

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

Υβριδικός σταθμός ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη

Hybrid power plant for electricity production in Crete

Εγγυημένης ισχύος 60,93MW

αποτελούμενου από Αιολικό Πάρκο ισχύος 35,25MW
και Αναστρέψιμο Υδροηλεκτρικό Έργο
με Υδροηλεκτρικό Σταθμό εγγυημένης ισχύος 60,93MW
και Αντλιοστάσιο ηλεκτρικής ισχύος 35,25MW
στη Νήσο Κρήτη

Σπουδαστής: Αντωνακάκης Ιωάννης
Επιβλέπων: Κατσαπρακάκης Δημήτρης

Μάιος 18

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Κατσαπρακάκη Δημήτρη, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη του προς το πρόσωπο μου για την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου Κρήτης.

Τέλος θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον Μανώλη Βοσκάκη και την Ειρήνη Κεφαλάκη, για τη βοήθεια που μου προσέφεραν ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα πτυχιακή εργασία.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	1
Εισαγωγή.....	5
Abstract	6
1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	7
1.1. Αιολική Ενέργεια	7
1.2. Ανεμογεννήτριες	8
1.2.1. Κατηγορίες ανεμογεννητριών.....	8
1.3. Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	10
1.4. Υδροστρόβιλοι	11
1.4.1. Κατηγορίες Υδροστροβίλων.....	11
1.5. Η έννοια του υβριδικού συστήματος	13
2. Μέρος – Περιγραφή έργου.....	14
2.1. Θέση εγκατάστασης του σταθμού παραγωγής	14
2.2. Σχέδια	16
2.3. Εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού, αριθμός και τύπος των μονάδων που απαρτίζουν το σταθμό	16
2.3.1. Επιλεγμένος τύπος ανεμογεννήτριας.....	17
2.3.2. Υδροστρόβιλος	20
2.3.3. Αντλία	20
3. Μέρος – Προκαταρκτική τεχνική μελέτη του προτεινόμενου έργου	22
3.1. Περιγραφή της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας και των εγκαταστάσεων που θα απαιτηθούν	22
3.2. Αιολική ενέργεια.....	22
3.2.1. Ο άνεμος.....	23
3.2.2. Ένταση του Ανέμου	23
3.2.3. Αιολικό δυναμικό.....	24
3.3. Αιολικό πάρκο.....	24
3.3.1. Έλεγχος καταλληλότητας περιοχής	24
3.4. Συγκρότημα αντλησιοταμιευτήρα	31
3.4.1. Εμβάθυνση στα υβριδικά συστήματα.....	31
3.4.1.1. Σκοπός της αποθήκευσης ενέργειας.....	32
3.4.1.2. Αποθήκευση ενέργειας στα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά	33
3.4.1.3. Άντληση υγρού	34
3.4.1.3.1. Απώλειες άντλησης	35

3.4.1.4. Προσαγωγή νερού	36
3.4.1.4.1. Απώλειες προσαγωγής νερό	36
3.4.1.5. Απώλειες ενέργειας σε αναστρέψιμο ΥΗΕ	38
3.4.2. Γενικά, τεχνικά και κατασκευαστικά στοιχεία	38
3.4.3. Όδευση σωληνώσεων	39
3.4.3.1. Αγωγός πτώσης ύδατος	40
3.4.3.2. Αγωγός άντλησης ύδατος	42
3.4.4. Άνω δεξαμενή	44
3.4.4.1. Κατασκευαστικά στοιχεία άνω δεξαμενής	44
3.4.5. Κάτω δεξαμενή	49
3.4.5.1. Κατασκευαστικά στοιχεία κάτω δεξαμενής	49
3.4.6. Φράγμα	53
3.4.7. Αντλιοστάσιο – Υδροηλεκτρικός σταθμός	54
3.4.7.1. Αντλιοστάσιο	54
3.4.7.2. Υδροηλεκτρικός σταθμός	56
4. Μέρος – Ενεργειακή μελέτη και τεκμηρίωση δυναμικού Α.Π.Ε.	58
4.1. Εκτίμηση αιολικού δυναμικού	58
4.1.1. Τα δεδομένα εκτίμησης του αιολικού δυναμικού	58
4.1.2. Αποτελέσματα εκτίμησης αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης του ΑΠ	62
4.1.3. Παράμετροι σχεδιασμού και χωροθέτησης του ΑΠ	72
4.1.3.1. Δοκιμαστική διάταξη ανεμογεννητριών	73
4.2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το ΑΠ	75
4.2.1. Ενεργειακός ισολογισμός αιολικού πάρκου	75
4.2.2. Συμπεράσματα από την ενεργειακή μελέτη και την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού	76
5. Μέρος – Προσομοίωση λειτουργίας υβριδικού σταθμού	76
5.1. Προσομοίωση λειτουργίας υφιστάμενου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας Κρήτης χωρίς τον υβριδικό σταθμό	76
5.1.1. Εισαγωγή	76
5.1.2. Ζήτηση ηλεκτρική ισχύος	77
5.1.3. Το θερμοηλεκτρικό σύστημα Κρήτης	77
5.1.3.1. Σειρά ένταξης μονάδων	79
5.1.4. Οι μονάδες μη εγγυημένης ισχύος του συστήματος Κρήτης	81
5.1.5. Οι τιμές των καυσίμων	83
5.2. Προσομοίωση λειτουργίας ΣΗΕ Κρήτης με τον υβριδικό σταθμό	86
5.2.1. Εισαγωγή	86

5.2.2. Παραδοχές λειτουργίας του υβριδικού σταθμού	86
5.2.3. Δεδομένα υπολογισμού	87
5.2.4. Διαστασιολόγηση υβριδικού σταθμού	88
5.2.5. Λειτουργία του υβριδικού σταθμού	90
5.3. Τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων	93
5.3.1. Γενικά.....	93
5.3.2. Παραγωγή εγγυημένης ισχύος – Αποθήκευση ισχύος.....	93
5.3.3. Αποθηκευμένος όγκος νερού στην άνω δεξαμενή	94
6. Μέρος – Οικονομική ανάλυση.....	94
6.1. Οικονομική ανάλυση	94
6.2. Αρχικό κόστος.....	94
6.3. Χρηματοδοτικό σχήμα	99
6.4. Έσοδα	100
6.5. Ετήσιες δαπάνες – καθαρά κέρδη	100
6.6. Οικονομικοί δείκτες επένδυσης.....	103
6.7. Ανάλυση ευαισθησίας	104
7. Μέρος – Επίλογος	105
8. Βιβλιογραφία.....	106

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται όλο και περισσότερο η ανάγκη για «στροφή» στην εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.), καθώς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο προς όφελος του οικολογικού συστήματος. Η στροφή προς τις Α.Π.Ε. δημιουργείται, αφενός μεν από την ανάγκη για την μείωση των ρύπων που προκαλούνται από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων και επιφέρουν ανεπιθύμητα περιβαλλοντικά αποτελέσματα, αφετέρου δε από την ραγδαία μείωση των μη ανανεώσιμων - συμβατικών πηγών ενέργειας.

Ο άνεμος και η ηλιοφάνεια που επικρατούν στην Ελλάδα είναι δυο από τα βασικά προτερήματα που κατατάσσουν την Ελλάδα στις χώρες κατάλληλες για εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού και της ηλιακής ακτινοβολίας αντίστοιχα. Τα νησιά του Αιγαίου πελάγους εμφανίζουν έντονο το φαινόμενο του ποιοτικού αιολικού δυναμικού, δηλαδή σταθερή κατεύθυνση και υψηλή ένταση ανέμου, σύμφωνα με χάρτες αιολικού δυναμικού.

Για την διασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων είναι απαραίτητη η αποθήκευση της μη καταναλισκόμενης παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες. Η ανάγκη αυτή δημιουργείται διότι οι Α.Π.Ε αποτελούν μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής ενέργειας.

Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά αποτελούν το σύστημα αποθήκευσης της περίσσιας ηλεκτρικής ενέργειας σε δυναμική, η οποία δεν καταναλώνεται απευθείας. Σε χρονικές περιόδους όπου η αιολική ενέργεια δεν καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες, η απαιτούμενη ισχύς καλύπτεται από τους υδροστροβίλους, οι οποίοι μετατρέπουν την δυναμική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική.

Abstract

In recent years, there has been an increasing need for a shift in the exploitation of renewable energy sources, as they play an important role for the benefit of the ecological system. The shift towards renewable energy sources on the one hand, the need to reduce pollutants caused by the use of fossil fuels and lead to undesirable environmental effects and, on the other, the rapid reduction of non-renewable conventional energy sources.

The solar radiation prevailing in Greece is two of the main advantages that place Greece in countries that are suitable for the exploitation of wind dynamics and solar radiation respectively. The islands of the Aegean Sea show a strong phenomenon of qualitative wind dynamics, that is, fixed direction and high wind intensity, according to dynamic geographic indications.

In order to ensure that energy requirements are met, it is necessary to store the non-consumed energy generated by the wind turbines. This need arises because renewable energy sources are units of non-guaranteed power generation.

Reversible hydropower is the system of storing excess power in a potential that is not consumed directly. At times where wind energy does not meet energy needs, the required power is covered by hydro-turbines, which convert the dynamic energy of water into electricity.

1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ονομάζεται κάθε ενεργειακή πηγή, η οποία υπάρχει σε πλεονασμό στο φυσικό περιβάλλον και ανανεώνεται διαρκώς με ρυθμό τέτοιο ώστε να υπάρχει σε διαθεσιμότητα ανεξάρτητα από τον ρυθμό κατανάλωσή της, από τον άνθρωπο. Είναι από τις πρώτες μορφές που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος προς όφελος του πριν στραφεί στις συμβατικές πηγές ενέργειας. Ουσιαστικά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ανεξάντλητες και φιλικές ως προς το φυσικό περιβάλλον. Για την αξιοποίηση τους χρησιμοποιούνται τεχνολογίες οι οποίες είναι αξιόπιστες και φυσικά οικονομικά αποδεκτές και έχουν ως βασικό στόχο την δέσμευση του δυναμικού τους.

1.1. Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η κινητική ενέργεια του ανέμου, η οποία είναι μία από τις βασικότερες πηγές ενέργειας στον πλανήτη μας. Αρχικά είναι ευρέως γνωστό πως η αιολική ενέργεια ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεδομένου ότι αφενός είναι φιλική προς το περιβάλλον, αφετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη.

Η αιολική ενέργεια προέρχεται από την μετατροπή ενός μικρού ποσοστού της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στην ατμόσφαιρα, σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Η ισχύς του ανέμου σε ολόκληρο τον πλανήτη εκτιμάται σε $3,6 \times 10^8$ MW. Ένα ποσοστό του ύψους 5% της αιολικής ενέργειας, είναι διαθέσιμο για ενεργειακή αξιοποίηση σε διάφορα μέρη του κόσμου, σύμφωνα με εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας. Φυσικά είναι κατανοητό, ότι για να είναι αξιοποιήσιμη η συγκεκριμένη πηγή ενέργειας που προσφέρεται από την φύση, χρειάζεται να υπάρχουν και οι κατάλληλες προϋποθέσεις, όπως η κατασκευή κατάλληλων μηχανών. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την δέσμευση της αιολικής ενέργειας και την μετατροπή της στην εκάστοτε επιθυμητή μορφή.

Είναι λογικό μία τέτοια πηγή ενέργειας να κεντρίσει το ενδιαφέρον του ανθρώπου. Ανά τους αιώνες υπήρξε το ενδιαφέρον να αξιοποιηθεί προς όφελος του η αιολική ενέργεια, αλλά ιδιαίτερα την τελευταία εικοσαετία, αυτό το ενδιαφέρον έχει μεγιστοποιηθεί εξαιτίας των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα. Φυσικά σε αυτό συμβάλει το γεγονός στην συνειδητοποίηση ότι οι συμβατικές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνταν και συνεχίζουν μέχρι και σήμερα, όχι μόνο έχουν αρχίσει να εξαντλούνται αλλά συμβάλουν στην όξυνση του προβλήματος, της συνεχούς μόλυνσης του περιβάλλοντος. Βέβαια, κάτι τέτοιο είναι σίγουρο ότι δεν θα γινόταν αν στη συγκεκριμένη πηγή ενέργειας δεν ήταν οικονομικά συμφέρουσα η επένδυση της.

Όπως όλα τα εγχειρήματα, συναντά και αυτό εναντιώσεις, ότι η αιολική ενέργεια είναι αρκετά απρόβλεπτη, δεν είναι σταθερή και τέλος είναι μια μορφή ενέργειας με αρκετά χαμηλή πυκνότητα.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για μεγάλες κατασκευές αν και αυτό είναι απαραίτητο να γίνει αφού αρκετοί ερευνητές αντιτίθενται στην άποψη κατά της αξιοποίησής της αφού είναι σίγουροι ότι μπορεί λύσει το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα.

1.2. Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες είναι αιολικές μηχανές που έχουν σαν σκοπό την δέσμευση και την αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Οι μηχανές αυτές, στοχεύουν στην μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε οποιαδήποτε μορφή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, άμεσα εκμεταλλεύσιμη από τον άνθρωπο. Γενικότερα έχουν επινοηθεί και κατασκευαστεί πολλοί τύποι ανεμοκινητήρων μηχανών, αλλά δυστυχώς δεν έχει επιτευχθεί ακόμα ο επιθυμητός βαθμός εκμετάλλευσής, της αιολικής ενέργειας.

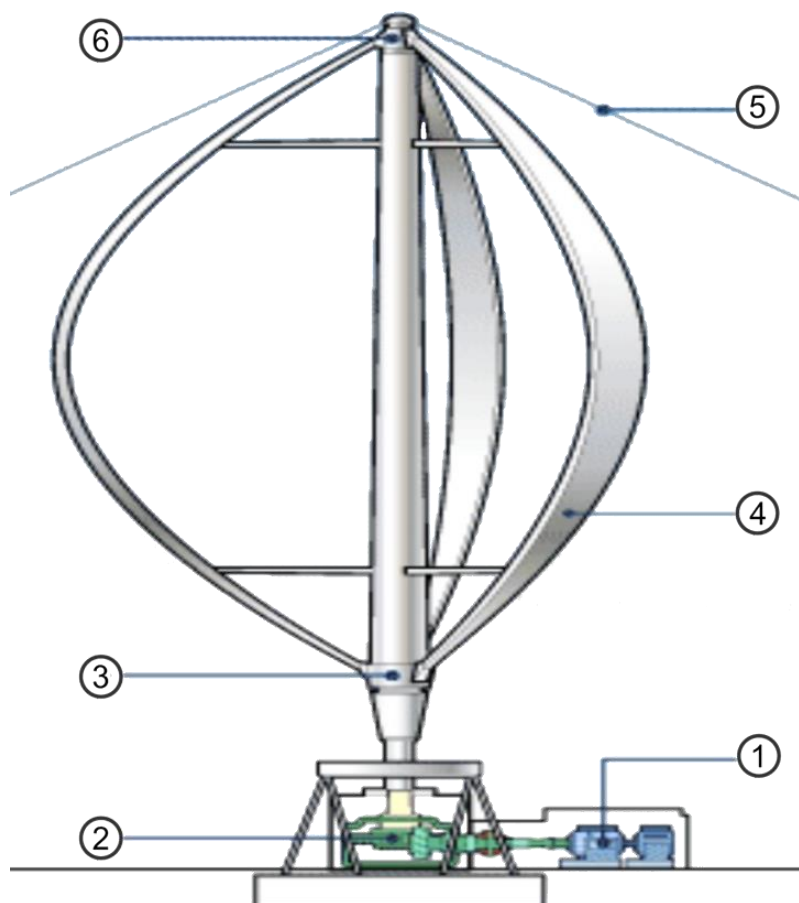
Τα κύρια μέρη μιας ανεμογεννήτριας, είναι η πτερωτή της ανεμογεννήτριας, η οποία αποτελείται από πτερύγια κατασκευασμένα από ελαφρά κράματα μετάλλων, ενισχυμένο από πολυεστέρα, αλλά και από ξύλο σε συνδυασμό με ειδικές ρητίνες. Η πτερωτή μετατρέπει την αιολική ενέργεια του ανέμου σε περιστροφική κίνηση. Η πλήμνη, τμήμα της πτερωτής στην οποία προσαρμίζονται τα πτερύγια. Ο άξονας της ανεμογεννήτριας κατασκευασμένος από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα, ικανό να μεταφέρει ισχυρές μη μόνιμες στρεπτικές και καμπτικές τάσεις, συνδέει την πλήμνη της ανεμογεννήτριας με το κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής στις οποίες λειτουργούν οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Το σύστημα κίνησης περιλαμβάνει επίσης υδραυλικό ή μηχανικό φρένο για την προστασία της πτερωτής και το κιβώτιο μετάδοσης.

1.2.1. Κατηγορίες ανεμογεννητριών

Οι βασικότεροι τύποι ανεμογεννητριών κατηγοριοποιούνται βάση του προσανατολισμού των αξόνων τους σε σχέση με την ροή του ανέμου. Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι αεροκινητήρων είναι οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα.

Το βασικότερο πλεονέκτημα που εμφανίζουν οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, είναι ότι μπορούν να προσαρμοστούν στην διεύθυνση του ανέμου. Αυτός είναι και ο κυριότερος παράγοντας στο επιχείρημα ότι αποτελούν πιο απλές κατασκευές. Η αρχή λειτουργίας αυτών των μηχανών είναι η περιστροφή γύρω από έναν κάθετο άξονα, τόσο στην διεύθυνση του ανέμου όσο και στο έδαφος. Οι αιολικές μηχανές τέτοιου τύπου έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής απλό σύστημα ελέγχου, ελαφρύτερος πυλώνας με αποτέλεσμα την διευκόλυνση στην λειτουργία και στη συντήρηση όλου του

συστήματος, αυτό οφείλεται στο ότι οι μηχανισμοί και η γεννήτρια βρίσκονται αποκλειστικά στο έδαφος. Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης δεν έχει σχετικές διαφορές συγκριτικά με το αντίστοιχο σύστημα των μηχανών οριζόντιου άξονα, αν παραβλεφθεί το γεγονός ότι τα εξαρτήματα είναι τοποθετημένα σε διαφορετικό προσανατολισμό, δηλαδή κατακόρυφα.



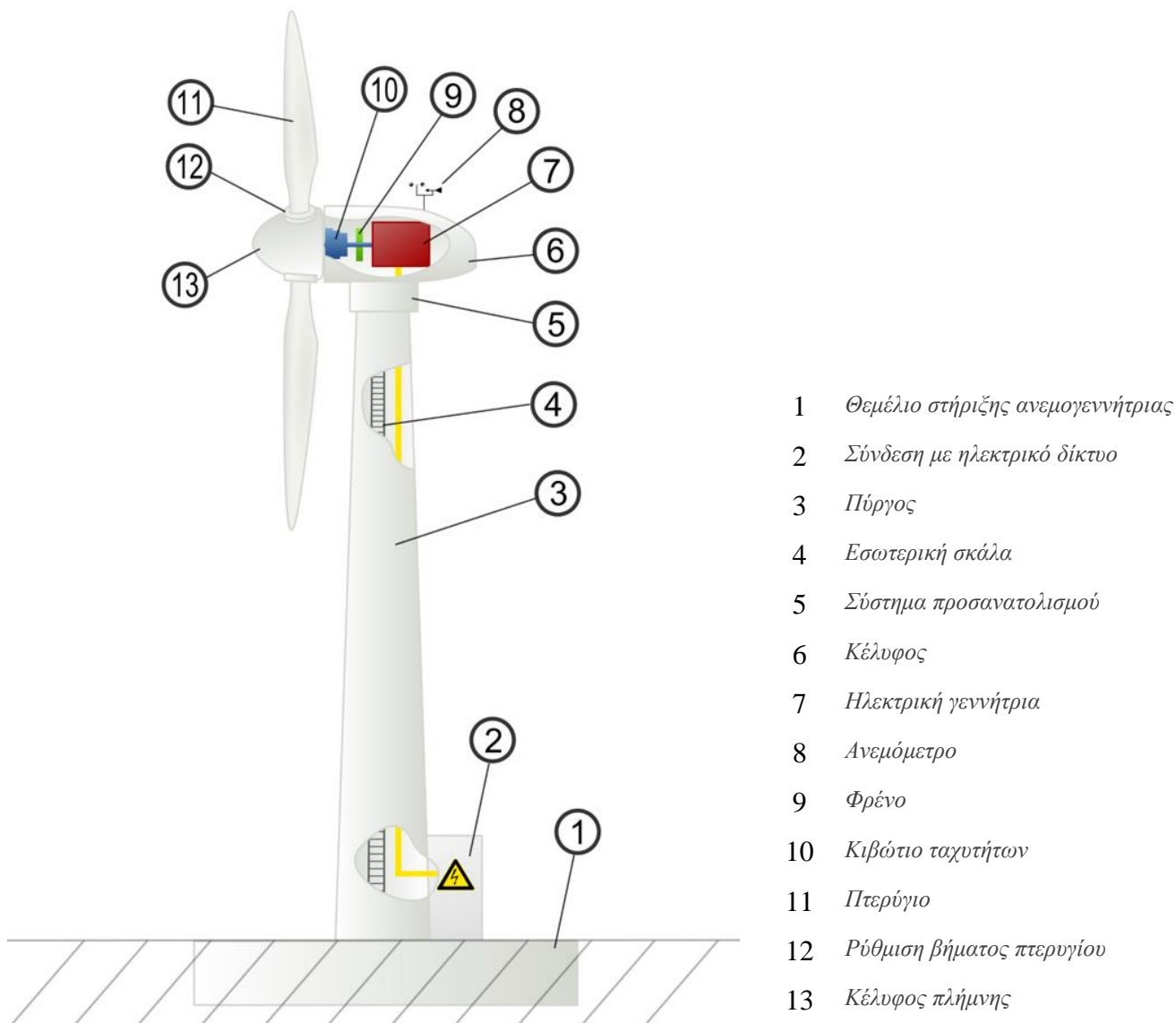
- 1 Ηλεκτρική γεννήτρια
- 2 Κιβώτιο ταχυτήτων
- 3 Κάτω έδρανο
- 4 Πτερύγιο
- 5 Πάνω έδρανο
- 6 Συρματόσχοινα στήριξης

Σχήμα 1.1: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα τύπου Darrieus

Συνεχίζοντας με τις μηχανές οριζόντιου άξονα, εντάσσονται οι ανεμογεννήτριες τύπου «έλικας», οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά βάση την σύγχρονη εποχή. Οι ανεμογεννήτριες αυτές, εμφανίζουν υψηλές περιφερειακές ταχύτητες, τα πτερύγια τους είναι συνήθως τρία και η κατασκευή τους έχει βασιστεί στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων και πτερυγίων. Αυτές οι μηχανές έχουν μεγάλο αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης, ο οποίος είναι και ένα από τα βασικά τους χαρακτηριστικά αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε υψηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής «κλ». Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο.

Στις προαναφερθείσες μηχανές τύπου «έλικας», για την αποφυγή ατυχήματος ή δυσλειτουργίας της μηχανής, σε περιπτώσεις πολύ ισχυρών ανέμων, για λόγους προστασίας της, γίνεται η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής με δύο τρόπους. Αυτό γίνεται είτε χρησιμοποιώντας ειδικά αεροδυναμικά βοηθήματα στην άκρη των πτερυγίων, είτε με την στροφή της

περωτής υπό γωνία σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου. Η ισχύς του ανέμου από την περωτή μεταφέρεται από τον άξονα της περύγωσης στην ηλεκτρική γεννήτρια η οποία βρίσκεται συννηθέστερα πάνω στον πύργο στήριξης. Οι συγκεκριμένες μηχανές συνεχίζουν να αναπτύσσονται και να εξελίσσονται έως και σήμερα.



- 1 Θεμέλιο στήριξης ανεμογεννήτριας
- 2 Σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο
- 3 Πύργος
- 4 Εσωτερική σκάλα
- 5 Σύστημα προσανατολισμού
- 6 Κέλυφος
- 7 Ηλεκτρική γεννήτρια
- 8 Ανεμόμετρο
- 9 Φρένο
- 10 Κιβώτιο ταχυτήτων
- 11 Πτερώγιο
- 12 Ρύθμιση βήματος περυνγίου
- 13 Κέλυφος πλήμνης

Σχήμα 1.2: Τυπική μορφή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

1.3. Υδροηλεκτρική ενέργεια

Υδροηλεκτρικό έργο (Υ.Η.Ε.) ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία η υδραυλική ενέργεια, μέσω των έργων και των εξοπλισμών, μετατρέπεται σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική. Το νερό λοιπόν από μία υψηλότερη στάθμη οδηγείται σταδιακά σε μία χαμηλότερη μέσω του αγωγού προσαγωγής, γι' αυτό και είναι δυνατή η μετατροπή της ανά μονάδα ενέργειας της διερχόμενης παροχής σε μηχανική ενέργεια, με την προϋπόθεση ότι έχουν αφαιρεθεί οι πάσης φύσεως απώλειες.

Το γεγονός ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι δυνατόν να μεταφερθεί ικανοποιητικά στον τόπο κατανάλωσης της, μετατρέπεται απευθείας μέσω γεννήτριας, άμεσα συζευγμένης με την άτρακτο του υδροστροβίλου, εξαιτίας τους τρόπου παραγωγής της μηχανικής ενέργειας.

1.4. Υδροστρόβιλοι

Οι υδροστρόβιλοι είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την ενέργεια του υγρού σε μηχανική ενέργεια, κινητήρια ροπή με άλλα λόγια, στην στρεφόμενη άτρακτο του δρομέα. Το νερό διαθέτει την δυναμική ενέργεια που εκφράζεται από την στάθμη του z ως προς την στάθμη της θάλασσας. Η ενέργεια λοιπόν του υγρού που χρειάζεται ο υδροστρόβιλος να μετατρέψει σε ενέργεια, είναι ανανεώσιμη. Εξαιτίας της βαρύτητας, η επιφανειακή απορροή υδατορεύματος ρέει συνεχώς με κατεύθυνση τις χαμηλότερες στάθμες έως την στάθμη της θάλασσας. Λόγω της φυσικής ροής του νερού, η δυναμική του ενέργεια συνεχώς υποβαθμίζεται και μετατρέπεται σε θερμότητα και μηχανικό έργο μέσω μηχανισμών υδραυλικών απωλειών, τύρβης και μεταφοράς υλικών.

1.4.1. Κατηγορίες Υδροστροβίλων

Οι υδροστρόβιλοι χωρίζονται σε αντιδράσεως, δηλαδή η ροή δια μέσου του δρομέα γίνεται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης του υγρού, και δράσεως. Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως είναι ολικής προσβολής, δηλαδή ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί αξονοσυμμετρικά και αυτός είναι και ο λόγος που το τμήμα της εισόδου είναι απαραίτητο να περιβάλει το δρομέα εξασφαλίζοντας αξονοσυμμετρικές συνθήκες της ροής στη διατομή εισόδου του δρομέα. Από την άλλη, οι υδροστρόβιλοι δράσεως είναι μερικής προσβολής, δεν συμμετέχει ολόκληρος ο δρομέας στην ενεργειακή μετατροπή, αλλά τμήμα του σε κάθε χρονική στιγμή.

Ο επικρατέστερος τύπος υδροστροβίλου δράσεως που χρησιμοποιείται πλέον είναι ο Pelton εν αντιθέσει με τον Turgo ο οποίος χρησιμοποιείται εξαιρετικά σπάνια. Οι διαφορές τους είναι στις πτερωτές και αντί για υδροδυναμικά σχεδιασμένα πτερύγια, όπως αυτά των υδροστροβίλων Francis και Kaplan, ο Pelton, έχει μια στεφάνη σκαφιδίων πακτωμένων περιφερειακά σε δίσκο πάνω στα οποία προσκρούει η ροή του νερού μέσω ενός ή περισσότερων ακροφυσίων. Το άνοιγμα του ακροφυσίου, το οποίο και ρυθμίζεται από βελόνη, καθορίζει την παροχή του νερού και άρα και την ισχύ που θα παραχθεί από τον υδροστρόβιλο. Λόγω της υψηλής αντοχής του σε μεγάλες υδροστατικές πιέσεις ο συγκεκριμένος υδροστρόβιλος καθίσταται κατάλληλος για λειτουργία σε μεγάλα μανοματρικά.

Όσον αφορά τους υδροστροβίλους αντιδράσεως επικρατέστεροι είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Francis για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης, μέσες παροχές και μέσα μανομετρικά ($H=50-500$

m περίπου), ενώ οι καταλληλότεροι για τις μικρές τιμές της υδραυλικής πτώσης είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Deriaz και οι διάφορες παραλλαγές υδροστρόβιλων αξονικής ροής όπως ο Kaplan ο οποίος είναι βομβοειδής. Ο συγκεκριμένος υδροστρόβιλος είναι κατάλληλος για υψηλές παροχές και χαμηλά μανομετρικά. Για τις μικρότερες τιμές ισχύος (<2 MW), και σχετικά μικρές τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H < 100$ m), κατασκευάζεται ο υδροστρόβιλος τύπου Cross-Flow ή Banki και έχει σχεδόν μηδενικό βαθμό αντιδράσεως στην περιοχή του κανονικού σημείου λειτουργίας του.

Σύμφωνα με την προαναφερθείσα κατάταξη είναι ευδιάκριτη η συσχέτιση μεταξύ της μεσημβρινής τομής και της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης. Πιο συγκεκριμένα, οι υδροστρόβιλοι Francis είναι ακτινικής και μικτής ροής και κατάλληλοι για μέσες τιμές της υδραυλικής πτώσης, ($H = 50-500$ m περίπου), σε αντίθεση με τους υδροστρόβιλους αξονικής ροής τύπου Kaplan, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για την αξιοποίηση μικρών υδραυλικών πτώσεων ($H < 50$ m περίπου).

Για την επιλογή του τύπου του υδροστρόβιλου που θα εγκατασταθεί σε ένα ΥΗΕ λαμβάνεται υπόψη αρχικά το διαθέσιμο μανομετρικό και η διαθέσιμη παροχή στη θέση εγκατάστασης. Μετέπειτα ελέγχονται οι δευτερεύουσες παράμετροι, όπως το κόστος κτήσης και εγκατάστασης, ο βαθμός απόδοσης σε μερικά φορτία, η απαίτηση για αναστρέψιμη λειτουργία κλπ.

Συμπερασματικά, η μέγιστη απόδοση για όλους τους τύπους υδροστρόβιλων, ξεπερνά το 80% και αυτό συμβαίνει διότι κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σε ένα υδροστρόβιλο υφίσταται πρακτικά η μεταφορά μηχανικής ισχύος από το νερό προς την πτερωτή και η ενέργεια μετατρέπεται από μηχανική σε ηλεκτρική. Η ενεργειακή μορφοτροπή ξεκινάει εξ αρχής από τη μηχανική ισχύ, χωρίς να παρεμβάλλεται το στάδιο μορφοτροπής θερμότητας σε μηχανική όπως γίνεται στις θερμικές μηχανές κατά το οποίο υπάρχουν και οι μεγαλύτερες απώλειες.

Οι υδροστρόβιλοι Pelton και Kaplan αυξάνουν και διατηρούν την απόδοσή τους σε τιμές που ξεπερνούν το 80% για σημεία λειτουργίας από 20% της ονομαστικής παροχής έως και την ονομαστική παροχή.

Στις θερμικές μηχανές η βασική συνιστώσα διαμόρφωσης του ειδικού κόστους παραγωγής, είναι το ειδικό κόστος παραγωγής ενός υδροηλεκτρικού σταθμού, δεδομένης της απουσίας καυσίμου και διαμορφώνεται κυρίως από τις αποσβέσεις του αρχικού κεφαλαίου για την κατασκευή του σταθμού. Σε μεγάλα υδραυλικά έργα η διακύμανση του ειδικού αρχικού κόστους είναι μικρότερη, ειδικότερα ανάμεσα στα 1.800 και 2.800€/kW.

Οι υδροστρόβιλοι είναι ταχείες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και έχουν άμεση εκκίνηση (της τάξης δευτερολέπτων) και υψηλή ευελιξία και ικανότητα παρακολούθησης των μεταβλητών του φορτίου.

1.5. Η έννοια του υβριδικού συστήματος

Αρχικά, «υβριδικό», ενεργειακό σύστημα λέγεται το σύστημα της ηλεκτρικής ενέργειας που με την λειτουργία του αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της μορφοτροπής ενέργειας από τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής και αποδίδοντας στις μονάδες εγγυημένης παραγωγής εφεδρικό ρόλο. Ο υβριδικός σταθμός έχει ως στόχο να μεγιστοποιήσει, όσο το δυνατόν γίνεται, τη συμμετοχή μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής, πιο συγκεκριμένα, μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), στην κάλυψη μιας συγκεκριμένης ζήτησης ενέργειας. Οι μονάδες μη εγγυημένης ενέργειας έχουν βασικό ρόλο συμμετοχής στην παραγωγή ενέργειας έως ένα μέγιστο ποσοστό. Το συγκεκριμένο ποσοστό υπαγορεύεται από τους περιορισμούς ασφάλειας και ευστάθειας της λειτουργίας του συστήματος και διαμορφώνεται εξαιτίας διάφορων παραμέτρων. Σε ένα συμβατικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.), όσο υψηλή και στιγμιαία διείσδυση μονάδων μη εγγυημένης ενέργειας επιτευχθεί, ο ρόλος τους παραμένει συμπληρωματικός σε σχέση με αυτές. Οι εγγυημένες μονάδες ενέργειας μένουν ως βασικές, πάνω στις οποίες και στηρίζεται η παραγωγή ενέργειας.

Για να γίνει κατανοητός ο ρόλος των Α.Π.Ε. σε ένα συμβατικό σύστημα ισχύος δεν υποκαθιστά τον ρόλο των μονάδων εγγυημένης παραγωγής, απλά προσπαθεί να περιορίσει τη χρήση τους.

2. Μέρος – Περιγραφή έργου

2.1. Θέση εγκατάστασης του σταθμού παραγωγής

Ο προτεινόμενος υβριδικός σταθμός (ΥβΣ) θα εγκατασταθεί στο Ηράκλειο Κρήτης και θα ενταχθεί στο υφιστάμενο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης. Θα αποτελείται από ένα Αιολικό Πάρκο (ΑΠ) και ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό. Το ΑΠ θα εγκατασταθεί στο ανατολικό μέρος του όρους Αστερούσια. Πιο συγκεκριμένα είναι βόρεια από τον οικισμό «Τσούτσουρο» και νότια από τούς οικισμούς «Κάτω Καστελλιανά» και «Δεμάτι». Το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό θα εγκατασταθεί 2km ανατολικά του οικισμού «Δεμάτι».

Στο χάρτη 2.1 παρουσιάζονται μακροσκοπικά οι θέσεις εγκατάστασης του ΑΠ και του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού επί του όρους Αστερούσια.



Χάρτης 2.1: Θέσεις εγκατάστασης του ΑΠ και του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού του ΥβΣ επί του όρους Αστερούσια.

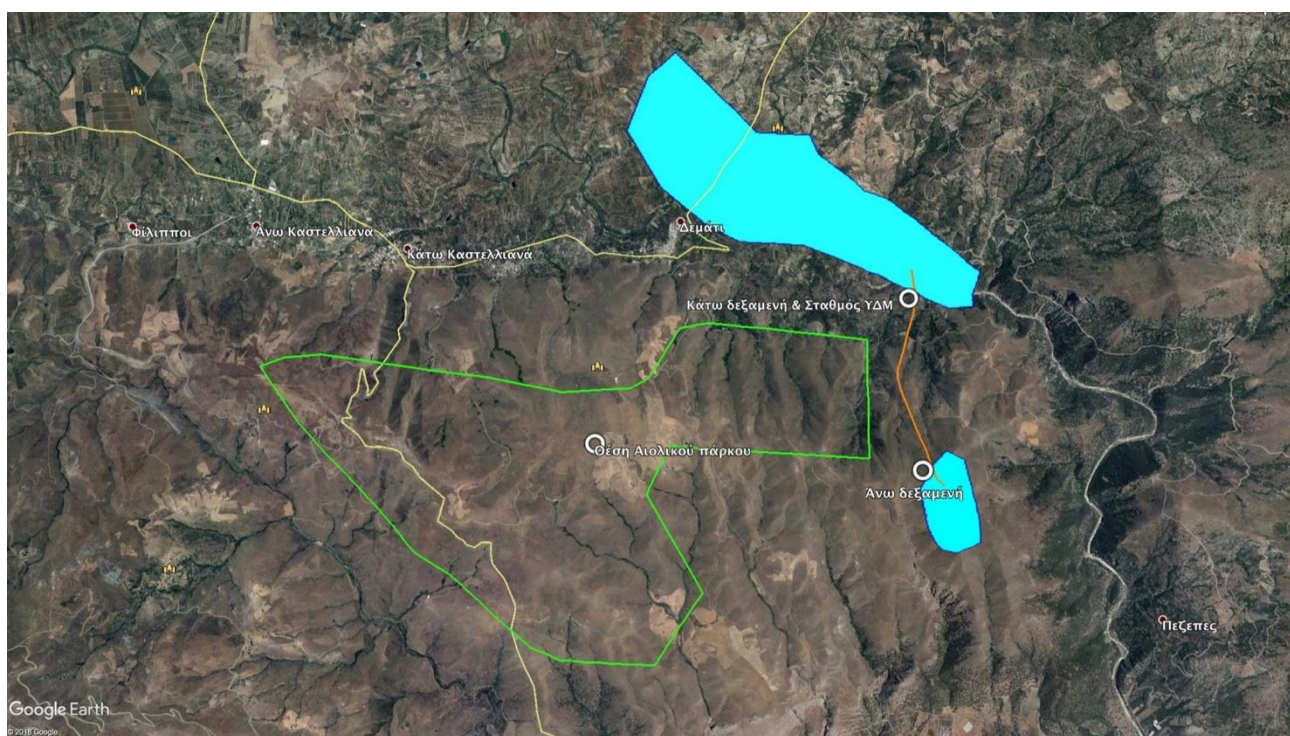
Το γήπεδο εγκατάστασης του ΑΠ καταλαμβάνει έκταση 6.615.837 m², σε υψόμετρο που κυμαίνεται από 370m έως 533m.

Το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό θα λειτουργήσει με γλυκό νερό. Συνεπώς, ως κάτω δεξαμενή θα χρησιμοποιηθεί η κύτη του ποταμού «Αναποδάρη», για την συλλογή των υδάτων του ίδιου και θα κατασκευαστεί ένα φράγμα βαρύτητας, 2,510 km ανατολικά του οικισμού «Δεμάτι», σε υψόμετρο 156m. Η θέση της άνω δεξαμενής του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού τοποθετείται στην ανατολική

κορυφή του όρους Αστερούσια με μέγιστο υψόμετρο 560m. Τόσο η θέση του υδροηλεκτρικού σταθμού (ΥΗΣ), όσο και του αντλιοστασίου τοποθετούνται στους πρόποδες του όρους Αστερούσια. Η άνω δεξαμενή θα εγκατασταθεί στην ανατολική κορυφή του όρους Αστερούσια, σε υψόμετρο 560m–628m. Θα καταλαμβάνει έκταση 197.812 m². Η λεκάνη της λιμνοδεξαμενής διαμορφώνεται μεταξύ των ισοϋψών 560m και 540m, με εκσκαφές που ακολουθούν τη μορφή της ισοϋψούς καμπύλης των 560m και με κλίση παράπλευρης εσωτερικής επιφάνειας 1:3 (18° ως προς το οριζόντιο επίπεδο).

Η κάτω δεξαμενή του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού θα εγκατασταθεί στο ποταμό Αναποδάρη, βόρεια του όρους Αστερούσια. Θα καταλαμβάνει έκταση 2.306.806 m². Η λεκάνη της λιμνοδεξαμενής διαμορφώνεται μεταξύ των ισοϋψών 120m και 156m. Η εσωτερική πλευρά του φράγματος θα έχει κλίση 1:3 (18° ως προς το οριζόντιο επίπεδο). Στους πρόποδες του όρους Αστερούσια θα εγκατασταθεί ο σταθμός υδροδυναμικών μηχανών (ΥΔΜ), (υδροηλεκτρικός σταθμός και αντλιοστάσιο), σε μία περιοχή έκτασης 10.000 m².

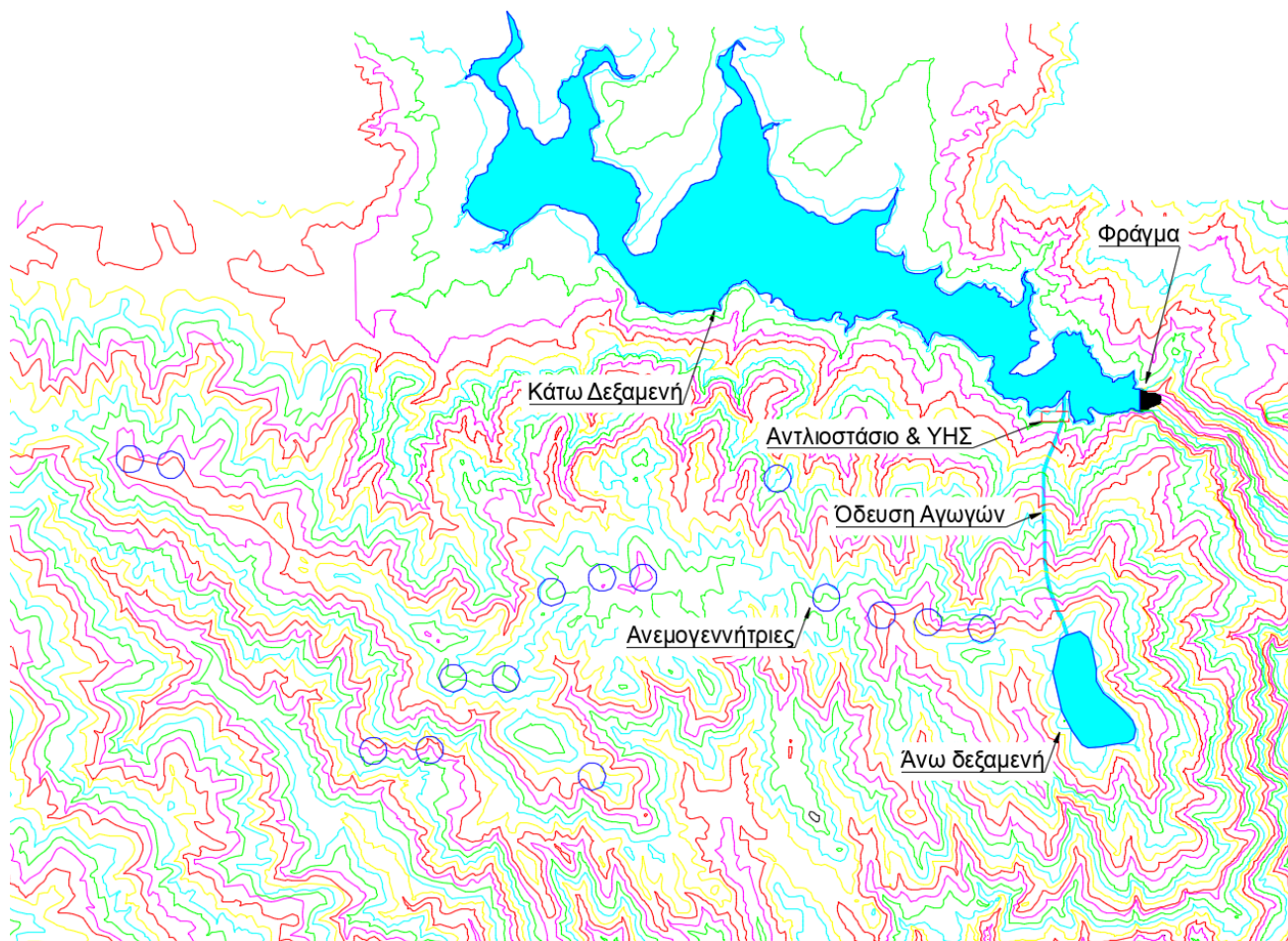
Στο χάρτη 2.2 παρουσιάζονται οι θέσεις εγκατάστασης του ΑΠ και του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού αντίστοιχα.



Χάρτης 2.2: Θέση εγκατάστασης του ΑΠ και του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού στο όρος Αστερούσια.

2.2. Σχέδια

Η θέση εγκατάστασης του ΑΠ, του ΥβΣ, της άνω και κάτω δεξαμενής, του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, την όδευση των αγωγών και το φράγμα, παρουσιάζεται στο χάρτη 2.3



Χάρτης 2.3: Θέση εγκατάστασης του ΑΠ, του ΥβΣ, της άνω και κάτω δεξαμενής, του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, την όδευση των αγωγών και το φράγμα.

2.3. Εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού, αριθμός και τύπος των μονάδων που απαρτίζουν το σταθμό

Ο υβριδικός σταθμός θα αποτελείται από:

- ένα αιολικό πάρκο
- υδροηλεκτρικό σταθμό
- αντλιοστάσιο

Ο υβριδικός σταθμός θα παράγει εγγυημένη ισχύ κατά μέγιστο 60,93MW καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου ακολουθώντας τη ζήτηση ισχύος. Η τιμή αυτή της εγγυημένης ισχύος καθορίζει αυτόματα την ελάχιστη συνολική εγκατεστημένη ισχύ των υδροστροβίλων του υβριδικού σταθμού. Οι τιμές για την ονομαστική ισχύ του ΑΠ και των αντλιών προκύπτουν από τους υπολογισμούς

διαστασιολόγησης του υβριδικού σταθμού, οι οποίοι εκτελούνται με την βοήθεια του λογισμικού Microsoft Excel. Οι τιμές που τελικά υπολογίστηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Τιμές ελάχιστης απαιτούμενης ισχύος βασικών συνιστωσών υβριδικού σταθμού.

Συνολική ονομαστική ισχύς ΑΠ [MW]	35,25
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς υδροστροβίλων [MW]	60,93
Συνολική απαιτούμενη ισχύς κινητήρων αντλιών [MW]	35,25

Σύμφωνα με τους δυνητικούς προμηθευτές του σχετικού εξοπλισμού, οι παραπάνω απαιτήσεις του υβριδικού σταθμού καλύπτονται με τους τύπους και το πλήθος των μονάδων που παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Τύπος, ονομαστική ισχύς και πλήθος μονάδων υβριδικού σταθμού.

A/A	Περιγραφή	Τύπος	Ονομαστική ισχύς [kW]	Πλήθος μονάδων	Συνολική ονομαστική ισχύς [kW]
1	Ανεμογεννήτρια	Enercon E-82 E4	2.350	15	35.250
2	Υδροστρόβιλος	Geppert Pelton	13.251.764,71	5	66.258.823,53
3	Αντλία	KSB RDLP	7.664.808,45	5	38.324.042,23

Η ανωτέρω ονομαστική ισχύς των αντλιών αναφέρεται στην απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύ της αντλίας. Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 75%.

2.3.1. Επιλεγμένος τύπος ανεμογεννήτριας

Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του επιλεγμένου προς εγκατάσταση τύπου Α/Γ.

Πίνακας 2.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά επιλεγόμενης ανεμογεννήτριας Enercon E-82 E4.

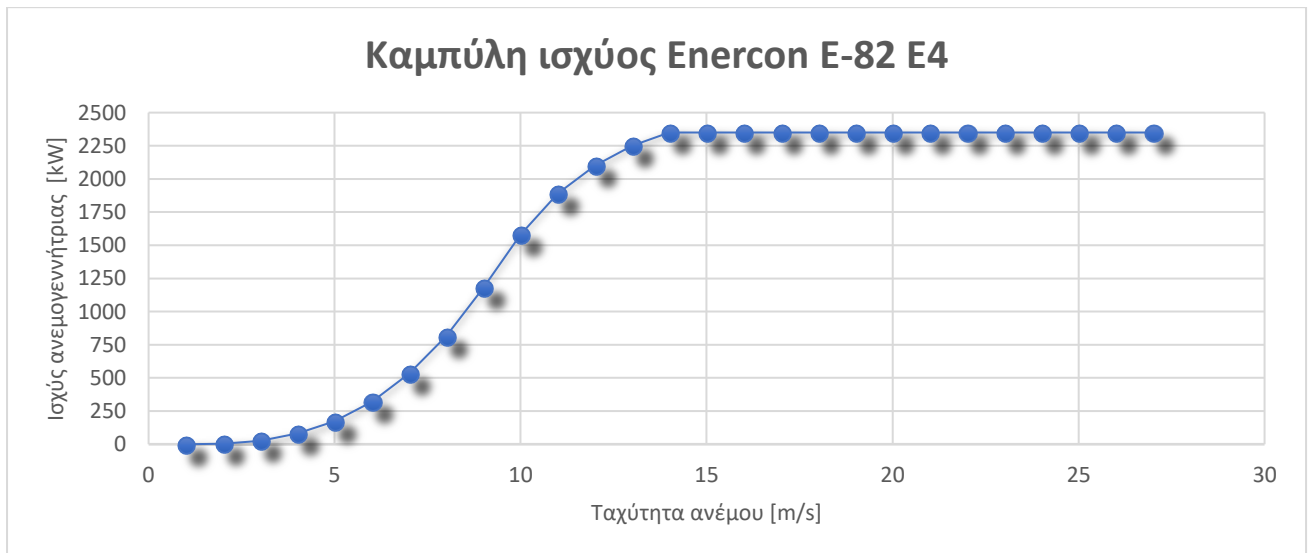
Τύπος επιλεγμένης Α/Γ	Enercon E-82 E4
Ονομαστική ισχύς	2.350 kW
Διάμετρος δρομέα	82 m
Ύψος νάσελας	78 m
Τάξη ανέμου [IEC]	IEC/EN IA και IEC/EN IIA
Αριθμός πτερυγίων	3
Κατεύθυνση περιστροφής	Δεξιόστροφη
Επιφάνεια σάρωσης	5,281 m ²
Υλικό πτερυγίων	GRP (Ενσωματωμένη προστασία από κεραυνούς)
Ταχύτητα περιστροφής	Μεταβλητή, 6-18 rpm
Περιφερειακή ταχύτητα ακροπτερυγίου	77 m/s
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου	14 m/s
Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας	2 m/s
Ταχύτητα μειωμένης λειτουργίας	28 - 34 m/s
Ταχύτητα αποκοπής	25 m/s
Έλεγχος βήματος πτερυγίου	pitch, με ανεξάρτητη ρύθμιση για κάθε πτερόγιο και ανεξάρτητη πηγή ισχύος
Τάση γεννήτριας	690 V

Τρισδιάστατη απεικόνιση της Α/Γ παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1.

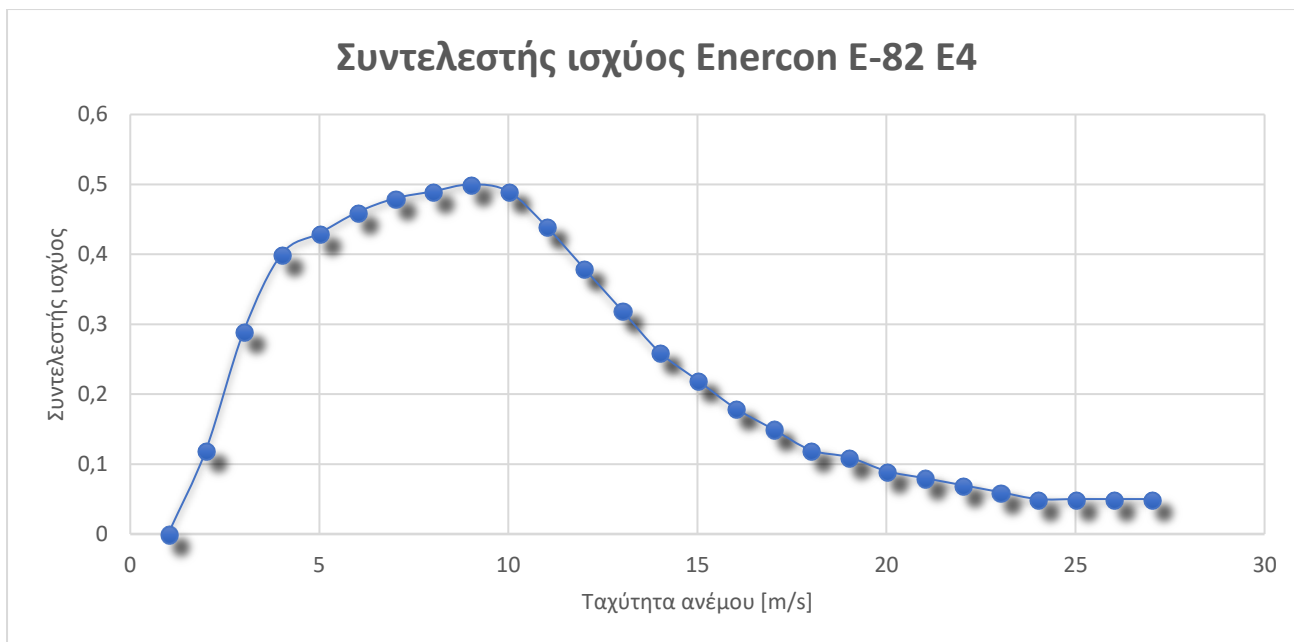


Σχήμα 2.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση της Α/Γ Enercon.

Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η καμπύλη ισχύος και η καμπύλη του συντελεστή ισχύος της.

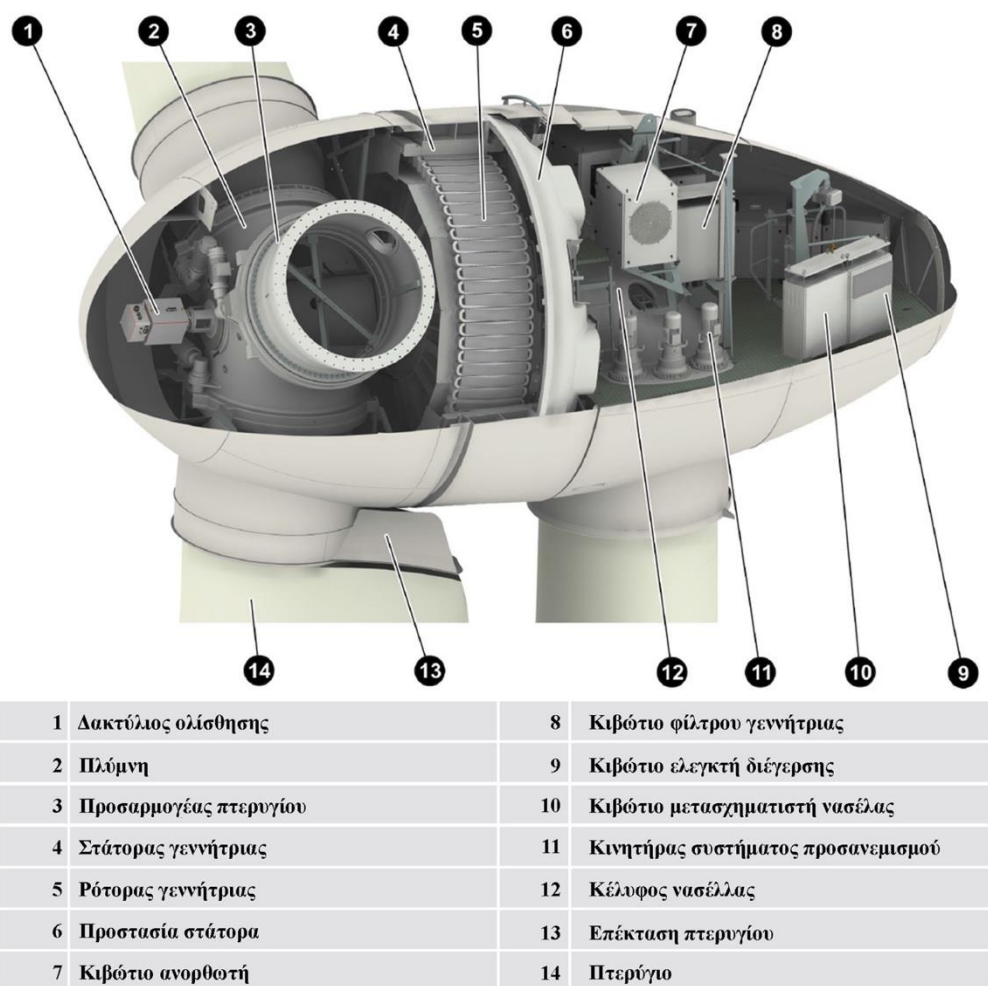


Σχήμα 2.2α: Καμπύλη ισχύος της Α/Γ Enercon E-82 E4 / 2.350kW.



Σχήμα 2.2β: Καμπύλη συντελεστή ισχύος της Α/Γ Enercon E-82 E4 / 2.350kW.

Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζεται τρισδιάστατο σχέδιο του εσωτερικού της νασέλλας της ανεμογεννήτριας με αναφορά των βασικών συνιστωσών της.



Σχήμα 2.3: Τρισδιάστατη απεικόνιση του εσωτερικού της νασέλλας της Α/Γ Enercon E-82 E4 / 2.350kW.

2.3.2. Υδροστροβίλος

Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του επιλεγμένου τύπου υδροστροβίλου.

Τύπος επιλεγμένου τύπου υδροστροβίλου	Pelton
Ονομαστική ισχύς [kW]	13.251.764,71
Ονομαστική παροχή [m ³ /s]	4
Ονομαστικό μανομετρικό λειτουργίας [m]	384
Βαθμός απόδοσης (ονομαστικό σημείο) [%]	87,97

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, ο ΥΗΣ θα περιλαμβάνει πέντε υδροστροβίλους συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 66.258.823,53kW.

2.3.3. Αντλία

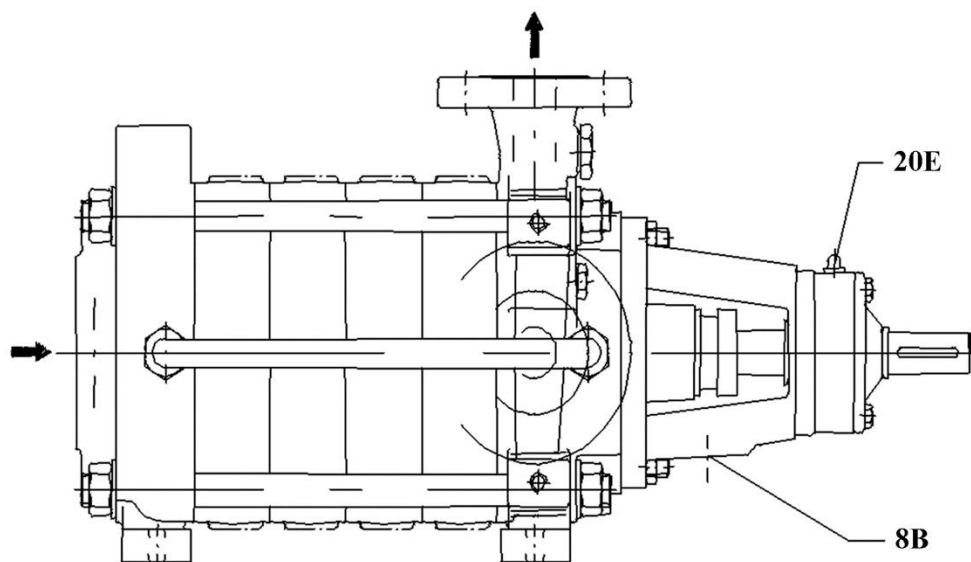
Στον πίνακα 2.5 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του επιλεγμένου τύπου αντλίας.

Κατασκευαστής	KSB
Μοντέλο	RDLO/RDLP
Μηχανική ισχύς στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας [kW]	35.250.000
Κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος στο ονομαστικό σημείο [kW]	38.324.042,23
Ονομαστική παροχή [m ³ /sec]	6,42
Ονομαστική παροχή [m ³ /h]	23.106,67
Συνολικό μανομετρικό άντλησης στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας (m)	422,05

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σειρά RDLP της KSB είναι ειδικά σχεδιασμένη σειρά αντλιών για την άντληση γλυκού νερού

Με βάση τη διαστασιολόγηση του συγκεκριμένου υβριδικού, προκύπτει αντλιοστάσιο 5 αντλιών συνολικής ηλεκτρικής ισχύος στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας 38.324.042,23kW και συνολικής ονομαστικής παροχής 6,42m³/sec σε συνολικό ύψος άντλησης 422,05m Σ.Υ. (συμπεριλαμβανομένων των απωλειών ροής).

Στο σχήμα 2.4 παρουσιάζεται σκαρίφημα της αντλίας “KSB Multitec RO A 150/ 3-12.2 31.82.”, ενώ στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται άποψη του εσωτερικού αντλιοστασίου στην περιοχή της Bundamba της ανατολικής Αυστραλίας, το οποίο χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αστικών υγρών λυμάτων και την παραγωγή καθαρού νερού, το οποίο διατίθεται στη συνέχεια για την ψύξη των μονάδων παραγωγής τοπικού θερμοηλεκτρικού σταθμού.



Συνδέσεις:

8B: Αποχέτευση διαρροής

20E: Εισαγωγή λίπανσης

Σχήμα 2.4: Σκαρίφημα αντλίας KSB Multitec RO A 150/ 3-12.2 31.82.



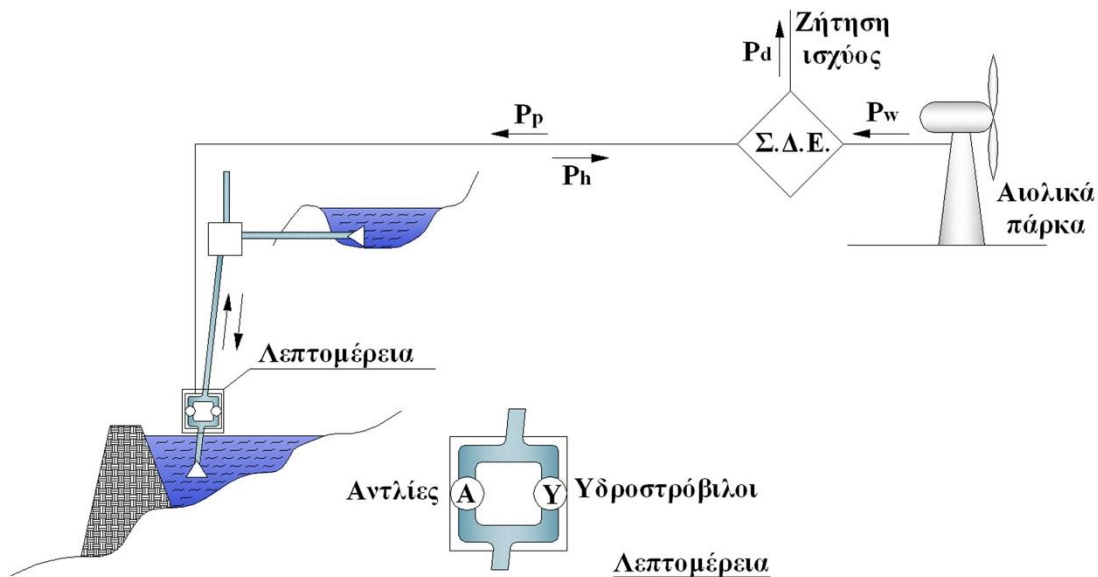
Εικόνα 2.1: Άποψη του εσωτερικού του αντλιοστασίου στην Bundamba, της ανατολικής Αυστραλίας, κατασκευής KSB.

3. Μέρος – Προκαταρκτική τεχνική μελέτη του προτεινόμενου έργου

3.1. Περιγραφή της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας και των εγκαταστάσεων που θα απαιτηθούν

Ο προτεινόμενος υβριδικός σταθμός συνδυάζει την αιολική και την υδραυλική ενέργεια.

Σχηματική διάταξη ενός τυπικού υβριδικού σταθμού παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1. Η λειτουργία του συστήματος εξασφαλίζεται ηλεκτρονικά μέσω ενός Συστήματος Διαχείρισης Ενέργειας (Σ.Δ.Ε.).



Σχήμα 3.1: Υβριδικός σταθμός παραγωγής εγγυημένου ισχύος αποτελούμενος από ΑΠ και αντλησιοταμιευτήρα.

Με βάση το σχήμα 3.1 ο υβριδικός σταθμός αποτελείται από τα ακόλουθα διακριτά μέρη:

1. αιολικό πάρκο
2. αντλησιοταμιευτήρα, που αποτελείται από:
 - i. υδροδυναμικό σταθμό, αποτελούμενο από υδροστροβίλους και αντλίες
 - ii. δύο δεξαμενές (άνω και κάτω) σε υψομετρική διαφορά μεταξύ τους
 - iii. σωληνώσεις με τις οποίες είναι δυνατή η μεταφορά νερού από την άνω δεξαμενή προς την κάτω και αντίστροφα.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι επιμέρους συνιστώσες του υβριδικού σταθμού ξεχωριστά.

3.2. Αιολική ενέργεια

Οι ευνοημένες περιοχές του πλανήτη μας από πλευράς αιολικού δυναμικού είναι οι χώρες της πολικής και εύκρατης ζώνης, ιδιαίτερα κοντά στις ακτές. Βέβαια, η αξιοποίηση της ανεξάντλητης αιολικής ενέργειας που προσφέρει η φύση στον άνθρωπο προϋποθέτει την εκπόνηση εμπειριστατωμένης μελέτης για την σωστή τοποθέτηση των κατάλληλων μηχανών την για τη δέσμευση της αιολικής ενέργειας και τη μετατροπή της στην επιθυμητή μορφή.

3.2.1. Ο άνεμος

Άνεμος είναι οι αέριες μάζες της ατμόσφαιρας, που περιβάλλουν την Γη, οι οποίες βρίσκονται σε συνεχή «οριζόντια» και «κατακόρυφη» κίνηση. Η «οριζόντια» κίνηση του αέρα ονομάζεται άνεμος ενώ η κατακόρυφη κίνηση του αέρα ονομάζεται ρεύμα. Αν η κατεύθυνση είναι από κάτω προς τα επάνω λέγεται ανοδικό ρεύμα, αν είναι από επάνω προς τα κάτω λέγεται καθοδικό ρεύμα.

Ο άνεμος προκαλείτε από τις διαφοροποιήσεις στην ατμοσφαιρική πίεση, οι οποίες από τη μεριά της οφείλονται στην άνιση θέρμανση της (προσπίπτουσας ή γειτνιάζουσας) επιφάνειας από τον ήλιο. Επομένως, η αιολική ενέργεια είναι έμμεση μορφή της ηλιακής ενέργειας και περίπου 1-2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μετατρέπεται σε άνεμο.

Πιο συγκεκριμένα όταν μία μάζα αέρα θερμαίνεται γίνεται πιο αραιή και πιο ελαφριά από τις άλλες μάζες που βρίσκονται γύρω της και τείνει να ανέβει σε υψηλότερα στρώματα. Επομένως, άλλες, πιο ψυχρές και βαριές αέριες μάζες θα μετατοπιστούν και θα πάρουν τη θέση της. Αντίθετα, όταν μια μάζα αέρα ψύχεται γίνεται πιο πυκνή και πιο βαριά και τείνει να κατέβει. Για να το πετύχει, εκτοπίζει τις πιο θερμές και πιο αραιές μάζες του αέρα και παίρνει τη θέση τους.

Τόσο η θέρμανση όσο και η ψύξη προκαλείται από την ακτινοβολία που εκπέμπει ο ήλιος. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και έχει να κάνει με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της, την ώρα της ημέρας και ετήσια κατανομή του ανέμου.

3.2.2. Ένταση του Ανέμου

Είναι συνετό να αναφερθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται συνεχώς και εμφανίζει διακυμάνσεις τόσο σε χρονικά διαστήματα εκατοστών του δευτερολέπτου όσο και σε διαστήματα ωρών. Για τον λόγο αυτό, όταν ελέγχεται μία περιοχή, εξετάζεται και το πεδίο ταχυτήτων της και είναι καίριας σημασίας να καταγραφούν οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας του ανέμου καθώς εξαρτώνται τόσο από την γεωγραφική θέση της εκάστοτε περιοχής, όσο και από το τοπογραφικό της ανάγλυφο. Αυτό είναι σημαντικό να γίνει αφού η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει κατασκευαστικά την αντοχή του πύργου στήριξης της ανεμογεννήτριας, όπως επίσης και την μέγιστη φόρτιση των πτερυγίων της μηχανής.

Για να μπορέσουν οι κατασκευαστές να προσδιορίσουν τη μέγιστη καταπόνηση των τμημάτων της εγκατάστασης χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη των μέγιστων ταχυτήτων. Για να γίνει η στατιστική πρόβλεψη λοιπόν, συνηθέστερα χρησιμοποιούνται οι μέσες ωριαίες τιμές ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός ορισμένου χρόνου, (σειρά ετών). Προκύπτει λοιπόν ένα στατιστικό δείγμα, το οποίο αναλύεται με βάση το στατιστικό νόμο των «ακραίων τιμών», για τον προσδιορισμό της μέγιστης

ταχύτητας του ανέμου που αναμένεται να εμφανιστεί σε μία χρονική περίοδο ορισμένων ετών, η οποία συνδέεται με την διάρκεια ζωής μιας αιολικής μηχανής.

3.2.3. Αιολικό δυναμικό

Το αιολικό δυναμικό που υφίσταται σε μια περιοχή είναι ένα από τα βασικά κριτήρια, για το οποίο ο μελετητής μηχανικός πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψιν του για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου. Η ποιότητα και η ποσότητα του αιολικού δυναμικού προσδιορίζεται βάσει μετρήσεων, οι οποίες διεξάγοντες στην περιοχή ενδιαφέροντος. Για την επίτευξη των μετρήσεων είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός ανεμολογικού ιστού.

Τα κριτήρια τα οποία έχουν πρωταρχικό ρόλο σε αυτήν την μελέτη θα τα εξετάσουμε αναλυτικά στις επόμενες ενότητες. Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως η ένταση του ανέμου, η διεύθυνση του ανέμου και η ένταση της τύρβης είναι παράγοντες που συμβάλουν στην εύρεση κατάλληλων θέσεων για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, για την βέλτιστη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

3.3. Αιολικό πάρκο

Η συνολική ονομαστική ισχύς του ΑΠ που συνοδεύει τον ΥβΣ προέκυψε από το λογισμικό διαστασιολόγησης του ΥβΣ, βάσει της εγγυημένης ισχύος του υβριδικού σταθμού, της διαθέσιμης υψομετρικής διαφοράς της άνω δεξαμενής και της κάτω, της διαθέσιμης χωρητικότητας της άνω δεξαμενής και του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού στις θέσεις εγκατάστασης των Α/Γ.

Το μέγεθος και ο τύπος της Α/Γ επελέγη από ομάδα Α/Γ με ευρεία εφαρμογή και με πλήρη πιστοποιητικά. Ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης στις περιοχές του ΑΠ, σε συνδυασμό με την απαιτούμενη συνολική ισχύ του ΑΠ, αποτέλεσαν παράμετρο επιλογής.

Επιλέχθηκε τελικά η Α/Γ Enercon E-82 E4/2.350kW με ονομαστική ισχύ 2.350kW. Με βάση τα χαρακτηριστικά του αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης του ΑΠ, επελέγη η κλάση ΙΑ.

Για συνολική απαιτούμενη ισχύ του ΑΠ ίση με 35,25MW, θα εγκατασταθούν 15 Α/Γ του προαναφερόμενου τύπου.

3.3.1. Έλεγχος καταλληλότητας περιοχής

Με βάση το θεσμοθετημένο ειδικό χωροταξικό πλαίσιο, ορίζονται οι βασικές κατευθύνσεις και οι γενικοί κανόνες για την χωροθέτηση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Η διαδικασία με την οποία ελέγχεται αν μια περιοχή πληροί τις προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου χωρίζεται σε δυο φάσεις:

- 1) Επιλογή υποψήφιων περιοχών βάσει τεχνικών κριτηρίων
 - i. Εντοπίζονται οι περιοχές (εδώ του νομού Ηρακλείου Κρήτης) που το αιολικό δυναμικό είναι υψηλό. Αυτό στηρίζεται στον αντίστοιχο χάρτη του αιολικού δυναμικού.
 - ii. Στην συνέχεια από την ιστοσελίδα της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) αποκλείω τα σημεία εκείνα που υπάρχουν σταθμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- 2) Έλεγχος των κατ' αρχήν επιλεχθέντων σημείων για την συμμόρφωση τους ως προς την κοινή υπουργική απόφαση 49828/2008 (ΦΕΚ Β-2464/2008), η οποία καθορίζει το απαραίτητο χωροταξικό πλαίσιο για την επιλεξιμότητα των σημείων εγκατάστασης σταθμών λειτουργίας ΑΠΕ.

Αποτέλεσμα της πρώτης φάσης είναι η επιλογή της περιοχής, η οποία βρίσκεται στο ανατολικό μέρος του όρους Αστερούσια, με υψόμετρο 450 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Πιο συγκεκριμένα είναι βόρεια από τον οικισμό «Τσούτσουρο» και νότια από τούς οικισμούς Κάτω «Καστελλιανά» και «Δεμάτι».

Η χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων πρέπει να πληροί τις ελάχιστες αποστάσεις από τις γειτνιάζουσες χρήσεις γης, δραστηριότητες και δίκτυα τεχνικής υποδομής που καθορίζονται στους πίνακες του Παραρτήματος II της παραπάνω απόφασης.

Έτσι σύμφωνα με την φάση δυο για τον έλεγχο συμμόρφωσης, ελέγχονται τα εξής χαρακτηριστικά:

Αποστάσεις αιολικών εγκαταστάσεων από δίκτυα τεχνικής υποδομής

Από υφιστάμενη οδό χερσαίας προσπέλασης οποιασδήποτε κατηγορίας, ανεξάρτητα από την εγκαταστημένη ισχύ/μονάδα.

Μέγιστη απόσταση

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
10km	Διέρχεται οδός εντός της χωροθετημένης περιοχής

Ελάχιστη απόσταση

(Απόσταση ασφαλείας $\geq 1,5 \times d$, όπου d η τυπική διάμετρος φτερωτής, που εδώ λαμβάνεται $d=82m$)

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
$1,5 \times 82 = 123m$	200m

Αποστάσεις από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος

Μέρος της επιλεγμένης τοποθεσίας ανήκει στις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας» (SPA) για την ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ «για τη διατήρηση των άγριων πτηνών» που έχουν ενταχθεί στον κατάλογο των τόπων κοινοτικής σημασίας του [δικτύου ΦΥΣΗ 2000](#), με κωδικό [GR4310013](#).

Παρόλα αυτά οι ανεμογεννήτριες θα εγκατασταθούν εκτός τις ειδικής ζώνης προστασίας.

Ακτές κολύμβησης, που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα παρακολούθησης της ποιότητας των νερών κολύμβησης που συντονίζεται από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε

Νότια της επιλεγμένης περιοχής υπάρχουν δυο ακτές κολύμβησης όπως είναι καταχωρημένες στην [ιστοσελίδα](#) «μητρώο ταυτοτήτων υδάτων κολύμβησης της Ελλάδας»

Όνομα Ακτής: Αρκαλοχώρι. Κωδικός ταυτότητας: [GRBW139302043](#)

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
1,5km	2,5km

Όνομα Ακτής: Τσούτσουρας 1. Κωδικός Ταυτότητας: [GRBW139302042](#)

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
1,5km	2,3km

Αποστάσεις από περιοχές και στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς

(Ελάχιστη απόσταση $\geq 1,5 \times d$, όπου d η διάμετρος φτερωτής, που εδώ λαμβάνεται $d=82m$)

Από την [ιστοσελίδα](#) «Διαρκής κατάλογος των κηρυγμένων αρχαιολογικών χώρων και μνημείων της Ελλάδος»:

Η περιοχή «Τσούτσουρος» Επαρχίας Μονοφατσίου νομού ηρακλείου, βάσει του ΦΕΚ Β-412/1983 έχει κηρυχθεί ως αρχαιολογικός χώρος.

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
$7 \times 82 = 574m$	1500m

Η περιοχή Μιτατούλα, βάσει του ΦΕΚ Β-1804/99 έχει κηρυχθεί ως αρχαιολογικός χώρος.

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
7 x 82 = 574m	3370 m

Η περιοχή Πλάκα, βάσει του ΦΕΚ Β-1804/99 έχει κηρυχθεί ως αρχαιολογικός χώρος.

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
7 x 82 = 574m	4050m

Η περιοχή Ληστής, βάσει του ΦΕΚ Β-1804/99 έχει κηρυχθεί ως αρχαιολογικός χώρος.

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
7 x 82 = 572m	5450m

Η περιοχή Σκουρογάρακο, βάσει του ΦΕΚ Β-1804/99 έχει κηρυχθεί ως αρχαιολογικός χώρος.

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
7 x 82 = 572m	5800m

Η γέφυρα του ποταμού Αναποδάρη «Παλιοκαμάρα» στο χωριό Δεμάτι του Δήμου Αρκαλοχωρίου στο Νομό Ηρακλείου, βάσει του ΦΕΚ Β-1617/2001 χαρακτηρίζεται ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο και έργο τέχνης.

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
7 x 82 = 572 m	1500 m

Αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες

Από την ιστοσελίδα «Αρχείο Παραδοσιακών Οικισμών και Διατηρητέων κτιρίων», δεν έχει καταχωρηθεί κάποιος **παραδοσιακός οικισμός**, γύρω από την περιοχή ενδιαφέροντος.

Οι γειτνιάζοντες οικισμοί Φίλιπποι, Άνω Καστελιανά, Κάτω Καστελιανά, Φαβριανά, Δεμάτι, βάσει του [ΦΕΚ Δ-1035/1986](#) ανήκουν στους «Λοιπούς οικισμούς».

Οικισμοί	Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
Φίλιπποι	500m	2300m
Άνω Καστελιανά	500m	2000m
Κάτω Καστελιανά	500m	1100m
Φαβριανά	500m	1100m
Δεμάτι	500m	1350m

Οι γειτνιάζοντες οικισμοί Τσούτσουρας, Αγ. Παντελεήμων, Αγ. Παρασκευή, βάσει του [ΦΕΚ Δ-1035/1986](#) ανήκουν στους «Τουριστικός οικισμούς».

Οικισμοί	Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
Αγ. Παρασκευή	1000m	3300m
Αγ. Παντελεήμων	1000m	2250m
Τσούτσουρας	1000m	2200m

Βόρεια και βορειοδυτικά της περιοχής βρίσκονται δυο **Ιερές Μονές**:

Χωροταξικό πλαίσιο	Επιλεγμένη περιοχή
500m	600m

Κριτήρια ένταξης των αιολικών εγκαταστάσεων στο τοπίο

Για την εκτίμηση της επίπτωσης μιας υπό αδειοδότηση αιολικής μονάδας στο τοπίο, λαμβάνεται υπόψη η οπτική παρεμβολή της από τα σημεία ιδιαίτερο ενδιαφέροντος, που ευρίσκονται εντός κύκλου, που ορίζεται με κέντρο την μονάδα και ακτίνα που διαφοροποιείται ανάλογα με τη σημασία και την ποιότητα του σημείου ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και την κατηγορία χώρου που ανήκει.

Πρώτο κριτήριο το οποίο αφορά την συνολική πυκνότητα των ανεμογεννητριών, που χωροθετούνται εντός κύκλου με κέντρο το εκάστοτε σημείο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. Η κυκλική επιφάνεια χωρίζεται σε τρία συνολικά ομόκεντρα τμήματα (ζώνες) Α', Β' και Γ' σε κάθε μία από τις οποίες, η μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα εγκατάστασης, είναι διαφορετική.

Το σημείο ενδιαφέροντος, είναι οι οικισμοί και οι αρχαιολογικοί χώροι που είναι κοντά στην οριοθετημένη περιοχή.

Το σημείο εκείνο πάνω στα όρια του οικισμού που είναι πιο κοντά στο αιολικό πάρκο, είναι το κέντρο των 3^{ων} ομόκεντρων τμημάτων (ζωνών).

Αρχαιολογικοί χώροι (ζώνη Α')

Η συνολική έκταση των ζωνών:

$$A = \pi \cdot r_A^2 = \pi \cdot 0,5^2 = 0,785Km^2$$

$$B = \pi \cdot (r_B^2 - r_A^2) = \pi \cdot (3^2 - 0,5^2) = 8,215Km^2$$

$$Γ = \pi \cdot (r_Γ^2 - r_B^2) = \pi \cdot (6^2 - 3^2) = 27Km^2$$

Τσούτσουρας

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	3	9	8,215	2	1,096
Γ	6	5	27	4	0,185

Μιτατούλια

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	3	0	8,215	2	0
Γ	6	14	27	4	0,519

Πλάκα

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	3	0	8,215	2	0
Γ	6	12	27	4	0,444

Παλιοκαμάρα

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	3	14	8,215	2	1,75
Γ	6	0	27	4	0

Λοιποί οικισμοί

Η συνολική έκταση των ζωνών:

$$A = \pi \cdot r_A^2 = \pi \cdot 0,5^2 = 0,785 \text{ Km}^2$$

$$B = \pi \cdot (r_B^2 - r_A^2) = \pi \cdot (1^2 - 0,5^2) = 2,356 \text{ Km}^2$$

$$Γ = \pi \cdot (r_Γ^2 - r_B^2) = \pi \cdot (2^2 - 1^2) = 9,425 \text{ Km}^2$$

Άνω Καστελλιανά

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	1	0	2,356	2	0
Γ	2	1	9,425	4	0,11

Κάτω Καστελλιανά

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	1	0	2,356	2	0
Γ	2	3	9,425	4	0,318

Φαβριανά

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	1	0	2,356	2	0
Γ	2	6	9,425	4	0,637

Δεμάτι

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	1	0	2,356	2	0
Γ	2	7	9,425	4	0,743

Τουριστικές περιοχές

Η συνολική έκταση των ζωνών:

$$A = \pi \cdot r_A^2 = \pi \cdot 1^2 = 3,142 \text{ Km}^2$$

$$B = \pi \cdot (r_B^2 - r_A^2) = \pi \cdot (2^2 - 1^2) = 3 \text{ Km}^2$$

$$Γ = \pi \cdot (r_Γ^2 - r_B^2) = \pi \cdot (3^2 - 2^2) = 5 \text{ Km}^2$$

Τσούτσουρας

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	1	0	2,356	2	0
Γ	2	0	9,425	4	0

Αγ. Παντελεήμων

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	1	0	2,356	2	0
Γ	2	5	9,425	4	0,424

Αγ. Παρασκευή

Ζώνες	Ακτίνες ζωνών (km)	Αριθμός ανεμογεννητριών ανά ζώνη	Έκταση ζώνης (Km ²)	Μέγιστη πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)	Μέση πυκνότητα ανεμογεννητριών (Α.Γ./Km ²)
A	0,5	0	0,785	0	0
B	1	0	2,356	2	0
Γ	2	5	9,425	4	0,424

3.4. Συγκρότημα αντλησιοταμιευτήρα

3.4.1. Εμβάθυνση στα υβριδικά συστήματα

Ένας υβριδικός σταθμός μεγάλου μεγέθους μπορεί να εντάσσεται σε ένα σύστημα με σκοπό τη διαρκή κάλυψη της ζήτησης ισχύος, όλο το εικοσιτετράωρο αποσκοπώντας φυσικά στην 100% κάλυψη της κατανάλωσης ηλεκτρική ενέργειας στο Σ.Η.Ε. ετήσια. Μέχρι στιγμής τέτοιες περιπτώσεις υβριδικών σταθμών μελετώνται και προτείνονται για Σ.Η.Ε. μικρού και μεσαίου μεγέθους με ζήτηση ισχύος από 3 έως 10MW.

Μπορεί επίσης να εντάσσεται σε ένα σύστημα με σκοπό την κάλυψη της ζήτησης ισχύος για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα εντός εικοσιτετράωρου, τα οποία συχνά περιέχουν τις αιχμές ζήτησης ισχύος. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, ο υβριδικός σταθμός λειτουργεί με σκοπό την εξάλειψη αιχμών ισχύος από το Σ.Η.Ε. αποθηκεύοντας ενέργεια από τις μονάδες Α.Π.Ε. με τις οποίες και συνδέονται και όχι από τις θερμοηλεκτρικές μονάδες. Οι συγκεκριμένες περιπτώσεις υβριδικών σταθμών μελετώνται και σχεδιάζονται για ένταξη σε συστήματα μεσαίου και μεγάλους μεγέθους, αντίθετα από την προηγούμενη περίπτωση, και η ζήτηση ισχύος είναι μεγαλύτερη από 10MW.

Αναλόγως ποια από τις προαναφερθείσες περιπτώσεις υπάρχει εκάστοτε, αλλάζει και ο αλγόριθμος λειτουργίας των υβριδικών σταθμών.

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο λειτουργίας, προβλέπεται η ταυτόχρονη άντληση και πτώση του νερού στο ίδιο χρονικό βήμα και η σκοπιμότητα της φαίνεται επίσης από τον ίδιο. Είναι φυσικό, ότι το αιολικό πάρκο δεν επιτρέπεται να περάσει αμέσως στην παραγωγή σε ποσοστό μεγαλύτερο του P_{max} ως προς την ζήτηση ισχύος. Γι' αυτό το λόγο, σε κάποια χρονική στιγμή είναι απαραίτητο να καλυφθεί το υπόλοιπο της ζήτησης κατά προτεραιότητα από τους υδροστρόβιλους, με την προϋπόθεση να είναι επαρκής η αποθηκευμένη ποσότητα νερού στην άνω δεξαμενή. Ταυτόχρονα χρειάζεται να αποθηκευτεί η ενέργεια που υπάρχει σε πλεόνασμα από το αιολικό πάρκο, η οποία είναι αυτή που παραμένει διαθέσιμη μετά την απευθείας διείσδυση αιολικής ισχύος. Για να επιτευχθεί λοιπόν, η ταυτόχρονη άντληση και πτώση του νερού, είναι απαραίτητο να γίνει η εγκατάσταση δύο ανεξάρτητων μεταξύ τους σωληνώσεων, όπου η μία λειτουργεί αποκλειστικά για την υδατόπτωση και η άλλη αποκλειστικά για την άντληση.

3.4.1.1. Σκοπός της αποθήκευσης ενέργειας

Η παραγωγή μη εγγυημένης ισχύος προκύπτει από την τυχαία διαθεσιμότητα του δυναμικού Α.Π.Ε.. Για να παρακολουθούνται οι ανάγκες των καταναλωτών ενέργειας, όπως αποτυπώνονται στη χρονική διακύμανση της ζήτησης ισχύος, είναι απαραίτητο οι δύο χρονοσειρές, η διαθέσιμη ισχύς από τις μονάδες Α.Π.Ε. και η ζήτηση ισχύος, οι οποίες είναι εντελώς ανεξάρτητες, να συμπέσουν, να ταυτιστούν δηλαδή χρονικά. Για να επιτευχθεί η λειτουργία των μονάδων Α.Π.Ε και των μονάδων αποθήκευσης, υπάρχουν δύο περιπτώσεις. Η πρώτη είναι μέσω των μονάδων αποθήκευσης, κατά τις οποίες είναι δυνατή η αποθήκευση ενέργειας, όταν η παραγωγή ισχύος από τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση ισχύος. Η δεύτερη είναι, η αποθηκευμένη ενέργεια, η οποία μπορεί να αποδοθεί στην κατανάλωση, τις χρονικές στιγμές, όπου η ζήτηση ισχύος είναι μεγαλύτερη από τη διαθεσιμότητα παραγωγής ισχύος, από τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής.

Συνοψίζοντας, ένας υβριδικός σταθμός αποτελείται από τις μονάδες εγγυημένης παραγωγής και τις μονάδες αποθήκευσης. Φυσικά υπάρχει και το ενδεχόμενο να προκύψει κάποια χρονική στιγμή όπου η διαθεσιμότητα παραγωγής ισχύος από τις μονάδες μη εγγυημένης ισχύος μαζί με την αποθηκευμένη ενέργεια στη μονάδα αποθήκευσης να μην επαρκούν ώστε να καλύψουν τη ζήτηση ισχύος. Στην περίπτωση αυτή, η διαθεσιμότητα μιας ή περισσότερων μονάδων εγγυημένης παραγωγής, είναι η μόνη περίπτωση παραγωγής ισχύος όπως παραδείγματος χάριν οι θερμοηλεκτρικές μονάδες.

Για τον λόγο αυτό, οι μονάδες εγγυημένης ισχύος εντάσσονται στην παραγωγή, μόνο σε περίπτωση χαμηλής διαθεσιμότητας ισχύος από τις μονάδες Α.Π.Ε και ταυτόχρονης χαμηλής στάθμης φόρτισης των μονάδων αποθήκευσης.

Άρα εξάγεται το συμπέρασμα, ότι η ενεργειακά ορθή διαστασιολόγηση ενός υβριδικού σταθμού συντελεί στην ελαχιστοποίηση της συμμετοχής των συμβατικών μονάδων στην κάλυψη της ζήτησης.

Ένας υβριδικός σταθμός αποτελείται από τρία βασικά μέρη, τις μονάδες βάσης, οι οποίες είναι μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής όπως τα αιολικά πάρκα, τις μονάδες αποθήκευσης, όπως ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό (αντλιοσταμειυτήρας), και τις μονάδες εφεδρείας, όπως είναι κοινές θερμοηλεκτρικές μονάδες.

3.4.1.2. Αποθήκευση ενέργειας στα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά

Για να επιτευχθεί η πιο οικονομική τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας για Σ.Η.Ε. μεγάλου μεγέθους, χρησιμοποιείται η μέθοδος της αντλιοσταμειυσης. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι περισσότερο τεχνολογικά ώριμη εκτός από οικονομικά ανταγωνιστική.

Ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό αποτελείται από δύο δεξαμενές νερού κατασκευασμένες σε όμορες γεωγραφικές θέσεις, με ικανή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους και η χωρητικότητα τους έχουν εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Επιπλέον το νερό μεταφέρεται ανάμεσα στις δύο δεξαμενές μέσω δύο ανεξαρτήτων σωληνώσεων εκ των οποίων μία χρησιμεύει στην άντληση και μία για την πτώση ώστε να επιτευχθεί η ταυτόχρονη πτώση και άντληση του νερού. Με τον τρόπο αυτό γίνεται και η ταυτόχρονη φόρτιση και εκφόρτιση της μονάδας αποθήκευσης. Το κάτω μέρος των σωληνώσεων νερού καταλήγουν σε ένα αντλιοστάσιο και σε ένα υδροηλεκτρικό σταθμό. Ενώ βρίσκεται σε λειτουργία ο υβριδικός σταθμός, υπάρχει η πιθανότητα να υπάρχει πλεόνασμα ισχύος από την μονάδα Α.Π.Ε. και η οποία πρέπει να αποθηκευτεί. Η ισχύς αυτή οδηγείται στις αντλίες του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, μέσω των οποίων το νερό αντλείται από την κάτω δεξαμενή και αποθηκεύεται στην πάνω. Έτσι λοιπόν η περίσσεια ενέργεια, αποθηκεύεται στην πάνω δεξαμενή με την μορφή δυναμικής ενέργειας εξαιτίας του βαρυντικού πεδίου της γης. Αν στην περίπτωση λειτουργίας του υβριδικού σταθμού προκύψει η ανάγκη παραγωγής ισχύος από την μονάδα αποθήκευσης, αξιοποιείται το νερό που έχει αποθηκευτεί στην πάνω δεξαμενή και ελευθερώνεται, διέρχεται μέσω των σωληνώσεων και καταλήγει στους υδροστρόβιλους του υδροηλεκτρικού σταθμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρέχει την απαιτούμενη επιπρόσθετη ηλεκτρική ισχύ που χρειάζεται ο σταθμός.

Στην περίπτωση στην οποία η ισχύς του αιολικού πάρκου υπερβεί την μέγιστη δυνατή διείσδυση ισχύος, τότε μπορούν να συμβούν δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη όπου το αποθηκευμένο

νερό στην άνω δεξαμενή του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού δεν επαρκεί, τότε το υπόλοιπο της ζήτησης ισχύος που δεν καλύπτεται μέσω απευθείας διείσδυσης του αιολικού πάρκου, παρέχεται από τις μονάδες εφεδρείας του υβριδικού σταθμού, οι οποίες παράγουν συνολική ισχύ ίση με $P_{th} = P_d^1 - P_{wp}^2$. Η παραγωγή ισχύος από τους υδροστρόβιλους του υβριδικού σταθμού είναι μηδενική: $P_{ht} = 0$. Οι αντλίες του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού τροφοδοτούνται με την ενέργεια που υπάρχει σε πλεόνασμα του αιολικού πάρκου $P_p = P_w^3 - P_{wp}$, για να αποθηκευτεί, χρειάζεται να ανέβει το νερό στην άνω δεξαμενή.

Στην περίπτωση στην οποία στην άνω δεξαμενή του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού υπάρχει αρκετή αποθηκευμένη ποσότητα νερού, το υπόλοιπο της ζήτησης ισχύος, που δεν καλύπτεται μέσω της απευθείας διείσδυσης του αιολικού πάρκου, παράγεται από τους υδροστρόβιλους: $P_{th} = P_d - P_{wp}$. Την ίδια στιγμή η ισχύς η οποία βρίσκεται σε πλεονασμό από το αιολικό πάρκο $P_w - P_{wp}$ αποθηκεύεται ξανά μέσω του αντλιοστασίου στην άνω δεξαμενή του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού. Φυσικά για να συμβεί αυτό χρειάζεται η δεξαμενή να μην είναι γεμάτη γιατί σε αντίθετη περίπτωση δεν είναι δυνατή η αποθήκευση της περίσσειας ισχύος από το αιολικό πάρκο. Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τις μονάδες εφεδρείας είναι μηδενική: $P_{ht} = 0$.

Είναι ευρέως γνωστό, ότι τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά με χρήση θαλασσινού νερού πρέπει να εγκαθίστανται επί της ακτογραμμής γι' αυτό το λόγο και η μορφολογία του εδάφους της αποτελεί κρίσιμη παράμετρο, τόσο σε σχέση με την τεχνική εφικτότητα του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, όσο και στη διαμόρφωση του συνολικού αρχικού κόστους εγκατάστασης του. Γενικά ιδανικές τοποθεσίες για την εγκατάσταση αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών είναι εκείνες με λόφους, μικρά υψόμετρα έως και 600m. Αυτές οι ήπιες κλίσεις του εδάφους τόσο των πρανών όσο και της ακτής έχουν θετική συμβολή στην εγκατάσταση των αγωγών και των σταθμών υδροδυναμικών μηχανών σε ότι αφορά τα χωματουργικά έργα. Φυσικά συμβάλουν και συντεταγμένα και στην μείωση του κόστους εγκατάστασης όπως επίσης και στην κατασκευή υπόγειων σηράγγων.

3.4.1.3. Αντληση υγρού

Μέσω σωλήνωσης διακινείται το νερό από την δεξαμενή αναρρόφησης προς την δεξαμενή κατάθλιψης, η οποία βρίσκεται σε υψηλότερη στάθμη και στην οποία επικρατεί μεγαλύτερη στατική πίεση από αυτή στην δεξαμενή αναρρόφησης. Το νερό στην δεξαμενή κατάθλιψης έχει μεγαλύτερη ολική ενέργεια ανά μονάδα μάζας από όσο έχει δεξαμενή αναρρόφησης. Η αντλία είναι εκείνη η οποία

¹ Ζήτηση ισχύος

² Απευθείας διείσδυση από το αιολικό πάρκο

³ Διαθεσιμότητα ισχύος από αιολικό πάρκο

προσδίδει ενέργεια στο νερό αλλά και καλύπτει τις ενεργειακές απώλειες που λαμβάνουν χώρα κατά την διακίνηση του νερού μέσω της σωλήνωσης.

3.4.1.3.1. Απώλειες άντλησης

Όπως είναι γνωστό σε όλες της στροβιλομηχανές, η ροή του υγρού δια μέσου της αντλίας, συνοδεύεται από την ανάπτυξη των απωλειών στις οποίες αντιστοιχεί η διαφορά ισχύος ($N-N_i$), ως N ορίζεται η ισχύς την οποία προσδίδει ο κινητήρας σε σχέση με την N_i που ορίζεται η ισχύς που παραλαμβάνει το υγρό. Αυτές οι απώλειες κατηγοριοποιούνται ως υδραυλικές, ογκομετρικές και μηχανικές απώλειες.

Υδραυλικές απώλειες

Σύμφωνα με την εξίσωση, $H=H_u-dh_{fea}$ η ανά μονάδα μάζας ενέργεια H την οποία παραλαμβάνει το υγρό από την διατομή εισόδου μέχρι την διατομή εξόδου της αντλίας, είναι ίση προς την ενέργεια H_u που του προσδίδει η πτερωτή, η οποία έχει μειωθεί κατά τις ενεργειακές απώλειες της ροής δια μέσου της μηχανής, δηλαδή τις υδραυλικές απώλειες dh_{fea} .

Ογκομετρικές απώλειες

Το ακίνητο κέλυφος της αντλίας, περιβάλλει την στρεφόμενη πτερωτή και το οποίο εξασφαλίζει την στεγανότητα της αντλίας με τον εξωτερικό χώρο. Σχετικά με την διατομή εισόδου, στην διατομή εξόδου της πτερωτής το υγρό εξέρχεται με αυξημένη στατική πίεση, δηλαδή $p_{εξ}>p_{εισ}$.

Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι $p_{εξ}-p_{εισ}>0$ στο διάκενο μεταξύ στρεφόμενης πτερωτής (προς την πλευρά της στεφάνης) και του σταθερού κελύφους, αναπτύσσεται ροή που διευθύνεται από διατομή υψηλής πίεσης προς διατομή της χαμηλής πίεσης. Η παροχή της ροής συμβολίζεται με δQ και εισέρχεται ξανά στην πτερωτή παραλαμβάνοντας συνεχώς ενέργεια από αυτήν και την οποία καταναλώνει στην συνεχή ανακυκλοφορία της.

Μηχανικές απώλειες

Από την μηχανική ισχύ N που προσδίδεται στην άτρακτο της αντλίας μέσω του κινητήρα ένα τμήμα της με τον συμβολισμό N_m , δαπανάται για την υπερνίκηση των απωλειών τριβής των στρεφομένων μερών της αντλίας ενώ το εναπομείναν N_u , η περιφερειακή ισχύς της πτερωτής, διατίθεται στην πτερωτή ώστε να το μετατρέψει σε υδραυλική ενέργεια που προσδίδεται στο διακινούμενο υγρό.

3.4.1.4. Προσαγωγή νερού

Το νερό από μία υψηλότερη στάθμη οδηγείται σταδιακά σε μία χαμηλότερη μέσω του αγωγού προσαγωγής, γι' αυτό και είναι δυνατή η μετατροπή της ανά μονάδα ενέργειας της διερχόμενης παροχής σε μηχανική ενέργεια και στην συνέχεια σε ηλεκτρική, με την προϋπόθεση ότι έχουν αφαιρεθεί οι πάσης φύσεως απώλειες.

3.4.1.4.1. Απώλειες προσαγωγής νερό

Η ροή δια μέσου υδροστροβίλου και λειτουργία της μηχανής δεν είναι απαλλαγμένη από απώλειες και έχουν ως τελικό αποτέλεσμα την μειωμένη αξιοποίηση της διαθέσιμης στη μηχανική υδραυλικής ενέργειας. Για τον λόγο αυτό η παραγόμενη μηχανική ισχύς, είναι μικρότερη από διαθέσιμη υδραυλική ισχύ N_i , οπότε η διαφορά ($N_i - N$) είναι ίση με το άθροισμα των διαφόρων απωλειών και οι οποίες διακρίνονται σε υδραυλικές ογκομετρικές και μηχανικές.

Υδραυλικές απώλειες

Στην περίπτωση των στροβίλου η διαθέσιμη υδραυλική πτώση H εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ενέργεια υγρού (εκφρασμένη σε μέτρα στρίβεις υγρού) που διατίθεται στον υδροστρόβιλο ώστε να τη μετατρέψει σε μηχανική ενέργεια, ενώ η ενέργεια του υγρού που αντιστοιχεί στην κινητική του ενέργεια στη διατομή έξοδο, δηλαδή $c_a^2/2g$, διαφεύγει της ενεργητικής μετατροπής.

Το θεωρητικό ύψος H_u του δρομέα, εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ενέργειας στο υγρού που μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από τον δρομέα.

Η H_u είναι ίση με την διαθέσιμη από την εγκατάσταση ενέργεια H εάν αφαιρεθούν οι απώλειες δh_{fea} της ροής στο εσωτερικό της μηχανής και η ενέργεια που διαφεύγει αναξιοποίητη.

$$H_u = H - \frac{c_a^2}{2g} - \delta h_{fea}$$

Ογκομετρικές απώλειες

Η παροχή Q_u που διέρχεται μέσω του δρομέα είναι μικρότερη από την παροχή Q που διέρχεται από την διαδρομή εισόδου και εξόδου της μηχανής. Κατά την παροχή δQ , λόγω της σχετικής διαφοράς της στατικής ποίησης $\rho g(H_{eis} - H_{ex})$, ρέει από την διατομή εισόδου, προσθέτει διατομή εξόδου μέσω του διάκενου που σχηματίζεται μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας της στεφάνης και την εσωτερική επιφάνεια στο εξωτερικό κέλυφος της μηχανής. Η παροχή αυτή δQ χαρακτηρίζεται ως ογκομετρικές απώλειες, $Q_u = Q - \delta Q$.

Μηχανικές απώλειες

Οι μηχανικές απώλειες εκφράζουν απόλυτα υπό μορφή μηχανικής ισχύος, της N_m , που διακρίνονται στις απώλειες των εδράνων N_E και τις απώλειες στρεφόμενο δίσκο N_s , είναι δηλαδή $N_m = N_E + N_s$.

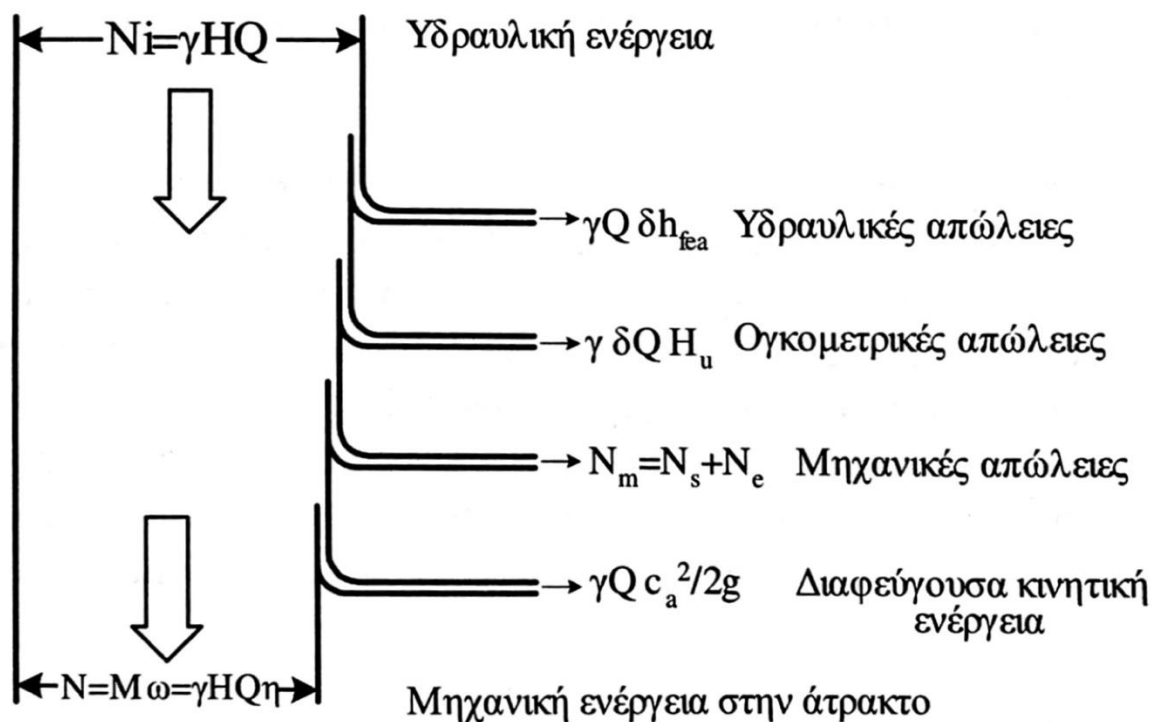
Άρα η πραγματική μηχανική ισχύς N που αποδίδεται στην άτρακτο του δρομέα θα είναι ίση προς $N = N_u - N_m$.

Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης η_m ορίζεται ως ο λόγος της καθαρής μηχανικής ισχύος N που αποδίδεται στην άτρακτο το δρομέα προς την θεωρητική ισχύ N_u που αναπτύσσεται στον δρομέα

$$\eta_m = \frac{N}{N_u} = 1 - \frac{N_m}{N_u}$$

Ολικός βαθμός απόδοσης

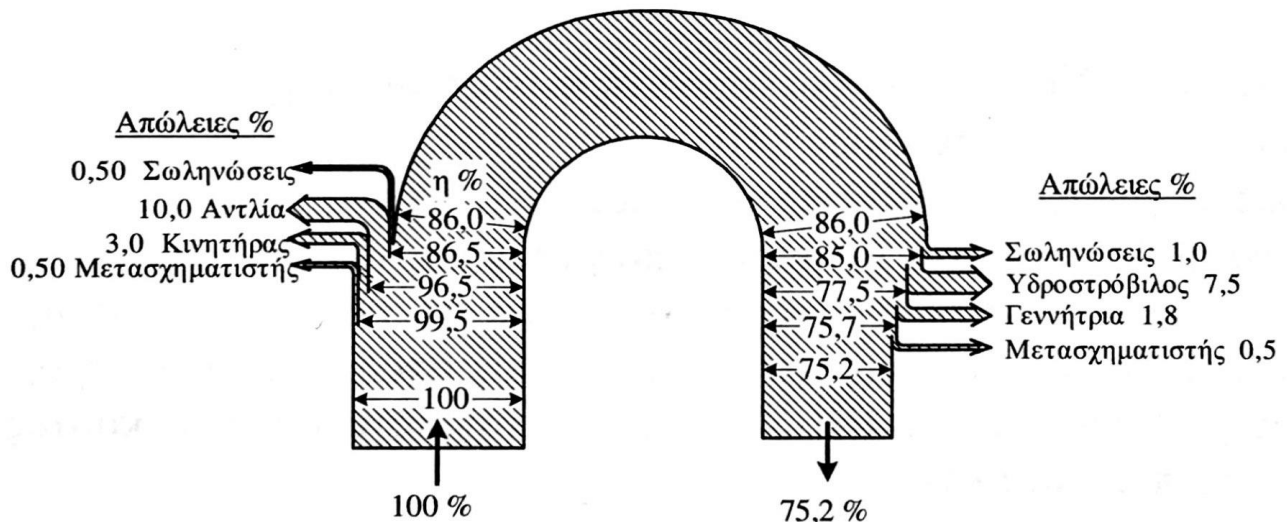
Η πραγματική μηχανική ισχύς N που αποδίδεται στην άτρακτο του υδροστροβίλου απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.2: Ροή της ενέργειας δια μέσου του υδροστροβίλου

3.4.1.5. Απώλειες ενέργειας σε αναστρέψιμο ΥΗΕ

Η διαδικασία αυτή της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική (κατά την άντληση) και στην συνέχεια η εκ νέου μετατροπή σε ηλεκτρική (κατά την λειτουργία υδροστροβίλου) συνοδεύεται με απώλειες ενέργειας. Παρόλα αυτά, η επένδυση είναι οικονομικά συμφέρουσα λόγω της σημαντικής διαφοράς στο κόστος της μονάδας ενέργειας αιχμής και βάσεως. Οι συνολικές απώλειες ενέργειας σε ένα κύκλο άντλησης-παραγωγής ενέργειας φτάνει το 23% περίπου.



Σχήμα 3.3: Απώλειες ενέργειας σε ένα κύκλο άντλησης-παραγωγής ενέργειας σε αναστρέψιμο ΥΗΕ

3.4.2. Γενικά, τεχνικά και κατασκευαστικά στοιχεία

Η θέση του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού του προτεινόμενου υβριδικού σταθμού καθορίζεται από τη θέση της άνω δεξαμενής, τη θέση του υδροηλεκτρικού σταθμού και του αντλιοστασίου και τη διαδρομή όδευσης των αγωγών μεταφοράς νερού.

Η θέση εγκατάστασης της άνω δεξαμενής τοποθετείται στην ανατολική κορυφή του όρους Αστερούσια, που αναπτύσσεται σε ικανοποιητική έκταση μέσα σε λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους, ελαφρά μεταμορφωμένους, πτυχωμένους, τεκτονικά καταπονημένους και καρστικοποιημένους κατά θέσεις.

Οι εργασίες εκβραχισμού και εκσκαφών για τη διαμόρφωση της λεκάνης εκτιμώνται ως μέτριας δυσκολίας, λόγω της ποιότητας των προς απομάκρυνση σχηματισμών (ασβεστόλιθοι τεκτονικά καταπονημένοι με διακλάσεις και διαρρήξεις). Κατά θέσεις, η απομάκρυνση των ασβεστολίθων δύναται να απαιτήσει και τη χρήση εκρηκτικών υλών.

Ο σχεδιασμός της όδευσης του αγωγού θα πρέπει να αντιμετωπίσει τις ήπιες κλίσεις του ανάγλυφου και πιθανώς έντονα γεωτεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με την ευστάθεια των βραχωδών μαζών και τη συνοχή τους κατά τη φάση των εκσκαφών. Παρόλα αυτά δεν αναμένεται να

προκύψουν ιδιαίτερες δυσκολίες για την εγκατάστασή τους, λόγω του ήπιου ανάγλυφου του πρανούς όδευσης, το οποίο χαρακτηρίζεται από απουσία έντονων κλίσεων και σχηματισμών (γκρεμοί, χαράδρες κλπ).

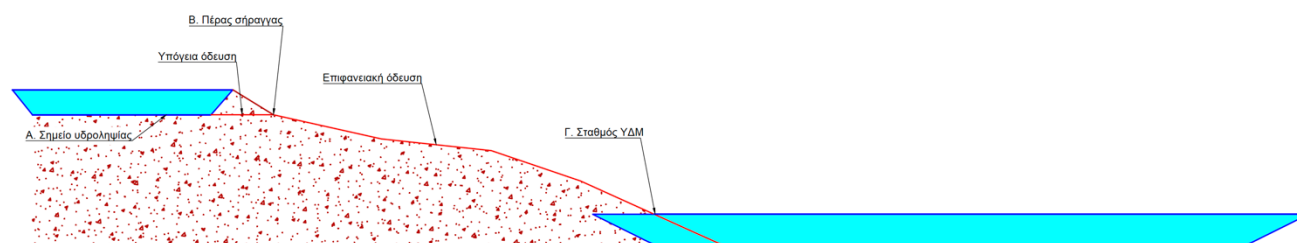
3.4.3. Όδευση σωληνώσεων

Οι αγωγοί για την προσαγωγή του νερού θα ξεκινήσουν από τον πυθμένα της άνω δεξαμενής, σε υψόμετρο 540m και θα οδεύουν υπογείως μέσω σήραγγας, με κατεύθυνση βόρεια έως να συναντήσουν το βόρειο πρανές του υψώματος επί του οποίου θα εγκατασταθεί η άνω δεξαμενή. Από το σημείο αυτό, η όδευση των αγωγών θα ακολουθήσει πορεία με κατεύθυνση βόρεια, επί του πρανούς του υψώματος. Οι κλίσεις του πρανούς είναι της τάξης του 30 – 33% από την αρχή της όδευσης των αγωγών και διατηρούνται σε όλη τη διαδρομή τους έως την κάτω δεξαμενή.

Η κατασκευή των αγωγών περιγράφεται στο σχήμα 3.4, στο οποίο παρουσιάζεται μηκοτομή της όδευσής τους. Αναλυτικά:

- Θα κατασκευαστεί σήραγγα από το σημείο Α (πυθμένας άνω δεξαμενής) έως το σημείο Β, πάνω στο πρανές του βουνού. Η σήραγγα θα έχει μήκος 220m. Σε όλο το μήκος της η σήραγγα θα έχει ύψος 2,7m, πλάτος 11m και κλίση 0°. Η διάνοιξη της σήραγγας θα γίνει από κάτω προς τα πάνω, με τη χρήση εκρηκτικών υλών, ανάλογα με το σχεδιασμό που θα προταθεί κατά τη φάση της μελέτης εφαρμογής. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί μηχάνημα σημειακής κοπής. Η υποστήριξη που προτείνεται είναι ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με τοπικές αγκυρώσεις.
- Στο υπόλοιπο τμήμα οι αγωγοί θα είναι επιφανειακοί. Το τμήμα αυτό ξεκινά από το σημείο εξόδου της σήραγγας (σημείο Β) και φτάνει μέχρι τη κάτω δεξαμενή(σημείο Γ). Έχει μήκος 1665m.

Το συνολικό μήκος των σωληνογραμμών ανέρχεται σε 1.865m.



Σχήμα 3.4: Εγκάρσια τομή όδευσης αγωγών αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού υβριδικού σταθμού.

3.4.3.1. Αγωγός πτώσης ύδατος

Η διάμετρος των σωληνώσεων θα είναι 3 x 2,54m για τη σωλήνωση πτώσης νερού, δηλαδή θα χρησιμοποιηθεί τριπλή σωλήνωση πτώσης, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ελαχιστοποίηση των υδραυλικών απωλειών ροής και η εγκατάσταση χαλύβδινων αγωγών στο μέγιστο δυνατό μήκος, όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Κατά την επιφανειακή όδευση των αγωγών θα χρειαστεί να διανοιχτεί κανάλι με ωφέλιμο πλάτος 8m και βάθος 2,7m, για την τοποθέτηση και την επιχωμάτωση των σωληνώσεων.

Ενδεικτικά, στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται φωτογραφία από την εγκατάσταση διπλών αγωγών διασύνδεσης επιφανειακά στο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό του υβριδικού σταθμού στο νησί El Hierro των Κανάριων Νήσων, το οποίο πλέον έχει ολοκληρωθεί.



Εικόνα 3.1: Εγκατάσταση επί της επιφάνειας του εδάφους των αγωγών διασύνδεσης των δεξαμενών στο υπό κατασκευή αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό στο νησί El Hierro των Κανάριων Νήσων.

Δεδομένης της μέτριας υψομετρικής διαφοράς μεταξύ άνω δεξαμενής και κάτω δεξαμενής (420m), είναι δυνατή η χρήση χαλύβδινου υλικού, καθώς υπάρχει κατάλληλο υλικό που μπορεί να φέρει τις αναπτυσσόμενες πιέσεις (5,354Μρα συμπεριλαμβανομένου και του υδραυλικού πλήγματος) για το μεγαλύτερο μέρος της όδευσης των αγωγών.

Για το λόγο αυτό επιλέγεται η εγκατάσταση χαλύβδινων αγωγών της εταιρίας «Σωληνουργία Κορίνθου», με εσωτερική βαφή από το υλικό Smaltorox – top coat της εταιρείας Smaltolin. Το προτεινόμενο υλικό είναι έτοιμο προς μίξη χρώμα δύο συστατικών χωρίς διαλύτη, το οποίο βασίζεται

σε ειδικές ρητίνες, φαινολικές και εποξειδικές. Είναι ειδικά σχεδιασμένο για βαφή μεγάλου πάχους φιλμ, μεταλλικών και τσιμεντένιων δεξαμενών και σωληνώσεων.

Οι χαλύβδινοι αγωγοί παρουσιάζουν πολύ χαμηλό συντελεστή γραμμικών απωλειών ροής $f < 0,1014$. Διατίθενται στην αγορά για ονομαστική διάμετρο 2,54m έως ονομαστική μέγιστη πίεση 6,19Mpa. Συνεπώς μπορούν να καλύψουν την εγκατάσταση έως μέγιστη ονομαστική πίεση 5,35Mpa, δηλαδή σε όλο το μήκος του αγωγού, μέχρι την κάτω δεξαμενή.

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα μήκη των τμημάτων των αγωγών διαφορετικής ονομαστικής πίεσης από τα οποία θα κατασκευαστούν οι συνδεδημένες σωληνώσεις άνω και κάτω δεξαμενής.

Πίνακας 3.1: Τμήματα αγωγών διασύνδεσης ανά κατηγορία τυποποίησης με βάση την ονομαστική πίεση.

Απόλυτα υψόμετρα άκρων αγωγού [m]	Υλικό	Μέγιστη υδροστατική πίεση [Mpa]	Ονομαστική πίεση σωλήνα [Mpa]	Μήκος σωληνογραμμής [m]	Μήκος σωλήνων [m]
540-372	Χάλυβας X80	2,794	2,832	851,31	2553,92
372-332	Χάλυβας X80	3,228	3,248	107,14	321,41
332-292	Χάλυβας X80	3,658	3,674	158,09	474,27
292-252	Χάλυβας X80	4,083	4,097	115,29	345,87
252-212	Χάλυβας X80	4,505	4,512	155,55	466,65
212-172	Χάλυβας X80	4,924	4,928	198,86	596,57
172-136	Χάλυβας X80	5,302	5,354	244,17	732,50
136-120	Χάλυβας X80	5,502	6,19	34,72	104,16
Συνολικό μήκος σωληνογραμμής και σωλήνων [m]				1865,79	5597,07

Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζεται τρισδιάστατη απεικόνιση της όδευσης των αγωγών, με διακριτό χρωματισμό ανά τμήμα αγωγού με διαφορετική ονομαστική πίεση.

Στην εγκατάσταση των αγωγών μεταφοράς νερού θα ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα για την αντιμετώπιση του υδραυλικού πλήγματος (βάνες σταδιακού ανοίγματος, βαλβίδες και εκτονωτικά πίεσης κλπ).



Σχήμα 3.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση της όδευσης των αγωγών.

3.4.3.2. Αγωγός άντλησης ύδατος

Η διάμετρος των σωληνώσεων θα είναι 1 x 2,133m για τη σωλήνωση άντλησης νερού, δηλαδή θα χρησιμοποιηθεί μονή σωλήνωση άντλησης, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ελαχιστοποίηση των υδραυλικών απωλειών ροής και η εγκατάσταση χαλύβδινων αγωγών στο μέγιστο δυνατό μήκος, όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Κατά την επιφανειακή όδευση των αγωγών θα χρειαστεί να διανοιχτεί κανάλι με ωφέλιμο πλάτος 3m και βάθος 3m, για την τοποθέτηση και την επιχωμάτωση των σωληνώσεων.

Δεδομένης της μέτριας υψομετρικής διαφοράς μεταξύ άνω δεξαμενής και κάτω δεξαμενής (420m), είναι δυνατή η χρήση χαλύβδινου υλικού, καθώς υπάρχει κατάλληλο υλικό που μπορεί να φέρει τις αναπτυσσόμενες πιέσεις (6,399Μρα συμπεριλαμβανομένου και του υδραυλικού πλήγματος) για το μεγαλύτερο μέρος της όδευσης των αγωγών.

Για το λόγο αυτό επιλέγεται η εγκατάσταση χαλύβδινων αγωγών της εταιρίας «Σωληνουργία Κορίνθου», με εσωτερική βαφή από το υλικό Smaltorox – top coat της εταιρείας Smaltolin. Το προτεινόμενο υλικό είναι έτοιμο προς μίξη χρώμα δύο συστατικών χωρίς διαλύτη, το οποίο βασίζεται

σε ειδικές ρητίνες, φαινολικές και εποξειδικές. Είναι ειδικά σχεδιασμένο για βαφή μεγάλου πάχους φιλμ, μεταλλικών και τσιμεντένιων δεξαμενών και σωληνώσεων.

Οι χαλύβδινοι αγωγοί παρουσιάζουν πολύ χαμηλό συντελεστή γραμμικών απωλειών ροής $f < 0,1014$. Διατίθενται στην αγορά για ονομαστική διάμετρο 2,133m έως ονομαστική μέγιστη πίεση 7,402Mpa. Συνεπώς μπορούν να καλύψουν την εγκατάσταση έως μέγιστη ονομαστική πίεση 6,399Mpa, δηλαδή σε όλο το μήκος του αγωγού, μέχρι την κάτω δεξαμενή.

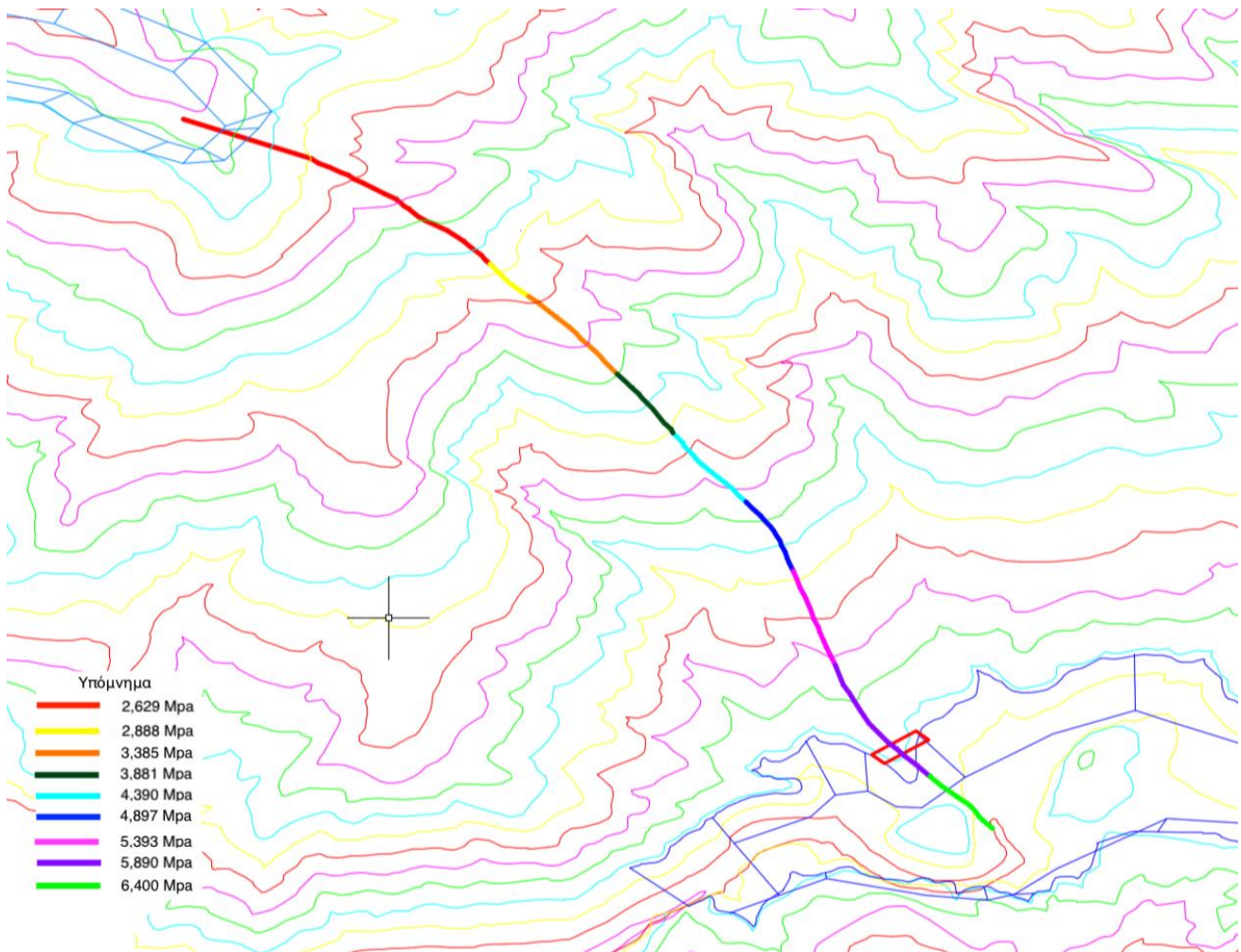
Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα μήκη των τμημάτων των αγωγών διαφορετικής ονομαστικής πίεσης από τα οποία θα κατασκευαστούν οι συνδεδημένες σωληνώσεις άνω και κάτω δεξαμενής.

Πίνακας 3.2: Τμήματα αγωγών διασύνδεσης ανά κατηγορία τυποποίησης με βάση την ονομαστική πίεση.

Απόλυτα υψόμετρα άκρων αγωγού (m)	Υλικό	Μέγιστη υδροστατική πίεση [Mpa]	Ονομαστική πίεση σωλήνα [Mpa]	Μήκος σωληνογραμμής [m]	Μήκος σωλήνων [m]
540-448	Χάλυβας X80	2,600	2,629	538,77	538,77
448-424	Χάλυβας X80	2,876	2,888	79,14	79,14
424-380	Χάλυβας X80	3,378	3,385	200,38	200,38
380-336	Χάλυβας X80	3,870	3,881	129,38	129,38
336-292	Χάλυβας X80	4,357	4,390	168,12	168,12
292-244	Χάλυβας X80	4,876	4,897	140,29	140,29
244-196	Χάλυβας X80	5,389	5,393	199,82	199,82
196-152	Χάλυβας X80	5,858	5,890	273,29	273,29
152-120	Χάλυβας X80	6,207	6,400	136,50	136,50
Συνολικό μήκος σωληνογραμμής και σωλήνων [m]				1.865,69	1.865,69

Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται η τρισδιάστατη απεικόνιση της όδευσης των αγωγών, με διακριτό χρωματισμό ανά τμήμα αγωγού με διαφορετική ονομαστική πίεση.

Στην εγκατάσταση των αγωγών μεταφοράς νερού θα ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα για την αντιμετώπιση του υδραυλικού πλήγματος (βάνες σταδιακού ανοίγματος, βαλβίδες και εκτονωτικά πίεσης κλπ).



Σχήμα 3.6: Τρισδιάστατη απεικόνιση της όδευσης των αγωγών.

3.4.4. Άνω δεξαμενή

Η θέση κατασκευής της άνω δεξαμενής θα γίνει επί του όρους «Αστερούσια», που βρίσκεται νότια της Κρήτης. Υψομετρικά η ευρύτερη περιοχή εκτείνεται μεταξύ 560m και 620m. Αναλυτικά στοιχεία σχετικά με τη θέση κατασκευής της άνω δεξαμενής παρουσιάζονται στο Μέρος 2.

3.4.4.1. Κατασκευαστικά στοιχεία άνω δεξαμενής

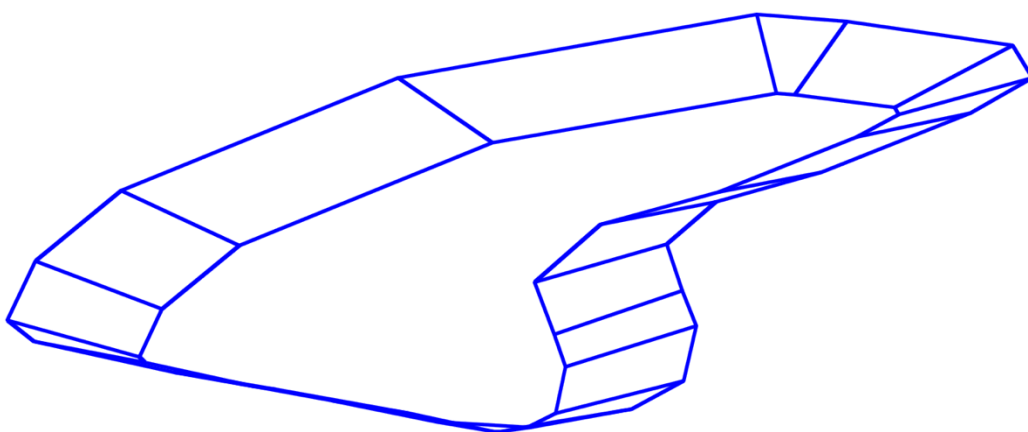
Η άνω δεξαμενή του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού θα κατασκευαστεί επί του όρους «Αστερούσια», με μέγιστο απόλυτο υψόμετρο στα 628m.

Η άνω δεξαμενή θα ακολουθήσει το σχήμα της ισοΰσους των 560m, επί της οποίας θα βρίσκεται η ελεύθερη στάθμη της επιφάνειας του νερού όταν η δεξαμενή θα είναι γεμάτη. Η άνω επιφάνεια, σύμφωνα με τη διαθέσιμη έκταση και την εν γένει μορφολογία της θέσης εγκατάστασης, έχει συνολικό εμβαδό περίπου 197.812 m².

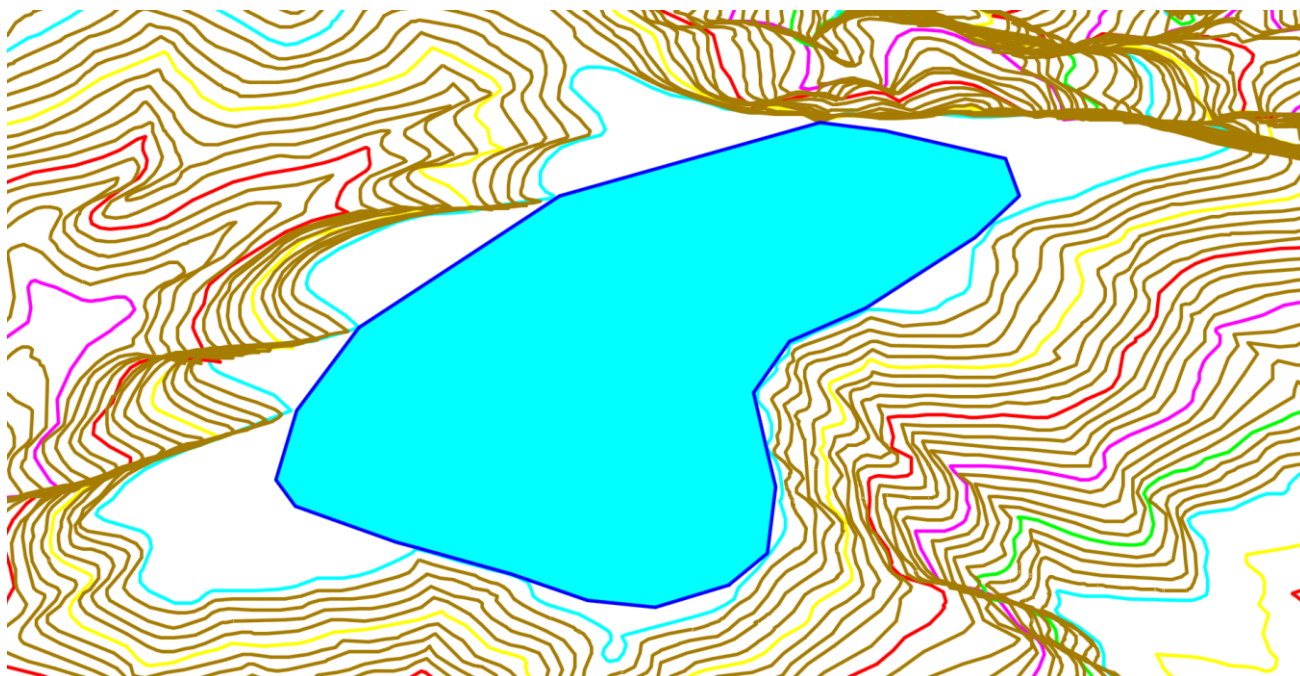
Τα εσωτερικά πρανή της δεξαμενής θα κατασκευαστούν με κλίση 1:3 (18ο ως προς το οριζόντιο επίπεδο). Το μέγιστο βάθος της δεξαμενής θα ανέρχεται σε 20m από την ελεύθερη μέγιστη

στάθμη της δεξαμενής, δηλαδή ο πυθμένας της δεξαμενής στα χαμηλότερα επίπεδα θα βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 540m. Οι διαστάσεις αυτές έχουν προκύψει με βάση τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και την απαίτηση για την κατασκευή δεξαμενής με κατά το δυνατόν μέγιστη χωρητικότητα, και οπωσδήποτε μεγαλύτερη του 2.000.000m³, λαμβάνοντας υπόψη την υψομετρική διαφορά με το επίπεδο της κάτω δεξαμενής και την απαίτηση για εγγυημένη ισχύ.

Στα σχήματα 3.7 και 3.8 παρουσιάζεται τρισδιάστατη απεικόνιση της άνω δεξαμενής.



Σχήμα 3.7: Ψηφιοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση της γεωμετρίας της άνω δεξαμενής.



Σχήμα 3.8: Ψηφιοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση της άνω δεξαμενής με διάκριση της ελεύθερης επιφάνειας νερού και του περιφερειακού αναχώματος επί του ψηφιοποιημένου ανάγλυφου της θέσης εγκατάστασης.

Είναι προφανές ότι η διαμόρφωση της λιμνοδεξαμενής θα προσεγγιστεί εξ ολοκλήρου με εκσκαφές. Δεν απαιτείται η κατασκευή κάποιου φράγματος. Δεν αναμένεται να προκύψουν ιδιαίτερες

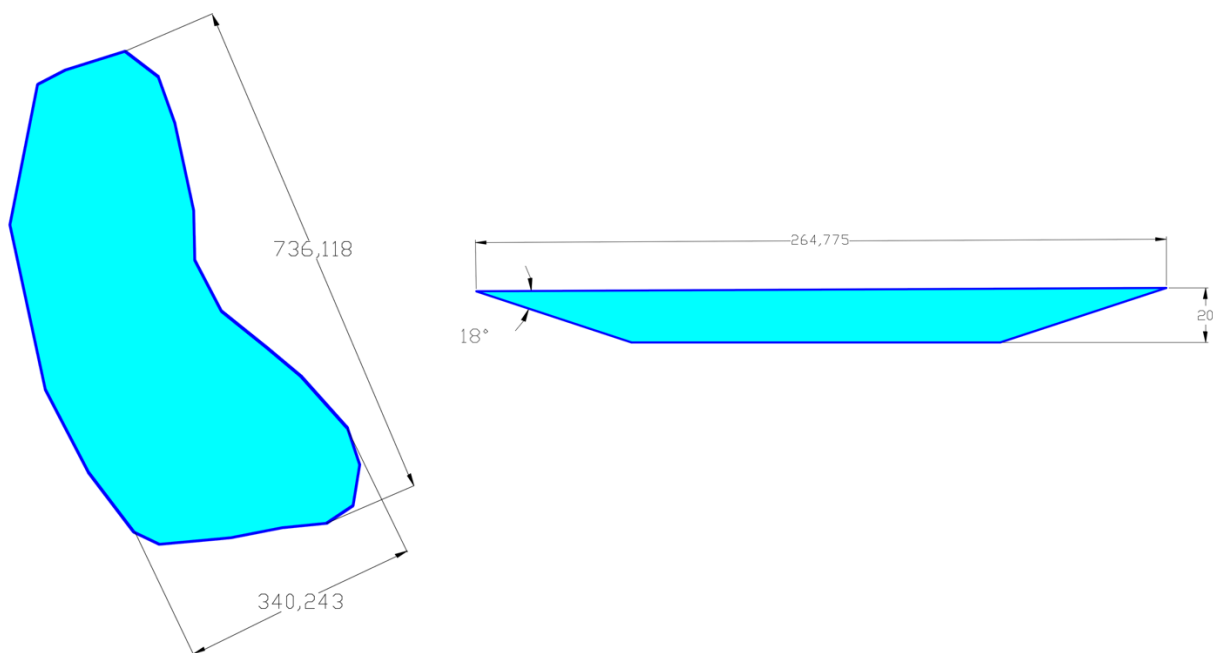
δυσκολίες κατά τις εργασίες εκσκαφής, δεδομένης της αποσάθρωσης και της καρστικοποίησης των απαντούμενων ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Ο όγκος εκσκαφών άνωθεν της ισοϋψούς των 560 m και έως την ισοϋψή των 628m υπολογίζεται 7.490.788m³. Ο συνολικός όγκος εκσκαφών για τη διαμόρφωση της λεκάνης της άνω δεξαμενής υπολογίζεται 2.851.868m³. Αυτός ο όγκος είναι και η χωρητικότητα της δεξαμενής. Ο συνολικός όγκος εκσκαφών υπολογίζεται 10.342.656m³.

Η υδροληψία από την πάνω δεξαμενή θα γίνεται από το υψόμετρο των 542m. Ο όγκος νερού που περιέχεται μεταξύ των ισοϋψών των 542m και 540m υπολογίζεται 183.000m³. Συνεπώς, η ωφέλιμη χωρητικότητα της άνω δεξαμενής προκύπτει 2.833.568m³.

Τέλος, περίξ του άνω χείλους της δεξαμενής θα διαμορφωθεί ανάχωμα ύψους 1m, με κλίση πρανών 1:3 και πλάτους στο ανώτερο επίπεδο 10m. Το ανάχωμα αυτό, που θα κατασκευαστεί από τα προϊόντα εκσκαφής, έχει ως σκοπό να παρέχει ένα επίπεδο ανώτερου υψομέτρου (κατά 1m) από τη στάθμη της άνω επιφάνειας της δεξαμενής για λόγους ασφαλείας. Επιπλέον επί του ανωτέρω επιπέδου του αναχώματος θα δημιουργηθεί περιφερειακή οδοποιία της άνω δεξαμενής, ωφέλιμου πλάτους 8m. Για τη δημιουργία του αναχώματος υπολογίζεται ότι θα απαιτηθεί η τοποθέτηση περίπου 20.000m³ υλικών εκσκαφής. Τα ανωτέρω στοιχεία συνοψίζονται στον πίνακα 3.3.

<i>Πίνακας 3.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά λιμνοδεξαμενής του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού</i>	
Συνολικός όγκος λιμνοδεξαμενής [m ³]	2.851.868
Ενεργή χωρητικότητα λιμνοδεξαμενής [m ³]	2.833.568
Ελάχιστος όγκος νερού στη λιμνοδεξαμενή [m ³]	183.000
Εμβαδό επιφάνειας λιμνοδεξαμενής [m ²]	197.812
Εμβαδό πυθμένα λιμνοδεξαμενής [m ²]	91.500
Απόλυτο υψόμετρο άνω χείλους δεξαμενής [m]	560
Απόλυτο υψόμετρο πυθμένα δεξαμενής [m]	540
Μέγιστο βάθος λιμνοδεξαμενής [m]	20
Κλίση πρανών λιμνοδεξαμενής ως προς οριζόντιο επίπεδο [°]	18
Συνολικός όγκος εκσκαφών [m ³]	10.342.656
Μήκος χείλους δεξαμενής [m]	1928,26

Στο σχήμα 3.9 παρουσιάζεται σκαρίφημα τριών βασικών όψεων της δεξαμενής με κάποιες βασικές διαστάσεις.

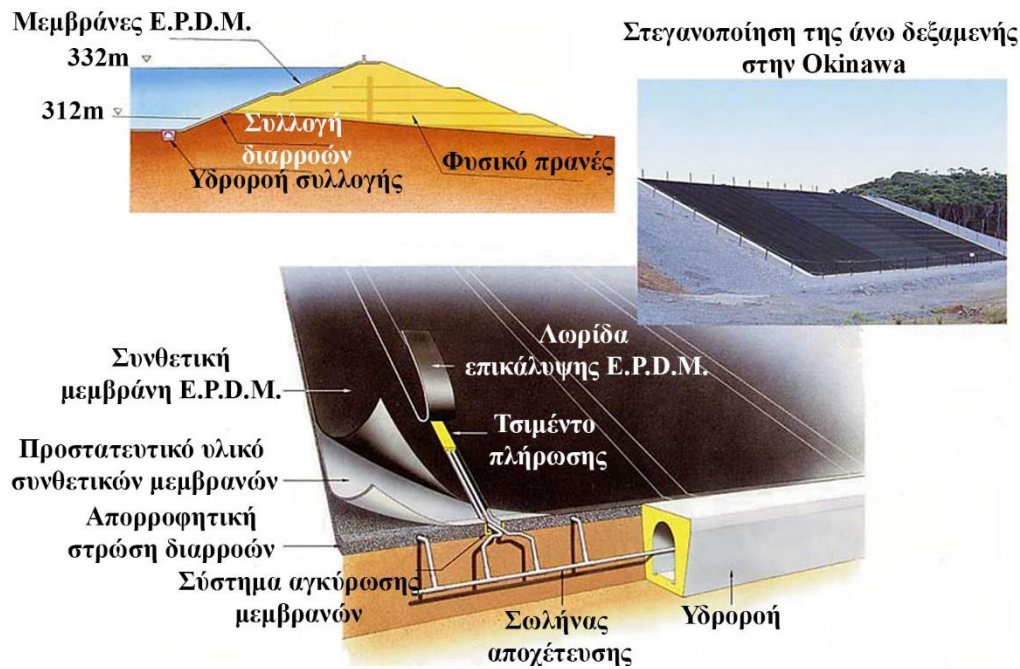


Σχήμα 3.9: Σκαρίφημα βασικών όψεων της άνω δεξαμενής. Οι distάσεις μήκους είναι σε m.

Ιδιαίτερα σημαντική για την ασφαλή λειτουργία του έργου είναι η στεγανοποίηση των πρανών και του πυθμένα της δεξαμενής, η οποία καλείται να αποτρέψει τη διαρροή θαλασσινού νερού προς το υπέδαφος, προκειμένου να εξαλείψει τις οποιοσδήποτε αρνητικές επιπτώσεις από τη λειτουργία του έργου στο περιβάλλον. Για το θέμα αυτό ιδιαίτερα σημαντική είναι η κατασκευή και η λειτουργία του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού στο νησί Okinawa της Ιαπωνίας, από το οποίο μπορούν να αντληθούν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα βέλτιστα υλικά και τις τεχνικές στεγανοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν.

Από τα πειράματα και τις δοκιμαστικές λειτουργίες που προηγήθηκαν της κατασκευής του ανωτέρω έργου, αποδείχθηκε ότι οι συνθετικές μεμβράνες E.P.D.M. (ethylene propylene diene monomers) παρουσιάζουν καλύτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με τις ασφαλικές μεμβράνες ή τις μεμβράνες PVC υψηλής ελαστικότητας, όσον αφορά την ανθεκτικότητά τους σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση, σε μόνιμη φόρτιση και στην κόπωση. Η στεγανοποίηση της άνω δεξαμενής εξασφαλίζεται συνεπώς με τη χρήση αδιαπέραστων μεμβρανών E.P.D.M.

Στην περίπτωση που προκύψει διαρροή νερού προς το υπέδαφος, τότε με τη βοήθεια ενός αποχετευτικού συστήματος, το νερό συλλέγεται και επαναδιατίθεται στην άνω δεξαμενή. Το αποχετευτικό σύστημα αποτελείται από ένα στρώμα αφρώδους απορροφητικού υλικού, το οποίο απορροφά τις διαρροές και τις οδηγεί σε αποχετευτικούς σωλήνες (σχήμα 3.10).



Σχήμα 3.10: Τεχνική στεγανοποίησης της άνω δεξαμενής.

Τα πρανή της δεξαμενής και ο πυθμένας της δεξαμενής θα συμπιεστούν και θα ληφθούν δείγματα προς έλεγχο της σκληρότητας και της στεγανότητάς τους. Το συνολικό πάχος της τελικής στρώσης από τα προϊόντα εκσκαφής θα είναι τουλάχιστον 50cm. Προκειμένου να προστατευτεί η στρώση των συνθετικών μεμβρανών από πιθανές διατρήσεις που μπορεί να προκύψουν από την επαφή της με τη στρώση των προϊόντων εκσκαφής, θα τοποθετηθεί ένα στρώμα από μπεντονίτη πάχους τουλάχιστον 40cm, το οποίο, πέραν της προστασίας στις συνθετικές μεμβράνες της δεξαμενής, θα λειτουργήσει επίσης ως ένα επιπλέον στρώμα υδρομόνωσης.

Η στεγάνωση της δεξαμενής θα γίνει από ένα αριθμό φύλλων συνθετικών μεμβρανών, κάθε μία από τις οποίες θα έχει το δικό της σωλήνα συλλογής διαρροών. Με τον τρόπο αυτό είναι εύκολο να εντοπιστεί από ποια μεμβράνη προέρχεται κάποια διαρροή. Όλες οι διαρροές συλλέγονται σε μία υδροροή, από την οποία αντλούνται τελικά και επαναποθηκεύονται στην άνω δεξαμενή.

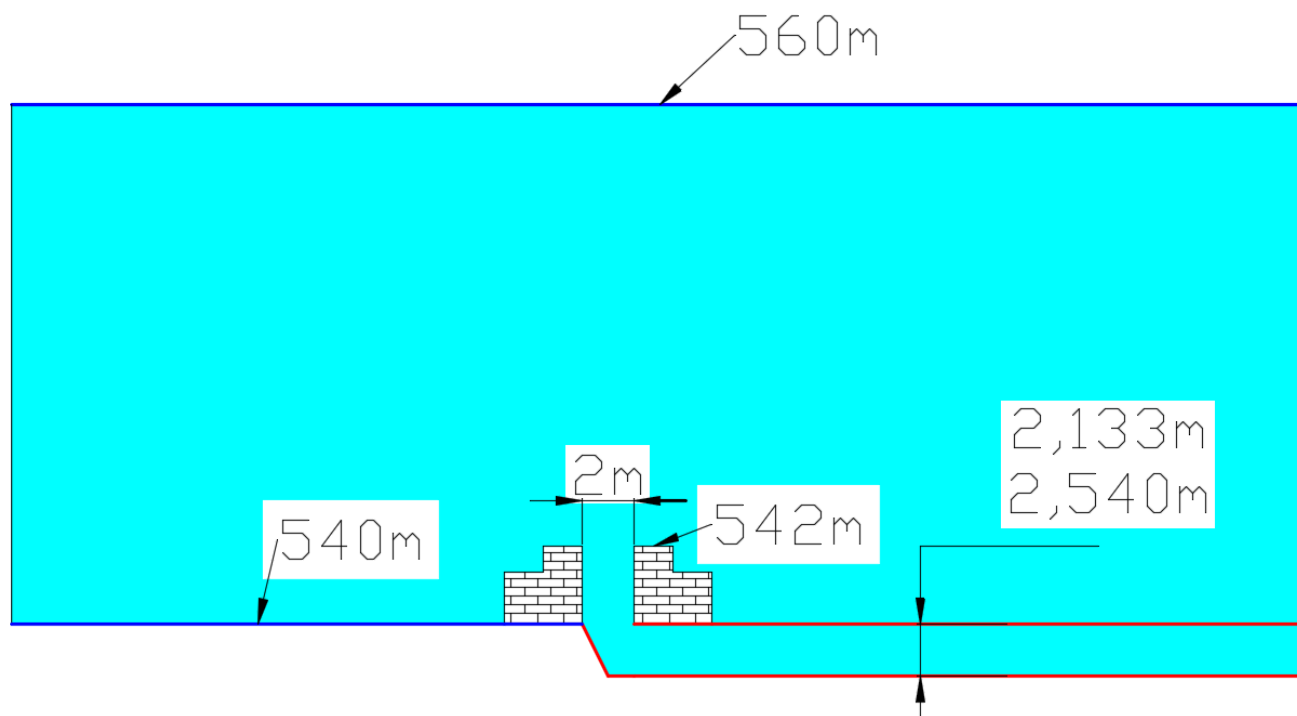
Οι συνθετικές μεμβράνες αγκυρώνονται στα άκρα τους από ράβδους τσιμέντου και συγκολλούνται από ειδική κόλλα ελαστικών. Δύο συνθετικές μεμβράνες υπερκαλύπτουν η μία το άκρο της άλλης κατά 20cm. Οι εκτεθειμένες ενώσεις προστατεύονται επιπλέον από μία ακόμα λωρίδα μεμβράνης.

Με βάση πειράματα έκθεσης των συνθετικών μεμβρανών σε υπεριώδη ακτινοβολία, η διάρκεια ζωής της στεγανοποίησης της άνω δεξαμενής αναμένεται να είναι τουλάχιστον 20 έτη.

Η υδροληψία από την άνω δεξαμενή θα γίνεται από ένα πυργίσκο που θα εγκατασταθεί στον πυθμένα της. Ο πυργίσκος θα φέρει φίλτρο για το φιλτράρισμα του νερού. Το ύψος υδροληψίας θα τεθεί ίσο με 2m από την κατώτερη στάθμη του πυθμένα της δεξαμενής, που εξασφαλίζει ότι το ελάχιστο βάθος νερού στη δεξαμενή δεν μπορεί να κατέβει κάτω από αυτή τη στάθμη. Ο ελάχιστος

όγκος νερού που θα παραμένει πάντα στη δεξαμενή υπολογίζεται ίσως με 183.000m^3 . Το πλάτος υδροληψίας θα ξεκινάει από τα 3m στο ανώτατο σημείο του πυργίσκου και θα φτάνει έως το 2m στον πυθμένα της δεξαμενής. Οι σωληνώσεις προσαγωγής του νερού από την άνω δεξαμενή προς τον υδροηλεκτρικό σταθμό θα εγκιβωτιστούν εντός του πυργίσκου.

Τα ανωτέρω παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα 3.11.



Σχήμα 3.11: Πυργίσκος υδροληψίας από την άνω δεξαμενή

3.4.5. Κάτω δεξαμενή

Η θέση κατασκευής της κάτω δεξαμενής θα γίνει επί της κοίτης του ποταμού «Αναποδάρης», που βρίσκεται, βόρεια του όρους «Αστερούσια». Υψομετρικά η ευρύτερη περιοχή εκτείνεται μεταξύ 120m και 160m. Αναλυτικά στοιχεία σχετικά με τη θέση κατασκευής της κάτω δεξαμενής παρουσιάζονται στο Μέρος 2.

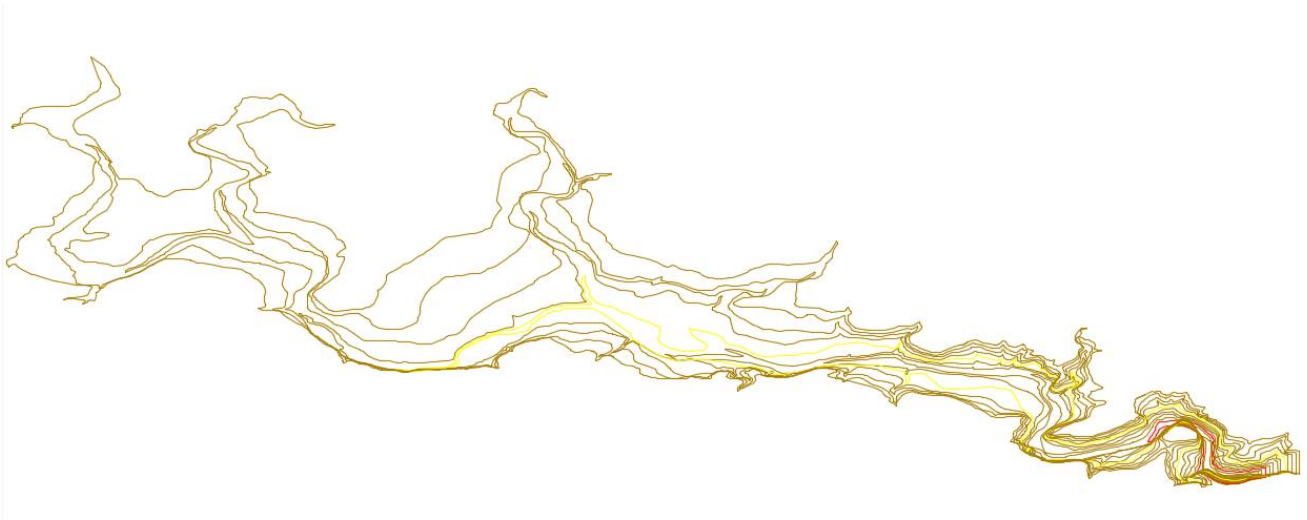
3.4.5.1. Κατασκευαστικά στοιχεία κάτω δεξαμενής

Η κάτω δεξαμενή του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού θα κατασκευαστεί επί της κοίτης του ποταμού «Αναποδάρης». Η άνω δεξαμενή θα ακολουθήσει το σχήμα της ισοϋψούς των 156m, η ελεύθερη στάθμη της επιφάνειας του νερού όταν η δεξαμενή θα είναι γεμάτη θα είναι στα 154m. Η άνω επιφάνεια, σύμφωνα με τη διαθέσιμη έκταση και την εν γένει μορφολογία της θέσης εγκατάστασης, έχει συνολικό εμβαδό περίπου $2.304.800\text{m}^2$.

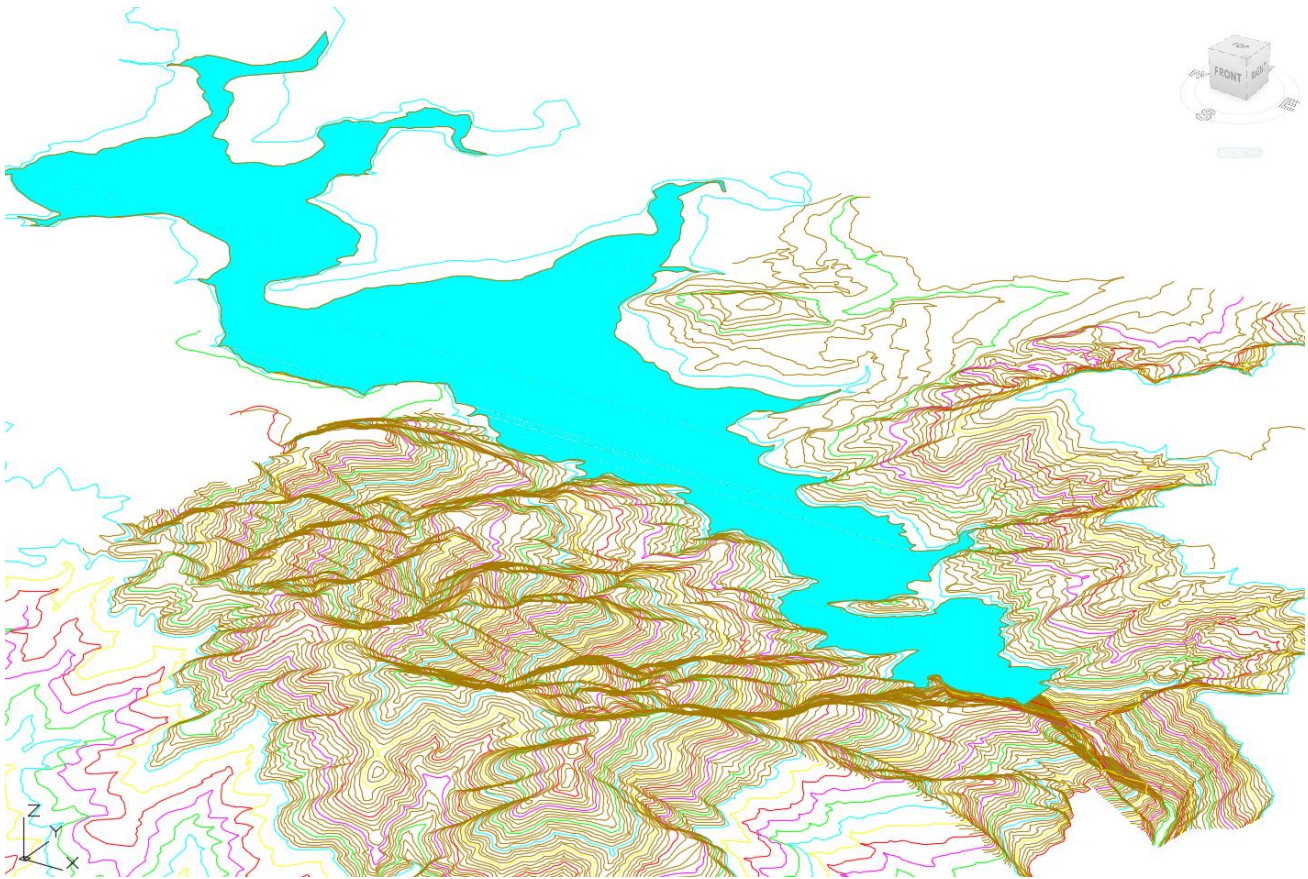
Τα εσωτερικά πρανή της δεξαμενής θα κατασκευαστούν με κλίση 1:3 (18ο ως προς το οριζόντιο επίπεδο). Το μέγιστο βάθος της δεξαμενής θα ανέρχεται σε 36m από την ελεύθερη μέγιστη

στάθμη της δεξαμενής, δηλαδή ο πυθμένας της δεξαμενής στα χαμηλότερα επίπεδα θα βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 120m. Οι διαστάσεις αυτές έχουν προκύψει με βάση τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και την απαίτηση για την κατασκευή δεξαμενής με κατά το δυνατόν μέγιστη χωρητικότητα και οπωσδήποτε μεγαλύτερη του $2.833.568\text{m}^3$, λαμβάνοντας υπόψη την υψομετρική διαφορά με το επίπεδο της κάτω δεξαμενής και την απαίτηση για εγγυημένη ισχύ.

Στα σχήματα 3.12 και 3.13 παρουσιάζεται τρισδιάστατη απεικόνιση της κάτω δεξαμενής.



Σχήμα 3.12: Ψηφιοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση της γεωμετρίας της κάτω δεξαμενής.



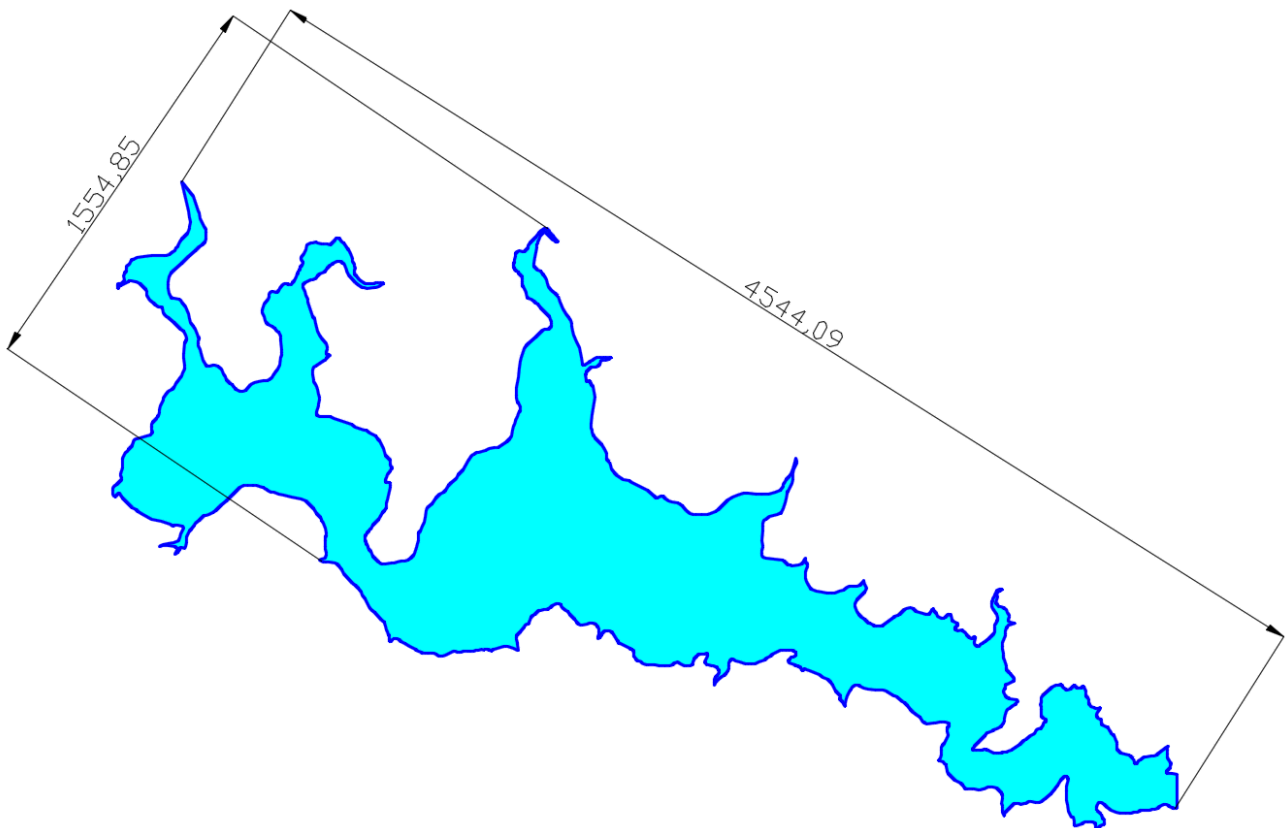
Σχήμα 3.13: Ψηφιοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση της άνω δεξαμενής με διάκριση της ελεύθερης επιφάνειας νερού και του περιφερειακού αναχώματος επί του ψηφιοποιημένου ανάγλυφου της θέσης εγκατάστασης.

Είναι προφανές ότι η λιμνοδεξαμενή είναι η υφιστάμενη κύπη του ποταμού . Για την συλλογή του νερού θα κατασκευαστεί ένα φράγμα βαρύτητας. Δεν αναμένεται να προκύψουν ιδιαίτερες δυσκολίες κατά τις εργασίες εκσκαφής, δεδομένης της αποσάθρωσης και της καρστικοποίησης των απαντούμενων ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Δεν χρειάζονται εκσκαφές για τη διαμόρφωση της δεξαμενής, μιας και το υπάρχον ανάγλυφο είναι αρκετό για τον ωφέλιμο όγκο νερού της δεξαμενής. Η χωρητικότητα της δεξαμενής υπολογίζεται στα $22.085.319\text{m}^3$. Η υδροληψία από την κάτω δεξαμενή θα γίνεται από το υψόμετρο των 122m. Ο όγκος νερού που περιέχεται μεταξύ των ισοϋψών των 122m και 104m υπολογίζεται 186.020m^3 . Συνεπώς, η ωφέλιμη χωρητικότητα της άνω δεξαμενής προκύπτει ότι θα είναι $21.899.299\text{m}^3$.

Τέλος, πέριξ του άνω χείλους της δεξαμενής θα διαμορφωθεί ανάχωμα ύψους 1m, με κλίση πρανών 1:3 και πλάτους στο ανώτερο επίπεδο 10m. Το ανάχωμα αυτό, που θα κατασκευαστεί από τα προϊόντα εκσκαφής, έχει ως σκοπό να παρέχει ένα επίπεδο ανώτερου υψομέτρου (κατά 1m) από τη στάθμη της άνω επιφάνειας της δεξαμενής για λόγους ασφαλείας. Για τη δημιουργία του αναχώματος υπολογίζεται ότι θα απαιτηθεί η τοποθέτηση περίπου 80.000m^3 υλικών εκσκαφής. Τα ανωτέρω στοιχεία συνοψίζονται στον πίνακα 3.4.

<i>Πίνακας 3.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά λιμνοδεξαμενής του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού</i>	
Συνολικός όγκος λιμνοδεξαμενής [m ³]	22.085.319
Ενεργή χωρητικότητα λιμνοδεξαμενής [m ³]	21.899.299
Ελάχιστος όγκος νερού στη λιμνοδεξαμενή [m ³]	186.020
Εμβαδό επιφάνειας λιμνοδεξαμενής [m ²]	2.304.800
Εμβαδό πυθμένα λιμνοδεξαμενής [m ²]	5.472
Απόλυτο υψόμετρο άνω χείλους δεξαμενής [m]	156
Απόλυτο υψόμετρο πυθμένα δεξαμενής [m]	104
Μέγιστο βάθος λιμνοδεξαμενής [m]	52
Κλίση πρανών λιμνοδεξαμενής ως προς οριζόντιο επίπεδο [°]	18
Συνολικός όγκος εκσκαφών [m ³]	656.400
Μήκος χείλους δεξαμενής [m]	20.818

Στο σχήμα 3.14 παρουσιάζεται σκαρίφημα δυο βασικών όψεων της δεξαμενής με κάποιες βασικές διαστάσεις.

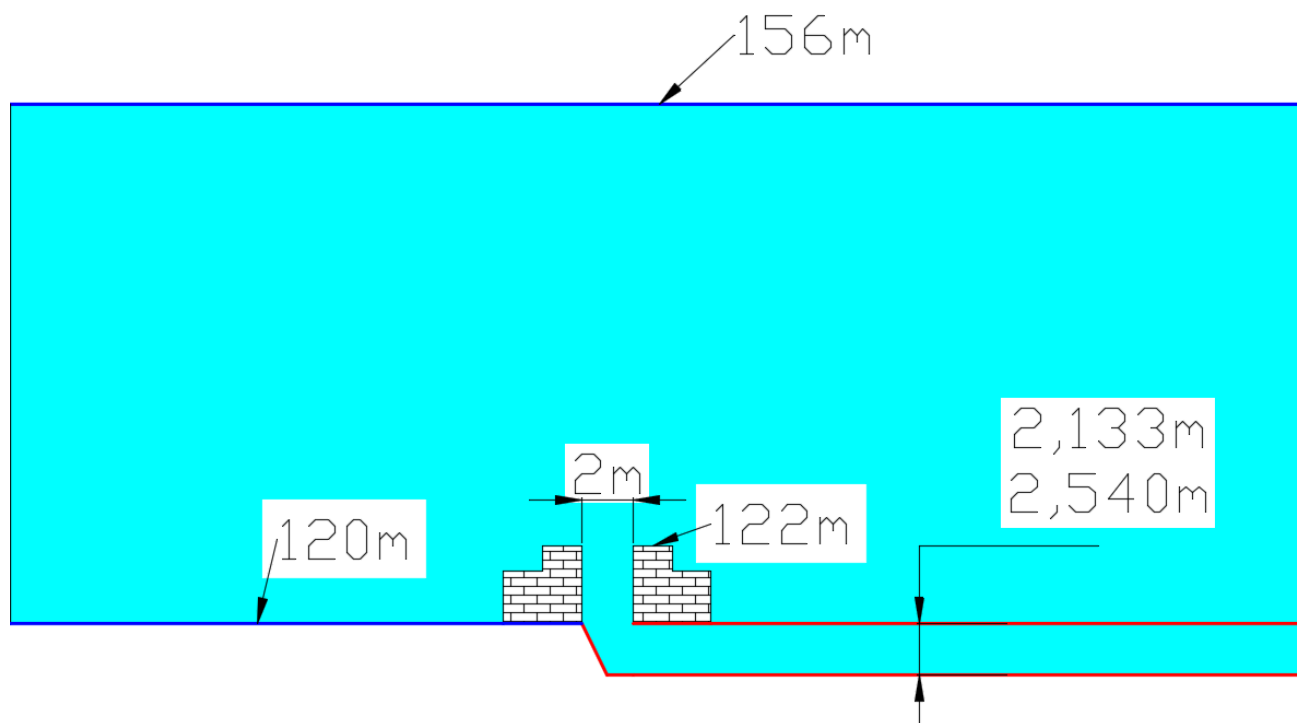


Σχήμα 3.14: Σκαρίφημα βασικών όψεων της κάτω δεξαμενής. Οι διαστάσεις μήκους είναι σε m.

Η υδροληψία από την κάτω δεξαμενή θα γίνεται από ένα πυργίσκο που θα εγκατασταθεί στον πυθμένα της. Ο πυργίσκος θα φέρει φίλτρο για το φιλτράρισμα του νερού. Το ύψος υδροληψίας θα τεθεί ίσο με 2m από την κατώτερη στάθμη του πυθμένα της δεξαμενής, που εξασφαλίζει ότι το ελάχιστο βάθος νερού στη δεξαμενή δεν μπορεί να κατέβει κάτω από αυτή τη στάθμη. Ο ελάχιστος όγκος νερού που θα παραμένει πάντα στη δεξαμενή υπολογίζεται ίσος με 186.020m³. Το πλάτος υδροληψίας θα ξεκινάει από τα 3m στο ανώτατο σημείο του πυργίσκου και θα φτάνει έως το 2m στον

πυθμένα της δεξαμενής. Οι σωληνώσεις προσαγωγής του νερού από την άνω δεξαμενή προς τον υδροηλεκτρικό σταθμό θα εγκιβωτιστούν εντός του πυργίσκου.

Τα ανωτέρω παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα 3.15.



Σχήμα 3.15: Πυργίσκος υδροληψίας από την κάτω δεξαμενή

3.4.6. Φράγμα

Για την συλλογή των υδάτων θα κατασκευαστεί ένα φράγμα βαρύτητας, 2,510 km ανατολικά του οικισμού Δεμάτι, σε υψόμετρο 156m. Ο πυρήνας του φράγματος θα έχει όγκο 50.872m^3 και θα κατασκευαστεί από τις εκχωματώσεις της άνω δεξαμενής. Τα εσωτερικά πρανή του φράγματος θα κατασκευαστούν με κλίση 1:3 (18° ως προς το οριζόντιο επίπεδο), όγκος του εσωτερικού πρανούς θα είναι 246.813m^3 . Τα εξωτερικά πρανή του φράγματος θα κατασκευαστούν με κλίση 1:2 (26° ως προς το οριζόντιο επίπεδο), όγκος του εξωτερικού πρανούς θα είναι 202.299m^3 . Ο συνολικός όγκος του φράγματος ανέρχεται στα 499.984m^3 . Στη στέγη του φράγματος θα δημιουργηθεί οδοποιία μήκους 134m και ωφέλιμου πλάτους 12m.

Στο σχήμα 3.16 παρουσιάζεται μέρος του ποταμού «Αναποδάρη» στο σημείο που θα κατασκευαστεί το φράγμα βαρύτητας.



Σχήμα 3.16: Το φράγμα βαρύτητας στον ποταμό «Αναποδάρη».

3.4.7. Αντλιοστάσιο – Υδροηλεκτρικός σταθμός

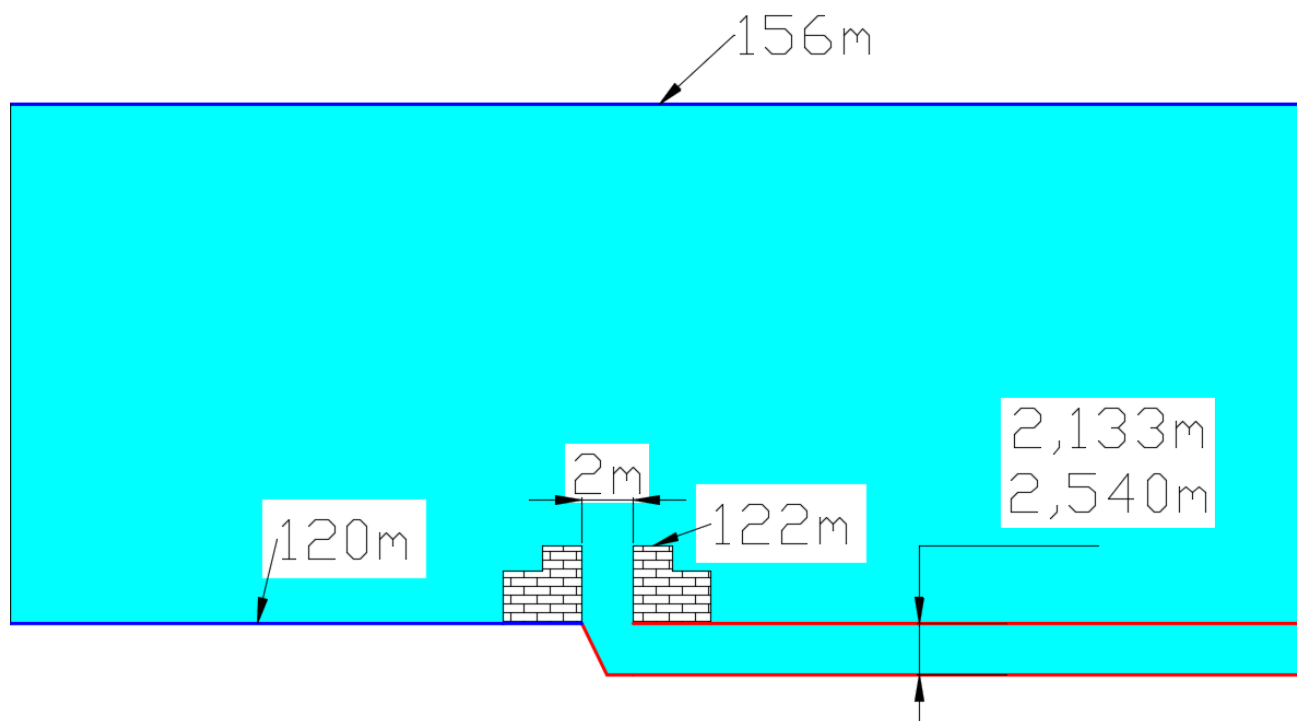
Το αντλιοστάσιο και ο ΥΗΣ θα εγκατασταθούν στους πρόποδες του όρους «Αστερούσια» σε απόσταση 2km του οικισμού «Δεμάτι» και σε απόσταση περίπου 1,5km βόρεια από τη θέση εγκατάστασης της άνω δεξαμενής. Η ακριβής θέση των κτηρίων του αντλιοστασίου και του ΥΗΣ έχει παρουσιαστεί στο Μέρος 2. Η συνολική έκταση που θα καταλάβουν οι εγκαταστάσεις του ΥΗΣ και του αντλιοστασίου εκτιμάται στα 10.000 m².

3.4.7.1. Αντλιοστάσιο

Το αντλιοστάσιο θα στεγαστεί σε ένα μονώροφο κτήριο, του οποίου η στάθμη δαπέδου θα βρίσκεται κάτω από τον πυθμένα της δεξαμενής. Το νερό θα προσάγεται εντός του αντλιοστασίου με ένα χαλυβδινό αγωγό, ονομαστικής διαμέτρου 2,133m. Η υδροληψία από την κάτω δεξαμενή θα γίνεται από ένα πυργίσκο που θα εγκατασταθεί στον πυθμένα της. Ο πυργίσκος θα φέρει φίλτρο για το φιλτράρισμα του νερού. Το ύψος υδροληψίας θα τεθεί ίσο με 2m από την κατώτερη στάθμη του πυθμένα της δεξαμενής, που εξασφαλίζει ότι το ελάχιστο βάθος νερού στη δεξαμενή δεν μπορεί να κατέβει κάτω από αυτή τη στάθμη. Ο ελάχιστος όγκος νερού που θα παραμένει πάντα στη δεξαμενή ισούται με 186.020m³. Το πλάτος υδροληψίας θα ξεκινάει από τα 3m στο ανώτατο σημείο του

πυργίσκου και θα φτάνει έως το 2m στον πυθμένα της δεξαμενής. Οι σωληνώσεις προσαγωγής του νερού από την κάτω δεξαμενή προς το αντλιοστάσιο θα εγκιβωτιστούν εντός του πυργίσκου.

Τα ανωτέρω παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα 3.17.



Σχήμα 3.17: Πυργίσκος υδροληψίας από την κάτω δεξαμενή

Ο αγωγός αναρρόφησης και σε βάθος 0,80 – 1,00m κάτω από το πυθμένα της δεξαμενής, θα καταλήξει τελικά στο αντλιοστάσιο.

Το επίπεδο του αγωγού προσαγωγής στο αντλιοστάσιο θα πρέπει να βρίσκεται κάτω από τον πυθμένα της κάτω δεξαμενής. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι στην είσοδο του αντλιοστασίου θα υπάρχει φυσική παροχή από τον αγωγό προσαγωγής ίση με τη συνολική απαιτούμενη παροχή των αντλιών, υπολογίζεται το επίπεδο του αγωγού προσαγωγής στο αντλιοστάσιο να μην είναι χαμηλότερο του -1,0m από το επίπεδο του πυθμένα της κάτω δεξαμενής. Στον υπολογισμό αυτό καταλήγουμε με χρήση της αρχής Bernoulli και της σχέσης των Darcy – Weisbach λαμβάνοντας υπόψη τα κάτωθι δεδομένα:

- την απαιτούμενη συνολική παροχή $6,42\text{m}^3/\text{sec}$ (ονομαστική συνολική παροχή αντλιών) στην έξοδο του αγωγού προσαγωγής προς το κανάλι αναρρόφησης του αντλιοστασίου
- το μήκος του αγωγού προσαγωγής 200m
- το συντελεστή απωλειών τριβής για χαλύβδινους αγωγούς 0,1014
- την διάμετρο του αγωγού προσαγωγής 2,133m.

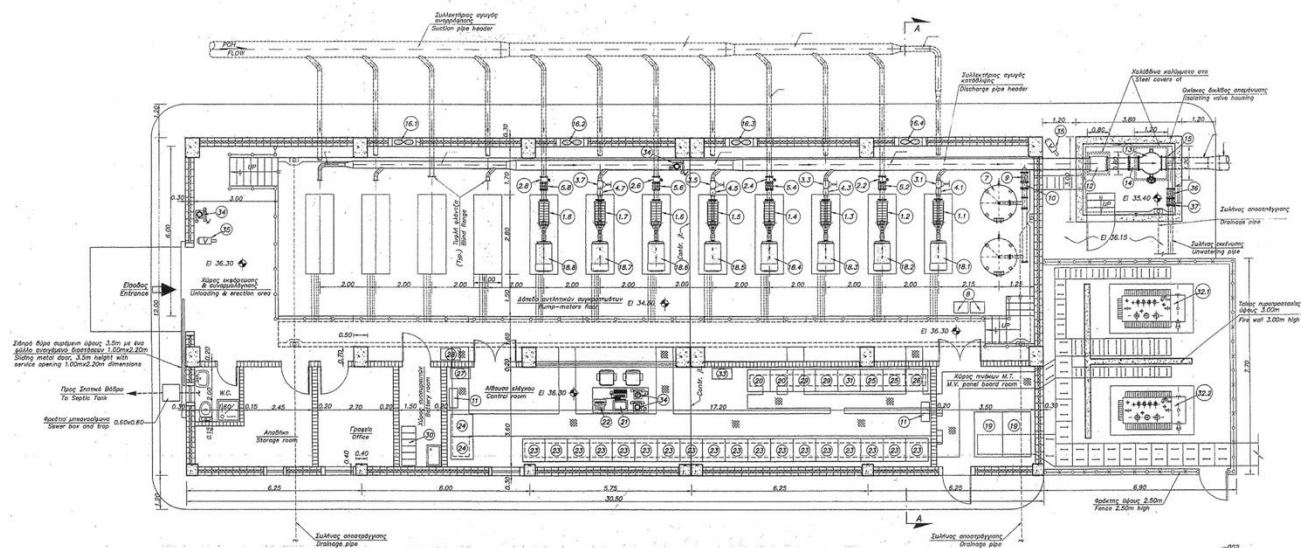
Έχοντας υπολογίσει το επίπεδο αναρρόφησης του αντλιοστασίου στο -1,0m από το πυθμένα της κάτω δεξαμενής, εξασφαλίζεται διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης των αντλιών ($NPSH_{av}$) μεγαλύτερο των 10m, το οποίο είναι ικανό για να εξασφαλίσει την ασφαλή λειτουργία των αντλιών έναντι σπηλαιώσης.

Το κτήριο αντλιοστασίου θα κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα (φέρων οργανισμός) και πέτρα (τοιχοποιία), προκειμένου να ενσωματωθεί οπτικά στο περιβάλλον της θέσης εγκατάστασης. Η αρχιτεκτονική του κτηρίου θα συνάδει με την εν γένει αρχιτεκτονική του νησιού.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, το επίπεδο του αγωγού προσαγωγής επιλέγεται να είναι -1,0m από το πυθμένα της δεξαμενής. Το επίπεδο δαπέδου του αντλιοστασίου εκτιμάται στα 117m. Το αντλιοστάσιο θα έχει διαστάσεις 15x30m και ύψος 6,0m

Προκειμένου να διαμορφωθεί ο κατάλληλος χώρος για την εγκατάσταση του αντλιοστασίου εκτιμάται ότι θα απαιτηθούν εκσκαφές όγκου 20.000m³.

Στο σχήμα 3.18 παρουσιάζεται κάτοψη του υδραυλικού δικτύου με ενδεικτική συνδεσμολογία για το αντλιοστάσιο. Η ακριβής ηλεκτρομηχανολογική μελέτη εγκατάστασης του αντλιοστασίου θα εκπονηθεί κατά τη διαδικασία έκδοσης της άδειας εγκατάστασης του υβριδικού σταθμού.



Σχήμα 3.18: Κάτοψη αντλιοστασίου, ενδεικτικό υδραυλικό δίκτυο.

3.4.7.2. Υδροηλεκτρικός σταθμός

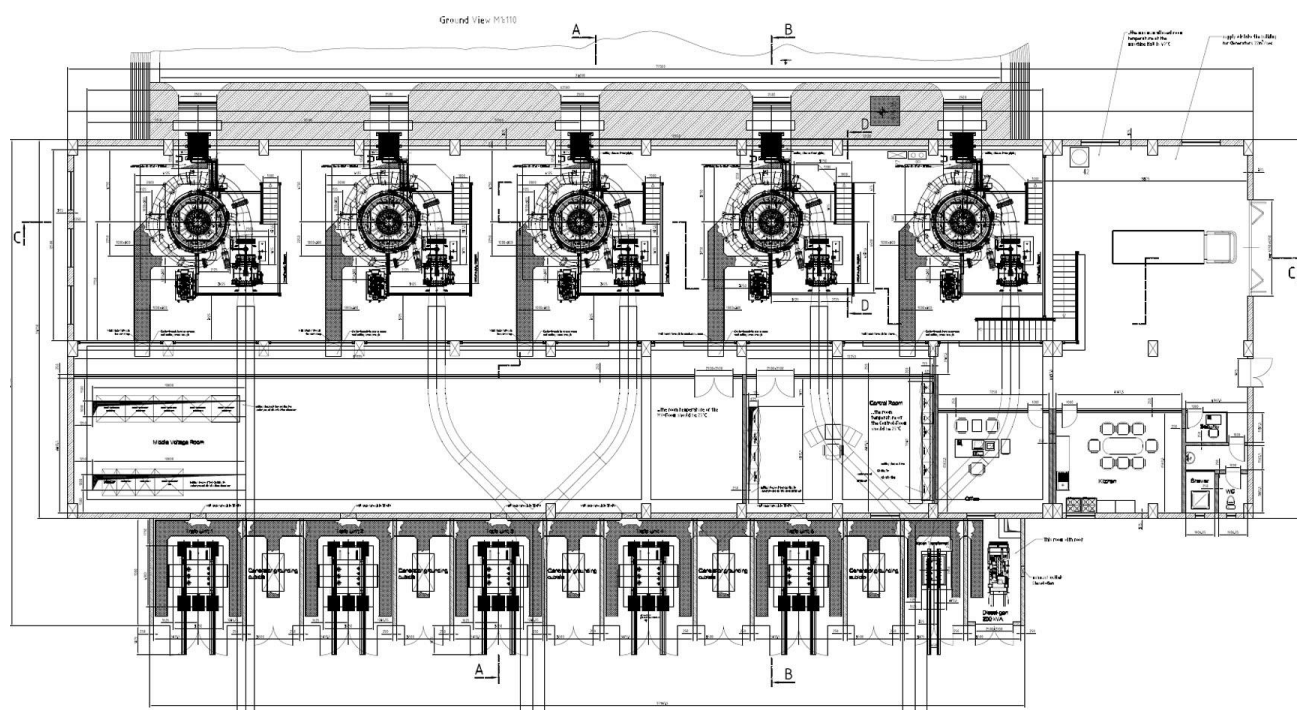
Ο υδροηλεκτρικός σταθμός (ΥΗΣ) θα εγκατασταθεί σε ανεξάρτητο κτήριο, σε απόλυτο υψόμετρο από το επίπεδο της δεξαμενής περίπου 4m και σε απόσταση περίπου 25m από τον υδροκρίτη. Η εγκατάσταση του κτηρίου του ΥΗΣ θα γίνει επιφανειακά.

Το κτήριο θα έχει διαστάσεις περίπου 15x30m, με την πλευρά των 30m παράλληλη προς τον υδροκρίτη. Το ωφέλιμο ύψος του κτηρίου θα είναι 6,80m. Το κτήριο του ΥΗΣ θα κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα (ο φέρων οργανισμός), ενώ η τοιχοποιία θα κατασκευαστεί από φυσική πέτρα, προκειμένου να εναρμονιστεί η κατασκευή με το φυσικό περιβάλλον. Η αρχιτεκτονική του κτηρίου θα συνάδει με την εν γένει αρχιτεκτονική του νησιού.

Κάτωθεν του δαπέδου θα κατασκευαστεί κανάλι απαγωγής του νερού. Το κανάλι θα κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα και θα έχει ύψος 1,80m και πλάτος 2,00m. Το κανάλι απαγωγής από το υψόμετρο των 4m θα οδεύσει με κλίση 9° προς το επίπεδο της επιφάνειας της δεξαμενής.

Επιπλέον στο σχήμα 3.19 παρουσιάζεται κάτοψη του υδραυλικού δικτύου με ενδεικτική συνδεσμολογία για τον ΥΗΣ.

Η ακριβής ηλεκτρομηχανολογική μελέτη εγκατάστασης του ΥΗΣ θα εκπονηθεί κατά τη διαδικασία έκδοσης της άδειας εγκατάστασης του υβριδικού σταθμού.



Σχήμα 3.19: Κάτοψη ΥΗΣ, ενδεικτικό υδραυλικό δίκτυο.

4. Μέρος – Ενεργειακή μελέτη και τεκμηρίωση δυναμικού Α.Π.Ε.

4.1. Εκτίμηση αιολικού δυναμικού

4.1.1. Τα δεδομένα εκτίμησης του αιολικού δυναμικού

Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης του ΑΠ χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις αιολικού δυναμικού που έχουν ληφθεί από μετεωρολογικό ιστό ύψους 10,2m και εγκαταστάθηκε σε θέση της Οροσειράς Αστερουσίων, επί της γεωγραφικής επικράτειας του Δημοτικού Διαμερίσματος Καστελλιανών, Δήμου Αρκαλοχωρίου, με συντεταγμένες σε WGS 84 γεωγραφικό μήκος φ 35°01'06,60'' και γεωγραφικό πλάτος λ 25°16'56,00'' και σε υψόμετρο 589 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο ιστός για την λήψης μετρήσεων αιολικού δυναμικού έχει εγκατασταθεί εντός του γηπέδου εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.

Στην παρούσα χρονική στιγμή και στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας μελέτης, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το ΑΠ του υβριδικού σταθμού θα στηριχθεί στη διαθεσιμότητα των προαναφερόμενων πιστοποιημένων μετρήσεων αιολικού δυναμικού και στην ανάπτυξη του χάρτη αιολικού δυναμικού που εκτελέστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού WAsP του RISOE National Laboratory της Δανίας.

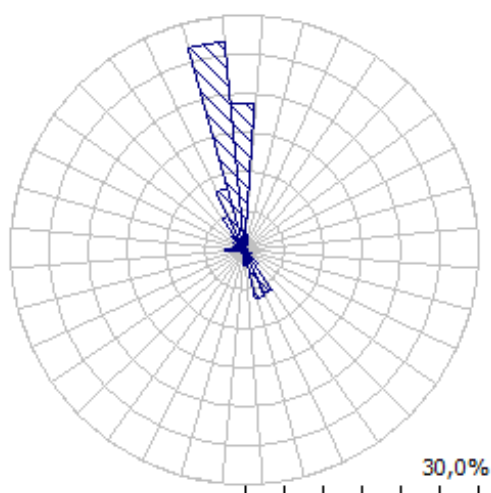
Συνοπτικά, οι βασικές τιμές από τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1. Από τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού προέκυψαν οι παράμετροι k και A της κατανομής πυκνότητας πιθανότητας Weibull της ταχύτητας ανέμου στη θέση εγκατάστασης του ανεμολογικού ιστού, η μέση ταχύτητα ανέμου, η πυκνότητα αιολικής ισχύος. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται επίσης στον ίδιο πίνακα.

Στα σχήματα 4.1 παρουσιάζονται το ροδόγραμμα και η κατανομή Weibull ταχύτητας ανέμου, όπως προκύπτουν με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού, για τη θέση εγκατάστασης του ανεμολογικού ιστού και για το ύψος των 10,2m από το έδαφος.

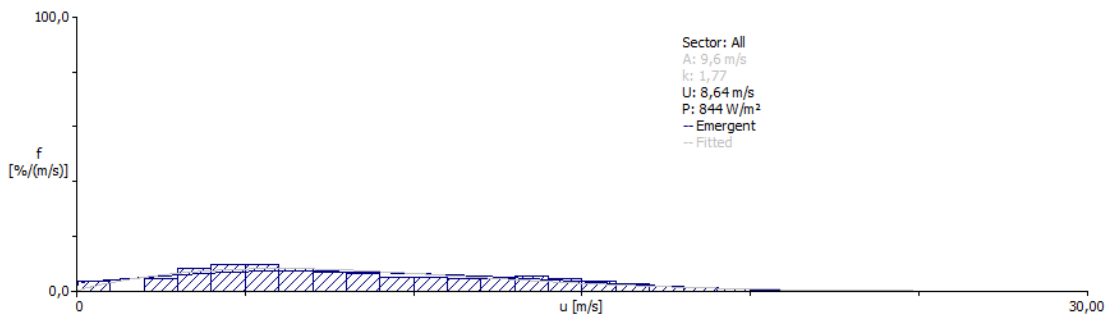
<i>Πίνακας 4.1: Στοιχεία μετεωρολογικού ιστού και μετρήσεων αιολικού δυναμικού στο χώρο εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.</i>		
Συντεταγμένες ανεμολογικού ιστού (WGS 84)		35°01'06,6"N 25°06'56,0"E
Απόλυτο υψόμετρο θέσης ανεμολογικού ιστού		589 m
Ύψος ανεμόμετρου στον ιστό		10,2 m
Περίοδος μετρήσεων	Από	1/7/2008
	Έως	6/7/2009
	Διάρκεια	371 ημέρες
Ύψος ιστού		10,2m
Απόλυτο υψόμετρο θέσης εγκατάστασης ιστού (m)		589m
Απόλυτο υψόμετρο λήψης μετρήσεων (m)		599,2m
Ταχύτητα ανέμου	Μέση τιμή	8,64 m/s
	350° διεύθυνσης πνοής ανέμου	11,78 m/s
Παράμετρος κατανομής Weibull-A	Μέση τιμή	9,6 m/s
	350° διεύθυνσης πνοής ανέμου	13,2 m/s
Παράμετρος κατανομής Weibull-k	Μέση τιμή	1,77
	350° διεύθυνσης πνοής ανέμου	2,87
Πυκνότητα αιολικής ισχύος στο ύψος μέτρησης		1441W/m ²

Τα παραπάνω στοιχεία αναλύονται σύμφωνα πάντα με το κατάλληλο λογισμικό (OWC Wizard) ώστε να υπολογιστεί το ροδόγραμμα ανέμου, με το οποίο και θα υπολογιστεί η εκτιμωμένη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το αιολικό πάρκο.

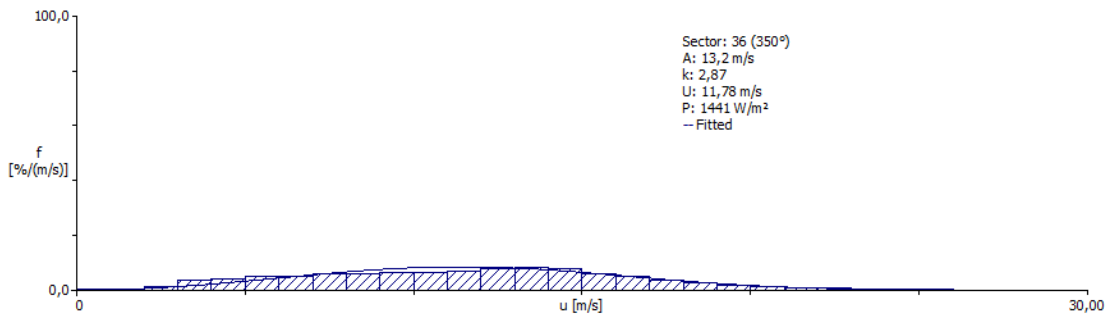
Σύμφωνα λοιπόν με τα δεδομένα του προαναφερθέντος πίνακα βλέπουμε ότι η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στη θέση εγκατάστασης του ιστού και σε ύψος 10,2m από το έδαφος είναι $U=11,78\text{m/s}$, με κύρια διεύθυνση 350° πνοής ανέμου. Η πυκνότητα ισχύος υπολογίζεται $P=1441\text{W/m}^2$ και ο συντελεστής Weibull $A=13,2\text{m/s}$ και ο συντελεστής Weibull $k=2,87$.



Σχήμα 4.1α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης του μετεωρολογικού ιστού και για ύψος 10,2m από το έδαφος.



Σχήμα 4.1β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης του μετεωρολογικού ιστού και για ύψος 10,2m από το έδαφος.



Σχήμα 4.1γ: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull, στον 36° κυκλικό τομέα, με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης του μετεωρολογικού ιστού και για ύψος 10,2m από το έδαφος.

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία μετρήσεων αιολικού δυναμικού.

Πίνακας 4.2: Αναλυτικά στοιχεία μετρήσεων αιολικού δυναμικού.

Κυκλικός τομέας		Ανεμολογικά στοιχεία				Ισχύς
A/A	Διεύθυνση πνοής ανέμου [°]	Συχνότητα πνοής ανέμου [%]	Παράμετρος Weibull-A [m/s]	Παράμετρος Weibull-k	Ταχύτητα ανέμου [m/s]	Πυκνότητα ανέμου [W/m ²]
1	0	18,6	12,1	3,06	10,82	1077
2	10	2,1	5,9	1,65	5,30	216
3	20	0,7	4,9	2,18	4,35	88
4	30	0,4	3,4	1,79	3,01	36
5	40	0,2	2,1	1,42	1,92	13
6	50	0,2	1,2	1,03	1,21	6
7	60	0,2	1,2	0,92	1,21	8
8	70	0,1	0,6	0,67	0,80	7
9	80	0,1	0,6	0,77	0,71	3
10	90	0,1	0,4	0,54	0,63	9
11	100	0,2	1,8	0,85	2,01	47
12	110	0,2	3,7	1,18	3,53	110
13	120	0,4	5,6	1,49	5,09	220
14	130	0,9	7,8	1,40	7,10	666
15	140	2,5	10,0	1,82	8,89	911
16	150	6,2	9,0	1,67	8,08	759
17	160	6,4	7,3	1,91	6,44	328
18	170	2,0	7,5	2,04	6,61	332
19	180	1,3	8,3	2,11	7,34	439
20	190	0,6	7,7	1,98	6,87	383
21	200	0,6	7,2	1,85	6,36	327
22	210	0,6	7,4	2,35	6,55	285
23	220	0,7	8,2	2,24	7,31	411
24	230	0,5	5,7	1,39	5,16	259
25	240	0,4	4,9	1,37	4,50	174
26	250	0,6	5,2	1,52	4,65	164
27	260	2,1	7,8	2,50	6,90	317
28	270	2,6	6,6	3,27	5,88	168
29	280	1,6	5,6	2,99	4,96	105
30	290	1,3	5,2	1,58	4,63	153
31	300	1,3	4,8	1,06	4,65	323
32	310	1,8	4,4	0,90	4,60	479
33	320	2,5	5,0	0,91	5,26	685
34	330	4,9	6,8	1,13	6,47	743
35	340	8,3	7,7	1,47	6,98	581
36	350	26,8	13,2	2,87	11,78	1441

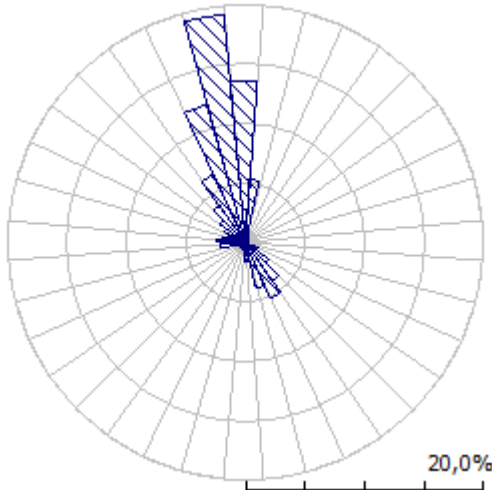
4.1.2. Αποτελέσματα εκτίμησης αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης του ΑΠ

Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά αποτελέσματα αιολικού δυναμικού για κάθε θέση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας και για το ύψος των 78m από τη στάθμη του εδάφους (ύψος πλήμνης του επιλεγμένου μοντέλου Α/Γ) για το ΑΠ με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις και την ανάληψη του πεδίου ροής που εκπονήθηκε στην περιοχή εγκατάστασης του ΑΠ από το λογισμικό WAsP.

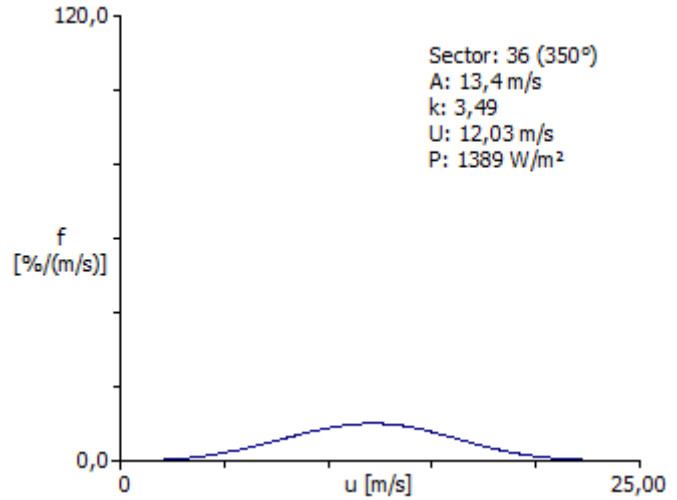
Πίνακας 4.3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εκτίμησης αιολικού δυναμικού σε κάθε θέση ανεμογεννήτριας και στο ύψος της πλήμνης.

A/A	Παράμετρος A κατανομής Weibull [m/s]	Παράμετρος k κατανομής Weibull	Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου [m/s]	Πυκνότητα ισχύος [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
A/Γ 1	10,5	2,13	9,28	877	11,7	-6,7
A/Γ 2	10,7	2,13	9,45	928	11,2	-7,3
A/Γ 3	10,3	2,08	9,10	847	19,6	1,1
A/Γ 4	11,2	2,05	9,91	1113	19,7	1,2
A/Γ 5	11,0	2,10	9,70	1020	18,9	0,4
A/Γ 6	10,9	2,13	9,69	1002	19,3	0,8
A/Γ 7	11,3	2,10	9,97	1106	18,6	0,2
A/Γ 8	11,2	2,11	9,92	1084	18,5	0,0
A/Γ 9	10,9	2,12	9,70	1011	18,0	-0,5
A/Γ 10	10,4	2,15	9,18	842	20,8	2,4
A/Γ 11	11,0	2,04	9,74	1057	16,0	-2,5
A/Γ 12	11,3	2,07	9,98	1125	15,8	-2,7
A/Γ 13	11,2	2,02	9,94	1135	15,8	-2,6
A/Γ 14	11,7	2,02	10,37	1291	16,0	-2,5
A/Γ 15	10,7	2,13	9,51	947	19,0	0,5

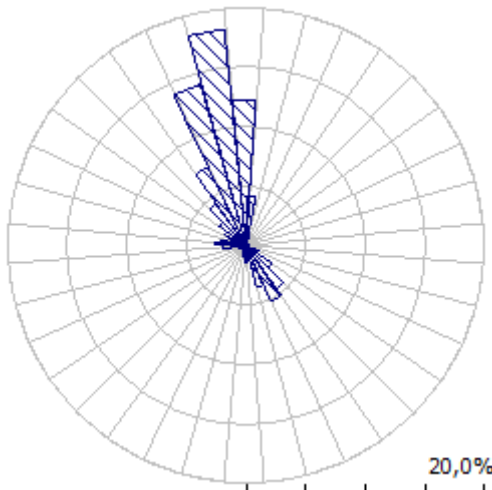
Στα σχήματα 4.2 – 4.16 παρουσιάζονται τα ροδογράμματα και οι κατανομές πυκνότητας πιθανότητας Weibull του ανέμου σε κάθε θέση εγκατάστασης Α/Γ και στο ύψος της πλήμνης (78m από στάθμη εδάφους).



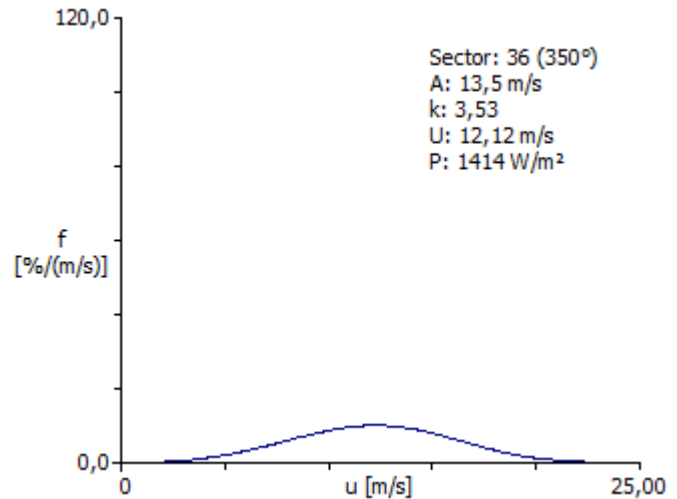
Σχήμα 4.2α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 1, στο ύψος της πλήμνης.



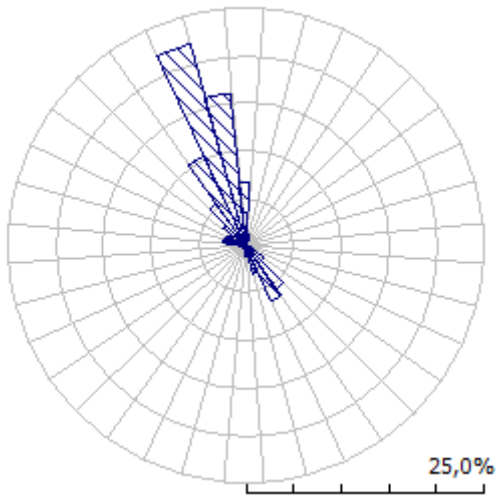
Σχήμα 4.2β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 1, στο ύψος της πλήμνης.



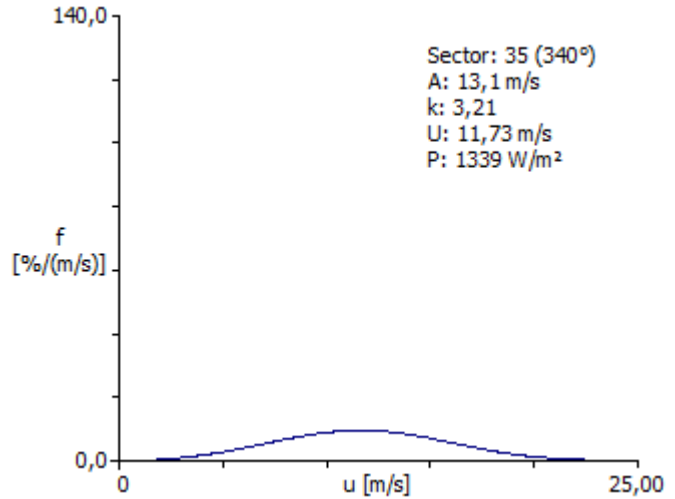
Σχήμα 4.3α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 2, στο ύψος της πλήμνης.



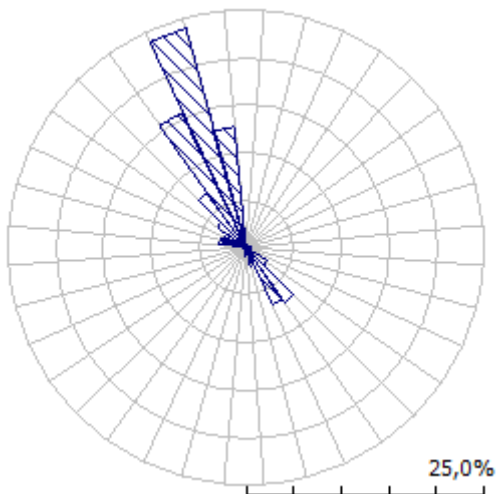
Σχήμα 4.3β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 2, στο ύψος της πλήμνης.



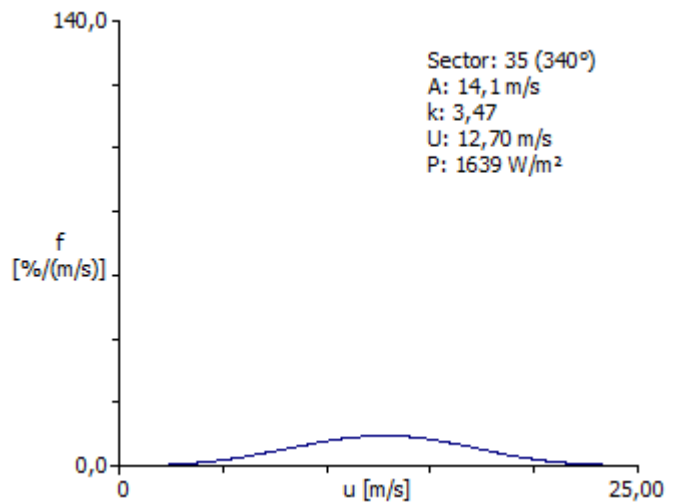
Σχήμα 4.4α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 3, στο ύψος της πλήμνης.



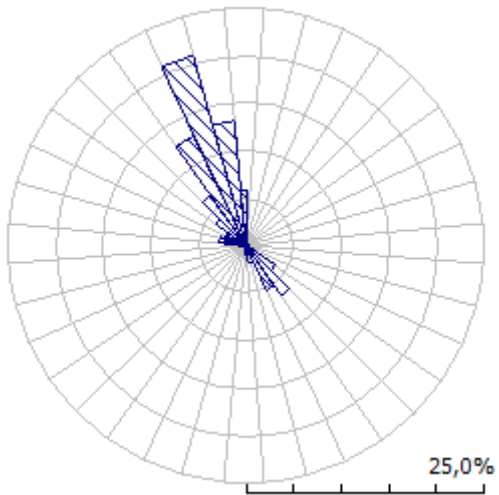
Σχήμα 4.4β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 3, στο ύψος της πλήμνης.



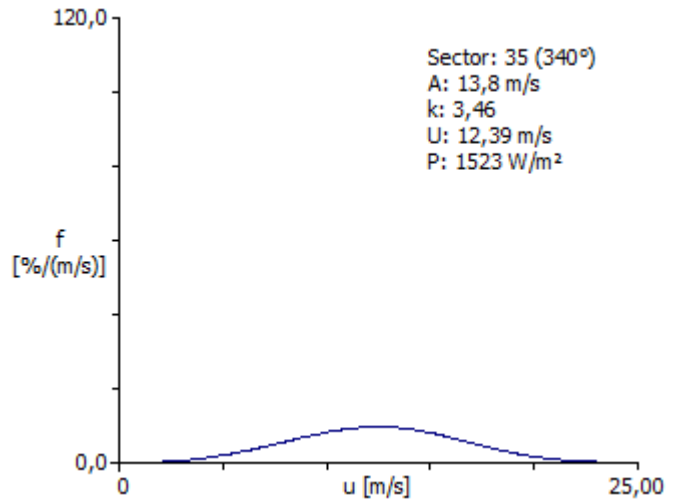
Σχήμα 4.5α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 4, στο ύψος της πλήμνης.



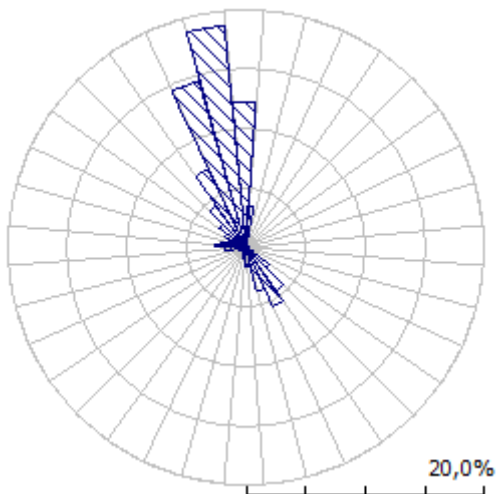
Σχήμα 4.5β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 4, στο ύψος της πλήμνης.



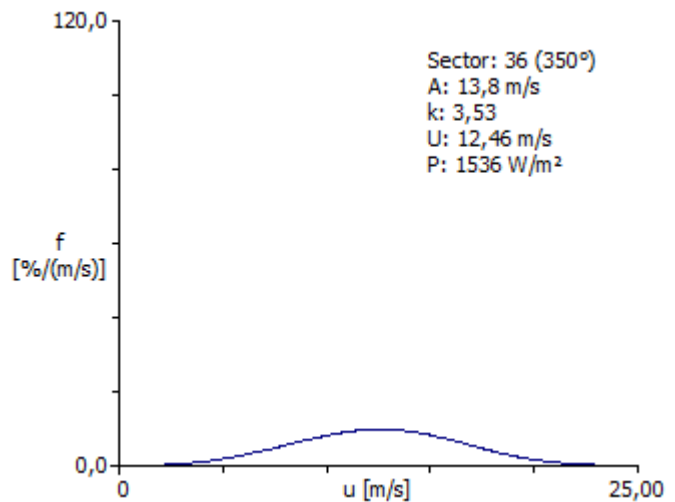
Σχήμα 4.6α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 5, στο ύψος της πλήμνης.



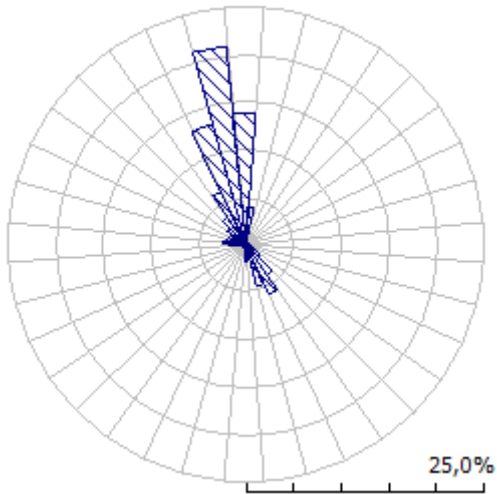
Σχήμα 4.6β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 5, στο ύψος της πλήμνης.



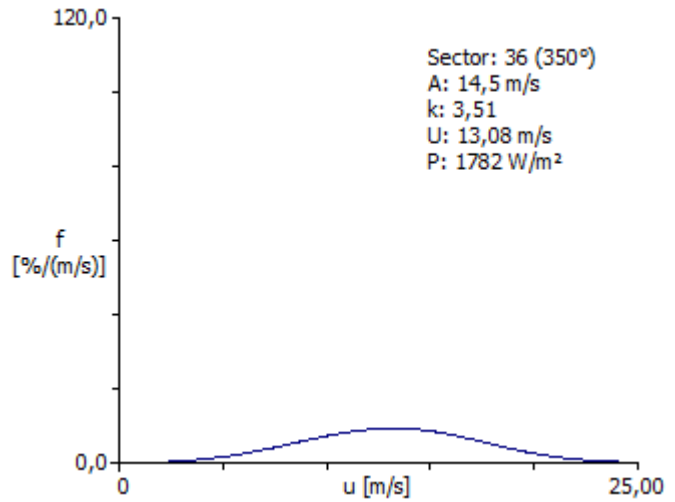
Σχήμα 4.7α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 6, στο ύψος της πλήμνης.



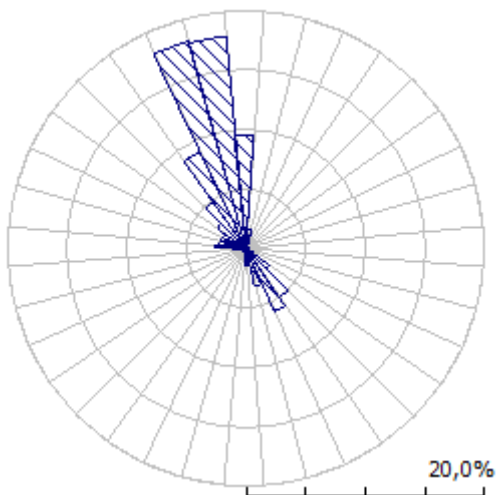
Σχήμα 4.7β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 6, στο ύψος της πλήμνης.



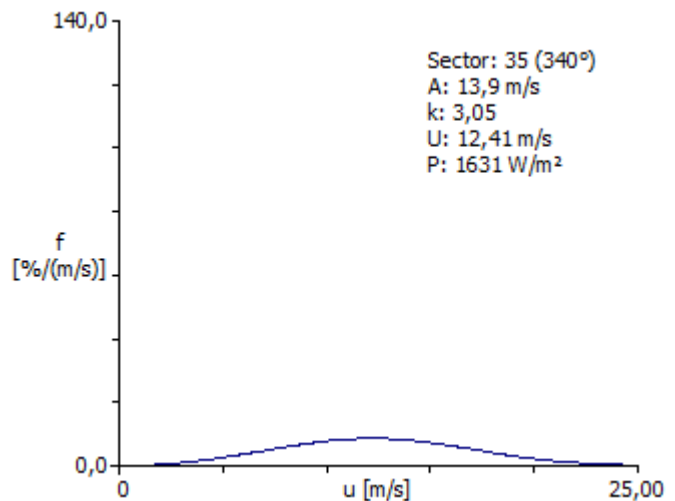
Σχήμα 4.8α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 7, στο ύψος της πλήμνης.



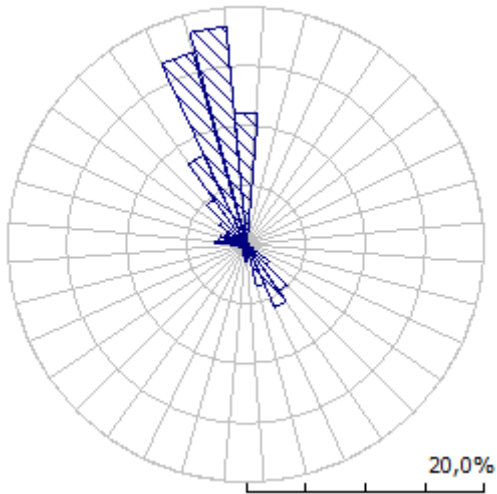
Σχήμα 4.8β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 7, στο ύψος της πλήμνης.



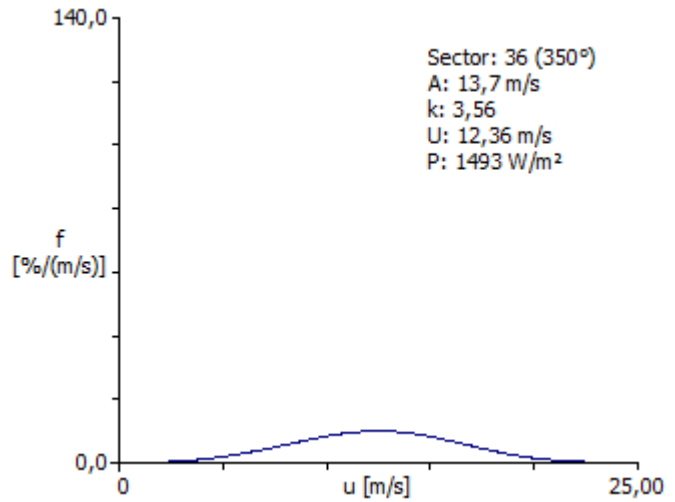
Σχήμα 4.9α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 8, στο ύψος της πλήμνης.



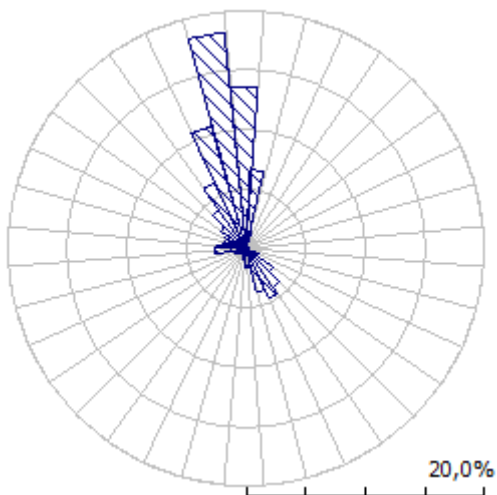
Σχήμα 4.9β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 8, στο ύψος της πλήμνης.



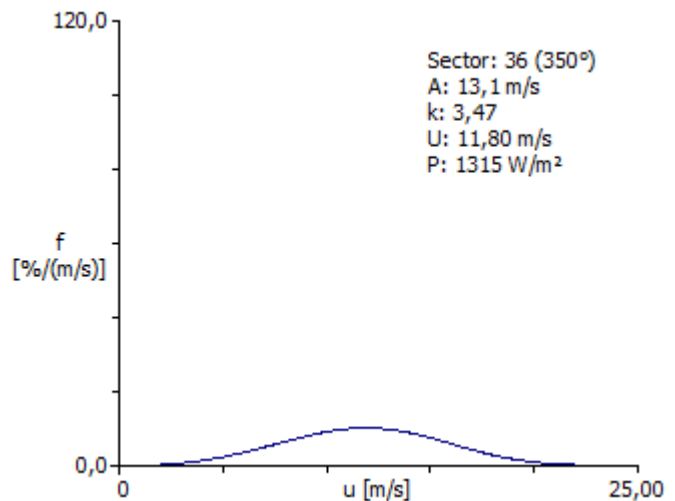
Σχήμα 4.10α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 9, στο ύψος της πλήμνης.



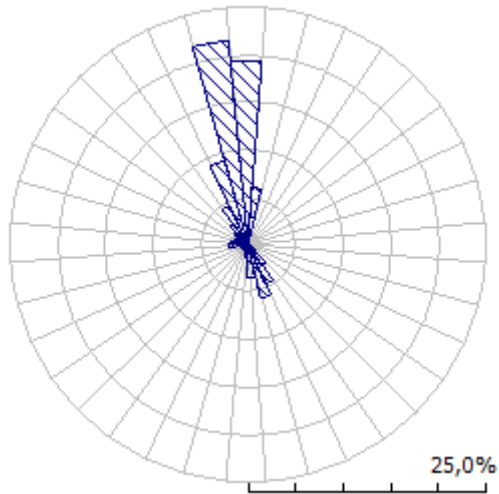
Σχήμα 4.10β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 9, στο ύψος της πλήμνης.



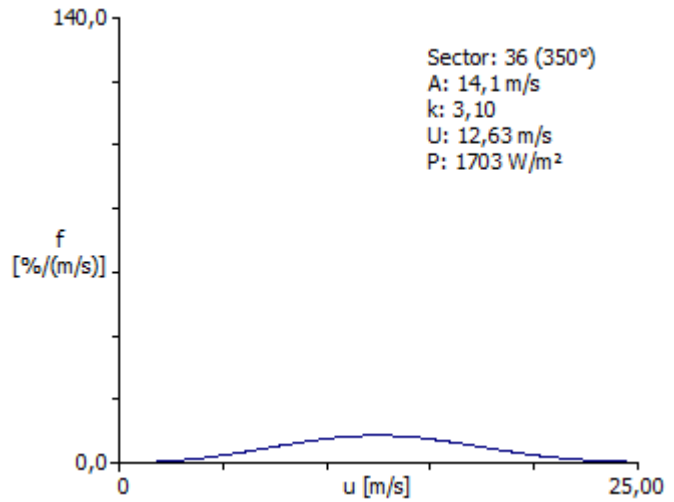
Σχήμα 4.11α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 10, στο ύψος της πλήμνης.



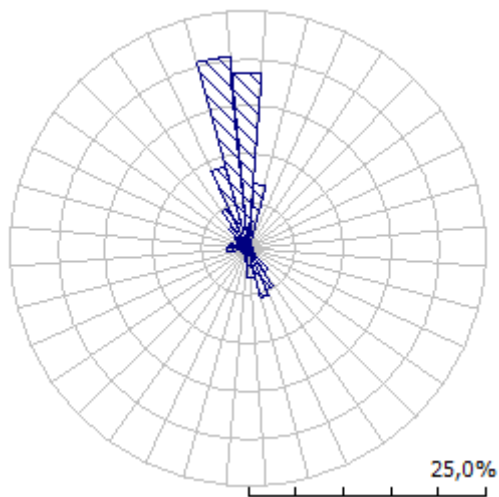
Σχήμα 4.11β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 10, στο ύψος της πλήμνης.



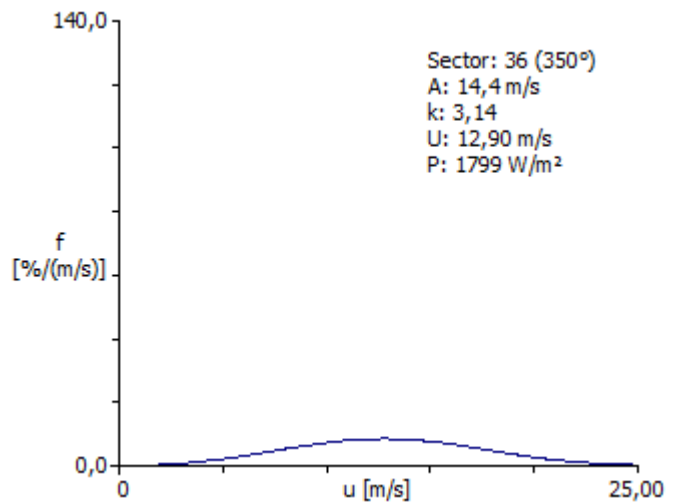
Σχήμα 4.12α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 11, στο ύψος της πλήμνης.



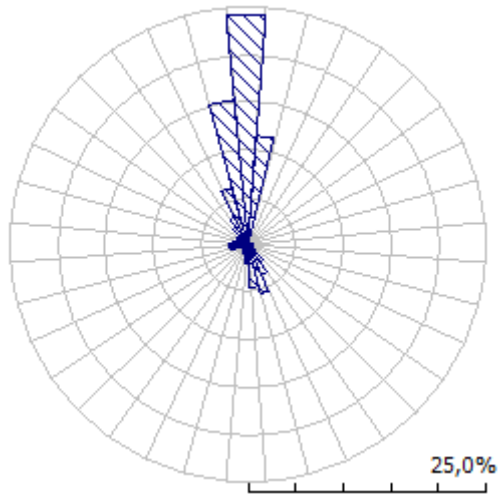
Σχήμα 4.12β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 11, στο ύψος της πλήμνης.



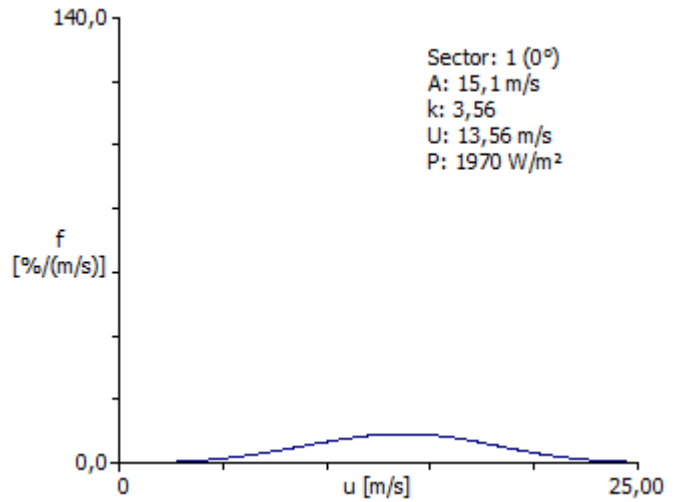
Σχήμα 4.13α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 12, στο ύψος της πλήμνης.



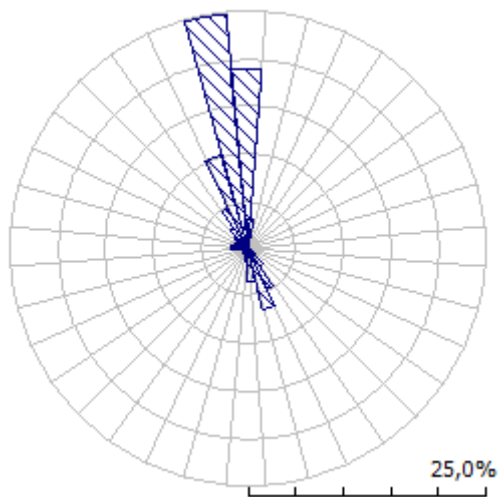
Σχήμα 4.13β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 12, στο ύψος της πλήμνης.



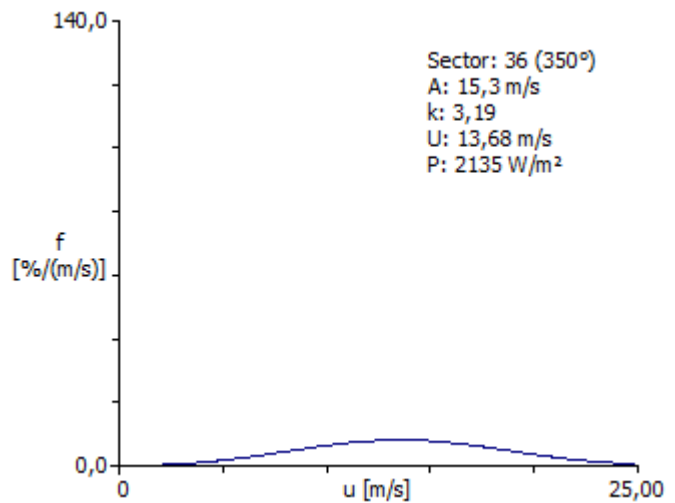
Σχήμα 4.14α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 13, στο ύψος της πλήμνης.



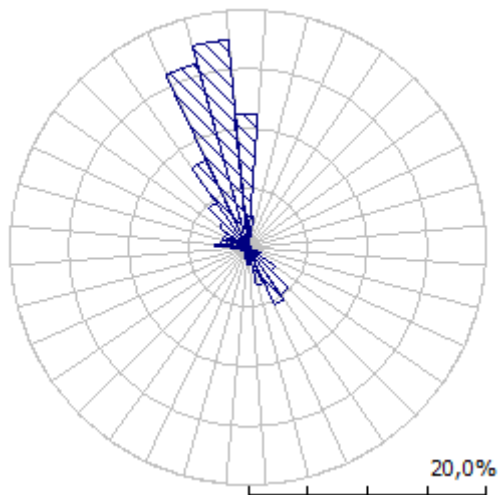
Σχήμα 4.14β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 13, στο ύψος της πλήμνης.



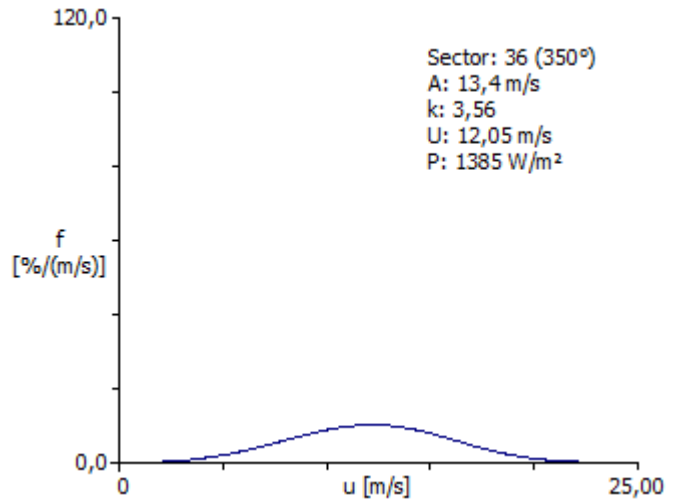
Σχήμα 4.15α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 14, στο ύψος της πλήμνης.



Σχήμα 4.15β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της A/G 14, στο ύψος της πλήμνης.



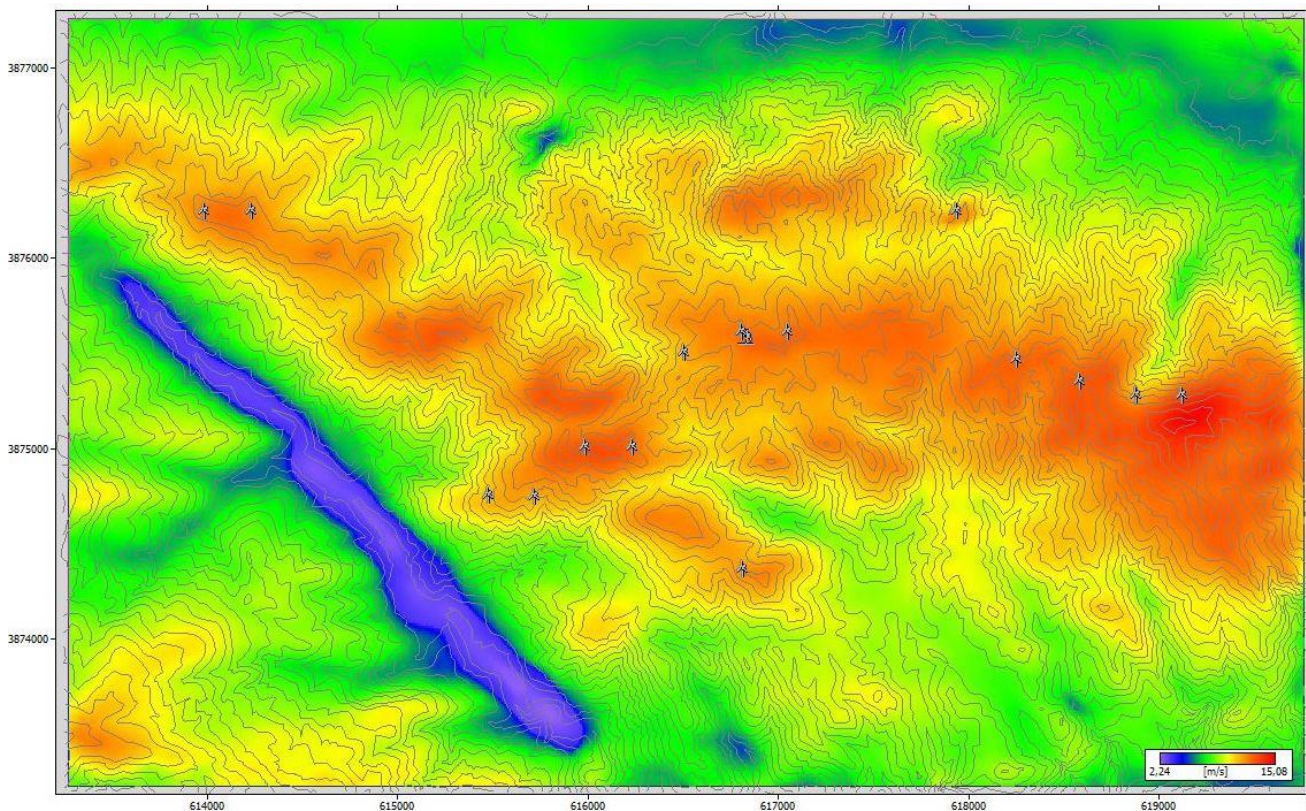
Σχήμα 4.16α: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της Α/Γ 15, στο ύψος της πλήμνης.



Σχήμα 4.16β: Κατανομή ταχύτητας ανέμου Weibull με βάση τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού στη θέση εγκατάστασης της Α/Γ 15, στο ύψος της πλήμνης.

Στο χάρτη 4.1 και στο πίνακα 4.4 παρουσιάζεται ο χάρτης αιολικού δυναμικού για τη θέση εγκατάστασης του ΑΠ, όπως αναπτύχθηκε με βάση τις διαθέσιμες ανεμολογικές μετρήσεις και το λογισμικό WAsP. Παρουσιάζονται επίσης οι θέσεις εγκατάστασης των Α/Γ του ΑΠ.

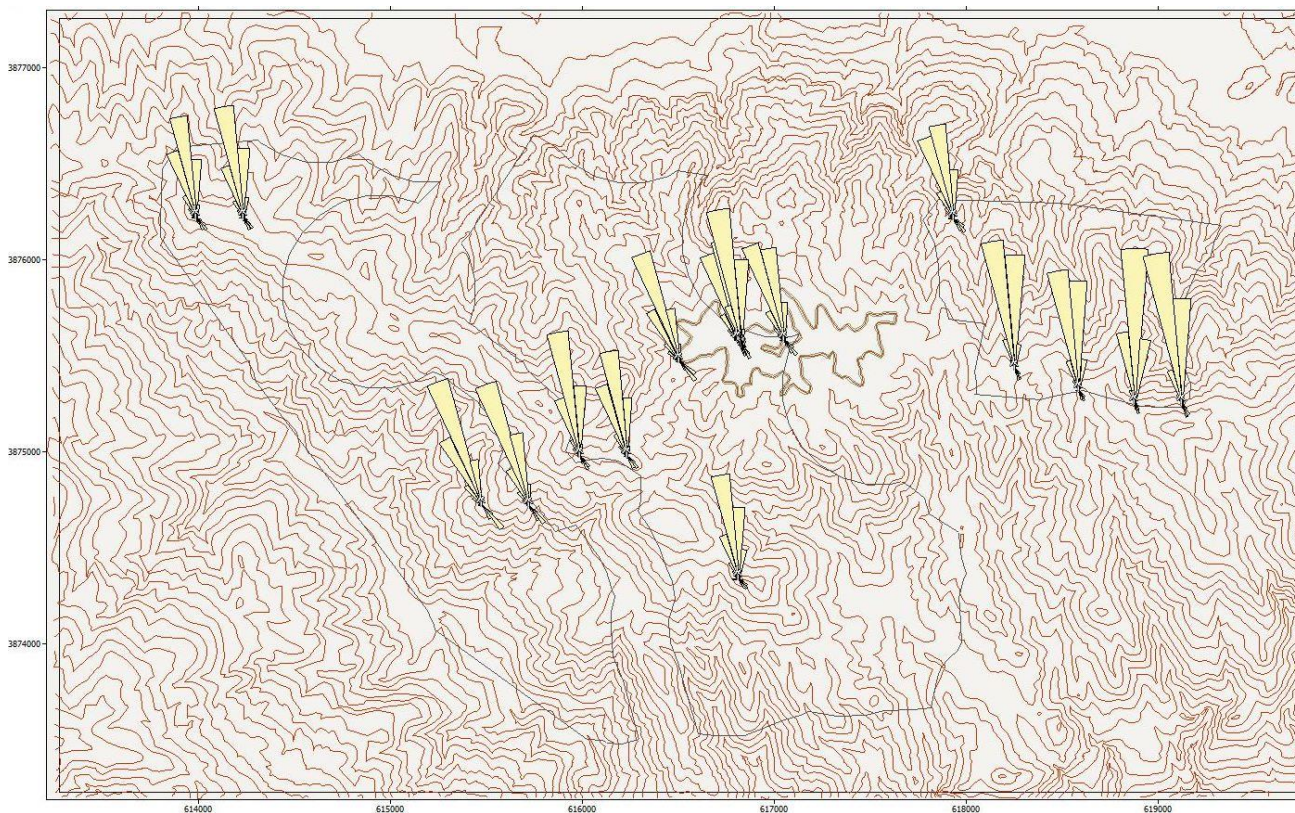
Στο χάρτη 4.2 παρουσιάζονται τα ροδογράμματα επί των θέσεων εγκατάστασης των Α/Γ του ΑΠ.



Χάρτης 4.1: Χάρτης αιολικού δυναμικού για την περιοχή εγκατάστασης του ΑΠ και θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών

Πίνακας 4.4: Συντεταγμένες (σε ΕΓΣΑ '87) και υψόμετρο θέσεων ανεμογεννητριών

Α/Α	Συντεταγμένες θέσεων Α/Γ σε ΕΓΣΑ '87		Υψόμετρο θέσεων εγκατάστασης Α/Γ [m]
	X	Y	
Α/Γ 1	614236	3876216	420
Α/Γ 2	613990	3876216	420,5597
Α/Γ 3	615726	3874716	377,1743
Α/Γ 4	615480	3874720	370,6158
Α/Γ 5	616509,1	3875470,0	477,3394
Α/Γ 6	616236	3874976	480
Α/Γ 7	615990	3874976	480
Α/Γ 8	617056,4	3875579,0	500
Α/Γ 9	616810,4	3875579,0	491,2149
Α/Γ 10	616818,8	3874338,0	454,8159
Α/Γ 11	618257,4	3875432,0	484,1432
Α/Γ 12	618589,1	3875320,0	519,4796
Α/Γ 13	618883,1	3875250,0	532,6901
Α/Γ 14	619129,1	3875250,0	530,5172
Α/Γ 15	617939,3	3876212,0	448,0183

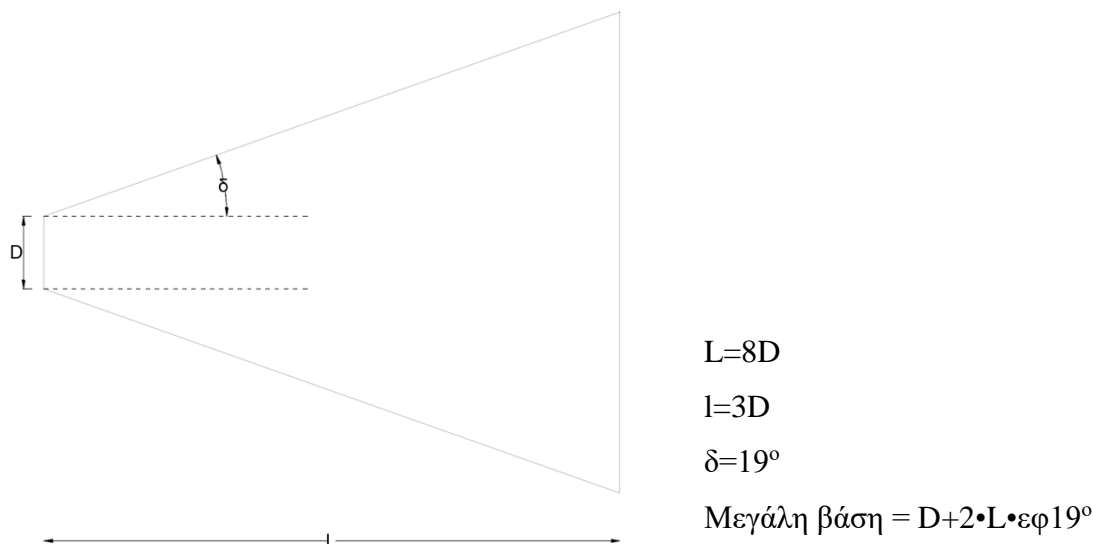


Χάρτης 4.2: Χάρτης ροδογραμμιάτων πικνότητας ισχύος για τις θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών του ΑΠ.

4.1.3. Παράμετροι σχεδιασμού και χωροθέτησης του ΑΠ

Οι ανεμογεννήτριες του ΑΠ χωροθετήθηκαν στην ανατολική κορυφογραμμή του όρους «Αστερούσια», κατά το δυνατόν κάθετη στην κύρια διεύθυνση πνοής του ανέμου. Ως κύρια διεύθυνση του ανέμου στις περιοχές χωροθέτησης του ΑΠ λαμβάνεται αυτή που προκύπτει από τα αποτελέσματα υπολογισμού του αιολικού δυναμικού όπως προκύπτουν με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις. Με βάση το χάρτη ανωτέρω ροδογραμμιάτων, οι διευθύνσεις αυτές προκύπτουν βόρειες, οι οποίες είναι κάθετες στον άξονα της κορυφογραμμής εγκατάστασης.

Οι θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών απέχουν μεταξύ τους απόσταση τουλάχιστον ίση με 3 φορές τη διάμετρο της περωτής, δηλαδή 246m στην πλάγια κατεύθυνση (Δύση→Ανατολή), και απόσταση ίση με 8 φορές τη διάμετρο της περωτής, δηλαδή 656m στην πίσω κατεύθυνση (Βορά→Νότο). Επίσης η γωνία διασποράς της τύρβης κυμαίνεται μεταξύ 15° έως 19°. Στο σχήμα 4.17 απεικονίζονται η περιοχή σκίασης από την ανεμογεννήτρια.



Σχήμα 4.17: Περιοχή σκίασης από την ΑΓ.

Η ανωτέρω περιγραφόμενη χωροθέτηση τηρείται προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες σκίασης μεταξύ των ανεμογεννητριών του ΑΠ. Αυτό πράγματι επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό, με βάση τα αποτελέσματα του υπολογισμού της αναμενόμενης παραγωγής ενέργειας από το αιολικό πάρκο.

Με δεδομένο την καθετότητα του άξονα της κορυφογραμμής και των κύριων διευθύνσεων πνοής του ανέμου στη θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, οι απώλειες σκίασης διατηρούνται για τις έντεκα από τις δεκαπέντε ανεμογεννήτριες μεταξύ 0,11% και 0,95%, ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις μεταξύ 1,14% και 1,65%. Τα ανωτέρω θα παρουσιαστούν αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την ορθότητα της επιλεγμένης χωροθέτησης των ανεμογεννητριών του ΑΠ.

4.1.3.1. Δοκιμαστική διάταξη ανεμογεννητριών

Στην προσπάθεια να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της παραγωγής από τις ανεμογεννήτριες, έγινε μια δοκιμαστική τοποθέτηση τεσσάρων ανεμογεννητριών σε δυο διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ του. Στην μεν πρώτη τετράδα η πλάγια (Δύση→Ανατολή), απόσταση επιλέχτηκε ίση προς $3 \cdot D$ (D : Διάμετρος ρότορα Α.Γ.) ενώ στην δεύτερη ίση προς $5 \cdot D$.

Το συμπέρασμα, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του λογισμικού πίνακας 4.5, μας δείχνουν ότι: παρότι οι απώλειες σκιάσεις στην διάταξη $5 \cdot D$ είναι σαφώς μικρότερες της αντίστοιχης $3 \cdot D$, η καθαρή ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση του $3 \cdot D$.

Πίνακας 4.5: Δοκιμαστική διάταξη ανεμογεννητριών, αποτελέσματα από το wasp

Summary results 3-D

Parameter	Total	Average	Minimum	Maximum
Net AEP [GWh]	38,916	9,729	8,133	10,583
Gross AEP [GWh]	39,587	9,897	8,281	10,763
Wake loss [%]	1,69	-	-	-

Summary results 5-D

Parameter	Total	Average	Minimum	Maximum
Net AEP [GWh]	38,260	9,565	7,778	10,435
Gross AEP [GWh]	38,668	9,667	7,873	10,547
Wake loss [%]	1,06	-	-	-

Site results 3-D

Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m a.s.l.]	Height [m a.g.l.]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
w1	(617876,1, 3876200,0)	E-82 E4	409,1373	78	9,918	0,78
w2	(618122,1, 3876200,0)	E-82 E4	343,8462	78	8,133	1,78
w3	(618395,2, 3875544,0)	E-82 E4	483,1358	78	10,583	1,67
w4	(618149,2, 3875544,0)	E-82 E4	462,7065	78	10,281	2,52

Site results 5-D

Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m a.s.l.]	Height [m a.g.l.]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
W1	(617876,1, 3876200,0)	E-82 E4	409,1373	78	9,932	0,64
W2	(618286,1, 3876200,0)	E-82 E4	317,4439	78	7,778	1,2
W3	(618559,2, 3875544,0)	E-82 E4	472,8717	78	10,115	1,35
W4	(618149,2, 3875544,0)	E-82 E4	462,7065	78	10,435	1,06

4.2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το ΑΠ

4.2.1. Ενεργειακός ισολογισμός αιολικού πάρκου

Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των υπολογισμών της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το ΑΠ του υβριδικού σταθμού.

Πίνακας 4.5α: Ανάλυση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το ΑΠ του ΥβΣ.

Παράμετρος	Συνολική ενέργεια από Α/Π	Μέση παραγωγή ενέργειας ανά Α/Γ	Ελάχιστη παραγωγή ενέργειας ανά Α/Γ	Μέγιστη παραγωγή ενέργειας ανά Α/Γ
Καθαρή παραγωγή Net AEP [GWh]	165,632	11,042	10,221	11,646
Ακαθάριστη παραγωγή Gross AEP [GWh]	166,805	11,120	10,320	11,735
Απώλειες παραγωγής Wake loss [%]	0,7	-	-	-

Πίνακας 4.5β: Ανάλυση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κάθε ανεμογεννήτριας

A/A	Καθαρή παραγωγή Net AEP [GWh]	Απώλειες παραγωγής Wake loss [%]	Συνολικός συντελεστής απασχόλησης [%]
A/Γ 1	10,524	1,25	51,12
A/Γ 2	10,879	0,13	52,85
A/Γ 3	10,221	0,95	49,65
A/Γ 4	11,312	0,11	54,95
A/Γ 5	11,141	0,22	54,12
A/Γ 6	11,030	1,37	53,58
A/Γ 7	11,478	0,26	55,76
A/Γ 8	11,324	1,14	55,01
A/Γ 9	11,141	0,38	54,12
A/Γ 10	10,383	1,65	50,44
A/Γ 11	11,024	0,75	53,55
A/Γ 12	11,379	0,53	55,28
A/Γ 13	11,262	0,45	54,71
A/Γ 14	11,646	0,76	56,57
A/Γ 15	10,888	0,68	52,89

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 4.5, ο ετήσιος συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας (capacity factor) των ΑΠ υπολογίζεται **53,64%**, ως προς την ετήσια καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

4.2.2. Συμπεράσματα από την ενεργειακή μελέτη και την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού

Τα βασικά συμπεράσματα, όσον αφορά στο αιολικό δυναμικό στη θέση εγκατάστασης του ΑΠ, σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν είναι τα παρακάτω:

- Η θέση εγκατάστασης διαθέτει αξιόλογο αιολικό δυναμικό. Η μέση ετήσια ταχύτητα στις θέσεις εγκατάστασης των Α/Γ κυμαίνεται από 7,6 έως 7,9m/s. Όσον αφορά στις κύριες κατευθύνσεις πνοής ανέμου, τούτες προκύπτουν βορειοανατολικές και νοτιοδυτικές σε κάθε θέση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας, βάσει των ροδογραμμάτων στο χάρτη 3.2.
- Ο προσανατολισμός της κορυφογραμμής επιτρέπει τη χοροθέτηση των Α/Γ κάθετα στην κύρια διεύθυνση πνοής του ανέμου.
- Το αιολικό δυναμικό διαφέρει ελάχιστα μεταξύ των θέσεων των Α/Γ. Επιπλέον, οι υψηλές τιμές του συντελεστή k της κατανομής πυκνότητας πιθανότητας Weibull συνεπάγονται υψηλή συγκέντρωση τιμών της ταχύτητας ανέμου γύρω από τη μέση τιμή, δηλαδή αιολικό δυναμικό με ήπιες χρονικές διακυμάνσεις. Τα ανωτέρω είναι ιδιαίτερα σημαντικά σχετικά με την ποιότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος και την ελαχιστοποίηση των δυνάμεων να προκληθούν προβλημάτων ευστάθειας δικτύου λόγω της διείσδυσης της αιολικής ισχύος.

5. Μέρος – Προσομοίωση λειτουργίας υβριδικού σταθμού

5.1. Προσομοίωση λειτουργίας υφιστάμενου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Κρήτης χωρίς τον υβριδικό σταθμό

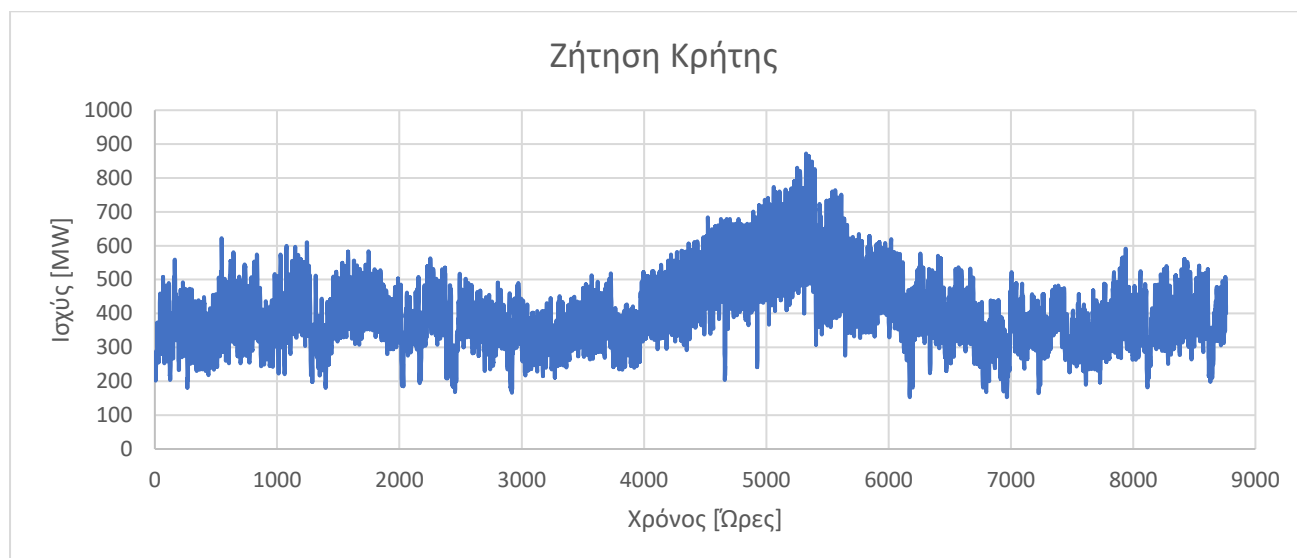
5.1.1. Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης της λειτουργίας του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης (ΣΗΕΚ), όπως αυτό αναμένεται να διαμορφωθεί το 2018. Αναλύεται η λειτουργία του συστήματος, εισάγοντας ακριβή δεδομένα για τις μονάδες παραγωγής που έχουν εγκατασταθεί και ενταχθεί στο Σύστημα παραγωγής κατά το έτος αναφοράς και υπολογίζονται οι ετήσιες καταναλώσεις καυσίμου, το ετήσιο κόστος αγοράς πρωτογενών πηγών ενέργειας και το μέσο ετήσιο ειδικό κόστος παραγωγής [σε €/kWh].

5.1.2. Ζήτηση ηλεκτρική ισχύος

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του Συστήματος είναι απαραίτητη η γνώση της Ζήτησης Ηλεκτρικής Ισχύος (Ζήτηση) για ένα ημερολογιακό έτος.

Στο σχήμα 5.1 απεικονίζεται η ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών της Ζήτησης στο ΣΗΕΚ για το έτος 2018. Η τιμές αυτές αποτελούν απλά μια εκτίμηση, δεν είναι πραγματικές.



Σχήμα 5.1: Καμπύλη της Ζήτησης στο ΣΗΕΚ το 2018.

Σύμφωνα με την παραπάνω πρόβλεψη καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να διαμορφωθεί στις 3.500.000MWh.

Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές τιμές της Ζήτησης καθώς και χαρακτηριστικές τιμές για την Ετήσια Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (Κατανάλωση) στο ΣΗΕΚ για το έτος 2018.

<i>Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικές τιμές ζήτησης στο ΣΗΕΚ το έτος 2018</i>				
Έτος	Μέγιστη ετήσια ζήτηση ισχύος [MW]	Ελάχιστη ετήσια ζήτηση ισχύος [MW]	Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας [MWh]	Μέση ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας [MWh]
2018	872,221	152,910	3.500.000	9248,286

5.1.3. Το θερμοηλεκτρικό σύστημα Κρήτης

Στους πίνακες 5.2–5.4 παρουσιάζεται η σύνθεση τριών θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής του ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ) Λινοπεραμάτων στα Λινοπεράματα Ηρακλείου, του ΑΗΣ Χανίων στην Ξυλοκαμάρα Χανίων και του ΑΗΣ Αθρινόλακκου στον Αθρινόλακκο Λασιθίου, κατά το τέλος του 2011. Ο συνδυασμένος κύκλος του ΑΗΣ Χανίων αποτελείται από δύο παράλληλα λειτουργούντες αεριοστρόβιλους (Α/Σ) και ένα αμμοστρόβιλο (ΑΤΜ). Κάθε ένας από τους Α/Σ

διοχετεύει τα θερμά καυσαέρια του στο λέβητα του ΑΤΜ, προσδίδοντας έτσι πρόσθετη ισχύ στο σύστημα.

Πίνακας 5.2: Η σύνθεση του ΑΗΣ Λινοπεραμάτων το 2011

ΑΤΜ	Τεχνικά Ελάχιστα [MW]	Ικανότητα [MW]	Ντιζελ	Τεχνικά Ελάχιστα [MW]	Ικανότητα [MW]	Α/Σ	Τεχνικά Ελάχιστα [MW]	Ικανότητα [MW]
1	1,8	6,2	1	3,0	11,0	1	3,0	14,0
2	8,0	14,0	2	3,0	11,0	2	3,0	14,0
3	8,0	14,0	3	3,0	11,0	3	3,0	43,0
4	18,0	24,0	4	3,0	11,0	4	3,0	13,0
5	18,0	24,0				5	3,0	32,0
6	18,0	24,0						
Σύνολα:	71,8	106,2		12,0	44,0		15,0	116,0

Πίνακας 5.3: Η σύνθεση του ΑΗΣ Χανίων το 2011.

ΣΚ	Τεχνικά Ελάχιστα [MW]	Ικανότητα [MW]	Α/Σ	Τεχνικά Ελάχιστα [MW]	Ικανότητα [MW]
Α/Σ	12,0	37,0	1	3,0	12,0
Α/Σ	12,0	37,0	2	3,0	13,0
ΑΤΜ	21,0	36,0	3	5,0	29,0
			4	8,00	55,0
			5	8,0	55,0
			6	3,0	32,0
Σύνολα:	45,0	110,0		30,0	196,0

Πίνακας 5.4: Η σύνθεση του ΑΗΣ Αθρινόλακκου το 2011.

ΑΤΜ	Τεχνικά Ελάχιστα [MW]	Ικανότητα [MW]	Ντιζελ	Τεχνικά Ελάχιστα [MW]	Ικανότητα [MW]
1	25,0	45,0	1	12,0	45,0
2	25,0	45,0	2	12,0	45,0
Σύνολα:	50,0	90,0		24,0	90,0

Από τις μονάδες των πινάκων 5.2, 5.3 και 5.4, οι ατμοστρόβιλοι και οι μονάδες ντίζελ καταναλώνουν μαζούτ (fuel oil), ενώ οι αεριοστρόβιλοι και, κατά συνέπεια, ο συνδυασμένος κύκλος, καταναλώνουν ελαφρύ πετρέλαιο (diesel oil).

Για το έτος 2016 προβλέπεται ότι θα εγκατασταθούν επιπλέον δύο νέες μονάδες ντίζελ στον ΑΗΣ Αθρινόλακκου, όμοιες με τις ήδη εγκατεστημένες στον εν λόγω ΑΗΣ.

5.1.3.1. Σειρά ένταξης μονάδων

Η σειρά ένταξης των θερμοηλεκτρικών μονάδων στην παραγωγή υπαγορεύεται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- την ασφάλεια του Συστήματος καθώς και την εξασφάλιση της διαρκούς ικανοποίησης της Ζήτησης
- την οικονομική λειτουργία του Συστήματος.

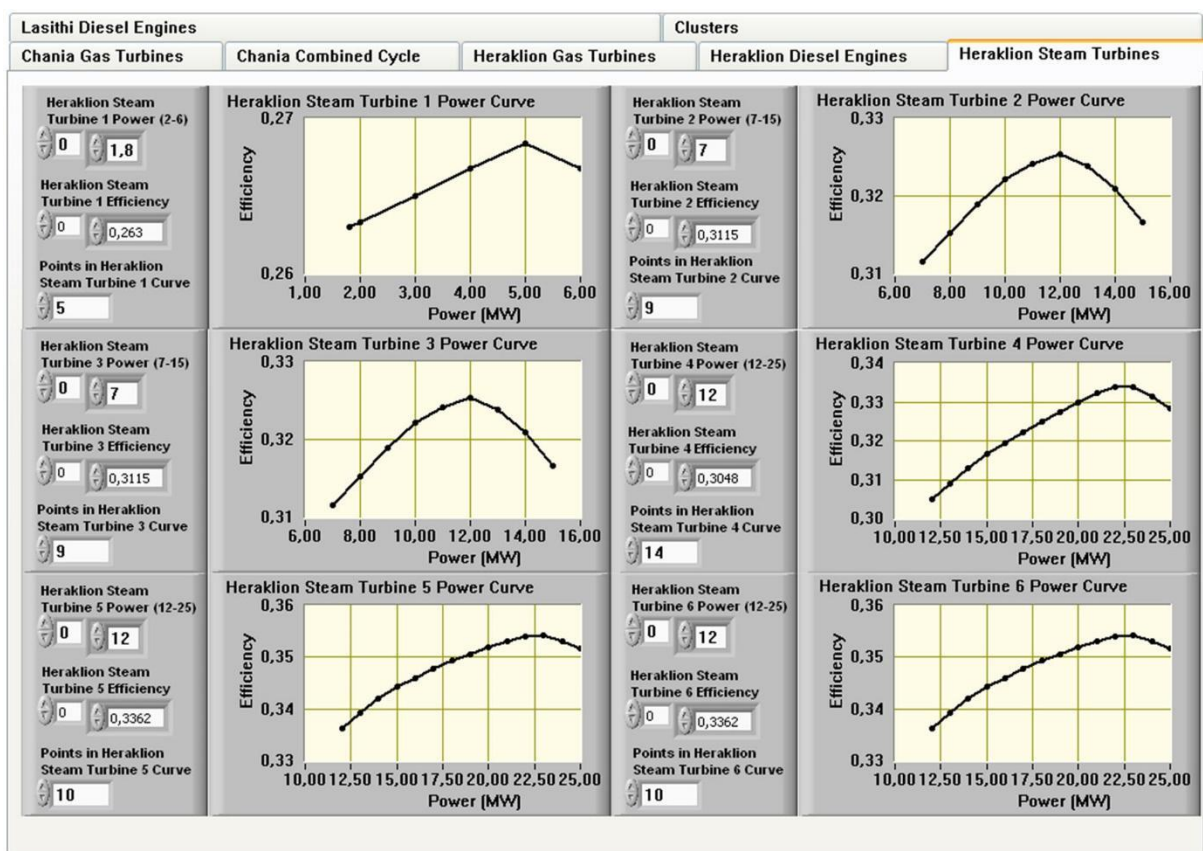
Η πρώτη παράμετρος επιβάλλει τη διαρκή λειτουργία των θερμοηλεκτρικών μονάδων με σχετικά χαμηλή απόκριση στις διακυμάνσεις φορτίου και με αργή εκκίνηση. Συνεπάγεται ότι οι μονάδες αυτές, κατά τη διάρκεια χαμηλών φορτίσεων, θα λειτουργούν στα τεχνικά ελάχιστα τους. Οι περιπτώσεις αυτές συναντώνται συνήθως κατά τις νυκτερινές ώρες των ημερών χαμηλής Ζήτησης (κυρίως το Φθινόπωρο και την Άνοιξη).

Η δεύτερη παράμετρος επιβάλλει την ένταξη των θερμοηλεκτρικών μονάδων στην παραγωγή με την παρακάτω, σε γενικές γραμμές, σειρά:

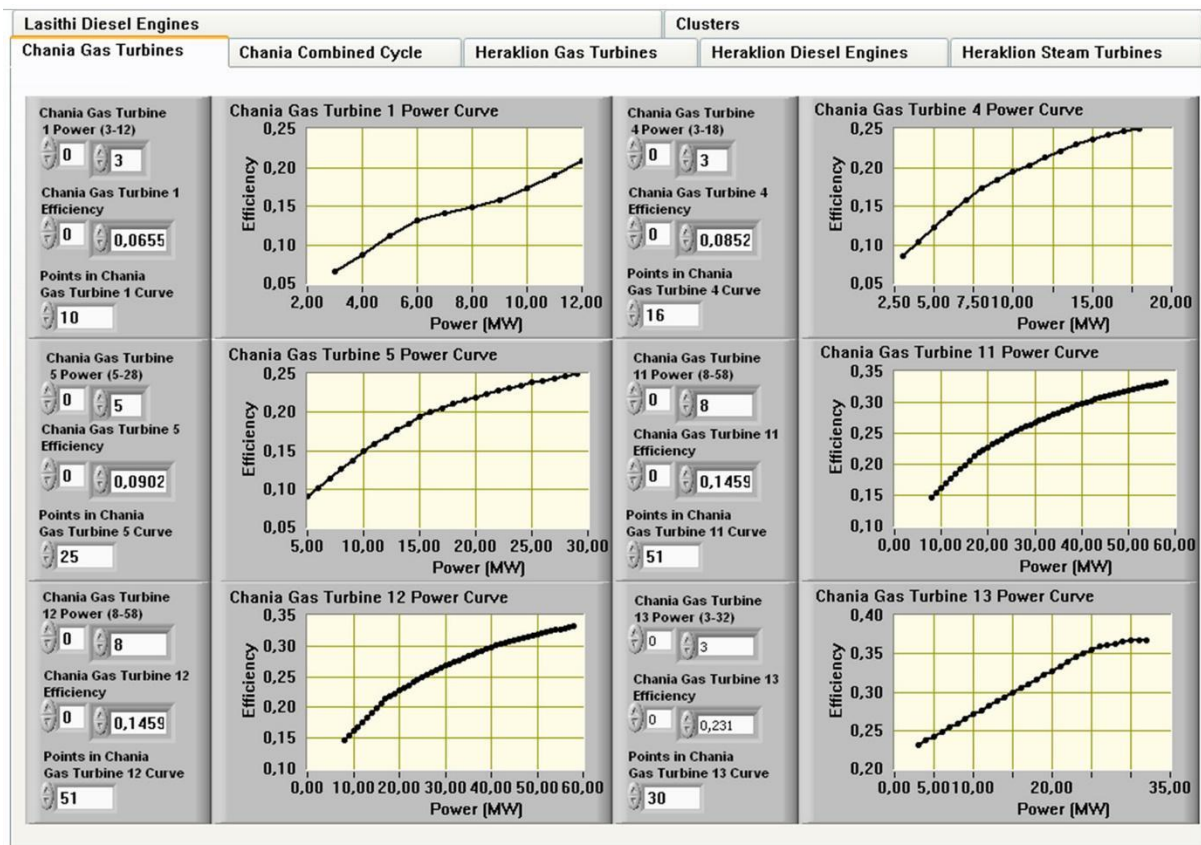
1. μονάδες ντίζελ
2. ατμοστρόβιλοι από το τεχνικό ελάχιστό τους μέχρι την πλήρη φόρτισή τους
3. συνδυασμένος κύκλος από το τεχνικό ελάχιστό του μέχρι την πλήρη φόρτισή του
4. αεριοστρόβιλοι

Η σειρά αυτή τηρείται, όταν δεν τίθενται περιορισμοί ασφάλειας του συστήματος, με τους αμοστρόβιλους και το συνδυασμένο κύκλο να μη λειτουργούν ποτέ κάτω από τεχνικά ελάχιστα τους, ανεξάρτητα από σειρά ένταξης.

Προκειμένου να υπολογιστούν οι καταναλώσεις και τα κόστη καυσίμων για τη λειτουργία του Σ.Η.Ε. Κρήτης, είναι αναγκαία η εισαγωγή των καμπυλών ισχύος λειτουργίας – βαθμού απόδοσης των θερμοηλεκτρικών μονάδων. Στα σχήματα 5.2 και 5.3 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι καμπύλες ισχύος λειτουργίας – βαθμού απόδοσης των αμοστροβίλων του ΑΗΣ Λινοπεραμάτων και των αεριοστροβίλων του ΑΗΣ Χανίων.



Σχήμα 5.2: Καμπύλες απόδοσης για τους αμοστρόβιλους του ΑΗΣ Λινοπεραμάτων (πηγή: ΔΕΔΔΗΕ).



Σχήμα 5.3: Καμπύλες απόδοσης για τους Α/Σ του ΑΗΣ Χανίων (πηγή: ΔΕΔΔΗΕ).

Οι καμπύλες ισχύος λειτουργίας – βαθμού απόδοσης των θερμοηλεκτρικών μονάδων και οι τιμές για την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα των καυσίμων μαζούτ και diesel θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των ετήσιων καταναλώσεων καυσίμων.

Σύμφωνα με τους κανόνες λειτουργίας του Σ.Η.Ε. Κρήτης, διατηρείται πάντα στρεφόμενη εφεδρεία, η οποία είναι ίση με την ικανότητα της μεγαλύτερης ενταγμένης θερμοηλεκτρικής μονάδας. Η εφεδρεία αυτή διαμοιράζεται σε, κατά το δυνατόν, περισσότερες μονάδες, λαμβάνοντας υπόψη τις αρχές της οικονομικής λειτουργίας.

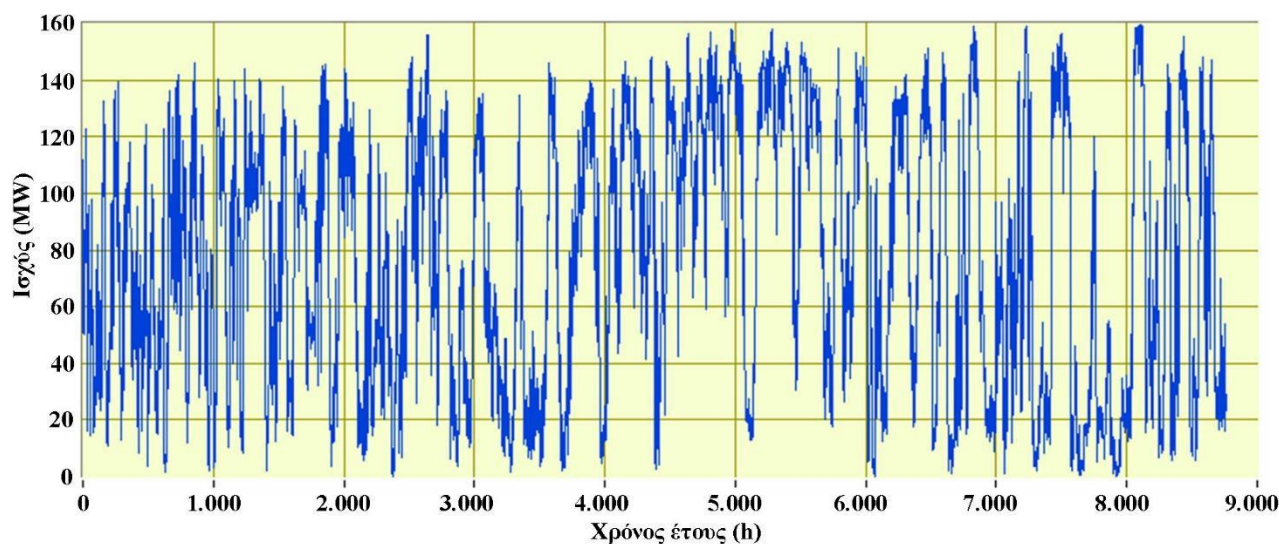
5.1.4. Οι μονάδες μη εγγυημένης ισχύος του συστήματος Κρήτης

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων στο Σ.Η.Ε. Κρήτης προβλέπεται ότι θα ανέλθει το 2016 στα 221MW. Επίσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών σταθμών ανέρχεται στα 90MW.

Για τον υπολογισμό της ετήσιας χρονοσειράς μέσω ωριαίων τιμών παραγωγής ισχύος από τα αιολικά πάρκα και από τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς χρησιμοποιούνται ετήσιες χρονοσειρές μέσω ωριαίων τιμών ταχύτητας ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας από μετεωρολογικούς σταθμούς διεσπαρμένους σε όλο το νησί. Επίσης χρησιμοποιούνται οι καμπύλες ισχύος των εγκατεστημένων

μοντέλων ανεμογεννητριών και η βασική θεωρία υπολογισμού απωλειών κατά την παραγωγή ισχύος από φωτοβολταϊκούς σταθμούς.

Υπολογίζεται τελικά η ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών ηλεκτρικής ισχύος παραγόμενης από το σύνολο των εγκατεστημένων αιολικών πάρκων στην Κρήτη το 2016. Η χρονοσειρά αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 5.4.



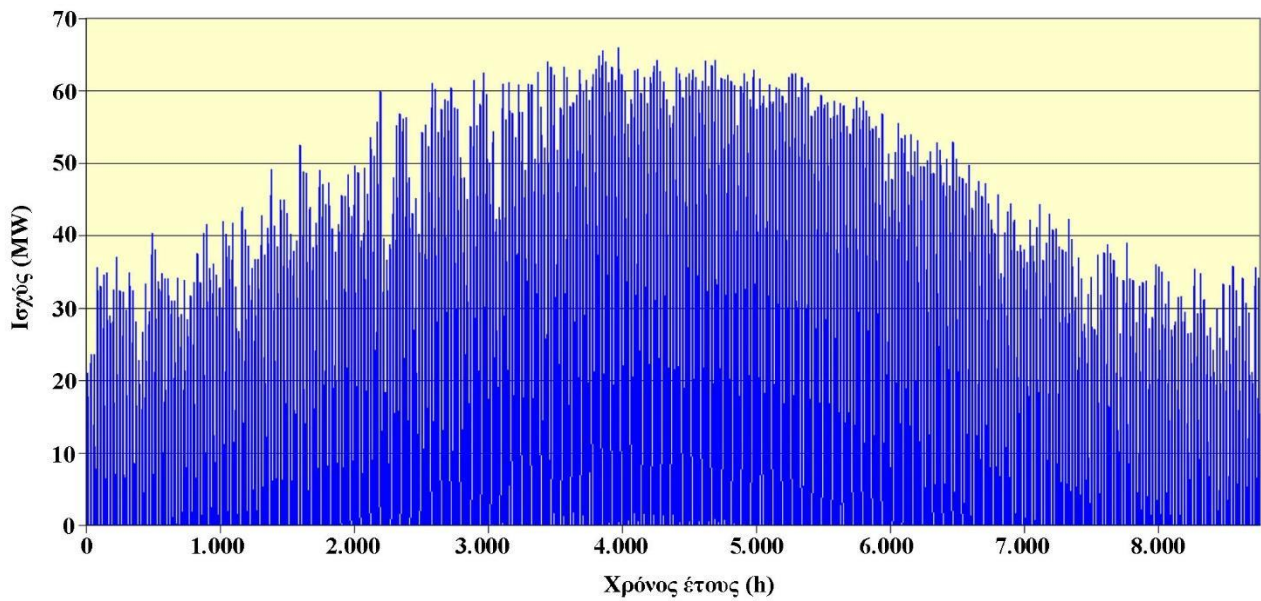
Σχήμα 5.4: Παραγωγή ισχύος από τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα στην Κρήτη το 2016.

Απόρριψη αιολικής ισχύος υφίσταται όταν:

- το στιγμιαίο ποσοστό διείσδυσης αιολικής ισχύος υπερβεί το 30% της στιγμιαίας Ζήτησης ισχύος
- με την απορρόφηση ολόκληρης της στιγμιαίας διαθέσιμης αιολικής ισχύος συνεπάγεται η μείωση της ισχύος λειτουργίας των υποχρεωτικά ενταγμένων θερμοηλεκτρικών μονάδων κάτω από τα τεχνικά τους ελάχιστα.

Το ετήσιο ποσοστό απόρριψης αιολικής ενέργειας υπολογίζεται με ολοκλήρωση της καμπύλης στιγμιαίας απόρριψης αιολικής ισχύος, όπως αυτή προκύπτει με βάση τους ανωτέρω περιορισμούς διείσδυσης.

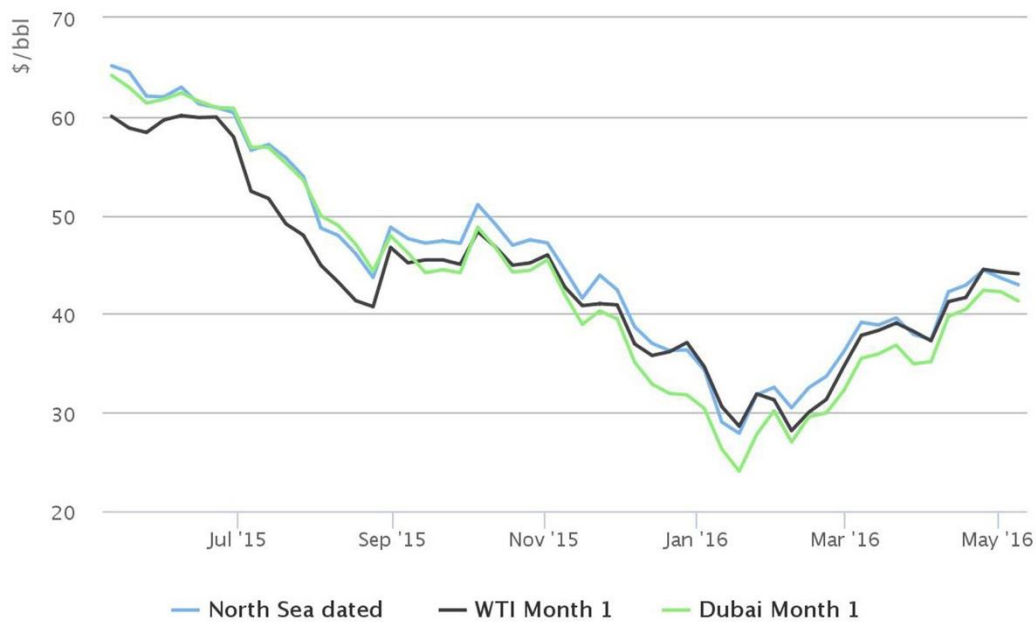
Αντίστοιχα, η χρονοσειρά ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος στην Κρήτη από τα φωτοβολταϊκά πάρκα παρουσιάζεται στο σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5: Ετήσια χρονοσειρά παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τα φωτοβολταϊκά πάρκα στην Κρήτη.

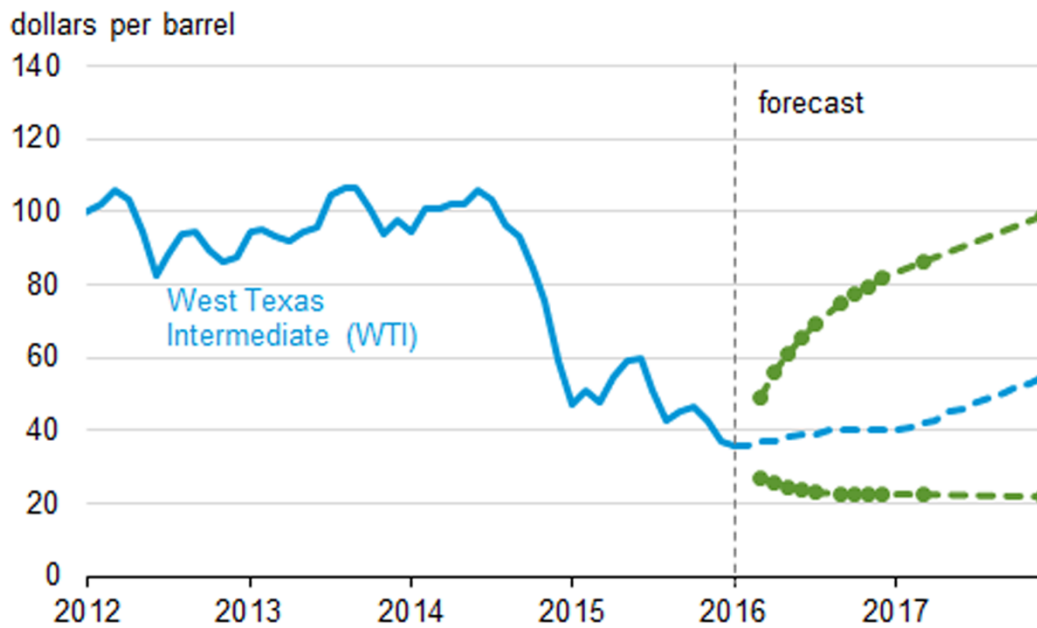
5.1.5. Οι τιμές των καυσίμων

Στο σχήμα 5.6 παρουσιάζεται η εξέλιξη των τιμών του πετρελαίου Brent κατά τα έτη 2015 και 2016, όπως διατίθεται από την ιστοσελίδα <https://www.iea.org/oilmarketreport/omrpublic/>.



Σχήμα 5.6: Διακύμανση τιμής αργού πετρελαίου κατά τα έτη 2015 και 2016.

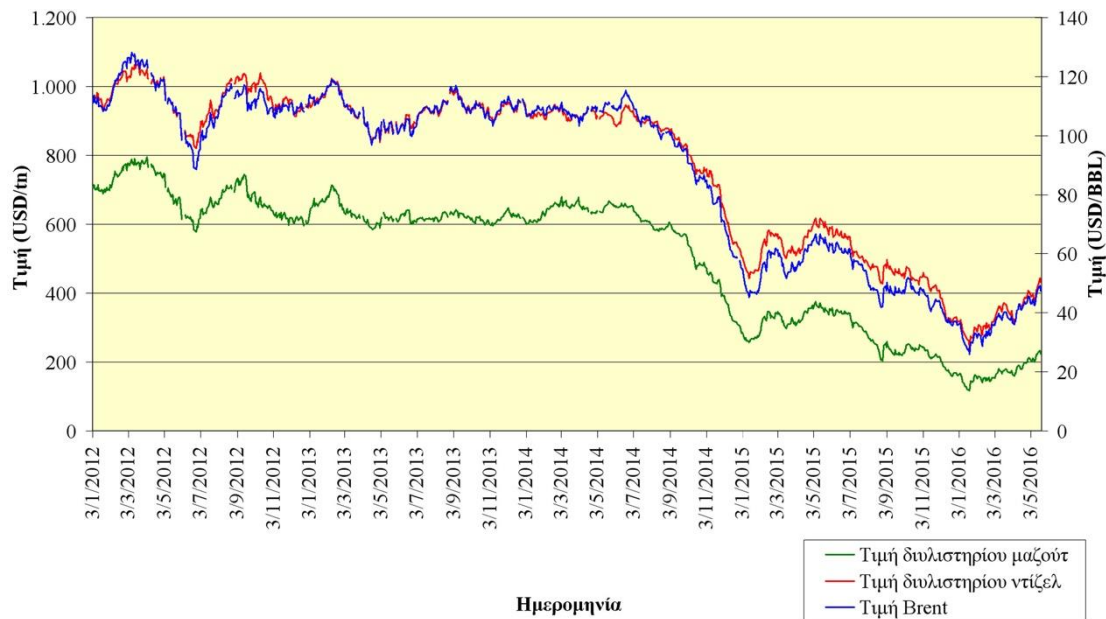
Επίσης, γραφική παράσταση της διακύμανσης των τιμών του πετρελαίου κατά μία χρονική περίοδο πέντε ετών, δηλαδή από το 2012 έως το 2016, παρουσιάζεται στο σχήμα 5.7 (Energy Information Administration: <http://www.eia.gov/>).



Σχήμα 5.7: Διακύμανση τιμής αργού πετρελαίου κατά την περίοδο 2012 – 2016.

Από τα ανωτέρω σχήματα φαίνεται ότι η τιμή του αργού πετρελαίου στην Ευρώπη και παγκοσμίως σημειώνει, τα τελευταία 2 έτη μία σαφή πτωτική τάση, ενώ τα προηγούμενα έτη είχε σταθεροποιηθεί με μικρές διακυμάνσεις σε τιμές περίπου στα 100\$ ανά βαρέλι. Τα ανωτέρω στοιχεία επιβεβαιώνονται από στοιχεία που παραχωρήθηκαν από τα Ελληνικά Διυλιστήρια Ασπροπύργου Α.Ε. Με βάση τα στοιχεία αυτά, η διακύμανση των τιμών του πετρελαίου Brent παρουσιάζεται στο σχήμα 5.8. Στο ίδιο σχήμα δημοσιεύονται οι τιμές διυλιστηρίου Μεσογείου για μαζούτ και ντίζελ. Με βάση τις τιμές που παρουσιάζονται στο σχήμα 5.3, η μέση τιμή του πετρελαίου Brent από το Μάιο του 2014 έως το Μάιο του 2016 διαμορφώνεται στα 63,33US\$/BBL. Για το ίδιο διάστημα, οι μέσες τιμές διυλιστηρίου για το μαζούτ και το ντίζελ διαμορφώνονται στα 346,91\$/tn και 570,08\$/tn αντίστοιχα.

Λαμβάνοντας ένα συντελεστή ισοτιμίας μεταξύ δολαρίου και ευρώ ίσο με 1,10, οι ανωτέρω τιμές διυλιστηρίων γίνονται 315,37€/tn και 518,25€/tn αντίστοιχα.



Σχήμα 5.8: Διακύμανση τιμής πετρελαίου Brent από το 2012 έως 20/5/2016 (πηγή: Ελληνικά Διυλιστήρια Ασπρόπυργου Α.Ε.).

Είναι λοιπόν λογικό να θεωρήσουμε ότι κατά το έτος αναφοράς της παρούσας προσομοίωσης η τιμή του πετρελαίου Brent δεν μπορεί να παραμείνει στις ελάχιστες τιμές που διαμορφώνονται τα δύο τελευταία έτη. Παρόλα αυτά, η τιμή του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς στην παρούσα προσομοίωση θα προκύψει με βάση τη μέση τιμή για το πετρέλαιο Brent από το Μάιο του 2014 έως το Μάιο του 2016, δηλαδή εντός μίας περιόδου κατά την οποία οι τιμές του αργού πετρελαίου κυμάνθηκαν σε ιδιαίτερα χαμηλές τιμές.

Τα αποτελέσματα εκτίμησης των τιμών μαζούτ και ντίζελ στην περίπτωση διαμόρφωσης της τιμής του πετρελαίου Brennt στα 63,33\$/BBL παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5: Διαμόρφωση της τελικής τιμής των καυσίμων μαζούτ και ντίζελ με τιμή βαρελιού πετρελαίου Brent 63,33\$/βαρέλι.

	Μαζούτ	Ντίζελ
Τιμή διυλιστηρίου (€/tn ή klt)	315,37	518,25
Κόστος μεταφοράς (€/tn ή klt)	15,30	14,70
Τέλος Π.Α.Ε. (€/tn ή klt)	0,09	0,19
Ειδικός φόρος κατανάλωσης (€/tn ή klt)	38,00	412,00
Ειδική εισφορά (€/tn ή klt)	3,78	6,22
Ειδικό τέλος 0,5% (€/tn ή klt)	1,79	4,68
Συνολική τελική τιμή καυσίμου (€/tn ή klt)	374,33	956,04

5.2. Προσομοίωση λειτουργίας ΣΗΕ Κρήτης με τον υβριδικό σταθμό

5.2.1. Εισαγωγή

Στη συνέχεια μελετάται η εισαγωγή υβριδικού σταθμού, αποτελούμενου από ΑΠ και αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σταθμό (αντλησιοταμιευτήρα) στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Κρήτης.

5.2.2. Παραδοχές λειτουργίας του υβριδικού σταθμού

Ο υβριδικός σταθμός θα κληθεί να καλύψει το 8% της συνολική ζήτησης κατά τα ημερήσια χρονικά διαστήματα εμφάνισης αιχμών ζήτησης ισχύος.

Τα χρονικά διαστήματα κάλυψης των αιχμών ζήτησης ισχύος είναι:

- Για τους θερινούς μήνες του έτος (29 Μαρτίου έως 25 Σεπτεμβρίου)
 - τις πρωινές ώρες 10:00 – 15:00
 - τις βραδινές ώρες 19:00 – 23:00
- Για τους χειμερινούς μήνες του έτος (25 Σεπτεμβρίου έως 29 Μαρτίου)
 - τις πρωινές ώρες 10:00 – 14:00
 - τις βραδινές ώρες 18:00 – 22:00

Σύμφωνα με τον χρησιμοποιηθέντα αλγόριθμο, η εγγυημένη ισχύς δύναται να παρέχεται είτε από τους υδροστρόβιλους του αντλησιοταμιευτήρα, είτε από το αιολικό πάρκο του ΥβΣ, σε ποσοστό στιγμιαίας συμμετοχής κατά μέγιστο 30%.

Η αποθήκευση ενέργειας μέσω του αντλησιοταμιευτήρα θα γίνεται θεωρητικά:

είτε μέσω της παραγόμενης ισχύος από το ΑΠ, οποιαδήποτε ώρα του εικοσιτετραώρου, μέσω ανεξάρτητων σωληνώσεων άντλησης.

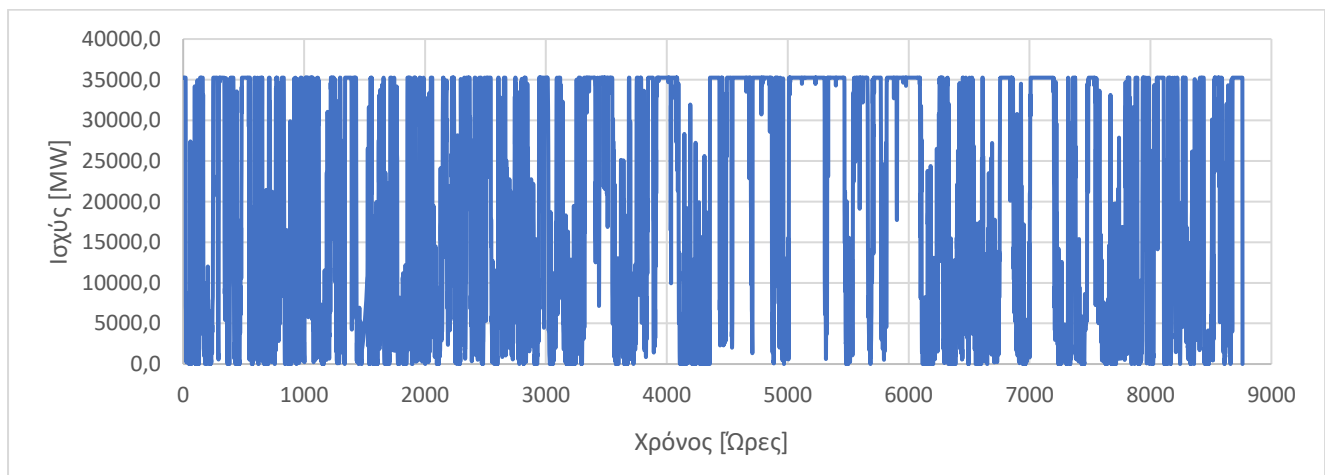
5.2.3. Δεδομένα υπολογισμού

Με βάση τα χαρακτηριστικά της θέσης εγκατάστασης του αιολικού πάρκου και του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, τα δεδομένα υπολογισμού τα οποία εξαρτώνται από τη μορφολογία και τη θέση της περιοχής εγκατάστασης ανακεφαλαιώνονται στον πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6: Γεωμορφολογικά και τεχνικά δεδομένα υπολογισμού.

Άνω δεξαμενή	Συνολικός όγκος λιμνοδεξαμενής [m ³]	2.851.868
	Ενεργή χωρητικότητα λιμνοδεξαμενής [m ³]	2.668.868
	Ελάχιστος όγκος νερού στη λιμνοδεξαμενή [m ³]	183.000
	Απόλυτο υψόμετρο άνω χείλους δεξαμενής [m]	560
	Απόλυτο υψόμετρο πυθμένα δεξαμενής [m]	540
Κάτω δεξαμενή	Συνολικός όγκος λιμνοδεξαμενής [m ³]	22.085.319
	Ενεργή χωρητικότητα λιμνοδεξαμενής [m ³]	21.899.299
	Ελάχιστος όγκος νερού στη λιμνοδεξαμενή [m ³]	186.020
	Απόλυτο υψόμετρο άνω χείλους δεξαμενής [m]	156
	Απόλυτο υψόμετρο πυθμένα δεξαμενής [m]	120
Υψόμετρα	Απόλυτο υψόμετρο θέσης αντλιοστασίου [m]	118
	Απόλυτο υψόμετρο θέσης ΥΗΣ [m]	156
	Μέγιστο μανομετρικό υδραυλικής πτώσης [m]	384
	Ελάχιστο μανομετρικό υδραυλικής πτώσης [m]	367,21
	Μέγιστο μανομετρικό άντλησης [m]	422,05
	Ελάχιστο μανομετρικό άντλησης [m]	420
Συνολικό μήκος σωληνώσεων [m]		1865,79

Για την εκτέλεση των υπολογισμών θα απαιτηθεί η χρήση μιας ετήσιας χρονοσειράς παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τη θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου του ΥΒΣ. Η χρονοσειρά η οποία χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από τον αναλυτικό υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από το αιολικό πάρκο, με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις αιολικού δυναμικού και την εγκατεστημένη ισχύ του αιολικού πάρκου. Η τελική χρονοσειρά παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από το ΑΠ, παρουσιάζεται στο σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9: Ετήσια χρονοσειρά παραγωγής ισχύος από το ΑΠ του ΥΒΣ.

Στη χρονοσειρά παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από το ΑΠ του ΥβΣ που παρουσιάζεται ανωτέρω έχουν συνυπολογιστεί και οι απώλειες έως την τελική διάθεση στο δίκτυο. Αυτές συνίστανται από τις απώλειες σκίασης, υστέρησης λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας των Α/Γ, διαθεσιμότητας ανεμογεννητριών και μεταφοράς.

Με ολοκλήρωση της χρονοσειράς παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από το ΑΠ υπολογίζεται τελικά η ετήσια διαθέσιμη ενέργεια από το ΑΠ του ΥβΣ και ο αντίστοιχος συνολικός συντελεστής απασχόλησης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6.

Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μετά απωλειών [GWh]	165,632
Ετήσιος τελικός συντελεστής απασχόλησης [%]	53,64

Παρατηρείται ότι οι τιμές που υπολογίζονται από τη χρονοσειρά παραγωγής αιολικής ισχύος από το ΑΠ του ΥβΣ, είναι πολύ κοντά με τις τιμές που υπολογίστηκαν στην ενεργειακή μελέτη του ΑΠ.

5.2.4. Διαστασιολόγηση υβριδικού σταθμού

Η διαστασιολόγηση του υβριδικού σταθμού εκτελείται μέσω του Microsoft excel το οποίο αναπτύχθηκε από τον μελετητή. Το εν λόγω λογισμικό εκτελεί τις κάτωθι εργασίες:

- εισαγωγή του υβριδικού σταθμού, καθορισμός παραμέτρων λειτουργίας και προσομοίωση της λειτουργίας του
- οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης του υβριδικού σταθμού.

Η διαστασιολόγηση του υβριδικού σταθμού μέσω του εν λόγω λογισμικού εκτελείται, δεδομένης της ονομαστικής ισχύος του αιολικού πάρκου, ήτοι της εγγυημένης παραγωγής ισχύος από τον υβριδικό σταθμό, αποσκοπώντας:

- στην ελαχιστοποίηση της απορριπτόμενης ενέργειας που έχει παραχθεί από το αιολικό πάρκο
- στην ελαχιστοποίηση της απαιτούμενης ονομαστικής ισχύος υδροστροβίλου και αντλιών, καθώς και της απαιτούμενης χωρητικότητας της άνω δεξαμενής του αντλησιοταμιευτήρα, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το αρχικό κόστος επένδυσης
- στη μεγιστοποίηση των ωρών εγγυημένης ισχύος, ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή εγγυημένης ενέργειας από τον υβριδικό σταθμό

Κριτήριο διαστασιολόγησης του υβριδικού σταθμού είναι η βελτιστοποίηση των οικονομικών δεικτών της επένδυσης (περίοδος αποπληρωμής, εσωτερικός βαθμός απόδοσης, κλπ).

Η διαστασιολόγηση του υβριδικού σταθμού έγινε για εγγυημένη ισχύ 60,93MW, η οποία καθορίστηκε με βάση την ετήσια αιχμή ζήτησης ισχύος από το ΣΗΕ Κρήτης, λαμβάνοντας επίσης υπόψη πιθανή μελλοντική αύξηση της ζήτησης ισχύος στη Κρήτη και τη δυνατότητα του ΥβΣ να ανταποκριθεί σε αυτή. Η τιμή αυτή καθορίζει αυτόματα και την ελάχιστη εγκατεστημένη ισχύ των υδροστροβίλων. Η εγγυημένη ισχύς παράγεται τις ώρες αιχμής του εικοσιτετράωρου, σύμφωνα με το πρόγραμμα παραγωγής που αναλύθηκε ανωτέρω.

Τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης που αφορούν τις βασικές παραμέτρους του συστήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 5.7.

<i>Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα διαστασιολόγησης.</i>	
Ονομαστική ισχύς αιολικού πάρκου [MW]	35,25
Ονομαστική ισχύς υδροστροβίλων [MW]	66,26
Ονομαστική ισχύς αντλιών [MW]	38,32
Ονομαστική συνολική παροχή υδροστροβίλων [m ³ /sec]	18,39
Ονομαστική συνολική παροχή αντλιών [m ³ /sec]	6,42
Εξωτερικής διάμετρος σωληνώσεων πτώσης [m]	3 x 2,540
Εξωτερικής διάμετρος σωληνώσεων άντλησης [m]	1 x 2,133

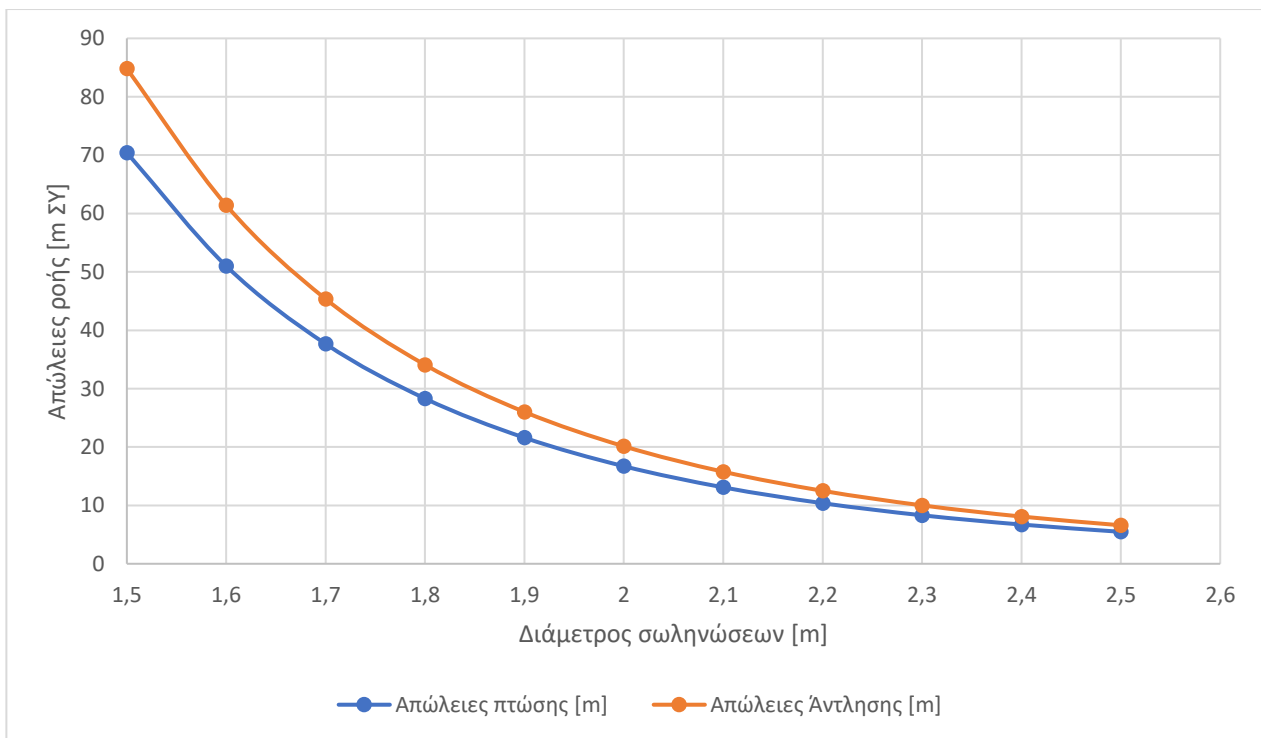
Σημειώνεται, ότι θα χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητες σωληνώσεις για πτώση νερού και για άντληση, δηλαδή συνολικά, θα προκύψει όδευση τριών σωληνώσεων εξωτερικής διαμέτρου 2,540m για την πτώση του νερού και μίας σωληνώσεως εξωτερικής διαμέτρου 2,133m για την άντληση του νερού.

Στο σχήμα 5.10 παρουσιάζεται η διακύμανση των απωλειών ροής στις σωληνώσεις του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, συναρτήσει της διαμέτρου των και για ονομαστική λειτουργία υδροστροβίλων και αντλιών. Η διάμετρος των σωληνώσεων επιλέχθηκε με βάση το διάγραμμα του σχήματος 5.10. Το διάγραμμα του σχήματος 5.10 κατασκευάζεται με βάση τις γνωστές σχέσεις:

$$\delta h_{fT} = f \cdot \frac{L}{d^5} \cdot \frac{8 \cdot Q_T^2}{g \cdot \pi^2} \quad (5.1)$$

$$\delta h_{fP} = f \cdot \frac{L}{d^5} \cdot \frac{8 \cdot Q_P^2}{g \cdot \pi^2} \quad (5.2)$$

όπου οι δείκτες T και P υποδηλώνουν ροή στις σωληνώσεις κατά τη λειτουργία υδροστροβίλων και αντλιών αντίστοιχα. Οι απώλειες ροής στις σωληνώσεις υπολογίστηκαν λαμβάνοντας ως συντελεστές απωλειών ροής $f=0,1014$ για τις χαλύβδινες σωληνώσεις ελικοειδούς ραφής με εσωτερική βαφή ρητίνης.



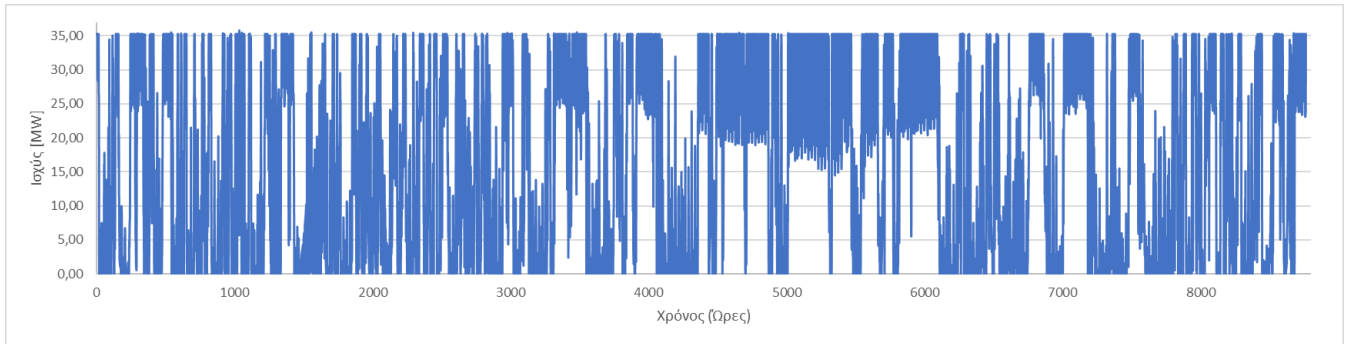
Σχήμα 5.10: Μεταβολή γραμμικών απωλειών ροής στις σωληνώσεις του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, συναρτήσει της διαμέτρου των σωληνώσεων.

Τα αποτελέσματα σχετικά με την παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας από τον ΥβΣ παρουσιάζονται στον πίνακα 5.8.

Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠ [MWh]	165.632,00
Διείσδυση παραγόμενης ενέργειας από ΑΠ [MWh]	26.282,78
Παραγωγή εγγυημένης ενέργειας από υδροστρόβιλο [MWh]	81.065,64
Αποθήκευση ενέργειας από ΑΠ [MWh]	138.363,63
Ποσοστό ενέργειας που δεν καλύπτετε από τον υβριδικό σταθμό[%]	7
Βαθμός απόδοσης αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού [%]	81,49
Περίσσειας ενέργειας ΑΠ [MWh]	985,59
Ποσοστό περίσσειας ενέργειας ΑΠ ως προς την αρχική παραγωγή [%]	0,59

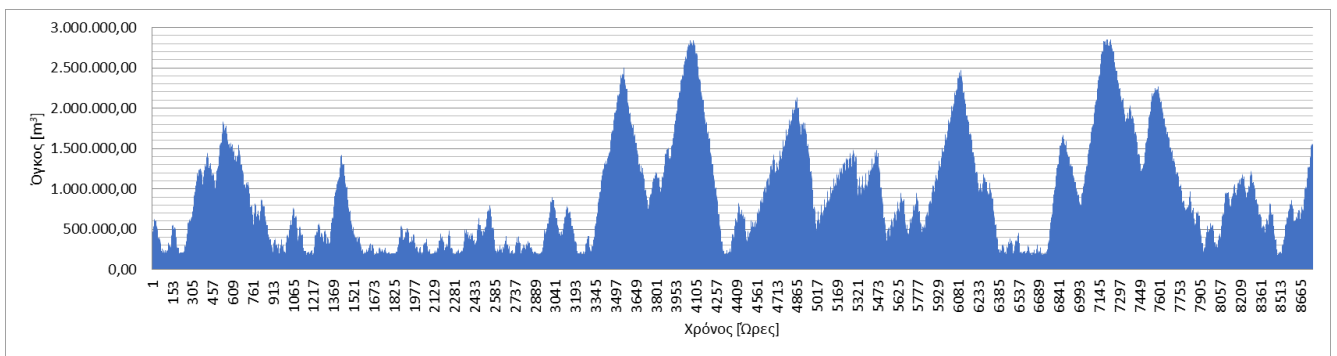
5.2.5. Λειτουργία του υβριδικού σταθμού

Στο σχήμα 5.11 παρουσιάζεται η ετήσια χρονοσειρά αποθήκευσης ισχύος στη μονάδα πλήρωσης του αντλιοσταμειυτήρα.



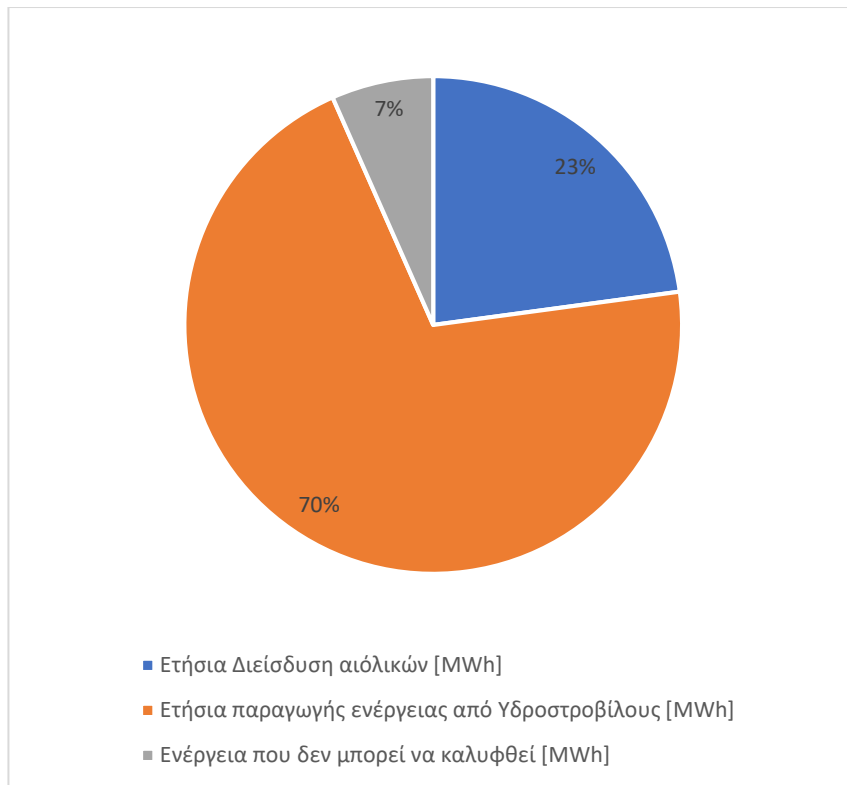
Σχήμα 5.11: Ετήσια αποθήκευση ισχύος στο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό του υβριδικού σταθμού

Στο σχήμα 5.12 παρουσιάζεται η διακύμανση του αποθηκευμένου όγκου νερού στην άνω δεξαμενή του αντλιοσταμειντήρα.



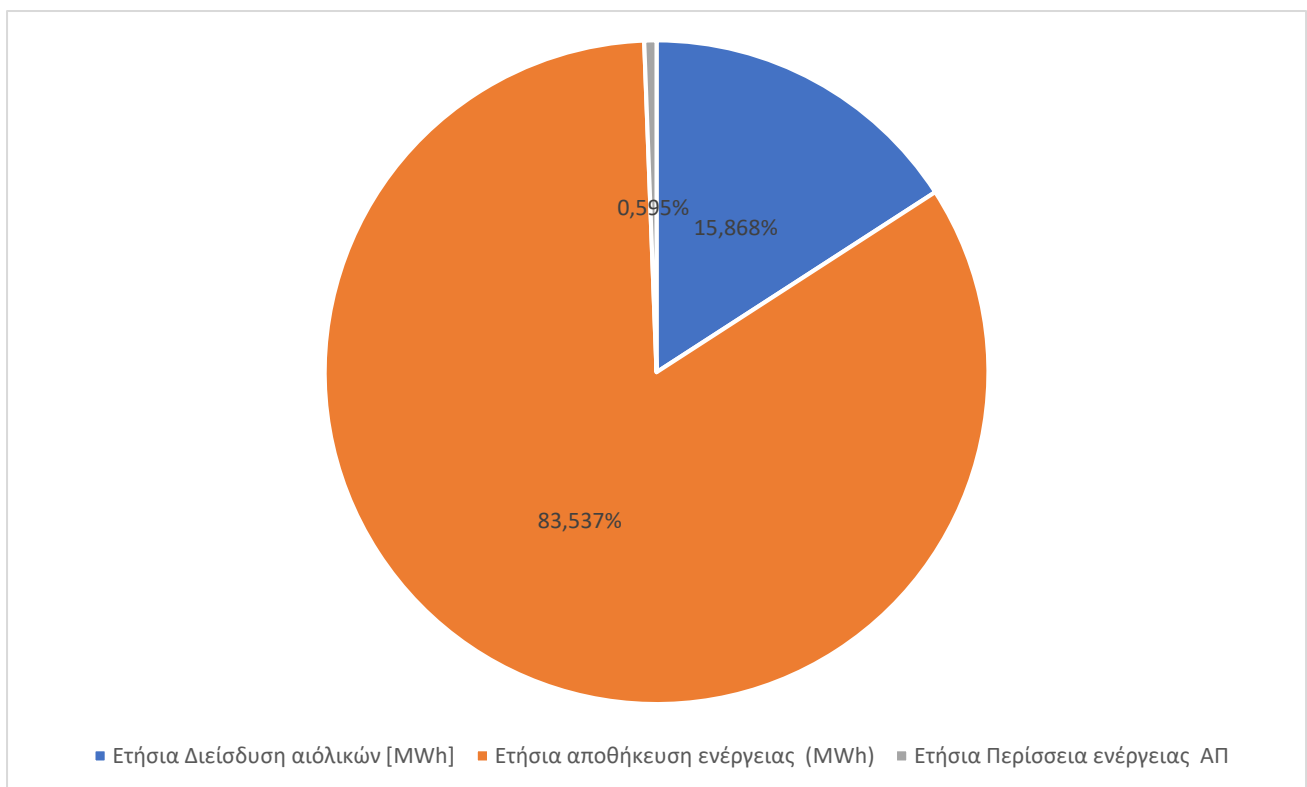
Σχήμα 5.12: Διακύμανση αποθηκευμένου όγκου νερού στην άνω δεξαμενή του αντλιοσταμειντήρα.

Στο σχήμα 5.13 παρουσιάζεται διάγραμμα ποσοστιαίας συμμετοχής των μονάδων παραγωγής του υβριδικού σταθμού.



Σχήμα 5.13: Ποσοστά συμμετοχής των μονάδων παραγωγής του υβριδικού σταθμού

Στο σχήμα 5.14 παρουσιάζεται διάγραμμα ποσοστιαίας συμμετοχής των μονάδων αποθήκευσης του υβριδικού σταθμού.



Σχήμα 5.14: Ποσοστά συμμετοχής των μονάδων αποθήκευσης του υβριδικού σταθμού

5.3. Τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων

5.3.1. Γενικά

Οι υπολογισμοί εκτελέστηκαν με τη βοήθεια σχετικού λογισμικού που αναπτύχθηκε από τους μελετητές. Κριτήρια εκτέλεσης των υπολογισμών ήταν:

- η παραγωγή της προκαθορισμένης εγγυημένης ισχύος από τον υβριδικό σταθμό στις προβλεπόμενες ώρες
- η εξασφάλιση της απαιτούμενης αποθηκευμένης ποσότητας νερού στην άνω δεξαμενή του αντλησιοταμιευτήρα.

Ο υπολογισμός του συστήματος θεωρείται επιτυχής όταν ικανοποιούνται όλα τα ανωτέρω κριτήρια. Ειδικά για το τελευταίο, η περιεχόμενη ποσότητα νερού στην άνω δεξαμενή του συστήματος δεν θα πρέπει να μειώνεται ποτέ κάτω από το προκαθορισμένο ελάχιστο όριο ασφαλείας.

Όλη η διαδικασία υπολογισμού έχει παρουσιαστεί αναλυτικά στις ενότητες που προηγήθηκαν. Στη συνέχεια γίνεται επισκόπηση των σημείων της διαδικασίας υπολογισμού που χρήζουν τεκμηρίωση.

5.3.2. Παραγωγή εγγυημένης ισχύος – Αποθήκευση ισχύος

Η εγγυημένη ισχύς από τον υβριδικό σταθμό παράγεται από το ΑΠ του ΥβΣ σε ποσοστό στιγμιαίας διείσδυσης κατά μέγιστο 30% και από τους υδροστρόβιλους. Σε συνημμένο αρχείο excel, με όνομα «Παραγωγή και αποθήκευση ισχύος – Κρήτης.xlsx» παρέχεται η ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών παραγωγής εγγυημένης ισχύος από τους υδροστρόβιλους.

Η μονάδα Α.Π.Ε. του υβριδικού σταθμού, δηλαδή το ΑΠ, διεισδύει στο δίκτυο ταυτόχρονα με τις αντλίες για την άντληση ενέργειας από το δίκτυο και την αποθήκευσή της μέσω του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού.

Στο προαναφερόμενο αρχείο excel με όνομα «Παραγωγή και αποθήκευση ισχύος – Κρήτης.xlsx» παρέχονται οι ετήσιες χρονοσειρές μέσω ωριαίων τιμών παραγωγής ισχύος από:

- το αιολικό πάρκο και τους υδροστρόβιλους του υβριδικού σταθμού για παραγωγή εγγυημένης ισχύος
- την παραγωγή ισχύος από το ΑΠ του υβριδικού σταθμού για πλήρωση των μονάδων αποθήκευσης του υβριδικού σταθμού (άνω δεξαμενή αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού)

5.3.3. Αποθηκευμένος όγκος νερού στην άνω δεξαμενή

Στο προαναφερόμενο αρχείο excel παρέχονται επίσης αναλυτικά στοιχεία για τον υπολογισμό του αποθηκευμένου όγκου νερού στην άνω δεξαμενή κάθε χρονική στιγμή.

Η ενεργή χωρητικότητα νερού στην άνω δεξαμενή του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού ισούται με $2.668.868\text{m}^3$. Ο όγκος αυτός, για την τοπογραφία της θέσης εγκατάστασης (μέσο μανομετρικό δεξαμενής 422,05m, λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες ροής), αντιστοιχεί σε αποθηκευμένη ενέργεια 138.363,63MWh.

6. Μέρος – Οικονομική ανάλυση

6.1. Οικονομική ανάλυση

Η οικονομική ανάλυση του υβριδικού σταθμού στηρίζεται:

- στις οικονομικές προσφορές που κατετέθησαν από τους προμηθευτές του εξοπλισμού και από τις εταιρείες κατασκευής έργων υποδομής
- σε βιβλιογραφικά δεδομένα και πραγματικά οικονομικά στοιχεία από παρόμοια έργα που κατασκευάστηκαν στο παρελθόν.

6.2. Αρχικό κόστος

Ο προϋπολογισμός του έργου που ακολουθεί, γίνεται με ορίζοντα το 2018 για τις δαπάνες εγκατάστασης και το 2019 για τις δαπάνες λειτουργίας και τα έσοδα και αναλύεται στις συνιστώσες του ως ακολούθως:

1. Αιολικό πάρκο

Το αρχικό κόστος εγκατάστασης του ΑΠ παρέχεται βάσει του τιμολογιακού καταλόγου της εταιρείας Enercon για 15 ανεμογεννήτριες Enercon E-82 E4/2.350kW. Το κόστος αγοράς, μεταφοράς και εγκατάστασης δίνεται από την κατασκευάστρια εταιρεία συνολικά ίσο με **48.767.250,00€**, τιμή που αντιστοιχεί σε 1.200,00 €/kW.

2. Υδροστρόβιλοι, γεννήτριες και ΥΗΣ

Το αρχικό κόστος εγκατάστασης των υδροστροβίλων, των γεννητριών και του παρελκόμενου εξοπλισμού (Μ/Σ κλπ) παρέχεται βάσει οικονομικής προσφοράς της εταιρείας Gerpert ίσο με **42.651.291,51€**. Το συνολικό αρχικό κόστος του ΥΗΣ, προκειμένου να συμπεριληφθούν σε αυτόν τα πρόσθετα απαιτούμενα έργα (κτήριο, διαμόρφωση χώρου, πρόσθετος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός κλπ) εκτιμάται στα **45.697.812,34€**.

3. Αντλίες, κινητήρες και αντλιοστάσιο

Το αρχικό κόστος εγκατάστασης των αντλιών, των κινητήρων, του κόπλερ και της βάσης της αντλίας παρέχεται βάσει οικονομικής προσφοράς της εταιρείας KSB και προκύπτει ίσο με 1.762.500€ ανά αντλία. Για 5 αντλίες συνολικά, το κόστος του βασικού εξοπλισμού ανέρχεται σε 8.812.500,00€. Το συνολικό αρχικό κόστος του αντλιοστασίου εκτιμάται, προκειμένου να συμπεριληφθούν σε αυτό και τα επιπρόσθετα κόστη (κτήριο, διαμόρφωση χώρου, πρόσθετος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, υποθαλάσσιος αγωγός αναρρόφησης, φρεάτιο άντλησης) και υπολογίζεται στα **10.575.000,00€**.

4. Δεξαμενές

Το αρχικό κόστος εγκατάστασης της άνω και της κάτω δεξαμενής του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού εκτιμάται βάσει στατιστικών στοιχείων από προηγούμενα έργα. Συνίσταται στα έργα εκσκαφής και διαμόρφωσης λεκάνης και στα έργα διαμόρφωσης και στεγανοποίησης του πυθμένα. Για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους κατασκευής της δεξαμενής εκτιμώνται:

4.1. Άνω δεξαμενή

Πίνακας 6.1: Ανάλυση κόστους κατασκευής άνω δεξαμενής.

Περιγραφή συνιστώσας κόστους	Ποσότητα	Τιμή μονάδας	Συνολικό κόστος [€]
Κόστος εκσκαφής	10.342.656,00m ³	5€/m ³	51.713.280,00
Διαμόρφωση και στεγανοποίηση πυθμένα	91.500,00 m ²	15€/m ²	1.372.500,00
Διαμόρφωση πρανών δεξαμενής	112.596,00 m ²	10,00 €/m ²	1.125.960,00
Διαμόρφωση όχθης δεξαμενής και περιφερειακής οδοποιίας	6,00 km	20.000,00€/km	120.000,00
Λοιπά κόστη διαμόρφωσης δεξαμενής	204.096,00 m ²	2,50 €/m ²	510.240,00
Σύνολο			54.841.980

4.2. Κάτω δεξαμενή

Πίνακας 6.2: Ανάλυση κόστους κατασκευής κάτω δεξαμενής.

Περιγραφή συνιστώσας κόστους	Ποσότητα	Τιμή μονάδας	Συνολικό κόστος [€]
Λοιπά κόστη διαμόρφωσης δεξαμενής	22.085.319m ³	0,25 €/m ³	5.521.329,75
Σύνολο			5.521.329,75

5. Φράγμα

Πίνακας 6.3: Ανάλυση κόστους κατασκευής φράγματος.

Περιγραφή συνιστώσας κόστους	Ποσότητα	Τιμή μονάδας	Συνολικό κόστος [€]
Κατασκευή εσωτερικών πρανών 1:3	246.813m ³	7,500 €/m ³	1.851.097,50
Διαμόρφωση πρανών δεξαμενής – στεγανοποίηση 1:3	12.265m ²	15,00 €/m ²	183.975
Κατασκευή εξωτερικών πρανών 1:2	202.299 m ³	7,500 €/m ³	1.517.242,50
Διαμόρφωση πρανών δεξαμενής – στεγανοποίηση 1:2	8.865m ²	15,00 €/m ²	132.975
Κατασκευή πύρινα φράγματος	50.872 m ³	10,00 €/m ³	508.720
Στέψη φράγματος – οδοποιία	136 m	20.000,00€/km	2.720
Σύνολο			4.196.730,00

6. Σωληνώσεις

Το αρχικό κόστος εγκατάστασης των σωληνώσεων του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού παρέχεται βάσει οικονομικής προσφοράς της εταιρείας Σωληνουργία Κορίνθου. Το κόστος εγκατάστασης των αγωγών, βάσει στατιστικών στοιχείων για εγκαταστάσεις αγωγών χαλύβδινων, εκτιμάται στο 30% επί του συνολικού κόστους προμήθειας των αγωγών. Η ανάλυση κόστους σωληνώσεων και το συνολικό τους κόστος παρουσιάζονται στον πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4: Ανάλυση κόστους κατασκευής σωληνώσεων.

Περιγραφή συνιστώσας κόστους	Ποσότητα	Τιμή μονάδας	Συνολικό κόστος [€]
Κόστος προμήθειας και τοποθέτησης εσωτερικής επένδυσης χαλύβδινων αγωγών	7827,59tn	1.200,00€/tn	9.393.102,5
Κόστος μεταφοράς χαλύβδινων αγωγών	7827,59tn	73,00€/tn	571.413,74
Κόστος εκσκαφής καναλιού τοποθέτησης	39.517,36m ³	10,00€/m ³	395.173,62
Κόστος εγκατάστασης	39.517,36m ³	90,00€/m ³	3.556.562,59
Κόστος διάνοιξης σήραγγας πλάτους 8m (υδροστροβίλων)	219,96m	8.000,00€/m	1.759.672,80
Κόστος διάνοιξης σήραγγας πλάτους 3m (αντλιών)	219,96m	4.000,00€/m	879.836,40
Σύνολο			16.555.761,65

7. Νέο δίκτυο διασύνδεσης

Στον πίνακα 6.5, μετά από σχετική έρευνα αγοράς, παρουσιάζονται αναλυτικά τα κόστη των δικτύων διασύνδεσης και των νέων ΥΣ.

Πίνακας 6.5: Κόστος καλωδιακών διασυνδέσεων ΑΠ και σταθμού ΥΔΜ και νέου ΥΣ.

Κόστος καλωδιακών διασυνδέσεων ΑΠ και σταθμού ΥΔΜ								
Διαδρομή	Μήκος [m]	Αριθμός καλωδίων	Είδος καλωδίου	Διατομή καλωδίου [mm ²]	Κόστος προμήθειας [€/m]	Κόστος εγκατάστασης [€/m]	Συνολικό κόστος [€]	
ΥΣ ΑΠ – ΥΣ ΥΔΜ	15.457m	5	N2XS(F)2Y 18/30KV	185/25	70	35	8.114.925,00	
ΥΣ ΑΠ – ΥΣ Κρήτης	12.823m	7	N2XS(F)2Y 18/30KV	400/35	100	50	13.464.150,00	
Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης καλωδίων διασύνδεσης							21.579.075,00	
ΥΣ 150kV/30k Αιολικού Πάρκου								4.500.000,00
ΥΣ 30kV ΥΔΜ								2.000.000,00
ΥΣ 150kV/30kV Αντλ/ταμειυτήρα								4.500.000,00
Συνολικό κόστος ΥΣ							11.000.000,00	
Συνολικό κόστος διασύνδεσης εγκαταστάσεων ΥβΣ με το σύστημα							32.579.075,00	

8. Έργα οδοποιίας

Τα απαιτούμενα έργα οδοποιίας είναι μεσαίας έκτασης, καθώς για το σύνολο των θέσεων εγκατάστασης υπάρχει υφιστάμενη αγροτική οδοποιία που κοντά σε αυτές, επομένως πρέπει να κατασκευαστεί νέα αγροτική οδοποιία ή να επεκταθεί η υφιστάμενη αγροτική οδοποιία.

Κατηγορία οδοποιίας	Μήκος [km]	Ειδικό κόστος βελτιώσεων – διάνοιξης [€/km]	Κόστος [€]
Αιολικό Πάρκο			
Παρακαμπτήριες οδοί οικισμών	5,20	30.000,00	156.000,00
Υφιστάμενη αγροτική οδοποιία πρόσβασης	8,50	30.000,00	255.000,00
Νέα εσωτερική οδοποιία ΑΠ	4,00	60.000,00	240.000,00
Επιμέρους συνολικό κόστος			651.000,00
ΥΗΣ και αντλιοστάσιο			
Υφιστάμενη αγροτική οδοποιία πρόσβασης	2,50	20.000,00	50.000,00
Νέα εσωτερική οδοποιία ΑΠ	1,80	60.000,00	108.000,00
Επιμέρους συνολικό κόστος			158.000,00
Άνω δεξαμενή			
Υφιστάμενη αγροτική οδοποιία πρόσβασης	6,00	20.000,00	120.000,00
Επιμέρους συνολικό κόστος			120.000,00
Κάτω δεξαμενή			
Υφιστάμενη αγροτική οδοποιία πρόσβασης	6,00	20.000,00	120.000,00
Επιμέρους συνολικό κόστος			120.000,00
Συνολικό κόστος παρεμβάσεων οδοποιίας			1.049.000,00€

9. Έργα υποδομής

Εκτιμάται ένα συνολικό κόστος δευτερευόντων έργων υποδομής στα **10.000.000,00€**.

10. Δευτερέων ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

Το κόστος του δευτερεύοντος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (καλωδιώσεις μεταφοράς ισχύος και ασθενών ρευμάτων, κέντρα ελέγχου, SCADA κλπ) εκτιμάται ίσο με **5.000.000,00€**.

11. Αμοιβές συμβούλων και μελετών

Οι αμοιβές συμβούλων και μελετών του έργου εκτιμώνται στα **3.000.000,00€**.

12. Διάφορα κόστη

Για διάφορα άλλα κόστη, απρόβλεπτα ή μικρότερης κλίμακας εκτιμάται ότι θα δαπανηθεί το ποσό των **5.000.000,00€**.

Βάσει των ανωτέρω αναφερόμενων στοιχείων, υπολογίζεται τελικά το αρχικό κόστος του υβριδικού σταθμού, το οποίο παρουσιάζεται στον πίνακα 6.7.

Πίνακας 6.7: Υπολογισμός αρχικού κόστους υβριδικού σταθμού.

A/A	Συνιστώσα αρχικού κόστους συστήματος	Κόστος [€]
1	Αιολικό πάρκο	48.767.250,00
2	Υδροστρόβιλοι και γεννήτριες (ΥΗΣ)	45.697.812,34
3	Αντλίες και κινητήρες (αντλιοστάσιο)	10.575.000,00
4	Άνω δεξαμενή	54.841.980,00
5	Κάτω δεξαμενή	5.521.329,75
6	Φράγμα	4.196.730,00
7	Σωληνώσεις	16.555.761,65
8	Ηλεκτρικό δίκτυο διασύνδεσης	32.579.075,00
9	Έργα οδοποιίας	1.049.000,00
10	Διάφορα έργα υποδομής	10.000.000,00
11	Δευτερεύων ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	5.000.000,00
12	Αμοιβές συμβούλων και μελετών	3.000.000,00
13	Διάφορα άλλα κόστη	5.000.000,00
	Συνολικό κόστος υβριδικού σταθμού	241.639.664,99

6.3. Χρηματοδοτικό σχήμα

Για τις ανάγκες της παρούσας επιλέγεται το χρηματοδοτικό σχήμα που παρουσιάζεται στον πίνακα 6.8.

Πίνακας 6.8: Χρηματοδοτικό σχήμα επένδυσης.

	Ποσοστό [%]	Ποσό [€]
Ίδια κεφάλαια	25,00	60.409.916,25
Δάνειο	60,00	144.983.799,00
Επιχορήγηση	15,00	36.245.949,75
Σύνολο	100,00	241.639.664,99

Η επένδυση, λόγω του χαρακτήρα της, θα προσπαθήσει να αντλήσει δανειακά κεφάλαια από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων, με χαμηλά επιτόκια. Για τις ανάγκες της παρούσας, το δανειακό κεφάλαιο θεωρείται ότι αποπληρώνεται σε 15 ετήσιες δόσεις με επιτόκιο 6,5%.

Η επιχορήγηση θεωρείται ότι δύναται να ληφθεί στα πλαίσια του ΕΣΠΑ.

6.4. Έσοδα

Τα έσοδα της επένδυσης προκύπτουν από:

- την πώληση της εγγυημένης ενέργειας
- την πώληση της εγγυημένης ισχύος.

Σύμφωνα με την πρόταση τιμολόγησης της παραγόμενης εγγυημένης ενέργειας και ισχύος και της απορροφούμενης ενέργειας από το δίκτυο για την πλήρωση της μονάδας αποθήκευσης, ισχύουν τα κάτωθι:

- τιμή πώλησης εγγυημένης ενέργειας: **0,165€/kWh**
- τιμή πώλησης εγγυημένης ισχύος: **170€/kW & έτος**

Με βάση τα ανωτέρω παρουσιαζόμενα στοιχεία σχετικά με την παραγωγή εγγυημένης ενέργειας και ισχύος, προκύπτουν τελικά τα ετήσια έσοδα της επένδυσης που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.9.

<i>Πίνακας 6.9: Ετήσια έσοδα επένδυσης.</i>		
	Ποσότητα	Έσοδα [€]
Από πώληση εγγυημένης ενέργειας	107.348,42MWh	17.712.489,107€
Από πώληση εγγυημένης ισχύος	60,93MW	10.358.170,80€
Σύνολο		28.070.659,903€

6.5. Ετήσιες δαπάνες – καθαρά κέρδη

Οι ετήσιες δαπάνες της επένδυσης υπολογίζονται βάσει μοντέλου που αναπτύχθηκε από στατιστικά δεδομένα και από βιβλιογραφικές πηγές, καθώς και από τις οικονομικές προσφορές του εξοπλισμού του υβριδικού σταθμού. Η ανάλυση και ο τρόπος υπολογισμού των ετήσιων δαπανών της επένδυσης έχουν ως εξής:

1. Δημοτικά τέλη 3% επί των συνολικών ακαθάριστων εσόδων.
2. Συντήρηση ΑΠ:

Το ετήσιο κόστος συντήρησης του ΑΠ ορίζεται στα 0,012€/kWh παραγόμενη από το ΑΠ, με ελάχιστο κόστος συντήρησης το 47.500€ ανά Α/Γ και ανά έτος, σύμφωνα με την οικονομική προσφορά της εταιρείας Epercon. Για ετήσια παραγωγή ΑΠ 107.348,42MWh, το ετήσιο κόστος συντήρησης υπολογίζεται 1.987.584,00€. Το κόστος αυτό, ανηγμένο ανά εγκατεστημένη Α/Γ ισούται με 132.505,6 €. Συνεπώς, ως ετήσιο κόστος συντήρησης του ΑΠ λαμβάνεται το ποσό των 1.987.584,00€. Τα δύο πρώτα έτη η συντήρηση του αιολικού πάρκου δεν χρεώνεται.

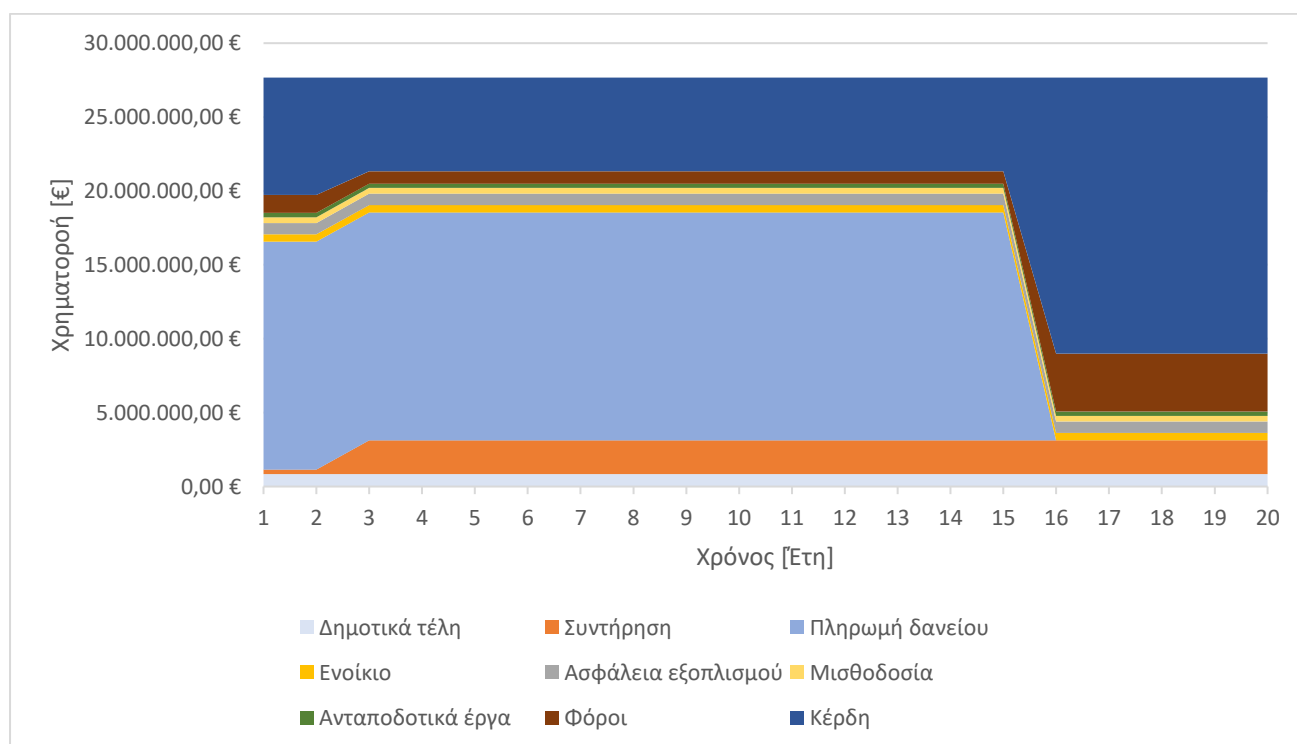
3. Συντήρηση αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού σταθμού **300.000€/έτος**.
4. Ετήσια δόση δανείου **15.419.430,51€**.
5. Μισθοδοσία: 15 εργαζόμενοι με ετήσιες δαπάνες έκαστου 25.000€. Συνολικό κόστος μισθοδοσίας **375.000,00€/έτος**.

6. Ασφάλεια εξοπλισμού 4% επί του αρχικού κόστους του έργου.
7. Ενοίκια γης για εγκατάσταση ΑΠ και αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού: **500.000€/έτος**.
8. Ανταποδοτικές δαπάνες για κατασκευή κοινωφελών αναπτυξιακών έργων στην περιοχή εγκατάστασης του ΑΠ και των δεξαμενών: **300.000€/έτος**. Οι δαπάνες αυτές τονίζεται ότι καταβάλλονται πέραν του 3% των δημοτικών τελών που αναφέρονται ανωτέρω.
9. Χρηματοδότηση ερευνητικών περιβαλλοντικών προγραμμάτων, φορέα διαχείρισης και δράσεων για την προστασία της ορνιθοπανίδας χλωρίδας επί της οροσειράς των Αστερουσίων: **200.000€/έτος**.
10. Διάφορα άλλα απρόβλεπτα έξοδα: **200.000€/έτος**.
11. Σταθερή μέθοδος για τον υπολογισμό των αποσβέσεων για 20 έτη και για συνολικό κεφάλαιο 60.409.916,25€.
12. Φορολογία 20% επί του φορολογητέου ποσού.

Τέλος, η περίοδος ζωής της επένδυσης λήφθηκε ίση με 20 χρόνια και το επιτόκιο αναγωγής ίσο με 8%.

Υιοθετώντας το ανωτέρω σενάριο υπολογισμού των ετήσιων εξόδων λειτουργίας του υβριδικού σταθμού, υπολογίζονται τελικά οι ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 6.10.

Μια γραφική απεικόνιση των ετήσιων χρηματοροών της επένδυσης παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1: Γραφική απεικόνιση ετήσιων χρηματοροών επένδυσης.

Πίνακα 6.10: Ετήσιες χρηματοροές επένδυσης

Έτος	Ετήσια έσοδα	Δημοτικά τέλη	Συντήρηση	Πληρωμή δανείου	Ενοίκιο	Ασφάλεια εξοπλισμού	Μισθοδοσία	Ανταποδοτικά έργα	Περιβαλλοντικές Δράσεις	Διάφορα	Απόσβεση	Φόροι (20%)	Συνολικά έξοδα
1	28.070.659,903 €	842.119,80 €	300.000,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	1.228.073,37 €	20.137.870,605 €
2	28.070.659,903 €	842.119,80 €	300.000,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	1.228.073,37 €	20.137.870,605 €
3	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
4	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
5	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
6	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
7	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
8	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
9	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
10	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
11	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
12	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
13	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
14	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
15	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	15.419.430,51 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	830.556,57 €	21.727.937,805 €
16	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	0,00 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	3.914.442,67 €	9.392.393,398 €
17	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	0,00 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	3.914.442,67 €	9.392.393,398 €
18	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	0,00 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	3.914.442,67 €	9.392.393,398 €
19	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	0,00 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	3.914.442,67 €	9.392.393,398 €
20	28.070.659,903 €	842.119,80 €	2.287.584,00 €	0,00 €	500.000,00 €	773.246,93 €	375.000,00 €	300.000,00 €	200.000,00 €	200.000,00 €	3.020.495,81 €	3.914.442,67 €	9.392.393,398 €

Πίνακα 6.10: Ετήσιες χρηματοροές επένδυσης

Έτος	Κέρδη	Κέρδη στην παρούσα αξία	Καθαρά αθροιστικά κέρδη	Καθαρά αθροιστικά κέρδη στην παρούσα αξία
	-60.409.916,25 €	-60.409.916,25 €		
1	7.932.789,298 €	7.345.175,28 €	-52.477.126,950 €	-53.064.740,97 €
2	7.932.789,298 €	6.801.088,22 €	-44.544.337,651 €	-46.263.652,75 €
3	6.342.722,098 €	5.035.057,30 €	-38.201.615,553 €	-41.228.595,46 €
4	6.342.722,098 €	4.662.090,09 €	-31.858.893,454 €	-36.566.505,36 €
5	6.342.722,098 €	4.316.750,08 €	-25.516.171,356 €	-32.249.755,28 €
6	6.342.722,098 €	3.996.990,82 €	-19.173.449,257 €	-28.252.764,46 €
7	6.342.722,098 €	3.700.917,42 €	-12.830.727,159 €	-24.551.847,04 €
8	6.342.722,098 €	3.426.775,39 €	-6.488.005,060 €	-21.125.071,65 €
9	6.342.722,098 €	3.172.940,18 €	-145.282,962 €	-17.952.131,47 €
10	6.342.722,098 €	2.937.907,57 €	6.197.439,137 €	-15.014.223,89 €
11	6.342.722,098 €	2.720.284,79 €	12.540.161,235 €	-12.293.939,11 €
12	6.342.722,098 €	2.518.782,21 €	18.882.883,333 €	-9.775.156,89 €
13	6.342.722,098 €	2.332.205,75 €	25.225.605,432 €	-7.442.951,14 €
14	6.342.722,098 €	2.159.449,77 €	31.568.327,530 €	-5.283.501,37 €
15	6.342.722,098 €	1.999.490,53 €	37.911.049,629 €	-3.284.010,84 €
16	18.678.266,505 €	5.452.007,94 €	56.589.316,134 €	2.167.997,10 €
17	18.678.266,505 €	5.048.155,50 €	75.267.582,639 €	7.216.152,61 €
18	18.678.266,505 €	4.674.218,06 €	93.945.849,143 €	11.890.370,66 €
19	18.678.266,505 €	4.327.979,68 €	112.624.115,648 €	16.218.350,35 €
20	18.678.266,505 €	4.007.388,60 €	131.302.382,153 €	20.225.738,94 €

6.6. Οικονομικοί δείκτες επένδυσης

Οι οικονομικοί δείκτες της επένδυσης υπολογίζονται επί της χρηματοροής των καθαρών ετήσιων κερδών και αφορούν τα ίδια κεφάλαια του χρηματοδοτικού σχήματος του αρχικού κόστους επένδυσης. Οι οικονομικοί δείκτες επένδυσης παρουσιάζονται στον πίνακα 6.11.

Πίνακας 6.11: Οικονομικοί δείκτες επένδυσης, υπολογισμένοι ως προς τα ίδια κεφάλαια της επένδυσης.

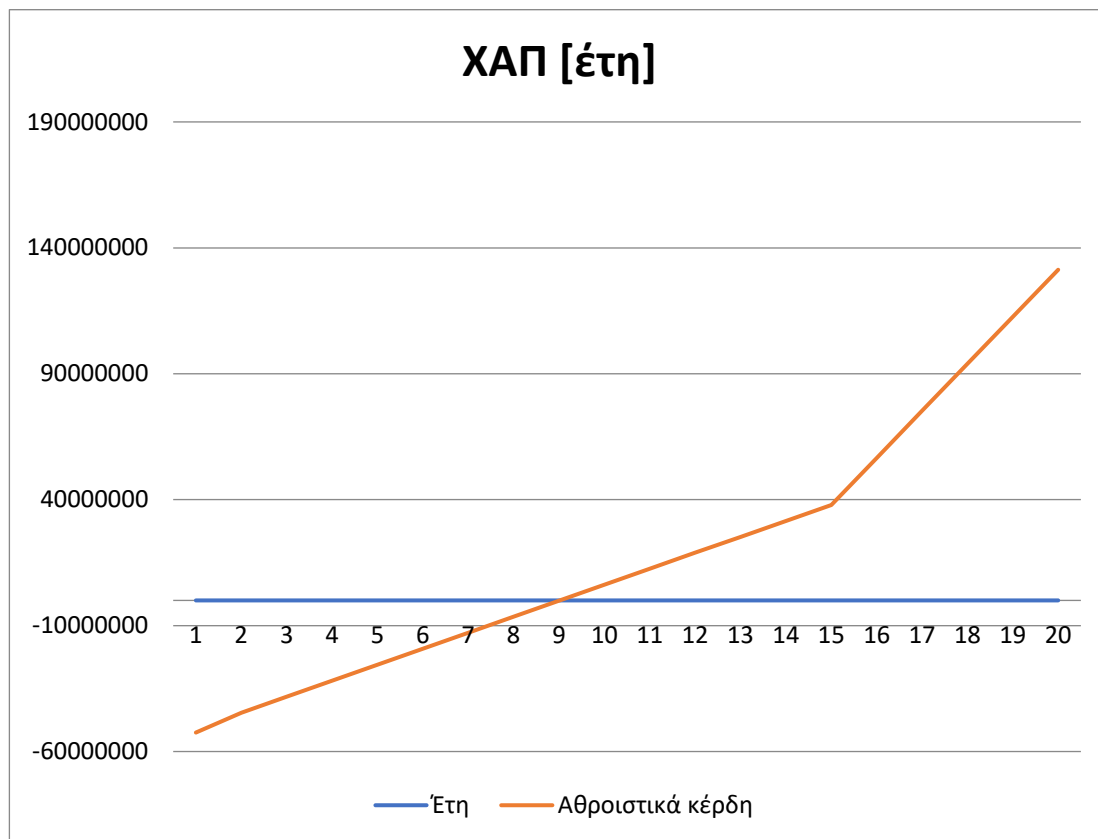
Καθαρή παρούσα αξία ιδίων κεφαλαίων [€]	20.225.738,94 €
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης ιδίων κεφαλαίων [%]	11
Περίοδος αποπληρωμής ιδίων κεφαλαίων [έτη]	9,02
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής ιδίων κεφαλαίων [έτη]	15,46
Απόδοση ιδίων κεφαλαίων (R.O.E.) [%]	133,48
Απόδοση επένδυσης (R.O.I.) [%]	33,37

6.7. Ανάλυση ευαισθησίας

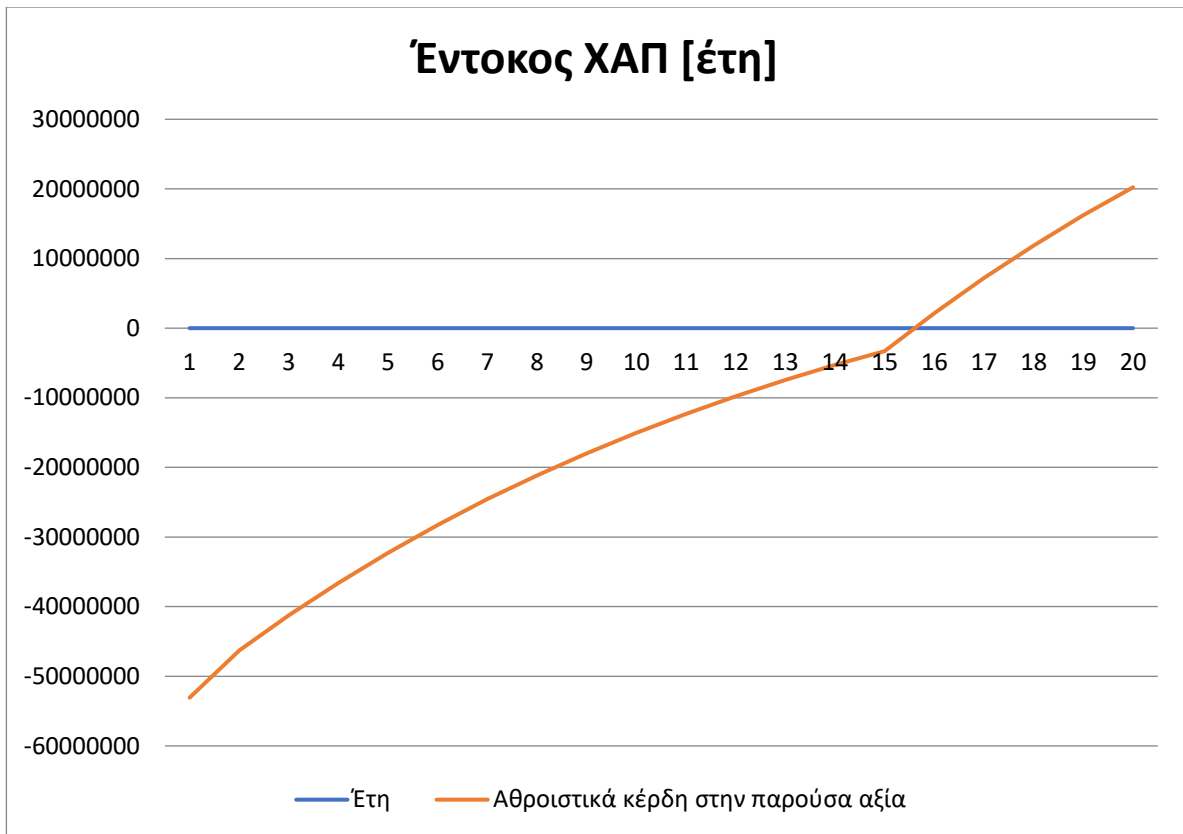
Στα σχήματα 6.2 – 6.3 παρουσιάζονται διαγράμματα ανάλυσης ευαισθησίας των οικονομικών δεικτών:

- περίοδος αποπληρωμής
- έντοκη περίοδος αποπληρωμής

ως προς τον χρόνο της επένδυσης



Σχήμα 6.2: Περίοδος αποπληρωμής ως προς τον χρόνο της επένδυσης.



Σχήμα 6.3: Έντοκη περίοδος αποπληρωμής ως προς τον χρόνο της επένδυσης.

7. Μέρος – Επίλογος

Συμπερασματικά, η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα όπως φαίνεται από τους χρηματοοικονομικούς δείκτες. Η παράλληλη ύπαρξη ανταποδοτικών οφελών και οι θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, από την αντικατάσταση μέρους των ενεργειακών αναγκών ενός τέτοιου συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προσθέτει ακόμη μεγαλύτερη αξία στην επιλογή αυτού, ενώ ο υβριδικός χαρακτήρας που αποκτάται από την ενσωμάτωση του αντλησιοταμιευτήρα, καθιστά την επένδυση συνολικά μία λύση ιδιαίτερα μεγάλου βαθμού απόδοσης.

Το ποσοστό κάλυψης (8%) της συνολικής ζήτησης ισχύος κατά τα ημερήσια χρονικά διαστήματα εμφάνισης αιχμών, σε συνδυασμό με τον σημαντικό συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας (53,64%) και τον ελκυστικό βαθμό εσωτερικής απόδοσης της επένδυσης (11%), αναδεικνύουν την επένδυση αξιόλογη και επιλέξιμη, αφού εκτός των άλλων έμμεσα περιορίζει την περιβαλλοντική επιβάρυνση από συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας από ορυκτά.

8. Βιβλιογραφία

1. Κατσαπρακάκης, Δ. (2015). *Σύνθεση ενεργειακών συστημάτων*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
2. Καλδέλλης, Ι. (2005). *Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας*. 2nd ed. Αθήνα: Σταμούλη, p.595.
3. *Μελέτη Ανάπτυξης του ηλεκτρικού συστήματος της Κρήτης* (2011). Available at: www.admie.gr/fileadmin/user_upload/Files/study/MELETI_DIASYNDESIS_TIS_KRITIS_EKTENIS_PERILIPSI.pdf.
4. Παπαντώνης, Δ. (1998). *Υδροδυναμικές εγκαταστάσεις*. Αθήνα: Συμεών, p.382.
5. Παπαντώνης, Δ. (2005). *Μικρά υδροηλεκτρικά έργα*. Αθήνα: Συμεών, p.464.
6. Παπαντώνης, Δ. (2009). *Υδροδυναμικές μηχανές αντλίες - υδροστρόβιλοι Υδροδυναμικές μεταδόσεις*. Αθήνα: Συμεών, p.340.
7. Estia.minenv.gr. (2018). [online] Available at: <http://estia.minenv.gr/> [Accessed 14 May 2018].
8. Geppert.at. (2018). *Power calculation | Geppert Hydropower*. [online] [Accessed 14 May 2018]. Available at: <https://www.geppert.at/en/power-calculation> [Accessed 14 May 2018].
9. GmbH, c. (2018). *E-82*. [online] Enercon.de. Available at: <https://www.enercon.de/en/products/ep-2/e-82/> [Accessed 14 May 2018].
10. <http://www.wasp.dk>. (2018). *Wind energy industry-standard software - WAsP*. [online] Available at: <http://www.wasp.dk/> [Accessed 14 May 2018].
11. Νίκος, Κ. (2018). *Διαρκής κατάλογος των κηρυγμένων αρχαιολογικών χώρων και μνημείων της Ελλάδος*. [online] Listedmonuments.culture.gr. Available at: http://listedmonuments.culture.gr/search_declarations.php [Accessed 14 May 2018].
12. Lmwindpower.com. (2018). *What is a wind class?* [online] Available at: <https://www.lmwindpower.com/en/stories-and-press/stories/learn-about-wind/what-is-a-wind-class> [Accessed 14 May 2018].
13. Natura2000.eea.europa.eu. (2018). *ArcGIS Web Application*. [online] Available at: <http://natura2000.eea.europa.eu/> [Accessed 14 May 2018].
14. Products.ksb.com. (2018). *KSB products – our pumps and valves | KSB*. [online] Available at: <https://products.ksb.com/global/> [Accessed 14 May 2018].
15. Wake. (2018). *Wikipedia* [online] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wake> [Accessed 14 May 2018].