαίωσης) και τον τρόπο απόρριψης του νερού. Εφόσον, στα συγκεκριμένα συστήματα, ως κάτω ταμιευτήρας χρησιμοποιείται η θάλασσα, δεν υπάρχουν τέτοιοι προβληματισμοί και η ενεργειακή μελέτη του έργου γίνεται πιο απλή.
- Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα κατασκευής μονάδων μεγάλης κλίμακας (μεγάλης ισχύος και σημαντικού όγκου αποθήκευσης), καθώς δεν υπάρχουν περιορισμοί στον όγκο που περιλαμβάνει ο κάτω ταμιευτήρας. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη είναι άνω δεξαμενή, τόσο μεγαλύτερης κλίμακας είναι το έργο.
- Υπάρχει σημαντικό πλεονέκτημα στο σχεδιασμό των υδροδυναμικών μηχανών που χρησιμοποιούνται, καθώς δεν υπάρχει διακύμανση στη στάθμη του νερού στον κάτω ταμιευτήρα (θάλασσα), παρά μόνο σε περιπτώσεις παλίρροιας.
- Έχουν μικρότερες απώλειες, άρα και χαμηλότερο κόστος, μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς συνήθως βρίσκονται κοντά σε μονάδες παραγωγής μεγάλης κλίμακας, όπως θερμοηλεκτρικές μονάδες ή εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας.
- Τέλος, μπορούν να εγκατασταθούν κοντά σε κατοικημένες περιοχές και αστικά κέντρα, όπου κατεξοχήν υπάρχει μεγάλη ζήτηση ενέργειας, και κατά συνέπεια μειώνεται πολύ το κόστος διασύνδεσης.

3.2.1.2: Μειονεκτήματα χρήσης θαλασσινού νερού

- Οι αναστρέψιμες μηχανές, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε τέτοιες εγκαταστάσεις, λειτουργούν υπό συνθήκες έντονης διάβρωσης, και συνεπώς δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμβατικές μηχανές γλυκού νερού. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται υφίσταται ειδική επεξεργασία για να προστατεύεται από τη διάβρωση, γεγονός που καθιστά το κόστος του αρκετά υψηλότερο σε σχέση με αυτό των συμβατικών αναστρέψιμων συστημάτων.
- Γενικότερα στις αναστρέψιμες στροβιλομηχανές, υπάρχουν πολύ στενά διαστήματα μεταξύ των εξαρτημάτων και τα μεγαλύτερα τμήματα είναι ενσωματωμένα στο κυρίως σώμα της μηχανής, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η εφαρμογή κατάλληλων αντιδιαβρωτικών μέτρων. Αυτό σημαίνει ότι, για να εφαρμοστούν αποτελεσματικά μέτρα αντιδιαβρωτικής προστασίας απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα μελετών, ερευνών και δοκιμών, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ακόμη περισσότερο το συνολικό κόστος του έργου.

3.2.1.3: Ιδιαιτερότητες λόγω χρήσης θαλασσινού νερού

Κάποια από τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν σε ένα σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας με χρήση θαλασσινού νερού είναι τα εξής:

Περιβαλλοντικής Φύσεως

- Η αξιολόγηση των μέτρων που πρέπει να ληφθούν για την πρόληψη της διήθησης και της ρύπανσης από θαλασσινό νερό από τον ταμιευτήρα στο έδαφος ή/ και σε υπόγεια ύδατα. Ανάλογα με της τοπογραφικές, γεωλογικές και μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, η διήθηση του νερού στο υπέδαφος μπορεί να προκαλέσει βλάβες λόγω του άλατος στην περιβάλλουσα χλωρίδα. Οι επιπτώσεις αυτού του φαινομένου πρέπει να εκτιμηθούν και να αξιολογηθούν, προκειμένου να υιοθετηθούν τα κατάλληλα μέτρα πρόληψης ή αντιμετώπισης.
- Οι επιπτώσεις στα φυτά, τα ζώα και σε άλλα βιολογικά συστήματα γύρω από την περιοχή λόγω εξάτμισης του θαλασσινού νερού από τον άνω ταμιευτήρα. Το νερό στον άνω ταμιευτήρα μπορεί να διασκορπίζεται στο γειτονικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια δυνατών ανέμων και συνεπώς επιβάλλεται να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα.
- Οι επιπτώσεις σε κοράλλια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς που ζουν κοντά στην έξοδο του νερού στη θάλασσα. Η απόρριψη και η αναρρόφηση νερού από τη θάλασσα κατά τη λειτουργία του έργου μπορεί να ταράξει τα τοπικά ρεύματα και να επηρεάζει τις παράκτιες συνθήκες, με αποτέλεσμα την όχληση των θαλάσσιων οργανισμών.

Τεχνικής Φύσεως

- Η μείωση της απόδοσης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την άντληση, ως αποτέλεσμα της πρόσφυσης θαλάσσιων οργανισμών στους αγωγούς και το στρόβιλο. Στην εκτιθέμενη στο νερό επιφάνεια της υδροληψίας, του αγωγού προσαγωγής, του κελύφους της μηχανής και του αγωγού φυγής προσκολλώνται θαλάσσιοι οργανισμοί όπως φύκια και οστρακοειδή. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί μείωση της διατομής των διόδων του νερού και αύξηση της τραχύτητας των επιφανειών, και κατά συνέπεια οδηγεί σε αύξηση των υδραυλικών απωλειών, μείωση του καθαρού ύψους πτώσης και ελάττωση της λειτουργικής αποδοτικότητας της αναστρέψιμης μηχανής.
- Η διάβρωση των μεταλλικών υλικών που έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό υπό την υψηλή πίεση και υψηλή ταχύτητα ροής που δημιουργείται από την αναστρέψιμη μηχανή. Για τον εξοπλισμό που έρχεται σε επαφή με το νερό (αναστρέψιμη μηχανή και αγωγοί), απαιτείται προσεκτική επιλογή υλικών με αντιδιαβρωτικές ιδιότητες. Η αποτελεσματικότητα των αντιδιαβρωτικών ιδιοτήτων πρέπει να εξασφαλίζεται, όχι μόνο όσον αφορά στην αντίσταση σε διάβρωση αλλά επιπλέον στην αντοχή, την εύκολη συντήρηση καθώς και την οικονομική απόδοση.
- Η εξασφάλιση σταθερής ισχύος μέσω σταθερής αναρρόφησης και απόρριψης του θαλασσινού νερού.

3.2.2: Η μελέτη για το σύστημα της Ιρλανδίας

Μια αρκετά φιλόδοξη, πρόταση είναι το εθνικό σχέδιο της Ιρλανδίας για μείωση της ενεργειακής εξάρτησής της από τα ορυκτά καύσιμα και την εισαγόμενη ενέργεια. Το βασικό πρόβλημα της χώρας είναι το μεγάλο ποσοστό εισαγόμενης ενέργειας από την υπόλοιπη Ευρώπη, καθώς η Ιρλανδία έρχεται στην τέταρτη θέση της λίστας των Ευρωπαϊκών Χωρών με το μεγαλύτερο ποσοστό εισαγωγής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, βάσει έρευνας που δημοσιοποίησε πρόσφατα η Ευρωπαϊκή Ένωση για την ενεργειακή κατανάλωση και παραγωγή στην Ευρώπη των 27, η Ιρλανδία βρίσκεται στην πρώτη πεντάδα στην εισαγωγή ενέργειας, μετά την Κύπρο, την Μάλτα και το Λουξεμβούργο (χώρες πολύ μικρότερες σε έκταση και με λίγους ή μηδαμινούς φυσικούς ενεργειακούς πόρους), με ποσοστό που ξεπερνά το 90% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της χώρας.

Ο πληθυσμός της Ιρλανδίας είναι περίπου 4,5 εκατομμύρια κάτοικοι . Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς της χώρας είναι 7.300 MW ενώ η ετήσια ενεργειακή ζήτηση φτάνει τις 28.000 GWh. Το δίκτυο διασύνδεσης της χώρας αποτελείται κυρίως από τη γραμμή μεταφοράς των 400 kV μεταξύ Δουβλίνου και Limerick, ενώ η διασύνδεση στα δυτικά παράλια, όπου υπάρχει το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό, είναι ιδιαίτερα αδύναμη. Στην ενεργειακή παραγωγή της χώρας, τη μερίδα του λέοντος καταλαμβάνει το πετρέλαιο (56,4% της συνολικής παραγωγής) και ακολουθούν το φυσικό αέριο (25,3%) και ο άνθρακας (10,3%), ενώ οι ανανεώσιμες πηγές καλύπτουν μέχρι στιγμής μόνο το 2,7% των ενεργειακών αναγκών.



Εικόνα 3.3 : Υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο της Ιρλανδίας



Εικόνα 3.4 : Ηλεκτρική διασύνδεση του έργου 'Spirit of Ireland' με την Ευρώπη μέσω του Ηνωμένου Βασιλείου

Το εθνικό σχέδιο ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης της χώρας, υπό τον τίτλο «Spirit of Ireland Project», περιλαμβάνει την κατασκευή ταμιευτήρων σε κοιλάδες των δυτικών ακτών της Ιρλανδίας σε συνδυασμό με μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας

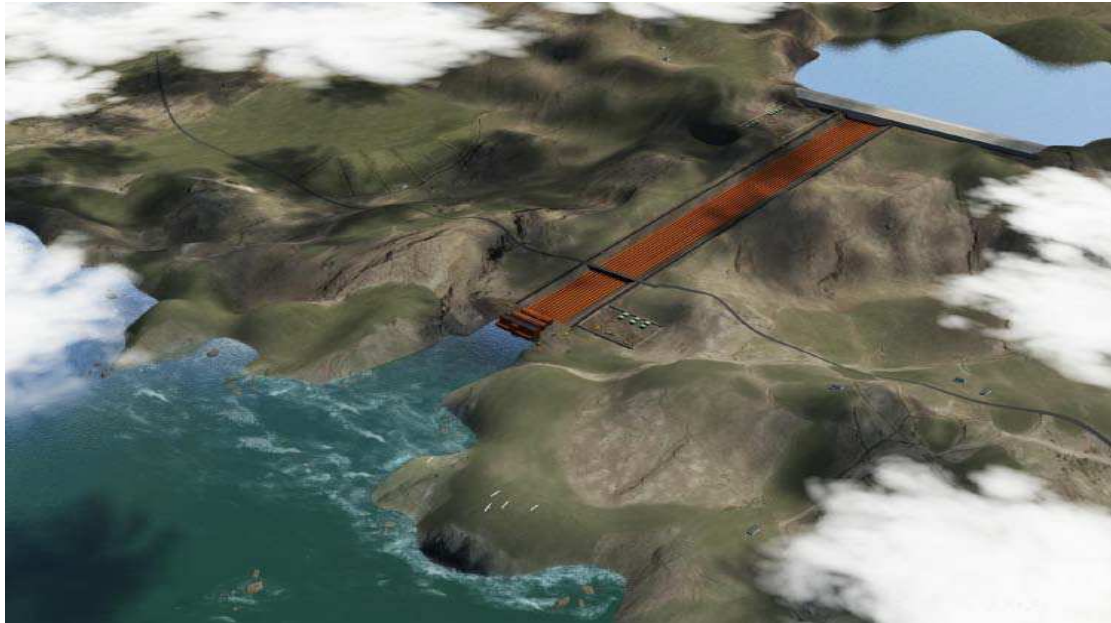
υπολογίζεται σε 1.000 MW και η συνολική ισχύς των αιολικών πάρκων 1800 MW. Η προκαταρκτική μελέτη αναφέρει παράκτιες κοιλάδες από την κομητεία Donegal έως το Cork, οι οποίες θα κατακλυστούν με θαλασσινό νερό μέσω της κατασκευή παράκτιων φραγμάτων.

Συνήθως, η διείσδυση της αιολικής παραγωγής φτάνει μόνο το 25 έως 35 τοις εκατό της μέγιστης δυνατής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βάσει μακροχρόνιων μετρήσεων. Για το λόγο αυτό, η απορριπτόμενη υπό άλλες συνθήκες αιολική ενέργεια θα αποθηκεύεται και οι προτεινόμενοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί θα μπαίνουν σε λειτουργία όταν οι ταχύτητες ανέμου είναι είτε πολύ χαμηλές είτε πολύ υψηλές για να είναι αξιοποιήσιμες. Σύμφωνα με την πρόταση του «Spirit of Ireland Project», μια τυπική φυσική δεξαμενή- κοιλάδα θα καλύπτει, όταν είναι γεμάτη, μια έκταση τεσσάρων τετραγωνικών χιλιομέτρων - κατά μέσο όρο 2 x 2 χιλιόμετρα. Με βάση μελέτες για το σχήμα, το βάθος, το ύψος από τη θάλασσα κλπ., δύο τέτοιες δεξαμενές θα αποθήκευαν περίπου 200 GWh ηλεκτρικής ενέργειας. Μια τρίτη δεξαμενή θα αύξανε αυτό το μέγεθος σε 300 GWh. Αυτή είναι μια σημαντική αποθήκη ενέργειας και στην πραγματικότητα έχουν μελετηθεί πολλές κοιλάδες οι οποίες θα εξασφάλιζαν αισθητά μεγαλύτερη αποθήκευση.

Η μακροπρόθεσμη στρατηγική του προγράμματος είναι να αναπτυχθεί η ικανότητα ηλεκτρικής διασύνδεσης με την ηπειρωτική Ευρώπη μέσω του Ηνωμένου Βασιλείου, η οποία θα επιτρέπει την εξαγωγή του πλεονάζοντος παραγόμενου δυναμικού ενώ παράλληλα θα επιτρέπει την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση της συνεχούς νηνεμίας. Το σενάριο αυτό αναμένεται να είναι πολύ σπάνιο και κατά τη διάρκεια τέτοιων συνθηκών, οι δεξαμενές θα γεμίζουν με εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ώρες εκτός αιχμής που θα αντιστοιχούν σε πολύ χαμηλότερες τιμές. Τοποθεσίες για τις δεξαμενές αντλησιοταμίευσης, δεν έχουν ακόμα αποφασιστεί, αλλά αναμένεται να βρίσκονται σε περιοχές που είναι οικονομικά σε δυσμενέστερη θέση, γεγονός που θα βοηθήσει να εκπληρωθεί ο ιρλανδικός στόχος για ισορροπημένη περιφερειακή ανάπτυξη.



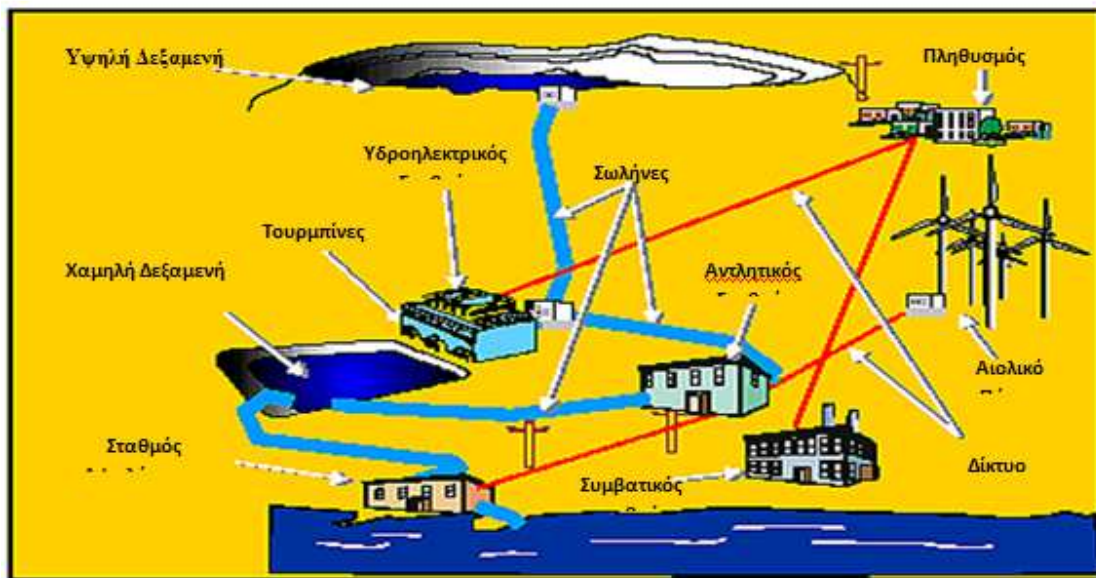
Εικόνα 3.5 : Υδροληψία και σταθμός παραγωγής του Spirit of Ireland



Εικόνα 3.6 : Διάταξη συστήματος αντλησιοταμίευσης στα πλαίσια του έργου ". Απεικονίζεται η υδροληψία, η διάταξη των αγωγών διακίνησης του νερού και ο ταμιευτήρας αποθήκευσης.

3.2.3: Το υπό κατασκευή σύστημα στο νησί El Hierro

Η λειτουργία του συστήματος στο El Hierro έχει ως εξής: πέντε ανεμογεννήτριες συνολικής παραγωγής 11,5 MW θα φροντίζουν για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπου 11.000 κατοίκους, που είναι και ο συνολικός πληθυσμός του νησιού, σε έναν επιπρόσθετο αριθμό τουριστών καθώς και σε τρεις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που λειτουργούν. Το υδροηλεκτρικό έργο άντλησης-ταμίευσης θα αποθηκεύει την περίσσεια αιολικής ενέργειας, αντλώντας νερό σε ύψος 700 m, γεμίζοντας τον κρατήρα ενός αδρανοποιημένου ηφαιστείου. Σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης από το αιολικό πάρκο, το νερό θα απελευθερώνεται από τον κρατήρα παράγοντας έως και 11,3 MW ηλεκτρικής ενέργειας και γεμίζοντας κατά την απόθεσή του την τεχνητή δεξαμενή που έχει κατασκευαστεί στον πόδα του ηφαιστείου. Στη συνέχεια, το νερό αντλείται από τη κάτω στην πάνω δεξαμενή όταν υπάρχει πλεονάζουσα αιολική ενέργεια. Το σύστημα αυτό αναμένεται να καλύπτει το 80% των ενεργειακών αναγκών του νησιού, ενώ το υπόλοιπο 20% προβλέπεται να καλύπτεται από ηλιακούς συλλέκτες και φωτοβολταϊκά, καθιστώντας έτσι το νησί ενεργειακά ανεξάρτητο από συμβατικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά, οι υπάρχουσες νηξελογεννήτριες θα συνεχίσουν την λειτουργία τους καλύπτοντας το υπολειπόμενο φορτίο ζήτησης σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης του συνολικού από τον συνδυασμό των παραπάνω τεχνολογιών. Στην Εικόνα 3.7 φαίνεται μια αναπαράσταση του προβλεπόμενου υβριδικού συστήματος του νησιού.



Εικόνα 3.7: Αναπαράσταση του υβριδικού υδροηλεκτρικού συστήματος στο νησί El Hierro

3.2.4: Το υπό κατασκευή έργο στην Ικαρία

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ικαρίας είναι και η περίπτωση που θα εξεταστεί περισσότερο από τις άλλες καθώς λειτουργεί με πανομοιότυπο τρόπο όπως το σύστημα Καλύμνου- Κω, το οποίο και ερευνάται και φυσικά διαθέτει και τις ίδιες συνθήκες, αφού είναι και η Ικαρία ένα ελληνικό νησί, μάλιστα βρίσκεται και στο ίδιο πέλαγος, το Αιγαίο Πέλαγος.

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ικαρίας, περιλαμβανομένου του ΥΒΕ, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.8, ενώ στην Εικόνα 3.9 και 3.10 απεικονίζονται η χωροθέτηση και αντίστοιχα η διάταξη των διαφόρων μονάδων στον χάρτη της Ικαρίας. Οι υπάρχουσες μονάδες παραγωγής αποτελούνται από τον τοπικό σταθμό παραγωγής Αγίου Κηρύκου (ΤΣΠ) και την ιδιωτική Α/Γ ΛΑΚΙΟΣ ΑΕ ονομαστικής ισχύος 600 kW, που βρίσκεται στο Περδίκι.

Το υβριδικό έργο κατασκευάζεται στον πρώην δήμο Ραχών και ο υφιστάμενος σχεδιασμός του περιλαμβάνει το αιολικό πάρκο (Α/Π) στην περιοχή του λόφου Στραβοκουνδούρα, αποτελούμενο από τρεις Α/Γ Enercon E-44/900 των 900 kW η κάθε μία, με ύψος πλήμνης 55 m, το αντλιοστάσιο Κάτω Προεσπέρας που αποτελείται από 12 αντλίες ονομαστικής ισχύος 250 kW έκαστη, εκ των οποίων οι τέσσερις είναι εφεδρικές, δύο δεξαμενές και έναν ταμιευτήρα: τον ταμιευτήρα Πεζίου, συνολικού όγκου 910.000 m³ περίπου, η περίσσεια υδάτων του οποίου θα αξιοποιείται, και τις δύο μικρότερου μεγέθους δεξαμενές στην Προεσπέρα και Κάτω Προεσπέρα αντίστοιχα, με εκμεταλλεύσιμο όγκο νερών περίπου 80.000 m³, που θα εξυπηρετούν τις ανάγκες της αντλησιοταμίευσης για την απορρόφηση της αιολικής ενέργειας. Επίσης περιλαμβάνει τον Μικρό Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΜΥΗΣ) Προεσπέρας με έναν υδροστρόβιλο, τύπου Pelton, ισχύος 1,05 MW που θα αξιοποιεί μόνο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα

Πεζίου (αφού πρώτα ικανοποιηθούν οι υποχρεώσεις για ύδρευση, οικολογική παροχή και άρδευση) και τον ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, με δύο υδροστρόβιλους, τύπου Pelton, ισχύος $2 \times 1,55$ MW, που θα αξιοποιεί τόσο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα όσο και τα νερά που προέρχονται από αντλησιοταμίευση (Παπαευθυμίου κ.α., 2009).

Η λειτουργία των δύο ΜΥΗΣ διέπεται και από υποχρεώσεις που τίθενται στην περιβαλλοντική αδειοδότηση του έργου και έχουν σκοπό την εξασφάλιση της αρδευτικής επάρκειας του ταμιευτήρα. Συγκεκριμένα, δεν επιτρέπεται η λειτουργία του ΜΥΗΣ Προεσπέρας την θερινή περίοδο (Μαΐου-Οκτωβρίου), ενώ το υπόλοιπο διάστημα τίθενται απαιτήσεις ελάχιστης στάθμης νερού στον ταμιευτήρα Πεζίου. Οι απαιτήσεις αυτές αναλύονται στο απόσπασμα που ακολουθεί από την μελέτη του έργου: «...Προκειμένου να ανταποκριθεί η διαχείριση του ταμιευτήρα στις κατά τα ανωτέρω σύνθετες απαιτήσεις, καταρτίστηκε από τους μελετητές της ΔΕΗ/ΔΑΥΕ ένα σενάριο ελαχίστου επιτρεπτού όγκου νερού στον ταμιευτήρα για το χρονικό διάστημα της ενεργειακής λειτουργίας του, δηλαδή τη χειμερινή περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου. Βάσει αυτού, με την έναρξη της χειμερινής περιόδου, η ενεργειακή εκμετάλλευση επιτρέπεται να αρχίσει αφού ο ταμιευτήρας θα έχει συγκεντρώσει 500.000,00 m³ νερού. Η εκμετάλλευση που θα ακολουθήσει δεν επιτρέπεται μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου να αφήσει τον ταμιευτήρα με λιγότερο νερό. Στη συνέχεια, το ελάχιστο όριο εξελίσσεται γραμμικά ημέρα με την ημέρα μέχρι το τέλος Μαρτίου που ο περιβαλλοντικός όρος επιβάλλει ελάχιστη στάθμη το +720,00, που αντιστοιχεί σε όγκο νερών 819.259,00 m³. Την επόμενη ημέρα ο μήνας είναι Απρίλιος και σύμφωνα με τον περιβαλλοντικό όρο η στάθμη πρέπει να είναι κατ' ελάχιστον +720,50, που αντιστοιχεί σε όγκο 862.730,00 m³. Είναι φανερό ότι μεταξύ 31/03 και 01/04 ο περιβαλλοντικός όρος εισάγει μια ασυνεχή μεταβολή με μορφή άλματος στην ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη άρα και στον ελάχιστο επιτρεπόμενο όγκο. Στη συνέχεια και μέχρι τη 14η ημέρα του Απριλίου, η στάθμη τηρείται σταθερά πάνω από το +720,50 σύμφωνα με τον περιβαλλοντικό όρο, οπότε και το όριο του ελαχίστου όγκου μένει σταθερό στα 862.730,00 m³. Από τη 15η ημέρα του Απριλίου αρχίζει πάλι μια γραμμική αύξηση του ορίου, ημέρα με την ημέρα, ώστε να καταλήξει ο ταμιευτήρας στο τέλος Απριλίου γεμάτος, δηλαδή με ελάχιστο όγκο όσο και η χωρητικότητά του (910.000,00 m³) και στάθμη την ΑΣΛ (+721,00). Από τη χρονική στιγμή αυτή παύει η ενεργειακή λειτουργία του ταμιευτήρα (και μαζί με αυτήν η λειτουργία του ΜΥΗΣ Προεσπέρας) σύμφωνα με τον περιβαλλοντικό όρο, μέχρι να τελειώσει η αρδευτική περίοδος.»



Εικόνα 3.8: Τοποθέτηση μονάδων παραγωγής στον χάρτη της Ικαρίας



Εικόνα 3.9: Διάταξη Υβριδικού Έργου

Για την διαχείριση των διαφόρων μονάδων παραγωγής, θα εγκατασταθούν σε κάθε ΥΗΣ, στο αντλιοστάσιο και στο αιολικό πάρκο, τοπικά συστήματα που θα επικοινωνούν με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης, το οποίο θα εγκατασταθεί στο Κέντρο Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου στον Τοπικό Σταθμό Παραγωγής (ΤΣΠ) Ικαρίας. Το κεντρικό σύστημα ανάλογα με το φορτίο του ηλεκτρικού συστήματος θα ορίζει τις μονάδες που θα τίθενται σε λειτουργία σύμφωνα με την διαθεσιμότητά τους και την σειρά προτεραιότητάς τους, σε τρόπο που να ικανοποιείται η ζήτηση.

Η όλη λειτουργία των μονάδων θα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και θα ελέγχεται από το σύστημα αυτοματισμού που θα διαθέτει SCADA με το απαραίτητο PLC. Παρακάτω παρατίθενται μερικές φωτογραφίες από τα διάφορα υπό κατασκευή τμήματα του έργου.



Εικόνα 3.10: Δεξαμενή Προεσπέρας



Εικόνα 3.11: Απεικόνιση αντλιοστασίου



Εικόνα 3.12: Εκσκαφή θεμελίου ανεμογεννήτριας

Τεχνικά χαρακτηριστικά και υπολογισμοί βασικών υδραυλικών μεγεθών

Προκειμένου να υπολογιστεί το μανομετρικό ύψος των υδροστροβίλων, $H_{man}(1-2)$, από τον ταμιευτήρα στο Πέζι μέχρι την δεξαμενή Προεσπέρας (διαδρομή 1-2) και το $H_{man}(2-3)$, από την δεξαμενή Προεσπέρας μέχρι την δεξαμενή Κάτω Προεσπέρας (διαδρομή 2-3), καθώς και των αντλιών, $H_{man}(3-2)$, από την δεξαμενή Κάτω Προεσπέρας μέχρι την δεξαμενή Προεσπέρας (διαδρομή 3-2), εκτιμήθηκαν αρχικά οι γραμμικές, h_f και οι τοπικές, h_t , απώλειες. Οι τοπικές απώλειες, εξαιτίας έλλειψης στοιχείων σχετικά με την ακριβή γεωμετρία των αγωγών, θεωρήθηκαν ως ένα ποσοστό, 10%, των γραμμικών απωλειών. Οι γραμμικές απώλειες για κάθε διαδρομή δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Τέλος, θεωρήθηκε ότι η ελάχιστη παροχή νερού με την οποία ο υδροστρόβιλος Pelton μπορεί να παράγει υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με $Min=0,13*QD$. Αυτό σημαίνει ότι παροχές μικρότερες από την Min δεν παράγουν υδροηλεκτρική ενέργεια.

| Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου | | | |
|---|-------|-----------------|--|
| Τεχνικό χαρακτηριστικό | Τιμή | Μονάδα μέτρησης | Επεξήγηση |
| L ₁₋₂ | 3500 | m | Μήκος αγωγού προσαγωγής στη διαδρομή 1-2 |
| L ₂₋₃ | 3060 | m | Μήκος αγωγού προσαγωγής στη διαδρομή 2-3 |
| L ₃₋₂ | 3100 | m | Μήκος αγωγού κατάθλιψης στη διαδρομή 3-2 |
| D ₂₋₃ | 0,6 | m | Διάμετρος του αγωγού προσαγωγής της διαδρομής 2-3 |
| D ₃₋₂ | 0,5 | m | Διάμετρος αγωγού κατάθλιψης της διαδρομής 3-2 |
| H ₁ | 721 | m | Ανώτατη στάθμη ύδατος στο φράγμα Πέζι |
| H ₂ | 554 | m | Ανώτατη στάθμη ύδατος στη δεξαμενή Προεσπέρας |
| H ₃ | 50 | m | Ανώτατη στάθμη ύδατος στη δεξαμενή Κάτω Προεσπέρας |
| f | 0,012 | - | Συντελεστής τριβών Darcy |
| n _{υδρ.} | 0,9 | - | Συντελεστής βαθμού απόδοσης υδροστροβίλων |
| n _{αντ.} | 0,69 | - | Συντελεστής βαθμού απόδοσης αντλιών |
| I ₁₋₂ | 1,05 | MW | Ον. ισχύς υδροστροβίλων στον ΥΗΣ Προεσπέρας |
| I ₂₋₃ | 3,1 | MW | Ον. ισχύς υδροστροβίλων στον ΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας |
| I ₃₋₂ | 2 | MW | Ον. ισχύς αντλιών |

Εσωτερική λειτουργία του σταθμού κατά τους θερινούς μήνες

Την περίοδο αυτή, σύμφωνα με τις ΚΥΑ ΕΠΟ (Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων) και με την τελική Περιβαλλοντική Μελέτη του έργου, λειτουργεί μόνο ο ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, ώστε να επιτυγχάνεται η ασφαλή διάθεση των νερών του ταμειωτήρα για ύδρευση και άρδευση και η διατήρηση των

υδατικών πόρων σε καλή κατάσταση. Ο Διαχειριστής του Υβριδικού Έργου πραγματοποιεί τον ωριαίο προγραμματισμό ένταξης των υδροτροβίλων του ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, ενώ παράλληλα καθορίζονται και οι προτεραιότητες ως προς την αξιοποίηση της διαθέσιμης αιολικής παραγωγής, αν δηλαδή αυτή θα χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας στο δίκτυο ή για άντληση, ανάλογα με την τιμολόγηση των ενεργειών των διαφόρων συνιστωσών του ΥΒΕ.



Σχήμα 3.13: Εσωτερική διαμόρφωση του ΥΒΕ και λοιπές μονάδες παραγωγής συστήματος της Ικαρίας 2013

Εσωτερική λειτουργία του σταθμού κατά τους χειμερινούς μήνες

Την περίοδο αυτή λειτουργεί και ο ΜΥΗΣ Προεσπέρας, όταν υπάρχει περίσσεια νερών στον ταμιευτήρα Πεζίου. Τις ημέρες χωρίς περίσσεια ισχύουν τα ίδια ακριβώς με την θερινή περίοδο. Τις ημέρες με περίσσεια νερών, η λογική διαχείριση προτεραιοτήτων των δύο ΜΥΗΣ που υιοθετείται αποσκοπεί στη διατήρηση της δεξαμενής της Προεσπέρας σε πληρότητα αρκετά υψηλή, ώστε να αξιοποιούνται τα διαθέσιμα νερά του ταμιευτήρα, χωρίς όμως να τίθεται ζήτημα απόρριψης αιολικής παραγωγής προς άντληση εντός του ημερησίου κύκλου λειτουργίας. Το ποσοστό αυτό εδώ λαμβάνεται 85%, γεγονός που πρακτικά σημαίνει ότι το 85% της χωρητικότητας της δεξαμενής Προεσπέρας διατίθεται για την αξιοποίηση των πλεοναζόντων υδάτων του ταμιευτήρα, ενώ το υπόλοιπο 15% (12.000 m³ νερού περίπου) για αποθήκευση της αντλούμενης αιολικής παραγωγής. Η διατήρηση της συγκεκριμένης στάθμης φόρτισης της δεξαμενής επιτυγχάνεται με την εναλλαγή της προτεραιότητας φόρτισης των υδροτροβίλων των ΜΥΗΣ Προεσπέρας και Κάτω Προεσπέρας.

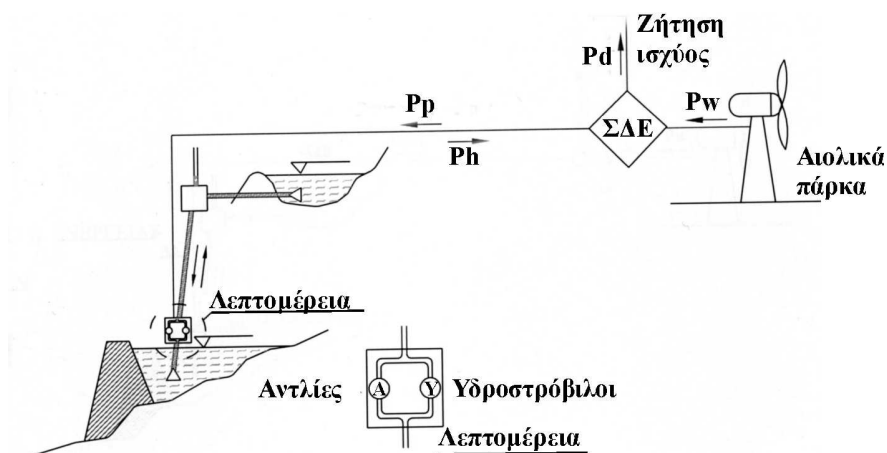
Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση υβριδικού σταθμού στο σύστημα Κω-Καλύμνου

4.1: Περιγραφή σταθμού

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

4.2: Αλγόριθμος λειτουργίας του συστήματος

Το υπό μελέτη σύστημα απεικονίζεται γραφικά στο σχήμα 4.1 που ακολουθεί όπου με P_d συμβολίζεται η ζήτηση ισχύος, P_w η παραγόμενη ισχύ από το αιολικό πάρκο, P_{wd} η ισχύ διείσδυσης από το αιολικό πάρκο, P_p και P_h αντίστοιχα η παραγωγή ισχύος από τις αντλίες και τους υδροστρόβιλους και τέλος P_t η ισχύς των θερμοηλεκτρικών.



Σχήμα 4.1: Σύνδεσμος αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού και αιολικού πάρκου.

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

1) Αν $P_w < P_d$, θα πρέπει να υπολογιστεί η ισχύ διείσδυσης που θα προσφέρει το αιολικό πάρκο στη ζήτηση με μέγιστο ποσοστό διείσδυσης το 40%. Αν $P_w < 0,4 * P_d$ τότε

θα χρησιμοποιείται ολόκληρη η παραγωγή από το αιολικό πάρκο $P_w = P_{wd}$ ενώ σε αντίθετη περίπτωση το ποσό διείσδυσης θα ισούται με το 40% της ζήτησης και θα δημιουργείται περίσσεια ισχύος ίση με $P_w - P_{wd}$. Για την κάλυψη της ζητούμενης ισχύος θα ελέγχεται αν η στάθμη της άνω δεξαμενής έχει αποθέματα νερού για να καλύψει την ισχύ τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αν αυτό είναι εφικτό τότε οι υδροστρόβιλοι θα παράγουν το έλλειμμα με ισχύ $P_h = P_d - P_{wd}$, ενώ σε αντίθετη περίπτωση το έλλειμμα θα καλύπτεται από την ισχύ των θερμοηλεκτρικών και η περίσσεια από το αιολικό πάρκο θα καταναλώνεται για αποθήκευση νερού στην άνω δεξαμενή με $P_p = P_w - P_{wd}$.

2) Αν $P_w > P_d$, τότε η ισχύ διείσδυσης θα αποτελεί το 40% της ζήτησης και για την περίσσεια $P_w - P_{wd}$ θα πρέπει να γίνει έλεγχος της άνω δεξαμενής αν υπάρχει διαθέσιμος όγκος για αποθήκευση νερού, όγκου ανάλογου με την περίσσεια ισχύος την δεδομένη χρονική στιγμή. Στην περίπτωση που είναι δυνατή η αποθήκευση του νερού οι αντλίες θα χρησιμοποιούν την περίσσεια ισχύ και τα θερμοηλεκτρικά θα καλύπτουν την υπόλοιπη ζήτηση ισχύος $P_w - P_{wd}$. Αντίθετα αν η στάθμη του νερού πρόκειται να ξεπεράσει την μέγιστη επιτρεπόμενη, τότε η περίσσεια από το αιολικό πάρκο χάνεται (θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε άλλες περιπτώσεις που δεν μελετούνται εδώ) και η ζητούμενη ισχύ καλύπτεται από τους υδροστρόβιλους αντικαθιστώντας τα θερμοηλεκτρικά.

4.3: Θέση εγκατάστασης 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 για το έργο που μελετάται θεωρείται δεδομένο ότι η αντλησιοταμίευση θα γίνεται από θαλασσινό νερό. Είναι μεγάλο ατού το ότι το έργο αυτό αναφέρεται σε νησί και δεν πρέπει να αγνοηθεί καθόλου αφού σημαντικά έξοδα για την κατασκευή ακόμη ενός ταμιευτήρα (κάτω ταμιευτήρα) θα μηδενιστούν. Βέβαια, θα χρειαστεί μια μονάδα αφαλάτωσης, μετατρέποντας το θαλασσινό νερό σε γλυκό αλλά δεν είναι κάτι τέτοιο τόσο ακριβό όσο η κατασκευή μιας δεξαμενής. Αυτό λοιπόν σημαίνει την δημιουργία του σταθμού παράκτια της νήσου Καλύμνου.

Στη συνέχεια άλλο ένα κριτήριο που πρέπει να υπολογιστεί είναι η περιοχή εκείνη που θα οριστεί να μην είναι κατοικημένη και να είναι όσο το δυνατόν κοντινότερα σε οδικό δίκτυο. Ακόμα, επειδή η Κάλυμνος διαθέτει περιοχές προστατευμένες από οργανισμούς όπως είναι η Natura, αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία, παραδοσιακούς οικισμούς και θρησκευτικά μνημεία, θα πρέπει να γίνει η επιλογή εξαιρώντας αυτές τις περιοχές, καθώς και τα περίχωρά τους, στην απόσταση που ορίζει για κάθε ένα με την σειρά «η εφημερίς της κυβερνήσεως».

Τέλος, πρέπει να εξεταστεί ο τόπος από γεωγραφικής άποψης, δηλαδή να διαθέτει ένα ύψωμα για την άνω δεξαμενή αρκετό για τις ανάγκες του συστήματος, αλλά και μια ομαλότητα ταυτόχρονα στο ανάγλυφο του βουνού 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 υπακούοντας σε όλους τους κανόνες χωροθέτησης.

Λαμβάνοντας όλα τα παραπάνω κριτήρια επιλογής της βέλτιστης θέσης και σε συνεργασία πάντα με τον υπεύθυνο καθηγητή, τελικά βρέθηκε η κατάλληλη τοποθεσία εγκατάστασης του έργου και θα φανεί σε εικόνες παρακάτω, όπου θα γίνεται και η φάση της διαστασιολόγησης.

4.4: Διαστασιολόγηση έργου και χωροθέτηση επιμέρους μηχανημάτων

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

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

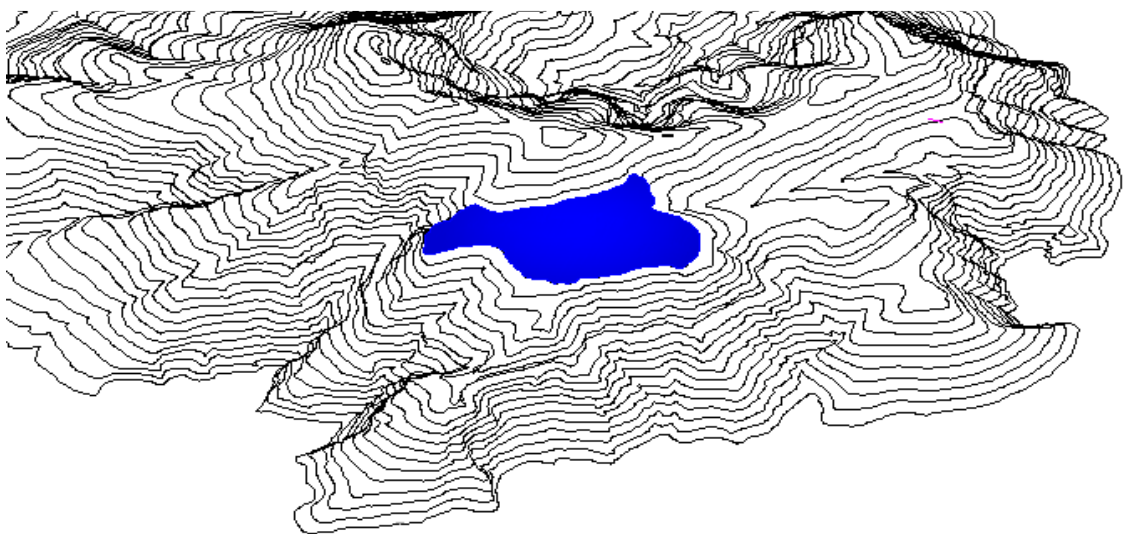
4.4.1: Ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού

Ο ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού βρίσκεται σε ύψος 370 m από την στάθμη της θάλασσας, παρουσιάζει ομαλότητα για τους αγωγούς και μία περιοχή σχεδόν επίπεδη, ακριβώς κατάλληλη για τη δημιουργία της δεξαμενής. Συγκρίνοντας όλες τις πιθανές εκδοχές για την χωρητικότητα του ταμιευτήρα σε σύγκριση πάντα με το πλήθος των ανεμογεννητριών βρέθηκε η χρυσή τομή ώστε να μην υπάρχει αφενός σημαντική απόρριψη αιολικής ενέργειας, αλλά αφετέρου η κάλυψη της ζήτησης ισχύος να μην επιβαρύνει σημαντικά τα θερμοηλεκτρικά. Σε μία τέτοια δεξαμενή το βάθος δεν είναι δυνατό να θεωρηθεί κατακόρυφο, δηλαδή όση είναι η επιφάνεια να είναι και ο πυθμένας. Ο ταμιευτήρας λοιπόν παρουσιάζει κλίση καθώς οδεύει προς τον πυθμένα. Τον όγκο του που χρειάζεται να υπολογιστεί για να πετύχουμε την αναμενόμενη χωρητικότητα νερού, τον υπολογίζουμε βάση την κολουρη πυραμίδα. Η σχέση είναι $V=1/3*(B1+(B1*B2)^{-2}+B2)$. Έτσι λοιπόν, ο ταμιευτήρας που μελετάμε με δεδομένου του εμβαδού της επιφανείας του να ανέρχεται στα 375.000 m², το εμβαδόν της βάσης στον πυθμένα στα 70.000 m² και βάθος στα 20m παρουσιάζει όγκο 4.000.000 m³ με αρχικά αποθηκευμένο όγκο νερού 2.500.000 m³. Η επιφάνεια της δεξαμενής θα έχει σχήμα ακολουθούμενο των ισοϋψών γραμμών του χάρτη.

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



Εικόνα 4.1: Απεικόνιση ταμιευτήρα. Εικόνα από το Google Earth.

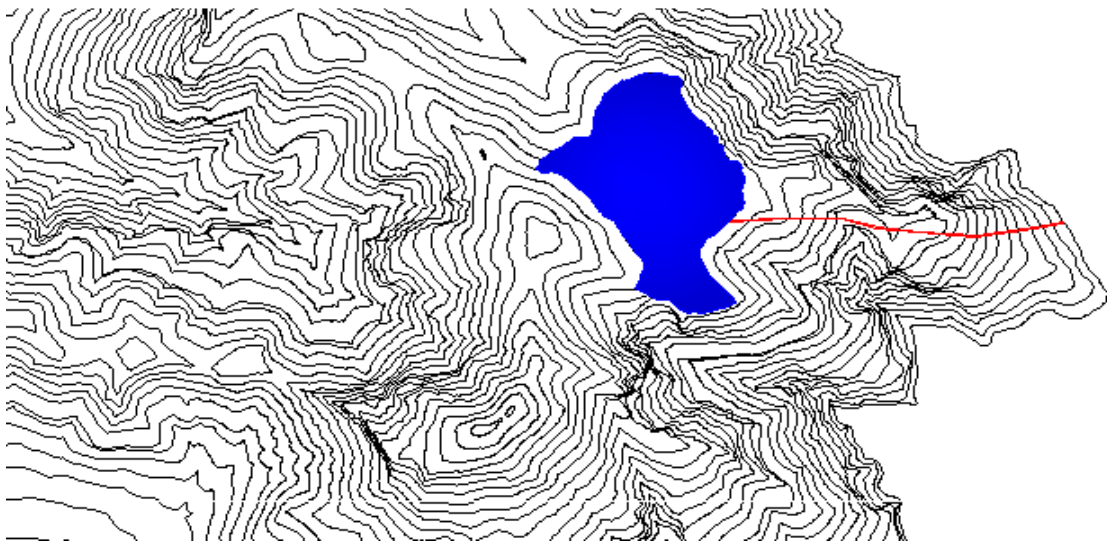


Εικόνα 4.2: Απεικόνιση ταμιευτήρα. Εικόνα από τον ψηφιοποιημένο χάρτη στο AutoCAD.

4.4.2: Απεικόνιση όδευσης αγωγού

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

Σύμφωνα λοιπόν με τις πληροφορίες για την απεικόνιση του ανάγλυφου του βουνού που μας δίνει ο ψηφιοποιημένος χάρτης, το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 1340 m.

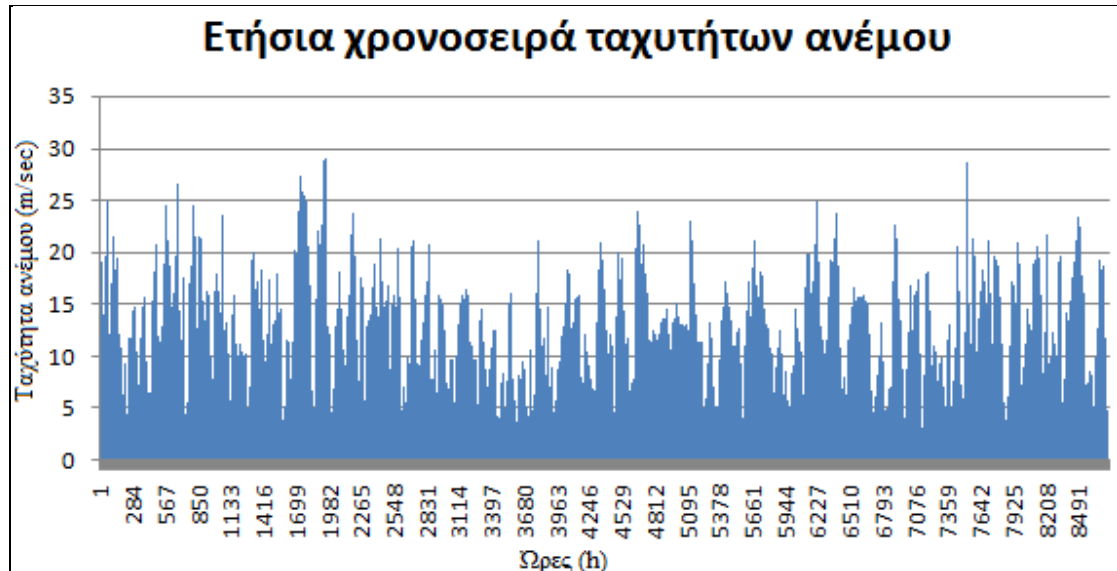


Εικόνα 4.3: Απεικόνιση αγωγού σε κάτοψη

4.4.3: Αιολικό πάρκο

Η ανάλυση ανεμολογικών δεδομένων είναι πρωταρχικής σημασίας για την μελέτη του υβριδικού συστήματος και την οικονομική βιωσιμότητας του έργου. Είναι επιτακτική η ανάγκη να γνωρίζουμε το αιολικό δυναμικό της περιοχής που εξετάζεται, με τη μέση ταχύτητα του ανέμου, την κύρια διεύθυνση του και την κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των τιμών ταχυτήτων του ανέμου καθώς και τα διαστήματα νηνεμίας και ισχυρών ανέμων μέσα στο χρόνο. Η ανάλυση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής γίνεται σε βάθος χρόνου τουλάχιστον ενός έτους με την βοήθεια ανεμολογικών ιστών οι οποίοι καταγράφουν μέσω μετρητικών οργάνων την ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου ανά τακτά χρονικά διαστήματα συνήθως κάθε 10 λεπτά. Με αυτόν τον τρόπο ύστερα από ανάλυση των μετρήσεων δημιουργείται η κατανομή Weibull η οποία προσδιορίζει την πιθανότητα εμφάνισης κάθε τιμής της ταχύτητας ανέμου, το ροδόγραμμα της κύριας διεύθυνσης του ανέμου και η ετήσια χρονοσειρά με μέσες ωριαίες τιμές ταχυτήτων. Τα

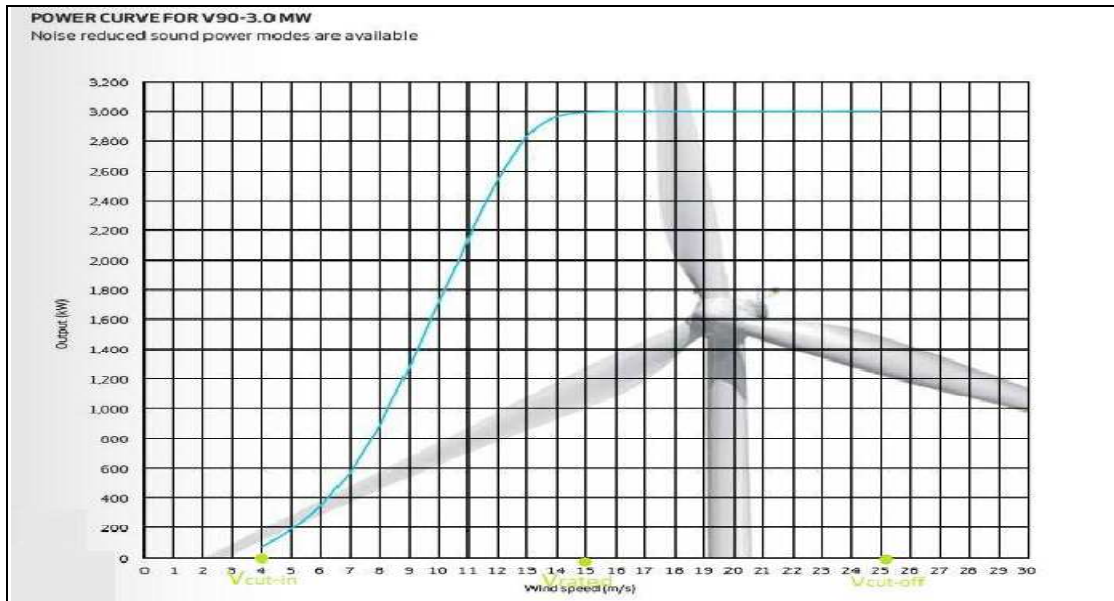
στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση του αιολικού πάρκου, τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από αυτό και την διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος. Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών ταχυτήτων.



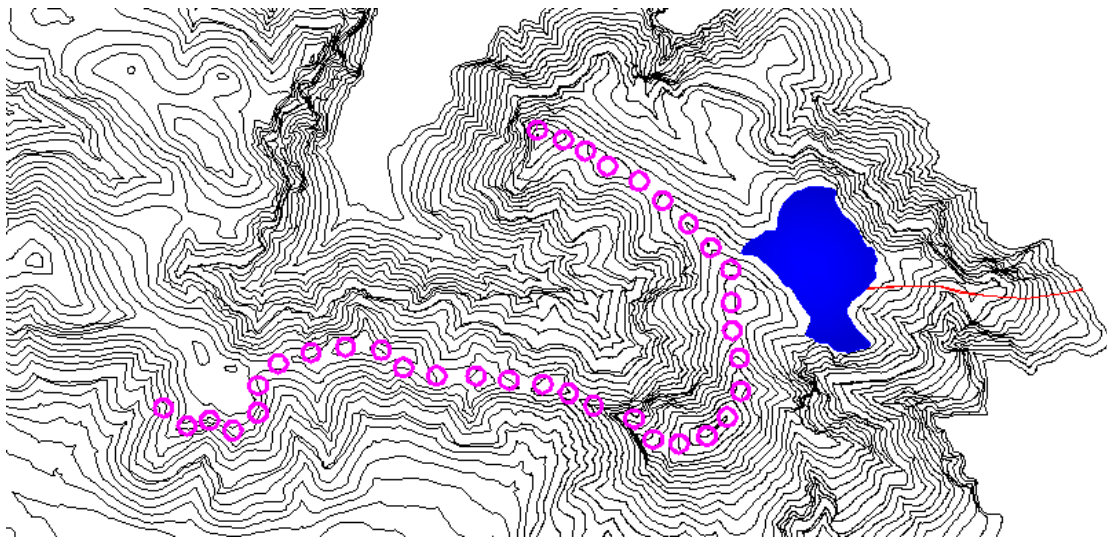
Σχήμα 4.4: Ετήσια ωριαία χρονοσειρά ταχυτήτων ανέμου για την νήσο Κάλυμνο.

Για την υλοποίηση των υπολογισμών του έργου επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα χαρακτηριστικό μοντέλο ανεμογεννήτριας της γνωστής εταιρίας Vestas με ονομαστική ισχύ 3 MW. Η ονομασία του μοντέλου αυτού είναι V- 90 , με τρία πτερύγια, διάμετρο πτερωτής 90 m και ασύγχρονη γεννήτρια μεταβλητών στροφών. Η καμπύλη ισχύος που παρουσιάζει η συγκεκριμένη μηχανή, συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου, φαίνεται στο σχήμα 4.5 που ακολουθεί.

Όσον αφορά τώρα την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου λαμβάνονται υπόψη κάποιοι σοβαροί κανόνες χωροθέτησης. Το πρώτο βήμα για τη σωστή χωροθέτηση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου είναι η εύρεση με τη βοήθεια του ροδογράμματος της επικρατούσας διεύθυνσης του ανέμου, καθώς επίσης της διάρκειας πνοής του ανέμου από κάθε κατεύθυνση. Η θέση εγκατάστασης αιολικών μηχανών, η διάταξη μεταξύ τους και σε σχέση με την επικρατούσα διεύθυνση ανέμου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα μελέτης. Ο κενός χώρος σε μια συστοιχία δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 2-4 διαμέτρους σαρωτής και ο κενός χώρος μεταξύ των συστοιχιών δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 7-10 διαμέτρους σαρωτής. Οι θέσεις των 35 ανεμογεννητριών φαίνονται σε κάτοψη στην εικόνα 4.6 παρακάτω. Ο αριθμός των μηχανών βγαίνει από το ποσοστό της απευθείας ενέργειας που θα διοχετεύει στο σύστημα το αιολικό σε σχέση με αυτό της απόρριψης ενέργειας και τα ποσοστά χρήσης υδροστροβίλων και θερμοηλεκτρικών. Μία βέλτιστη συσχέτιση των παραπάνω ποσοστών λοιπόν προκύπτει με 35 ανεμογεννήτριες.



Εικόνα 4.5: Καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας Vestas V-90.



Εικόνα 4.6: Απεικόνιση ανεμογεννητριών σε κάτοψη.

Εισάγοντας στο κατάλληλο λογισμικό την παραπάνω καμπύλη ισχύος μαζί με την ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών ταχυτήτων ανέμου, υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή από κάθε μία ανεμογεννήτρια με μέσες ωριαίες τιμές ισχύος στην Κάλυμνο. Η ετήσια χρονοσειρά παραγωγής ισχύος ανά ανεμογεννήτρια παρουσιάζει συντελεστή απασχόλησης CF για τη συγκεκριμένη μηχανή, ίσο με 24.5 %.

4.4.4: Υδροδυναμικές μηχανές

Ο τύπος των αναστρέψιμων υδραυλικών μηχανών που μπορεί να επιλεγεί εξαρτάται από την τιμή της υδραυλικής πτώσης h , δηλ. της διαφοράς της στάθμης του νερού μεταξύ του άνω και του κάτω ταμιευτήρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η υδραυλική πτώση, τόσο η ανά μονάδα μάζας ενέργεια του νερού είναι υψηλή ($g \cdot h$ σε KJ/Kg) οπότε για τη μετατροπή μίας ποσότητας ισχύος από ηλεκτρική σε υδραυλική (ή το αντίστροφο) τόσο μικρότερη θα είναι η διακινούμενη παροχή και τόσο μικρότερες οι διαστάσεις των ταμιευτήρων των μονάδων και του υδροηλεκτρικού σταθμού. Κατά κανόνα θα πρέπει να αναζητούνται θέσεις στις οποίες η υδραυλική πτώση είναι υψηλότερη των 200 m. Για τον λόγο αυτόν στη συνέχεια δεν εξετάζεται η περίπτωση υδραυλικής πτώσης μικρότερης των 40 m που αντιστοιχεί σε υδροστρόβιλο αξονικής ροής (όπως βολβοειδή, Kaplan). Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τύποι των αναστρέψιμων υδραυλικών μηχανών που ενδείκνυνται ανάλογα με την τιμή της υδραυλικής πτώσης και σύμφωνα με την τρέχουσα τεχνολογική εξέλιξη και πρακτική.

Πρέπει να σημειωθεί ότι μία αναστρέψιμη υδραυλική μηχανή σχεδιάζεται κυρίως ως αντλία και χαρακτηρίζεται από το κανονικό σημείο λειτουργίας της ως αντλίας. Ο λόγος είναι ότι η λειτουργία ως αντλίας είναι περισσότερο απαιτητική όσον αφορά την σχεδίαση (επιβραδυνόμενη ροή, κίνδυνος αποκολλήσεων κλπ). Για τον λόγο αυτόν μία αντλία λειτουργεί πολύ ικανοποιητικά ως υδροστρόβιλος ενώ το αντίθετο δεν είναι δυνατό. Ο δρομέας της μηχανής μοιάζει με την πτερωτή φυγόκεντρης αντλίας ενώ επιπλέον η μηχανή εξοπλίζεται με στεφάνη ρυθμιστικών πτερυγίων, όπως συμβαίνει με τους τυπικούς υδροστροβίλους τύπου Francis.

Όσον αφορά τη σπηλαίωση, η δυσμενέστερη λειτουργία είναι αυτή της αντλίας, οπότε γι' αυτή τη λειτουργία υπολογίζεται η στάθμη τοποθέτησης της μηχανής. Όσον αφορά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μηχανής ως αντλίας (δείκτης P) και ως υδροστροβίλου (δείκτης T) στο αντίστοιχο κανονικό σημείο λειτουργίας τους (δείκτης K) και για την ίδια ταχύτητα περιστροφής, για λόγους και εξηγούνται από τους νόμους της μηχανικής ρευστών, ισχύουν τα ακόλουθα:

$$QPK < QTK \text{ και } HPK < HTK$$

Η διαφορά των σημείων λειτουργίας της ίδιας μηχανής για τη λειτουργία ως στροβίλου και ως αντλίας εκφράζεται από τις παραμέτρους KQ και KH , που ορίζονται στα αντίστοιχα κανονικά σημεία λειτουργίας ως:

$$Kq = Q_t / Q_p \text{ ή } Kh = H_t / H_p$$

η τιμή των οποίων είναι, σύμφωνα με τα προηγούμενα, μεγαλύτερη της μονάδας και μάλιστα τόσο περισσότερο, όσο η μορφή της πτερωτής είναι περισσότερο ακτινικής ροής (μεγάλο ύψος, μεγάλη διάμετρος και άρα αναλογικά μεγάλες οι υδραυλικές και ογκομετρικές απώλειες). Είναι όμως:

$$\eta PK \approx \eta TK$$

δηλαδή η μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης δεν μεταβάλλεται μεταξύ της λειτουργίας ως αντλίας και ως υδροστροβίλου, στο αντίστοιχο κανονικό σημείο λειτουργίας.

Η διαφορά στα σημεία λειτουργίας της ίδιας μηχανής για λειτουργία ως αντλίας και ως στροβίλου επιτείνεται από την χαρακτηριστική της σωλήνωσης για τις δύο περιπτώσεις:

i) Για την λειτουργία ως αντλίας η χαρακτηριστική της σωλήνωσης (σε απόλυτες τιμές) περιγράφεται από την σχέση: $HSP = h + \zeta \cdot Q^2$

ii) Για την λειτουργία ως υδροστροβίλου από την σχέση: $HST = h - \zeta \cdot Q^2$ στην οποία με h συμβολίζεται η υψομετρική διαφορά μεταξύ άνω και κάτω ταμιευτήρα και με $\zeta \cdot Q^2$ οι υδραυλικές απώλειες της σωλήνωσης.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τις προηγούμενες παρατηρήσεις σχετικά με τη μετατόπιση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της ίδιας μηχανής για λειτουργία ως αντλίας και ως στροβίλου, καθώς και τη διαφορά στις χαρακτηριστικές της σωλήνωσης, προκύπτει ότι το σημείο λειτουργίας (ως τομή κάθε φορά της χαρακτηριστικής της σωλήνωσης και της μηχανής) διαφέρει σημαντικά για τις δύο λειτουργίες. Εάν δηλαδή ληφθεί μέριμνα ώστε η μηχανή να λειτουργεί στο κανονικό σημείο λειτουργίας της ως αντλία, τότε το αντίστοιχο σημείο λειτουργίας ως στροβίλος θα διαφέρει σημαντικά από το αντίστοιχο κανονικό (σχήμα παρακάτω). Αντίστοιχα συμβαίνουν εάν η μηχανή επιλεγεί ώστε να λειτουργεί ως στροβίλος στο κανονικό σημείο λειτουργίας της: Στην περίπτωση αυτή η λειτουργία αντλίας θα γίνεται σε σημείο απομακρυσμένο από το αντίστοιχο κανονικό και μάλιστα με παροχή μικρότερη της αντίστοιχης κανονικής της. Γίνεται φανερό από τα προηγούμενα ότι στη μελέτη αναστρέψιμης υδροδυναμικής μηχανής θα πρέπει να γίνει ένας συμβιβασμός στην επιλογή των κριτηρίων σχεδίασης της. Η επιλογή αυτή γίνεται ακόμη πιο δύσκολη εάν ληφθεί υπόψη η διακύμανση της υψομετρικής διαφοράς h της εγκατάστασης, λόγω της μεταβολής του βαθμού πλήρωσης των ταμιευτήρων.

Επίσης η λειτουργία της αντλίας με μερική παροχή είναι συνήθως ασταθής, έτσι επιλέγεται η πρώτη λύση, δηλαδή σχεδιάζεται η μηχανή ώστε η λειτουργία ως αντλίας να γίνεται κατά το δυνατόν κοντά στο κανονικό σημείο. Εάν επιπλέον ληφθεί υπόψη ότι επιδιώκεται η κατά το δυνατόν καλύτερη λειτουργία της μηχανής ως αντλία, προκύπτει ότι οι αναστρέψιμες περωτές πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να ικανοποιούν την συνθήκη αυτή, δηλαδή σχεδιάζονται κύρια ως περωτές αντλίας, με ορισμένες μικρής έκτασης τροποποιήσεις ώστε να βελτιώνεται η αντίστροφη λειτουργία ως στροβίλου (στρογγυλεύσεις των ακμών πρόσπτωσης και εκφυγής τόσο των περυγίων του δρομέα, όσο και των οδηγητικών και ρυθμιστικών περυγίων). Αποτέλεσμα των προηγούμενων επιλογών είναι να προκύπτει η διάμετρος της περωτής (του δρομέα) κατά 30% περίπου μεγαλύτερη από αυτή που θα είχε ο δρομέας ενός αντίστοιχου υδροστροβίλου Francis, και πλήθος περυγίων της τάξεως των 6-7 (αντί των 11 ή 13 που θα είχε ο δρομέας του αντίστοιχου Francis).

Στο έργο που μελετάται, το χαρακτηριστικό ύψος υδατόπτωσης βρίσκεται στα 370 μέτρα. Θα μπορούσε να εγκατασταθεί επίσης μηχανή τύπου Francis με αναστρέψιμη φορά περιστροφής λειτουργώντας εναλλάξ ως υδροστροβίλος και ως αντλία, με λιγότερες μονάδες και μικρότερο κόστος εγκατάστασης. Η επιλογή όμως του Pelton και των πολυβάθμιων μηχανών στηρίχτηκε στην καλύτερη απόδοση που παρουσιάζει το σύστημα αυτό με την εύρεση του κατάλληλου σημείου λειτουργίας για κάθε μηχανή. Ο ολικός βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου και η περιοχή λειτουργίας του είναι πολύ

εκτεταμένη (από 10-100% του φορτίου). Επίσης είναι φτηνότερος από τον υδροστρόβιλο Francis, η συναρμολόγηση και η συντήρηση του είναι πιο απλή και η λειτουργία του εν κενό (για την διόρθωση του συντελεστή ισχύος του δικτύου) αρκετά ευκολότερη.

Η ισχύς που πρέπει να καλυφθεί από τους υδροστρόβιλους και τις αντλίες είναι 91MW και 98MW αντίστοιχα. Για καλύτερη απόκριση και αποδοτικότερη λειτουργία επιλέχτηκαν 7 μονάδες υδροστρόβιλων Pelton οριζοντίου άξονα ισχύος 15 MW. Η επιλογή των υδροστρόβιλων έγινε από την εταιρία Adritz, η οποία ασχολείται με υδροηλεκτρικά έργα εδώ και πολλά χρόνια και θεωρείται αξιόπιστη. Όσον αφορά τις αντλίες τώρα το σύστημα απαιτεί παροχή άντλησης $33,76\text{m}^3/\text{sec}$. Πράγμα που σημαίνει παροχή $121.536\text{m}^3/\text{h}$. Κοιτάζοντας στο εμπόριο τι αντλίες κυκλοφορούν παρατηρούμε ότι η σειρά MP της Adritz διαθέτει μοντέλα που μπορούν να μας εξυπηρετήσουν για ότι αφορά την παροχή που χρειαζόμαστε στο κατάλληλο μανομετρικό. Έτσι επιλέγουμε το μοντέλο MP 125.2 το οποίο στα 370 m μας παρέχει παροχή $400\text{m}^3/\text{h}$. Έτσι, η παροχή που χρειάζεται το σύστημα προκύπτει με την ένωση 30 αντλιών παράλληλα.



Εικόνα 4.7: Υδροστρόβιλος Adritz Pelton

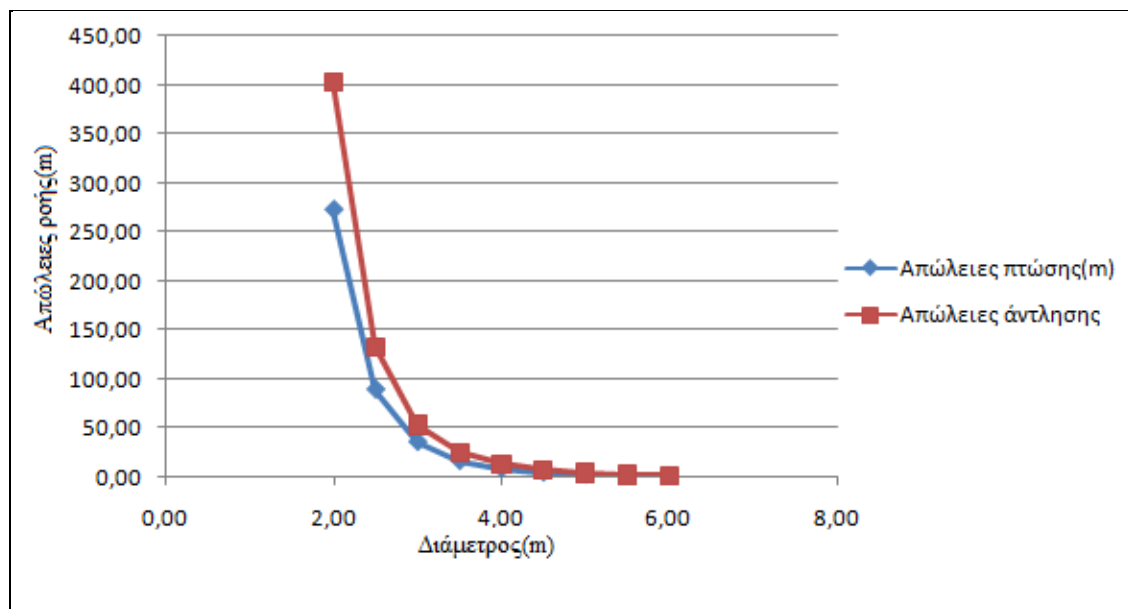


Εικόνα 4.8: Αντλίες Adritz MP-Series

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

4.4.5: Κατασκευή σωλήνωσης

Για την κατασκευή της σωλήνωσης μεταφοράς του νερού, υπολογίστηκε η διάμετρος του αγωγού για την αποφυγή μεγάλων απωλειών ροής και μάζας του υλικού. Η σχέση που δίνει τις γραμμικές απώλειες είναι η εξής: $hf = f \cdot (L/d^5) \cdot (8 \cdot Q^2 / \pi^2 \cdot g)$, 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 επόμενο σχήμα 4.9 αναπαριστά τις απώλειες ροής του νερού, συναρτήσει της διαμέτρου του αγωγού, ενώ στον πίνακα 4.1, 4.2 ανάλογα με την διάμετρο, υπολογίζουμε και παρατηρούμε πως κυμαίνονται οι απώλειες στις υδροδυναμικές μηχανές για να επιλέξουμε την βέλτιστη διάμετρο.



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα απωλειών ροής συναρτήσει της διαμέτρου των αγωγών

| | Πτώση νερού | Άντληση νερού |
|--|-------------|---------------|
| Συντελεστής απωλειών ροής f | 0,1014 | 0,1014 |
| Μήκος σωληνώσεων L (m) | 1340 | 1350 |
| Μέγιστη παροχή Q (m ³ /sec) | 27,89 | 33,76 |

| Διάμετρος σωληνώσεων (m) | Απώλειες πτώσης (m) | Απώλειες άντλησης (m) |
|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| 2,00 | 305,43 | 462,48 |
| 2,50 | 100,08 | 151,55 |
| 3,00 | 40,22 | 60,90 |
| 3,50 | 18,61 | 28,18 |
| 4,00 | 9,54 | 14,45 |
| 4,50 | 5,30 | 8,02 |
| 5,00 | 3,13 | 4,74 |
| 5,50 | 1,94 | 2,94 |
| 6,00 | 1,26 | 1,90 |

Οι μέγιστες απώλειες βρίσκονται στα 18,5 m για τους υδροστροβίλους και στα 19 m για τις αντλίες άρα σύμφωνα με τον πίνακα 4.2 η διάμετρος του αγωγού πτώσης θα είναι 3,5 m και του αγωγού άντλησης επίσης 3,5 m.

4.4.6: Ονομαστικά μεγέθη

Τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης και χωροθέτησης του έργου έδωσαν τα μεγέθη των βασικών παραμέτρων που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3 που ακολουθεί. 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 4.4.

Πίνακας 4.3: Συγκεντρωτικός πίνακας ονομαστικών μεγεθών

| Τελικά στοιχεία εγκατάστασης | Τιμή μεγέθους |
|---|---------------|
| Ονομαστική ισχύς αιολικού πάρκου(MW) | 105 |
| Ονομαστική ισχύς υδροστροβίλων(MW) | 91 |
| Ονομαστική ισχύς αντλιών(MW) | 98 |
| Μήκος σωληνώσεων(m) | 1340 |
| Διάμετρος σωληνώσεων(m) | 3,5 |
| Ύψος υδατόπτωσης(m) | 370 |
| Χωρητικότητα δεξαμενής(m ³) | 4000000 |
| Συντελεστής απασχόλησης Α/Γ(%) | 24,5 |
| Μέγιστη παροχή υδροστροβίλων(m ³ /sec) | 27,89 |
| Μέγιστη παροχή αντλιών(m ³ /sec) | 33,76 |

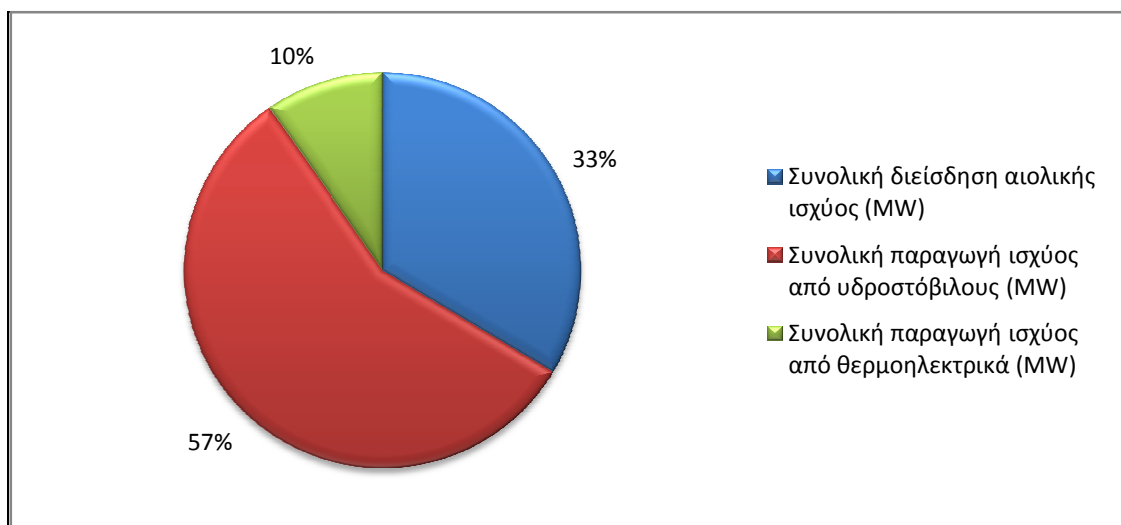
Πίνακας 4.4: Οι εγκαταστημένες μονάδες του σταθμού

| Είδος μηχανής | Τύπος μηχανής | Αριθμός μονάδων | Ον. Ισχύς ανά μονάδα (MW) | Συνολική εγκαταστημένη ισχύς(MW) |
|-----------------|---------------|-----------------|---------------------------|----------------------------------|
| Ανεμογεννήτριες | Vestas V-90 | 35 | 3 | 105 |
| Υδροστροβίλοι | Adritz | 7 | 15 | 105 |
| Αντλίες | Adritz MP | 305 | 0,52 | 158 |

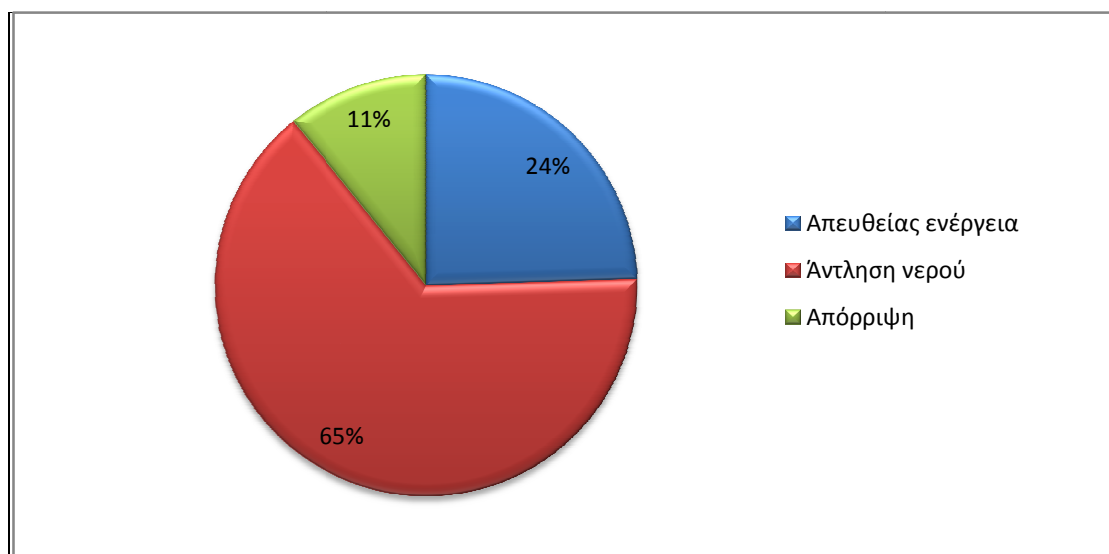
4.4.7: Ετήσια μεγέθη παραγωγής

Η ενεργειακή προσομοίωση του συστήματος έδωσε την σύνθεση που λειτουργούν συνδυαστικά οι μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τα ποσοστά συμμετοχής των θερμοηλεκτρικών και του υβριδικού σταθμού. Βασικό κριτήριο της διαστασιολόγησης ήταν η επιθυμία ελαχιστοποίησης όσο γίνεται της συμμετοχής των θερμοηλεκτρικών στην παραγωγή και της απόρριψης ενέργειας η οποία παράγεται από το αιολικό πάρκο. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον πίνακα 4.5, καθώς και στα σχήματα 4.10 και 4.11 που ακολουθούν.

| Πίνακας 4.5: Ετήσια μεγέθη παραγωγής | |
|---|----------------|
| Ετήσιες συγκομιδές ενέργειας | Ποσό ενέργειας |
| Παραγωγή ενέργειας από Α/Π (MWh) | 503134,450 |
| Ενέργεια που διεισδύει στο δίκτυο (MWh) | 123288,66 |
| Παραγωγή ενέργειας από υδροστρόβιλους (MWh) | 214229,235 |
| Παραγωγή ενέργειας από αντλίες (MWh) | 337419,27 |
| Παραγωγή ενέργειας από θερμοηλεκτρικά (MWh) | 29649,51 |
| Απόρριψη ενέργειας (MWh) | 42426,32 |



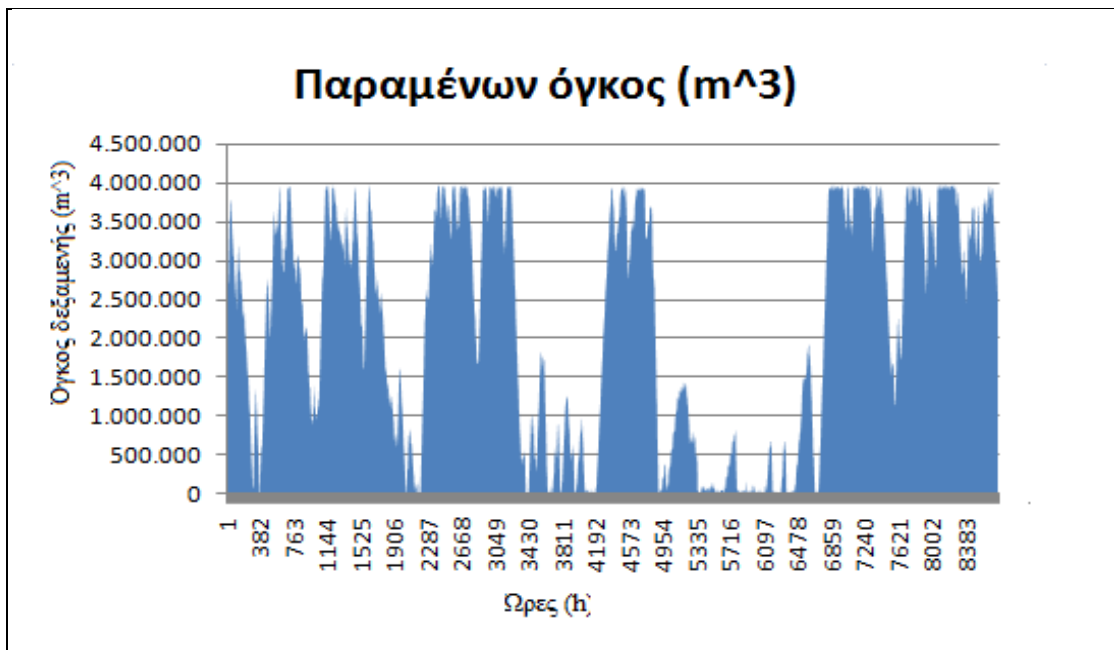
Σχήμα 4.10: Κάλυψη ζήτησης ισχύος



Σχήμα 4.11: Χρήση αιολικής ενέργειας

Το ποσοστό απόρριψης της αιολικής ενέργειας προκύπτει από περιπτώσεις όπου λειτουργούν οι υδροστρόβιλοι για την κάλυψη της ζητούμενης ηλεκτρικής ισχύος ή όταν η δεξαμενή είναι γεμάτη. Όμως, το ποσοστό αυτό κάθε άλλο παρά άχρηστο μπορεί να θεωρηθεί, καθώς η ενέργεια αυτή που απορρίπτεται θα μπορεί κάλλιστα να θέσει σε λειτουργία μία μονάδα αφαλάτωσης που ούτως ή άλλως θα χρειαστεί στο σύστημα.

Τέλος στο παρακάτω σχήμα 4.12 φαίνεται καθαρά τι συμβαίνει με το νερό που προστίθεται και αφαιρείται ετήσια από την δεξαμενή.



Σχήμα 4.12: Απεικόνιση παραμένουτος όγκου νερού στη δεξαμενή

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 5.1 με τα ειδικά κόστη και τα λοιπά έξοδα που προκύπτουν.

Πίνακας 5.1: Συγκεντρωτικός πίνακας κόστους εγκατάστασης

| Είδος | Ειδικό κόστος | | Εγκατεστημένο μέγεθος | | Κόστος (Ευρώ) |
|--------------------|--|----------------------|-----------------------|----------------|---------------|
| | | | | | |
| Αιολικό πάρκο | 1.200 | Euro/KW | 105.000 | KW | 126.000.000 |
| Υδροστρόβιλοι | 500 | Euro /KW | 105.000 | KW | 52.500.000 |
| Αντλιοστάσιο | 600 | Euro /KW | 158.000 | KW | 94.800.000 |
| Μετασχηματιστής | 50.000 | Euro /MW | 105 | MW | 5.250.000 |
| Δεξαμενή | 5 | Euro /M ³ | 4.000.000 | m ³ | 20.000.000 |
| Σωληνώσεις | 1 m ³ / Μέτρο μήκους αγωγού | | | | |
| Υλικό σωληνώσεων | 1,2 | Euro /KGR | 10.000.000 | kg | 12.000.000 |
| Εκσκαφή | 8 | Euro /M ³ | 4.000.000 | m ³ | 32.000.000 |
| Δίκτυο διασύνδεσης | 40.000 | Euro /Km | | | 50.000,00 |
| Οδοποιία | 30.000 | Euro /Km | 2 | Km | 60.000 |
| Αγορά γης | | | | | 100.000 |
| Κτίριο σταθμού | | | | | 50.000 |
| Μονάδα ελέγχου | | | 1 | Km | 150.000 |
| Έργα υποδομής | | | | | 1.000.000 |
| Αμοιβές μελετών | | | | | 3.000.000 |
| Διάφορα απρόβλεπτα | | | | | 2.000.000 |
| | | | Συνολικό κόστος | | 371.430.000 |

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 10 έτη και επιτόκιο 5,5 %.

| <i>Πίνακας 5.2: Χρηματοδοτικό σχήμα έργου</i> | | | |
|---|-------------|-------------|------------|
| | Ποσοστό (%) | Ποσό | Μονάδα |
| Κόστος επένδυσης | | 371.430.000 | Euro |
| Ίδια κεφάλαια | 0,40 | 148.572.000 | Euro |
| Επιχορήγηση | 0,00 | 0,00 | Euro |
| Δάνειο | 0,60 | 222.858.000 | Euro |
| Επιτόκιο δανεισμού | 0,06 | | |
| Έτη αποπληρωμής | | 10,00 | Έτη |
| Συνολική πωλούμενη ενέργεια | | 367.167.405 | KWh/Έτος |
| Τιμή πώλησης | | 0,22 | Euro /KWh |
| Έσοδα | | 80.777.000 | Euro /Έτος |

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 Ευρώ
- Ετήσια δόση δανείου
- Ασφάλεια εξοπλισμού 0,4% του αρχικού κόστους του έργου
- Μισθοδοσία εργαζομένων μαζί με ένσημα 30.000 Ευρώ ανά άτομο
- Απόσβεση με σταθερή μείωση υπολοίπου για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου
- Διάρκεια ζωής του έργου 20 έτη και επιτόκιο αναγωγής 5%

Στις επόμενες σελίδες οι πίνακες 5.3 και 5.4 δείχνουν την αναγωγή της χρηματοροής σε όλη την διάρκεια της ζωής του έργου , δηλαδή σε 20 έτη.

Πίνακας 5.3: Αναγωγή της χρηματοροής σε διάρκεια 20 ετών

| A/A | Έσοδα (ευρώ) | Δημοτικά τέλη (ευρώ) | Συντήρηση εξοπλισμού(ευρώ) | Δάνειο (ευρώ) | Μισθοδοσία (ευρώ) | Ασφάλεια (ευρώ) | Απρόβλεπτα (ευρώ) |
|-----|--------------|----------------------|----------------------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | 19.179.600 | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 2 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | 19.179.600 | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 3 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | 19.179.600 | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 4 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | 19.179.600 | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 5 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | 19.179.600 | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 6 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | 19.179.600 | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 7 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | 19.179.600 | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 8 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | 19.179.600 | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 9 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | 19.179.600 | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 10 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 11 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 12 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 13 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 14 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 15 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 16 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 17 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 18 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 19 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |
| 20 | 80.777.000 | 2.423.310 | 3.691.674 | | 180.000 | 1.278.640 | 100.000 |

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

| A/A | Απόσβεση (ευρώ) | Φόροι (ευρώ) | Συνολικά έξοδα (ευρώ) | Κέρδη (ευρώ) | Κέρδη στην παρούσα αξία (ευρώ) | Αθροιστικά κέρδη (ευρώ) |
|-----|--------------------|-----------------|--------------------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 1 | 6.393.200 | 16.155.400 | 43.008.624 | 44.161.576 | 41.272.500 | 41.272.500 |
| 2 | 6.393.200 | 16.155.400 | 36.615.424 | 50.554.776 | 44.156.500 | 85.429.000 |
| 3 | 6.393.200 | 16.155.400 | 36.615.424 | 50.554.776 | 41.267.760 | 126.696.760 |
| 4 | 6.393.200 | 16.155.400 | 36.615.424 | 50.554.776 | 38.568.000 | 165.264.750 |
| 5 | 6.393.200 | 16.155.400 | 36.615.424 | 50.554.776 | 36.044.860 | 201.309.610 |
| 6 | 6.393.200 | 16.155.400 | 36.615.424 | 50.554.776 | 33.686.780 | 234.996.390 |
| 7 | 6.393.200 | 16.155.400 | 36.615.424 | 50.554.776 | 31.482.970 | 266.479.360 |
| 8 | 6.393.200 | 16.155.400 | 36.615.424 | 50.554.776 | 29.423.340 | 295.902.700 |
| 9 | 6.393.200 | 16.155.400 | 36.615.424 | 50.554.776 | 27.498.450 | 323.401.150 |
| 10 | 6.393.200 | 16.155.400 | 36.615.424 | 50.554.776 | 35.449.420 | 358.850.574 |
| 11 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 33.130.300 | 391.980.870 |
| 12 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 30.962.900 | 422.943.770 |
| 13 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 28.937.290 | 451.881.060 |
| 14 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 27.044.190 | 478.925.250 |
| 15 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 25.274.950 | 504.200.200 |
| 16 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 23.621.450 | 527.821.640 |
| 17 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 22.076.120 | 549.897.760 |
| 18 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 20.631.890 | 570.529.650 |
| 19 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 19.282.140 | 589.811.780 |
| 20 | 6.393.200 | 16.155.400 | 17.435.824 | 69.734.376 | 18.020.690 | 607.832.470 |

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 γίνεται η απόσβεση των χρημάτων που δαπανήθηκαν στην αρχή για την εγκατάσταση. Αξίζει λοιπόν μια τέτοια επένδυση.

6.2: Συμπεράσματα

Το έργο που παρουσιάστηκε είναι ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό που χρησιμοποιεί σαν μονάδες βάσης την αιολική ενέργεια. Δημιουργήθηκε ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες Α.Π.Ε, δίχως να έχει να φοβηθεί για την αξιοπιστία του και την διάρκειά του. Από πλευράς οικολογίας για να καλύψει τις ανάγκες του πλέον το σύμπλεγμα των συγκεκριμένων νήσων, ρυπαίνει ασύγκριτα λιγότερο από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής και θα προσελκύει κόσμο το θέαμα αυτού του μεγαλειώδους έργου. Από οικονομικής άποψης αποδείχθηκε ότι συμφέρει μία τέτοια κίνηση, άρα πιστεύω πως είναι η κατάλληλη ώρα πλέον να γίνουν πραγματικότητα τέτοια μεγάλα έργα που εκτός της λειτουργικότητάς τους προάγει καινοτόμες ιδέες για το καλό και το δικό μας αλλά και του πλανήτη μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δημήτριος Ε. Παπαντώνης, ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ, ΕΜΠ Αθήνα 2001
2. Δημήτριος Ε. Παπαντώνης, ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ: ΑΝΤΛΙΕΣ-ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ, ΕΜΠ Αθήνα 2002
3. Ιωάννης Μαυρουδής, ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ, Εκδόσεις ΑΘ.ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ Αθήνα 2000
4. Μιχαήλ Η. Ριτσατάκης, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ, ΤΕΙ Κρήτης Ηράκλειο 2006
5. Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών συστημάτων: www.wel.teiher.gr
6. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε): www.rae.gr
7. Βικιπαίδεια Ηλεκτρονική Εγκυκλοπαίδεια: www.en.wikipedia.org
8. Αντλίες- Υδροστρόβιλοι: www.andritz.com
9. Υδροστρόβιλοι: www.gilkes.com
10. Αντλίες: www.sulzerpumps.com
11. Σωληνοουργεία Θηβών: www.tpw.gr
12. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός: www.hydroquebec.com