

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

<<ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΜΙΚΡΟ
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΔΙΚΤΥΟ>>

ΜΑΝΙΑΤΗΣ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΠΑΝΤΩΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με βοήθησαν να ολοκληρώσω την παρούσα διπλωματική εργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ- ABSTRACT	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
1.1 Αρχή αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας.....	5
1.2 Γενική περιγραφή του υδροηλεκτρικού έργου.....	5
1.3 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα υδροηλεκτρικής ενέργειας.....	8
1.4 Φάσεις της μελέτης μικρού ΥΗΕ.....	9
1.4.1 Αναγνωριστική μελέτη	9
1.4.2 Προκαταρκτική μελέτη.....	10
1.4.3 Μελέτη εφαρμογής.....	11
2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ	
2.1 Κατάταξη των υδροστροβίλων.....	12
2.2 Γενικά χαρακτηριστικά και τύποι υδροστροβίλων.....	14
2.3 Επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου.....	17
3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ	
3.1 Γενική περιγραφή του έργου.....	19
3.2 Θέση και χαρακτηριστικά του έργου.....	19
4 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	
4.1 Μεθοδολογία υπολογισμού θερμικών απωλειών.....	22
4.2 Υπολογισμός θερμικών απωλειών του μουσείου.....	34
5 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	
5.1 Επισκόπηση της τοποθεσίας και συλλογή υδρολογικών στοιχείων.....	41
5.2 Περιγραφή προγραμμάτων για την σχεδίαση των γραφημάτων παροχής – ύψους στάθμης.....	50
6 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
6.1 Εισαγωγή.....	54
6.2 Υδρολογικός κύκλος.....	56
6.3 Καμπύλη Διάρκειας Παροχής.....	58
6.4 Σύνθεση Καμπύλης Διάρκειας Παροχής για το ποτάμι στον Τριπόταμο Αρκαδίας.....	59

7 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΥΗΕ

7.1 Περιληπτική περιγραφή της μεθοδολογίας.....	65
7.2 Αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας.....	66
7.3 Υπολογισμός κόστους και εξόδων.....	72
7.4 Μεθοδολογία εύρεσης βέλτιστων τιμών (D – QN) για μέγιστη εξοικονόμηση.....	73
7.5 Υπόλοιπα υπολογιζόμενα μεγέθη.....	74
7.6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων - Διαγράμματα.....	76
7.7 Χαρακτηριστικά υδροηλεκτρικού έργου.....	82

8 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

8.1 Βασικά μέρη του εξοπλισμού.....	88
8.2 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.....	88
8.3 Λειτουργία και αυτοματισμός του έργου	89

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ

9.1 Οφέλη από την κατασκευή του υπό μελέτη έργου.....	99
---	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100
--------------------------	------------

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την ενεργειακή μελέτη και επιλογή εξοπλισμού ενός πολύ μικρού υδροηλεκτρικού έργου στον Τριπόταμο Αρκαδίας. Η ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται από το έργο θα τροφοδοτεί αντιστάτες με σκοπό την θέρμανση του λαογραφικού μουσείου που θα εγκαινιαστεί σύντομα στην εκκλησία της Αγίας Παρασκευής. Τα πρώτα δύο κεφάλαια είναι εισαγωγικά και σκοπό έχουν να εξοικειώσουν τον αναγνώστη με την έννοια της υδροηλεκτρικής ενέργειας αλλά και με την αρχή λειτουργίας μιας υδροηλεκτρικής μονάδας. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται περιγραφή της τοποθεσίας αλλά και των βασικών χαρακτηριστικών του έργου. Επιπλέον εξηγείται αναλυτικά η μεθοδολογία υπολογισμού των θερμικών απωλειών εσωτερικών χώρων και στο ίδιο κεφάλαιο προσδιορίζονται οι θερμικές ανάγκες του λαογραφικού μουσείου. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται επισκόπηση της τοποθεσίας και συλλογή των πρώτων υδρολογικών στοιχείων με σκοπό να γνωστοποιηθεί αν το υδροδυναμικό είναι ικανό να συμβάλλει στην θέρμανση. Ακολουθεί η υδρολογική ανάλυση και η σύνθεση της καμπύλης διάρκειας παροχής για το ενδιαφερόμενο υδατορεύμα. Τα στοιχεία για την σύνθεση της καμπύλης προέκυψαν από το πρόγραμμα RESTOR Hydro και με τη βοήθεια του κ. Κ.Χ. Σούλη. Στο 7^ο κεφάλαιο της εργασίας, περιγράφεται ο κώδικας που συντάχθηκε στη Fortran και σκοπό έχει να βρει τον βέλτιστο συνδυασμό μεγέθους αγωγού – ονομαστικής παροχής υδροστροβίλου, από τον οποίο θα υπάρξει η μεγαλύτερη εξοικονόμηση χρημάτων για το μουσείο. Τέλος περιγράφεται ο απαραίτητος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που θα έχει το υδροηλεκτρικό έργο.

Abstract

This thesis concerns the energy study and equipment selection for a small hydroelectric power plant in Tripotamos Arcadia. The electricity generated from the plant will feed resistors in order to heat the folklore museum soon to be inaugurated in the church of Agia Paraskevi. The first two chapters are introductory and aim at introducing the reader to the concept of hydropower and the operating principle of a hydropower plant. Then the location and the main features of the plant are described, the methodology for the calculation of thermal indoor losses is explained in detail, and the thermal needs of the folklore museum are identified. The next chapter provides an overview of the location and collection of raw hydrological data in order to establish whether the hydrodynamic can contribute to the heating. Then follows the hydrological analysis and synthesis of the flow duration curve for the relevant river. The information for the composition of the curve was taken from the RESTOR Hydro program with Mr. K. X. Soulis' assistance. Chapter 7 describes the code written in Fortran and how this aims at finding the optimal combination of pipe size - nominal flow rate turbine, from which the biggest savings for the museum will result. The thesis closes with a description of the necessary electromechanical equipment used in the hydroelectric plant.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Αρχή αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας

Το επιφανειακό νερό των υδατορευμάτων σε μια υδρολογική λεκάνη προέρχεται κατά βάση από τις βροχοπτώσεις και την τήξη των χιονιών και ρέει από τα ορεινά προς την στάθμη της θάλασσας. Η πορεία αυτή είναι συνέπεια του μείγματος δυναμικής και κινητικής ενέργειας που διαθέτει το υγρό λόγω της βαρύτητας, που όμως συνεχώς υποβαθμίζεται εξαιτίας των ενεργειακών απωλειών από τις υδραυλικές απώλειες, την τύρβη και την μεταφορά φερτών υλικών. Σαν ορισμό μπορούμε να πούμε πως υδραυλική ενέργεια είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού, και αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η ενέργεια αυτή του υγρού είναι ανανεώσιμη καθώς προέρχεται από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις οι οποίες είναι μία φάση του υδρολογικού κύκλου. Κινητήρια δύναμη του υδρολογικού κύκλου είναι η δράση του ηλίου, οπότε συνεπάγεται πως η υδραυλική ενέργεια προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια.

Από τους αρχαίους χρόνους με τους νερόμυλους έως και σήμερα με τους σύγχρονους υδροστρόβιλους ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται την υδραυλική ενέργεια για τις διάφορες εργασίες του. Το νερό εφαρμόζει δυνάμεις με την πτώση του στα πτερύγια των υδροδυναμικών μηχανών, οι οποίες προκαλούν την κινητήρια ροπή στην στρεφόμενη άτρακτο του δρομέα μετατρέποντας έτσι την υδραυλική ενέργεια σε μηχανική.

Η μηχανική ενέργεια είναι αδύνατον να μεταφερθεί ικανοποιητικά στον τόπο κατανάλωσής της. Για τον λόγο αυτό, η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται κατ' ευθείαν σε ηλεκτρική μέσω γεννήτριας η οποία είναι συνδεδεμένη με την άτρακτο του υδροστρόβιλου. Το σύνολο του εξοπλισμού που μετατρέπει την υδραυλική ενέργεια σε ηλεκτρική ονομάζεται υδροηλεκτρικό έργο (ΥΗΕ).

Συνεπώς γίνεται κατανοητό πως για να παραχθεί αξιόλογο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας, είναι απαραίτητο σε ένα υδατόρευμα να υπάρχουν σημαντικές τιμές παροχής των υδάτων αλλά και μεγάλη υψομετρική διαφορά μεταξύ των στάθμεων εισόδου και εξόδου του ΥΗΕ.

1.2 Γενική περιγραφή του υδροηλεκτρικού έργου

Το υδροηλεκτρικό έργο όπως προείπαμε, σκοπό έχει την εκμετάλλευση των υδατοπτώσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ΥΗΕ χαρακτηρίζονται ως σύνθετα έργα αφού συνδυάζουν έργα πολιτικού μηχανικού και ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Σε ένα ΥΗΕ ο πολιτικός μηχανικός

αναλαμβάνει έργα που σχετίζονται με την συγκέντρωση και την παροχέτευση των προς αξιοποίηση υδάτων ενώ το κομμάτι της μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική εξασφαλίζεται από τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός στεγάζεται στο κτήριο του υδροηλεκτρικού σταθμού όπου μετά από οικονομοτεχνική μελέτη αποφασίζεται αν θα είναι υπόγειος ή υπέργειος. Κύριοι παράγοντες της οικονομοτεχνικής μελέτης είναι ο υδροστρόβιλος εξαιτίας του φαινομένου της σπηλαίωσης και η μορφολογία του εδάφους. Πλέον, χάρη στα σύγχρονα μέσα διάνοιξης σηράγγων, οι υπόγειοι σταθμοί φαίνονται να συμφέρουν οικονομικά έναντι των υπέργειων.

Για τα μεγάλα ΥΗΕ τα έργα του πολιτικού μηχανικού ανέρχονται στο 50-60% του συνολικού κόστους της υδροηλεκτρικής μονάδας, ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός καταλαμβάνει το 30-40% ενώ το ποσοστό του κόστους των διάφορων μελετών είναι περίπου στο 10%. Τα κυρίως έργα ενός πολιτικού μηχανικού είναι το φράγμα, η υδροληψία, τα συστήματα προσαγωγής και απαγωγής του νερού και το κτήριο του υδροηλεκτρικού σταθμού. Ως ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός σε ένα ΥΗΕ εννοούνται οι υδροστρόβιλοι, οι ηλεκτρογεννήτριες, οι μετασχηματιστές, οι ασφαλειοαποζεύκτρες, οι ανυψωτικές μηχανές, το σύστημα πεπιεσμένου ελαίου και αέρα και οι αυτοματισμοί για την ομαλή λειτουργία του έργου.

Σκοπός του φράγματος είναι η τροφοδοσία του αγωγού προσαγωγής αλλά και η συγκέντρωση και αποθήκευση σημαντικών ποσοτήτων επιφανειακών υδάτων έτσι ώστε να ανεξαρτητοποιείται η παραγωγή ενέργειας από τη διακύμανση της φυσικής παροχής του ποταμού. Η επιλογή της θέσης για την κατασκευή του φράγματος είναι αποτέλεσμα οικονομοτεχνικής μελέτης και λαμβάνονται υπόψη πολλοί παράγοντες όπως ο σχηματισμός ταμιευτήρα μεγάλης χωρητικότητας, το κόστος και ο σχηματισμός μεγάλης υδραυλικής πτώσης με το μικρότερο δυνατό μήκος αγωγού. Η κατασκευή του φράγματος συνοδεύεται και από άλλα συνωδά έργα τα οποία έχουν ως σκοπό την εξυπηρέτηση του έργου ή σχετίζονται με την ασφάλεια αυτού, όπως ο υπεχειλιστής, η σήραγγα εκτροπής, ο εκκενωτής πυθμένος και η υδροληψία.



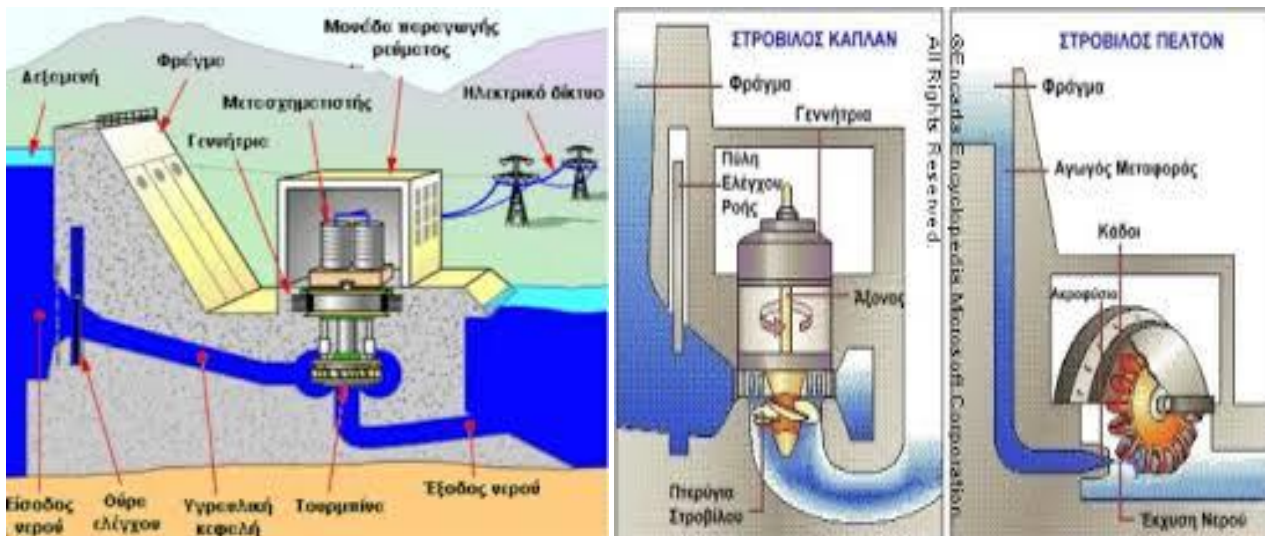
Σχήμα 1.1,1.2 Εικόνες φραγμάτων σε ΥΗΕ



Σχήμα 1.3 Φράγμα σε ΥΗΕ

Το υδραυλικό σύστημα προσαγωγής και απαγωγής της παροχής από το φράγμα στους υδροστρόβιλους και στην συνέχεια στην φυσική κοίτη του ποταμού αποτελείται από την σήραγγα και τον αγωγό προσαγωγής, τις βάνες, τα θυροφράγματα και τους πύργους ανάπλασης οι οποίοι προστατεύουν τον αγωγό του νερού από υπερπιέσεις και υποπιέσεις που προκαλούνται εξαιτίας του υδραυλικού πλήγματος. Ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του έργου το σύστημα προσαγωγής μπορεί να μην περιλαμβάνει σήραγγα ή αγωγό προσαγωγής. Συνήθως ο αγωγός είναι χαλύβδινος με διάμετρο και πάχος που προσδιορίζονται ύστερα από οικονομοτεχνική μελέτη. Σε πολλές περιπτώσεις αγωγού η διάμετρός του δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το μήκος του. Οι βάνες και τα θυροφράγματα διακόπτουν την πορεία του υγρού με σκοπό την κατασκευή και την συντήρηση του έργου.

Συνήθως στα μεγάλα αλλά και στα μικρά ΥΗΕ επιλέγονται τουλάχιστον δύο ζεύγη υδροστροβίλου - γεννήτριας για λόγους ασφαλείας αλλά και εύκολης συντήρησης. Ο ακριβής αριθμός των μονάδων προσδιορίζεται από οικονομοτεχνικά κριτήρια λαμβάνοντας υπόψη τις διακυμάνσεις της παροχής και την ανάγκη κάλυψης αιχμών του δικτύου.



Σχήμα 1.4 Τυπικές διατάξεις υδροηλεκτρικών σταθμών υδροστροβίλου 1) Francis, 2) Kaplan, 3) Pelton

1.3 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα υδροηλεκτρικής ενέργειας

Πλεονεκτήματα ΥΗΕ:

- Η υδραυλική ενέργεια ανήκει στις Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μιας και οι επιφανειακές απορροές προέρχονται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και δεν εξαντλούνται όπως συμβαίνει με τα συμβατικά καύσιμα.
- Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια δεν ρυπαίνουν αφού δεν εκπέμπουν καυσαέρια και απόβλητα αλλά και ούτε μολύνουν θερμικά τους ποταμούς.
- Η κατασκευή των ΥΗΕ συχνά συμβάλει και σε άλλες διευθετήσεις όπως η άρδευση, η ύδρευση, η ρύθμιση πλημμύρας και η αλιεία.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, 50 έτη για τα μεγάλα ΥΗΕ και 20-30 έτη για τα μικρά.
- Οι υδροστροβίλοι είναι στιβαρές αξιόπιστες μηχανές μεγάλης αποδοτικότητας που απαιτούν μικρή επίβλεψη και συντήρηση.
- Για τις ανάγκες του ΥΗΕ κατασκευάζονται δομικά έργα όπως δρόμοι και γέφυρες, τα οποία συντελούν στην αξιοποίηση των απομακρυσμένων περιοχών.
- Το πλέον σημαντικό πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών έργων είναι η δυνατότητα πολύ γρήγορης παραλαβής και απόρριψης φορτίου, έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και η κάλυψη των αιχμών ζήτησης του διασυνδεδεμένου δικτύου. Τον ρόλο αυτό μπορούν να αναλάβουν μόνο τα ΥΗΕ μεγάλης ισχύος με ταμιευτήρα των οποίων η λειτουργία δεν εξαρτάται από την διακύμανση της παροχής του νερού.

Μειονεκτήματα ΥΗΕ:

- Μεγάλη χρονική διάρκεια για τις μελέτες που απαιτούνται, καθώς και για τη συλλογή και για την επεξεργασία υδρολογικών και γεωλογικών στοιχείων.
- Τα ΥΗΕ έχουν μεγάλη διάρκεια κατασκευής. Για τα μικρά έργα απαιτούνται 1-2 χρόνια ενώ ο χρόνος εγκατάστασης ενός μεγάλου ΥΗΕ είναι περίπου 5 με 10 χρόνια.
- Η ποσότητα και η διακύμανση της παροχής των επιφανειακών απορροών, επηρεάζει την παραγωγή ενέργειας κάνοντάς την μη σταθερή κυρίως στα μικρά ΥΗΕ χωρίς ταμιευτήρα.
- Το κόστος κατασκευής των υδροηλεκτρικών έργων είναι υψηλό, της τάξεως των 1500-4000 €/kW. Κατά συνέπεια απαιτείται η διάθεση μεγάλων κεφαλαίων.
- Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια κατασκευάζονται συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές, όντας έτσι μακριά από τον τόπο κατανάλωσης με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται σημαντικά το κόστος κατασκευής από τα έργα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

1.4 Φάσεις της μελέτης μικρού ΥΗΕ

Η μελέτη ενός μικρού ΥΗΕ περιλαμβάνει διάφορες φάσεις οι οποίες αρχίζουν από την τεκμηριωμένη πρόταση υδροηλεκτρικής ανάπτυξης μιας θέσεως μέχρι την ολοκλήρωση της μελέτης εφαρμογής. Η έκταση και εμβάθυνση της μελέτης ενός μικρού ΥΗΕ εξαρτάται σημαντικά από τον χαρακτήρα και το μέγεθος του έργου. Συνεπώς όσο μεγαλύτερη είναι η ονομαστική ισχύς του έργου τόσο ακριβέστερα θα πρέπει να είναι τα προς επεξεργασία γεωλογικά και υδρολογικά δεδομένα.

Σύμφωνα με την διεθνή πρακτική, η μελέτη ενός μικρού ΥΗΕ διεξάγεται σε τρεις διακριτές φάσεις:

- την αναγνωριστική μελέτη
- την προκαταρκτική μελέτη
- την μελέτη εφαρμογής

1.4.1 Αναγνωριστική μελέτη

Σκοπός της αναγνωριστικής μελέτης είναι η διαπίστωση του εάν η εξεταζόμενη θέση αξίζει περισσότερης διερεύνησης ή όχι. Επίσης σε αυτό το στάδιο μελέτης, διεξάγονται έρευνες για περισσότερες από μία θέσεις ενδιαφέροντος κατατάσσοντας για κάθε μία από αυτές την παραγόμενη ενέργεια, το ύψος επένδυσης και τους δείκτες οικονομικής απόδοσης έτσι ώστε να προκύψουν οι ευνοϊκότερες θέσεις. Η διάρκεια της φάσης είναι περίπου 1-2 μήνες.

Τα βήματα της αναγνωριστικής μελέτης είναι τα ακόλουθα:

α) Αναγνώριση της περιοχής

β) Συλλογή υπαρχόντων υδρολογικών στοιχείων

γ) Προκαταρκτική χάραξη του έργου

δ) Υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας

ε) Υπολογισμός του κόστους της επένδυσης

ζ) Επαναληπτική διαδικασία για τα βήματα δ) και ε) με σκοπό να βρεθεί η βέλτιστη τιμή της ονομαστικής παροχής

η) Προτάσεις χρηματοδότησης του έργου

θ) Καταγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

ι) Σύνταξη έκθεσης αναγνωριστικής φάσεως όπου καταλήγει στο εάν συνίσταται ή όχι να υπάρξει συνέχεια με την εκπόνηση της προκαταρκτικής μελέτης.

1.4.2 Προκαταρκτική μελέτη

Σκοπός της προκαταρκτικής μελέτης είναι η διαμόρφωση και διαστασιολόγηση του έργου που προκύπτει από την οικονομική βελτιστοποίηση, εξετάζοντας όλες τις εναλλακτικές λύσεις που φάνηκαν ως ευνοϊκές στην προηγούμενη φάση μελέτης. Η προκαταρκτική φάση απαιτεί την συνεργασία πολλών ειδικοτήτων μηχανικών και επιστημόνων όπως πολιτικού μηχανικού, γεωλόγου, τοπογράφου, μηχανολόγου, ηλεκτρολόγου και οικονομολόγου. Η φάση αυτή διαρκεί από 6 έως 24 μήνες.

Τα βήματα για την σύνταξη της προκαταρκτικής μελέτης είναι:

α) Επανακαθορισμός της διάταξης του έργου από όπου καθορίζεται η ακριβής θέση του έργου αφού πρώτα ελεγχθούν όλες οι πιθανές μετατοπίσεις οι οποίες μπορεί να ρίξουν το κατασκευαστικό κόστος ή να αυξήσουν τα έσοδα.

β) Καταγραφή των συνθηκών της περιοχής

γ) Συμπλήρωση και επιβεβαίωση των υδρολογικών στοιχείων

δ) Διάταξη και διαστασιολόγηση του έργου

ε) Υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας

ζ) Εκτίμηση του κόστους του έργου

η) Οικονομοτεχνική ανάλυση

θ) Οριστικοποίηση της διάταξης που σύμφωνα με την βέλτιστη λύση οριστικοποιείται η διάταξη και το μέγεθος του έργου και αποτυπώνονται τα σχέδια.

ι) Λεπτομερής ανάλυση του κόστους

κ) Σύνταξη χρονοδιαγράμματος

λ) Σύνταξη προκαταρκτικής μελέτης στην οποία επισυνάπτονται τα τεχνικά σχέδια, οι υπολογισμοί, οι αναλύσεις και το συμπέρασμα του αν το έργο θα είναι οικονομικά βιώσιμο.

1.4.3 Μελέτη εφαρμογής

Η τελευταία φάση της μελέτης έχει σκοπό την σύνταξη των τελικών σχεδίων και των προδιαγραφών κατασκευής, προμήθειας και εγκατάστασης του εξοπλισμού. Στη μελέτη εφαρμογής αναλύονται όλες οι συνιστώσες του έργου και συντάσσονται τα οριστικά κατασκευαστικά σχέδια. Επίσης παραδίδονται τα τεύχη των μηχανολογικών, υδραυλικών, ηλεκτρολογικών γεωστατικών και στατικών υπολογισμών, το χρονοδιάγραμμα εξέλιξης κάθε φάσης των εργασιών, η διαδικασία θέσης σε λειτουργία και δοκιμών παραλαβής του έργου καθώς και το τεύχος της προμέτρησης των υλικών και εργασιών και του προϋπολογισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

2.1 Κατάταξη των υδροστροβίλων

Οι υδροστρόβιλοι ανάλογα με τον βαθμό αντιδράσεώς τους διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- τους υδροστρόβιλους δράσεως
- τους υδροστρόβιλους αντιδράσεως

Οι υδροστρόβιλοι δράσεως έχουν μηδενικό βαθμό αντίδρασης, δηλαδή η ροή του νερού διαμέσου του υδροστροβίλου είναι ισόθλιπτη, και είναι μερικής προσβολής αφού σε κάθε χρονική στιγμή μόνο ένα τμήμα της πτερωτής συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή. Ο μόνος τύπος υδροστροβίλου δράσεως που έχει επικρατήσει είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Pelton. Πήρε το όνομά του από τον Αμερικάνο L. A. Pelton το 1889, ο οποίος τον εφηύρε. Οι υδροστρόβιλοι τύπου Pelton χρησιμοποιούνται κυρίως για μεγάλα ύψη πτώσεως. Η απόδοση τους είναι της τάξης του 90%. Από την άλλη, οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως είναι ολικής προσβολής, δηλαδή ολόκληρη η πτερωτή λειτουργεί αξονοσυμμετρικά και η στατική πίεση της ροής μεταβάλλεται. Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως που έχουν επικρατήσει είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Francis, για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H=15-150m$ περίπου), ο υδροστρόβιλος τύπου Deriaz διαγώνιας ροής, και διάφορες διαμορφώσεις υδροστροβίλων αξονικής ροής, για μικρές τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H<15m$) όπως Kaplan, βολβοειδής, σωληνωτός, δακτυλίου, κτλ.

Από την κατάταξη αυτή γίνεται φανερό η διαφοροποίηση που σχετίζεται με τη διαθέσιμη υδραυλική πτώση:

- Ακτινικής και μικτής ροής (τύπου Francis) κατάλληλοι για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H=15-150m$ περίπου)
- Αξονικής ροής (τύπου Kaplan.) κατάλληλοι για την αξιοποίηση μικρών υδραυλικών πτώσεων ($H<15m$).

Από κατασκευαστικής πλευράς, χωρίς να υπάρχει παρά μικρή επίπτωση σε ορισμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά, μπορεί να γίνει διάκριση σε υδροστροβίλους:

- οριζοντίου άξονα
- κατακόρυφου άξονα

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΔΡΑΣΕΩΣ:

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι υδροστρόβιλοι δράσεως είναι υδροστρόβιλοι μερικής προσβολής. Δημιουργείται ελεύθερη δέσμη νερού που προσπίπτει στο σύστημα των πτερυγίων. Ο υδροστρόβιλος δράσεως μετατρέπει όλη τη διαθέσιμη ενέργεια, λόγω πίεσεως, σε κινητική πριν το νερό προσπέσει στα σκαφίδια του δρομέα προσπίπτει μόνο επί του τμήματος της περιφέρειας του δρομέα, ούτως ώστε να μην υφίσταται καμία μεταβολή η στατική πίεση επί του δρομέα. Σε περιπτώσεις πολύ υψηλής ενέργειας ανά μονάδα μάζας του ρευστού και σε συνδυασμό με μικρές σχετικά παροχές είναι προτιμότεροι για διάφορους οικονομοτεχνικούς λόγους η διαμόρφωση τέτοιων στροβίλων. Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους είναι προτιμότερη η διαμόρφωση στροβίλων μερικής προσβολής στις μεγάλες τιμές ενέργειας του ρευστού ανά μονάδα μάζας είναι οι ακόλουθοι:

- Η ταχύτητα της ροής είναι πολύ υψηλή, το οποίο σε συνδυασμό με τις μικρές παροχές, άρα τις μικρές διατομές, έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση των απωλειών λόγω τριβής στο εσωτερικό της μηχανής, άρα τη μείωση του βαθμού απόδοσης.
- Η τιμή της στατικής πίεσης είναι πολύ υψηλή με αποτέλεσμα να γίνεται προβληματική η αντοχή του τμήματος εισόδου εάν αυτό ήταν μορφής σπειροειδούς κελύφους (περίπτωση υδροστρόβιλου Francis) το οποίο αποτελεί και το ογκωδέστερο τμήμα της μηχανής. Στην περίπτωση υδροστρόβιλου Pelton μόνο το τμήμα του ακροφυσίου τροφοδοσίας (που είναι μικρό σε μέγεθος) υπόκειται σε σημαντική τιμή της στατικής πίεσης.
- Η σημαντική διαφορά της στατικής πίεσης στον δρομέα θα είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση των ογκομετρικών απωλειών στο εσωτερικό της μηχανής εάν αυτή ήταν ολικής προσβολής.

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ:

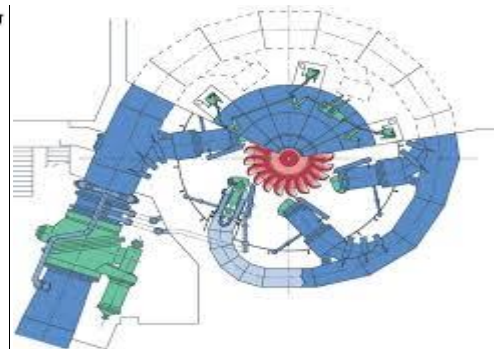
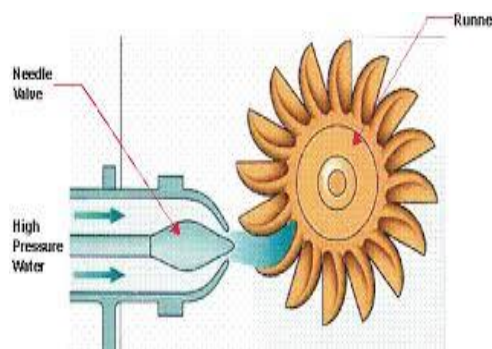
Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης στηρίζονται σε ένα διαφορετικό σχεδιασμό, όπου το ρεύμα του νερού περνάει συνεχώς μέσα από ολόκληρη την περιφέρεια του υδροστρόβιλου, και εξέρχεται αξονικά. Η ροή γίνεται δια μέσω της πτερωτής με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης και γι' αυτό οι πτερωτές τους είναι ολικής προσβολής, δηλαδή λειτουργούν ομοιόμορφα κατά την περιφερειακή διεύθυνση. Με τον τρόπο αυτό το ρευστό παρέχει μια σταθερή ώθηση στον δρομέα, αντίθετα με τους υδροστρόβιλους δράσεως όπου υπάρχει μια σειρά από διαδοχικές κρούσεις επάνω στους κάδους του τροχού. Οι κύριοι τύποι υδροστρόβιλων αντιδράσεως είναι ο υδροστρόβιλος Francis ακτινικής και μικτής ροής και οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής όπως ο τύπος Kaplan.

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά και τύποι υδροστροβίλων

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά του κάθε τύπου υδροστροβίλου.

Pelton:

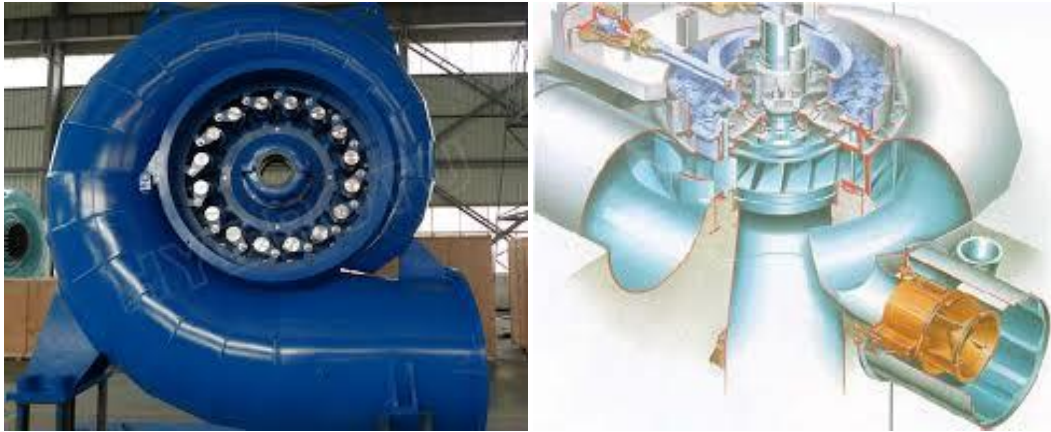
- Υδροστρόβιλος δράσεως
- Κατάλληλος για υψηλές τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H=300-1800$ mΣΥ)
- Παραγόμενη ισχύς μέχρι 400 MW
- Ιδανική προσαρμογή σε λειτουργία υπό μεταβαλλόμενη παροχή
- Κακή λειτουργία σε μεταβαλλόμενο υδραυλικό ύψος



Σχήμα 2.1 Υδροστρόβιλος Pelton

Francis:

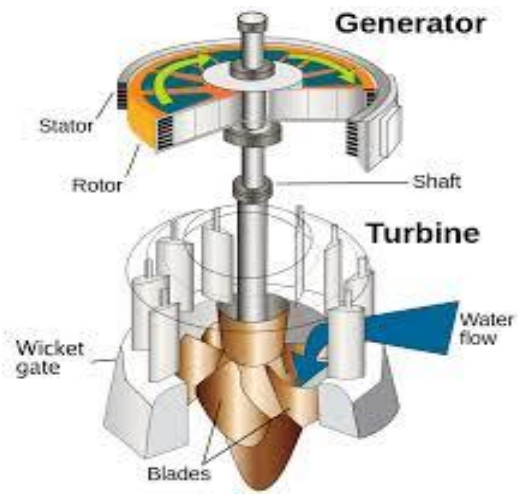
- Κατάλληλος για υψηλές και μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H=20-750$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 800 MW
- Καλή λειτουργία σε μεταβαλλόμενη παροχή
- Μέτρια προσαρμογή σε μεταβαλλόμενο υδραυλικό ύψος



Σχήμα 2.2 Υδροστρόβιλος Francis

Karlan:

- Κατάλληλος για χαμηλές τιμές υδραυλικής πτώσης ($H=10-80$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 200 MW
- Καλή προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή
- Καλή προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη υδραυλική πτώση



Σχήμα 2.3 Υδροστρόβιλος Kaplan

Deriaz:

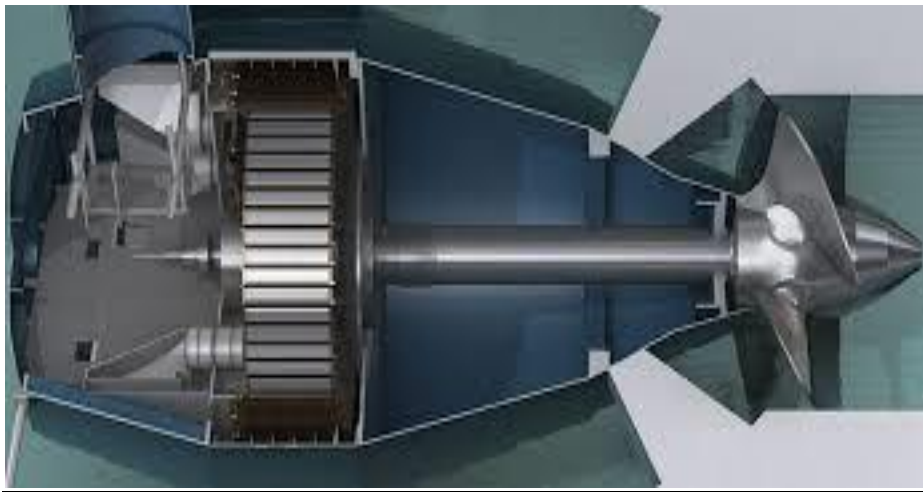
- Κατάλληλος για μεσαία υδραυλικά ύψη ($H=20-150$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 150 MW
- Καλή λειτουργία σε μεταβαλλόμενη παροχή
- Καλή λειτουργία σε μεταβαλλόμενες τιμές του υδραυλικού ύψους



Σχήμα 2.4 Υδροστρόβιλος Deriaz

Βολβοειδής (bulb):

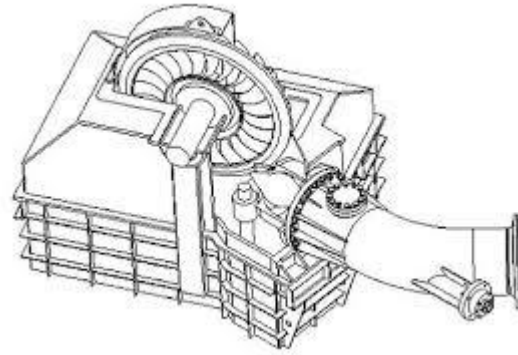
- Κατάλληλος για χαμηλές τιμές υδραυλικής πτώσης ($H=5-20$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 200 MW
- Καλή προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή
- Καλή προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη υδραυλική πτώση



Σχήμα 2.5 Βολβοειδής Υδροστρόβιλος

Turgo:

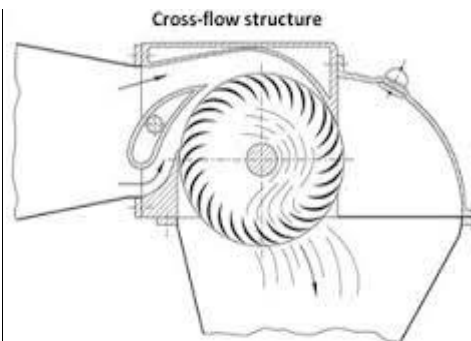
- Κατάλληλο για μεσαίες τιμές υδραυλικού ύψους ($H=30-400$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 2 MW
- Καλή προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή
- Μέτρια προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη υδραυλική πτώση



Σχήμα 2.6 Υδροστρόβιλος Turgo

Cross flow:

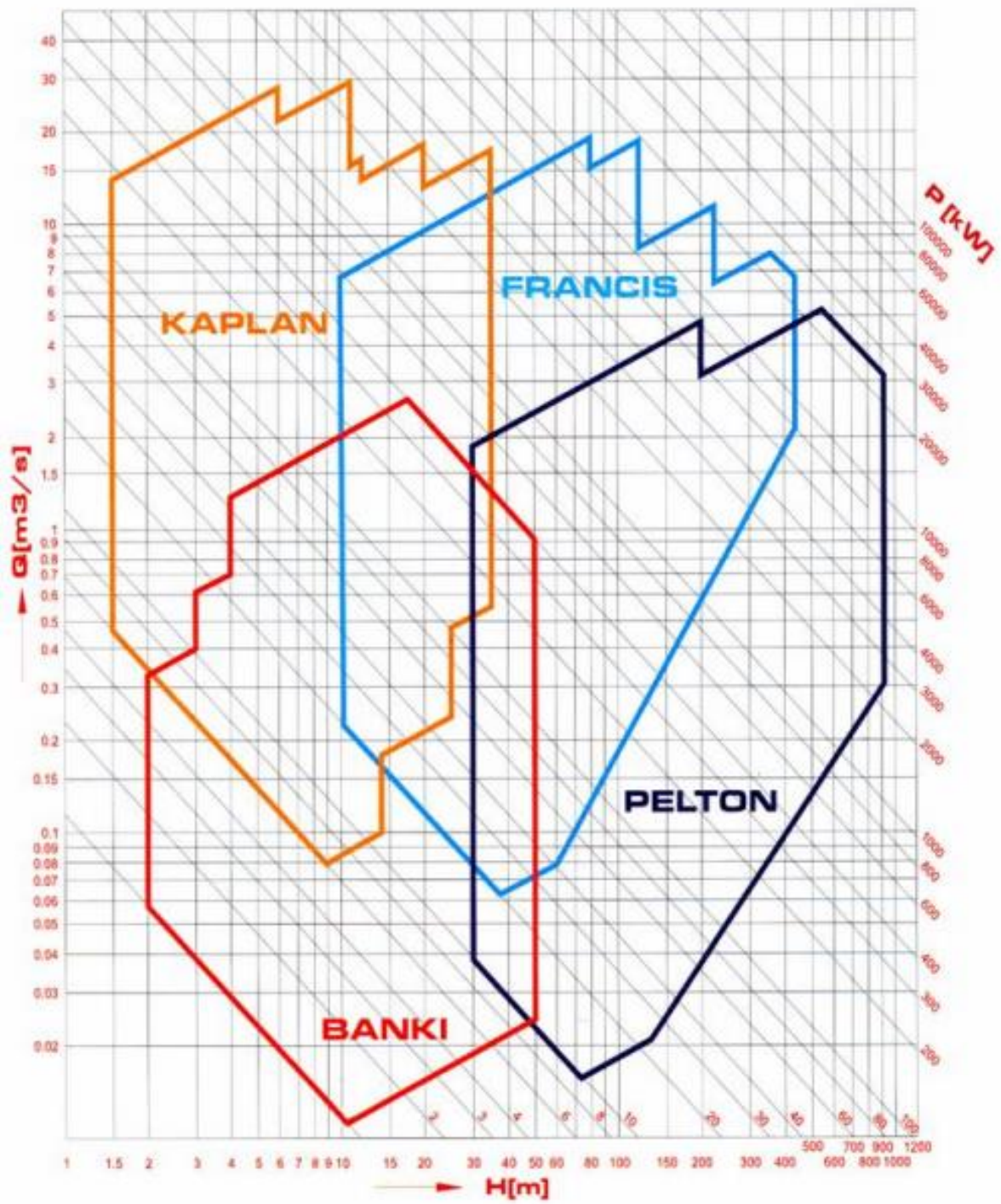
- Κατάλληλος για μικρές υδραυλικές πτώσεις ($H < 100$ mΣΥ)
- Ισχύς μέχρι 2 MW
- Πού καλή λειτουργία σε μεταβαλλόμενη παροχή
- Σταθερή απόδοση σε όλο το εύρος λειτουργίας του
- Καλή λειτουργία σε μεταβαλλόμενες τιμές του υδραυλικού ύψους



Σχήμα 2.7 Υδροστρόβιλος Cross flow

2.1 Επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου

Η επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου γίνεται με βάση το υδροδυναμικό που διαθέτει η θέση ενδιαφέροντος. Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο ο κάθε υδροστρόβιλος είναι αποδοτικός για συγκεκριμένα υδραυλικά ύψη, παροχές και παραγόμενη ισχύ. Για το λόγο αυτό οι κατασκευάστριες εταιρίες έχουν αναπτύξει διαγράμματα επιλογής υδροστροβίλου με βάση την παροχή διαστασιολόγησης και την υδραυλική πτώση. Η παρακάτω εικόνα αποτελεί ένα τέτοιο διάγραμμα της εταιρίας Υδροενέργεια Ο.Ε.



Σχήμα 2.8 Νομογράφημα της εταιρίας Υδροενέργεια Ο.Ε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ

3.1 Γενική περιγραφή του έργου

Στην εκκλησία της Αγίας Παρασκευής λίγο έξω από το χωριό του Τριπόταμου στον νομό Αρκαδίας, πρόκειται να εγκαινιαστεί ένα λαογραφικό μουσείο. Οι εσωτερικοί χώροι του μουσείου αυτού έχουν ανάγκη από θέρμανση. Την θερμική αυτή ανάγκη θα την καλύψουν ηλεκτρικές αντιστάσεις οι οποίες θα τροφοδοτούνται με ρεύμα ύστερα από την αξιοποίηση του υδροδυναμικού του υδατορεύματος που διαθέτει η εκκλησία. Συνεπώς θα κατασκευαστεί υδροηλεκτρικό έργο το οποίο θα μετατρέπει τη διαθέσιμη υδραυλική ενέργεια σε μηχανική και μετά σε ηλεκτρική (ζεύγος υδροστροβίλου – γεννήτριας). Η ηλεκτρική ισχύς που θα παράγεται από την γεννήτρια, στη συνέχεια θα καταναλώνεται από τους αντιστάτες και θα μετατρέπεται σε θερμική ικανοποιώντας έτσι τις απαιτήσεις των εσωτερικών χώρων του μουσείου.

Η προτίμηση στην κατασκευή ενός ΥΗΕ για την θέρμανση των χώρων του μουσείου και όχι άλλων κλασικών τρόπων θέρμανσης, είναι απολύτως δικαιολογημένη. Πρώτα απ' όλα, οι τιμές του πετρελαίου, το οποίο αποτελεί την βασική πηγή θέρμανσης, επιβαρύνονται όλο ένα με περισσότερους φόρους, λόγω της οικονομικής ύφεσης που υπάρχει στη χώρα μας. Παρόμοιο γεγονός συμβαίνει και με το ηλεκτρικό ρεύμα. Συνεπώς, λύσεις για την θέρμανση όπως λέβητας πετρελαίου, και ηλεκτρικά καλοριφέρ που θα τροφοδοτούνται είτε από την ΔΕΗ είτε από diesel – γεννήτρια, προκύπτουν οικονομικά ασύμφορες. Από την άλλη, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από ΥΗΕ, δεν απαιτεί σημαντικά έξοδα, παρά μόνο αρχικό κεφάλαιο. Σε έναν λέβητα pellet, ο οποίος είναι σχετικά οικονομικός, υπάρχουν καθημερινές εργασίες (καθάρισμα στάχτης, γέμισμα δεξαμενής με καύσιμο), υποχρεώνοντας έτσι τον υπεύθυνο να παρευρίσκεται στο μουσείο για την εκτέλεση των εργασιών αυτών. Από την άλλη, ένα μικρό ΥΗΕ μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητο χωρίς ανθρώπινη συμμετοχή.

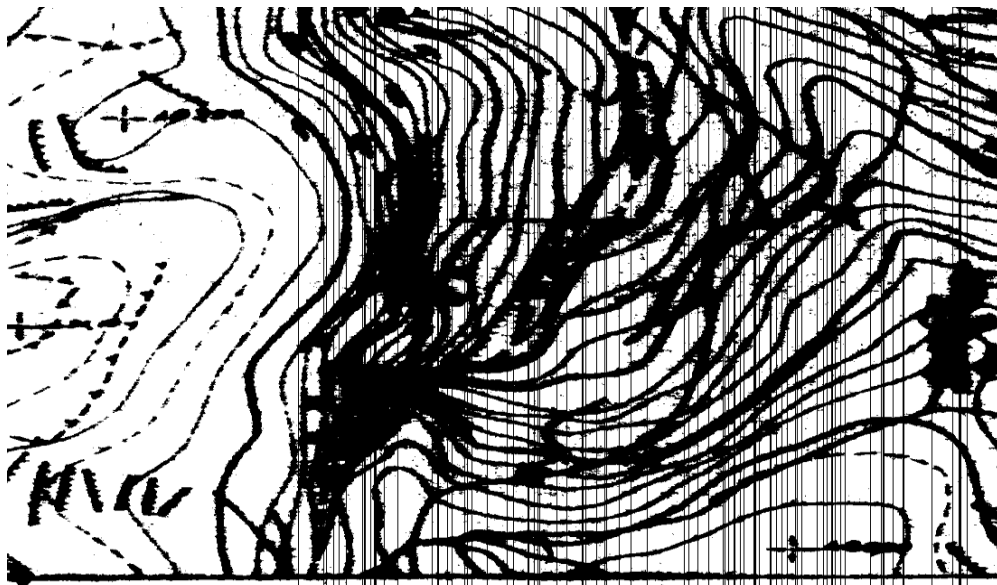
3.2 Θέση και χαρακτηριστικά του έργου

Το υδροηλεκτρικό έργο του οποίου μελέτη αποτελεί η παρούσα διπλωματική εργασία, πρόκειται να κατασκευαστεί στο ποτάμι της εκκλησίας της Αγίας Παρασκευής στον Τριπόταμο Αρκαδίας, δίπλα από το λαογραφικό μουσείο.

Το έργο θα εκμεταλλεύεται μια δημιουργούμενη πτώση 7,3 m, από την θέση της υδροληψίας, όπου το υγρό θα εισέρχεται στην εγκατάσταση από μικρό φράγμα που είναι ήδη κατασκευασμένο στο ποταμάκι έως την θέση που θα τοποθετηθεί ο υδροστρόβιλος. Το συνολικό μήκος υδροληψίας – θέσης υδροστροβίλου είναι 50 m και τόσο θα είναι και το μήκος του αγωγού προσαγωγής.



Σχήμα 3.1 Χάρτης της ευρύτερης τοποθεσίας του έργου (Google Earth)



Σχήμα 3.2 Στρατιωτικός χάρτης της τοποθεσίας του ΥΗΕ



Σχήμα 3.3 Θέση υδροληψίας



Σχήμα 3.4 Θέση που θα κατασκευαστεί η υδροηλεκτρική μονάδα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

4.1 Μεθοδολογία υπολογισμού θερμικών απωλειών

Αναλόγως με την αρχιτεκτονική και την θερμομόνωση του χώρου θα υπολογιστούν οι θερμικές απώλειες που παρουσιάζονται, λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του εσωτερικού χώρου που μελετάμε και του περιβάλλοντος ή άλλων εσωτερικών χώρων (είτε του ίδιου κτηρίου είτε άλλου).

Η συνολική θερμική απαίτηση ενός χώρου προκύπτει ως το άθροισμα των θερμικών απωλειών του χώρου και των προσαυξήσεων λόγω ιδιαίτερων συνθηκών. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε τις απώλειες και τις προσαυξήσεις σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- **Θερμικές απώλειες διαβάσεως (Q_0)**, που προέρχονται από τα δομικά στοιχεία όπως τοίχοι, δάπεδα, οροφές, ανοίγματα
- Προσαυξήσεις λόγω θερμικών απωλειών διαβάσεως
- **Θερμικές απώλειες μεταφοράς θερμότητας λόγω αερισμού (Q_L)**

Θερμικές Απώλειες Διαβάσεως:

Η εξίσωση που μας δίνει τις θερμικές απώλειες διαβάσεως για κάθε δομικό στοιχείο είναι:

$$Q_0 = KA(t_{εσ} - t_{εξ})$$

Q_0 οι απώλειες διαβάσεως από ένα συγκεκριμένο δομικό στοιχείο (W)

A η επιφάνεια του δομικού στοιχείου (m^2)

K ο συντελεστής θερμοπερατότητας ($kcal/h \text{ } ^\circ C \text{ h}$)

$t_{εσ}$ η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία του χώρου ($^\circ C$) η οποία λαμβάνεται από τον πίνακα:

Χώροι	Θερμοκρασία (°C)
1. Κατοικίες	
Καθημερινά, υπνοδωμάτια, κουζίνες	+ 20
Προθάλαμοι, διάδρομοι, W.C.	+ 15
Κλιμακοστάσια	+ 10
Λουτρά	+ 22
2. Καταστήματα και γραφεία	
Καταστήματα, γραφεία, εστιατόρια, δωμάτια ξενοδοχείων	+ 20
Κλιμακοστάσια, διάδρομοι, W.C.	+ 15
3. Εκπαιδευτικά κτίρια	
Αίθουσες διδασκαλίας	+ 20
Χώροι εργαστηρίων	+ 15 έως + 18
Αμφιθέατρα	+ 18
Κλειστά γυμναστήρια	+ 15
Αίθουσες λουτρών, αποδυτήρια	+ 22
Διάδρομοι, κλιμακοστάσια, κλειστές αίθουσες διαλειμμάτων, W.C.	+ 5 έως + 10
Διάδρομοι, κλιμακοστάσια και W.C. νηπιαγωγείων	+ 15
Ιατρείο	+ 24
Χώροι διαφυλάξεως οργάνων και βεσιτάρια	+ 15

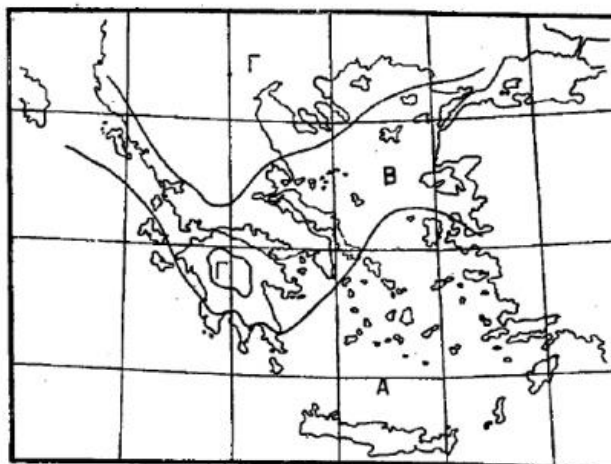
Σχήμα 4.1 Τυποποιημένες επιθυμητές θερμοκρασίες εσωτερικών χώρων

$t_{εξ}$ η εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή του παρακείμενου διαφορετικής θερμοκρασίας χώρου. Εάν ο χώρος της είναι το έδαφος, τότε το $t_{εξ}$ είναι 9 °C, αν είναι κάποιος θερμαινόμενος χώρος τότε είναι 15°C, αν είναι μη θερμαινόμενος χώρος τότε το $t_{εξ}$ λαμβάνει τις τιμές:

10°C για Α κλιματική ζώνη

7°C για Β κλιματική ζώνη

3°C για Γ κλιματική ζώνη



Σχήμα 4.2 Διαχωρισμός της Ελλάδας σε κλιματικές ζώνες

Ενώ αν είναι η ατμόσφαιρα τότε το $t_{εξ}$ λαμβάνεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Όνομα πόλεως	Μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία °C	Υψόμετρο σταθμού m	Επικρατούντες άνεμοι κατά τους μήνες Ιανουάριο - Φεβρουάριο	Ζώνη (σχ. 8.3α)
Αγρίνιο	- 3	45,8	A.	B
Αθήνα (Αστεροσκοπείο)	+ 1	107,0	B. και N.	B
Αίγιο	0	64,0	B.Δ.	B
Αλεξανδρούπολη	- 7	2,5	B.A.	Γ
Αλιάρτος	- 2	110,0	B.Δ.	B
Ανάβρυτα	- 2	290,0	B. και N.Δ.	B
Αργοστόλι	+ 1	1,7	B.A. και N.Δ.	A
Άρτα	- 2	42,0	B.A. και N.	B
Βόλος	- 3	2,7	B.	B
Δράμα	- 8	74,0	N.Δ.	Γ
Έδεσσα	- 7	237,0	B.	Γ
Ελευσίνα	0	29,5	B.	B
Ελληνικό Αττικής	+ 2	10,2	B.	B
Ζάκυνθος	+ 2	6,6	B.A.	A
Ηράκλειο	+ 3	38,5	N.	A
Θάσος	- 6	2,0	B.A.	Γ
Θεσσαλονίκη (Μίκρα)	- 5	2,8	B.Δ.	Γ
Θήρα	+ 3	208,0	B.	A
Ιεράπετρα	+ 4	13,0	B.	A
Ιωάννινα	- 6	483,0	N.A.	Γ
Καβάλα	- 8	62,8	N.A.	Γ
Καλάβρυτα	- 6	731,0	B. και N.	Γ
Καλαμάτα	+ 1	4,6	B.	A
Καλαμπάκα	- 6	226,5	Δ.	Γ
Κάρπαθος	+ 5	9,0	Δ.	A
Κάρυστος	+ 1	10,0	B.	B
Κατερίνη	- 5	31,5	B.	Γ
Κέρκυρα	0	1,0	N.A.	B
Κοζάνη	- 10	625,0	B.	Γ
Κομοτηνή	- 7	30,0	B.A.	Γ
Κόνιτσα	- 6	542,0	B.	Γ
Κόρινθος	+ 1	14,4	N.	B
Κύθηρα	+ 4	166,0	B.A.	A
Κύμη	0	221,1	B.	B
Κως	+ 3	10,0	N.	A
Λαμία	- 4	143,0	Δ.	B
Λάρισα	- 7	72,7	B. και A.	Γ
Λευκάδα	0	2,4	N.A.	A
Λήμνος	0	12,3	B.A.	B
Μέγαρα	0	36,0	B.Δ.	B
Μεθώνη	+ 1	33,0	B.A. και Δ.	A

Μεσολόγγι	-2	1,0	Δ. και Β.Δ.	Β
Μήλος	+3	182,0	Ν.Δ.	Α
Μυτιλήνη	+2	3,2	Ν.	Β
Νάξος	+4	9,0	Β.	Α
Ναύπλιο	0	1,5	Β.	Β
Νέα Φιλαδέλφεια Αττικής	0	136,0	Β.Α.	Β
Ξάνθη	-8	82,0	Β.	Γ
Ορεστιάδα	-9	43,0	Β.Δ.	Γ
Παλαιόχωρα - Κρήτης	+5	8,0	Β.	Α
Πάτρα	-1	1,0	Ν.Δ.	Β
Πειραιάς	+2	2,0	Β.Α.	Β
Πολύγυρος	-8	550,0	Β.Α. και Β.	Γ
Πρέβεζα	0	11,8	Β.Α.	Β
Πτολεμαΐδα	-12	601,0	Β.Δ.	Γ
Πύργος	-1	132,0	Β.Δ.	Β
Ρέθυμνο	+3	16,0	Ν. και Β.	Α
Ρόδος	+3	34,7	Ν. και Δ.	Α
Σάμος	+3	48,4	Ν.Α. και Β.Δ.	Α
Σέρρες	-9	32,5	Α.	Γ
Σητεία	+4	25,2	Β.Δ.	Α
Σκύρος	+2	4,0	Β.Α.	Α
Σουφλί	-10	15,0	Β.	Γ
Σπάρτη	0	212,0	Β.	Β
Σταυρός Χαλκιδικής	-7	10,0	Δ.	Γ
Σύρος	+3	25,0	Β.	Α
Τανάγρα	-2	138,8	Δ.	Β
Τρίκαλα	-6	116,0	Β.Δ.	Γ
Τρίπολη	-5	661,4	Β. και Ν.Δ.	Γ
Φλώρινα	-11	661,0	Δ.	Γ
Χαλκίς	+2	4,0	Β.	Β
Χανιά	+3	62,5	Ν.Δ.	Α
Χίος	+3	60,0	Β.	Α

Σχήμα 4.3 Μέση ελάχιστη θερμοκρασία των πόλεων

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας K του δομικού στοιχείου ισούται με την ποσότητα θερμότητας σε Watt που περνά μέσα από 1 m^2 του δομικού στοιχείου για μια διαφορά θερμοκρασίας $1 \text{ }^\circ\text{C}$ μεταξύ του αέρα που είναι σε επαφή με τους δύο απέναντι επιφάνειες του δομικού στοιχείου.

Η τιμή του συντελεστή K εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

Α) Από το πάχος δ του δομικού στοιχείου

Β) Από το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (W/mK)

Γ) Από το συντελεστή θερμικής μεταβίβασης ή επιφανειακής αγωγιμότητας α του αέρα

Τα μεγέθη λ και α, προσδιορίζονται από τους παρακάτω πίνακες:

Υλικά	Φαινόμενη πυκνότητα kg/m ³	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ	
		kcal/mh°C	W/mK
1. Δομικά υλικά			
1.1 Λίθοι			
1.1.1 Συμπαγείς λίθοι (ασβεστό- λίθος, μάρμαρο, γρανίτης, βασάλτης κλπ.)		3,00	3,49
1.1.2 Πορώδεις λίθοι			
1.1.2.1 Ψαμμίτης		2,00	2,33
1.1.2.2 Πλάκες τύπου Μάλτας		0,90	1,05
1.1.3 Άμμος φυσικής προελεύσεως με φυσική υγρασία		1,20	1,40
1.2 Άργιλος			
1.2.1 Πλίνθοι συμπαγείς ωμοί		0,80	0,93
1.2.2 Πλίνθοι με άχυρο ωμοί		0,60	0,70
1.3 Ξηρά υλικά πληρώσεως τοποθετούμενα χύδη σε διάκενα οροφών, τοίχων κλπ.			
1.3.1 Άμμος διαμέτρου κόκκου ≤ 5 mm		0,50	0,53
1.3.2 Ψηφίδες με διάμετρο κόκκου 5-10 mm συλλεκτές και θραυστές		0,70	0,81
1.3.3 Χονδρόκοκκη κίσηρη		0,16	0,19
1.3.4 Θραύσματα οπτοπλίνθων και κεραμιδιών		0,35	0,41
1.3.5 Περίτης διογκωμένος		0,055	0,064
1.4 Επιχρίσματα (εσωτερικά και εξωτερικά), συνδετική κονία αρμών από:			
1.4.1 Ασβεστοκονίαμα και ασβεστοτσιμεντο- κονίαμα		0,75	0,87
1.4.2 Τσιμεντοκονίαμα		1,20	1,39
1.5 Σκυροδέματα και ελαφρά σκυροδέ- ματα (σε κατασκευαστικά στοιχεία χωρίς αρμούς και σε μεγάλο μεγέθους πλάκες)			
1.5.1 Σκυροδέμα με συλλεκτά ή θραυστά αδρανή κλειστής δομής			
— Κατηγορία σκυροδέματος ≤ B120		1,30	1,51
— Κατηγορία σκυροδέματος ≥ B160		1,75	2,03
1.5.2 Γαρμπιλοσκυροδέμα	1500	0,55	0,64
	1700	0,70	0,81
	1900	0,95	1,10
1.5.3 Κίσηρόδεμα	800	0,25	0,29
	1000	0,30	0,35
	1200	0,40	0,46

1.5.4	Κυψελωτό σκυρόδεμα σκληρυμένο με ατμό	400	0,12	0,14
		500	0,16	0,19
		600	0,20	0,23
		800	0,25	0,29
		1000	0,30	0,35
1.5.5	Περλιτόδεμα τσιμέντο: περλίτης (κατ' όγκο)	1 : 4	0,170	0,198
		1 : 5	0,140	0,163
		1 : 6	0,125	0,145
		1 : 7	0,115	0,134
		1 : 8	0,110	0,128
		1 : 20	0,070	0,081
1.5.6	Πλάκες από σκυρόδεμα, γύψο και αμιαντοτσιμέντο			
1.5.6.1	Πλάκες από κισσηρόδεμα	800	0,25	0,29
1.5.6.2	Πλάκες από ελαφρό σκυρόδεμα με ανάμικτα αδρανή	1400	0,50	0,58
1.5.6.3	Γυψοσανίδες	1200	0,50	0,58
1.5.6.4	Πλάκες από αμιαντοτσιμέντο	1800	0,30	0,35
1.5.7	Τοιχοποιία από τσιμεντόπλινθους συμπεριλαμβανόμενου και του κονιάματος των αρμών ⁽¹⁾			
1.5.7.1	Τσιμεντόλιθοι πλήρεις με ασβεστολιθικά αδρανή	1600	0,68	0,79
		1800	0,85	0,99
		2000	0,95	1,10
1.5.7.2	Τσιμεντόλιθοι διάτρητοι με ασβεστολιθικά αδρανή	1200 ⁽²⁾	0,48	0,56
		1400 ⁽²⁾	0,60	0,70
		1600 ⁽²⁾	0,68	0,79
1.5.7.3	Τσιμεντόλιθοι με διάκενα, με ασβεστολιθικά αδρανή	1000 ⁽²⁾	0,43	0,50
		1200 ⁽²⁾	0,48	0,56
1.5.7.4	Κισσηρόλιθοι πλήρεις	800	0,35	0,41
		1000	0,40	0,46
		1200	0,45	0,52
		1400	0,55	0,64
		1600	0,68	0,79
		1000 ⁽³⁾	0,38	0,44
1.5.7.5	Κισσηρόλιθοι με διάκενα (2 διακένων)	1200 ⁽³⁾	0,42	0,49
		1400 ⁽³⁾	0,48	0,56
		1600 ⁽³⁾	0,48	0,56
1.5.7.6	Κισσηρόλιθοι με διάκενα (3 διακένων)	1400 ⁽³⁾	0,42	0,49
		1600 ⁽³⁾	0,48	0,56
		1600 ⁽³⁾	0,48	0,56
1.5.7.7	Πλίνθοι από κυψελωτό σκυρόδεμα σκληρυμένοι με ατμό	600	0,30	0,35
		800	0,35	0,41
		1000	0,40	0,46
1.5.7.8	Πλίνθοι από κυψελωτό σκυρόδεμα σκληρυμένοι στον αέρα	800	0,38	0,44
		1000	0,48	0,56
		1200	0,60	0,70
1.5.8	Τοιχοποιία από οπτόπλινθους συμπεριλαμβανόμενου και του κονιάματος των αρμών ⁽¹⁾			

1.5.8.1	Οπτόπλινθοι πλήρεις	1000 1200 1400 1800	0,40 0,45 0,52 0,68	0,46 0,52 0,60 0,79
1.5.8.2	Οπτόπλινθοι διάτρητοι	1000 ⁽⁴⁾ 1200 ⁽⁴⁾ 1400 ⁽⁴⁾	0,40 0,45 0,52	0,46 0,52 0,60
1.5.8.3	Πλακίδια επιστρώσεως	2000	0,90	1,05
2. Ξύλα				
2.1	Δρυς		0,18	0,21
2.2	Οξυά		0,15	0,17
2.3	Κωνοφόρα (πεύκο, έλατο κλπ.)		0,12	0,14
2.4	Κόντρα πλακέ, πλακάζ κλπ.		0,12	0,14
2.5	Μορισσανίδες	900	0,15	0,17
3. Μέταλλα - Ύαλος				
3.1	Ύαλος		0,70	0,81
3.2	Χυτοσίδηρος και χάλυβας		50	53,15
3.3	Χαλκός		330	283,79
3.4	Ορείχαλκος		55	53,96
3.5	Αλουμίνιο		175	203,52
4. Συνθετικά και Ασφαλτικά υλικά επιστρώσεως				
4.1	Λινόλευμ	1200	0,16	0,19
4.2	Ασφαλτικό σκυρόδεμα	2100	0,60	0,70
4.3	Άσφαλτος	1050	0,15	0,17
4.4	Ασφαλτόχαρτο	1100	0,16	0,19
5. Θερμομονωτικά υλικά				
5.1	Πλάκες από υαλοβάμβακα βακελιτούχες και από λιθοβάμβακα (ορυκτοβάμβακας)		0,035	0,041
5.2	Υαλοβάμβακας μη μορφοποιημένος	50	0,035	0,041
5.3	Πλάκες ελαφρών κατασκευών από ξυλόμαλλο με ανόργανη συνδετική κονία πάχους:			
	15 mm	570	0,12	0,14
	25 έως 35 mm	460 - 415	0,080	0,093
	50 mm και μεγαλύτερου	390 και μικρότερο	0,070	0,081
5.4	Πλάκες από διογκωμένο φελλό	120 160 200	0,035 0,038 0,040	0,041 0,044 0,046
5.5	Πλακίδια από φελλό	450	0,055	0,064
5.6	Διογκωμένα συνθετικά υλικά ^{(5) (7)}		0,035	0,041
5.7	Σκληροί αφροί από συνθετικά υλικά ^{(6) (7)}		0,035	0,041

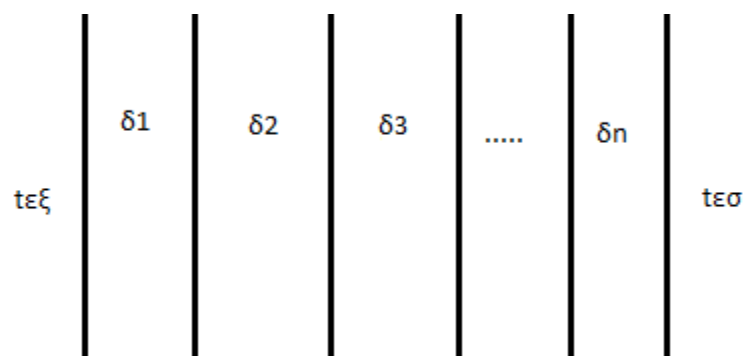
Σχήμα 4.4 Πίνακας για τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας

	kcal/m ² h °C	W/m ² K	m ² h °C/kcal	m ² K/W
Στις εσωτερικές πλευρές κλειστών χώρων με φυσική κίνηση αέρα				
Επιφάνειες τοίχων, εσωτερικά παράθυρα, εξωτερικά παράθυρα	$\alpha_i = 7$	$\alpha_i = 8,14$	$\frac{1}{\alpha_i} = 0,14$	$\frac{1}{\alpha_i} = 0,12$
Δάπεδα και οροφές σε περίπτωση θερμικής μεταβάσεως:				
από κάτω προς τα πάνω	$\alpha_i = 7$	$\alpha_i = 8,14$	$\frac{1}{\alpha_i} = 0,14$	$\frac{1}{\alpha_i} = 0,12$
από πάνω προς τα κάτω	$\alpha_i = 5$	$\alpha_i = 5,81$	$\frac{1}{\alpha_i} = 0,20$	$\frac{1}{\alpha_i} = 0,17$
Στις εξωτερικές πλευρές με μέση ταχύτητα ανέμου περίπου 2 m/s	$\alpha_a = 20$	$\alpha_a = 23,26$	$\frac{1}{\alpha_a} = 0,05$	$\frac{1}{\alpha_a} = 0,04$

Σχήμα 4.5 Πίνακας για τον συντελεστή θερμικής μεταβίβασης του αέρα

Η τιμή του K ενός σύνθετου τοιχώματος που είναι κατασκευασμένο για παράδειγμα από η επάλληλα τοιχώματα διαφορετικού πάχους $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$ και διαφορετικού υλικού με αντίστοιχους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ δίνεται από την εξίσωση:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{εξ}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{εσ}}}$$



Σχήμα 4.6 Παράδειγμα υπολογισμού θερμοπερατότητας σύνθετων τοιχωμάτων χωρίς διάκενο αέρα

Σε περίπτωση όπου ανάμεσα στα επιμέρους τοιχώματα υπάρχει διάκενο αέρα, τότε το K δίνεται από τη σχέση:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{εξ}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_{δ}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{εσ}}}$$



Σχήμα 4.7 Παράδειγμα υπολογισμού θερμοπερατότητας σύνθετων τοιχωμάτων με διάκενο αέρα

Οι θερμικές απώλειες διαβάσεως από ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα) υπολογίζονται από την ίδια εξίσωση που υπολογίζονται και τα τοιχώματα:

$$Q_0 = KA(t_{εσ} - t_{εξ})$$

Εδώ ο συντελεστής θερμοπερατότητας K για τα διάφορα είδη παραθύρων και πορτών δίνεται από τον παρακάτω πίνακα:

Τύπος	Υλικό πλαισίου			
	Ξύλο Συνθετικό υλικό	Χάλυβας Άλλα μέταλλα Σκυρόδεμα		
	Συντελεστής θερμοπερατότητας K			
	kcal/m ² h°C	W/m ² K	kcal/m ² h°C	W/m ² K
Απλός υαλοπίνακας	4,5	5,23	5,0	5,81
Δίδυμος μονωτικός υαλοπίνακας με διάκενο 6 mm	2,8	3,26	3,2	3,72
Δίδυμος μονωτικός υαλοπίνακας με διάκενο 12 mm	2,6	3,02	3,0	3,49
Διπλός υαλοπίνακας με απόσταση 2 cm < s < 4 cm	2,2	2,56	2,6	3,02
Διπλός υαλοπίνακας με απόσταση 4 cm < s < 7 cm	2,0	2,33	2,4	2,79
Διπλό παράθυρο με απόσταση υαλοπινάκων ≥ 7 cm	2,2	2,56	—	—
Τοίχος από υαλοπλίνθους με πάχος 80 mm	—	—	3,0	3,49
Χωρίς υαλοπίνακα	3,0	3,49	5,0	5,81

Οι τιμές του K ισχύουν:
για παράθυρα: < 5,0 m² εφόσον η επιφάνεια πλαισίου είναι ≤ 25% της συνολικής επιφάνειας
≥ 5,0 m² εφόσον η επιφάνεια πλαισίου είναι ≤ 15% της συνολικής επιφάνειας
≥ 2,0 m² εφόσον η επιφάνεια πλαισίου είναι ≤ 25% της συνολικής επιφάνειας.

Σχήμα 4.8 Πίνακας για συντελεστή θερμοπερατότητας παραθύρων και θυρών

Προσαυξήσεις θερμικών απωλειών διαβάσεως

Εφόσον έχουμε υπολογίσει τις θερμικές απώλειες διαβάσεως, οφείλουμε να προσαυξήσουμε τις θερμικές απώλειες, λόγω ατελειών εξαιτίας των ιδιαίτερων συνθηκών που επικρατούν σε κάθε κατασκευή, πολλαπλασιάζοντας τις με διάφορους συντελεστές.

Δύο είναι οι βασικοί συντελεστές προσαυξήσεων:

- Ο συντελεστής προσαυξήσεως λόγω προσανατολισμού Z_{Π}

Προσανατολισμός	BA	B	BΔ	Δ	A	NA	N	NΔ
Z_{Π}	5	5	5	0	0	-5	-5	-5

Σχήμα 4.9 Πίνακας εύρεσης συντελεστή προσαυξήσεως λόγω προσανατολισμού

- Ο συντελεστής προσαυξήσεως λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας Z_{Δ}

Μέση διαθέρμανση D		$\leq 0,29$	0,30-0,69	0,7-1,49	$\geq 1,50$
Λειτουργία εγκαταστάσεως ανά 24ωρο	I Συνεχής λειτουργία	7	7	7	7
	II 14 ωρη λειτουργία	20	15	15	15
	III 10 ωρη λειτουργία	30	25	20	15

Σχήμα 4.10 Πίνακας εύρεσης του συντελεστή προσαυξήσεως λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας

Όπου D είναι η μέση διαθέρμανση και δίνεται από τον τύπο:

$$D = \frac{Q_0}{A(t_{\epsilon\sigma} - t_{\epsilon\xi})}$$

Θερμικές απώλειες μεταφοράς θερμότητας λόγω αερισμού:

Οι απώλειες μεταφοράς θερμότητας λόγω αερισμού, οφείλονται στις μάζες αέρα που διακινούνται από τις χαραμάδες των θυρών και των παραθύρων ή και από κάθε είδους ανοιγμάτα. Το μεγεθός τους εξαρτάται από την στεγανότητα των ανοιγμάτων, τη θέση του χώρου, τη περιοχή και την ανεμόπτωση.

Οι απώλειες αυτές υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$Q_A = \alpha \Sigma I R H Z_{\Gamma} (t_{\epsilon\sigma} - t_{\epsilon\xi})$$

α ο συντελεστής λόγω διεισδύσεως αέρα

ΣI το συνολικό μήκος των χαραμάδων των εξωτερικών ανοιγμάτων του χώρου (m)

R ο συντελεστής διεισδυτικότητας

H ο συντελεστής θέσεως και ανεμοπτώσεως

Z_{Γ} ο συντελεστής προσαυξήσεως λόγω γωνιακών παραθύρων, λαμβάνεται 1,2 σε περίπτωση που υπάρχουν γωνιακά παράθυρα και 1 αν δεν υπάρχουν

Ακολουθεί ο πίνακας για τον προσδιορισμό των παραπάνω μεγεθών:

Συντελεστές προσαυξήσεως λόγω αερισμού

α) Συντελεστής λόγω διεισδύσεως αέρα α

ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ	α
Παράθυρο από φυσικό ή συνθετικό ξύλο	απλό υαλοστάσιο	3,0
	διπλό υαλοστάσιο εγγυημένα αεροστεγές	2,0
Παράθυρο μεταλλικό	απλό υαλοστάσιο	1,5
	διπλό υαλοστάσιο εγγυημένα αεροστεγές	1,2
Θύρα ξύλινη	θύρα απλή	3,0
	θύρα εγγυημένα αεροστεγής	2,0
Θύρα μεταλλική	θύρα απλή	1,5
	θύρα εγγυημένα αεροστεγής	1,2

β) Συντελεστής διεισδυτικότητας R

Εξωτερικό παράθυρο ή θύρα	$\frac{F_{\pi}}{F_{\theta}}$ (επιφ. εξωτερικού παραθύρου ή θύρας) επιφ. εσωτερικής θύρας	R
Ξύλινο παράθυρο ή θύρα	< 3	0,9
Ξύλινο παράθυρο ή θύρα	3 – 9	0,7
Μεταλλικό παράθυρο ή θύρα	< 6	0,9
Μεταλλικό παράθυρο ή θύρα	≥ 6	0,7

γ) Συντελεστής θέσεως και ανεμοπτώσεως H

Ανεμόπτωση	Θέση	Οικοδομικό σύστημα	
		Συνεχές	Ελεύθερο
Κανονική	προστατευόμενη	0,24	0,34
	ελεύθερη	0,41	0,58
	άκρως προσβαλλόμενη	0,60	0,84
Ισχυρή	προστατευόμενη	0,41	0,58
	ελεύθερη	0,60	0,84
	άκρως προσβαλλόμενη	0,82	1,13

Σχήμα 4.11 Πίνακας των προσαυξήσεων λόγω αερισμού

Συνολικές θερμικές απώλειες χώρου:

Η συνολική θερμική απαίτηση ενός χώρου είναι:

$$Q_{ολ} = Q_o(1 + Z_{\pi} + Z_{\Delta}) + Q_A \quad \text{σε Watt}$$

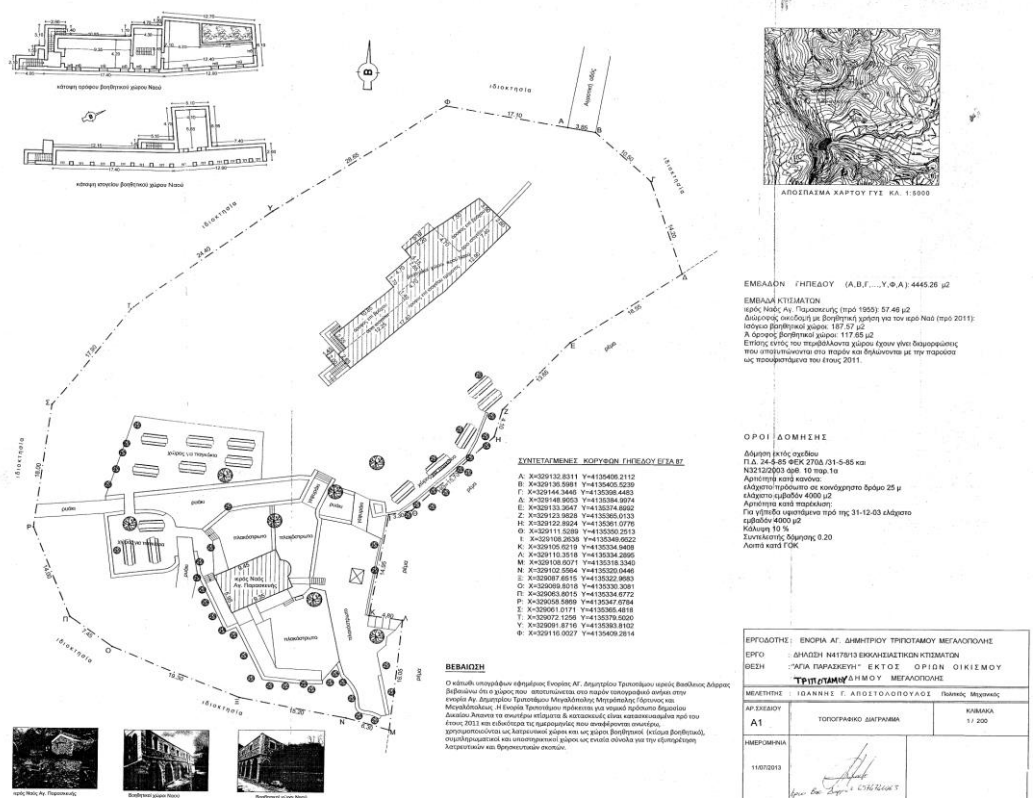
4.2 Υπολογισμός θερμικών απωλειών του μουσείου

Εφόσον περιγράφηκε η διαδικασία υπολογισμού των θερμικών αναγκών εσωτερικών χώρων, στη παράγραφο αυτή θα προσδιορίσουμε το μέγεθος των θερμικών απωλειών του λαογραφικού μουσείου.

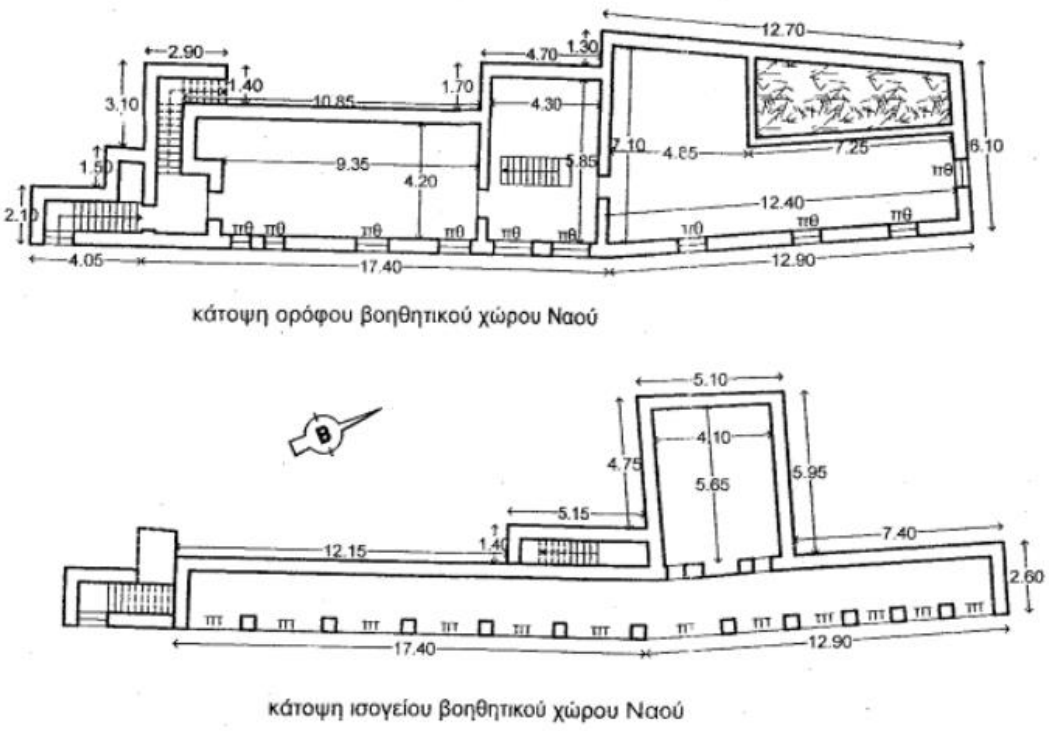


Σχήμα 4.12 Το Μουσείο στην εκκλησία Αγίας Παρασκευής στον Τριπόταμο Αρκαδίας

Από την κάτοψη του μουσείου είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι διαστάσεις των τοιχωμάτων, των οροφών, των δαπέδων, των θυρών και των παραθύρων. Επίσης γνωρίζοντας τα υλικά που έχει κατασκευαστεί το μουσείο και ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία βρίσκουμε, μέσω του προγράμματος excel, την θερμική απαίτηση του κτηρίου.



Σχήμα 4.12 Κάτοψη του χώρου της εκκλησίας



Σχήμα 4.13 Κάτοψη των χώρων του μουσείου

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΑΠΟ ΤΟ EXCEL:

	δ μόν.	δ τουβλ	δ σοβά	δ πέτρα	δ σκυροδ.	δ πλακάκι	1/ai	1/aa
T1	0,03	0,09	0	0,38	0	0	0,12	0,04
T2	0,03	0,09	0	0,38	0	0	0,12	0
T3	0,03	0,09	0	0,38	0	0	0,12	0
T4	0,03	0,09	0	0,38	0	0	0,12	0
T5	0,03	0,09	0	0,38	0	0	0,12	0,04
O1	0,03	0	0,02	0	0,2	0,005	0,17	0,17
O5	0,05	0	0,02	0	0,2	0,005	0,17	0
D1	0,03	0	0	0	0,2	0,005	0,17	0
O2	0,05	0	0,02	0	0,2	0	0,12	0,04
D2	0,03	0	0	0	0,2	0,005	0,17	0
D3	0,03	0	0,02	0	0,2	0,005	0,17	0,04
T6	0,03	0,09	0,02	0,28	0	0	0,12	0,04
T7	0,03	0,09	0,02	0,28	0	0	0,12	0,04
T8	0,03	0,09	0,02	0,28	0	0	0,12	0
T9	0,03	0,09	0,02	0,28	0	0	0,12	0,04
O3	0,05	0	0,02	0	0,2	0	0,17	0,04
D4	0,03	0	0,02	0	0,2	0,005	0,17	0,17
D5	0,03	0	0	0	0,2	0,005	0,17	0
D6	0,03	0	0,02	0	0,2	0,005	0,17	0,04
T10	0,03	0,09	0,02	0,28	0	0	0,12	0,04
T11	0,03	0,09	0,02	0,28	0	0	0,12	0
T12	0,03	0,09	0,02	0,38	0	0	0,12	0,04
T13	0,03	0,09	0,02	0,28	0	0	0,12	0,04
λ	0,031	0,45	0,75	3,5	1,731	1,2		

Σε αυτόν τον πίνακα στην πρώτη στήλη, με T αριθμούμε τους τοίχους, με O τις οροφές και με D τα δάπεδα. Το πάχος του υλικού (δ) είναι σε μέτρα και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ) είναι σε W/mK.

Στην συνέχεια στον πίνακα 2, βρίσκουμε το γινόμενο δ/λ και συνεπώς τον συντελεστή θερμοπερατότητας (K) για το κάθε δομικό στοιχείο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΑΠΟ ΤΟ EXCEL:

	δ/λ								K
T1	0,967742	0,2	0	0,108571	0	0	0,12	0	0,716172
T2	0,967742	0,2	0	0,108571	0	0	0,12	0	0,716172
T3	0,967742	0,2	0	0,108571	0	0	0,12	0	0,716172
T4	0,967742	0,2	0	0,108571	0	0	0,12	0	0,716172
T5	0,967742	0,2	0	0,108571	0	0	0,12	0	0,716172
O1	0,967742	0	0,026667	0	0,11554	0,004167	0,17	0,17	0,687703
O5	1,612903	0	0,026667	0	0,11554	0,004167	0,17	0	0,518329
D1	0,967742	0	0	0	0,11554	0,004167	0,17	0	0,795261
O2	1,612903	0	0,026667	0	0,11554	0	0,12	0,04	0,522163
D2	0,967742	0	0	0	0,11554	0,004167	0,17	0	0,795261
D3	0,967742	0	0,026667	0	0,11554	0,004167	0,17	0,04	0,755221
T6	0,967742	0,2	0,026667	0,08	0	0	0,12	0,04	0,697151
T7	0,967742	0,2	0,026667	0,08	0	0	0,12	0,04	0,697151
T8	0,967742	0,2	0,026667	0,08	0	0	0,12	0	0,71715
T9	0,967742	0,2	0,026667	0,08	0	0	0,12	0,04	0,697151
O3	1,612903	0	0,026667	0	0,11554	0	0,17	0,04	0,508877
D4	0,967742	0	0,026667	0	0,11554	0,004167	0,17	0,17	0,687703
D5	0,967742	0	0	0	0,11554	0,004167	0,17	0	0,795261
D6	0,967742	0	0,026667	0	0,11554	0,004167	0,17	0,04	0,755221
T10	0,967742	0,2	0,026667	0,08	0	0	0,12	0,04	0,697151
T11	0,967742	0,2	0,026667	0,08	0	0	0,12	0	0,71715
T12	0,967742	0,2	0,026667	0,108571	0	0	0,12	0	0,702751
T13	0,967742	0,2	0,026667	0,08	0	0	0,12	0	0,71715

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΑΠΟ ΤΟ EXCEL:

	A teixos	A door	A wind	A teix tel	τεσ	τεξ	Παρατηρήσεις	K wind	K door
T1	12,3	2,05		10,25	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
T2	12,3			12,3	20	9	έδαφος	5,81	4,8
T3	12,75			12,75	20	9	έδαφος	5,81	4,8
T4	16,95			16,95	20	9	έδαφος	5,81	4,8
T5	4,2			4,2	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
O1	21,2175			21,2175	20	15	θερμ.χώρος	5,81	4,8
O5	1,9475			1,9475	20	9	έδαφος	5,81	4,8
D1	23,165			23,165	20	9	έδαφος	5,81	4,8
O2	41,195			41,195	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
D2	22,0275			22,0275	20	9	έδαφος	5,81	4,8
D3	19,1675			19,1675	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
T6	18,3	2,05		16,25	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
T7	28,05		4	24,05	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
T8	27,75			27,75	20	9	έδαφος	5,81	4,8
T9	12,6	2,05		10,55	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
O3	63,1575			63,1575	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
D4	21,115			21,115	20	15	θερμ.χώρος	5,81	4,8
D5	14,7625			14,7625	20	9	έδαφος	5,81	4,8
D6	27,28			27,28	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
T10	17,4	2,05		15,35	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
T11	47,7			47,7	20	9	έδαφος	5,81	4,8
T12	9,3		1,2	8,1	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8
T13	37,2		3,6	33,6	20	-5	περιβάλλον	5,81	4,8

Στον Πίνακα 3, τοποθετούμε τις τιμές των εμβαδών των διάφορων στοιχείων της κατασκευής, την τιμή της εσωτερικής επιθυμητής θερμοκρασίας καθώς και την τιμή της εξωτερικής. Επίσης βρίσκουμε από τους κατάλληλους πίνακες τα (K) των θυρών και των παραθύρων.

Για θερμοκρασία περιβάλλοντος λαμβάνουμε την τιμή της Τρίπολης -5°C διότι εφόσον δεν υπάρχει τιμή για την ενδιαφερόμενη περιοχή (Τριπόταμος), τότε σύμφωνα με τους κανονισμούς χρησιμοποιείται η θερμοκρασία της κοντινότερης πόλης που περιέχει ο πίνακας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΑΠΟ ΤΟ EXCEL:

	Q aerismou			
	a	Σl	R	H
T1	1,5	6,1	0,9	0,58
T2	0	0	0	0
T3	0	0	0	0
T4	0	0	0	0
T5	0	0	0	0
O1	0	0	0	0
O5	0	0	0	0
D1	0	0	0	0
O2	0	0	0	0
D2	0	0	0	0
D3	0	0	0	0
T6	1,5	6,1	0,9	0,58
T7	1,5	20	0,9	0,84
T8	0	0	0	0
T9	1,5	6,1	0,9	0,34
O3	0	0	0	0
D4	0	0	0	0
D5	0	0	0	0
D6	0	0	0	0
T10	1,5	6,1	0,9	0,34
T11	0	0	0	0
T12	1,5	5,4	0,9	0,84
T13	1,5	16,2	0,9	0,84

Εδώ, για τους τοίχους που έχουν κάποιο παράθυρο ή θύρα, εντοπίζουμε της κατάλληλες τιμές για τα μεγέθη τα οποία θα μας δώσουν τις θερμικές απώλειες μεταφοράς θερμότητας λόγω αερισμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΑΠΟ ΤΟ EXCEL:

	Q _o	Q _{wall}	Q _{door}	Q _{wind}	Z _{προσ}	Z _Δ	Q _{aerismou}
T1	438,1094	183,519	246	0	-0,05	0,07	119,4075
T2	108,5258	96,89802	0	0	0,05	0,07	0
T3	102,4519	100,4431	0	0	-0,05	0,07	0
T4	149,5538	133,5302	0	0	0,05	0,07	0
T5	76,70198	75,19802	0	0	-0,05	0,07	0
O1	78,0637	72,95673	0	0	0	0,07	0
O5	11,88118	11,1039	0	0	0	0,07	0
D1	216,8296	202,6444	0	0	0	0,07	0
O2	575,4062	537,7628	0	0	0	0,07	0
D2	206,1823	192,6937	0	0	0	0,07	0
D3	387,225	361,8925	0	0		0,07	0
T6	539,8021	283,2178	246	0	-0,05	0,07	119,4075
T7	1020,166	419,1623	0	581	-0,05	0,07	567
T8	245,1792	218,91	0	0	0,05	0,07	0
T9	481,4585	183,8737	246	0	0,05	0,07	69,9975
O3	859,7295	803,4855	0	0	0	0,07	0
D4	77,68658	72,60428	0	0	0	0,07	0
D5	138,1803	129,1405	0	0	0	0,07	0
D6	551,1151	515,0608	0	0	0	0,07	0
T10	523,8025	267,5319	246	0	-0,05	0,07	69,9975
T11	421,4432	376,2886	0	0	0,05	0,07	0
T12	354,5998	142,307	0	174,3	0,05	0,07	153,09
T13	1147,812	602,4059	0	522,9	-0,05	0,07	459,27

SUM	8711,905						1558,17
------------	----------	--	--	--	--	--	---------

Q_{ολικο} 10270,08 W

Στον τελικό πίνακα, υπολογίζουμε τις απώλειες για τους τοίχους, τις θύρες και τα παράθυρα με τα δεδομένα από τους προηγούμενους πίνακες, τοποθετούμε τους συντελεστές των προσαιξήσεων καθώς επίσης βρίσκουμε και τις απώλειες λόγω αερισμού.

Προσθέτοντας τις απώλειες των τοίχων, των θυρών και των παραθύρων, βρίσκουμε τις θερμικές απώλειες διαβάσεως. Λαμβάνοντας υπόψη και τις προσαιξήσεις λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών, καταλήγουμε στο Q_o της 2^{ης} στήλης.

Τέλος αθροίζουμε το Q_o και τις απώλειες αερισμού Q_{aerismou}, βρίσκουμε την συνολική θερμική απαίτηση του μουσείου που ανέρχεται στα 10,27 kW.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

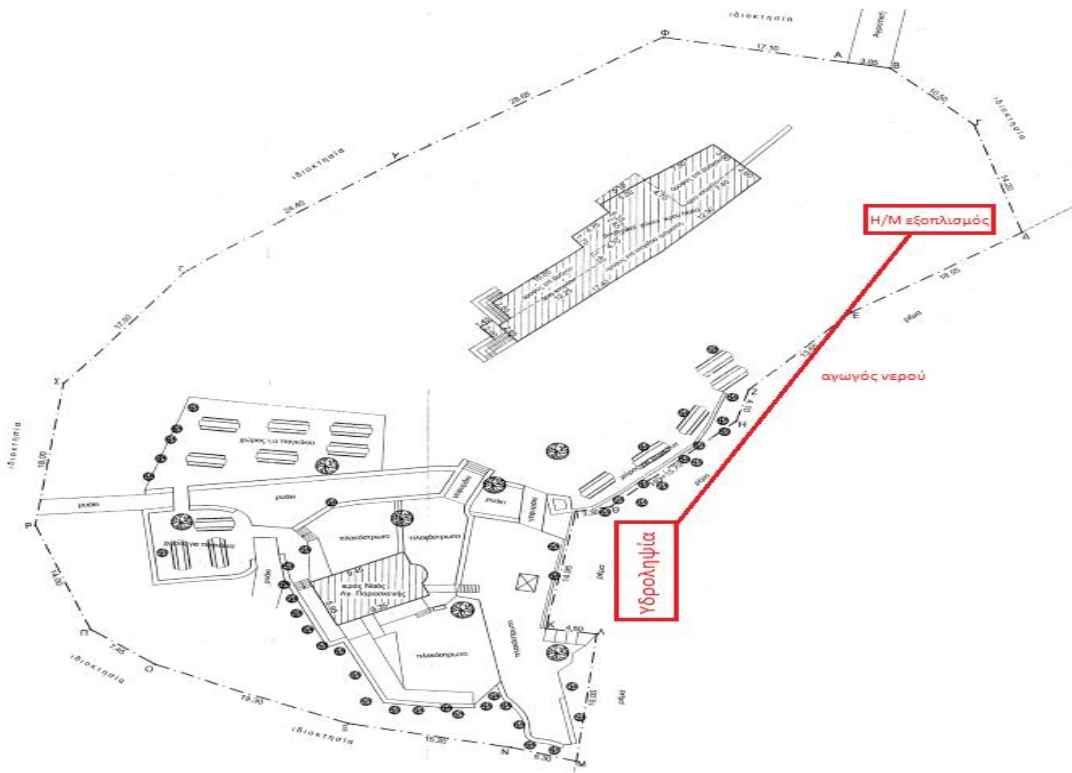
ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

5.1 Επισκόπηση της τοποθεσίας και συλλογή υδρολογικών στοιχείων

Η αναγνωριστική μελέτη παίζει καθοριστικό ρόλο στην πορεία της εγκατάστασης μιας υδροηλεκτρικής μονάδας. Είναι ανάγκη να πραγματοποιείται σε κάθε έργο, ανεξάρτητα από το μέγεθός του. Σκοπός της είναι η διαπίστωση του εάν η εξεταζόμενη θέση αξίζει περισσότερης διερεύνησης. Στην περίπτωση μας, το μικρό ΥΗΕ θα τροφοδοτεί ένα αυτόνομο δίκτυο για την θέρμανση του μουσείου με αντιστάσεις. Έτσι από την συλλογή των δεδομένων θα ελεγχτεί αν η υδραυλική ισχύς που διαθέτουμε είναι ικανή να θερμάνει τους χώρους του μουσείου.

Η συλλογή των δεδομένων αποτελείται από δύο μέρη, την αναγνώριση της περιοχής και την συλλογή υδρολογικών στοιχείων.

Η αναγνώριση της περιοχής περιλαμβάνει την αρχική διάταξη και χωροθέτηση του έργου, την καταγραφή των τοπικών συνθηκών, των δυσκολιών, της υποδομής, των άλλων ανταγωνιστικών χρήσεων του νερού (ύδρευση, άρδευση), τις γεολογικές συνθήκες. Επίσης περιλαμβάνει την χάραξη του έργου σε γεωγραφικό χάρτη ή αεροφωτογραφίες από όπου προκύπτουν τα βασικά χαρακτηριστικά του έργου όπως η υδραυλική πτώση και το μήκος των έργων προσαγωγής.



Σχήμα 5.1 Θέση του ΥΗΕ στον χώρο της εκκλησίας

Το προηγούμενο σχήμα αποτελεί την κάτοψη του χώρου της εκκλησίας της Αγίας Παρασκευής. Με κόκκινα γράμματα σημειώνονται τα βασικά μέρη της υδροηλεκτρικής εγκατάστασης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μετρήθηκε με την βοήθεια χωροβάτη η υψομετρική διαφορά αλλά και η απόσταση μεταξύ του σημείου της υδροληψίας και της θέσης του υδροτροβίλου, έτσι η υδραυλική πτώση βρέθηκε 7,3 μέτρα ενώ το μήκος του αγωγού θα είναι 50 μέτρα.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί πως υπάρχει η δυνατότητα να αξιοποιηθεί όλη η ποσότητα του νερού του ρέματος εφόσον δεν χρησιμοποιείται για ύδρευση ή άρδευση και ούτε υποχρεούμαστε να αφήσουμε κάποια οικολογική παροχή εφόσον δεν ζουν έμβια όντα στο συγκεκριμένο ποτάμι.

Για την συλλογή υδρολογικών στοιχείων πραγματοποιηθήκαν μετρήσεις της παροχής των υδάτων από τον υπερχειλιστή που διέθετε η εκκλησία και απεικονίζεται στην παρακάτω φωτογραφία.



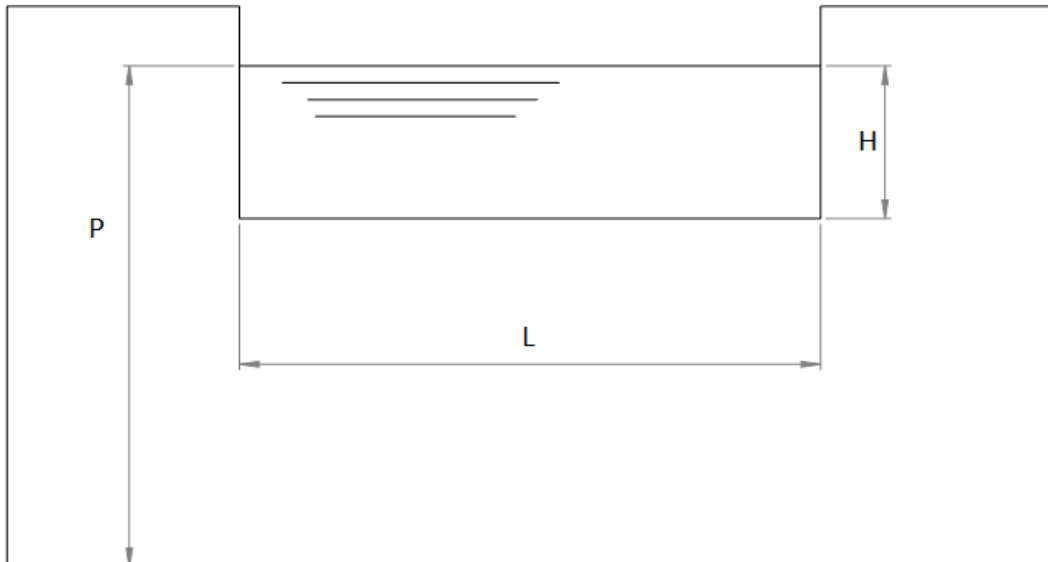
Σχήμα 5.2 Υπερχειλιστής όπου μετρήθηκε η παροχή του νερού

Οι μετρήσεις της παροχής του νερού με υπερχειλιστή χρησιμοποιούνται περισσότερο από τις άλλες για τις μετρήσεις της παροχής μικρού υδατορεύματος. Η μέτρηση της παροχής ανάγεται στη μέτρηση της στάθμης του νερού ανάντη του υπερχειλιστού μέσω σταθμήμετρου. Ο υπολογισμός της παροχής γίνεται είτε από θεωρητικές εξισώσεις είτε από την καμπύλη βαθμονόμησης που χαράσσεται πειραματικά. Η θέση στην οποία γίνεται η μέτρηση πρέπει να επιλεγεί ώστε η κλίση του υδατορεύματος να είναι μικρή και η ροή ομαλή. Η στέψη του οργάνου τοποθετείται κάθετα προς τη ροή του υδατορεύματος και η μέτρηση της ανάντη στάθμης πρέπει να γίνεται σε απόσταση τουλάχιστον (6H) από τον υπερχειλιστή, όπου με H συμβολίζεται η ανάντη στάθμη του νερού ως προς τη στάθμη της στέψης του οργάνου (ύψος υπερχειλίστης).

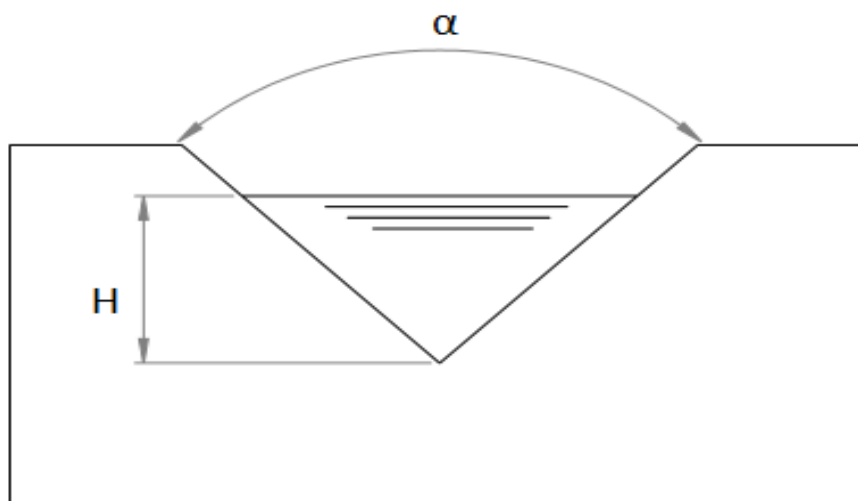
Τύποι υπολογισμού της παροχής έχουμε για υπερχειλιστές ορθογωνικής και τριγωνικής διατομής.

$$Q = CLH \sqrt{2gH} \quad (\text{ορθογώνιας διατομής}) \quad \text{όπου } C = 0.4 + 0.05 \frac{H}{P}$$

$$Q = 1.32H^{2.47} \tan \frac{\alpha}{2} \quad (\text{τριγωνικής διατομής})$$

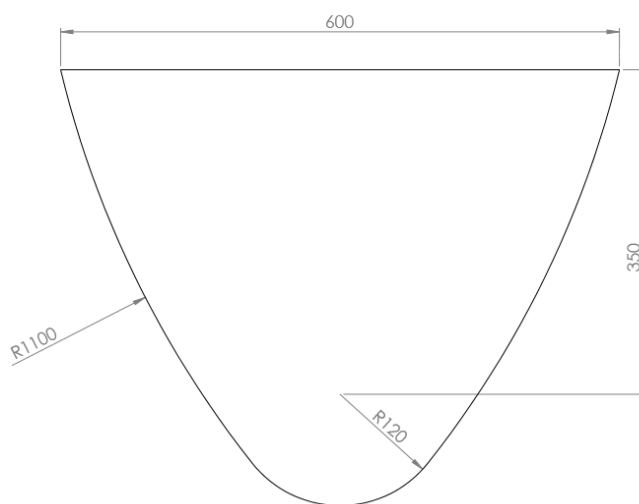


Σχήμα 5.3 Ορθογωνικός υπερχειλιστής



Σχήμα 5.4 Τριγωνικός υπερχειλιστής

Ενώ η μέτρηση της παροχής από υπερχειλιστή μοιάζει εύκολη υπόθεση λύνοντας μια εξίσωση, στην δική μας περίπτωση δεν είναι και τόσο απλή. Αυτό διότι ο υπερχειλιστής που υπάρχει στην εκκλησία δεν είναι ούτε ορθογωνικής ούτε τριγωνικής διατομής αλλά μιας πιο σύνθετης, όπου δεν υπάρχει συγκεκριμένος τύπος επίλυσης, όπου εισάγοντας το ύψος της στάθμης θα προέκυπτε η παροχή.

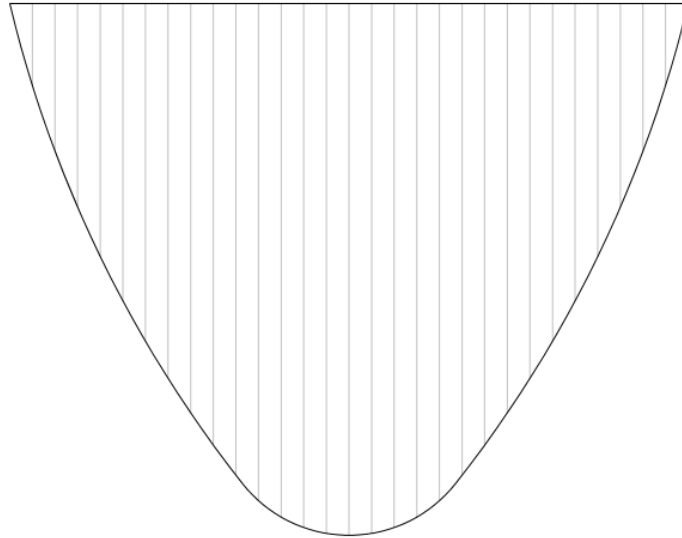


Σχήμα 5.5 Η διατομή του υπερχειλιστή στο ρέμα της Αγίας Παρασκευής

Έτσι υποχρεούμαστε να βρούμε ένα τρόπο ώστε να εκτιμήσουμε τον όγκο του νερού που διαπερνά την σύνθετη αυτή διατομή σε ένα δευτερόλεπτο.

Μία μέθοδος προσδιορισμού της παροχής, θα μπορούσε να είναι αυτή όπου χωρίζεται η σύνθετη διατομή σε πολλά μικρού πλάτους ορθογώνια. Έτσι αναλύουμε τον καμπύλο υπερχειλιστή σε

πολλούς ορθογώνιους. Βρίσκοντας την παροχή για κάθε ορθογώνιο υπερχειλιστή από την παραπάνω εξίσωση και αθροίζοντας τις παροχές αυτές μεταξύ τους, υπολογίζεται η ζητούμενη παροχή.

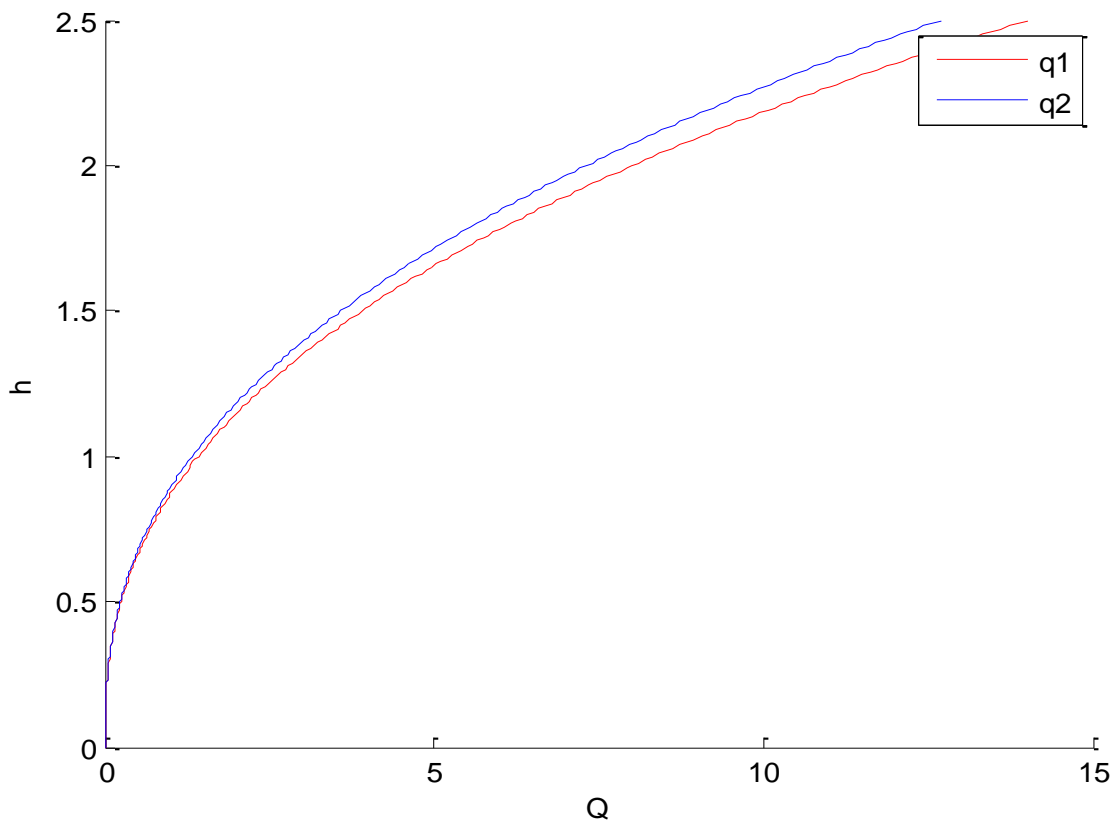


Σχήμα 5.6 Η διατομή του υπερχειλιστή χωρισμένη σε ορθογώνια

Επειδή όμως ο παραπάνω τρόπος δεν είναι κάποια αποδεδειγμένη μέθοδος, θα πρέπει να αποδειχθεί η αξιοπιστία και η ακρίβειά του. Για το λόγο αυτό θα δοκιμαστεί σε τριγωνικό υπερχειλιστή. Πιο αναλυτικά θα συγκριθούν δύο καμπύλες ύψος στάθμης- παροχή νερού, όπου η μία θα κατασκευαστεί από τον τύπο εύρεσης της παροχής σε τριγωνικό υπερχειλιστή και η δεύτερη χωρίζοντας τον υπερχειλιστή τριγωνικής διατομής σε ορθογώνια τμήματα.

Για την υλοποίηση των υπολογισμών και την σχεδίαση των γραφημάτων συντάχθηκε πρόγραμμα σε γλώσσα Matlab. Για την ανάπτυξη των διαγραμμάτων, υπολογίζεται η παροχή με της δύο τρόπους που αναφέρθηκαν παραπάνω για κάθε ύψος της στάθμης του νερού από 0 έως 2,5 μέτρα.

Εδώ εμφανίζεται το διάγραμμα, όπου η κόκκινη καμπύλη σχεδιάστηκε από την μέθοδο των ορθογώνιων, ενώ η μπλε από την εξίσωση του τριγωνικού υπερχειλιστή.

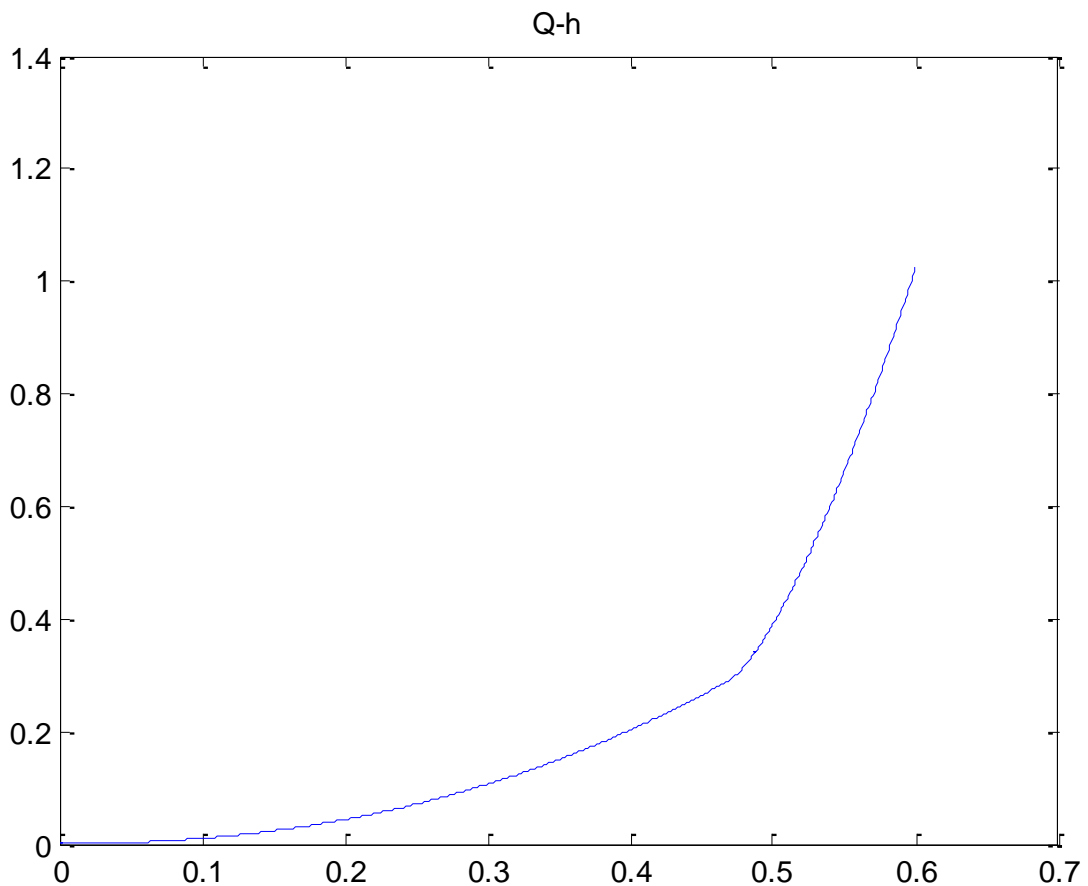


Σχήμα 5.7 Διάγραμμα σύγκρισης καμπυλών

Από το διάγραμμα παρατηρείται πως υπάρχει σφάλμα μεταξύ των καμπυλών των δύο τρόπων και το σφάλμα αυξάνεται όσο μεγαλώνει η στάθμη του νερού, της το γεγονός ότι η διαφορά των καμπυλών είναι σχεδόν αμελητέα για ύψος στάθμης 0,47 μέτρα , σημαίνει πως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον χωρισμό της διατομής σε ορθογώνια ώστε να εκτιμήσουμε την παροχή από τον υπερχειλιστή της εκκλησίας.

Εφόσον η μέθοδος αυτή φάνηκε αποτελεσματική, συντάχθηκε νέο πρόγραμμα πάλι σε γλώσσα Matlab όπου αυτή τη φορά θα δημιουργηθεί στο γράφημα μία καμπύλη ύψος στάθμης – παροχή. Με αυτό τον τρόπο θα έχουμε τη δυνατότητα για κάθε μέτρηση της στάθμης στον υπερχειλιστή να βλέπουμε κατευθείαν από το διάγραμμα την τιμή της παροχής.

Το ζητούμενο διάγραμμα για τον υπερχειλιστή:



Σχήμα 5.8 Διάγραμμα μέτρησης της παροχής συναρτήσει του ύψους στάθμης του υπερχειλιστή

Το ύψος h είναι στον άξονα του x και η παροχή Q στον y άξονα. Για $h=0,47m$ και πάνω παρατηρείται ότι αλλάζει η κλίση της καμπύλης, αυτό συμβαίνει διότι από εκείνο το ύψος το νερό ξεχειλίζει από το τοίχος. Έτσι για να εκτιμήσουμε σε αυτή τη περίπτωση την παροχή θεωρούμε το τοίχος ως ορθογώνιο υπερχειλιστή και προσθέτουμε και την παροχή που περνάει μέσα από τον καμπύλο υπερχειλιστή.

Το ότι το νερό πέρασε πάνω από το τοιχάκι του υπερχειλιστή συνέβη διότι οι διαστάσεις του υπερχειλιστή επιλέχτηκαν χωρίς να γίνει κάποια σχετική μελέτη και να εκτιμηθεί η πλημμυρική παροχή. Κανονικά σε κάθε ΥΗΕ είναι απαραίτητο να εκτιμάται η πλημμυρική παροχή για την σωστή διαστασιολόγηση του υπερχειλιστού, του φράγματος αλλά και για τον καθορισμό της μέγιστης προβλεπόμενης στάθμης των υδάτων στη θέση του σταθμού, ώστε να πραγματοποιηθεί η επαρκής προστασία του.



Σχήμα 5.9 Ο υπερχειλιστής στην περίπτωση που το νερό ξεπερνάει το ύψος του φράγματος

Σημειώνονται οι μετρήσεις του ύψους της στάθμης του νερού με την ημερομηνία της κάθε μίας που έγιναν στον υπερχειλιστή και η τιμή της παροχής που προκύπτει από το διάγραμμα.

Ημερομηνία	ύψος στάθμης	παροχή
6/2/2016	0,41m	0,214 m ³ /s
20/2/2016	0,39m	0,191 m ³ /s
2/3/2016	0,36m	0,159 m ³ /s
12/3/2016	0,31m	0,115 m ³ /s
19/3/2016	0,49m	0,351 m ³ /s
27/3/2016	0,51m	0,437 m ³ /s

Από τις μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν κάθε βδομάδα από μία φορά προκύπτει μία μέση τιμή της παροχής ίση με $0,2445 \text{ m}^3/\text{s}$. Η υψομετρική διαφορά είναι 7,3 μέτρα όπως είχαμε αναφέρει πιο πριν. Κατά αυτό τον τρόπο υποθέτοντας έναν συντηρητικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης, συνυπολογίζοντας βαθμό απόδοσης υδροστροβίλου, βαθμό απόδοσης της ηλεκτρικής γεννήτριας καθώς και τις υδραυλικές απώλειες, ίσο με 50% παίρνουμε μία πρώτη εκτίμηση της παραγόμενης ισχύος.

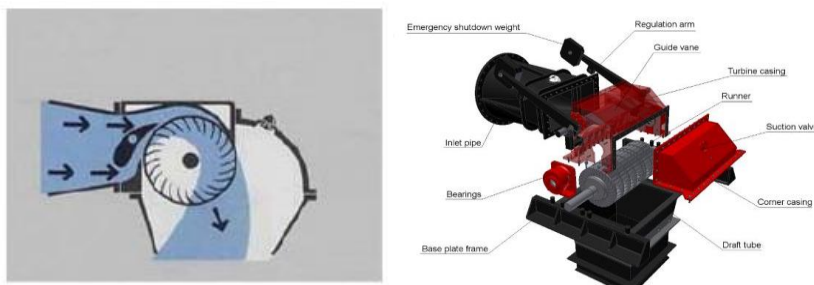
$$P = Q \cdot H \cdot g \cdot \rho \cdot 0.5 = 0.2445 \cdot 7.3 \cdot 9.81 \cdot 1000 \cdot 0.5 = 8.75 \text{ kW}$$

Συνεπώς συμπεραίνουμε πως παρόλο που η πρώτη εκτίμηση της ισχύος δεν ξεπερνά σε μέγεθος τις θερμικές απώλειες, αξίζει να διερευνήσουμε την περίπτωση αυτή διότι είναι δυνατόν με αναλυτικότερη μελέτη και όχι συντηρητικό υπολογισμό να δούμε πως η παραγόμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη των θερμικών απωλειών ή και αν δεν είναι επαρκής, τελικά το έργο να είναι οικονομικά βιώσιμο ακόμη και αν κάποιες από τις αντιστάσεις τροφοδοτούνται από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Εκτός από αυτό, έχοντας μια πρώτη εντύπωση της παροχής και της υδραυλικής πτώσης, έχουμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε το είδος του υδροστροβίλου που θα έχουμε στην εγκατάστασή. Από τα δεδομένα που προκύψανε από τις μετρήσεις καταλληλότερος υδροστροβίλος για την περίπτωσή μας, όπως συμπεραίνεται από το σχήμα 2.8, φαίνεται να είναι ο cross flow ή Banki.

Ο υδροστροβίλος cross flow ονομάζεται αλλιώς και Banki ή Mitchell από τα ονόματα των μηχανικών που τον ανέπτυξαν. Χαρακτηρίζεται από τον δρομέα μορφής τυμπάνου ο οποίος μετατρέπει την υδραυλική ενέργεια σε μηχανική σε δύο φάσεις. Η πρώτη είναι κατά την είσοδο του νερού στο πάνω σημείο του τυμπάνου ενώ η δεύτερη κατά την έξοδο του νερού από το τύμπανο, στην χαμηλότερη περιοχή του τυμπάνου. Πρόκειται για έναν υδροστροβίλο δράσεως, δηλαδή η ροή του νερού στον δρομέα είναι ισόθλιπτη. Η τροφοδοσία του δρομέα καθώς και η ρύθμιση της παροχής γίνεται από ένα ορθογωνικής διατομής ακροφύσιο εισόδου.

Ο υδροστροβίλος cross flow δημιουργήθηκε έτσι ώστε να έχει σχετικά μεγάλες αποδόσεις για μεγάλο εύρος παροχών και χρησιμοποιείται συνήθως σε έργα μικρών υδατορευμάτων όπου η παροχή του ποταμιού συνδέεται άμεσα με την παροχή στον υδροστροβίλο ενώ δεν προτιμάται όταν το ΥΗΕ διαθέτει μεγάλο ταμειυτήρα νερού.



Σχήμα 5.10 Υδροστροβίλος cross flow

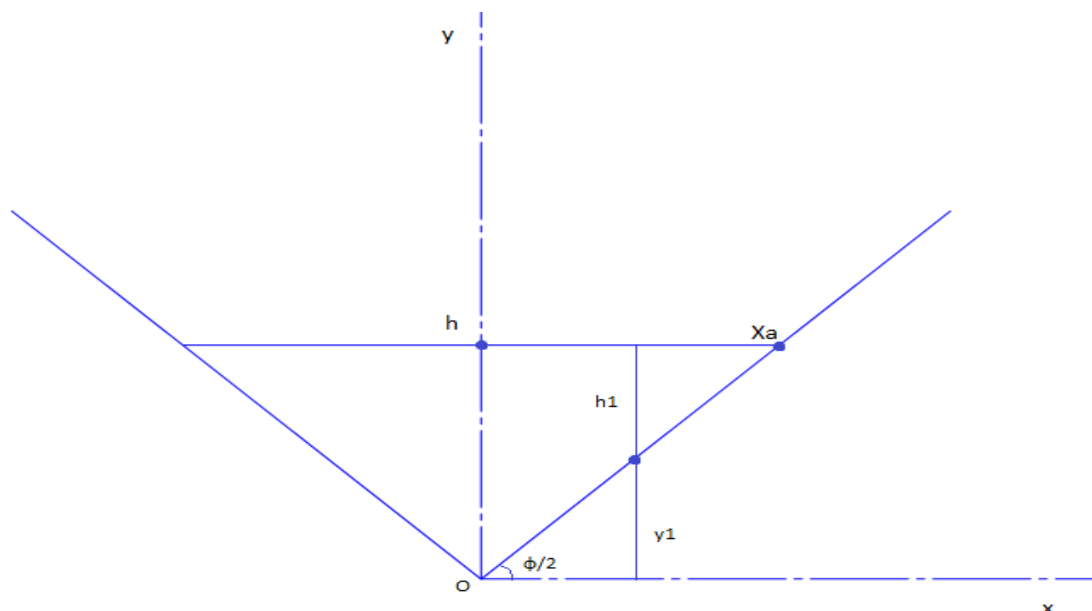
5.2 Περιγραφή προγραμμάτων για την σχεδίαση των γραφημάτων παροχής – ύψους στάθμης

Πρόγραμμα για υπερχειλιστή τριγωνικής διατομής:

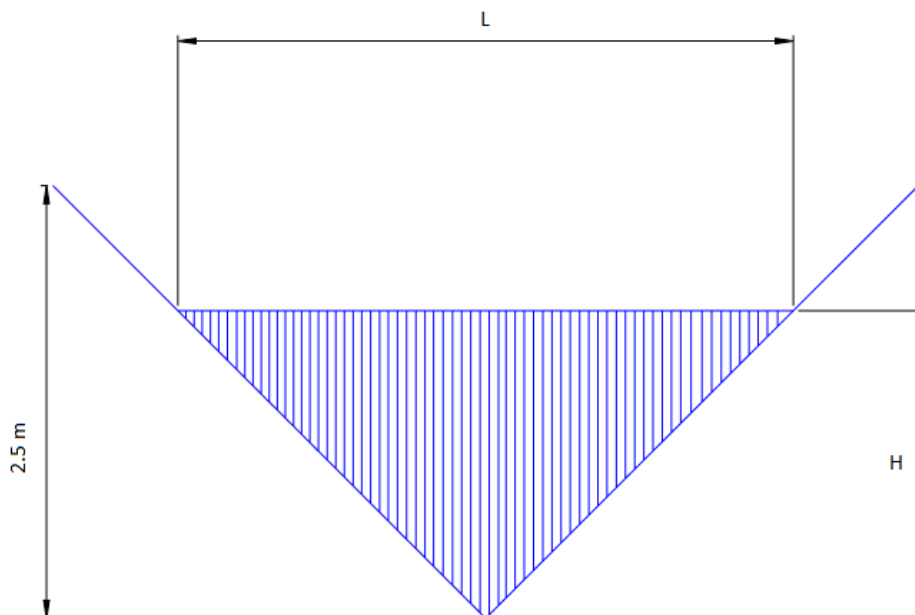
Το πρώτο πρόγραμμα αφορά την σύγκριση δύο καμπυλών ύψους – παροχής για υπερχειλιστή με τριγωνική διατομή. Οι καμπύλες αυτές σκοπό έχουν να προσδιορίζουν την παροχή του νερού που περνά από τον τριγωνικό υπερχειλιστή για ύψη υπερχειλίσεως από 0 έως 2,5 m. Η πρώτη καμπύλη χαράσσεται από τον θεωρητικό τύπο υπολογισμού παροχής σε τριγωνικό υπερχειλιστή ενώ η δεύτερη χαράσσεται από τον χωρισμό της διατομής σε πολλά ορθογώνια τμήματα.

Ο διαχωρισμός σε ορθογώνια γίνεται ως εξής:

Το ευθύγραμμο τμήμα Ο - Χ_α έχει εξίσωση ευθείας: $y = \lambda * x$, όπου $\lambda = \tan(\phi/2)$. Για $y = h$ βρίσκεται το $X_a = h/\lambda$ για κάθε ύψος στάθμης από 0 έως 2,5 μέτρα και με βήμα 0,01 μέτρα. Εφόσον έχει υπολογιστεί το Χ_α τρέχουμε στον άξονα του x, τιμές από μηδέν έως Χ_α-0,01 πάλι με βήμα =0,01 m (αν τρέχαμε τα x μέχρι το Χ_α θα αθροιζόταν στην παροχή ένα ορθογώνιο παραπάνω). Προφανώς ισχύει ότι $2 * X_a = L$, δηλαδή το μήκος της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στον ανοιχτό αγωγό. Με αυτόν τον τρόπο, για κάθε x αντιστοιχεί και ένα y_1 όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, το οποίο ισούται από την εξίσωση της ευθείας με: $y_1 = \lambda * x$. Το ύψος της στάθμης του νερού για το κάθε στοιχειώδες ορθογώνιο είναι $h_1 = h - y_1$. Η παροχή νερού του κάθε ορθογωνίου είναι $q = C * 0.01 * h_1 * \sqrt{2 * g * h_1}$ (αντί για L στον τύπο εισάγουμε το βήμα=0,01 το οποίο θα είναι και το πλάτος του ορθογωνίου), ενώ η παροχή όλου του τριγωνικού υπερχειλιστή είναι: $Q = 2 * \sum q$, αφού το τρέξιμο από 0 έως Χ_α-0.01 αφορά μόνο το μισό της τριγωνικής διατομής.



Σχήμα 5.11 Τα απαραίτητα σημεία στον τριγωνικό υπερχειλιστή για τον υπολογισμό της παροχής



Σχήμα 5.12 Τριγωνικός υπερχειλιστής χωρισμένος σε ορθογώνια

Πρόγραμμα μέτρησης παροχής για τον υπερχειλιστή του έργου:

Σκοπός του δεύτερου προγράμματος είναι να κατασκευαστεί μία καμπύλη παροχής - ύψους στάθμης για την μέτρηση της ροής από τον υπερχειλιστή στο ενδιαφερόμενο υδατορεύμα. Ο υπερχειλιστής έχει ύψος 0,47m συνεπώς εδώ το ύψος στάθμης του νερού θα εξεταστεί για τιμές από 0 – 0,6m ώστε να υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού της παροχής και στην περίπτωση πλημμύρας του υπερχειλιστή.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.5 και το σχήμα 5.13, η διατομή του υπερχειλιστή της εκκλησίας αποτελείται από δύο τόξα κύκλου με ακτίνα $R=1100$ mm και ένα τόξο $R=120$ mm. το κέντρο του κύκλου $R=120$ mm είναι το $K1(0,0.12)$ ενώ τα κέντρα των μεγάλων κύκλων είναι $K2(-0.77858, 0.59516)$ και $K3(0.77858,0.59516)$. Η εξίσωση του κύκλου είναι: $(x-x_k)^2 + (y-y_k) = R^2$

Κατά την διαδικασία του προγράμματος, για την δημιουργία των ορθογώνιων λαμβάνεται υπόψη το μισό της διατομής και εξετάζονται τρεις περιπτώσεις για το ύψος της στάθμης.

Αν η στάθμη είναι κάτω από το σημείο $A(0.6402,0.10614)$ από σχήμα 5.13, δηλαδή $h < y_A$, τότε $x_B = \text{abs}(\sqrt{R^2 - (h - y_{K1})} + x_{K1})$. Έτσι τρέχουμε τιμές x από 0 έως $x_B - 0.01$ με βήμα 0.01 και το ύψος νερού του κάθε ορθογώνιου είναι $h_1 = h - y_1$, όπου $y_1 = \sqrt{R^2 - (x - x_{K1})} + y_{K1}$ με τον έλεγχο το y_1 να είναι μικρότερο του y_{K1} αλλιώς $y_1 = y_1 - y_{K1}$. Οι έλεγχοι αυτοί για το y_1 και το x_B γίνονται διότι στον κύκλο για κάθε x αντιστοιχούν δύο y και αντίστοιχα σε κάθε y υπάρχουν δύο x . Συνεπώς για να μην ληφθούν λανθασμένες τιμές προσαρμόζουμε τα μεγέθη αυτά με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιστοιχούν σε σημεία του κάτω δεξιά τεταρτημορίου του κύκλου. Η παροχή του κάθε ορθογώνιου τμήματος είναι: $q = C * 0.01 * y_1 * \sqrt{2 * g * y_1}$ ενώ η συνολική παροχή που διαπερνά τον υπερχειλιστή είναι: $Q = 2 * \sum q \text{ m}^3/\text{s}$

Αν η στάθμη είναι ανάμεσα στα σημεία Α,Γ(0.3,0.47) τότε $x_B = \text{abs}(\sqrt{R^2 - (h - y_{K2}) + x_{K2}})$ επειδή όμως συμπεριλαμβάνονται και τα δύο τόξα μέσα στο νερό, τα οποία διέπονται από άλλες εξισώσεις, οι τιμές του x τρέχουν από 0 έως $x_A - 0.01$ όπου $h_1 = h - y_1$, με $y_1 = \sqrt{R^2 - (x - x_{K1}) + y_{K1}}$, $y_1 < 0.12$ και από x_A έως $x_B - 0.01$ όπου $h_1 = h - y_1$, με $y_1 = \sqrt{R^2 - (x - x_{K2}) + y_{K2}} < 0.59516$.

$$q = C * 0.01 * y_1 * \sqrt{2 * g * y_1}$$

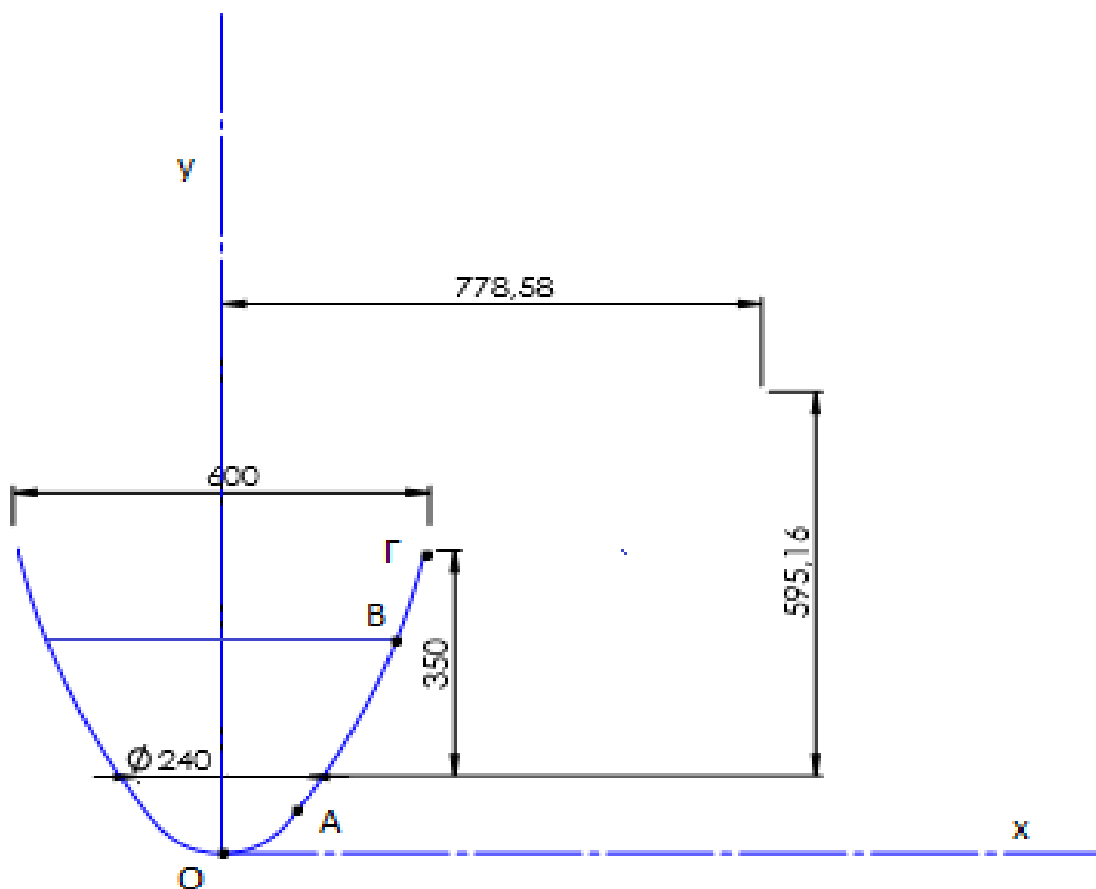
$$Q = 2 * \sum q \text{ m}^3/\text{s}$$

Αν η στάθμη είναι πάνω από το σημείο Γ ($h > y_\Gamma$) τότε $x_B = x_\Gamma$ και οι τιμές του x τρέχουν από 0 έως $x_A - 0.01$ όπου $h_1 = h - y_1$, με $y_1 = \sqrt{R^2 - (x - x_{K1}) + y_{K1}}$, $y_1 < 0.12$ και από x_A έως $x_\Gamma - 0.01$ όπου $h_1 = h - y_1$, με $y_1 = \sqrt{R^2 - (x - x_{K2}) + y_{K2}} < 0.59516$.

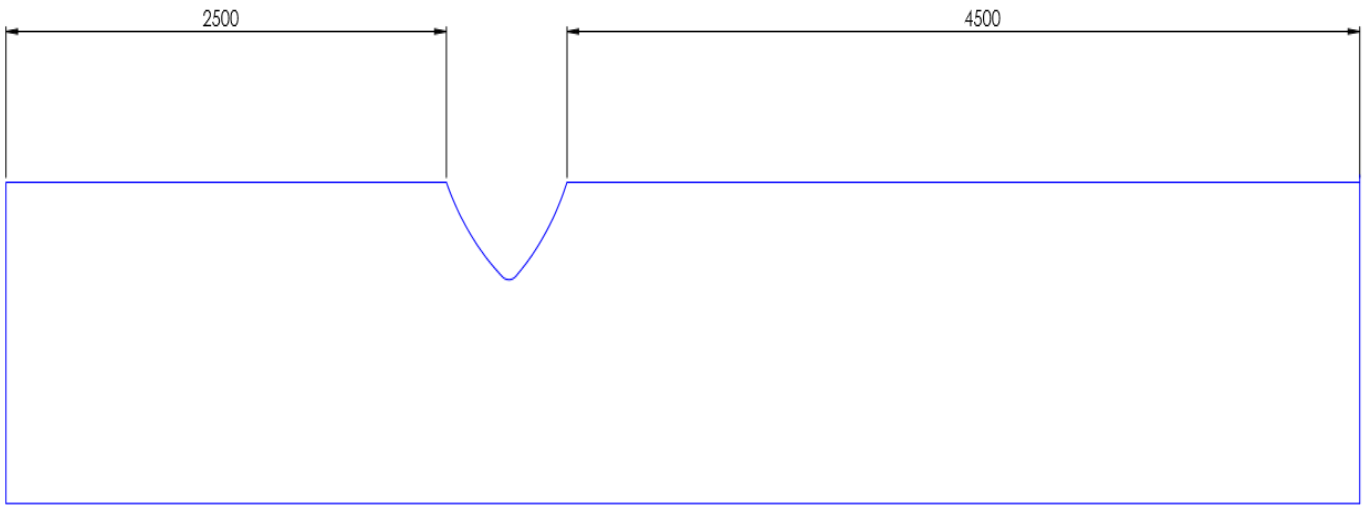
$$q = C * 0.01 * y_1 * \sqrt{2 * g * y_1}$$

$$Q = 2 * \sum q + C * L * (h - 0.47) * \sqrt{2 * g * (h - 0.47)} \text{ m}^3/\text{s}$$

Όπου $L = 7 \text{ m}$, το μήκος του τοίχους του φράγματος, όπου το θεωρούμε ορθογώνιο υπερχειλιστή μήκους L και ύψους $(h - 0.47) \text{ m}$.



Σχήμα 5.13 Η γεωμετρία του υπερχειλιστή και τα απαραίτητα σημεία που χρησιμοποιηθήκαν για τον υπολογισμό της παροχής του ποταμού



Σχήμα 5.14 Το μήκος του τοίχους του φράγματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

6.1 Εισαγωγή

Η εκμετάλλευση του υδροδυναμικού προϋποθέτει την ύπαρξη επιφανειακής απορροής αλλά και την ύπαρξη υψομετρικής διαφοράς μεταξύ της θέσης της υδροληψίας και της θέσης του υδροστροβίλου. Παρ' όλα αυτά, το μέγεθος και η χρονική διακύμανση της παροχής είναι αυτά που επηρεάζουν άμεσα την επιλογή του μεγέθους, του πλήθους των μονάδων παραγωγής ενέργειας, την διαστασιολόγηση, και το συνολικό κόστος του ΥΗΕ.

Η εκτίμηση των τιμών της παροχής είναι πολύ σημαντική διότι μία υπερεκτίμηση της παροχής οδηγεί σε εγκαταστάσεις μεγάλων διαστάσεων και μεγάλου κόστους. Τέτοια έργα είναι καταδικασμένα από οικονομικής άποψης, αφού δεν θα παράγουν την αναμενόμενη ενέργεια μην έχοντας και τα αναμενόμενα έσοδα. Από την άλλη η υποτίμηση της ποσότητας των επιφανειακών υδάτων οδηγεί σε μονάδες μικρότερης διαστασιολόγησης με αποτέλεσμα την μη σωστή αξιοποίηση του διαθέσιμου υδροδυναμικού, μην έχοντας έτσι τα μέγιστα δυνατά έσοδα. Γνωρίζοντας τα παραπάνω, θα πρέπει να αναφερθεί ότι είναι προτιμότερο μία συντηρητική εκτίμηση των παροχών και μονάδες μικρότερου μεγέθους που θα επιφέρουν λιγότερα έσοδα, παρά μία υπερδιαστασιολόγηση του έργου η οποία θα συνδεθεί με οικονομική αποτυχία.,

Είναι αλήθεια πως υπάρχει μεγάλη διαφορά στις τιμές της παροχής σε μια υδρολογική λεκάνη, από μέρα σε μέρα, από μήνα σε μήνα και από έτος σε έτος. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να υπάρχουν υδρομετρήσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί η μελλοντική εξέλιξη της διακύμανσης με πιθανότητα που θα είναι τόσο πιο μεγάλη όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος των χρονοσειρών παροχής που έχουν μετρηθεί. Για τη σωστή μελέτη διαστασιολόγησης υδροηλεκτρικού εξοπλισμού, θα πρέπει να υπάρχουν υδρομετρήσεις ημερήσιες ή μηνιαίες επί 40 χρόνια για μεγάλα ΥΗΕ και επί 20 έτη για μικρά ΥΗΕ. Το γεγονός ότι οι μετρήσεις είναι παρελθοντικές, μας αναγκάζουν να αποδεχτούμε ότι τα υδρολογικά φαινόμενα παρουσιάζουν περιοδικότητα με την έννοια ότι υπάρχει κυκλική εναλλαγή στην πιθανότητα να πραγματοποιηθούν.

Η διεξαγωγή μετρήσεων της παροχής και η διάθεση μεγάλων χρονοσειρών της πρωτεύουσας πληροφορίας είναι ιδιαίτερα δύσκολη και δαπανηρή. Αυτό έχει ως συνέπεια η πρωτεύουσα πληροφορία να είναι ελλιπής έως και ανύπαρκτη για μικρά υδατορεύματα. Αυτή η έλλειψη έχει οδηγήσει την επιστήμη της υδρολογίας να αναπτύξει μεθόδους εκτίμησης της απορροής υδατορεύματος που βασίζονται στην δευτερεύουσα υδρολογική πληροφορία, αυτή την ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Η διατομή του υδατορεύματος όπου θα λάβει χώρα η συλλογή της επιφανειακής απορροής με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίηση ονομάζεται λεκάνη απορροής ή υδρολογική λεκάνη. Το όριο της λεκάνης απορροής καθορίζεται από την γεωμορφολογία της περιοχής και ονομάζεται υδροκρίτης. Σε κάθε διατομή του ίδιου υδατορεύματος αντιστοιχεί μια διαφορετική λεκάνη απορροής, η επιφάνεια της οποίας αυξάνεται καθώς το εξεταζόμενο σημείο μετατοπίζεται κατάντη.

Μια λεκάνη απορροής αποτελείται από πολλές υπολεκάνες, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί στα ρυάκια και παραποτάμους που συμβάλλουν στο εξεταζόμενο υδατόρευμα, ανάντη της διατομής εξόδου. Για τον λόγο αυτό, η επιφάνεια της λεκάνης απορροής κατά μήκος ενός υδατορεύματος προς την κατάντη κατεύθυνση είναι μεν αύξουσα αλλά όχι συνεχής. Μια κλειστή λεκάνη η οποία δεν εκβάλλει στην θάλασσα, αντιστοιχεί στον σχηματισμό λίμνης.

Η χωρική κλίμακα στην οποία συσχετίζονται τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα με την επιφανειακή απορροή είναι αυτή της λεκάνης απορροής δεχόμενοι ότι η φυσική διεργασία της απορροής είναι ανεξάρτητη από την αντίστοιχη διεργασία σε άλλη γειτονική λεκάνη απορροής και ότι στο εσωτερικό της κάθε λεκάνης επικρατούν συνθήκες κλιματικής ομοιογένειας. Η Ελλάδα λόγω του πολύπλοκου ανάγλυφού της χαρακτηρίζεται από τον σχηματισμό μεγάλου πλήθους λεκανών απορροής, μικρού ή μεσαίου μεγέθους. Οι λεκάνες απορροής αυτές, έχουν ομαδοποιηθεί σε 14 υδατικά διαμερίσματα με κριτήρια κλιματικής και υδρολογικής ομοιογένειας.

Όλα τα υδρολογικά μεγέθη είναι χρονικά μεταβλητά. Η κλίμακα του χρόνου στην οποία διακρίτοποιείται η χρονική εξέλιξη τους εξαρτάται από την φύση του εξεταζόμενου μεγέθους. Για να καταγραφεί η εξέλιξη ενός πλημμυρικού φαινομένου, χρησιμοποιείται ωριαία κλίμακα ή κλίμακα δεκαλέπτου λόγω της εξέλιξης των φαινομένων αυτών. Αν χρησιμοποιηθεί ημερήσια ή μηνιαία κλίμακα, δεν αποτυπώνονται οι ακραίες τιμές ενός πλημμυρικού φαινομένου, όμως γίνεται εμφανέστερη η περιοδικότητα της απορροής και η διακύμανση των διερχόμενων ποσοτήτων νερού. Συνεπώς όσον αφορά την ενεργειακή αποτίμηση από την ενδεχόμενη υδροηλεκτρική αξιοποίηση ενός υδατορεύματος, η ημερήσια ή η μηνιαία κλίμακα είναι επαρκής.

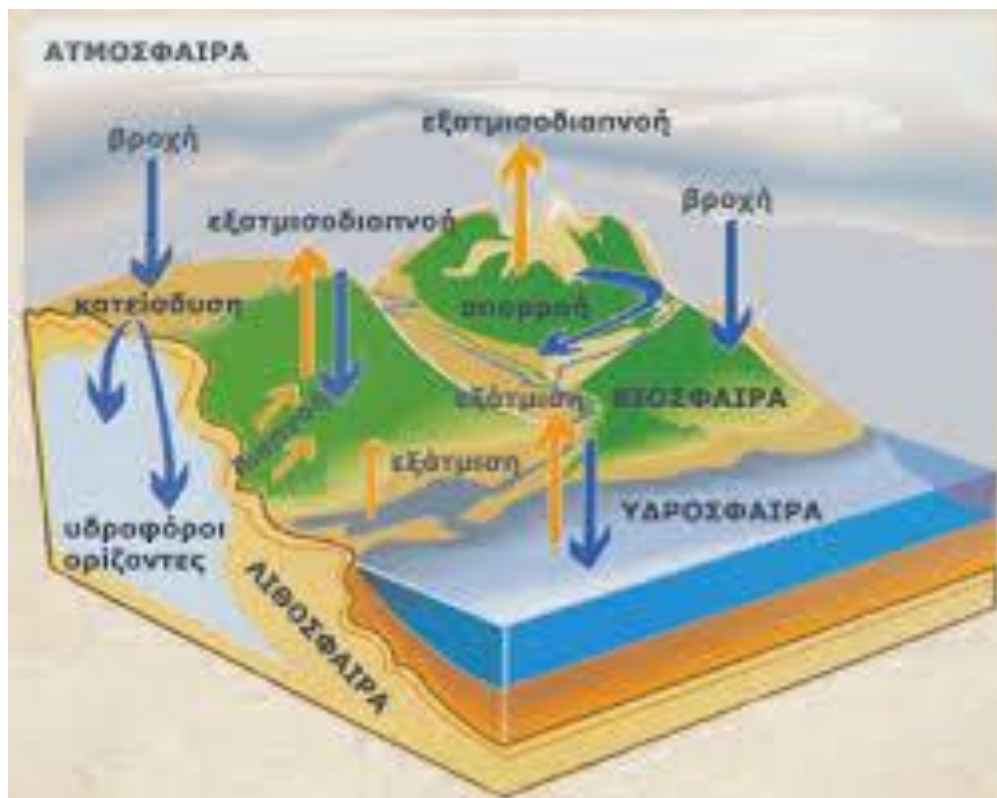
Ο υδρολογικός κύκλος περιλαμβάνει τις φάσεις της εξάτμισης, της διαπνοής και διήθησης στο έδαφος, λόγω όμως αυτών των φάσεων η ποσότητα του νερού που ρέει επιφανειακά δεν είναι ίδια με αυτή που πέφτει στην αντίστοιχη λεκάνη απορροής υπό μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Ένα μέρος της ποσότητας του νερού, η οποία διατίθεται στο έδαφος είναι δυνατόν να επανεμφανιστεί ως επιφανειακή απορροή είτε υπό την μορφή πηγών είτε όταν ο υπόγειος ορίζοντας φθάσει τη στάθμη της επιφανειακής ροής.

Η βροχόπτωση χαρακτηρίζεται ως στατιστικό μέγεθος καθώς η ένταση και η διάρκεια της δεν είναι ομοιόμορφη σε μια λεκάνη απορροής. Ως στατιστικό μέγεθος χαρακτηρίζεται και η εξάτμιση αφού εξαρτάται από την ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία του αέρα και την ένταση των ανέμων. Επιπλέον κάθε φάση παρουσιάζει μια υστέρηση ως προς την προηγούμενη. Για παράδειγμα η αύξηση της παροχής μιας πηγής ύστερα από μια βροχόπτωση, λαμβάνει χώρα μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος, το οποίο εξαρτάται από την μορφολογία του εδάφους και του υπεδάφους. Κατά συνέπεια η επιφανειακή παροχή είναι και αυτή στατιστικό μέγεθος. Για

να εκπονηθεί η μελέτη ενός ΥΗΕ είναι απαραίτητη η μεταβολή της επιφανειακής απορροής κατά τη διάρκεια του μέσου έτους, δηλαδή το μέσο ετήσιο υδρογράφημα της απορροής ή την καμπύλη διάρκειας της παροχής η οποία προκύπτει από τις τιμές των ημερήσιων ή μέσων μηνιαίων απορροών των περισσότερων ετών. Όταν όμως υπάρχει κατασκευή φράγματος, για τον υπολογισμό του εκχειλιστού λαμβάνονται υπόψη οι ακραίες τιμές της παροχής.

6.2 Υδρολογικός κύκλος

Η αέναη κίνηση του νερού μεταξύ των ωκεανών, των λιμνών, των ποταμών, της ατμόσφαιρας και της γης η οποία συνοδεύεται και από αλλαγές της κατάστασης του νερού μεταξύ υγρής αέρας και στερεής φάσης ορίζεται ως υδρολογικός κύκλος.



Σχήμα 6.1 Ο υδρολογικός κύκλος

Οι κυριότερες φάσεις του υδρολογικού κύκλου είναι οι ακόλουθες:

- Η κατακρήμνιση των ατμών
- Η εξάτμιση από την ξηρά και από της υδάτινες επιφάνειες
- Η διαπνοή από τα φυτά και την βλάστηση
- Η κατακράτηση του νερού από την βλάστηση και το έδαφος
- Η διήθηση του επιφανειακού νερού στο έδαφος
- Η επιφανειακή απορροή

Από της ανωτέρω φάσεις, αυτή που ενδιαφέρει για την υδροηλεκτρική αξιοποίηση είναι η επιφανειακή απορροή, που αποτελεί και το πρωτεύον μέγεθος στην υδρολογική ανάλυση.

Η εφαρμογή της συνέχειας σε συγκεκριμένο όγκο αναφοράς, αυτόν που προβάλλεται στην λεκάνη απορροής, επιτρέπει την διατύπωση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου σύμφωνα με την οποία, σε ένα χρονικό διάστημα, το αλγεβρικό άθροισμα των διαφόρων μορφών διακίνησης και αποθήκευσης του νερού είναι ίσο της το μηδέν. Συμβολικά η εξίσωση του ισοζυγίου εκφράζεται ως:

$$\Delta S = I - O$$

Στην παραπάνω εξίσωση με ΔS ορίζεται η μεταβολή του αποθηκευμένου όγκου νερού στον εξεταζόμενο όγκο αναφοράς και στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ενώ με I ορίζονται οι συνολικές εκροές και με O οι εκροές της και από τον όγκο αναφοράς στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η εξατμισοδιαπνοή συγκαταλέγεται στον όρο O καθώς πρόκειται για υδρολογική απώλεια.

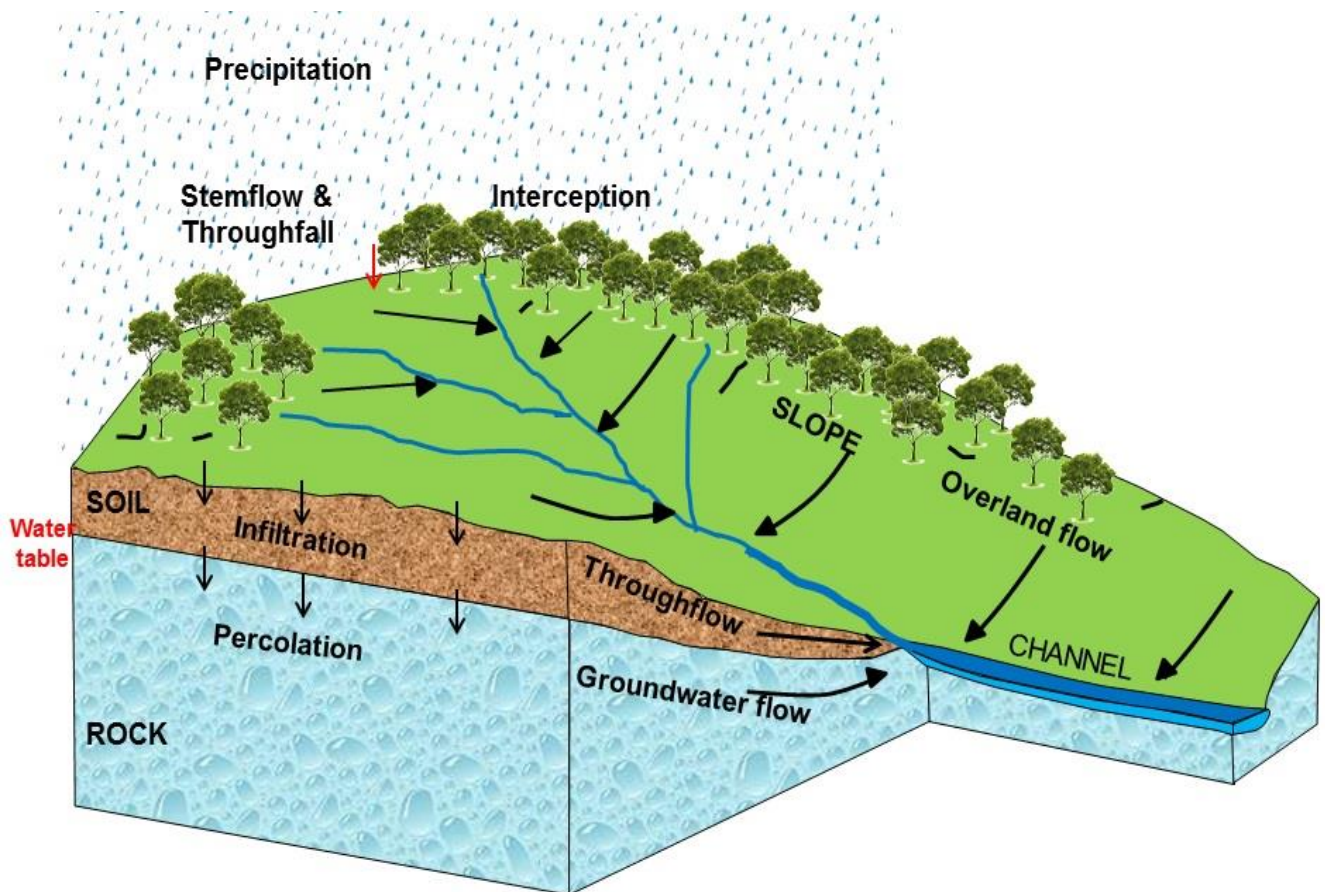
Όταν αναφερόμαστε σε μια απλή λεκάνη απορροής, μικρού σχετικά μεγέθους, θεωρούμε ότι επικρατούν σε αυτήν σχετικά ομοιόμορφες συνθήκες, δεν υπάρχουν μεγάλα τεχνητά υδραυλικά έργα και υπόγειοι υδροφορείς. Σε αυτήν λοιπόν την περίπτωση η μοναδική εισροή στον οριζόμενο από μια απλή λεκάνη απορροής όγκο αναφοράς είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, δηλαδή οι βροχοπτώσεις και οι χιονοπτώσεις και ορίζεται ως P . Ως αποθήκευση του νερού S στον όγκο αναφοράς εννοείται η αποθήκευση στο έδαφος υπό μορφή εδαφικής υγρασίας. Σύμφωνα με τα ανωτέρω η εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\Delta S = P - E - Q$$

Στην οποία με Q συμβολίζεται η επιφανειακή απορροή στην διατομή εξόδου, στην οποία αντιστοιχεί η εξεταζόμενη λεκάνη απορροής. Σε περίπτωση όπου το χρονικό διάστημα εφαρμογής του υδατικού ισοζυγίου θεωρείται μεγάλο, είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι $\Delta S = 0$, δηλαδή δεν συσσωρεύεται νερό και ότι η λεκάνη βρίσκεται στην ίδια κατάσταση. Με τον τρόπο αυτό γίνεται η παραδοχή ότι οι διακυμάνσεις της αποθηκευμένης στο έδαφος υγρασίας S έχουν εποχιακό χαρακτήρα. Έτσι η εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου γίνεται:

$$Q = P - E$$

Η επιφανειακή απορροή Q θα είναι το άθροισμα της ποσότητας του νερού που ρέει στην επιφάνεια του εδάφους όταν αυτό βρίσκεται σε συνθήκες κορεσμού και της ποσότητας του νερού που προέρχεται από το υπόγειο ορίζοντα, δηλαδή το κεκορεσμένο έδαφος.



Εικόνα 6.2 Δημιουργία επιφανειακής απορροής

6.3 Καμπύλη Διάρκειας Παροχής

Εφόσον η αναγνωριστική μελέτη έδειξε πως αξίζει να γίνει αναλυτικότερη και πιο εμπειριστατωμένη έρευνα, προχωράμε στην εύρεση και τον σχεδιασμό της καμπύλης διάρκειας παροχής η οποία θα εκτιμήσει με ακρίβεια το υδροηλεκτρικό δυναμικό, που εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των παροχών και το υδραυλικό φορτίο.

Η καμπύλη διάρκειας παροχής χρησιμεύει στην αξιολόγηση μιας θέσης όσον αφορά την υδροηλεκτρική αξιοποίηση καθώς και στον υπολογισμό της ισχύος και της ενέργειας που δύναται να παράγεται ετησίως . Παρουσιάζει τη χρονική μεταβλητότητα της παροχής και είναι άκρως απαραίτητη σε έργα με μικρό ή και χωρίς καθόλου ταμιευτήρα νερού. Η καμπύλη διάρκειας εκφράζει τη διαθεσιμότητα των παροχών σε μία θέση. Παριστάνει σε οριζόντιο άξονα, για δεδομένη τιμή της παροχής στον κατακόρυφο άξονα, το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η παροχή του υδατορεύματος είναι μεγαλύτερη ή ίση της τιμής της.

Το δείγμα από τα στοιχεία του οποίου κατασκευάζεται η καμπύλη διάρκειας είναι μία χρονοσειρά παροχών που ορίζονται σε χρονικά διαστήματα συγκεκριμένου εύρους. Το συνηθέστερο χρονικό εύρος είναι η μέρα, οπότε τα στοιχεία του δείγματος είναι οι μέσες ημερήσιες παροχές. Αν το

χρησιμοποιούμενο είδος είναι ο μήνας θα υπάρχει απώλεια πληροφοριών της μέγιστες και της ελάχιστες τιμές της παροχής μέσα στην μέρα. Για την σύνθεση της καμπύλης, οι τιμές των παροχών, οι οποίες θα πρέπει να υπάρχουν για τουλάχιστον έξι έτη, ταξινομούνται κατά σειρά μεγέθους και εν συνεχεία αδιαστατοποιείται η κλίμακα του χρόνου.

Το βασικό μειονέκτημα της καμπύλης διάρκειας της παροχής είναι ότι σε αυτή δεν παριστάνεται η χρονική διαδοχή των παροχών. Δηλαδή, χάνεται η πληροφορία του κατά πόσο η περίοδος των υψηλών παροχών περιορίζεται σε μία περίοδο του έτους ή οι υψηλές παροχές συμβαίνουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό το μειονέκτημα είναι δυνατόν να περιορισθεί αν χαραχθεί χωριστά η καμπύλη διάρκειας της παροχής κάθε εποχής ή περιόδου.

Το εμβαδόν που περικλείεται κάτω από την καμπύλη διάρκειας παροχής ισούται με τον όγκο του νερού που διέρχεται από την επιφάνεια εξόδου κατά το χρονικό διάστημα που αντιπροσωπεύει η κλίμακα του χρόνου.

6.4 Σύνθεση Καμπύλης Διάρκειας Παροχής για το ποτάμι στον Τριπόταμο Αρκαδίας

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, προκειμένου να προχωρήσουμε στην σύνθεση της καμπύλης διάρκειας παροχής του ποταμού στον Τριπόταμο Αρκαδίας χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα οι υπολογισμοί της παροχής οι οποίοι δόθηκαν από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα RESTOR Hydro το οποίο αναπτύχθηκε για την χώρα μας από τους Κ. Σούλη, Δ. Μανολάκο, Ι. Αναγνωστόπουλο και Δ. Παπαντώνη.

Το RESTOR Hydro είναι ένα Ευρωπαϊκό έργο που στοχεύει στην αύξηση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας από μικρά και πολύ μικρά υδροηλεκτρικά. Σκοπός του προγράμματος αυτού είναι να παρέχει έγκυρες πληροφορίες για το υδροηλεκτρικό δυναμικό των ιστορικών τοποθεσιών της Ευρώπης. Στην Ευρώπη υπάρχουν χιλιάδες υδρόμυλοι αλλά και υδροηλεκτρικοί σταθμοί εκτός λειτουργίας, υδατοφράχτες και δομές κατάντη των ποταμών που συνθέτουν ένα ανεκμετάλλευτο δυναμικό υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το έργο RESTOR Hydro προσδιορίζει τις καταλληλότερες τοποθεσίες με στόχο την αποκατάστασή τους. Ο προσδιορισμός και η αποκατάσταση βασίζονται σε κατευθυντήριες γραμμές, που λαμβάνουν υπόψη περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες.

Όσον αφορά την Ελλάδα, το πρόγραμμα περιέχει αναλυτικό χάρτη της χώρας μας με κάθε ποταμό και κάθε ρέμα που υπάρχει. Το RESTOR Hydro έχει συλλέξει για εικοσιπέντε χρόνια όλα τα δεδομένα από όλους τους βροχομετρικούς σταθμούς της Ελλάδας, έχει εντοπίσει όλες τις λεκάνες απορροής και έτσι υπολογίζει για κάθε θέση οποιουδήποτε ποταμού την μέση τιμή της παροχής του κάθε μήνα.

Κατ' αυτό τον τρόπο και με τη βοήθεια του κ. Κωνσταντίνου Χ. Σούλη από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών δημιουργήθηκε ο πίνακας τιμών των μέσων παροχών για κάθε μήνα για τα υδρολογικά έτη από το 1971-1972 έως το 1995-1996. Οι τιμές των παροχών στον παρακάτω πίνακα είναι σε m³/s.

Υδρολογικό έτος	Οκτώβριο	Νοέμβριο	Δεκέμβριο	Ιανουάριο	Φεβρουάριο	Μάρτιο	Απρίλιο	Μάιο	Ιούνιο	Ιούλιο	Αύγουστο	Σεπτέμβριο
1971-1972	0,0002	0,0324	0,1102	0,1985	0,2528	0,1131	0,0794	0,030	0,0115	0,0044	0,0017	0,00063
1972-1973	0,0296	0,0221	0,0383	0,2149	0,23	0,1882	0,0726	0,027	0,0105	0,004	0,0015	0,00058
1973-1974	0,0002	0,0269	0,1159	0,1301	0,2245	0,1622	0,0784	0,029	0,0113	0,0043	0,0016	0,00062
1974-1975	0,0055	0,039	0,0809	0,0805	0,1214	0,0891	0,0339	0,012	0,0049	0,0019	0,0007	0,00027
1975-1976	0,0001	0,0267	0,2561	0,2113	0,1924	0,0976	0,059	0,022	0,0085	0,0033	0,0012	0,00046
1976-1977	0,0237	0,1198	0,1771	0,12	0,1081	0,0424	0,0161	0,006	0,0023	0,0009	0,0003	0,00013
1977-1978	5E-05	0,026	0,164	0,2467	0,2231	0,136	0,0717	0,025	0,0104	0,0039	0,0015	0,00057
1978-1979	0,0083	0,0665	0,1607	0,2307	0,1872	0,0761	0,0343	0,013	0,0049	0,0019	0,0007	0,00027
1979-1980	0,0072	0,2047	0,2427	0,2411	0,1561	0,1609	0,0763	0,029	0,011	0,0042	0,0016	0,0006
1980-1981	0,0123	0,1037	0,2409	0,3311	0,2033	0,0809	0,0318	0,012	0,0046	0,0017	0,0007	0,00025
1981-1982	1E-04	0,0565	0,3039	0,1713	0,2029	0,2084	0,0901	0,034	0,013	0,0049	0,0019	0,00071
1982-1983	0,0003	0,0469	0,1941	0,105	0,1382	0,0976	0,0371	0,014	0,0054	0,002	0,0008	0,00029
1983-1984	0,0001	0,1227	0,2197	0,2064	0,2119	0,1529	0,1303	0,049	0,0188	0,0071	0,0027	0,00102
1984-1985	0,0004	0,0137	0,1406	0,3218	0,1924	0,188	0,0717	0,027	0,0104	0,0039	0,0015	0,00057
1985-1986	0,0002	0,079	0,0762	0,2262	0,2784	0,1365	0,0519	0,019	0,0075	0,0028	0,0011	0,00042
1986-1987	0,0147	0,047	0,1534	0,1884	0,1667	0,2242	0,0852	0,032	0,0123	0,0047	0,0018	0,00067
1987-1988	0,0003	0,1091	0,1211	0,2031	0,2294	0,1851	0,0703	0,026	0,0101	0,0039	0,0014	0,00057
1988-1989	0,0002	0,0606	0,1963	0,0839	0,042	0,0245	0,0099	0,003	0,0014	0,0005	0,0002	7,8E-05
1989-1990	3E-05	0,0145	0,0342	0,0256	0,0316	0,012	0,0046	0,001	0,0007	0,0002	1E-04	3,5E-05
1990-1991	1E-05	0,0252	0,292	0,189	0,1466	0,0914	0,046	0,017	0,0066	0,0025	0,001	0,00035
1991-1992	0,0028	0,0548	0,1336	0,0676	0,0584	0,0872	0,038	0,014	0,0055	0,0021	0,0008	0,0003
1992-1993	0,0001	0,0075	0,0596	0,0334	0,1452	0,081	0,0322	0,012	0,0047	0,0018	0,0007	0,00026
1993-1994	1E-04	0,111	0,1319	0,1668	0,1907	0,0762	0,0313	0,011	0,0045	0,0017	0,0006	0,00025
1994-1995	1E-04	0,0692	0,1898	0,2841	0,1186	0,1316	0,05	0,019	0,0072	0,0028	0,0011	0,00039
1995-1996	0,0002	0,018	0,1441	0,1765	0,2262	0,2144	0,0815	0,031	0,0118	0,0045	0,0017	0,00067

Εφόσον ο σκοπός του υδροηλεκτρικού έργου είναι η τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος μόνο για τη θέρμανση του λαογραφικού μουσείου και όχι η τροφοδοσία ενός αυτόνομου δικτύου όπου θα χρησιμοποιεί ηλεκτρικό ρεύμα καθ' όλη τη διάρκεια της χρονιάς ή την πώληση του ρεύματος στο δίκτυο της ΔΕΗ, παρατηρούμε πως υπάρχει ανάγκη το ΥΗΕ να λειτουργεί τις περιόδους που απαιτείται ανάγκη για θέρμανση. Πιο συγκεκριμένα χρειάζεται να λειτουργεί από τον Νοέμβριο έως τον Μάρτιο όπου σε εκείνους τους μήνες η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλή.

Συνεπώς, είναι αλήθεια πως για την διαστασιολόγηση του έργου δεν μας ενδιαφέρουν οι τιμές της παροχής για τους υπόλοιπους μήνες αλλά αντιθέτως οφείλουμε να συγκεντρώσουμε την προσοχή μας στους μήνες που αναφέραμε παραπάνω.

Για το λόγο αυτό, τα δεδομένα από τα οποία θα κατασκευαστεί η καμπύλη διάρκειας παροχής για την περίπτωση μας, θα είναι οι παροχές για κάθε υδρολογικό έτος των μηνών Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο.

Έτσι δημιουργείται ο παρακάτω πίνακας.

Υδρολογικό έτος	Νοέμβριο	Δεκέμβριο	Ιανουάριο	Φεβρουάριο	Μάρτιος
1971-1972	0,0323738	0,1101982	0,198484	0,2528409	0,1130963
1972-1973	0,0221245	0,0383467	0,2149183	0,2300096	0,1881993
1973-1974	0,0268604	0,1158884	0,1300961	0,2244962	0,1621872
1974-1975	0,0390182	0,0809345	0,0805104	0,1213665	0,0890633
1975-1976	0,0266837	0,2561278	0,211278	0,1923698	0,0975803
1976-1977	0,1198114	0,1771371	0,1200235	0,1080777	0,0423758
1977-1978	0,0260122	0,1639543	0,2466913	0,2230825	0,1359983
1978-1979	0,0664794	0,1607028	0,2306811	0,1872097	0,0760573
1979-1980	0,2047043	0,242733	0,2411072	0,1561436	0,1608793
1980-1981	0,1037305	0,2408951	0,3311248	0,203326	0,0809343
1981-1982	0,0564775	0,3039463	0,1713409	0,2029372	0,2083793
1982-1983	0,046935	0,1941369	0,1049675	0,1382249	0,0976163
1983-1984	0,1227095	0,2197249	0,2064008	0,2119496	0,1528567
1984-1985	0,0136776	0,1405575	0,3218297	0,1924404	0,1879513
1985-1986	0,0789907	0,0761633	0,2261573	0,2783936	0,1364931
1986-1987	0,0470057	0,1533869	0,1884114	0,1666757	0,2242134
1987-1988	0,1090673	0,1210837	0,2031492	0,2293735	0,1850538
1988-1989	0,0606126	0,1962574	0,0839033	0,0420223	0,0244571
1989-1990	0,0144905	0,0342116	0,0256234	0,0315963	0,0120163
1990-1991	0,0251993	0,2920005	0,1890122	0,1466011	0,0913603
1991-1992	0,0548164	0,1336304	0,067575	0,058386	0,0871902
1992-1993	0,0074926	0,0595876	0,0333634	0,1452227	0,0810052
1993-1994	0,1110111	0,1318632	0,1668171	0,1906733	0,076234
1994-1995	0,0691655	0,1897897	0,2840838	0,1186451	0,1315803
1995-1996	0,017954	0,1440564	0,1765363	0,226228	0,2143528

Έχοντας λάβει τον πίνακα με τις κατάλληλες τιμές, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία για την σύνθεση της καμπύλης διάρκειας παροχής για την θέση ενδιαφέροντος.

Αρχικά εντοπίζουμε την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της παροχής στον πίνακα. Η μέγιστη παροχή είναι 0,331125 m³/s ενώ η ελάχιστη είναι 0,007492 m³/s.

Ύστερα, αφαιρούμε τις δύο αυτές τιμές και διαιρούμε με τον αριθμό των υδρολογικών ετών που έχουμε τα στοιχεία, βρίσκοντας έτσι το βήμα της κλίμακας.

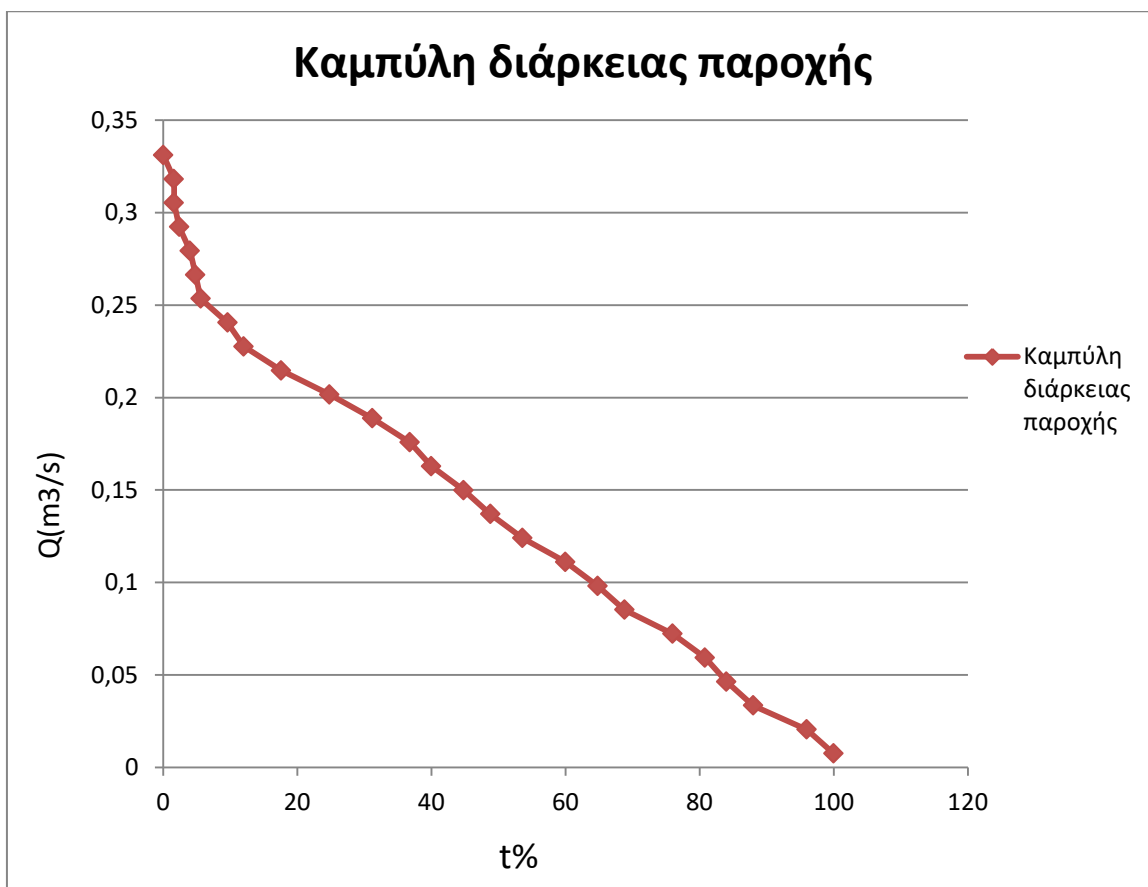
$$\text{Βήμα}=(0,331125-0,007492)/25=0,012945$$

Ξεκινώντας από την μέγιστη παροχή και προχωρώντας προς τα κάτω με το παραπάνω βήμα καταλήγουμε στην ελάχιστη παροχή δημιουργώντας έτσι τη ζητούμενη κλίμακα.

Οι τιμές της κλίμακας αυτής, αποτελούν τις τιμές του κατακόρυφου άξονα της καμπύλης. Οι τιμές του οριζόντιου άξονα θα είναι τα ποσοστά του χρόνου. Για να βρεθούν τα σωστά ποσοστά του χρόνου, θα πρέπει να αναζητήσουμε από τον 2^ο πίνακα πόσες παροχές είναι μεγαλύτερες από την κάθε τιμή της κλίμακας. Τέλος διαιρούμε τον αριθμό των εμφανίσεων με τον συνολικό αριθμό των τιμών των παροχών του πίνακα αυτού που είναι το 125.

Q	εμφανίσει	t%
0,331125	0	0
0,31818	2	1,6
0,305235	2	1,6
0,29229	3	2,4
0,279345	5	4
0,2664	6	4,8
0,253455	7	5,6
0,24051	12	9,6
0,227565	15	12
0,21462	22	17,6
0,201675	31	24,8
0,18873	39	31,2
0,175785	46	36,8
0,16284	50	40
0,149895	56	44,8
0,13695	61	48,8
0,124005	67	53,6
0,11106	75	60
0,098115	81	64,8
0,08517	86	68,8
0,072225	95	76
0,05928	101	80,8
0,046335	105	84
0,03339	110	88
0,020445	120	96
0,0075	125	100

Έχοντας υπολογίσει τις τιμές και των δύο αξόνων του διαγράμματος, είναι πλέον δυνατό να χαραχθεί η ζητούμενη καμπύλη διάρκειας παροχής.



Σχήμα 6.3 Η καμπύλη διάρκειας παροχής από τα υδρολογικά στοιχεία που προέκυψαν από το πρόγραμμα RESTOR Hydro

Το γράφημα αυτό αποτελεί την καμπύλη των συνολικών παροχών του ποταμού. Συνήθως στα ΥΗΕ και εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο, μία ποσότητα νερού αφήνεται κανονικά στη ροή της και δεν εκμεταλλεύεται από το έργο για την διατήρηση της ζωής της πανίδας αλλά και της χλωρίδας στην περιοχή. Αυτή η ποσότητα νερού ονομάζεται οικολογική παροχή. Ως οικολογική παροχή λαμβάνεται η μεγαλύτερη τιμή ή του 50% της παροχής του μέσου Σεπτεμβρίου ή το 30% του μέσου όρου του αθροίσματος των παροχών των μέσων καλοκαιρινών μηνών. Ύστερα η οικολογική παροχή αφαιρείται από τις συνολικές παροχές και κατασκευάζεται σε νέο διάγραμμα η καμπύλη των διαθέσιμων παροχών. Σε περίπτωση όπου μετά την αφαίρεση προκύψει κάποια τιμή της παροχής αρνητική, τότε αυτόματα σημαίνει πως η παροχή αυτή είναι μικρότερη της οικολογικής και η διαθέσιμη παροχή λαμβάνεται ίση με μηδέν.

Παρ' όλα αυτά στην περίπτωση μας, όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, δεν θα υπάρξει οικολογική παροχή διότι πρώτον το έργο δεν θα λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του έτους αλλά μόνο τους πέντε μήνες όπου θα υπάρχει ανάγκη για θέρμανση και δεύτερον ο αγωγός είναι μόνο 50 μέτρα μήκος. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως το ποτάμι δεν θα παρεκκλίνει ούτε για μεγάλο χρονικό διάστημα αλλά ούτε και για μεγάλο μήκος επηρεάζοντας αρνητικά την χλωρίδα. Επίσης, στην συγκεκριμένη τοποθεσία του ποταμού δεν υπάρχουν έμβια όντα για τα οποία θα πρέπει να υπάρχει ανησυχία.

Συνεπώς, η καμπύλη διάρκειας των συνολικών παροχών είναι ταυτόχρονα και καμπύλη των διαθέσιμων παροχών από την οποία με τις απαραίτητες διαδικασίες που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο θα επιτευχθεί η διαστασιολόγηση του έργου.

Τέλος, θα πρέπει να διευκρινιστεί πως η καμπύλη διάρκειας παροχής δεν εκφράζει το κάθε υδρολογικό έτος αλλά το μέσο υδρολογικό έτος. Για αυτό το λόγο άλλωστε χρειάζεται να υπάρχουν δεδομένα από αρκετά χρόνια για να κατασκευαστεί. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως η παροχή του ποταμού χρόνο με το χρόνο είναι πιθανό να αλλάζει με σημαντικές διαφορές και συνεπώς το ίδιο και η παραγόμενη ενέργεια, δηλαδή άλλοτε να είναι μικρότερη και άλλοτε μεγαλύτερη από την αναμενόμενη. Σε βάθος χρόνου όμως, διαπιστώνεται πως η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια από όλα τα έτη αντιστοιχεί στην ενέργεια του μέσου υδρολογικού έτους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΥΗΕ

7.1 Περιληπτική περιγραφή της μεθοδολογίας

Σκοπός του κώδικα, ο οποίος πραγματοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού της Fortran, είναι να εντοπίσει τον βέλτιστο συνδυασμό διαμέτρου σωλήνα – παροχής διαστασιολόγησης ο οποίος θα επιφέρει την μεγαλύτερη εξοικονόμηση χρημάτων για το λαογραφικό μουσείο. Επιπροσθέτως, για κάθε τιμή της διαμέτρου του αγωγού και της ονομαστικής παροχής, προκύπτει η ονομαστική τιμή του υδραυλικού ύψους και συνεπώς η τιμή της ισχύος στην έξοδο της ατράκτου του υδροστροβίλου. Με αυτά τα στοιχεία είναι δυνατό να διαστασιολογηθούν τα μέρη του υδροστροβίλου αλλά και ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.

Περιληπτικά, στον κώδικα εισάγουμε ως δεδομένα την καμπύλη διάρκειας παροχής που χαράχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο καθώς και τιμοκατάλογο ο οποίος διαθέτει τις διαμέτρους των αγωγών και την τιμή της κάθε διαμέτρου ανά μέτρο σε ευρώ. Ο τιμοκατάλογος που επιλέχθηκε περιέχει πλαστικές σωλήνες από σκληρό PVC με αντοχή σε πίεση 6 atm. Εκλέχτηκε ο συγκεκριμένος διότι μετά από έρευνα που διεξάχθηκε σε τιμοκαταλόγους χαλκοσωληνών και άλλων πλαστικών αγωγών, βρέθηκε ως εκείνος με το χαμηλότερο κόστος. Επίσης οι σωλήνες από τον τιμοκατάλογο αυτό είναι ικανοί να αντέξουν την πίεση που θα εφαρμόζεται πάνω τους από το νερό λόγω του υδραυλικού ύψους. Πιο συγκεκριμένα η υδροστατική πίεση υπολογίζεται από τον τύπο, $p-p_{atm}=\rho \cdot g \cdot h$.

$$\text{Έτσι έχουμε: } p-p_{atm}=(1000 \cdot 9.81 \cdot 7.3)/10^5 \quad \text{bar}$$

$$p-1.0133=0.71613 \quad \text{bar}$$

$$p=1.729 \quad \text{bar}$$

$$p=1.729 \cdot 0.9869 = 1.7068 \quad \text{atm} < 6 \quad \text{atm}$$

Στη συνέχεια υποθέτοντας ως ονομαστική παροχή υδροστροβίλου τις παροχές της καμπύλης διάρκειας, σαρώνουμε όλους τους συνδυασμούς τιμών παροχής και διαμέτρων αγωγού από τον τιμοκατάλογο. Με αυτό τον τρόπο είμαστε σε θέση να δούμε την ισχύ που είναι ικανός να παράγει ο κάθε συνδυασμός την κάθε στιγμή στο μέσο υδρολογικό έτος από τον τύπο $P_i=Q_i \cdot H_i \cdot g \cdot \eta_i \cdot \eta_{gi}$ σε kW, αλλά και την συνολική παραγόμενη ενέργεια από τον τύπο $E_i=P_i \cdot \Delta T_i$ σε kWh. Έχοντας την παραγόμενη ενέργεια, την κάθε φορά στιγμιαία παραγόμενη ισχύ από το ΥΗΕ αλλά και το κόστος εγκατάστασης του ΥΗΕ, μπορούμε να δούμε κατά πόσο μπορούμε να καλύψουμε της θερμικές ανάγκες του μουσείου από το έργο, αν συμφέρει οικονομικώς να εγκαταστήσουμε το υδροηλεκτρικό αλλά και σε ποια περίπτωση θα έχουμε την μεγαλύτερη εξοικονόμηση.

7.2 Αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας

Στην ενότητα αυτή, γίνεται επεξήγηση της μορφής και της φιλοσοφίας του υπολογιστικού κώδικα και κάποιες αναλυτικές περιγραφές των βασικών μερών του.

Αρχικά θα πρέπει να αναφερθεί πως η γενική λογική του κώδικα είναι τρεις βρόχοι επαναλήψεων ο ένας μέσα στον άλλον έτσι ώστε να είναι δυνατή η σάρωση όλων των συνδυασμών ονομαστικής παροχής – διάμετρος αγωγού με σκοπό να βρεθούν τα ζητούμενα της εργασίας που είναι η διαστασιολόγηση του έργου και το κόστος της εγκατάστασης. Ο πρώτος βρόχος αφορά την διάμετρο του αγωγού, ο δεύτερος την ονομαστική παροχή του υδροστροβίλου ενώ ο τρίτος την παροχή του υδατορεύματος.

A) Οι διαμέτροι και τα κόστη των αγωγών έχουν πινακοποιηθεί και εισάγονται ως δεδομένα στον κώδικα από τον παρακάτω τιμοκατάλογο.

DURALIFE PVC-U EN 1452-2 6ATM			
Κωδικός	Εξ. Διάμετρος mm	Πάχος Τοιχώματος mm	Τιμή €/ m
5150630601	63	2,0	2,04
5150750601	75	2,3	2,85
5150900601	90	2,8	4,11
5151100601	110	2,7	5,96
5151250601	125	3,1	7,63
5151400601	140	3,5	9,45
5151601601	160	4,0	12,25
5152000601	200	4,9	19,13
5152250601	225	5,5	24,11
5152500601	250	6,2	29,65
5152800601	280	6,9	38,08
5153150601	315	7,7	48,35
5153550601	355	8,7	61,17
5154000601	400	9,8	77,28
5154500601	450	11,0	98,14
5155000601	500	12,3	129,75

Σχήμα 7.1 Τιμοκατάλογος πλαστικών σωλήνων, εισάγεται στον κώδικα ως δεδομένα διαμέτρου και κόστους αγωγού

B) Ως παροχές διαστασιολόγησης του υδροστροβίλου υποθέτονται όλες οι τιμές της παροχής από την καμπύλη διάρκειας παροχής. Έτσι ξεκινώντας από την ελάχιστη έως τη μεγαλύτερη τιμή του διαγράμματος με βήμα $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ ελέγχουμε για την βέλτιστη επιλογή από όλο το εύρος των πιθανών τιμών.

Γ) Προκειμένου να γνωστοποιήσουμε την ακριβής τιμή της παροχής του ποταμού την κάθε χρονική στιγμή, ακολουθούμε τον παρακάτω τρόπο. Με τα σημεία που έχουμε ορίσει για την κατασκευή της καμπύλης διάρκειας παροχής, φτιάχνουμε ευθείες και πινακοποιούμε της τιμές των τετμημένων

(χρόνος%) και των τεταγμένων (παροχή m³/s) των σημείων αυτών αλλά και τους συντελεστές των ευθειών. Ύστερα τρέχουμε τον χρόνο από το 0% έως το 100% και για κάθε 0,1% που είναι το βήμα της επανάληψης, λαμβάνουμε την τιμή της παροχής από την εξίσωση της ευθείας. Με τον τρόπο τον οποίο έχουμε πινακοποιήσει τα στοιχεία, κάθε τετμημένη ανήκει σε μία μόνο ευθεία. Έτσι σε κάθε επανάληψη ελέγχουμε σε ποια ευθεία βρισκόμαστε και συνεπώς έχουμε σωστή τιμή της παροχής. Είναι καλό να εξηγηθεί πως τις κατακόρυφες ευθείες, όπου δεν ορίζεται συντελεστής ευθείας, δεν τις λαμβάνουμε υπόψη στον κώδικα διότι η χρονική στιγμή εκείνη δεν ανήκει μόνο στην κατακόρυφη ευθεία αλλά ανήκει επίσης και στην προηγούμενη ευθεία της κατακόρυφης. Συνεπώς μπορεί να προσδιοριστεί η τιμή της παροχής στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα από το τελευταίο σημείο της προηγούμενης από την κατακόρυφη ευθείας.

Q	t%	συντελεστή ευθείας
0,331125	0	-0,00809
0,31818	1,6	#ΔΙΑΠ/0!
0,305235	1,6	-0,01618
0,29229	2,4	-0,00809
0,279345	4	-0,01618
0,2664	4,8	-0,01618
0,253455	5,6	-0,00324
0,24051	9,6	-0,00539
0,227565	12	-0,00231
0,21462	17,6	-0,0018
0,201675	24,8	-0,00202
0,18873	31,2	-0,00231
0,175785	36,8	-0,00405
0,16284	40	-0,0027
0,149895	44,8	-0,00324
0,13695	48,8	-0,0027
0,124005	53,6	-0,00202
0,11106	60	-0,0027
0,098115	64,8	-0,00324
0,08517	68,8	-0,0018
0,072225	76	-0,0027
0,05928	80,8	-0,00405
0,046335	84	-0,00324
0,03339	88	-0,00162
0,020445	96	-0,00324
0,0075	100	

Σχήμα 7.2 Ο πίνακας δεδομένων που εισάγεται στον κώδικα

Έχοντας βρει την παροχή του ποταμού σε συνάρτηση με το χρόνο, επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι να ορισθεί η παροχή του νερού που θα περνάει από τον υδροστρόβιλο. Ο κάθε υδροστρόβιλος ανεξαρτήτως τύπου, δεν είναι ικανός να εκμεταλλευτεί όλες τις παροχές νερού που μπορεί να έχει ένας ποταμός αλλά αντιθέτως υπάρχει ένα εύρος παροχών από το οποίο μπορεί να παράγει ενέργεια. Το εύρος αυτό είναι διαφορετικό για τον κάθε τύπο υδροστροβίλου και εξαρτάται από την ονομαστική παροχή (Q_N). Ο υδροστρόβιλος cross flow, ο οποίος είναι ο τύπος που θα εγκατασταθεί στο έργο αυτό, έχει εύρος λειτουργίας παροχών νερού με ελάχιστη τιμή $0,1*Q_N$ και μέγιστη τιμή $1,15*Q_N$.

Συνεπώς προκειμένου να δούμε πόσος θα είναι ο όγκος νερού που θα διέρχεται στην υδροηλεκτρική μονάδα την κάθε χρονική στιγμή, θα πρέπει για κάθε παροχή του ποταμού που λαμβάνουμε από τον τρίτο εσωτερικό βρόχο του κώδικα να ελέγχουμε ποια είναι η σχέση του με την παροχή διαστασιολόγησης που εξετάζουμε τη συγκεκριμένη φορά.

Ο έλεγχος είναι ο εξής:

Αν $Q_{\text{ποταμού}} > 1,15*Q_N$, τότε $Q_i = 1,15*Q_N$

Αν $Q_{\text{ποταμού}} < 0,1*Q_N$, τότε $Q_i = 0$

Αν $0,1*Q_N < Q_{\text{ποταμού}} < 1,15*Q_N$, τότε $Q_i = Q_{\text{ποταμού}}$

Έχοντας προκύψει οι τιμές για τις προηγούμενες μεταβλητές, είναι πλέον εύκολο να υπολογιστούν οι υδραυλικές απώλειες στον αγωγό προσαγωγής. Όπως είναι γνωστό, οι υδραυλικές απώλειες διακρίνονται στις γραμμικές και στις εντοπισμένες οι οποίες αναπτύσσονται στις διάφορες διαμορφώσεις, εξαρτήματα και όργανα των σωληνώσεων.

Οι γραμμικές υδραυλικές απώλειες χαρακτηρίζονται κατ' αυτόν τον τρόπο διότι είναι ανάλογες του μήκους L στο οποίο αναπτύσσονται και ισοκατανέμονται. Οι γραμμικές υδραυλικές απώλειες εκφράζονται σε μέτρα στήλης υγρού ως εξής:

$$\delta h_{\text{γραμ}} = \lambda \frac{L}{d} * \frac{c^2}{2 * g}$$

όπου $\delta h_{\text{γραμ}}$ είναι η πτώση πίεσης εκφρασμένη σε μέτρα στήλης υγρού, λ είναι ο αδιάστατος συντελεστής γραμμικών απωλειών ο οποίος εξαρτάται από την τιμή του αριθμού Reynolds και την σχετική τραχύτητα των τοιχομάτων του σωλήνα και c η μέση ταχύτητα της ροής στον αγωγό.

Από την άλλη, οι εντοπισμένες απώλειες είναι εκείνες οι οποίες προκαλούνται από ειδικές διαμορφώσεις σε σωλήνες ή από τα εξαρτήματα (βάνες, σύνδεσμοι κλπ). Η σχέση η οποία εκφράζει τις απώλειες αυτές είναι:

$$\delta h_{\text{εντοπ}} = \zeta \frac{c^2}{2 \cdot g}$$

όπου ζ ο συντελεστής απωλειών της εντοπισμένης αντίστασης.

Αν αντικαταστήσουμε τη μέση ταχύτητα c με το κλάσμα Q/A , τότε οι δύο παραπάνω τύποι μετατρέπονται σε συνάρτηση της διερχόμενης παροχής Q_i και γίνονται:

$$\delta h_{\text{γραμ},i} = \lambda \frac{L}{d} \frac{Q_i^2}{A^2 \cdot 2 \cdot g}$$

$$\delta h_{\text{εντοπ},i} = \zeta \frac{Q_i^2}{2 \cdot g \cdot A^2}$$

Οι συνολικές υδραυλικές απώλειες της εγκατάστασης είναι το άθροισμα των γραμμικών και των εντοπισμένων:

$$\delta h_i = \delta h_{\text{γραμ},i} + \delta h_{\text{εντοπ},i}$$

Συνεπώς το πραγματικό υδραυλικό ύψος σε mΣΥ της κάθε παροχής του στροβίλου είναι η διαφορά της ολικής υψομετρικής διαφοράς με τις συνολικές υδραυλικές απώλειες.

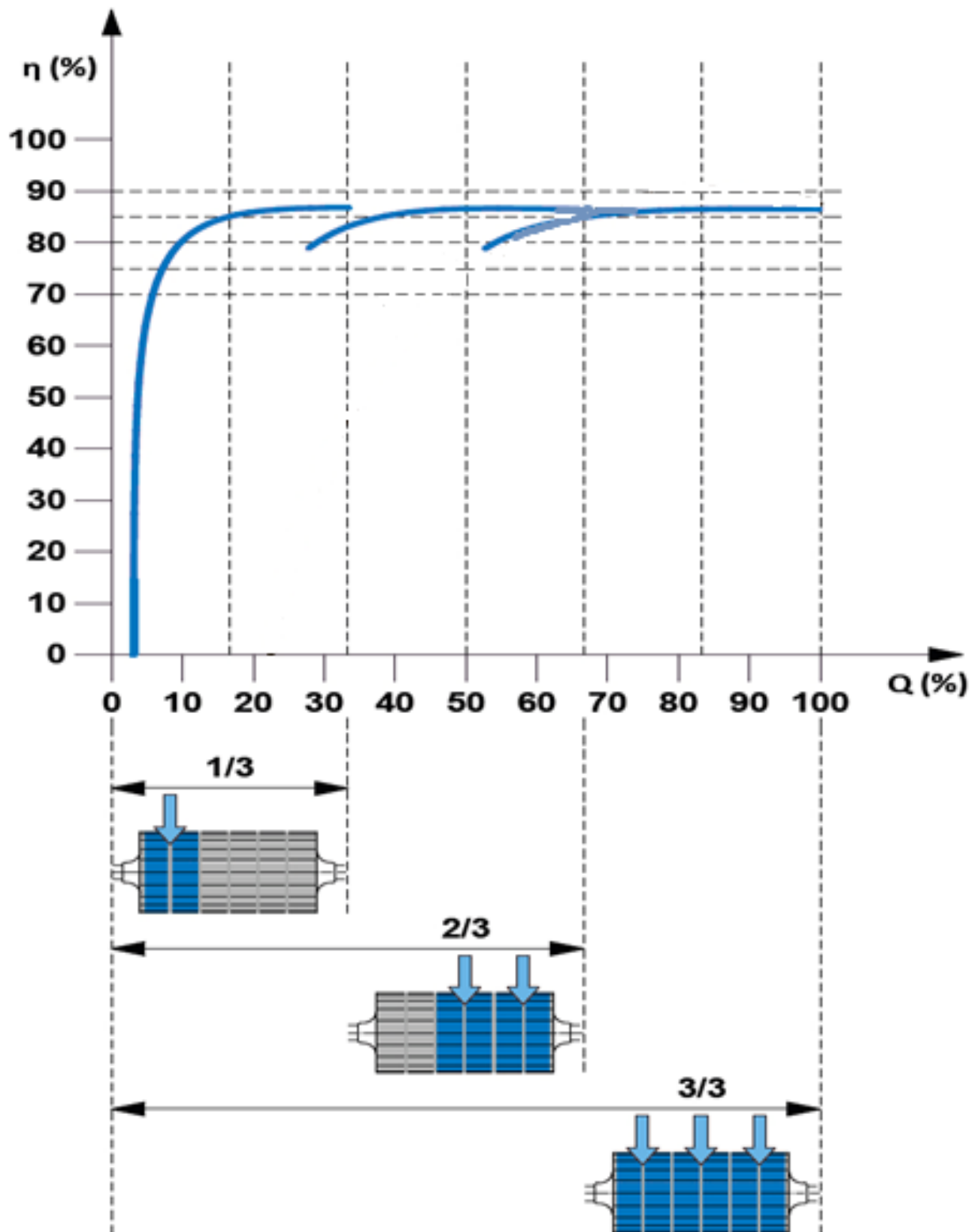
$$H_i = h - \delta h_i \text{ σε mΣΥ}$$

Αμέσως μετά την εύρεση του υδραυλικού ύψους, ο κώδικας υπολογίζει την παραγόμενη μηχανική ισχύ του υδροστροβίλου. Η ισχύς σε kW για κάθε χρονική στιγμή βρίσκεται από το τύπο:

$$P_{\text{μηχ},i} = Q_i \cdot H_i \cdot g \cdot n_{\text{στρ}}$$

Όπου $n_{\text{στρ}}$ είναι ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου.

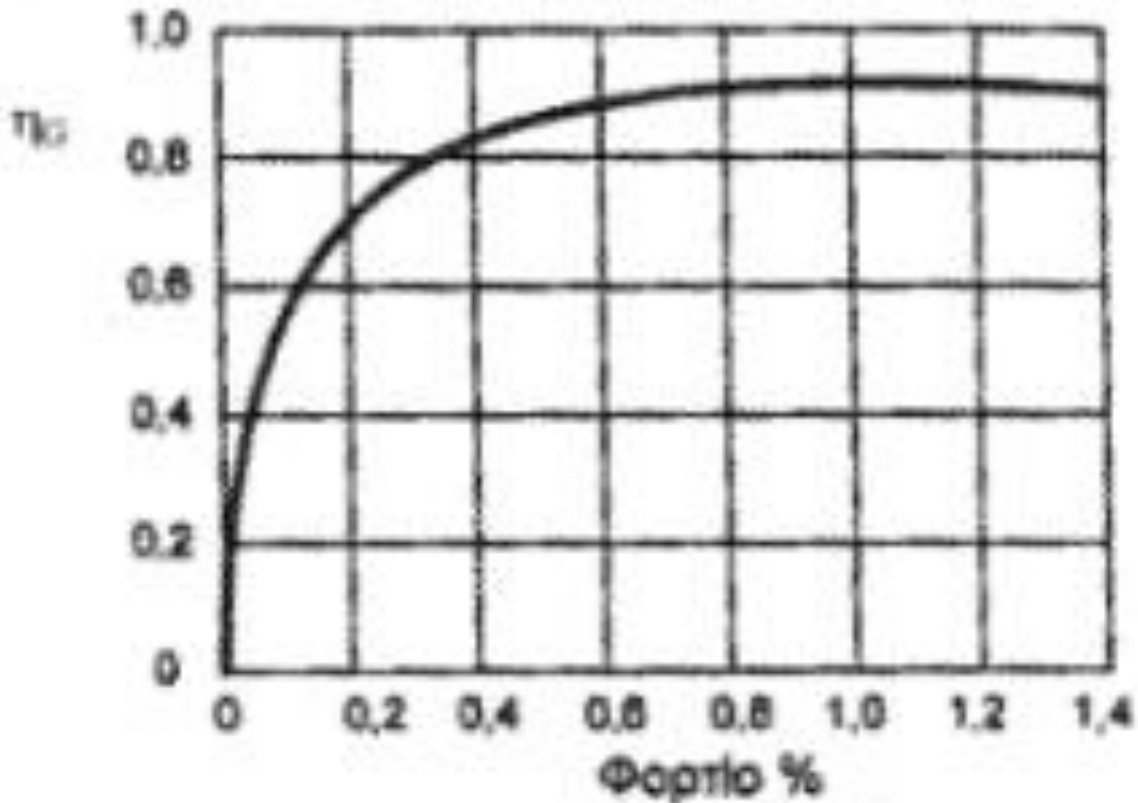
Ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου παίρνει τιμές ανάλογα με το ποσοστό της διερχόμενης παροχής ως προς την ονομαστική παροχή (Q_i / Q_N), και φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Για να επιτύχουμε να εισάγουμε το διάγραμμα στο κώδικα, ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με αυτή που πραγματοποιήθηκε λίγο νωρίτερα για την καμπύλη διάρκειας παροχής. Χωρίζουμε τις καμπύλες του διαγράμματος σε μικρές ευθείες προσδιορίζοντας τις εξισώσεις που τις διέπουν. Ύστερα αναλόγως με την τιμή του κλάσματος $\frac{Q_i}{Q_N}$ ελέγχουμε σε ποια ευθεία βρισκόμαστε και λύνοντας την εξίσωση της ευθείας, υπολογίζεται η τιμή του βαθμού απόδοσης $n_{\text{στρ},i}$.



Σχήμα 7.3 Διάγραμμα βαθμού απόδοσης υδροστροβίλου cross flow που εισάγεται στον κώδικα

Ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρικής γεννήτριας προσδιορίζεται και αυτός με την παραπάνω διαδικασία. Η μόνη διαφορά είναι ότι η τιμή της απόδοσης εδώ εξαρτάται όχι από την εισερχόμενη παροχή νερού αλλά από την εισερχόμενη ισχύ στον άξονα της γεννήτριας:

$$P_{μηχ,i} = Q_i * H_i * g * n_{στρ}$$



Σχήμα 7.4 Διάγραμμα βαθμού απόδοσης ηλεκτρογεννήτριας που εισάγεται στον κώδικα

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγει η γεννήτρια είναι $P_{ηλ,i} = P_{μηχ,i} * n_{γεν,i}$ όπου $n_{γεν,i}$ ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας.

Εφόσον έχουμε την ηλεκτρική ισχύ για την κάθε ποσοστιαία χρονική στιγμή, εύκολα υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Για κάθε χρονικό βήμα (0,1%) παράγονται $E_i = P_{ηλ,i} * \Delta T_i$ kWh. Η υδροηλεκτρική εγκατάσταση θα λειτουργεί συνολικά 3624 ώρες αφού ανάγκη για θέρμανση υπάρχει μόνο τους πέντε από τους δώδεκα μήνες. Συνεπώς ο πιο πάνω τύπος γίνεται:

$$E_i = P_{ηλ,i} * 0,1\% * 3624 \text{ kWh.}$$

Ενώ για να βρεθεί η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του μέσου υδρολογικού έτους αθροίζονται οι ενέργειες όλων των χρονικών βημάτων.

$$E_{\text{συν}} = \sum E_i \text{ kWh}$$

7.3 Υπολογισμός κόστους και εξόδων

Γενικά η διαμόρφωση του συνολικού κόστους της ΥΗΕ εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες του έργου και τις συνθήκες της περιοχής. Το συνολικό κόστος διακρίνεται στο κόστος κατασκευής και το λειτουργικό κόστος.

Το κόστος κατασκευής διακρίνεται σε τρεις μεγάλες ενότητες:

- το κόστος των έργων του πολιτικού μηχανικού
- το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
- το κόστος μελετών, επίβλεψης και αδειοδοτήσεων

Ως λειτουργικά κόστη θεωρούνται οι αμοιβές προσωπικού, τα διοικητικά έξοδα της επιχείρησης, οι φόροι, η ασφάλιση του εξοπλισμού, δικαιώματα χρήσης νερού (αν υπάρχουν) και τα έξοδα συντήρησης.

Στη περίπτωση μας όπου η εγκατάσταση θα είναι ένα πολύ μικρό υδροηλεκτρικό, δεν απαιτούνται μεγάλα και ακριβά έργα πολιτικού μηχανικού και οι μελέτες που χρειάζονται είναι το θέμα της παρούσας εργασίας. Συνεπώς το κόστος κατασκευής αφορά ουσιαστικά μόνο τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Όσον αφορά το λειτουργικό κόστος, αυτό θα είναι μόνο τα έξοδα συντήρησης.

Είναι αλήθεια πως το κόστος κάθε έργου αλλάζει για κάθε διαφορετική θέση ενδιαφέροντος και από το πλήθος των μονάδων που έχουν εγκατασταθεί, έχουν δημιουργηθεί κάποια γενικά συμπεράσματα και συνεπώς και κάποιοι προσεγγιστικοί τύποι εύρεσης του κόστους.

Αυτοί οι τύποι χρησιμοποιήθηκαν στον κώδικα ώστε να υπολογιστεί το κόστος του κάθε συνδυασμού διαμέτρου αγωγού – ονομαστικής παροχής προκειμένου να προκύψει η πιο συμφέρουσα επιλογή.

- Προσεγγιστικός υπολογισμός κόστους Η/Μ εξοπλισμού:

$$C_{EM,i} = 20570 * \frac{P_{N,i}^{0.7}}{H_{N,i}^{0.35}} \text{ €}$$

- Προσεγγιστικός υπολογισμός κόστους υδροληψίας:

$$C_i = 9236 * Q_{N,i}^{0.72} \text{ €}$$

- Κόστος κτηρίου ΥΗΣ:

$$C = aQ^n$$

- Το κόστος του αγωγού προσαγωγής λαμβάνεται από τον τιμοκατάλογο

Αθροίζοντας τα επιμέρους κόστη προκύπτει το συνολικό κόστος της υδροηλεκτρικής μονάδας.

7.4 Μεθοδολογία εύρεσης βέλτιστων τιμών (D-QN) για μέγιστη εξοικονόμηση

Είναι αλήθεια πως βλέποντας την καμπύλη διάρκειας παροχής και για την συγκεκριμένη υψομετρική διαφορά που διαθέτει η θέση ενδιαφέροντος, το ΥΗΕ με οποιαδήποτε διαστασιολόγηση του εξοπλισμού δεν θα κατάφερνε από μόνο του να υπερβεί ή έστω να ικανοποιεί πλήρως της θερμικές ανάγκες καθ' όλη τη διάρκεια του μέσου υδρολογικού έτους. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη ενίσχυσης για την θέρμανση του μουσείου από το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ.

Μέχρι στιγμής έχουν υπολογιστεί η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και το κόστος του έργου για κάθε υποψήφιο συνδυασμό διαμέτρου αγωγού – ονομαστικής παροχής υδροστροβίλου. Το τελευταίο κομμάτι του κώδικα αφορά την εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού D – QN ώστε να προκύψει η διαστασιολόγηση του ΥΗΕ. Βέλτιστος συνδυασμός θα είναι εκείνος ο οποίος θα προσφέρει την μέγιστη εξοικονόμηση χρημάτων για το μουσείο.

Αρχικά υπολογίζονται μέσω του τιμολογίου της ΔΕΗ τα έξοδα σε παρούσα αξία που θα έχει το λαογραφικό μουσείο για 20 χρόνια αν δεν υπάρξει ΥΗΕ και οι αντιστάσεις για την θέρμανση τροφοδοτούνται αποκλειστικά από την ΔΕΗ. Στην περίπτωση όπου υπάρχει η υδροηλεκτρική μονάδα, τα συνολικά έξοδα υπολογίζονται αν στο κόστος που βρέθηκε πριν, προσθέσουμε τα έξοδα της ενίσχυσης από το ηλεκτρικό δίκτυο. Το χρηματικό ποσό που απαιτείται για την ενίσχυση στη θέρμανση προσδιορίζεται από την ενέργεια που αγοράζεται για τον κάθε συνδυασμό D – QN. Θα πρέπει να επισημανθεί πως οι κιλοβατώρες που θα αγοραστούν δεν προκύπτουν από μία απλή αφαίρεση, δηλαδή της ενέργειας όλου του έτους που χρειάζεται ο χώρος να θερμανθεί με την ενέργεια που παράγει η μονάδα. Αυτό συμβαίνει για τον απλούστατο λόγο ότι κάποιο μέγεθος του εξοπλισμού που είναι ικανό να παρέχει της κιλοβατώρες συνολικά που χρειάζεται το μουσείο μπορεί την μισή περίοδο να παράγει την διπλάσια ισχύ από της θερμικές απώλειες και την άλλη μισή περίοδο να μην λειτουργεί καθόλου. Είναι φανερό ότι κατ' αυτό τον τρόπο, χοντρικά τους δύο μήνες στο χώρο του μουσείου θα υπάρχει πολύ υψηλή θερμοκρασία ενώ τον υπόλοιπο καιρό δεν θα υπάρχει θέρμανση.

Για τον λόγο αυτόν, ο κώδικας ελέγχει τότε η ισχύς της γεννήτριας ξεπερνά σε μέγεθος τις θερμικές απώλειες και δεν αφήνει την παραπλήσια ισχύ να συμμετέχει στην θέρμανση. Από την άλλη όταν η ισχύς του ΥΗΕ είναι μικρότερη από την θερμική ανάγκη τότε σημειώνεται η ενίσχυση από το δίκτυο ως η διαφορά των θερμικών απωλειών με την παραγόμενη ισχύ της μονάδας. Για να προκύψει η προσφερόμενη ενέργεια πολλαπλασιάζουμε την ισχύ από τη ΔΕΗ με το χρονικό βήμα που είναι σε ώρες $0,1\% \cdot 3624$.

Σαρώνοντας την καμπύλη διάρκειας παροχής βρίσκουμε την ενέργεια που χρειαζόμαστε σε κάθε χρονικό βήμα. Η συνολική προσφερόμενη ενέργεια από τη ΔΕΗ υπολογίζεται αφού αθροιστούν οι ενέργειες όλων των χρονικών βημάτων.

Το χρηματικό ποσό σε παρούσα αξία που θα δαπανηθεί για την αγορά της ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο για 20 χρόνια, θα προκύψει και αυτό από το τιμολόγιο της ΔΕΗ. Στο σημείο αυτό είναι προφανές πως το βέλτιστο μέγεθος αγωγού και παροχής είναι αυτό από το οποίο θα προκύψουν τα λιγότερα συνολικά έξοδα (κόστος ΥΗΕ και αγορά ηλεκτρικού ρεύματος). Αν τα συνολικά έξοδα όλων των συνδυασμών D – QN ξεπερνούν τα έξοδα της περίπτωσης μη ύπαρξης ΥΗΕ τότε συμφέρει η προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία των αντιστάσεων αποκλειστικά από τη ΔΕΗ χωρίς να προχωρήσει η κατασκευή της υδροηλεκτρικής μονάδας.

7.5 Υπόλοιπα υπολογιζόμενα μεγέθη

Εκτός των άλλων, ο κώδικας υπολογίζει για κάθε τιμή D-QN και άλλα μεγέθη τα οποία είναι σημαντικά για τη λειτουργία του ΥΗΕ. Ένα από αυτά τα μεγέθη είναι ο συντελεστής φορτίου ο οποίος εκφράζει τον βαθμό αξιοποίησης της εγκατάστασης αφού ισούται με τον λόγο της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας προς την ενέργεια που θα παρήγαγε το έργο αν λειτουργούσε με την ονομαστική του ισχύ.

$$CF = E_{\text{συν}}/EN$$

Η περίοδος λειτουργίας του έργου προκύπτει πολύ εύκολα μετρώντας τις φορές i στον υπολογιστικό κώδικα όταν $Q_{\text{ποταμού}} > Q_{\text{min}}$, ύστερα πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των φορών με τον αριθμό $0,1\% * 3624$ μετατρέπουμε το i σε ώρες και διαιρώντας το σύνολο αυτό με το 24 προκύπτουν οι μέρες.

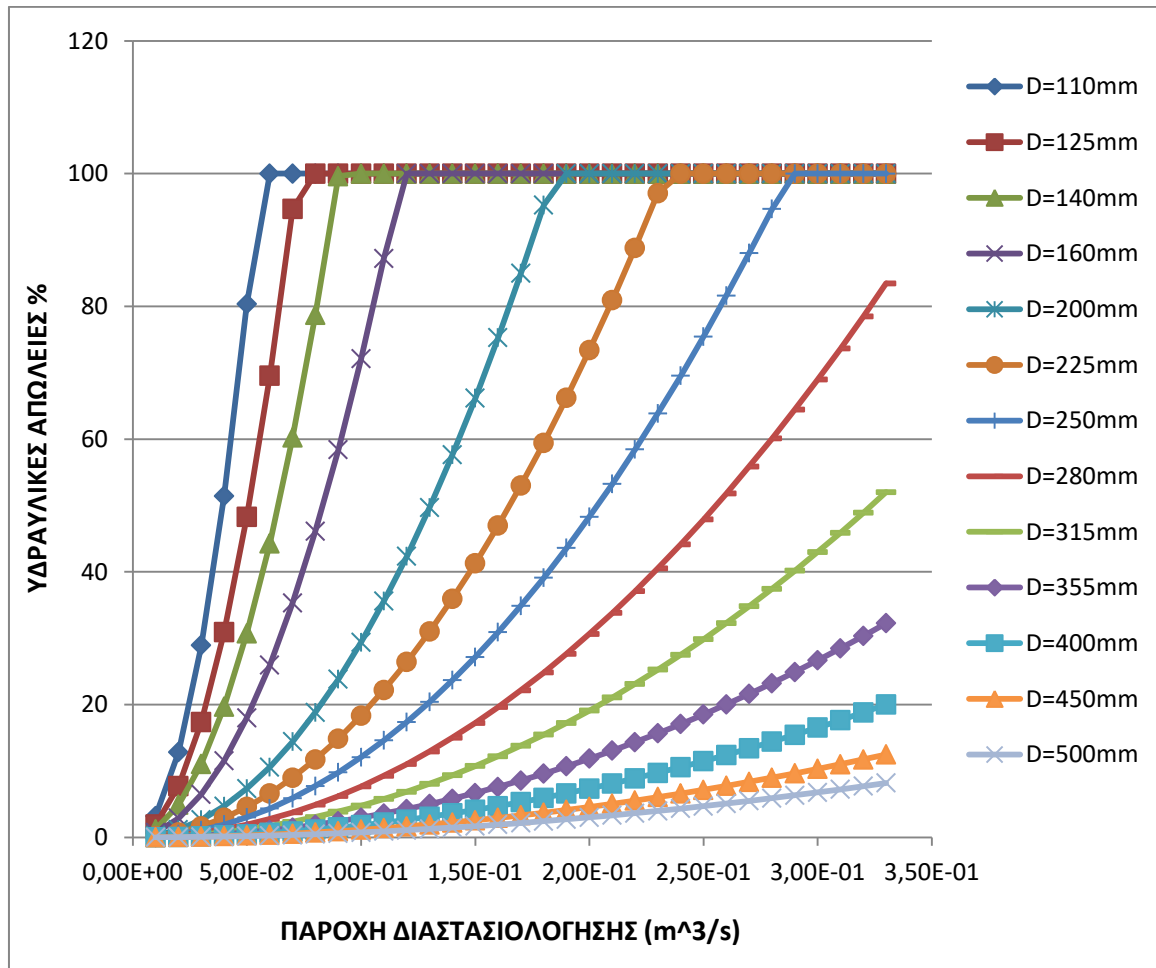
Τέλος, ο βαθμός αξιοποίησης του όγκου του νερού δίνει μια ιδέα για το πόσο καλά το ΥΗΕ εκμεταλλεύεται την απορροή του ποταμού. Ο εκμεταλλεύσιμος όγκος νερού είναι η διαφορά του εμβαδού της καμπύλης διάρκειας παροχής με το άθροισμα των παροχών που εισήλθαν στον υδροστρόβιλο πολλαπλασιασμένες με το χρονικό βήμα. Ο τύπος που δίνει αυτόν τον βαθμό αξιοποίησης είναι:

$$B. A. = \frac{E\mu\beta_{\kappa\delta\pi} - \sum(Q_i * 0,1\% * 3624)}{E\mu\beta_{\kappa\delta\pi}}$$

7.6 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων - Διαγράμματα

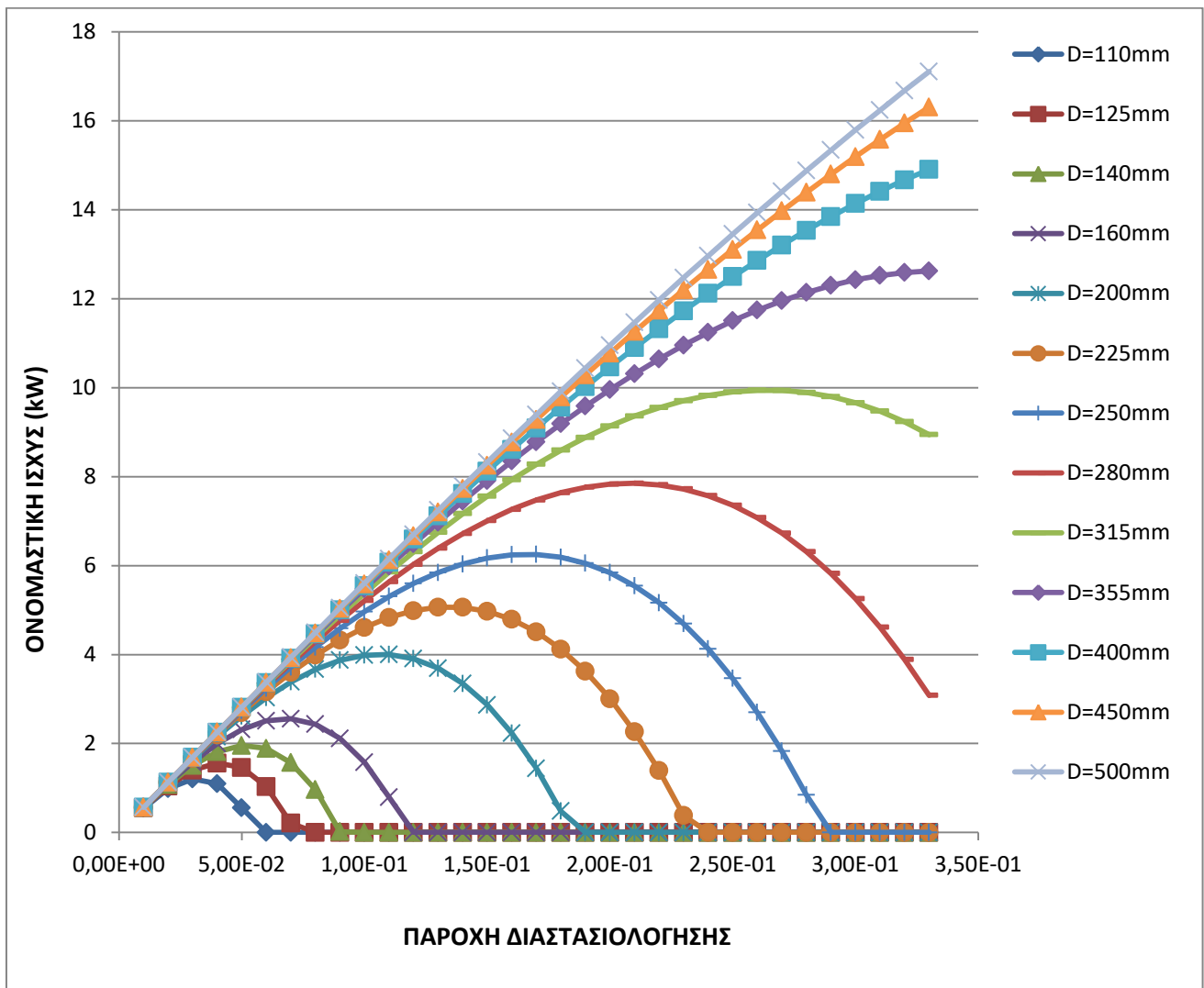
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα τα οποία χαράχτηκαν βάση των αρχείων που δημιουργήθηκαν ως αποτελέσματα του υπολογιστικού κώδικα.

Διάγραμμα 7.5



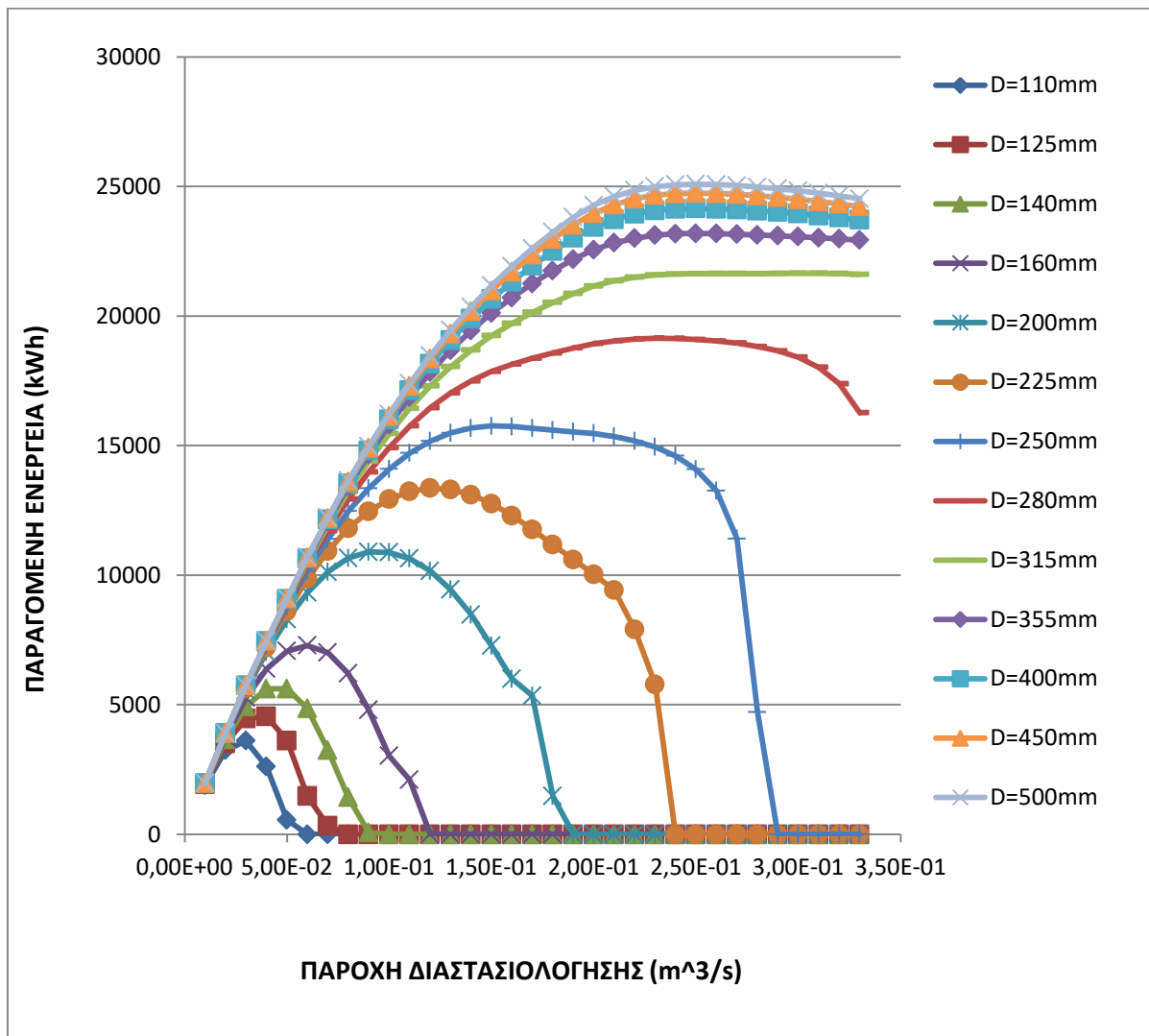
Στο πρώτο διάγραμμα της παραγράφου έχουμε το ποσοστό των υδραυλικών απωλειών στον αγωγό προσαγωγής ως προς την συνολική υψομετρική διαφορά συναρτήσει της ονομαστικής παροχής και της διαμέτρου του σωλήνα. Παρατηρείται όπως αναμενόταν, πως όσο μεγαλώνει η διάμετρος του αγωγού, οι απώλειες μειώνονται αισθητά. Στις περιπτώσεις όπου το ποσοστό βρίσκεται στο 100% σημαίνει πως οι υδραυλικές απώλειες έχουν φτάσει ή ακόμα και ξεπεράσει την συνολικό ύψος, συνεπώς εκείνοι οι συνδυασμοί D – QN δεν είναι ικανοί να λειτουργήσουν.

Διάγραμμα 7.6



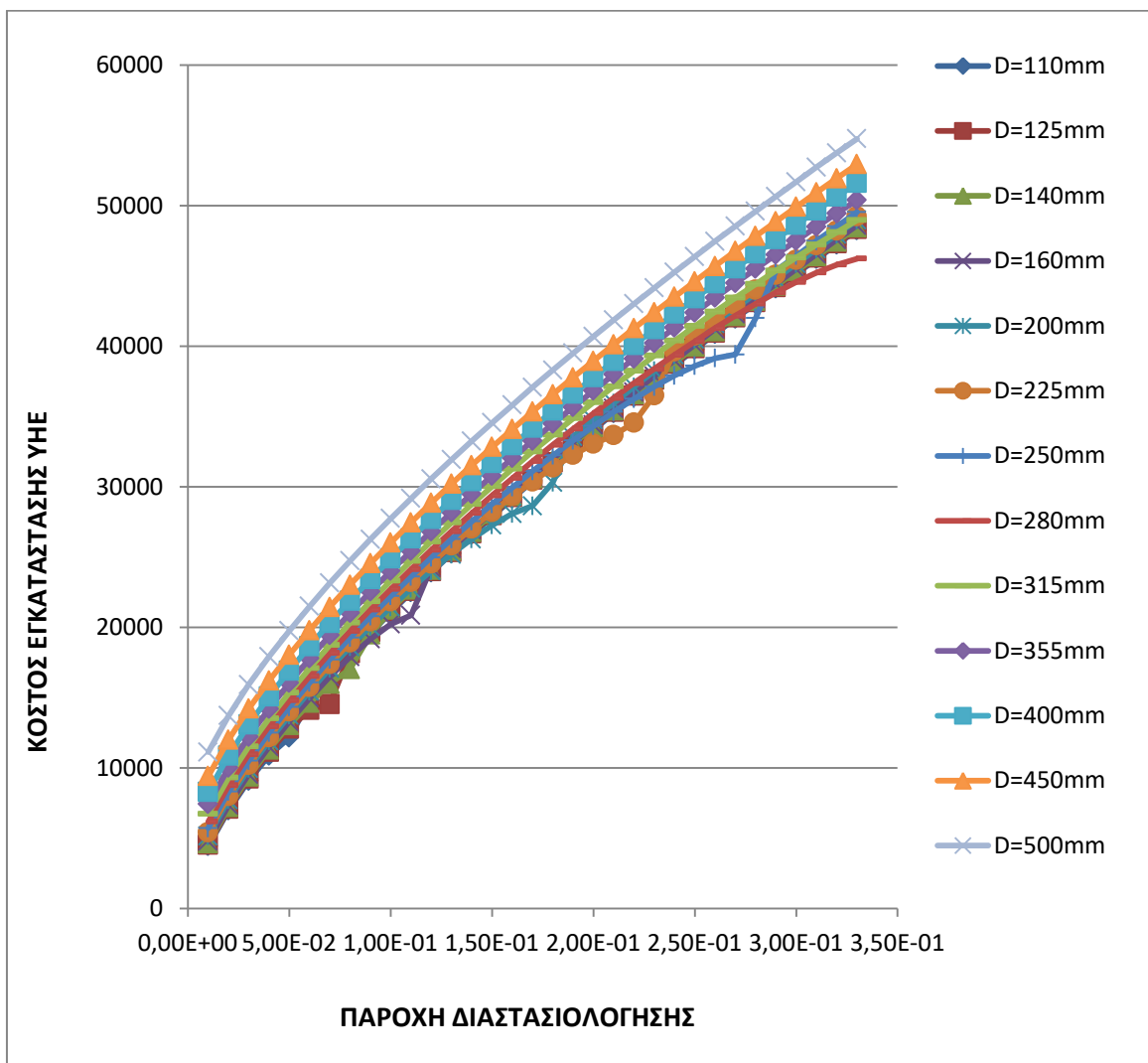
Το διάγραμμα 7.6 απεικονίζει την ονομαστική ισχύ της μονάδας σε σχέση με την παροχή διαστασιολόγησης του υδροστροβίλου και την διάμετρο του αγωγού προσαγωγής. Παρατηρείται πως η τιμή της ισχύος αυξάνεται όσο αυξάνεται η ονομαστική παροχή αλλά και το μέγεθος του αγωγού. Τα σημεία τα οποία ανήκουν στο μηδέν του κατακόρυφου άξονα παράγουν μηδέν kW και είναι οι ίδιοι συνδυασμοί D – QN που έχουν 100% υδραυλικές απώλειες. Η τιμή της παραγόμενης ετήσιας ενέργειας δεν είναι ανάλογη με αυτής της ονομαστικής ισχύος. Ένας συνδυασμός QN – D με μικρή εγκατεστημένη ισχύ είναι δυνατόν να παράγει περισσότερη ενέργεια από έναν άλλον συνδυασμό που θα έχει μεγαλύτερη ισχύ. Το τι ενέργεια μπορεί να παράγει η κάθε εγκατάσταση έχει να κάνει με το πόσο μπορεί να εκμεταλλευτεί τις διαθέσιμες παροχές του υδατορεύματος.

Διάγραμμα 7.7



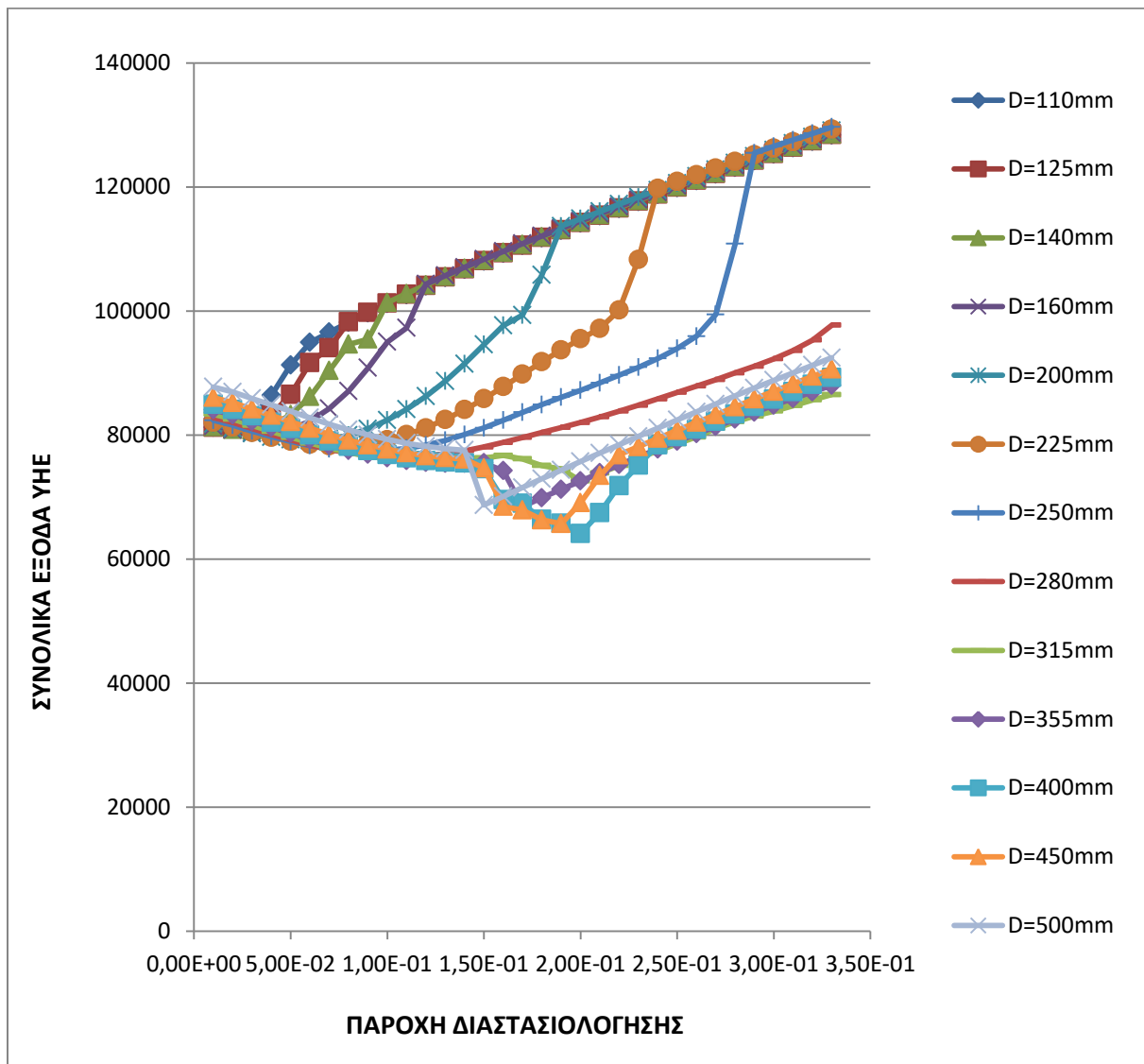
Το διάγραμμα 7.7 αποτυπώνει τις συνολικές ετήσιες παραγόμενες ηλεκτρικές ενέργειες που προέρχονται από κάθε D και QN. Παρατηρείται πως οι συνδυασμοί εκείνοι που δεν παράγουν καθόλου ενέργεια είναι οι ίδιοι που έχουν ποσοστό απωλειών 100% (διάγραμμα 7.5). Εύλογα αποτυπώνεται στο γράφημα πως η ενέργεια για κάθε τιμή της παροχής διαστασιολόγησης αυξάνεται όσο μεγαλώνει η διάμετρος του αγωγού. Μέγιστη συνολική ηλεκτρική ενέργεια προσφέρει ο συνδυασμός $QN=0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ και $D=500 \text{ mm}$ με $E_{\text{ouv}}=25088,1 \text{ kWh}$.

Διάγραμμα 7.8



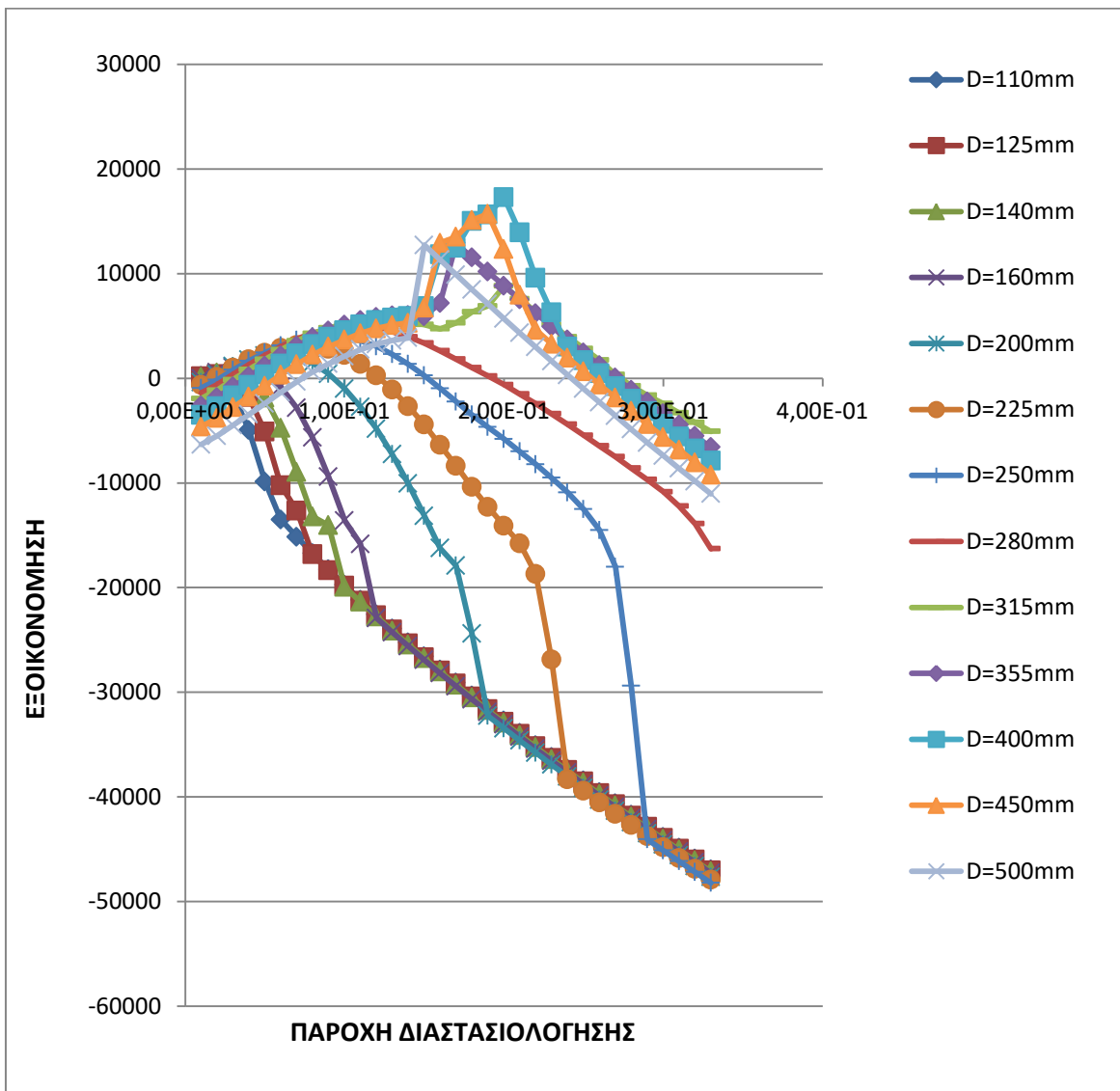
Εδώ φαίνεται ξεκάθαρα ότι όσο μεγαλώνει το μέγεθος του εξοπλισμού της εγκατάστασης (D, QN) μεγαλώνει ανάλογα και το κόστος του ΥΦΕ. Μέγιστο κόστος εγκατάστασης έχουμε για τις μέγιστες τιμές των D, QN ενώ ελάχιστο κόστος για τις μικρότερες τιμές των μεγεθών αυτών.

Διάγραμμα 7.9



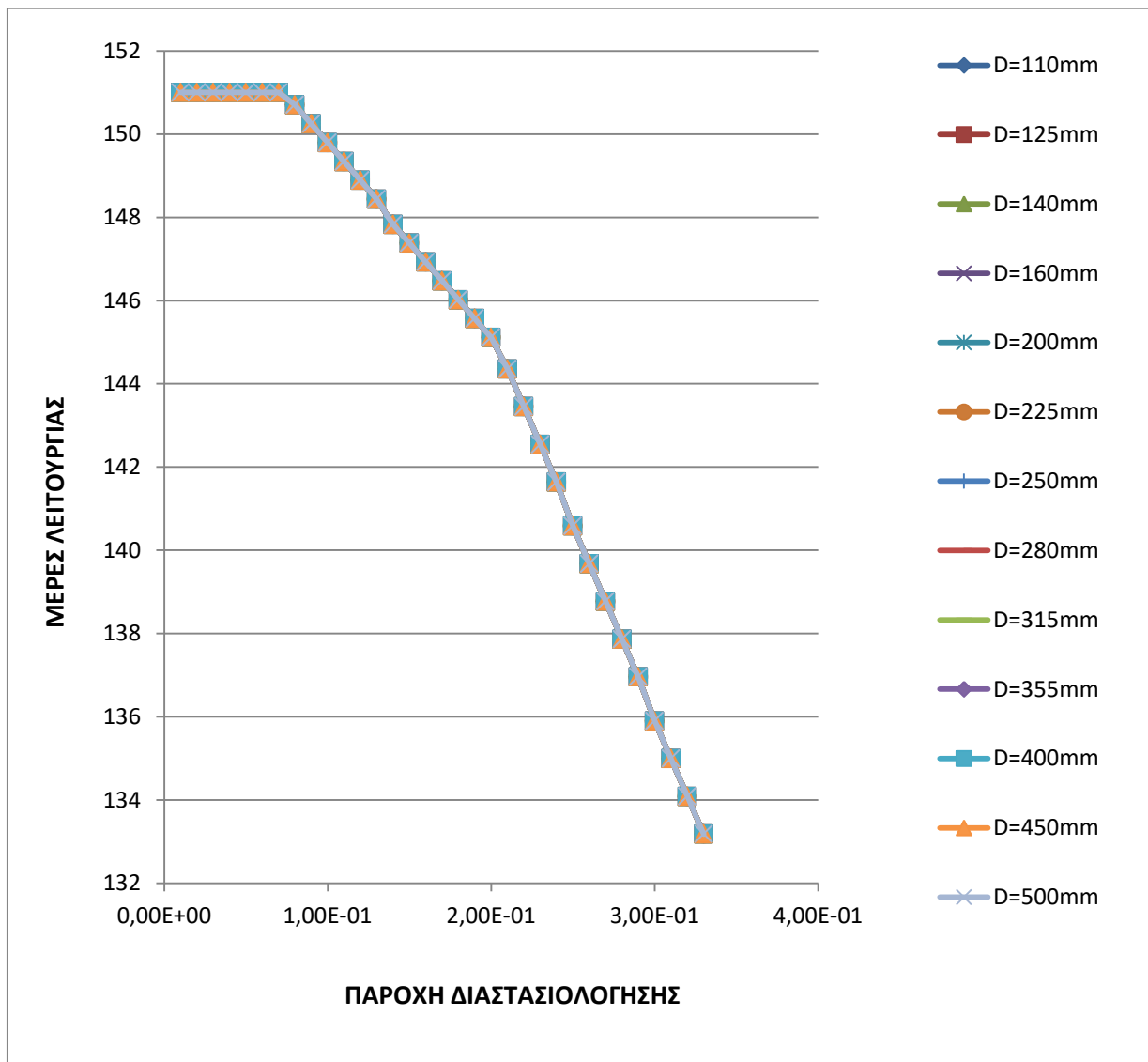
Το διάγραμμα 7.9 απεικονίζει τα συνολικά έξοδα της υδροηλεκτρικής μονάδας σε παρούσα αξία για διάρκεια λειτουργίας τα 20 έτη. Όπως προείπαμε τα συνολικά αυτά έξοδα είναι το άθροισμα του κόστους εγκατάστασης του έργου και τα έξοδα από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ λόγω ενίσχυσης. Σκοπός αυτού του διαγράμματος είναι να αναδείξει τον βέλτιστο συνδυασμό D – QN με τα μικρότερα έξοδα. Διακρίνεται πως ο συνδυασμός που το πετυχαίνει είναι για D=400 mm και QN=0.2 m³/s. Το χρηματικό ποσό του ελάχιστου κόστους ανέρχεται στα 64.123,28 €.

Διάγραμμα 7.10



Το διάγραμμα 7.10 είναι ίσως το πιο σημαντικό διάγραμμα αυτής της εργασίας αφού δεν δείχνει μόνο το βέλτιστο σημείο στο γράφημα αλλά επίσης από εδώ βλέπουμε ποια σημεία οδηγούν σε εξοικονόμηση χρήματος και για ποια η εγκατάσταση του έργου θα είναι ασύμφορη. Για τη δημιουργία αυτού του διαγράμματος, αφαιρέθηκαν τα έξοδα για την ΔΕΗ (χωρίς ΥΗΕ), σε παρούσα αξία για 20 χρόνια, με τα συνολικά έξοδα του ΥΗΕ από το προηγούμενο διάγραμμα. Εδώ φαίνεται πως ο βέλτιστος συνδυασμός D – QN θα εξοικονομήσει 17.311,64 €.

Διάγραμμα 7.11

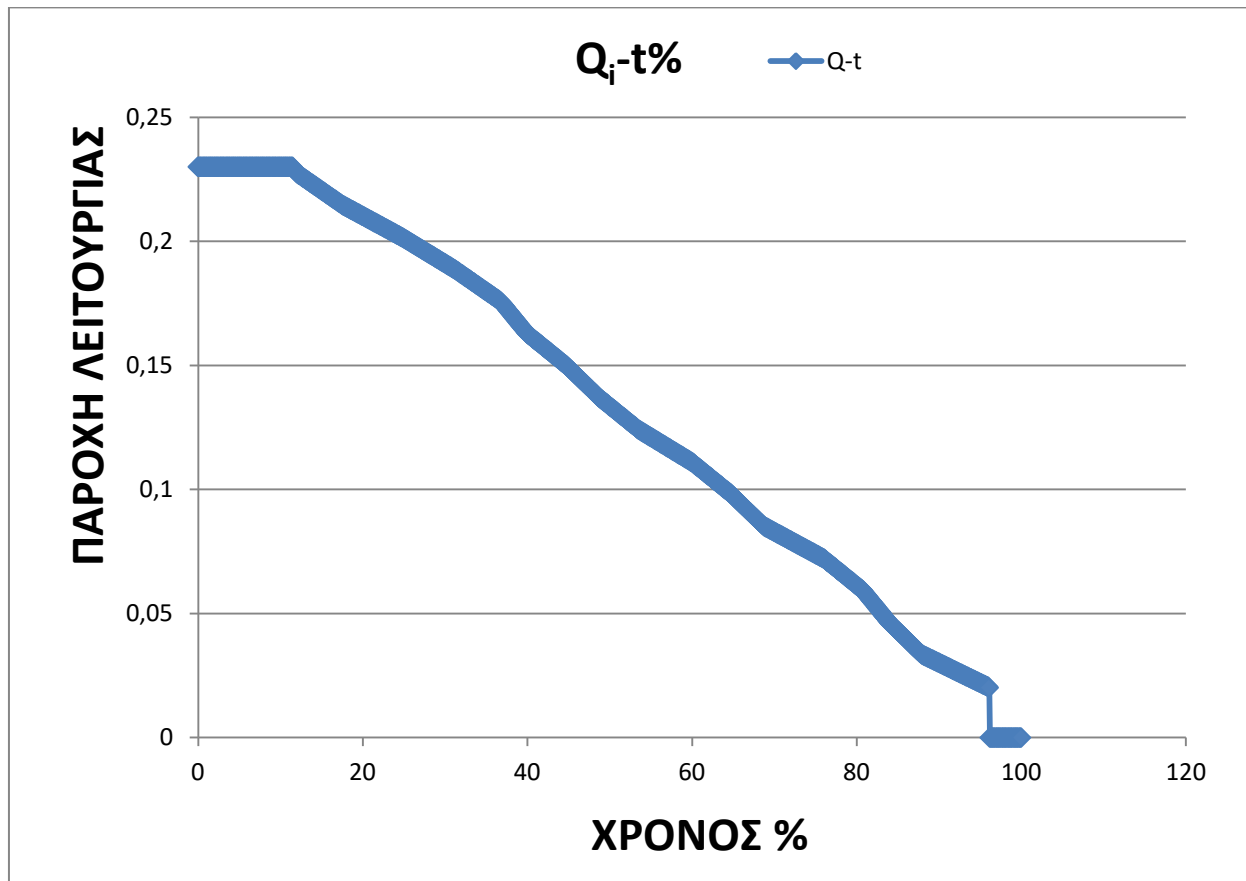


Στο διάγραμμα 7.11 αποτυπώνεται ο αριθμός των ημερών που θα λειτουργεί ο υδροστρόβιλος κατά το μέσο υδρολογικό έτος. Είναι ξεκάθαρο πως το μέγεθος του αγωγού δεν παίζει ρόλο στις μέρες που θα δουλέψει η μονάδα. Σημαντικός παράγοντας είναι η παροχή διαστασιολόγησης του στροβίλου όπου όσο αυξάνεται η τιμή της τόσο μειώνεται και η περίοδος λειτουργίας.

7.7 Χαρακτηριστικά υδροηλεκτρικού έργου

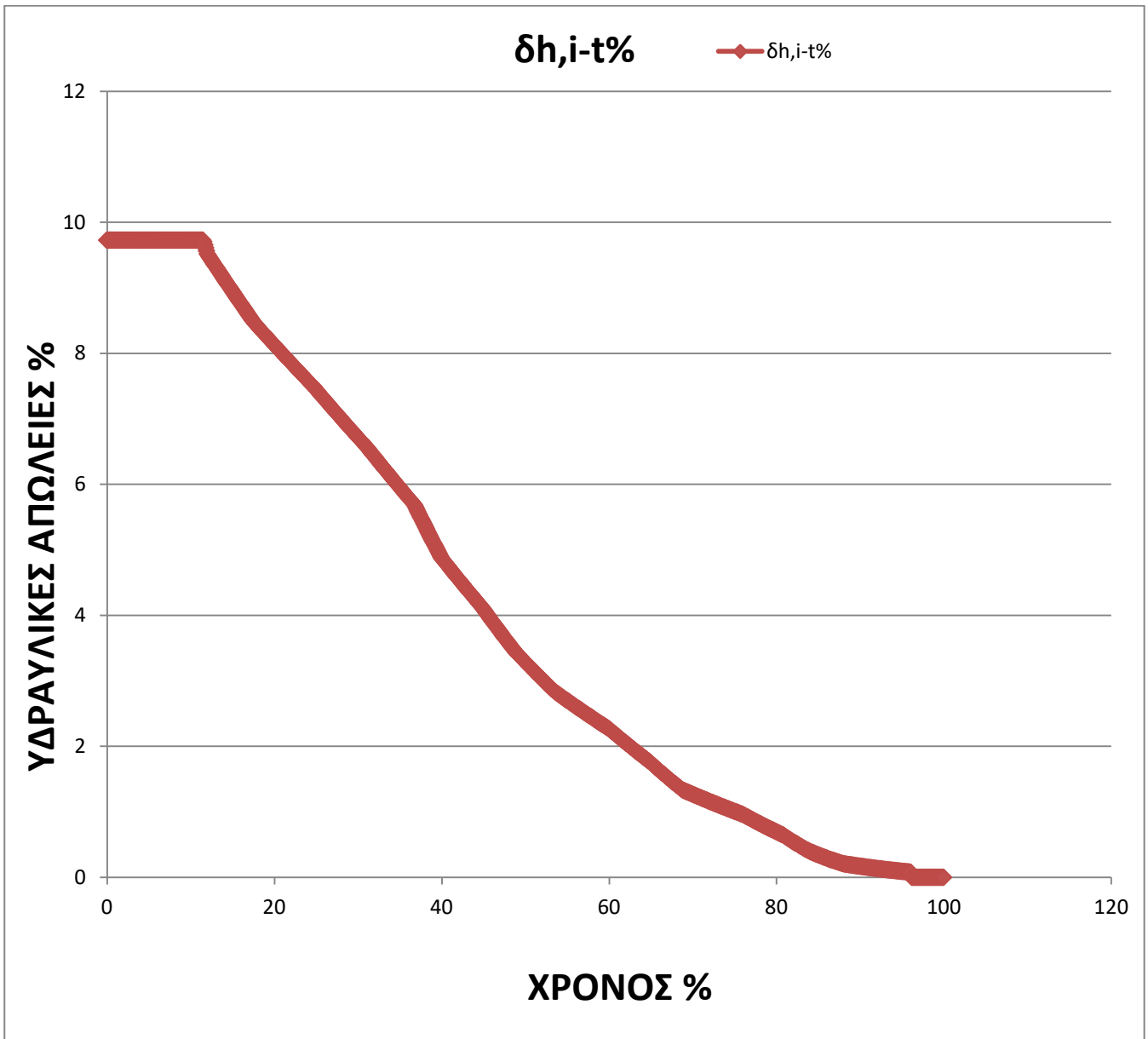
Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα και πίνακας με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που θα διέπουν το ΥΗΕ του λαογραφικού μουσείου. Συνεπώς για ονομαστική παροχή ίση με $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ και διάμετρο αγωγού ίση με 400 mm αποτυπώνονται τα εξής:

Διάγραμμα 7.12



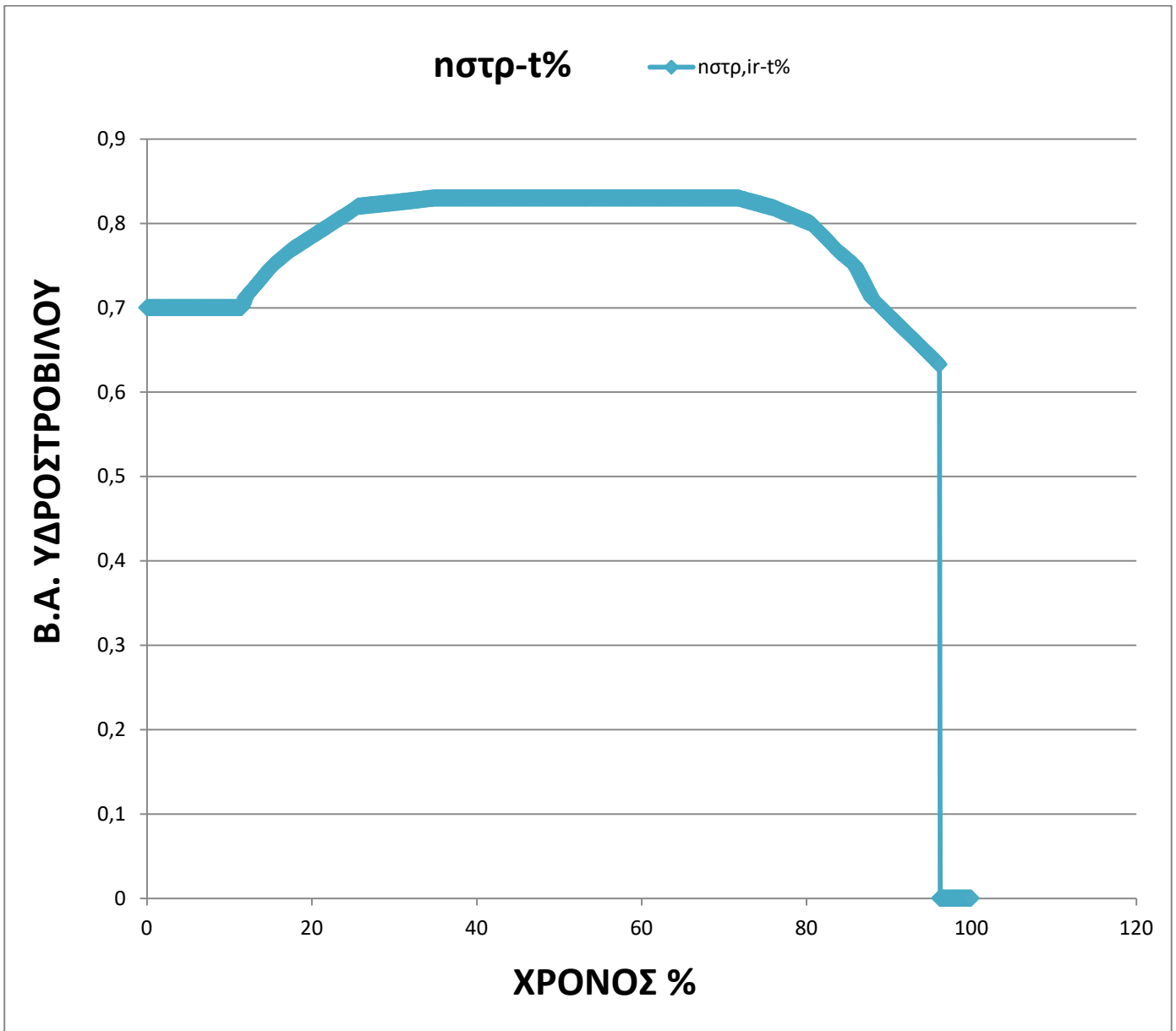
Στο διάγραμμα αυτό αποτυπώνεται η παροχή του νερού που εισέρχεται στον υδροστρόβιλο σε σχέση με το ποσοστό του χρόνου. Η καμπύλη αυτή δεν δείχνει με χρονική σειρά την ποσότητα υγρού που περνάει από την μονάδα. Σκοπός της είναι να απεικονίσει, για το μέσο υδρολογικό έτος, το ποσοστό του χρόνου που θα λειτουργεί με την μέγιστη δυνατή παροχή, το ποσοστό του χρόνου που θα παραμένει κλειστή αλλά και για πόσο η παροχή του υδροστροβίλου θα ισούται με την παροχή του υδαρορεύματος. Φαίνεται ότι με την μέγιστη παροχή, η οποία είναι $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$, θα δουλεύει για το 11,5% του χρόνου, για το 3,8% του χρόνου η μονάδα θα παραμένει κλειστή, ενώ την υπόλοιπη χρονική περίοδο η καμπύλη ταυτίζεται με την καμπύλη διάρκειας παροχής. Το εμβαδόν που περικλείει η καμπύλη του διαγράμματος ισούται με τον όγκο νερού που εκμεταλλεύεται το ΥΗΕ.

Διάγραμμα 7.13



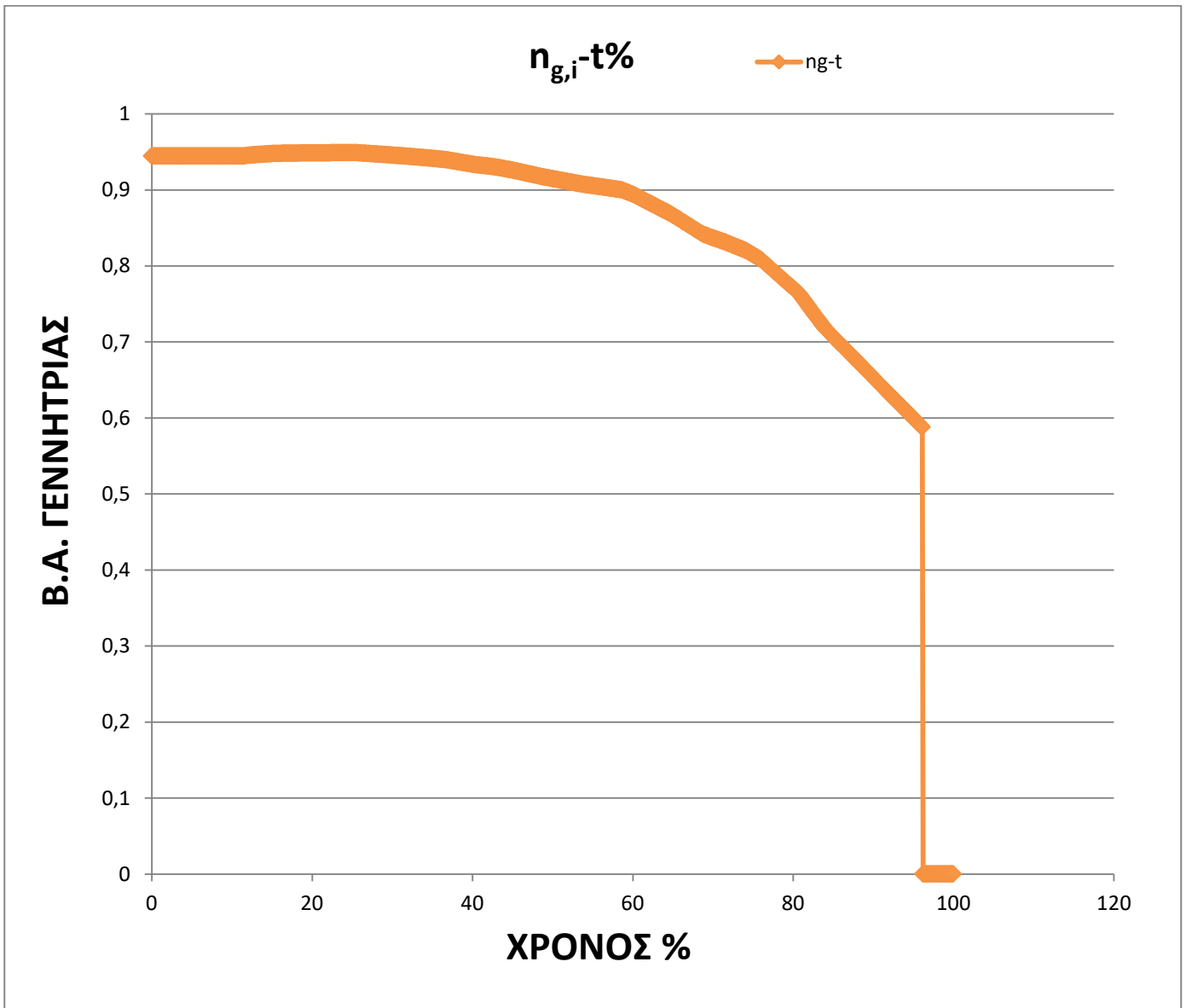
Το διάγραμμα αυτό απεικονίζει το ποσοστό των υδραυλικών απωλειών ως προς το ποσοστό του χρόνου. Με άλλα λόγια, διακρίνονται τα ποσοστά των απωλειών που θα υπάρχουν κατά το μέσο υδρολογικό έτος. Οι απώλειες έχουν άμεση σχέση με την εισερχόμενη στην εγκατάσταση παροχή, με το μέγεθος του αγωγού να έχει προσδιορισθεί ($D=400$ mm). Παρατηρείται πως στην διάρκεια της λειτουργίας με την μέγιστη παροχή οι απώλειες είναι περισσότερες και βρίσκονται στο 9,72% επί της ολικής υψομετρικής διαφοράς. Από την άλλη, όσο η μονάδα παραμένει κλειστή, οι υδραυλικές απώλειες μηδενίζονται, αφού σε αυτή την περίπτωση και η παροχή μέσα στον αγωγό είναι μηδενική.

Διάγραμμα 7.14



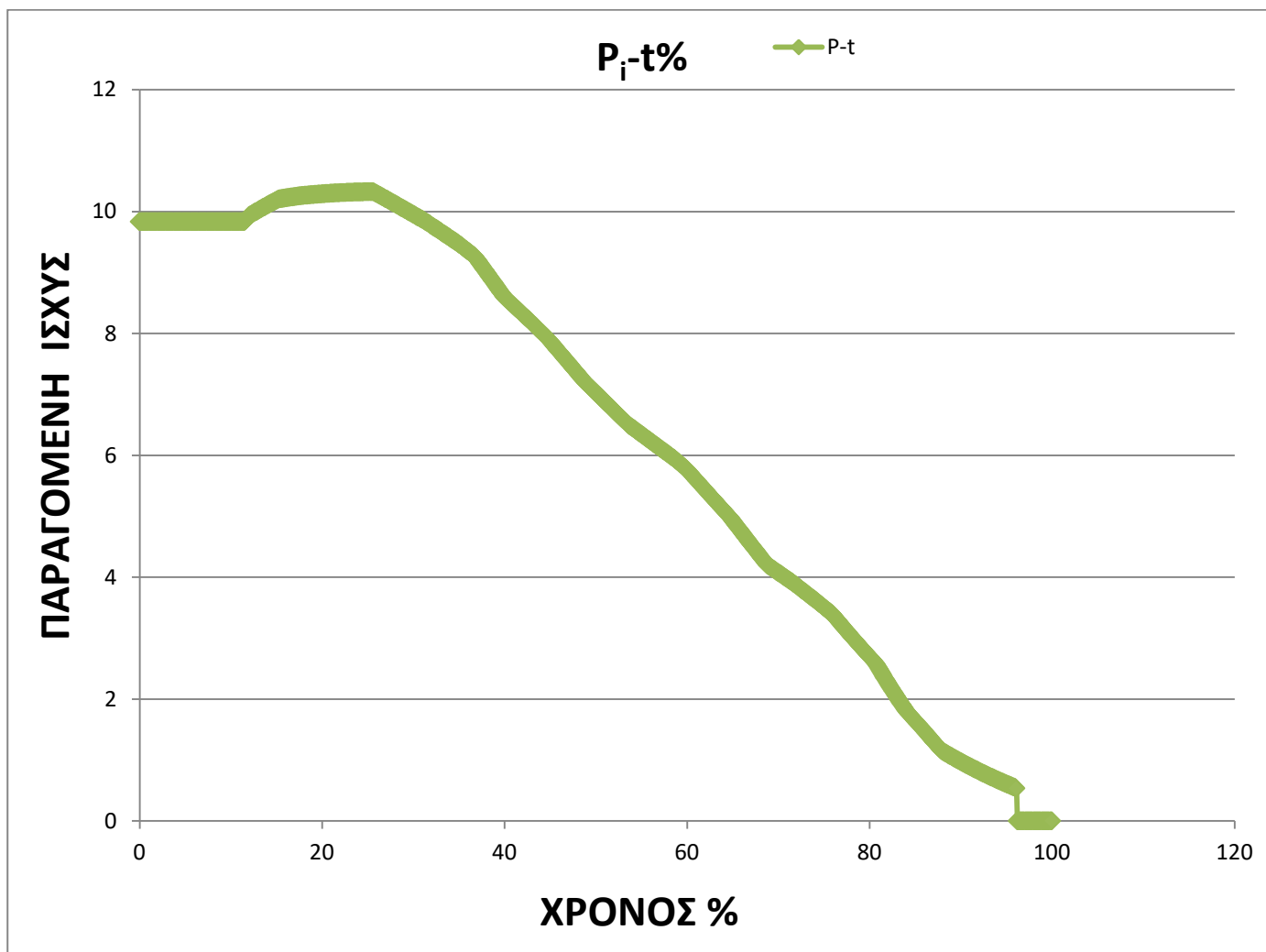
Το διάγραμμα εδώ αποτυπώνει τον ολικό βαθμό απόδοσης του υδροστροβίλου συναρτήσει του χρόνου επί τις εκατό. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στο να προσδιοριστούν οι τιμές της απόδοσης του υδροστροβίλου για το μέσο υδρολογικό έτος. Επίσης διακρίνεται το ποσοστό του χρόνου στο οποίο η μηχανή αποδίδει τα μέγιστα. Σημειώνεται ότι για το 11,5% του χρόνου η απόδοση είναι σταθερή αφού ο υδροστροβίλος δέχεται την μέγιστη τιμή της παροχής. Για το 3,8% του χρόνου η απόδοση της μηχανής είναι μηδενική διότι η μονάδα δεν λειτουργεί. Εύκολα παρατηρείται πως ο υδροστροβίλος έχει μεγάλη απόδοση για όλο το μέσο υδρολογικό έτος. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως είναι πολύ αποδοτικός σε όλο το εύρος της παροχής του. Η μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου έχει θεωρηθεί 83% και σύμφωνα με τον υπολογιστικό κώδικα, η μηχανή θα λειτουργεί με αυτή την τιμή για το 36,6% του χρόνου.

Διάγραμμα 7.15



Στο διάγραμμα 7.15 παρουσιάζεται ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρικής γεννήτριας σε σχέση με το ποσοστό του χρόνου. Η καμπύλη αυτή έχει όμοια λειτουργία με την καμπύλη του προηγούμενου διαγράμματος με την μόνη διαφορά ότι η πρώτη αφορά τον υδροστρόβιλο ενώ η δεύτερη την γεννήτρια του ΥΗΕ. Και εδώ παρατηρείται πως για το 11,5% η απόδοση βρίσκεται σε σταθερή τιμή ενώ κατά τη διάρκεια της μη λειτουργίας του ΥΗΕ η απόδοση μηδενίζεται. Συνδυάζοντας τα δυο αυτά διαγράμματα, είναι δυνατόν να προβούμε στην τιμή του συνολικού βαθμού απόδοσης της μονάδας. Στο σημείο αυτό, καλό θα είναι να υπενθυμιστεί πως τα διαγράμματα από τα οποία προήλθαν οι τιμές για τις αποδόσεις των μηχανών είναι μεν ενδεικτικές, αφού οι ακριβείς τιμές απόδοσης αλλάζουν ανάλογα την κατασκευάστρια εταιρία, όμως πολύ κοντά στην πραγματικότητα μιας και δεν υπάρχουν τεράστιες διαφορές στις αποδόσεις των μηχανών.

Διάγραμμα 7.16



Στο τελευταίο διάγραμμα της ενότητας αυτής αποτυπώνεται η καμπύλη της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος από την υδροηλεκτρική μονάδα για κάθε ποσοστιαίο χρονικό βήμα. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να προσδιοριστεί το ποσοστό του χρόνου, όπου το ΥΗΕ είναι ικανό να θερμάνει τους εσωτερικούς χώρους του μουσείου από μόνο του. Το γεγονός αυτό θα συμβαίνει για το 16,7% της διάρκειας του μέσου υδρολογικού έτους. Κατά την υπόλοιπη περίοδο, η θέρμανση θα ενισχύεται από την ΔΕΗ, ενώ για το 3,8% του χρόνου οι αντιστάσεις θα τροφοδοτούνται αποκλειστικά από το δημόσιο δίκτυο, αφού το ΥΗΕ θα βρίσκεται εκτός λειτουργίας λόγω μικρής παροχής του υδατορεύματος. Το 11,5% του χρόνου, μπορεί η μονάδα να λειτουργεί με την μέγιστη παροχή όμως δεν παράγει την μέγιστη ισχύ. Στο γεγονός αυτό συμβάλλουν οι αυξημένες υδραυλικές απώλειες λόγω μέγιστης παροχής, συνεπώς αυξημένης ταχύτητας μέσα στον αγωγό προσαγωγής, και στο ότι οι μηχανές δεν παρουσιάζουν μεγάλη τιμή της απόδοσης σε φορτία μεγαλύτερα από αυτά της ονομαστικής τους τιμής. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί πως το εμβαδόν που περικλείει η καμπύλη είναι η συνολική ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Παρουσιάζεται ο πίνακας με τα βασικά στοιχεία του υδροηλεκτρικού έργου:

Τύπος Υδροστροβίλου	cross flow
Ονομαστική Παροχή	0,2 m ³ /s
Ονομαστικό Υδραυλικό Ύψος	6,76 mΣΥ
Ποσοστό Απωλειών (επί των ονομαστικών τιμών)	7,8 %
Διάμετρος Αγωγού	400 mm
Ονομαστική Ισχύς	10,22 kW
Ενέργεια	23431,47 kWh
Συντελεστής Φορτίου	58,7 %
Κόστος Εγκατάστασης	37789,96 €
Βαθμός Αξιοποίησης	96,5 %
Διάρκεια Λειτουργίας (Νοέμβριος-Μάρτιος)	145,11 ημέρες

Πίνακας 7.16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

8.1 Βασικά μέρη του εξοπλισμού

Ο τρόπος αξιοποίησης της ενέργειας υδρορροής γίνεται μέσω ενός κλασσικού σχήματος μικρού υδροηλεκτρικού έργου αποτελούμενου από τα εξής κύρια μέρη:

- Υδρομάστευση με εξαμμωτή και σχάρα για την προστασία της μονάδας από τα φερτά υλικά καθώς και υπερχειλιστή για τη διαχείριση της περίσσειας του νερού
- Βάνα εκκένωσης νερού της δεξαμενής φόρτισης
- Αγωγό προσαγωγής μήκους 50 μέτρων
- Έναν υδροστρόβιλο cross flow
- Ηλεκτρική γεννήτρια
- Θερμικές αντιστάσεις
- Ιμάντες για τις μεταδόσεις κίνησης

8.2 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός

Σε αυτή τη παράγραφο θα αναπτυχθεί αναλυτικά η περιγραφή του ηλεκτρικού εξοπλισμού που απαιτείται για τη σωστή λειτουργία του ΥΗΕ. Σκοπός της εγκατάστασης είναι να παράγει το ζητούμενο ηλεκτρικό ρεύμα για την θέρμανση. Τα ηλεκτρολογικά μέρη που απαιτούνται για την επίτευξη αυτού του σκοπού είναι:

- Ασύγχρονη τριφασική ηλεκτρική γεννήτρια
- Οριακοί διακόπτες για την διακοπή λειτουργίας του κινητήρα στις δύο ακραίες θέσεις
- Επιτηρητές στάθμης νερού για τον έλεγχο της στάθμης στη δεξαμενή κατά τη λειτουργία αλλά και για την επανεκκίνηση της μονάδας μετά από διακοπή
- Κινητήρας ο οποίος θα ανοιγοκλείνει το ρυθμιστικό πτερύγιο
- Ηλεκτρικές αντιστάσεις, για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική
- Θερμοστάτες για τον έλεγχο της εσωτερικής θερμοκρασίας
- Μετρητές ηλεκτρικής ισχύος
- Αυτοματισμός με ρελέ για την σωστή λειτουργία του έργου

8.3 Λειτουργία και αυτοματισμός του έργου

Πρώτα από όλα θα πρέπει να αναφέρουμε πως για τις ανάγκες του ΥΗΕ αλλά και λόγω άλλων έργων που θα πραγματοποιηθούν στο χώρο της εκκλησίας, το φράγμα θα υψωθεί κατά 70 cm και συνεπώς αντί του υπερχειλιστή σύνθετης διατομής που υπάρχει στη παρούσα φάση, θα κατασκευαστεί νέος υπερχειλιστής ορθογώνιας διατομής.

Σκοπός του έργου είναι να τροφοδοτούνται οι αντιστάσεις για την θέρμανση του μουσείου με ρεύμα από την ασύγχρονη τριφασική γεννήτρια η οποία θα περιστρέφεται μέσω ιμάντα από την άτρακτο του υδροστροβίλου και θα λαμβάνει διέγερση από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Οι διακυμάνσεις της παροχής του νερού του υδατορεύματος και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κάνουν αδύνατη τη σταθερή λειτουργία του έργου, δηλαδή δεν γίνεται να παράγεται από την μονάδα και να καταναλώνεται από τις αντιστάσεις σταθερή ισχύς καθ' όλη τη διάρκεια του μέσου υδρολογικού έτους. Η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μειώνει την ανάγκη για θέρμανση ενώ μία ελάττωση της παροχής του ποταμού μειώνει την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ.

Συνεπώς γίνεται κατανοητό πως απαιτείται ένας αυτοματισμός για την σωστή διεξαγωγή της λειτουργίας της εγκατάστασης ο οποίος θα σταματάει τη ροή της ισχύος στους χώρους του μουσείου όταν θα έχει επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία αλλά και θα ζητάει ενίσχυση από την ΔΕΗ όταν η παραγόμενη ισχύς του ΥΗΕ δεν είναι αρκετή. Εκτός από αυτά, ο αυτοματισμός αυτός θα ελέγχει την στάθμη του νερού στη δεξαμενή φόρτισης και θα την κρατάει σε ένα ορισμένο εύρος επιθυμητών επιπέδων, θα κλείνει τη μονάδα στις πολύ χαμηλές παροχές του νερού αλλά και θα την επανεκκινεί όταν οι τιμές της παροχής ξεπεράσουν την ελάχιστη παροχή λειτουργίας του υδροστροβίλου.

Δουλειά του αυτοματισμού, ο οποίος θα τροφοδοτείται από το δίκτυο της ΔΕΗ, είναι να αντιλαμβάνεται τις όποιες αλλαγές των συνθηκών και των αναγκών του συστήματος και να καθοδηγεί μέσω σημάτων την εγκατάσταση να αντιδρά αναλόγως. Η λήψη και η μετάδοση των σημάτων αυτών γίνεται μέσω μιας διάταξης από ρελέ.

Ο ηλεκτρονόμος, ρελέ (relay) ή ρελές είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα κάτω από τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το πηνίο του ηλεκτρονόμου, το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο έλκει έναν σπλισμό που είναι μηχανικά συνδεδεμένος σε μια κινούμενη επαφή. Έτσι, η κινούμενη επαφή είτε συνδέεται με μια σταθερή επαφή είτε αποσυνδέεται από τη σταθερή επαφή. Μόλις το ηλεκτρικό ρεύμα στο πηνίο διακοπεί, ο σπλισμός επιστέφει στη θέση ηρεμίας του εξαιτίας μιας δύναμης επαναφοράς, που είναι ίση με το ήμισυ της μαγνητικής. Η δύναμη επαναφοράς παρέχεται συνήθως από ένα ελατήριο, αλλά και η βαρύτητα χρησιμοποιείται συχνά σε βιομηχανικούς εκκινήτες μηχανών. Κάθε επαφή ενός ηλεκτρονόμου μπορεί να είναι Κανονικά-Ανοικτή (Normally Open, NO), Κανονικά-Κλειστή (Normally Closed, NC) ή μεταγωγικός (change-over), ανάλογα με τον τύπο της.

-Μια επαφή Κανονικά-Ανοικτή συνδέει το κύκλωμα όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται· το κύκλωμα αποσυνδέεται όταν ο ηλεκτρονόμος είναι ανενεργός. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης Επαφή Μορφής Α ή επαφή "make". Η επαφή μορφής Α είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν την ενεργοποίηση μιας πηγής υψηλής τάσης από απόσταση.

-Μια επαφή Κανονικά-Κλειστή αποσυνδέει το κύκλωμα όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται· το κύκλωμα συνδέεται όταν ο ηλεκτρονόμος είναι ανενεργός. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης Επαφή Μορφής Β ή επαφή "break". Η επαφή μορφής Β είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν το κύκλωμα να παραμένει κλειστό (ενεργό) μέχρι ο ηλεκτρονόμος να ενεργοποιηθεί.

-Μια επαφή Μεταγωγική μπορεί να ελέγχει δύο κυκλώματα. Ισοδυναμεί με μια επαφή κανονικά-ανοικτή και μια επαφή κανονικά-κλειστή που έχουν ένα κοινό ακροδέκτη. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης Επαφή Μορφής C.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας ενός ΥΗΕ πρέπει να γίνεται έλεγχος της στάθμης του νερού στην θέση της υδροληψίας. Για συγκεκριμένο άνοιγμα των ρυθμιστικού πτερυγίου του υδροστροβίλου, αν η στάθμη του νερού ανεβαίνει τότε πάει να πει πως η παροχή του υδατορεύματος είναι μεγαλύτερη από την παροχή νερού που εισέρχεται στον υδροστρόβιλο ενώ αντίθετα, αν η στάθμη κατεβαίνει τότε συνεπάγεται πως η παροχή του ποταμού ελαττώνεται. Στην πρώτη περίπτωση το ρυθμιστικό πτερύγιο θα πρέπει να ανοίξει έτσι ώστε να αυξηθεί η διερχόμενη παροχή και να βελτιωθεί η αξιοποίηση του υδροδυναμικού. Στη δεύτερη περίπτωση, αν δεν κλείσει το πτερύγιο ώστε να μειωθεί το εμβαδόν του ακροφυσίου, η στάθμη θα συνεχίζει να κατεβαίνει έως ότου κατέβει χαμηλότερα από το ύψος του αγωγού προσαγωγής, ο οποίος είναι χαμηλά στη δεξαμενή φόρτισης. Κατ' αυτό τον τρόπο ο αγωγός προσαγωγής παύει να έχει το ρόλο του κλειστού αγωγού και γίνεται ανοιχτός αγωγός αφού δίνεται χώρο στον ατμοσφαιρικό αέρα να εισέλθει στον σωλήνα. Αυτό σημαίνει πως η πίεση στο κάτω άκρο του αγωγού προσαγωγής δεν θα ισούται με την υδροστατική αλλά θα είναι η ατμοσφαιρική, μειώνοντας έτσι κατά πολύ μεγάλο ποσοστό την παραγόμενη ισχύ του υδροστροβίλου.

Ο έλεγχος για το αν η στάθμη του νερού ανεβαίνει ή κατεβαίνει, πραγματοποιείται από τον επιτηρητή στάθμης, ο οποίος αποτελείται από τρία ηλεκτρόδια και συνεπώς από δύο κυκλώματα το άνω και το κάτω. Ανάλογα με την στάθμη του νερού σαν καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, κλείνει ή ανοίγει κύκλωμα με τα ηλεκτρόδια δίνοντας το κατάλληλο σήμα μέσω της διάταξης των ρελέ στον ηλεκτροκινητήρα να ανοίξει ή να κλείσει το ρυθμιστικό πτερύγιο. Όταν η στάθμη ανέβει τότε κλείνει το άνω κύκλωμα και έτσι δίνεται σήμα να ανοίξει το πτερύγιο. Όταν ανοίξει το πτερύγιο και αυξηθεί η διερχόμενη παροχή στον υδροστρόβιλο και η στάθμη στην δεξαμενή κατέβει πιο κάτω από το άνω ηλεκτρόδιο τότε θα ανοίξει το άνω κύκλωμα το οποίο παύει να στέλνει σήμα στον κινητήρα ο οποίος με τη σειρά του σταματά να λειτουργεί. Αντίστοιχη είναι η λειτουργία του συστήματος όταν η παροχή του υδατορεύματος ελαττωθεί. Η στάθμη του νερού θα πέσει πιο κάτω από το μεσαίο ηλεκτρόδιο ανοίγοντας το κάτω κύκλωμα του επιτηρητή. Το γεγονός αυτό δίνει σήμα στον κινητήρα να περιστραφεί με φορά που κλείνει το ρυθμιστικό πτερύγιο ώστε να μειωθεί η εισερχόμενη παροχή της μονάδας. Όταν η στάθμη κλείσει πάλι το κάτω κύκλωμα, το σήμα παύει να στέλνεται και ο κινητήρας σταματάει. Γίνεται σαφές ότι τα επιθυμητά ύψη της στάθμης βρίσκονται

ανάμεσα στο άνω και το μεσαίο ηλεκτρόδιο, δηλαδή θα πρέπει το άνω κύκλωμα να είναι ανοιχτό και το κάτω κύκλωμα κλειστό για να σηματοδοτείται ότι η παροχή του ποταμού είναι ίση με αυτή του υδροστροβίλου.

Είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η κατάλληλη θέση για το άνω επιθυμητό όριο στάθμης με σκοπό την γρήγορη επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της παροχής του υδατορεύματος και της παροχής λειτουργίας του υδροστροβίλου.

Αν το άνω ηλεκτρόδιο είναι πάνω από την κάτω στέψη του υπερχειλιστή, είναι προφανές ότι το επιθυμητό εύρος στάθμεων είναι σε μεγαλύτερο ύψος από την κάτω πλευρά του υπερχειλιστή, συνεπώς θα υπάρχει ποσοστό της παροχής του νερού που θα διαφεύγει χωρίς να αξιοποιείται από την μονάδα και έτσι η ζητούμενη ισορροπία παροχών δεν θα επιτυγχάνεται αφού η παροχή του υδατορεύματος θα είναι πάντα μεγαλύτερη από την παροχή του νερού που θα περνά από τον υδροστροβίλο.

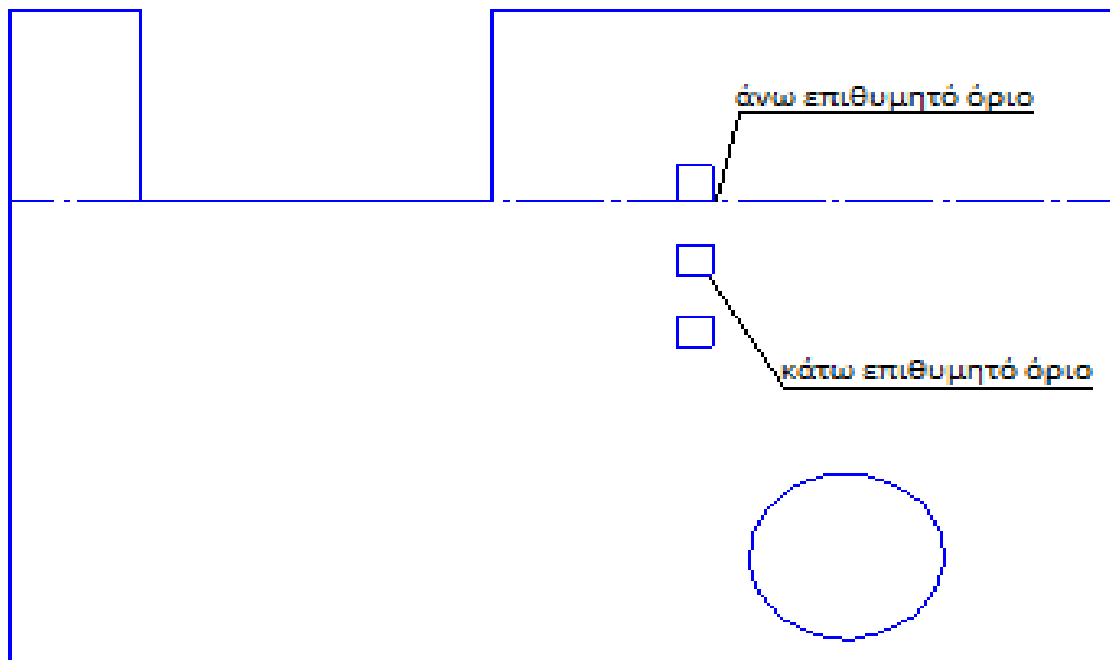
Στη περίπτωση που το άνω ηλεκτρόδιο βρίσκεται κάτω από τον υπερχειλιστή, μπορεί να μην χάνεται αξιοποιήσιμος όγκος νερού όμως το ρυθμιστικό πτερύγιο θα ανοιγοκλείνει συνεχώς. Πιο αναλυτικά, αν υποθέσουμε πως καθώς η μονάδα έχει τέτοιο άνοιγμα του ρυθμιστικού πτερυγίου όπου όλη η παροχή του ποταμού αξιοποιείται και η στάθμη βρίσκεται ανάμεσα στα επιθυμητά όρια, αυξάνεται η παροχή των υδάτων. Τότε η στάθμη του νερού θα ξεπεράσει τον επιτηρητή στάθμης και κλείνοντας το άνω κύκλωμα δίνεται σήμα στο ρυθμιστικό πτερύγιο να ανοίξει. Όσο αυξάνεται το εμβαδόν του ακροφυσίου τόσο αυξάνεται και η διερχόμενη παροχή στον υδροστροβίλο και η στάθμη του νερού στο φράγμα συνεχίζει να ανεβαίνει με ολοένα αργότερο ρυθμό και θα ακινητοποιηθεί μόλις η διερχόμενη παροχή στον υδροστροβίλο ισούται με την παροχή του υδατορεύματος. Όμως παρόλο που για την συγκεκριμένη στιγμή θα υπάρξει ισορροπία παροχών, το πτερύγιο θα συνεχίσει να ανοίγει αφού η στάθμη του νερού έχει ανέβει πιο πάνω και το κύκλωμα που δίνει σήμα στον κινητήρα συνεχίζει να είναι κλειστό. Η συνέχιση του ανοίγματος του πτερυγίου κάνουν τον υδροστροβίλο να ζητάει παραπάνω παροχή από αυτή που διαθέτει το ποτάμι. Ως αποτέλεσμα αυτού, η στάθμη θα χαμηλώνει μέχρις ότου ανοίξει το άνω κύκλωμα του επιτηρητή όπου και το άνοιγμα του πτερυγίου σταματάει. Η στάθμη όμως θα συνεχίζει να κατεβαίνει αφού το άνοιγμα του πτερυγίου είναι μεγαλύτερο από αυτό που πρέπει. Το νερό κατεβαίνει έως ότου ανοίξει το κάτω κύκλωμα του επιτηρητή στάθμης και δίνεται σήμα για κλείσιμο του πτερυγίου. Με παρόμοιο τρόπο όταν ξανά κλείσει το κάτω κύκλωμα το πτερύγιο θα έχει κλείσει περισσότερο από αυτό που πρέπει και η στάθμη του νερού στο φράγμα ξανά ανεβαίνει. Γίνεται κατανοητό πως αυτός ο κύκλος ανοιγοκλεισίμου του πτερυγίου και ανεβοκατεβάσματος της στάθμης θα συνεχίζεται έως ότου η ισορροπία των παροχών επιτευχθεί σε κάποια στιγμή που η στάθμη είναι μέσα στα επιθυμητά όρια.

Αν το άνω ηλεκτρόδιο είναι ακριβώς στο ίδιο ύψος με την κάτω στέψη του υπερχειλιστή τότε το εύρος των στάθμεων κατά την ισορροπία των παροχών ποταμού – υδροστροβίλου είναι κάτω από τον υπερχειλιστή και έτσι αξιοποιείται πλήρως το νερό χωρίς να διαφεύγει κάποια ποσότητα όπως συνέβαινε στην πρώτη περίπτωση. Με την αύξηση της παροχής, η στάθμη θα ανέβει και έτσι θα κλείσει το άνω κύκλωμα δίνοντας σήμα στο πτερύγιο να ανοίξει. Όσο ανοίγει το πτερύγιο η στάθμη

του νερού θα κατεβαίνει και δεν θα ανεβαίνει όπως στην δεύτερη περίπτωση, αφού το νερό δεν θα παραμένει στην δεξαμενή αλλά θα δίνεται διέξοδος και θα διαφεύγει από τον υπερχειλιστή. Όταν το άνοιγμα του πτερυγίου είναι τόσο όσο να διαπερνά ακριβώς η παροχή του ποταμού στη μονάδα, τότε ταυτόχρονα ανοίγει το άνω κύκλωμα σταματώντας την κίνηση του πτερυγίου και σταματά να διαφεύγει η οποιαδήποτε ποσότητα του νερού από τον υπερχειλιστή. Το γεγονός αυτό γίνεται πιο εύκολα κατανοητό με την παράσταση της εξίσωσης των παροχών του νερού, ισχύει λοιπόν:

$$Q_{\text{ποτ}} = Q_{\text{υπερχ}} + Q_{\text{στρβ}} \xrightarrow{Q_{\text{υπερχ}} = CLh(2gh)^{1/2}} C * L * h * (2 * g * h)^{1/2} = Q_{\text{ποτ}} - Q_{\text{στρβ}}$$

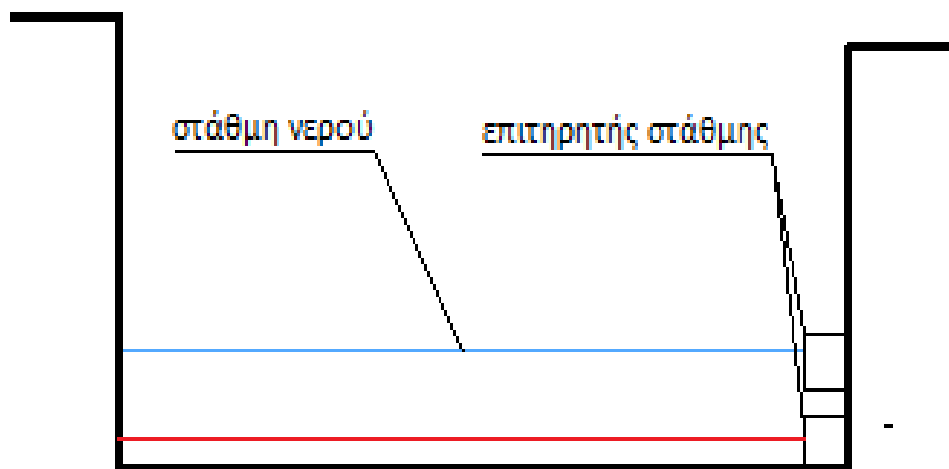
Η παραπάνω εξίσωση μας δείχνει πως όταν η παροχή του στροβίλου γίνει ίση με την παροχή του ποταμού τότε η παροχή στον υπερχειλιστή θα μηδενιστεί και έτσι θα μηδενιστεί και το ύψος του νερού στον υπερχειλιστή. Αφού η κάτω στέψη του υπερχειλιστή βρίσκεται ακριβώς στο ίδιο επίπεδο με το άνω ηλεκτρόδιο του επιτηρητή, ο μηδενισμός του ύψους του νερού στον υπερχειλιστή, σημαίνει αυτόματα το άνοιγμα του άνω κυκλώματος και την διακοπή λειτουργίας του κινητήρα. Από την άλλη, μόλις η στάθμη κατέβει κάτω από το μεσαίο ηλεκτρόδιο, το πτερύγιο θα κλείνει. Η στάθμη θα κατεβαίνει μέχρις ότου οι παροχές του ποταμού και της μονάδας αποκτήσουν την ίδια τιμή. Τη στιγμή εκείνη το κύκλωμα θα παραμένει ανοιχτό οπότε το πτερύγιο θα συνεχίσει να κλείνει μέχρι να φτάσει η στάθμη ανάμεσα στα δύο πάνω ηλεκτρόδια. Όμως τη στιγμή εκείνη η παροχή που θα ζητάει ο υδροστρόβιλος θα είναι μικρότερη από αυτή του υδατορεύματος και έτσι η στάθμη θα ανεβαίνει. Τελικά θα επιτευχθεί η ισορροπία των παροχών μέσω του υπερχειλιστή όπως και στην περίπτωση αύξησης της παροχής.



Εικόνα 8.1 Το άνω ηλεκτρόδιο είναι στο ίδιο ύψος με την κάτω στέψη του υπερχειλιστή

Όπως έχουμε αναφέρει ξανά, όταν η τιμή της παροχής πέσει κάτω από την ελάχιστη επιτρεπόμενη παροχή λειτουργίας η μονάδα δεν δύναται να παράγει ισχύ. Αυτό συμβαίνει διότι από το συγκεκριμένο σημείο και κάτω το νερό δεν μπορεί να υπερνικήσει τις αδράνεις των μηχανών και να περιστρέψει την άτρακτο της γεννήτριας ώστε να παραχθεί ηλεκτρισμός. Το σύστημα του αυτοματισμού του έργου θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται τότε έρχεται αυτή η στιγμή και να δίνει σήμα στην μονάδα να κλείσει. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν μετρητή ισχύος όπου με το που πέσει η παραγόμενη ισχύς της γεννήτριας κάτω από την ισχύ που αντιστοιχεί στην ελάχιστη επιτρεπόμενη παροχή, θα στέλνεται ένα σήμα στον κινητήρα του ρυθμιστικού πτερυγίου και η μονάδα θα κλείνει. Από τα διαγράμματα του 7^{ου} κεφαλαίου φαίνεται ότι στην ελάχιστη παροχή η μονάδα θα παράγει 0,59 kW. Συνεπώς ρυθμίζουμε στον μετρητή ισχύος ότι με το που θα πέσει η παραγόμενη ισχύς κάτω από τα 0,59 kW, η μονάδα θα κλείνει.

Η επαναλειτουργία της μονάδας βασίζεται σε έναν δεύτερο επιτηρητή στάθμης, ο οποίος θα βρίσκεται στον υπερχειλιστή διαχείρισης της περίσσειας του νερού του ποταμού. Τοποθετούμε τα ηλεκτρόδια σε τέτοιο ύψος, το οποίο εξαρτάται από το μήκος του υπερχειλιστή αλλά και από το βάθος του πυθμένα, ώστε η παροχή του νερού που θα καταφέρει να τα φτάσει να είναι ίση με την ελάχιστη παροχή λειτουργίας του υδροστροβίλου. Έτσι θα κλείσει το κύκλωμα και θα δοθεί σήμα μέσω ενός χρονικού διακόπτη (ρελέ) στον κινητήρα να ανοίγει το ρυθμιστικό πτερύγιο για όσο χρονικό διάστημα έχει οριστεί ώστε να εισέλθει το απαιτούμενο νερό στη μονάδα.



Εικόνα 8.2 κόκκινη γραμμή – κλειστή μονάδα, μπλε γραμμή – επανεκκίνηση

Προκειμένου να τερματίζεται η λειτουργία του κινητήρα που κινεί το ρυθμιστικό πτερύγιο όταν αυτό φτάσει στις δύο ακραίες θέσεις του, χρησιμοποιούνται δύο οριακοί διακόπτες. Ο κάτω οριακός διακόπτης χρησιμοποιείται όταν η μονάδα λειτουργεί με την μέγιστη παροχή. Σε αυτήν την περίπτωση το άνω κύκλωμα του επιτηρητή θα είναι κλειστό και θα δίνεται σήμα να ανοίξει κι άλλο το πτερύγιο παρόλο που είναι τελείως ανοιχτό. Για να μην επιτραπεί να περιστρέφεται ο κινητήρας, με το που φτάσει το πτερύγιο στην κάτω θέση, ανοίγει το κύκλωμα του κινητήρα ο κάτω οριακός διακόπτης. Παρόμοιο ρόλο έχει και ο άνω οριακός διακόπτης. Η διαφορά είναι ότι ο άνω

οριακός σταματάει τη λειτουργία του κινητήρα κατά το κλείσιμο της μονάδας όταν το πτερύγιο κλείσει τελείως.

Μεγάλης σημασίας είναι η εκτίμηση των υπερπιέσεων και υποπιέσεων που λαμβάνουν χώρα εξαιτίας του υδραυλικού πλήγματος σε ένα απότομο κλείσιμο ή άνοιγμα του ρυθμιστικού πτερυγίου. Η μέγιστη υπερπίεση αδιαστατοποιείται ως προς την αρχική πίεση λειτουργίας ως εξής:

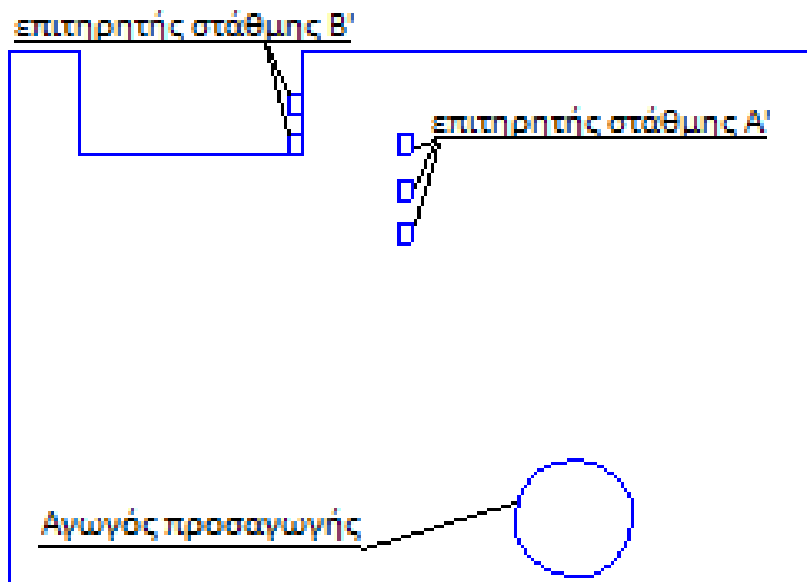
$$\frac{\delta H_M}{H_0} = \frac{E}{2}(E + \sqrt{4 + E^2})$$

Όπου E είναι η τιμή της παραμέτρου η οποία σχετίζεται με το μήκος του αγωγού, την μέγιστη μέση ταχύτητα μέσα στον αγωγό αλλά και με τον χρόνο κλεισίματος του ρυθμιστικού πτερυγίου από το αρχικό άνοιγμα μέχρι την πλήρως κλειστή θέση.

$$E = \frac{1.3 * L * c}{g * H_0 * t_c}$$

Στην περίπτωση μας $H_0 = 7,3$ mΣΥ, $L = 50$ m, $c = 1.92$ m/s

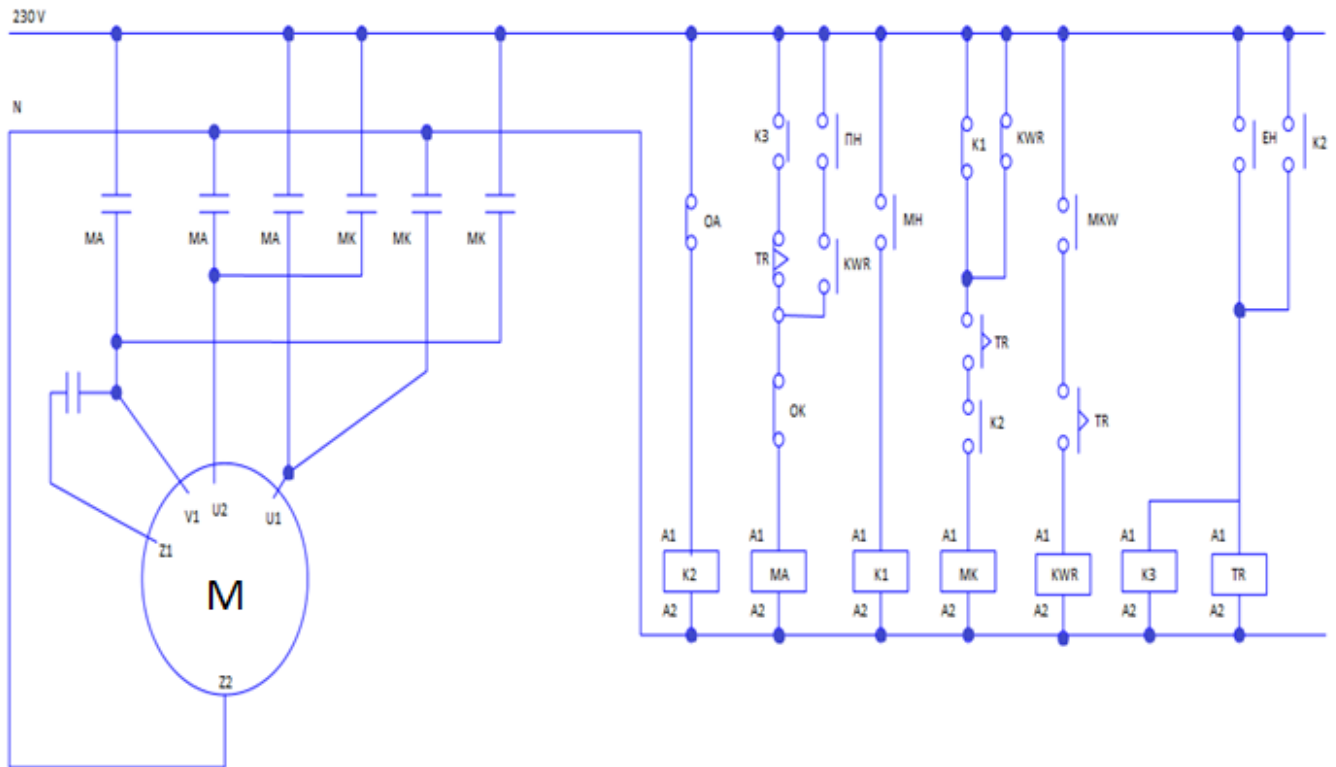
Με διάφορες δοκιμές για το t_c βρίσκουμε ότι το δH_M είναι μικρότερο των 6 atm, που είναι η αντοχή σε πίεση του αγωγού προσαγωγής, για χρόνο διαδρομής του πτερυγίου μεγαλύτερου των 12 s.



Εικόνα 8.3 Φράγμα υδροληψίας και διαχείρισης της περίσσειας του νερού

Το σχήμα 8.3 απεικονίζει τη διάταξη του φράγματος για τις ανάγκες του έργου. Στο κάτω μέρος βρίσκεται ο αγωγός προσαγωγής που θα οδηγεί το υγρό στον υδροστρόβιλο. Στα δεξιά, ο επιτηρητής στάθμης Α' ουσιαστικά ελέγχει την παροχή υδάτων του ποταμού. Στα αριστερά

εικονίζεται ο υπερχειλιστής της εγκατάστασης. Από τον υπερχειλιστή θα περνά νερό όταν η παροχή των επιφανειακών υδάτων θα είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη δυνατή παροχή της μονάδας όταν το ποτάμι θα έχει παροχή μικρότερη από την ελάχιστη δυνατή παροχή αλλά και σε κάθε μεταβολή της παροχής μέχρις ότου η παροχή υδροστροβίλου γίνει ίση με αυτή του ποταμού. Ο επιτηρητής στάθμης Β' είναι εκείνος ο οποίος δίνει το σήμα επαναλειτουργίας του έργου.



Εικόνα 8.4 Ηλεκτρολογικό σχέδιο του αυτοματισμού για τον έλεγχο της στάθμης

Τα σύμβολα στο παραπάνω σχέδιο είναι : MA-> ρελέ ισχύος για να ανοίγει το πτερύγιο, MK-> ρελέ ισχύος για να κλείνει το ρυθμιστικό πτερύγιο, M-> κινητήρας συνεχούς ρεύματος, OA-> άνω οριακός διακόπτης, OK-> κάτω οριακός διακόπτης, K1,K2 και K3-> βοηθητικά ρελέ, TR-> χρονικός διακόπτης, ΠΗ-> πάνω κύκλωμα επιτηρητή, ΜΗ-> κάτω κύκλωμα επιτηρητή, ΕΗ-> επιτηρητής επανεκκίνησης, ΚWR-> βοηθητικό ρελέ του μετρητή ισχύος, ΜΚW-> μετρητής ισχύος, Α1 και Α2-> ακροδέκτες του πηνίου του ρελέ.

Το ρεύμα που παράγει η ηλεκτρική γεννήτρια καταναλώνεται από τις αντιστάσεις αυξάνοντας την θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων. Τις μέρες λοιπόν με μεγάλη παροχή νερού και αυξημένη θερμοκρασία, αν συνεχίσουν οι αντιστάσεις να διαπερνούνται από ρεύμα τότε η εσωτερική θερμοκρασία θα φτάσει σε πολύ υψηλές τιμές. Για το λόγο αυτό, θα τοποθετηθεί σε κάθε δωμάτιο από ένας θερμοστάτης ο οποίος θα ελέγχει την εσωτερική θερμοκρασία και όταν αυτή φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο, ο θερμοστάτης μέσω ενός ρελέ θα αλλάζει την ροή του ρεύματος, στέλνοντάς

το σε εξωτερική αντίσταση ίδιων Ohm με αυτά της εσωτερικής αντίστασης. Αν δεν υπήρχε η εξωτερική αντίσταση τότε το ρεύμα θα μοιραζόταν στις αντιστάσεις των δύο άλλων χώρων οι οποίες θα αστοχήσουν αν η ένταση που τις διαπερνούσε ήταν μεγαλύτερη από αυτή που αντέχουν. Επίσης είναι απαραίτητο να υπάρχουν τρεις εξωτερικές αντιστάσεις, μία για κάθε χώρο και η κάθε μία θα πρέπει να είναι ακριβώς ίδια με την αντίστοιχη αντίσταση του εσωτερικού χώρου. Αν αντί για τρεις διαφορετικές αντιστάσεις τοποθετηθεί μία ισοδύναμη εξωτερική αντίσταση, τότε στο άνοιγμα του θερμοστάτη ενός δωματίου το απορριπτόμενο ρεύμα δεν θα διαπερνούσε εξολοκλήρου την ισοδύναμη αντίσταση αλλά θα μοιραζόταν στην ισοδύναμη εξωτερική αντίσταση και στις αντιστάσεις των δύο άλλων χώρων και έτσι ίσως πάλι περάσει τις εσωτερικές αντιστάσεις ένταση μεγαλύτερη από την αντοχή τους, γεγονός που θα οδηγούσε στην αστοχία τους. Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητο για τον κάθε χώρο να υπάρχει μία εσωτερική αντίσταση η οποία θα τον θερμαίνει και μία ίδια εξωτερική η οποία θα καταναλώνει την ισχύ που θα κατανάλωνε η εσωτερική όταν ο χώρος έχει υψηλή θερμοκρασία, χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργία των αντιστάσεων των δυο άλλων χώρων.

Εκτός από την περίπτωση όπου η παραγόμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη από την θερμική απαίτηση, υπάρχει και η περίπτωση όπου συμβαίνει το αντίθετο. Τις περιόδους όπου επικρατεί χαμηλή θερμοκρασία και οι παροχές είναι χαμηλές, η ισχύς από την γεννήτρια του ΥΗΕ δεν είναι ικανή να ανταπεξέλθει στις θερμικές ανάγκες του μουσείου. Συνεπώς θα πρέπει η θέρμανση να ενισχυθεί από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Για την ενίσχυση του έργου από τη ΔΕΗ δεν μπορεί να υπάρξει μία ταυτόχρονη σύνδεση των αντιστάσεων με την γεννήτρια και την ΔΕΗ. Προκειμένου η γεννήτρια να μην είναι στο ίδιο κύκλωμα με την ΔΕΗ, θα πρέπει με κάποια διάταξη να αναλαμβάνουν διαφορετικούς χώρους. Ένας μεταγωγικός διακόπτης θα λαμβάνει σήμα από έναν μετρητή ισχύος στη γεννήτρια για το πότε θα πραγματοποιεί αλλαγές στη τροφοδοσία. Επειδή ο μετρητής ισχύος έχει μία είσοδο και μία έξοδο από όπου μπορεί να δώσει σήμα, θα υπάρχουν τρεις μετρητές ισχύος και τρεις μεταγωγικοί διακόπτες για τα τρία δωμάτια, όπου ο κάθε ένας μετρητής θα δίνει σήμα στον δικό του διακόπτη για να αλλάξει την τροφοδοσία όταν η παραγόμενη ισχύς πέσει κάτω από το όριο που του έχουμε θέσει. Όταν η τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος αυξηθεί ξανά, τότε ο μετρητής παύει να δίνει σήμα στο μεταγωγικό ρελέ και αφού ο σπλισμός του πηνίου μετά τη διακοπή του ρεύματος επιστρέψει στη θέση ηρεμίας του, αλλάζει πάλι την τροφοδοσία στις αντιστάσεις από την ΔΕΗ στην γεννήτρια.

Από το 4^ο κεφάλαιο βλέπουμε πως το πρώτο δωμάτιο του μουσείου έχει 1,6 kW θερμικές απώλειες, το δεύτερο έχει 3,8 kW και το τρίτο έχει 4,9 kW. Για να έχουμε συνέχεια εισερχόμενη θερμική ισχύ στο μουσείο ίση με τις θερμικές απώλειες (10,3 kW) θα πρέπει:

Παραγόμενη ισχύς < $10,3 - 1,6 = 8,7$ kW → Δωμάτιο 1 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 2 (ΥΗΕ) Δωμάτιο 3 (ΥΗΕ)

Παραγόμενη ισχύς < $10,3 - 3,8 = 6,5$ kW → Δωμάτιο 1 (ΥΗΕ) Δωμάτιο 2 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 3 (ΥΗΕ)

Παραγόμενη ισχύς $< 10,3-4,9 = 5,4 \text{ kW} \rightarrow$ Δωμάτιο 1 (ΥΗΕ) Δωμάτιο 2 (ΥΗΕ) Δωμάτιο 3 (ΔΕΗ)

Παραγόμενη ισχύς $< 10,3-3,8-1,6 = 4,9 \text{ kW} \rightarrow$ Δωμάτιο 1 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 2 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 3 (ΥΗΕ)

Παραγόμενη ισχύς $< 10,3-4,9-1,6 = 3,8 \text{ kW} \rightarrow$ Δωμάτιο 1 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 2 (ΥΗΕ) Δωμάτιο 3 (ΔΕΗ)

Παραγόμενη ισχύς $< 10,3-4,9-3,8 = 1,6 \text{ kW} \rightarrow$ Δωμάτιο 1 (ΥΗΕ) Δωμάτιο 2 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 3 (ΔΕΗ)

Παραγόμενη ισχύς $< 0,59 \text{ kW} \rightarrow$ Δωμάτιο 1 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 2 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 3 (ΔΕΗ)

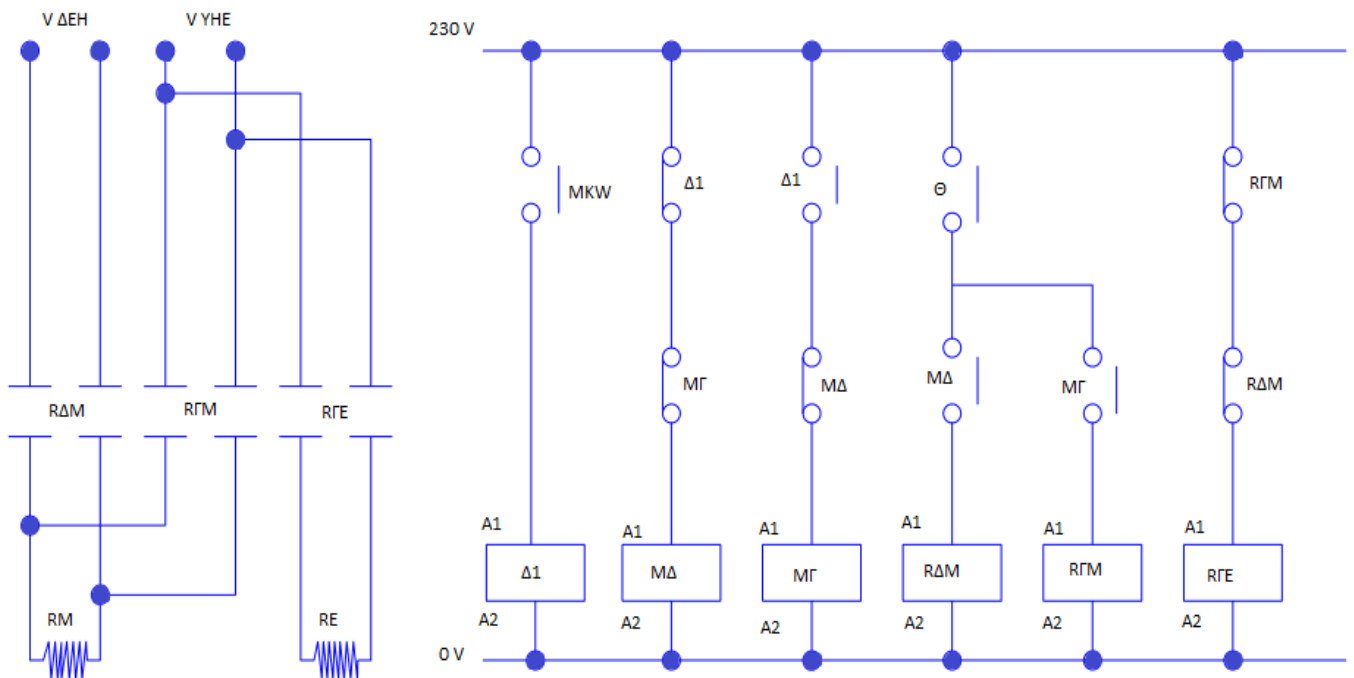
Ο παραπάνω προγραμματισμός απαιτεί περίπλοκο αυτοματισμό μεταγωγής των χώρων καθώς και πολλούς μετρητές ισχύος για την εκτέλεση της κάθε εντολής αφού ο κάθε ένας από αυτούς έχει μόνο μία έξοδο. Επειδή οι μετρητές αυτοί είναι σχετικά ακριβοί, αντί αυτού θα χρησιμοποιηθούν τρεις μετρητές ισχύος με την εξής διάταξη:

Παραγόμενη ισχύς $< 10,3- 4,9 = 5,4 \text{ Kw} \rightarrow$ Δωμάτιο 1 (ΥΗΕ) Δωμάτιο 2 (ΥΗΕ) Δωμάτιο 3 (ΔΕΗ)

Παραγόμενη ισχύς $< 10,3-4,9-3,8= 1,6 \text{ Kw} \rightarrow$ Δωμάτιο 1 (ΥΗΕ) Δωμάτιο 2 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 3 (ΔΕΗ)

Παραγόμενη ισχύς $< 0,59 \text{ Kw} \rightarrow$ Δωμάτιο 1 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 2 (ΔΕΗ) Δωμάτιο 3 (ΔΕΗ)

Οι διακόπτες, τα ρελέ, οι θερμοστάτες και οι αντιστάσεις θα είναι με τέτοιο τρόπο συνδεδεμένα έτσι ώστε όταν κάποιο δωμάτιο θερμαίνεται από την ΔΕΗ και η εσωτερική του θερμοκρασία αυξηθεί, τότε ο θερμοστάτης θα σταματάει τελείως τη ροή του ρεύματος και δεν θα το στέλνει στις εξωτερικές αντιστάσεις όπως στην περίπτωση της γεννήτριας και έτσι το μουσείο δεν θα πληρώνει για ενέργεια που δεν χρησιμοποιεί.



Εικόνα 8.5 Ηλεκτρολογικό σχέδιο της θέρμανσης ενός δωματίου

Το ηλεκτρολογικό σχέδιο αυτό απεικονίζει την διάταξη του αυτοματισμού για την μεταγωγή του ρεύματος μόνο του ενός δωματίου, δηλαδή εδώ φαίνεται μόνο ο ένας μεταγωγικός διακόπτης, ο ένας μετρητής ισχύος και οι αντιστάσεις του ενός χώρου από τους τρεις. Για τα υπόλοιπα δωμάτια του μουσείου θα έχουμε ακριβώς την ίδια διάταξη. Τα ονόματα στο ηλεκτρολογικό σχέδιο συμβολίζουν: RΔM-> ρελέ ισχύος για την ΔΕΗ, RΓM-> ρελέ ισχύος για το ΥΗΕ για τροφοδοσία στις εσωτερικές αντιστάσεις, RΓΕ-> ρελέ ισχύος για το ΥΗΕ για τροφοδοσία στις εξωτερικές αντιστάσεις, RM-> αντιστάσεις εσωτερικών χώρων, RE-> εξωτερικές αντιστάσεις, Δ1-> βοηθητικό ρελέ, ΜΔ-> βοηθητικό ρελέ μεταγωγικού διακόπτη ΔΕΗ, ΜΓ-> βοηθητικό ρελέ μεταγωγικού διακόπτη γεννήτριας ΥΗΕ, Θ-> θερμοστάτης, Α1 και Α2-> ακροδέκτες πηνίου των ρελέ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ

9.1 Οφέλη από την κατασκευή του υπό μελέτη έργου

Η διπλωματική εργασία αυτή αφορά την μελέτη ενός πολύ μικρού υδροηλεκτρικού έργου στον Τριπόταμο Αρκαδίας με σκοπό να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες του λαογραφικού μουσείου του χωριού.

Τα ΥΗΕ ανήκουν στις ΑΠΕ και ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλουν στην μείωση των εκπομπών CO₂ και δεν ενισχύουν τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης, ο υδροστρόβιλος κατά τη λειτουργία του δεν αυξάνει την θερμοκρασία του νερού που χρησιμοποιεί, μη μολύνοντας έτσι τον υδροφόρο ορίζοντα. Επιπλέον η εκμετάλλευση των υδατοπτώσεων βοηθά στην εξοικονόμηση των κλασσικών αλλά και των νέων καυσίμων, τα οποία κυριαρχούν στην παραγωγή ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα και τείνουν να εκλείψουν.

Η κατασκευή του συγκεκριμένου έργου υποδεικνύει πρωτότυπους και εναλλακτικούς τρόπους αξιοποίησης του υδροηλεκτρικού δυναμικού. Η παραγωγή ενέργειας από ΥΗΕ με στόχο τη θέρμανση εσωτερικών χώρων είναι ένα σπάνιο γεγονός. Όπως αποδείχτηκε και στην εργασία ένα ΥΗΕ, όχι μόνο δεν μολύνει το περιβάλλον αλλά και συμφέρει οικονομικά. Ειδικότερα στη χώρα μας, όπου διανύει μια περίοδο οικονομικής κρίσης και τα καύσιμα και το ηλεκτρικό ρεύμα από το δημόσιο δίκτυο επιβαρύνονται με συνεχείς επιπρόσθετους φόρους κόβοντας σε πολλά νοικοκυριά την οικιακή θέρμανση, η περίπτωση της διπλωματικής αυτής είναι ένα παράδειγμα που δίνει μία νέα αντιμετώπιση του προβλήματος σε εκείνους που διαθέτουν υδροδυναμικό προς αξιοποίηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ

[1] Παπαντώνης Δ., Υδροδυναμικές Μηχανές, Αντλίες – Υδροστρόβιλοι, Υδροδυναμικές Μεταδόσεις, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2005

[2] Παπαντώνης Δ., Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2008

[3] Χαραλαμπίδης Κ., Κεντρικές Θερμάνσεις, Εκδόσεις Ήβος, Αθήνα 1992

[4] Ιωαννίδης Δ., Γεωργακάκης Μ., Θερμάνσεις, Εκδόσεις Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1991

[5] <https://www.renewablesfirst.co.uk/hydropower/hydropower-learning-centre/crossflow-turbines/>

[6] <http://www.microhydropower.net>