



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση
Συστημάτων"**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ
ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ»**

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΚΥΡΙΑΝΑΚΗ

Επιβλέπων

**ΚΑΡΑΪΣΑΣ ΠΕΤΡΟΣ, ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Αθήνα, Ιανουάριος 2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη σημερινή εποχή, που ο κόσμος έχει ανάγκη για ολοένα και περισσότερη ενέργεια, καταφεύγει πλέον στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έτσι, πολλές βιομηχανίες, καθώς και ορισμένα κτήρια παράγουν και χρησιμοποιούν αυτόνομες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα Α.Π.Ε. μπορεί να είναι αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, υδραυλική ενέργεια, βιομάζα, γεωθερμική ενέργεια, ενέργεια από τη θάλασσα, ωσμωτική ενέργεια ή και συνδιασμός κάποιων από τα αυτά. Η παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάζει την τεχνοοικονομική μελέτη ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού που θα τροφοδοτεί μια βιομηχανική μονάδα.

Στο πρώτο κεφάλαιο, αναλύεται το τι είναι η υδροηλεκτρική ενέργεια, καθώς και ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι τομείς που αποτελούν ένα υδραυλικό έργο και ποιοι παράγοντες συντελούν ώστε να ολοκληρώσουν το έργο αυτό.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται και αναλύονται τα τμήματα που αποτελούν ένα ηλεκτρομηχανολογικό έργο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μελέτη ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου με όλες τις φάσεις που απαιτούνται για τη διεκπεραίωσή του. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνονται αρκετοί μέθοδοι μετρήσεων, τυπολόγια, αλλά και υπολογισμοί.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα στάδια της αδειοδότησης που χρειάζονται για την υλοποίηση ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού.

Στο έκτο κεφάλαιο, γίνεται μια οικονομοτεχνική μελέτη ενός έργου, η οποία βασίζεται σε κάποιες μετρήσεις, αλλά και σε υπολογισμούς που έγιναν, για να εκτιμηθεί τελικά αν στο συγκεκριμένο σημείο μπορεί να κατασκευαστεί υδροηλεκτρικός σταθμός.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη και η κατασκευή ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού, το οποίο θα τροφοδοτεί μια βιομηχανική μονάδα. Η μελέτη χωρίζεται σε φάσεις. Κάθε φάση πληροί και κάποιους όρους. Αρχικά, προσδιορίζεται η θέση που θα κατασκευαστεί ο σταθμός, έχοντας γίνει οι κατάλληλες μελέτες και μετρήσεις στο σημείο εκείνο. Έπειτα, κατασκευάζονται τα υδραυλικά έργα, τα οποία συμβάλουν στην εκμετάλλευση του νερού μιας και το νερό είναι η κινητήρια δύναμη που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια, μέσω ενός υδροστροβίλου. Τα ηλεκτρομηχανολογικά έργα είναι εξίσου σημαντικά για τη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας τόσο για την ίδια τη βιομηχανική μονάδα όσο και για το δίκτυο. Στη συνέχεια, η μελέτη αναλύεται σε τεchnοοικονομικό επίπεδο, για να διαπιστωθεί εν τέλει αν αξίζει να κατασκευαστεί ο υδροηλεκτρικός σταθμός. Τέλος, αφού η ανάλυση με βάση τους υπολογιστικούς πίνακες πληροί τις προϋποθέσεις, ξεκινάνε οι ενέργειες κατασκευής και εγκατάστασης του σταθμού. Στη συγκεκριμένη μελέτη αναλύονται όλες οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την κατασκευή ενός τέτοιου σταθμού στη λίμνη του Μόρνου.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to design and construct a small hydroelectric power plant, that will power an industrial plant. This study is divided into chapters. Each chapter has certain conditions. At first, the location of the station will be constructed after the appropriate studies and measurements have been made at that point. Then, the hydraulic projects are built which contribute to the exploitation of water since it is the driving force that generates electricity through a turbine. The electromechanical projects are equally important for the management of electricity both for the industrial plant and for the grid. The study is analyzed at a techno-economic level to determine if it is worth constructing the hydroelectric power station. Finally, if the analysis that based on the spreadsheets agreed to conditions, then the construction and installation activities of the station begin. This study analyzes all the prerequisites for the construction of such a station on Lake Mornos.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Πέτρο Καραϊσά για την άψογη συνεργασία, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ευκαιρία να ασχοληθώ τεχνοοικονομικά με τη συγκεκριμένη μελέτη. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για τη στήριξη που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°: ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Εισαγωγή.....	1
1.1: Ιστορία	1
1.2: Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα.....	2
1.3: Μετατροπή της υδροηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική.....	3
1.4: Ορισμός των micro – pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°: ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

2.1: Φράγμα	6
2.1.1: Είδη φραγμάτων	6
2.1.2: Επιπτώσεις φραγμάτων.....	13
2.2: Ταμιευτήρας.....	14
2.3: Σύστημα προσαγωγής.....	15
2.4: Δεξαμενή φόρτισης.....	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°: ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΕΡΓΑ

3.1: Σταθμός παραγωγής.....	17
3.2: Υδροστροβίλοι.....	17
3.3: Τα κύρια μέρη των υδροστροβίλων δράσεως.....	23
3.4: Τα κύρια μέρη των υδροστροβίλων ανάδρασης.....	27
3.5: Γεννήτρια.....	33
3.5.1: Γεννήτρια Ε.Ρ.	33
3.5.2: Γεννήτρια Σ.Ρ.	34
3.5.3: Προστασία γεννήτριας.....	36
3.6: Μετασχηματιστές.....	37
3.6.1: Είδη Μ/Σ.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°: ΜΕΛΕΤΗ ΜΙΚΡΟΥ ΥΗΕ

4.1: Φάσεις της μελέτης.....	40
4.2: Αναγνώριση της περιοχής.....	40
4.3: Υδρολογική ανάλυση.....	41
4.3.1: Μέθοδοι αξιολόγησης υδάτινου δυναμικού	41
4.3.2: Μέτρηση βροχής.....	44
4.3.3: Μέτρηση χιονιού.....	51
4.3.4: Υδρολογικές απώλειες	54
4.4: Καμπύλη διάρκειας παροχής	55
4.5: Χάραξη του έργου	56
4.6: Διαθέσιμη υδραυλική πτώση	56
4.7: Παραγόμενη ενέργεια	59
4.8: Οικονομοτεχνική ανάλυση μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών.....	60
4.8.1: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου	61
4.8.2: Τα οικονομικά χαρακτηριστικά του έργου	63
4.8.3: Συμπεράσματα	67
4.9: Επιπτώσεις ΜΥΕ στο περιβάλλον	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°: ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΕΝΟΣ ΜΙΚΡΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

5.1: Έκδοση Άδειας Παραγωγής	68
5.2: Έκδοση Άδειας Εγκατάστασης.....	68
5.2.1: Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (Π.Π.Ε.Α.)	69
5.2.2: Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.).....	69
5.2.3: Έγκριση Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση (Εεπ).....	69
5.2.4: Άδεια Χρήσης Νερού – Εκτέλεση Έργου Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων	70
5.3: Έκδοση Άδειας Λειτουργίας.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°: ΥΗΣ ΜΟΡΝΟΥ	
6.1: Ιστορική του έργου	71
6.2: Στοιχεία κλίματος	71
6.3: Διαθέσιμη υδραυλική πτώση	73
6.4: Παραγόμενη ενέργεια	74
6.5: Ασύγχρονη τριφασική γεννήτρια (Asynchronous generator).....	76
6.6: Μετασχηματιστής	77
6.7: Λειτουργία εγκατάστασης	77
Βιβλιογραφία	82

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

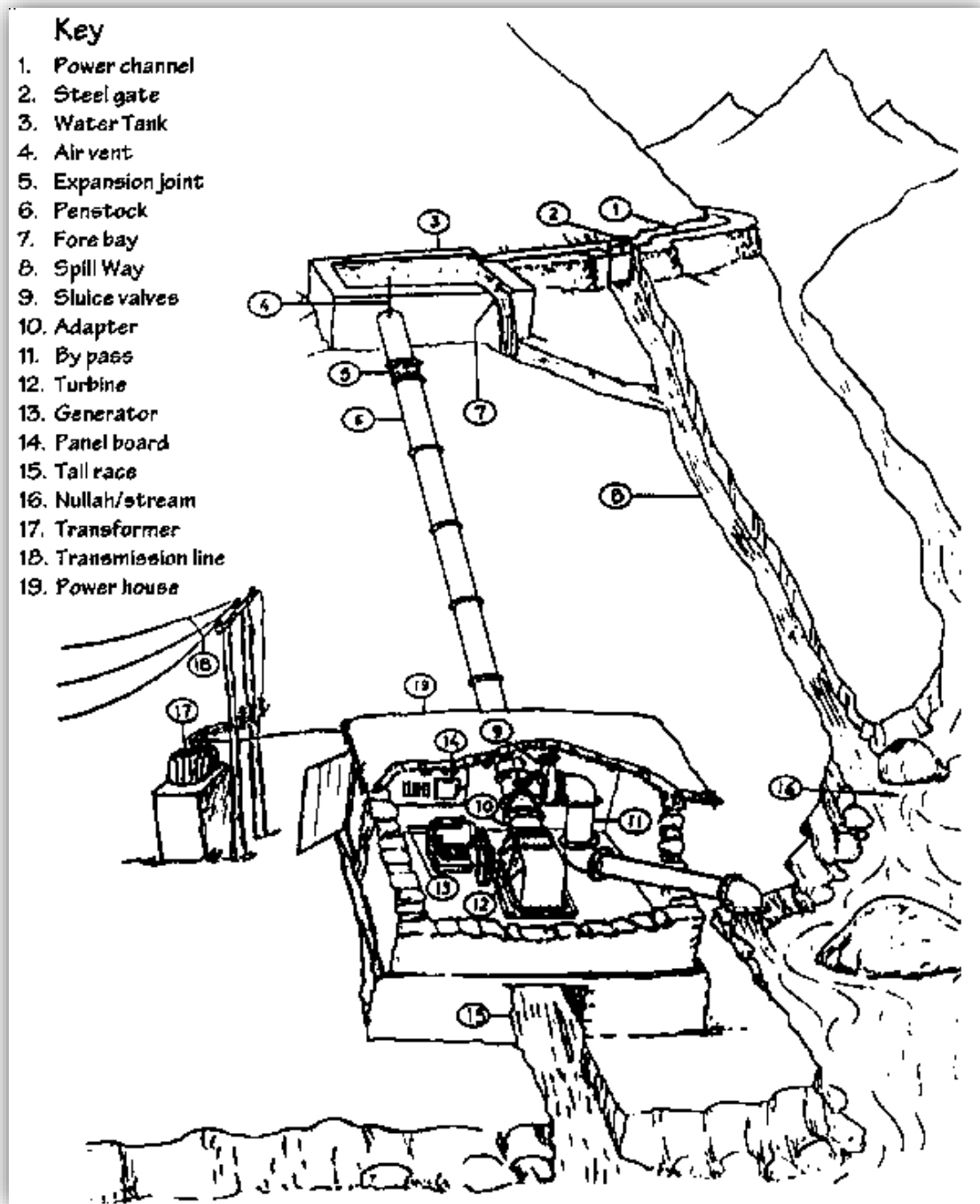
Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια, είναι η ενέργεια που στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών. Η ενέργεια αυτή διαχέεται στη φύση από ρεύματα και δίνες, καθώς το νερό ρέει κατηφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια μέχρι να φτάσει στη θάλασσα. Επιπλέον, είναι ανάλογη με το μέγεθος του όγκου του αποθηκευμένου νερού και το ύψος στο οποίο βρίσκεται. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, που στηρίζεται στην εκμετάλλευση των ποταμών και των τεχνητών ή φυσικών φραγμάτων.

1.1 Ιστορία

Στην αρχαία Αίγυπτο, οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν την ενέργεια σε ρέοντα ύδατα για τη λειτουργία μηχανημάτων και άλεσμα σιτηρών και καλαμποκιού. Ωστόσο, η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στις ζωές ανθρώπων κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα από ό, τι σε οποιαδήποτε άλλη στιγμή στην ιστορία. Η υδροηλεκτρική ενέργεια έπαιξε σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση των θαυμάτων της ηλεκτρικής ενέργειας και βοήθησε στην ώθηση της βιομηχανικής ανάπτυξης. Έτσι, η υδροηλεκτρική ενέργεια συνεχίζει να παράγει το 24 τοις εκατό της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο πρώτος υδροηλεκτρικός σταθμός χτίστηκε το 1882 στο Appleton, Wisconsin και παρήγαγε 12,5 kw. Παρείχε φως σε δύο χαρτοβιομηχανίες και ένα σπίτι. Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια ποικίλουν σε μέγεθος από αρκετές εκατοντάδες kW σε αρκετές εκατοντάδες MW. Ωστόσο, μερικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν ικανότητες μέχρι και 10.000 MW, και παρέχουν ηλεκτρισμό σε εκατομμύρια ανθρώπους (Εικόνα 1).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχουν χωρητικότητα 675.000 MW ετησίως και παράγουν πάνω από 2,3 τρισεκατομμύρια-κιλοβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας, που συνεπάγεται με ισοδύναμη ενέργεια 3,6 δισ. βαρέλια πετρελαίου.



Εικόνα 1: Υδροηλεκτρικός σταθμός

1.2 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της υδραυλικής ενέργειας είναι τα εξής :

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις ζητηθεί επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς (γαιανθράκων, πετρελαίου), που απαιτούν χρόνο προετοιμασίας.

- Είναι μία "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά πλεονεκτήματα (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος κτλ).
- Μέσω των υδροταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, αναψυχή, αθλητισμός.
- Είναι πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι εγχώρια πηγή ενέργειας και συνεισφέρει στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτη γεωγραφικά και οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος αλλά και δίνει τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης τοπικών ενεργειακών πόρων.
- Μπορεί να αποτελέσει πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμιζόμενων περιοχών καθώς και να συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση σχετικών επενδύσεων.
- Δεν παράγει ατμοσφαιρικούς ρύπους και θόρυβο (παρά μόνο μικρής έντασης και χρονικής διάρκειας στη φάση των κατασκευών).
- Ο ταμιευτήρας (όταν επιλέγεται η κατασκευή φράγματος) μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία υγρότοπου.

Τα μειονεκτήματα που εμφανίζονται συνήθως είναι τα εξής:

- Το μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εξοπλισμού των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής καθώς και η μεγάλη χρονική διάρκεια που απαιτείται μέχρι την αποπεράτωση του έργου.
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση στην περιοχή του ταμιευτήρα (ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, υποβάθμιση περιοχών, αλλαγή στη χρήση γης, στη χλωρίδα και πανίδα περιοχών αλλά και του τοπικού κλίματος, αύξηση σεισμικής επικινδυνότητας, κ.ά.). Η διεθνής πρακτική σήμερα προσανατολίζεται στην κατασκευή μικρών φραγμάτων.

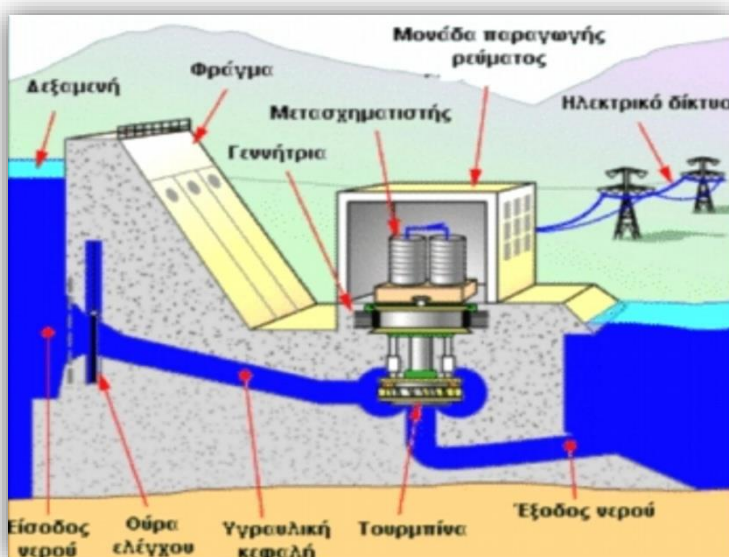
1.3 Μετατροπή της υδροηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική

Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες εκμεταλλεύονται τη φυσική διαδικασία του κύκλου του νερού. Κάθε μέρα ο πλανήτης μας αποβάλλει μια μικρή ποσότητα νερού καθώς η υπεριώδης ακτινοβολία διασπά τα μόρια του νερού σε ιόντα. Ταυτόχρονα νέες ποσότητες νερού εμφανίζονται λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας, έτσι ώστε η συνολική ποσότητα του νερού να διατηρείται περίπου σταθερή.

Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργούμενο ταμιευτήρα. Κατά τη διέλευσή του από τον αγωγό

πτώσεως κινεί έναν στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια. Μία τουρμπίνα που είναι εγκατεστημένη σε μεγάλη μονάδα μπορεί να ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και να περιστρέφεται με 90 rpm. Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δύο από τους σημαντικότερους είναι ο όγκος του νερού που ρέει και η διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του στροβίλου. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται είναι ανάλογη των δύο αυτών μεγεθών. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα. Για το λόγο αυτόν μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευαστούν υδροηλεκτρικά έργα. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά ως προς άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, καλύπτοντας φορτία αιχμής. Στη χώρα μας η υδροηλεκτρική ενέργεια ικανοποιεί περίπου το 9% των ενεργειακών μας αναγκών σε ηλεκτρισμό.

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αυτό αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικές μονάδες μικρότερης δυναμικότητας των 30 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμιευτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο

1.4 Ορισμός των micro - pico υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες αγγίζουν τα 100 kW χαρακτηρίζονται με τον όρο “micro”. Από χώρα σε χώρα οι τιμές kW οι οποίες δίνουν στην υδροηλεκτρική εγκατάσταση τον χαρακτηρισμό αυτό, διαφέρουν. Παρ’ όλα αυτά, η συνηθέστερη τιμή είναι τα 100kW. Είναι γεγονός ότι διακυμάνσεις στις τιμές παρατηρείται ότι ισχύουν επίσης και στους ορισμούς των mini, micro κτλ.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 10 kW χαρακτηρίζονται ως “pico”. Και στην περίπτωση αυτή παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στις τιμές των kW, καθώς δεν είναι λίγες οι φορές όπου pico-υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις έχουν ενέργεια περί τα 5 kW, όπως βλέπουμε και σε πληθώρα σχετικών αναφορών.

Σε κάθε περίπτωση, είναι γεγονός ότι τόσο οι micro- υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις όσο και οι pico- υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις έχουν πολλά πλεονεκτήματα γεγονός που τις κάνει ιδιαίτερα δημοφιλείς σε παγκόσμιο επίπεδο. Αρχικά, είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χωρίς να χρειάζονται να καταναλώσουν καύσιμα τα οποία θα μόλυναν την ατμόσφαιρα μέσα από την εκπομπή αερίων. Επιπλέον, το μικρό τους μέγεθος βοηθά ώστε ακόμα και κατά την εγκατάσταση τους να επηρεάζουν σε ένα πολύ μικρό ποσοστό το περιβάλλον. Επίσης, ο χρόνος ζωής τους σε σχέση με χρόνο απόσβεσης είναι σε μία πολύ συμφέρουσα αναλογία, αν αναλογιστεί κανείς ότι μέσα σε 10 χρόνια μπορεί να έχει γίνει η απόσβεση χρημάτων ενώ η ίδια η εγκατάσταση έχει διάρκεια ζωής 25 χρόνια. Το χαμηλό κόστος, η απλή τους κατασκευή και η σταθερή και συνεχής λειτουργία του για μεγάλες χρονικές περιόδους είναι ακόμα κάποια πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις εγκαταστάσεις αυτές.

Φτωχές χώρες και περιοχές που δυσκολεύονται να έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρικά δίκτυα αλλά και ανεπτυγμένες χώρες που λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας και των ηλεκτρομηχανολογικών εξαρτημάτων που τα αποτελούν έχουν αυξημένο ενδιαφέρον για τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις ως μία πολύ καλή εναλλακτικής πηγή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με την έκθεση της World Bank τα pico- υδροηλεκτρικά έργα είναι η πιο φτηνή επιλογή , για περιοχές που είναι μη-διασυνδεδεμένες με το εθνικό δίκτυο και χρειάζονται έως 5 kW ισχύς. Αυτή η έκθεση βασίζεται σε στοιχεία του 2005 και δείχνει ότι μπορεί να είναι έως και 25% φτηνότερα από την αμέσως επόμενη εναλλακτική λύση.

Κεφάλαιο 2

Υδραυλικά Έργα

2.1 Φράγμα

Μια υδροηλεκτρική εγκατάσταση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί εάν δεν κατασκευαστεί αρχικά κάποιο φράγμα. Το φράγμα είναι ένα τεχνητό κατασκευαστικό έργο που χτίζεται κάθετα στην κοίτη ενός ποταμού με σκοπό την αποκοπή της ροής του και κατ'επέκταση την αποθήκευση του νερού για μελλοντική χρήση. Τα πρώτα χρόνια, οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τα φράγματα για χρήση άδρευσης. Έπειτα, η υδροδυναμική αξιοποίησε τη χρήση τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μια μέλετη για την κατασκευή ενός φράγματος προσδιορίζει τον τύπο, τις διαστάσεις, αλλά και τον σκοπό για τον οποίο πρόκειται να εξυπηρετήσει. Σοβαρό πρόβλημα στην κατασκευή ενός φράγματος είναι η κοίτη του ποταμού. Έτσι, προτού ξεκινήσουν οι απαραίτητες εργασίες, θα πρέπει το νερό να διοχετεύεται ή να συγκεντρώνεται με κάποιο τρόπο ώστε η συγκεκριμένη περιοχή να είναι απαλλαγμένη από αυτό. Υπάρχουν δύο τρόποι για να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα:

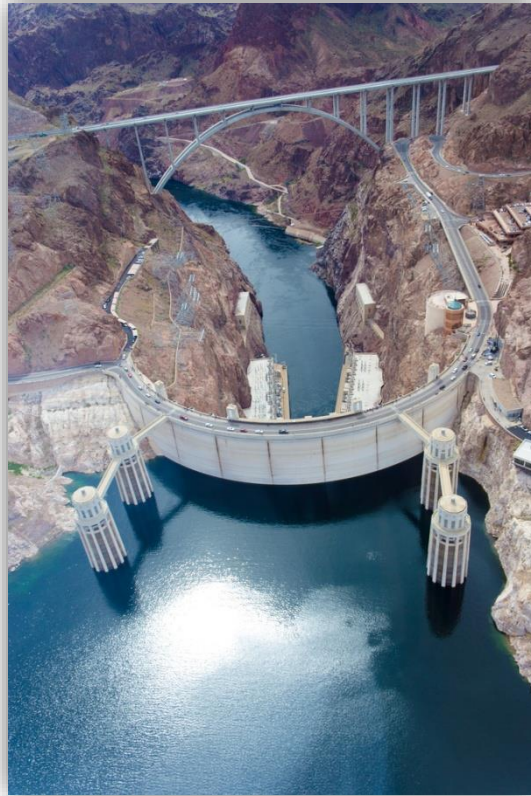
Ο ένας τρόπος είναι να κατασκευαστεί μια σύραγγα πριν από τη θεμελίωση. Το νερό περνάει μέσα από αυτή και έτσι η περιοχή εργασίας παραμένει στεγνή. Όταν ξεκινήσει το έργο, η σύραγγα χρησιμοποιείται ως εκκενωτής της λίμνης. [1]

Ο δεύτερος τρόπος εξυπηρετεί την σταδιακή κατασκευή του φράγματος. Αρχικά, δημιουργείται ένα δακτυλοειδές φράγμα για να απομονώνει το νερό. Στην περιοχή που είναι στεγνή, κατασκευάζεται ένα τμήμα του φράγματος. Το νερό περνάει από ένα ελεύθερο σημείο της κοίτης. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα μικρό περιμετρικό φράγμα, που κρατάει στεγνή την υπόλοιπη περιοχή, ούτως ώστε να κατασκευαστεί το υπόλοιπο μισό του κύριου φράγματος. [1]

2.1.1 Είδη φραγμάτων

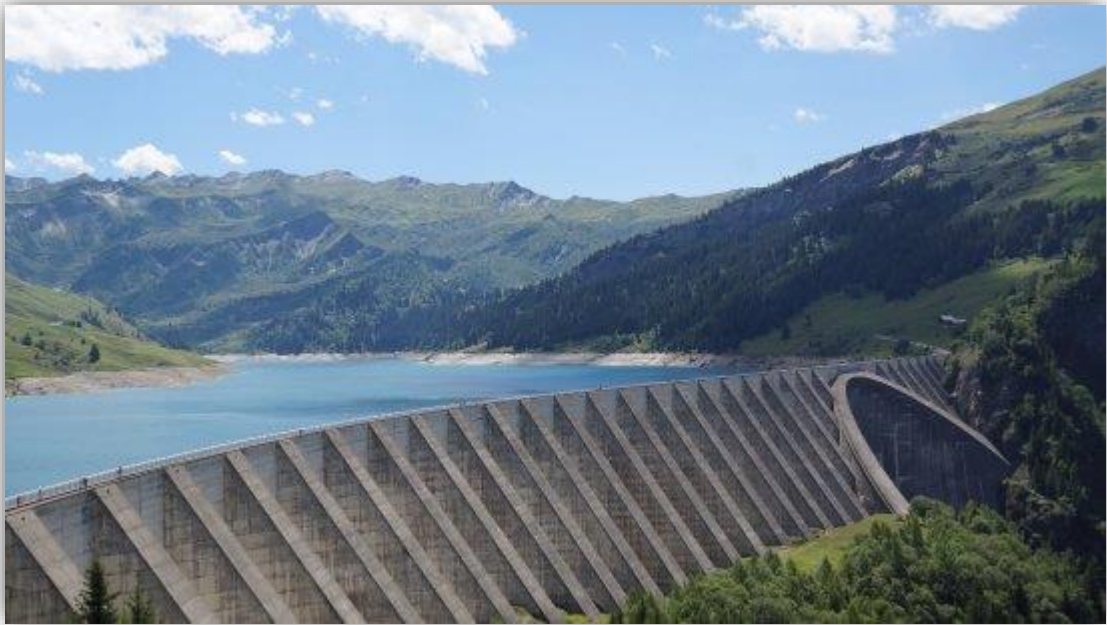
Τα φράγματα ταξινομούνται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και με τον τρόπο που αποδέχονται τις δυνάμεις και τις ροπές που ασκεί το νερό επάνω τους. Τα φράγματα διακρίνονται κυρίως σε τρεις κατηγορίες και καθεμία από αυτές έχει και υποκατηγορίες, πιο αναλυτικά:

- ✓ Τα τοξωτά φράγματα, ανήκουν στην κατηγορία των φραγμάτων από σκυρόδεμα. Επιβάλλουν τεράστια φόρτιση στα αντερείσματα της κοιλάδας και για αυτό το λόγο κατασκευάζονται σε στενές κοιλάδες με αντερείσματα από βραχώδη υλικά υψηλής αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας, έτσι ώστε οι μετακινήσεις της έδρασης του φράγματος στα αντερείσματα να είναι πολύ μικρές. Το ύψος των συγκεκριμένων φραγμάτων, συνήθως ξεπερνά τα διακόσια μέτρα, διότι σε αυτά τα ύψη η λύση τοξωτού φράγματος είναι οικονομικά συμφέρουσα. Επίσης, στις στενές κοιλάδες, οι ταμιευτήρες χρειάζονται μεγάλα ύψη φράγματος για να έχουν την απαιτούμενη χωρητικότητα (Εικόνα 3).



Εικόνα 3 : Τοξωτό φράγμα

- ✓ Τα φράγματα βαρύτητας ανήκουν και αυτά στην κατηγορία των φραγμάτων από σκυρόδεμα. Συνήθως, κατασκευάζονται σε στενές κοιλάδες, διότι σε κοιλάδες μεγάλου εύρους δε συμφέρουν οικονομικά. Αντέχουν αρκετά μεγάλο φορτίο στη βάση τους. Υλοποιούνται σε κοιλάδες με βάση και αντερείσματα από βραχώδη υλικά μεγάλης αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας, ούτως ώστε οι καθιζήσεις της έδρασης του φράγματος να είναι μικρές. Ένα σημαντικό προτέρημα που έχουν τα φράγματα βαρύτητας είναι ότι ο υπερχειλιστής αποτελεί τμήμα του φράγματος, ενώ αντιθέτως στα γεωφράγματα, ο υπερχειλιστής αποτελεί ξεχωριστή κατασκευή που σημαίνει και επιπλέον κόστος (Εικόνα 4).



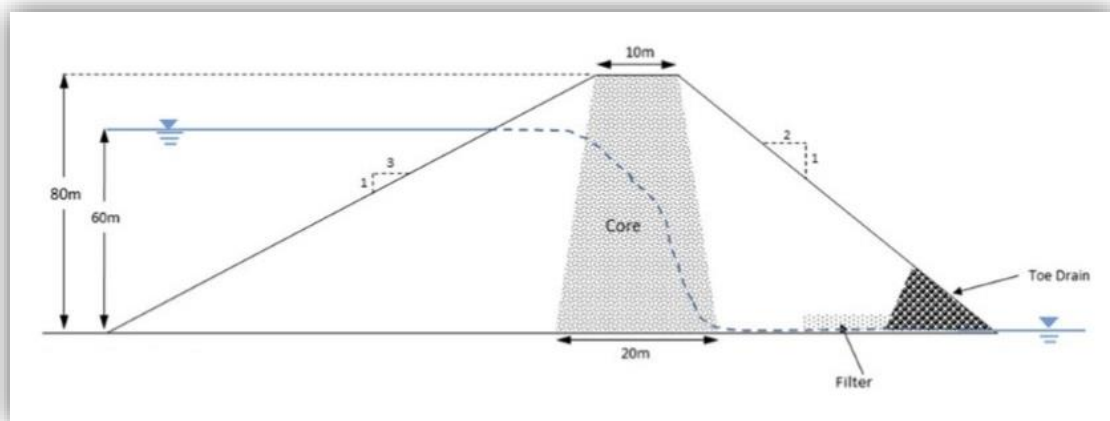
Εικόνα 4 : Φράγμα βαρύτητας

- ✓ Τα φράγματα από ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC), έχουν αλματώδη εξέλιξη τα τελευταία είκοσι πέντε χρόνια. Είναι μια εναλλακτική μέθοδος αντί της κατασκευής φραγμάτων από απλό σκυρόδεμα και των λιθόρριπων φραγμάτων. Σημαντικό πλεονέκτημα των φραγμάτων RCC είναι οι μειωμένες ποσότητες των απαιτούμενων υλικών κατασκευής, συγκριτικά με τα χωμάτινα και λιθόρριπα φράγματα. Ένα άλλο προτέρημα, είναι η υλοποίησή τους σε περιοχές με έλλειψη γαιωδών υλικών ή σε περιοχές με περιορισμένη δημιουργία εκτεταμένων δανειοθαλάμων. Το RCC, σαν υλικό κατασκευής έχει υψηλή αντοχή στη διάβρωση συγκριτικά με άλλα εδαφικά υλικά. Ο συνδιασμός του τσιμέντου με άλλα αδρανή υλικά επιφέρει εξαιρετικά αποτελέσματα στη δημιουργία ενός νέου υλικού, το οποίο χρησιμοποιείται σε ένα πλήθος εφαρμογών, όπως για παράδειγμα, για την κατασκευή φράγματος (Εικόνα 5). [2]

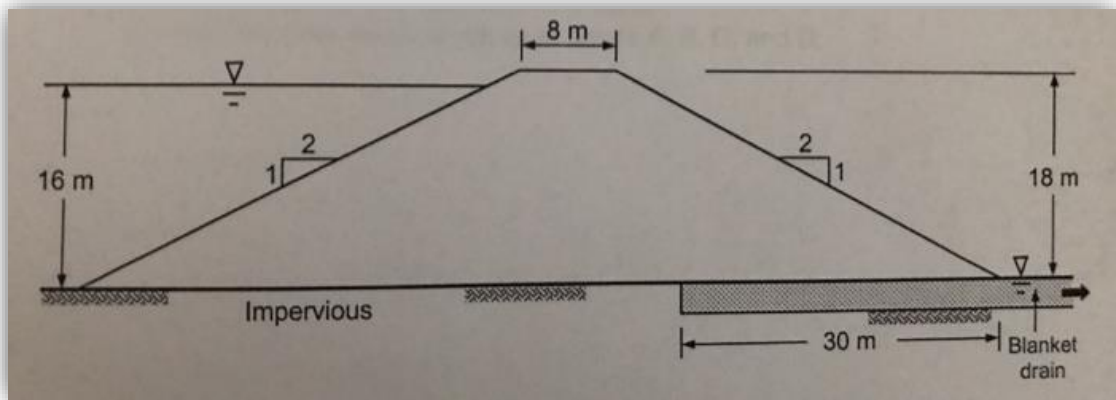


Εικόνα 5: Φράγμα από ισχύ κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC)

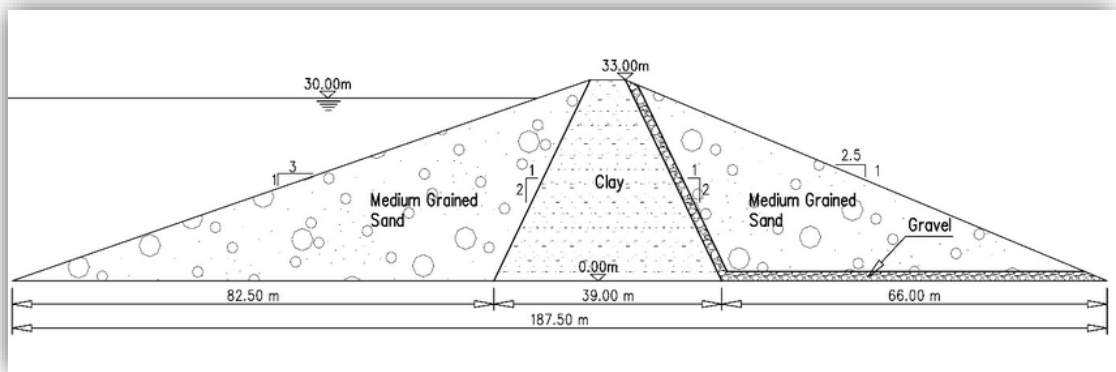
- ✓ Τα ομοιογενή φράγματα, ανήκουν στην κατηγορία των φραγμάτων από γαιώδη υλικά. Αφορά τη δημιουργία χαμηλών φραγμάτων. Μέχρι και ύψος περίπου είκοσι μέτρα, κατασκευάζονται χωρίς στραγγιστήριο. Όμως, για ύψος μέχρι και πενήντα μέτρα περίπου, κατασκευάζονται με στραγγιστήριο. Το στραγγιστήριο μπορεί να υλοποιηθεί σε τρία διαφορετικά σημεία του φράγματος, ανάλογα την περίπτωση. Στις παρακάτω εικόνες, απεικονίζονται τα τρία αυτά σημεία (Εικόνα 6, Εικόνα 7, Εικόνα 8) :



Εικόνα 6: Γεώφραγμα με στραγγιστήριο ποδός (toe drain)



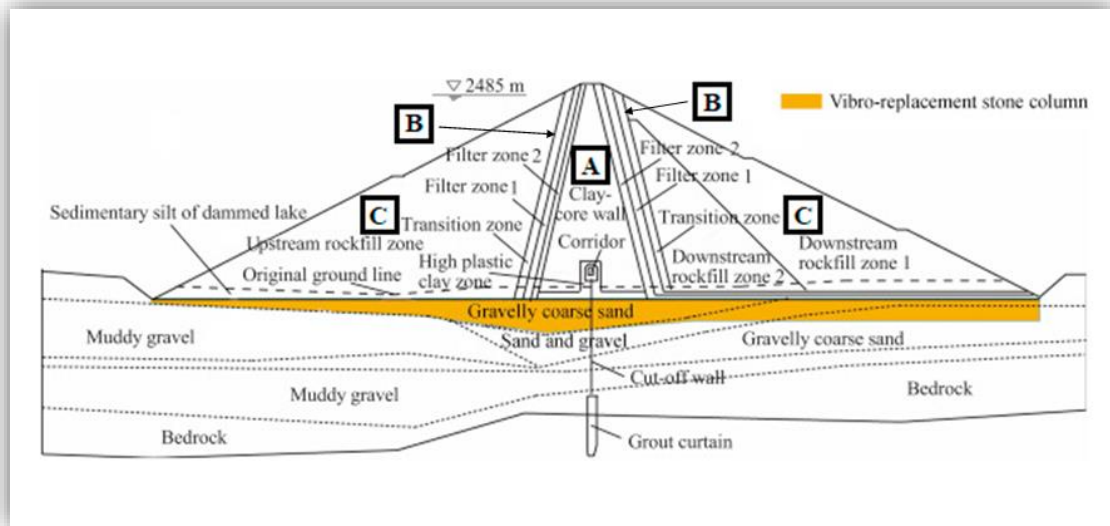
Εικόνα 7: Γεώφραγμα με στραγγιστήριο βάσης (blanket drain)



Εικόνα 8: Γεώφραγμα με εσωτερικό στραγγιστήριο (chimney drain)

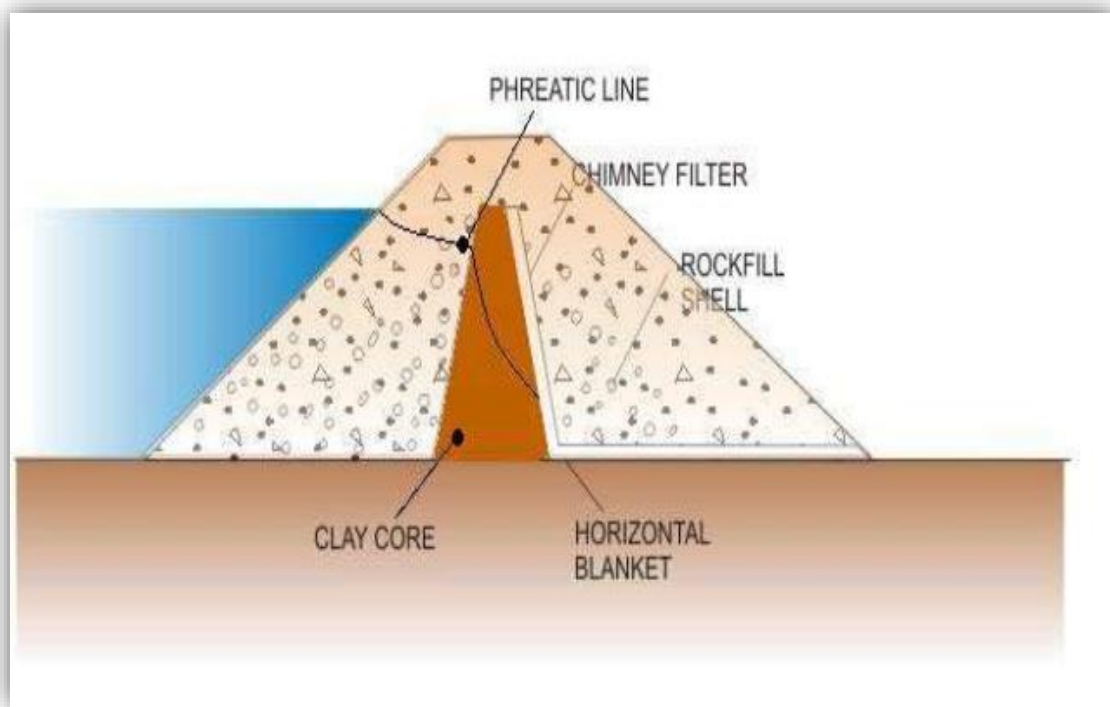
Επιπρόσθετα, με τη χρήση στραγγιστικού πρίσματος ποδός, αποφεύγεται ο κίνδυνος υδραυλικής διάβρωσης. Αλλά, και η χρήση εσωτερικού στραγγιστηρίου βελτιώνει την ευστάθεια του κατάντη πρανούς. Τέλος, οι αποστραγγιστικές στρώσεις περικλείονται με ειδικά φίλτρα για να εμποδιστεί η διάβρωση του λεπτόκοκκου υλικού προς το στραγγιστήριο.

- ✓ Τα φράγματα πολλαπλών ζωνών με αργιλικό πυρήνα, ανήκουν και αυτά στην κατηγορία των φραγμάτων από γαιώδη υλικά. Μια τυπική διαζώνωση φράγματος με αργιλικό πυρήνα, αποτελείται από τρία μέρη. Το πρώτο μέρος, αποτελεί τον κεντρικό αργιλικό πυρήνα, το δεύτερο μέρος απεικονίζει τα φίλτρα και τα στραγγιστήρια και το τρίτο μέρος παρουσιάζει τα σώματα στήριξης από λιθορριπή (Εικόνα 9).

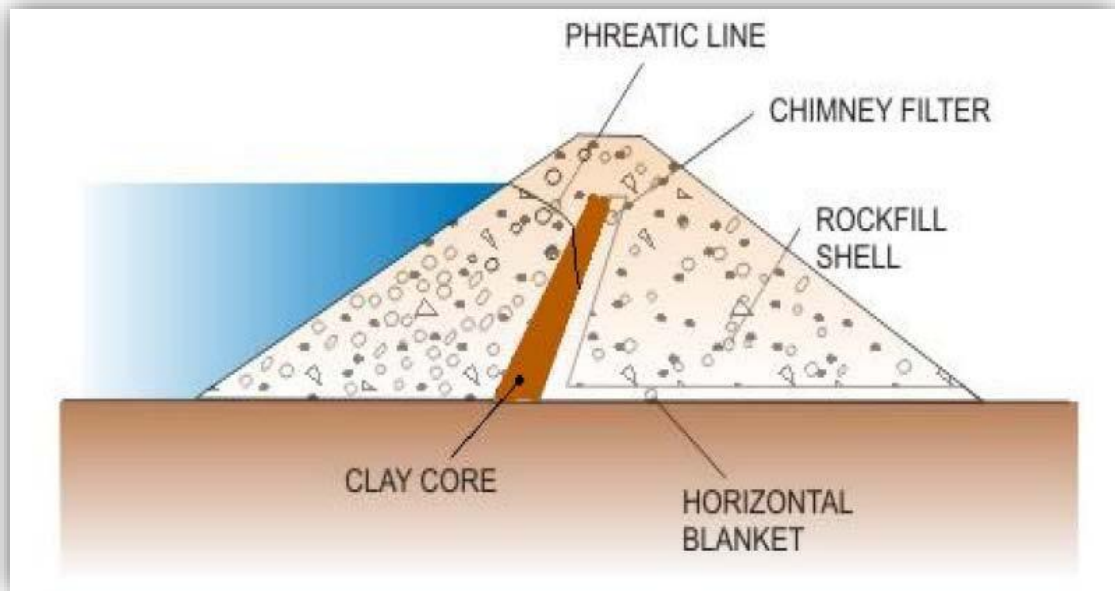


Εικόνα 9: Τυπική διαζώνωση φράγματος με αργιλικό πυρήνα

Αξίζει να σημειωθεί, ότι κατασκευάζονται δύο ειδών αργιλικό πυρήνες στα συγκεκριμένα φράγματα, ο κεντρικός και ο κεκλιμένος. Έτσι, ανάλογα με τη μελέτη και τις ανάγκες του έργου, υλοποιείται ο απαιτούμενος που χρειάζεται (Εικόνα 10, Εικόνα 11).



Εικόνα 10: Φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα



Εικόνα 11: Φράγμα με κεκλιμένο αργιλικό πυρήνα

- ✓ Τα φράγματα με ειδική στεγάνωση, ανήκουν και αυτά στην κατηγορία των φραγμάτων από γαιώδη υλικά. Ο πυρήνας τους αποτελείται από μίγμα ασφάλτινου σκυροδέματος. Η πλεοψηφία αυτών των φραγμάτων χρησιμοποιεί σαν κύρια υλικά κατασκευής τους το χαλίκι και το χώμα. Παγκοσμίως έχουν υλοποιηθεί πάνω από εκατό τέτοια φράγματα. Η απόδοση αντοχής των συγκεκριμένων φραγμάτων είναι εξαιρετικά υψηλή. Ο τύπος της ασφάλτου είναι ένα ιξωδοελαστικό πλαστικό υλικό, το οποίο έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται στις κινήσεις και στις παραμορφώσεις που καταβάλλονται σε ολόκληρη τη δομή του φράγματος. Αυτές οι εύκαμπτες ιδιότητες της ασφάλτου καθιστούν τέτοιου είδους φράγματα να εγκαθίστανται σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Φράγμα με ειδική στεγάνωση (άσφαλτος)

2.1.2 Επιπτώσεις φραγμάτων

Τα φράγματα κατασκευάζονται για την αποθήκευση και την εκτροπή του νερού, αλλά παράλληλα και για το συγχρονισμό των ποταμών ροών, έτσι ώστε να μπορούν να ικανοποιηθούν οι ανθρώπινες ανάγκες. Αυτό οδηγεί στην αλλαγή του φυσικού οικοσυστήματος, μιας και λειτουργούν ως “εμπόδια” στις διαμήκεις ανταλλαγές νερού στους ποταμούς. Οι αλλαγές αυτές, προκαλούν μεταβολές στη χημεία του νερού και στη θερμοκρασία του, καθώς και μεταστροφή του υδατικού ιζήματος και των θρεπτικών καθεστώτων. Επιπλέον, οι ταμιευτήρες πλημμυρίζουν τα χερσαία οικοσυστήματα, καταστρέφοντας τη χλωρίδα και την πανίδα της συγκεκριμένης περιοχής, με αποτέλεσμα να εξαφανιστούν πολλά είδη που τείνουν προς εξαφάνιση.

Πριν την υλοποίηση ενός φράγματος θα πρέπει να μελετηθούν και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για το σωστό σχεδιασμό του, μιας και προκύπτουν μετέπειτα σοβαρές περιβαλλοντικές μεταβολές. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι εν λόγω περιβαλλοντικές μεταβολές, μετά την υλοποίηση ενός φράγματος:

- Το υδατικό καθεστώς στην περιοχή του φράγματος μπορεί να προκαλέσει καταστροφή της γύρω φύσης με απρόβλεπτες πλυμμήρες. Η αύξηση στην εξάτμιση του νερού οφείλεται λόγω της αύξησης της επιφάνειας ύδατος της

γύρω περιοχής. Επιπρόσθετα, μπορεί να παρατηρηθούν μικροκλιματικές αλλαγές λόγω της αυξημένης υγρασίας του αέρα και κατ'έπекταση και της θερμοκρασίας του αέρα.

- Η περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο και αλάτι, καθώς και η θερμοκρασία του, μπορεί να μεταβληθεί λόγω του ταμιευτήρα με αποτέλεσμα να δημιουργήσει αλλαγές στην πανίδα της γύρω περιοχής.
- Πολλές τοξικές ουσίες (τοξικά μέταλλα, φυτοφάρμακα κτλ.) συσσωρεύονται στο ποτάμιο οικοσύστημα με αποτέλεσμα να επηρεάζει άμεσα πολλούς υδρόβιους οργανισμούς και έμμεσα την τροφική αλυσίδα.
- Η λειτουργία των φραγμάτων δημιουργεί εκτεταμένες αλλαγές στην τοπική υδρολογία και γενικά στα ρέοντα ύδατα. Μπορεί να προκληθούν μεταβολές του οικοσυστήματος της περιοχής, καθώς και πρόκληση διαβρώσεων στο έδαφος. Η τεχνική φραγή των ποταμών τροποποιεί τη θερμική στρωματοποίηση, αυξάνει τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής του νερού και μειώνει τη θολερότητα.
- Η συσσώρευση των φερτών υλών εντός του ταμιευτήρα, καθώς και η συγκράτηση του υδάτινου όγκου, εμποδίζουν την αναπαραγωγή των ψαριών και επηρεάζουν αρνητικά την πανίδα της συγκεκριμένης περιοχής.
- Δημιουργούνται εμπόδια στη διέλευση ζώων. Η διέλευση των ψαριών διαμέσου των υδατοφρακτών, των στροβίλων και των αντλιών μπορεί να αποβεί μοιραία και να μειώνεται έτσι σταδιακά ο πληθυσμός τους. Ακόμα, η αποξήρανση των βάλτων και άλλων συσσωρεύσεων ύδατος, έχουν αρνητικές επιπτώσεις στα ζώα της περιοχής.
- Σε πολλές περιπτώσεις, τα φράγματα μπορεί να προκαλέσουν αύξηση των ασθενειών, λόγω της ύπαρξης στάσιμων νερών. Τέτοιου είδους ασθένειες είναι η ελονοσία, ο τυφοειδής πυρετός και η χολέρα.
- Η υλοποίηση του ταμιευτήρα μπορεί να καλύψει μέρη με γεωλογική, τοπογραφική και αισθητική αξία, ενώ παράλληλα μπορεί να καλυφθούν και χώροι αρχαιολογικής ή ιστορικής σημασίας. [3]

2.2 Ταμιευτήρας

Σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό, η κατασκευή του φράγματος έχει σαν στόχο τη δημιουργία δεξαμενής, στην οποία συγκεντρώνεται ποσότητα νερού και έπειτα μέσω του αγωγού προσαγωγής διοχετεύεται στον υδροστρόβιλο. Η δημιουργία της συγκεκριμένης δεξαμενής, ονομάζεται ταμιευτήρας. Όταν ο ταμιευτήρας έχει μεγάλη χωρητικότητα, τότε η παραγωγή της ενέργειας γίνεται ως ένα ποσοστό ανεξάρτητη από τη φυσική παροχή. Ωστόσο, ένας μεγάλος ταμιευτήρας επιδεικνύει και μεγάλο φράγμα, που και αυτό συνεπάγεται σε υψηλό κόστος. Γενικά, ο ρόλος των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών είναι η κάλυψη των αιχμών ισχύος των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών δικτύων. Ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός δεν παρέχει αυτή τη δυνατότητα. Έτσι η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων εξυπηρετεί μόνο τους μεγάλους

υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Αντίθετα, στους μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, ο ταμιευτήρας χρησιμοποιείται μόνο και μόνο για τις ανάγκες της υδροληψίας. [1]

Η κατασκευή ενός φράγματος σε μια διατομή υδατορεύματος, δημιουργεί τη συσσώρευση φερτών υλικών (χαλίκια, άμμο κτλ.) με αποτέλεσμα να συγκεντρώνονται στον πυθμένα του ταμιευτήρα. Ο όγκος των φερτών υλικών που εγκαθίστανται στον πυθμένα του ταμιευτήρα μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα κατά τη λειτουργία της υδροληψίας με αποτέλεσμα να οδηγήσει στο σταμάτημα των υδροστροβίλων. Το συγκεκριμένο πρόβλημα δημιουργείται συνήθως στους μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς, εξαιτίας της μικρής χωρητικότητας του ταμιευτήρα που διαθέτουν. Έτσι, η ετήσια ποσότητα των φερτών υλικών καλύπτει σχεδόν ολόκληρη τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Για αυτό το λόγο, προβλέπεται τακτική επίβλεψη και καθαρισμός του πυθμένα είτε με μηχανικά μέσα, είτε μέσω βάνας εκκένωσης του ταμιευτήρα. [1]

2.3 Σύστημα προσαγωγής

Το σημαντικότερο κομμάτι του συστήματος προσαγωγής είναι ο αγωγός, μέσω του οποίου μεταφέρεται η παροχή στον υδροστρόβιλο. Οι διαστάσεις του αγωγού, καθώς και το υλικό κατασκευής του, επιλέγονται με αυστηρά τεχνοοικονομικά κριτήρια. Το μήκος του μπορεί να είναι από μερικές εκατοντάδες μέτρα έως και μερικά χιλιόμετρα. Η όδευση του αγωγού, εξαρτάται από τη θέση της δεξαμενής φόρτισης και του σταθμού παραγωγής, καθώς και την υφιστάμενη τοπογραφία και τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Συνήθως, οι αγωγοί προσαγωγής είναι κατασκευασμένοι είτε από χάλυβα, είτε από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε από ενισχυμένο πλαστικό. Ωστόσο, κάποιες φορές κατασκευάζονται και σαν σήραγγες σε βράχους (άοπλο σκυρόδεμα). Η επιλογή του κατάλληλου υλικού καθορίζεται με βάση τις κατασκευαστικές δυνατότητες, τα διατιθεμένα μέσα, τις αναμενόμενες καταπονήσεις και τις επί τόπου συνθήκες εγκατάστασης. Απαραίτητα κριτήρια για την επιλογή διαμέτρου είναι η διατήρηση της ταχύτητας του νερού μεταξύ 1 έως 5 m/s , καθώς και ο περιορισμός των υδραυλικών απωλειών. Επιπρόσθετα για τη μείωση του κόστους μεταφοράς των αγωγών, πολλές φορές επιλέγονται δύο ή και τρεις διαφορετικοί τύποι διαμέτρων, ούτως ώστε οι μικρότεροι σωλήνες να τοποθετούνται μέσα στους μεγαλύτερους κατά τη διάρκεια της μεταφοράς (nesting).

Η εγκατάσταση του αγωγού γίνεται είτε επιφανειακή, είτε υπόγεια. Συνήθως, επιλέγεται η δεύτερη επιλογή για λόγους προστασίας. Ο αγωγός τοποθετείται σε όρυγμα και έπειτα επανεπιχώνεται για λόγους προστασίας από φυσικά ή ανθρώπινα αίτια. Επιπλέον, μαζί με τον αγωγό προσαγωγής τοποθετούνται και οι απαραίτητες καλωδιώσεις για τον τηλε – έλεγχο των θυροφραγμάτων της υδροληψίας από το σταθμό παραγωγής.

Επιπρόσθετα, στα τεχνικά έργα του αγωγού συμπεριλαμβάνονται οι βαλβίδες εκκένωσης φερτών και οι εξαεριστικές βαλβίδες στα χαμηλά και ψηλά σημεία της

χάραξης, αντίστοιχα. Ακόμα, χρειάζεται και το σύστημα αντιπληγματικής προστασίας, το οποίο είναι απαραίτητο σε περιπτώσεις απότομης εκκίνησης ή παύσης της λειτουργίας για την αποφυγή υδραυλικών πληγμάτων. Επίσης, η ένταση των πληγμάτων εξαρτάται από το υλικό, τη διατομή και το μήκος του αγωγού, καθώς και από τον τύπο του υδροστροβίλου. Για τον περιορισμό των πληγμάτων, κατασκευάζονται οι πύργοι ανάπλασης, οι δεξαμενές και οι βαλβίδες ανακούφισης.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ευστάθεια του αγωγού, λόγω των μεγάλων πιέσεων (ωστικές δυνάμεις) που αναπτύσσονται στα τμήματα που υπάρχουν καμπύλες ή συστολές, κατασκευάζονται σώματα αγκύρωσης (thrust blocks) τα οποία μεταφέρουν αυτές τις δυνάμεις (thrust forces) στο έδαφος. Ωστόσο, το μέγεθος των σωμάτων αγκύρωσης εξαρτάται από τη διάμετρο του αγωγού, την εσωτερική πίεση σχεδιασμού και τις υφιστάμενες εδαφικές συνθήκες.

2.4 Δεξαμενή φόρτισης

Η δεξαμενή φόρτισης είναι σχεδιασμένη για να εξασφαλίζει τις κατάλληλες υδραυλικές συνθήκες εισόδου στον υπό πίεση αγωγό προσαγωγής. Σημαντικό κριτήριο για το σχεδιασμό της δεξαμενής φόρτισης είναι η μη εισροή αέρα στον αγωγό προσαγωγής, διότι μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σπηλαιώσης. Η θέση εγκατάστασης της δεξαμενής επιλέγεται με γνώμονα ότι το μήκος του αγωγού πτώσεως να είναι το ελάχιστο δυνατό, έτσι ώστε να μειώνεται και το κόστος κατασκευής του. Επιπρόσθετα, στην είσοδο της δεξαμενής τοποθετείται θυρόφραγμα για τις ανάγκες συντήρησης, ενώ στην έξοδο εγκαθίσταται μεταλλική σχάρα για την συγκράτηση των τυχών επιπλέον σωματιδίων.

Κεφάλαιο 3

Ηλεκτρομηχανολογικά έργα

3.1 Σταθμός παραγωγής

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο σταθμός παραγωγής είναι στην ουσία ένας υδροηλεκτρικός σταθμός. Σκοπός του υδροηλεκτρικού σταθμού είναι να παράγει ηλεκτρική ή μηχανική ενέργεια, μετατρέποντας τη διαθέσιμη δύναμη του ρέοντος νερού, είτε αυτό είναι ποτάμι, κανάλι ή ρεύμα. Ο βασικός στόχος ενός σταθμού υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι να μετατρέπει την πιθανή ενέργεια μιας μάζας νερού που ρέει σε ένα ρεύμα με μια ορισμένη πτώση, η οποία λέγεται υδατοπτώση (head), σε ηλεκτρική στο χαμηλότερο όριο του σταθμού, που βρίσκεται το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπλέον, στεγάζει τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του έργου. Ωστόσο, εκτός αυτού, υπάρχει και ο βοηθητικός εξοπλισμός που περιλαμβάνει εργαλεία επισκευών, γερανογέφυρα κ.α.

3.2 Υδροστρόβιλοι

Ο βασικότερος παράγοντας ενός υδροηλεκτρικού έργου είναι ο υδροστρόβιλος. Οι υδροστρόβιλοι είναι μηχανές, οι οποίες μετατρέπουν τη δυναμική ενέργεια του νερού, σε κινητική ενέργεια ενός άξονα. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, εκτός ειδικών περιπτώσεων, το διακινούμενο υγρό είναι φυσικό νερό και η ενέργεια την οποία διαθέτει είναι η δυναμική ενέργεια που εκφράζεται από τη στάθμη του ως προς τη στάθμη της θάλασσας. Η επιλογή του γίνεται με βάση το ύψος, την παροχή της υδατόπτωσης και τον υπολογιζόμενο αριθμό στροφών. Οι κύριοι τύποι των υδροστροβίλων είναι δύο:

- **Υδροστρόβιλος Δράσης (impulse turbines)**: Είναι μερικής προσβολής και σε κάθε χρονική στιγμή, τμήμα μόνο της πτερωτής συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή. Ο μόνος τύπος υδροστροβίλου δράσεως που έχει επικρατήσει, είναι ο υδροστρόβιλος τύπου Pelton, ο οποίος εφευρέθηκε το 1889. Αυτοί οι τύποι υδροστροβίλων χρησιμοποιούνται κυρίως για μεγάλα ύψη πτώσεως. Η απόδοσή τους είναι της τάξεως του 90% (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Υδροστρόβιλος δράσεως, τύπου Pelton

- **Υδροστρόβιλος Ανάδρασης (reaction turbines)**: Είναι ολικής προσβολής, δηλαδή ολόκληρη η περωτή λειτουργεί αξονοσυμμετρικά. Έχουν επικρατήσει δύο τύποι υδροστροβίλων αντιδράσεως, τύπου Francis και τύπου Kaplan.

Ο δρομέας **Francis** χρησιμοποιείται για μεσαίες τιμές υδραυλικού φορτίου (10 - 150 m) και αποδίδει καλύτερα όταν η ταχύτητα του νερού είναι παραπλήσια με αυτήν των πτερυγίων του (Εικόνα 14).



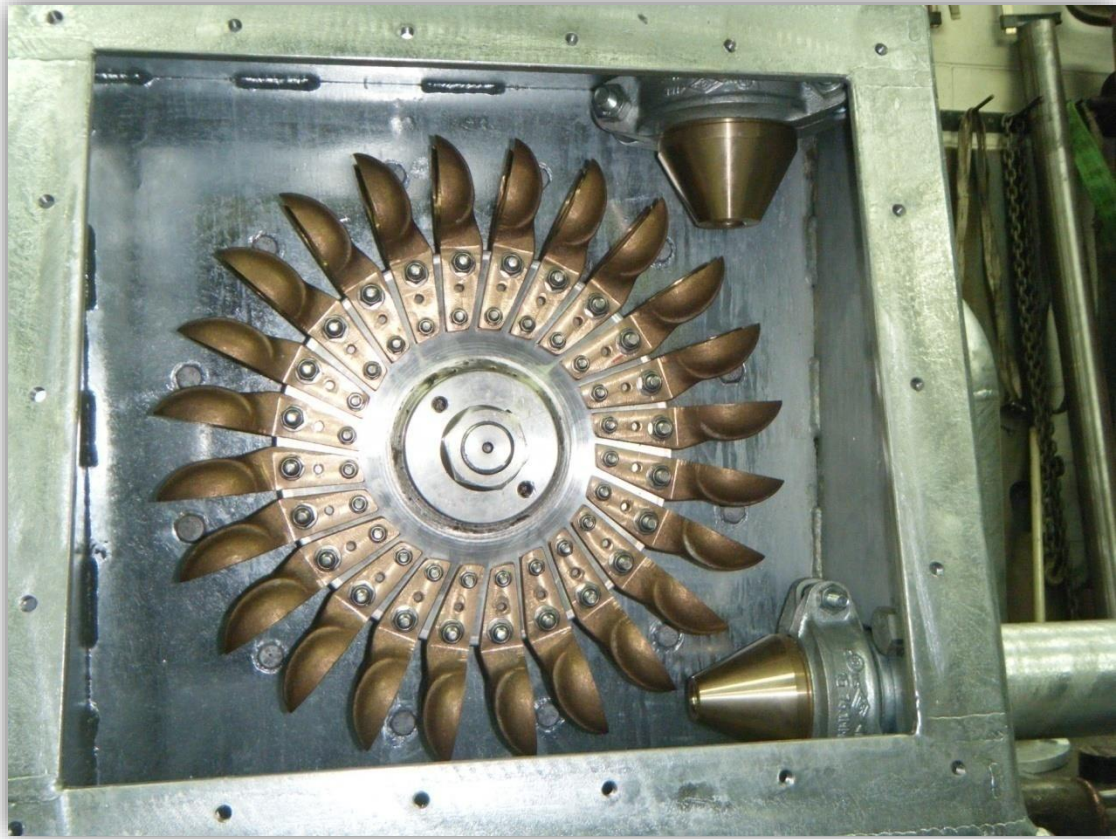
Εικόνα 14: Υδροστρόβιλος ανάδρασης, τύπου Francis

Ο δρομέας *Kaplan* χρησιμοποιείται όταν το ύψος της υδατόπτωσης είναι χαμηλό ($H < 15 \text{ m}$), αλλά η παροχή μεγάλη (Εικόνα 15).

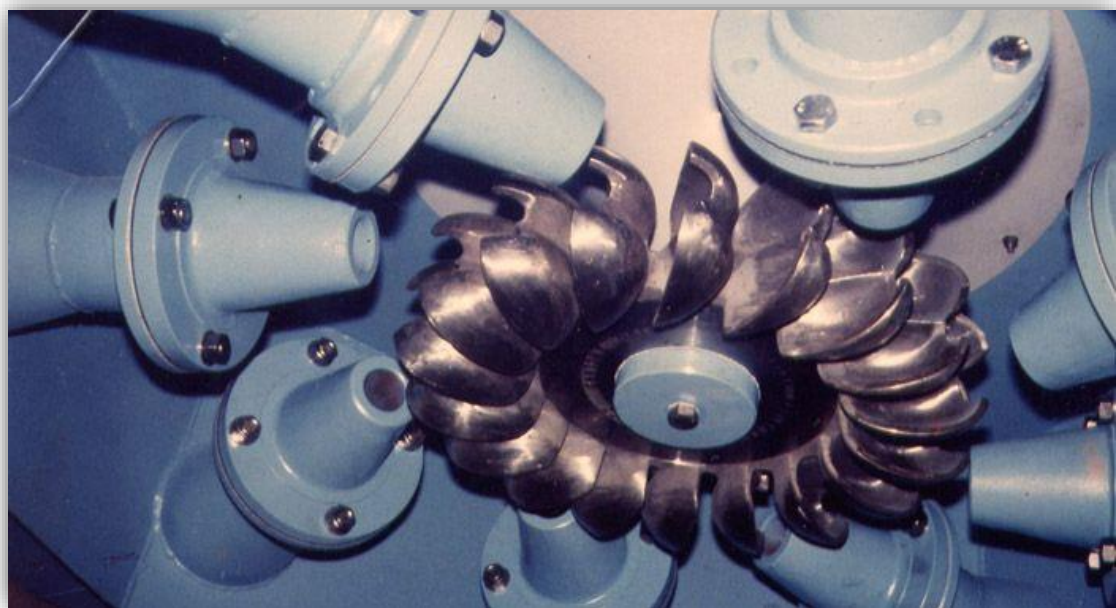


Εικόνα 15: Υδροστρόβιλος ανάδρασης, τύπου Kaplan

Στον κατασκευαστικό τομέα, οι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε “υδροστρόβιλοι οριζοντίου άξονα” και “κατακόρυφου άξονα” (Εικόνα 16, Εικόνα 17).



Εικόνα 16: Υδροστρόβιλος οριζοντίου άξονα, τύπου Pelton



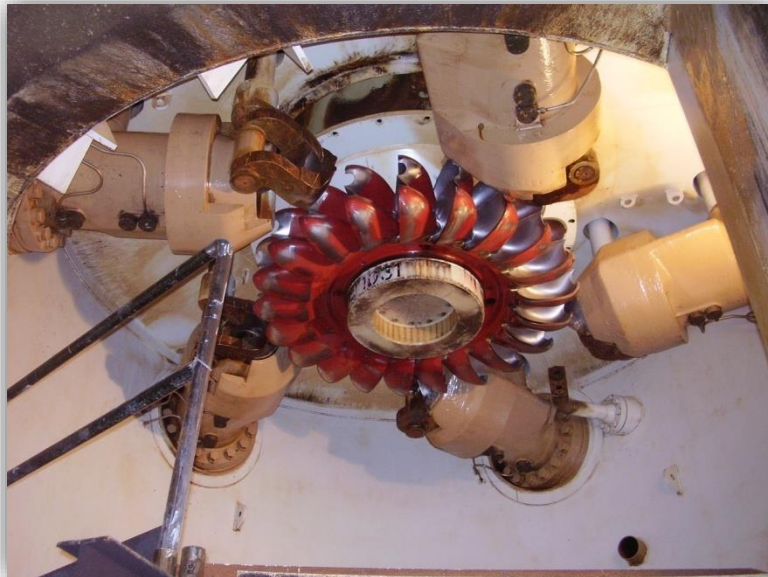
Εικόνα 17: Υδροστρόβιλος κάθετου άξονα, τύπου Pelton

Πιο αναλυτικά, οι υδροστρόβιλοι δράσης, είναι μερικής προσβολής. Δηλαδή, δημιουργείται ελεύθερη δέσμη νερού που προσπίπτει στο σύστημα των πτερυγίων. Μετατρέπει όλη τη διαθέσιμη ενέργεια σε κινητική, προτού το νερό προσπέσει στα σκαφίδια του δρομέα, και προσπίπτει μόνο επί του τμήματος της περιφέρειας του δρομέα.

Σε περιπτώσεις πολύ υψηλής ενέργειας ανά μονάδα μάζας του ρευστού και σε συνδιασμό με μικρές σχετικά παροχές, είναι προτιμότερο για διάφορους οικονομοτεχνικούς λόγους η διαμόρφωση των παρακάτω εικονιζόμενων στροβίλων (Εικόνα 18, Εικόνα 19).



Εικόνα 18: Υδροστρόβιλος τύπου Pelton με ένα ακροφύσιο



Εικόνα 19: Υδροστρόβιλος τύπου Pelton με πέντε ακροφύσια

Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους είναι προτιμότερη η διαμόρφωση στροβίλων μερικής προσβολής είναι:

Όταν η τιμή της στατικής πίεσης είναι πολύ υψηλή, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να γίνεται προβληματική η αντοχή του τμήματος εισόδου εάν αυτό έχει τη μορφή σπειροειδούς κελύφους (περίπτωση υδροστροβίλου Francis) το οποίο αποτελεί και το ογκωδέστερο τμήμα της μηχανής. Στην περίπτωση του υδροστροβίλου Pelton, μόνο το τμήμα του ακροφυσίου τροφοδοσίας (που είναι μικρό σε μέγεθος) υπόκειται σε σημαντική τιμή της στατικής πίεσης.

Επιπρόσθετα, όταν η ταχύτητα της ροής είναι πολύ υψηλή, το οποίο σε συνδιασμό με μικρές παροχές (άρα μικρές διατομές) έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση των απωλειών λόγω τριβής στο εσωτερικό της μηχανής, άρα και συνεπώς τη μείωση του βαθμού απόδοσης.

Οι υδροστροβίλοι Pelton, κατασκευάζονται για πολύ μικρές ισχύες (της τάξεως των kW) έως πολύ μεγάλες (της τάξεως των εκατοντάδων MW).

Κατασκευαστικά, το τμήμα εισόδου του υδροστροβίλου Pelton, αποτελείται από ένα ή περισσότερα ακροφύσια τροφοδοσίας, σχηματίζοντας το καθένα δέσμη κυκλικής διατομής. Κάθε δέσμη που προσπίπτει στο δρομέα, δίνει σε αυτόν μια ώθηση, κατά την περιφεριακή διεύθυνση, δημιουργώντας την κινητήρια ροπή. Επίσης, ο δρομέας είναι έτσι τοποθετημένος ώστε η δέσμη του νερού που προσπίπτει σε αυτόν να πέφτει με τη βαρύτητα στην ελεύθερη επιφάνεια της διώρυγας φυγής.

Ο άξονας του δρομέα μπορεί να έχει κατακόρυφη ή οριζόντια διάταξη. Στους υδροστροβίλους Pelton με περισσότερες δέσμες, προτιμάται η κατακόρυφη διάταξη του άξονα, έτσι ώστε να μην παρενοχλείται η λειτουργία των ακροφυσίων από τα απόνερα των σκαφιδίων.

3.3 Τα κύρια μέρη των υδροστροβίλων δράσεως

- **Ο μηχανισμός ελέγχου παροχής:** Αποτελείται από μία βελόνη, η οποία βρίσκεται στο άκρο ενός μεταλλικού εμβόλου και μπορεί να ολισθαίνει εντός ενός ακροφυσίου. Όταν μετακινείται η βελόνη, μεταβάλλεται η διατομή διέλευσης της παροχής, δηλαδή η διάμετρος της δέσμης, άρα κατά συνέπεια μεταβάλλεται αντίστοιχα και η παροχή. Η κατασκευή του ακροφυσίου είναι πολύ στιβαρή λόγω των μεγάλων ταχυτήτων στη διατομή εξόδου του ακροφυσίου και της μεγάλης τιμής της στατικής πίεσης. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση γρήγορης απόρριψης του φορτίου, υπάρχει όνυχας εκτροπής της δέσμης (μεταλλική επιφάνεια), αμέσως μετά τη διατομή εξόδου του ακροφυσίου (αυτό είναι ο δεύτερος μηχανισμός ελέγχου παροχής). Ο όνυχας εκτρέπει τη δέσμη η οποία δεν προσπίπτει πλέον στο δρομέα με αποτέλεσμα η παροχή της να μειώνεται (μέσω κλεισίματος της βελόνης).
- **Ο δρομέας και τα σκαφίδια:** Ο δρομέας Pelton αποτελείται από έναν κυκλικό δίσκο που στην περιφέρειά του φέρει σκαφίδια τοποθετημένα συμμετρικά. Τα σκαφίδια κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα, εξαιτίας της διάβρωσης

που υφίστανται από τη ροή και των πολύ ισχυρών δυνάμεων που δέχονται. Ωστόσο, υπάρχει περίπτωση να κατασκευαστεί και ολόσωμος ο δρομέας από ανοξείδωτο χάλυβα (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Ο δρομέας Pelton

Η διάμετρος του δρομέα είναι συναρτήσει του πλήθους και των διαστάσεων των σκαφιδίων. Όμως, το πλήθος των σκαφιδίων κυμαίνεται μεταξύ 20 με 22. Κάθε σκαφίδιο αποτελείται από δύο ημισφαίρια (κύπελλα), τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με ένα μεταλλικό διαχωριστικό (splitter). Η δέσμη του νερού προσκρούει στο μεταλλικό διαχωριστικό και μοιράζεται σε δύο τμήματα (Εικόνα 21).



Εικόνα 21: Μεταλλικό διαχωριστικό σκαφίδιο

Τα ημισφαίρια είναι με τέτοιο τρόπο κατασκευασμένα, ώστε οι δέσμες του νερού να εξέρχονται από τα σκαφίδια με τη μεγαλύτερη δυνατή μεταβολή της κατεύθυνσης τους, η οποία είναι της τάξης των 165° . Οι υπόλοιπες 15° αποτρέπουν τις δέσμες που εξέρχονται να προσκρούσουν στην πίσω επιφάνεια του αμέσως επόμενου σκαφιδίου. Επιπλέον, για λόγους εξισορροπήσεως των δυνάμεων που αναπτύσσονται στα κύπελλα, γίνεται χρήση διπλών από αυτών. Για την ανάπτυξη μεγαλύτερων ταχυτήτων, άρα και ισχύος, υπάρχουν παραπάνω δέσμες οι οποίες προσπίπτουν στο δρομέα.

- **Το περίβλημα:** Το περίβλημα του δρομέα δεν συμμετέχει στην υδραυλική μηχανική συμπεριφορά του νερού, αλλά αποτρέπει το νερό να χύνεται στον περιβάλλοντα χώρο. Ακόμα, προστατεύει από τυχόν ατυχήματα και περιορίζει το νερό να κατευθυνθεί στη διώρυγα φυγής (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: Το περίβλημα του δρομέα

- **Υδραυλικό φρένο:** Σε περίπτωση που ο υδροστρόβιλος Pelton χρειαστεί να σταματήσει να παράγει ισχύ, η βαλβίδα εισόδου θα κλείσει και έτσι δεν θα υπάρχει δέσμη νερού. Όμως, ο δρομέας θα διατηρήσει για κάποιο χρονικό διάστημα την κεκτημένη ταχύτητά του. Έτσι, το υδραυλικό φρένο τον βοηθάει να σταματήσει να περιστρέφεται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το φρένο αυτό, αποτελείται από μία δέσμη νερού, η οποία εξέρχεται από ένα μικρό ακροφύσιο και προσκρούει στην πίσω επιφάνεια των σκαφιδίων, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η περιστροφική τους κίνηση.
- **Αυτόματος έλεγχος υδροστροβίλου Pelton:** Για τη σωστή λειτουργία ενός υδροηλεκτρικού σταθμού, απαιτείται η έναρξη και η παύση της λειτουργίας της μονάδας, αλλά και η μεταβολή της ισχύος σύμφωνα με το φορτίο, την παροχή ή το ύψος της πτώσεως. Όλα αυτά, πραγματοποιούνται με τη βοήθεια ενός συστήματος ελέγχου. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται με τη διατήρηση της σταθερής περιστροφικής κίνησης του δρομέα με τιμή ίση με τη σχεδιαστική. Επιπρόσθετα, ο έλεγχος προστατεύει τη μηχανή με άμεση διακοπή λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης του συστήματος λίπανσης αυτής ή υπερθέρμανσης των κινούμενων μελών της. Επίσης, περιλαμβάνει άριστο έλεγχο κατανομής φορτίου.

Εν κατακλείδι, οι υδροστρόβιλοι Pelton, χωρίζονται σε υδροστρόβιλους με κατακόρυφη άτρακτο και σε υδροστρόβιλους με οριζόντια άτρακτο. Οι υδροστρόβιλοι με κατακόρυφη άτρακτο, χρησιμοποιούνται για λόγους οικονομίας του χώρου και για μεγάλη ισχύ πτώσεως. Ο αριθμός των δεσμών εκροής είναι έξι ανά δρομέα. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ταχύτητα στο δρομέα. Αντίθετα, στους υδροστρόβιλους με οριζόντια άτρακτο, ο μέγιστος αριθμός των δεσμών εκροής είναι δύο ανά δρομέα. Και συνήθως έχουν δύο δρομείς που βρίσκονται στις δύο πλευρές της γεννήτριας.

3.4 Τα κύρια μέρη των υδροστρόβιλων ανάδρασης

- **Υδροστρόβιλοι ανάδρασης (reaction turbines)**: Ο σχεδιασμός τους, επιτρέπει το νερό να περνάει συνεχώς μέσα από ολόκληρη την περιφέρεια του υδροστρόβιλου και να εξέρχεται αξονικά. Η ροή γίνεται διαμέσου της πτερωτής με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης και αυτός είναι ο λόγος που οι πτερωτές λειτουργούν ομοιόμορφα κατά την περιφερειακή διεύθυνση. Έτσι, το ρευστό παρέχει μια σταθερή ώθηση στο δρομέα.
- **Υδροστρόβιλος μικτής ροής (Francis)**: Ο συγκεκριμένος τύπος υδροστρόβιλου αναπτύχθηκε το 1849 από τον Αμερικανό μηχανικό J. B. Francis. Η απόδοση λειτουργίας του, μπορεί να φτάσει και το 90%. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται είναι τα εξής:
- **Σπειροειδές κέλυφος**: Με σκοπό την ομαλή λειτουργία και τροφοδοσία του υδροστρόβιλου, το νερό εξέρχεται από τον αγωγό προσαγωγής και εισέρχεται εντός του σπειροειδούς κελύφους, το οποίο περιβάλλει πλήρως το δρομέα. Η διατομή του σπειροειδούς κελύφους μειώνεται κατά μήκος της ροής για να διατηρείται πιο σταθερή η ταχύτητα του νερού (Εικόνα 23).



Εικόνα 23: Σπειροειδές κέλυφος υδροστροβίλου Francis

- **Οδηγά πτερύγια:** Εσωτερικά του σπειροειδούς κελύφους, το νερό περνάει μέσα από τα ακίνητα (οδηγά) πτερύγια που είναι προσαρμοσμένα στην περιφέρεια του δρομέα. Το κάθε πτερύγιο περιστρέφεται περί του άξονά του. Εξαιτίας αυτής της περιστροφικής κίνησης, ελέγχεται η εισερχόμενη παροχή εντός των πτερυγίων του δρομέα με αποτέλεσμα να ελέγχεται και η παραγώμενη ισχύς (Εικόνα 24).



Εικόνα 24: Τα οδηγά πτερύγια ενός υδροστροβίλου Francis

- **Δρομέας:** Αποτελείται από έναν αριθμό καμπυλώμενων πτερυγίων σε συμμετρική δομή και είναι προσαρμοσμένα επί της περιφέρειας. Εκτείνονται μεταξύ της πλήμνης και της στεφάνης στην οποία είναι πακτωμένα. Έτσι, αυξάνεται η μηχανική στιβαρότητα της κατασκευής και η αντοχή στις δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια από τη διερχόμενη ροή. Τα πτερύγια είναι διαμορφωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε το νερό να εισέρχεται στο δρομέα ακτινικά και στο ύψος της εξωτερικής περιφέρειας και να εξέρχεται από αυτόν κατά την αξονική διεύθυνση και στο ύψος της εσωτερικής περιφέρειας (Εικόνα 25).



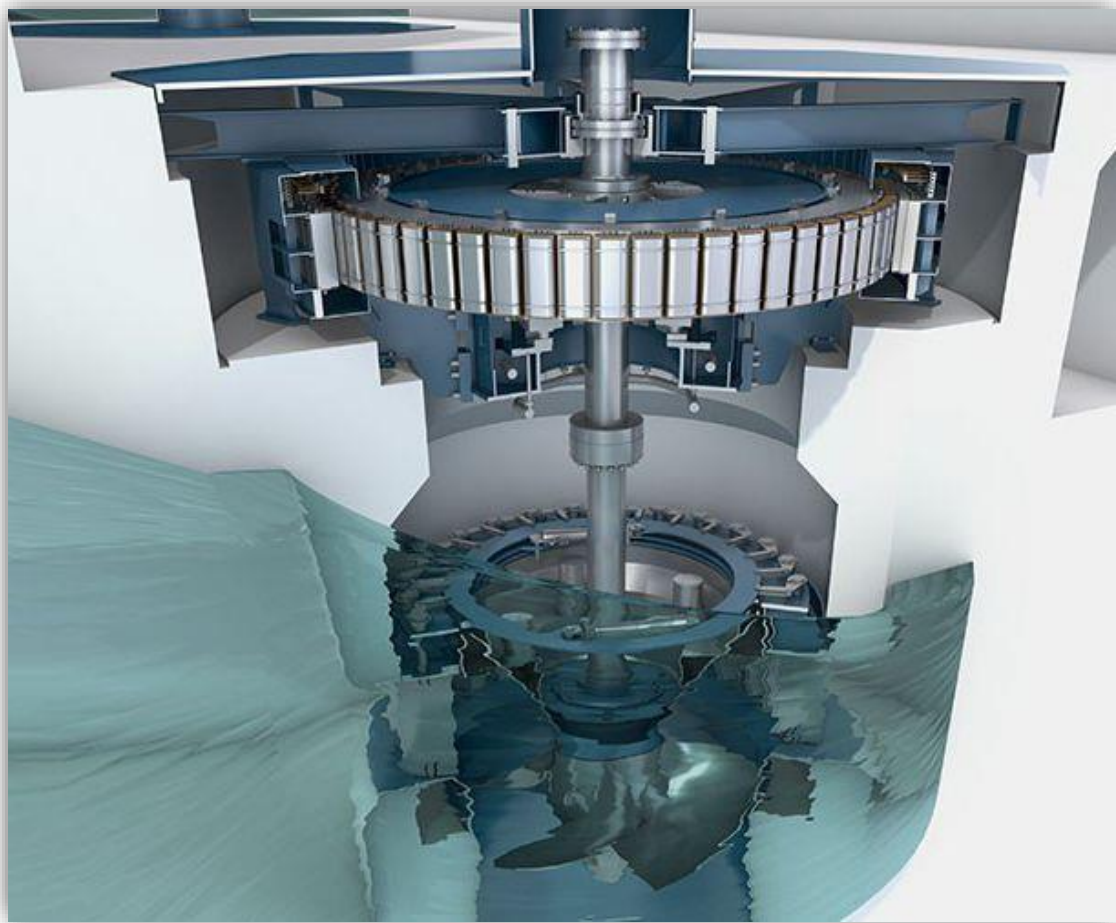
Εικόνα 25: Ο δρομέας ενός υδροστροβίλου Francis

- Αγωγός φυγής: Το νερό βγαίνει μέσα από το δρομέα και αποχωρεί από τον υδροστρόβιλο διαμέσου του αγωγού φυγής. Πρακτικά, η πλειοψηφία των υδροστροβίλων Francis έχουν την άτρακτο σε κατακόρυφη θέση (Εικόνα 26).



Εικόνα 26: Υδροστρόβιλος Francis με κατακόρυφη άτρακτο

- **Υδροστρόβιλος αξονικής ροής (Karlan)**: Ο Αυστρο - Ουγγαρός Viktor Karlan (1876 – 1934) θεωρείται ότι είναι ο εφευρέτης του συγκεκριμένου υδροστρόβιλου. Η απόδοση λειτουργίας του, φτάνει μέχρι και το 90% (Εικόνα 27).



Εικόνα 27: Υδροστρόβιλος ανάδρασης, τύπου Kaplan

Εν κατακλείδι, μεταξύ του δρομέα Francis και του δρομέα Kaplan, υπάρχουν ορισμένες διαφορές, οι οποίες είναι οι εξής:

- Ο δρομέας Francis αποτελείται από 16 έως 24 πτερύγια, που τοποθετούνται συμμετρικά στην περιφέρεια της ατράκτου, ενώ ο δρομέας Kaplan αποτελείται από 4 έως 10 πτερύγια.
- Τα πτερύγια του δρομέα Francis είναι προσαρμοσμένα σε συγκεκριμένη θέση στην περιφέρειά του, χωρίς να μεταβάλλονται, ενώ τα πτερύγια του δρομέα Kaplan μπορούν να μεταβάλλουν τη σχετική τους γωνία ως προς την κύρια ροή για να ελέγχουν τη διατομή του χώρου ροής (το ύψος και η παροχή υφίστανται αυξομειώσεις).

Εκτός από τα παραπάνω, ένας πλήρης υδροστρόβιλος, αποτελείται και από άλλα τμήματα που εξασφαλίζουν την παραλαβή των αναπτυσσόμενων δυνάμεων (ωστικό έδρανο), τη μεταφορά της μηχανικής ισχύος (συμπλέκτες, έδρανα, άτρακτος), τη στεγανότητα με το περιβάλλον (εξωτερικό κέλυφος κτλ.) και άλλα.

3.5 Γεννήτρια

Η γεννήτρια, είναι μια μηχανή που βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής που ανακάλυψε ο διάσημος άγγλος φυσικός Μιχαήλ Φαραντέϋ, το 1831. Η γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, σύμφωνα με το νόμο της φυσικής, κατά τον οποίο, όταν ένας αγωγός τέμνει ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, τότε αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή. Το ίδιο φαινόμενο συμβαίνει και σε κινούμενο αγωγό που τέμνει ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο. Η γεννήτρια αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Το ακίνητο μέρος που ονομάζεται στάτης, και το κινητό που ονομάζεται ρότορας. Έτσι, γυρίζοντας ο ρότορας μέσα στο στάτη, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τριφασικές σύγχρονες γεννήτριες των 50 ή 60 Hz. Η συχνότητα της παραγόμενης τάσης, καθώς και ο αριθμός των στροφών, δίνονται από την παρακάτω σχέση:

$$f = \frac{p \cdot 60}{n}$$

όπου:

f = η συχνότητα (50 Hz)

p = ο αριθμός ζευγών των πόλων της ηλεκτρικής μηχανής

n = ο αριθμός των στροφών ανά λεπτό (RPM)

3.5.1 Γεννήτρια E.P.

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις **ασύγχρονες** και τις **σύγχρονες ή εναλλακτικές**.

Οι ασύγχρονες γεννήτριες E.P. είναι μηχανές όπου η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγουν είναι ανεξάρτητη από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα και η διέγερση γίνεται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι γεννήτριες αυτές χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις. [1]

Οι σύγχρονες γεννήτριες E.P. είναι μηχανές όπου η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγουν είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα, και για αυτό λέγεται “σύγχρονη” ταχύτητα (n_s). Η διέγερση γίνεται με συνεχές ρεύμα. [1]

Η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

όπου:

f = η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος, στο Εθνικό μας δίκτυο είναι f = 50 Hz

p = ο αριθμός ζευγών των πόλων της ηλεκτρικής μηχανής

Οι σύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος εγκαθίστανται στους Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας για την παραγωγή του εναλλασσόμενου ρεύματος του δικτύου. [1]

3.5.2 Γεννήτρια Σ.Ρ.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η γεννήτρια είναι μια μηχανή που μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ → **ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

- **Λειτουργία χωρίς φορτίο (εν κενώ)**, είναι η λειτουργία της γεννήτριας κατά την οποία η παραγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) παραμένει στο επαγωγικό τύμπανο. Δηλαδή, το κύκλωμα είναι ανοικτό και δεν κυκλοφορεί το ρεύμα μέσα από τα τυλίγματα της μηχανής. Η ΗΕΔ, που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή του επαγωγικού τυμπάνου μέσα στο μαγνητικό πεδίο της γεννήτριας, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$E = (P \cdot S \cdot W / a) \cdot \Phi \cdot n$$

όπου:

E = η παραγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ)

P = ο αριθμός ζευγών των πόλων της ηλεκτρικής μηχανής

S = ο αριθμός των σπειρών

W = ο αριθμός των σπειρών του κάθε στοιχείου

a = ο αριθμός ζευγών των παράλληλων κλάδων

Φ = η μαγνητική ροή

n = η ταχύτητα περιστροφής (στροφές / δευτ.)

- **Λειτουργία με φορτίο**, είναι η λειτουργία της γεννήτριας κατά την οποία η παραγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) από το επαγωγικό τύμπανο

κυκλοφορεί σε όλα τα τυλίγματα της μηχανής. Επιπλέον, αφού το κύκλωμα είναι κλειστό, κυκλοφορεί και το ρεύμα της τροφοδοσίας για να γίνει η απαραίτητη κατανάλωση που χρειάζεται για να παραχθεί έργο. Έτσι, οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, κατασκευάζονται για μικρότερο αριθμό στροφών σε σύγκριση με τους ατμοηλεκτρικούς. Στη συνέχεια απεικονίζεται ένας πίνακας που παρουσιάζει τον αριθμό των πόλων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής (Πίνακας 1). [1]

Ζεύγη πόλων (p)	Στροφές ανά λεπτό (n)
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
5	600
6	500
7	428.571
8	375
10	300
12	250
14	214.285
16	187.5
18	166.666
20	150
24	125
28	107.142
32	93.75
36	83.333
40	75

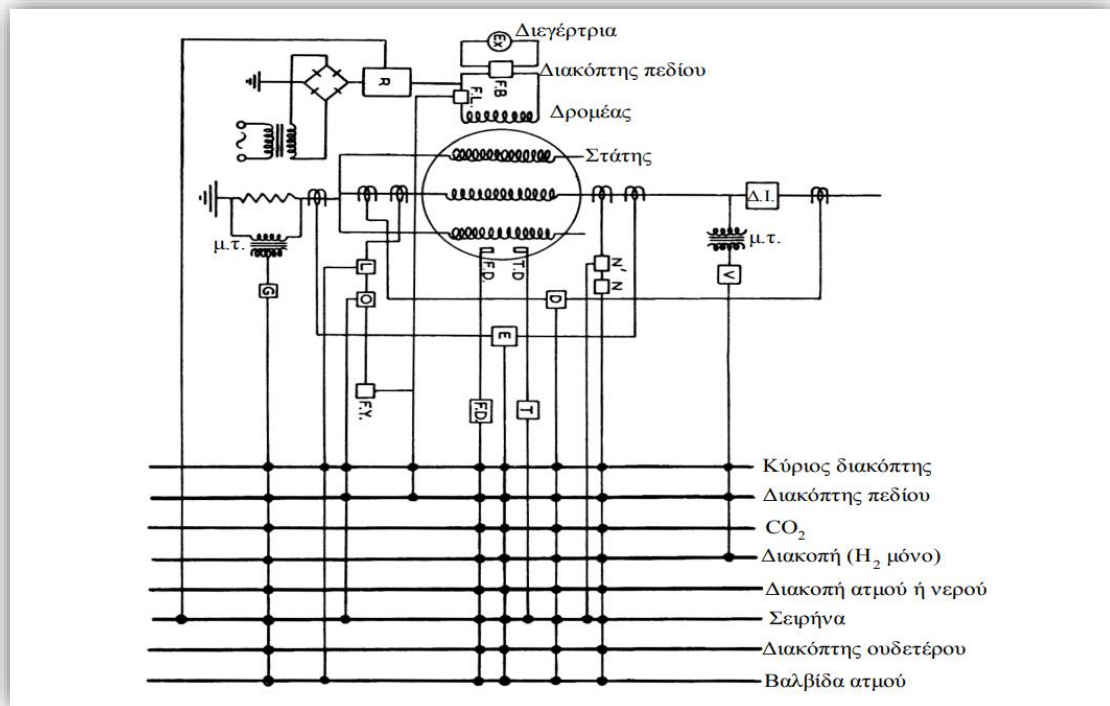
Πίνακας 1: Ο αριθμός ζευγών των πόλων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής

Κατασκευαστικά, οι γεννήτριες των Υ.Η.Σ. έχουν μικρό μήκος και μεγάλη διάμετρο. Όσον αφορά τη ψύξη, στις μικρές γεννήτριες, ένας ανεμιστήρας στέλνει αέρα στα τυλίγματα και τα ψύχει. Στις μεγάλες γεννήτριες είναι λίγο πιο περίπλοκος ο τρόπος ψύξης. Χρησιμοποιείται υδρογόνο ως ψυκτικό μέσο για καλύτερη και πιο αποτελεσματική ψύξη σε σχέση με τον αέρα. Το υδρογόνο ψύχεται με το πέρασμα του πάνω από σωλήνες μέσω των οποίων το νερό ψύξης κυκλοφορεί και έτσι δημιουργείται ο εξαερισμός της γεννήτριας. Επιπρόσθετα, τα υγρά ψύξης χρησιμοποιούνται για τους στάτες των γεννητριών και τους ρότορες. [1]

3.5.3 Προστασία γεννήτριας

- Οι συνήθεις εξωτερικοί κίνδυνοι για τη γεννήτρια και το δρομέα είναι οι παρακάτω:
 - Όταν η γεννήτρια χάσει το φορτίο της, τότε επιταχύνεται με αποτέλεσμα να υπάρξει ανύψωση της τάσης των ακροδεκτών και κατ'επέκταση και αύξηση των στροφών.
 - Κάποιες φορές η γεννήτρια φθάνει σε κατάσταση να λειτουργεί σαν κινητήρας. Αυτό συμβαίνει λόγω της πτώσης του στροβίλου.
 - Η υπερφόρτιση με βραχυκυκλώματα και υπερεντάσεις στο δίκτυο, δημιουργούν τόξα υψηλής θερμοκρασίας και έχει συνήθως καταστροφικά αποτελέσματα τόσο στο στάτη, όσο και στο δρομέα.
 - Η ασύμμετρη φόρτιση, προκαλεί υπερθέρμανση στα διάφορα κατασκευαστικά μέρη του δρομέα με αποτέλεσμα να εξασθενούν οι σφήνες και τα δακτυλίδια συγκράτησης.

- Τα πιο συνηθισμένα εσωτερικά σφάλματα της γεννήτριας είναι τα εξής:
 - Εσωτερικά βραχυκυκλώματα δύο σπειρών σε μια φάση του τυλίγματος του στάτη.
 - Σφάλμα μόνωσης του τυλίγματος του δρομέα, λόγω κακής ροής της ψύξης, είτε λόγω υπερέντασης ή και βραχυκυκλώματος.
 - Τα βραχυκυκλώματα μεταξύ των τυλιγμάτων και του στάτη, μπορούν να λιώσουν και να συγκολληθούν μεταξύ τους.
 - Σφάλμα μόνωσης ενός τυλίγματος ως προς το σίδηρο του στάτη, οφείλεται συνήθως σε κακή ψύξη του στάτη (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Γενικό διάγραμμα προστασίας της γεννήτριας

3.6 Μετασχηματιστές

Γενικά

Ο μετασχηματιστής είναι μια ηλεκτρική μηχανή που μετατρέπει την εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός επιπέδου τάσης, σε μια διαφορετικού επιπέδου εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια, μέσω της επίδρασης ενός μαγνητικού πεδίου. Υπάρχουν οι μετασχηματιστές ανύψωσης που ανυψώνουν την τάση στο δευτερεύον τύλιγμα, και οι μετασχηματιστές υποβιβασμού που υποβιβάζουν την τάση, αντίστοιχα. Οι Μ/Σ συγκαταλέγονται στις πιο αποδοτικές ηλεκτρικές μηχανές με απόδοση ισχύος που φτάνει το 99,75%. Κατασκευαστικά, ένας Μ/Σ αποτελείται από δύο ή περισσότερα πηνία που τυλίγονται γύρω από ένα κοινό σιδηρομαγνητικό πυρήνα. Τα πηνία αυτά δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η μόνη σύζευξη που έχουν είναι το κοινό μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πυρήνα. Λειτουργικά, το ένα από τα δύο τυλίγματα είναι συνδεδεμένο με μία εναλλασσόμενη πηγή τάσης. Έτσι, δημιουργείται μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο επάγει μεταβαλλόμενη τάση στο άλλο τύλιγμα, που είναι συνήθως συνδεδεμένο με κάποιο φορτίο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **αμοιβαία επαγωγή**. Το πρώτο τύλιγμα, ονομάζεται “πρωτεύον” (primary winding), ενώ το δεύτερο ονομάζεται “δευτερεύον” (secondary winding). Σε έναν ιδανικό μετασχηματιστή, η επαγόμενη τάση V_s στο δευτερεύον τύλιγμα, είναι ανάλογη της

τάσης V_p στο πρωτεύον κατά ένα συντελεστή ίσο με το λόγο του αριθμού N των περιελίξεων του σύρματος στα αντίστοιχα τυλίγματα:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Με τον κατάλληλο αριθμό των περιελίξεων, ο μετασχηματιστής επιτρέπει την ανύψωση της εναλλασσόμενης τάσης ($N_s > N_p$) ή τον υποβιβασμό της ($N_s < N_p$).

3.6.1 Είδη Μ/Σ

Οι μετασχηματιστές, ανάλογα με τη χρήση τους στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- ✓ Μετασχηματιστές Ισχύος
- ✓ Μετασχηματιστές μέτρησης ή οργάνων
 - Μετασχηματιστές τάσης
 - Μετασχηματιστές έντασης

Οι μετασχηματιστές ισχύος, προσδιορίζονται από την ονομαστική τους ισχύ και από το λόγο των τάσεων. Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος, όπου χρειάζεται αλλαγή του επιπέδου τάσης. Έτσι, ανάλογα με τη χρήση τους, διακρίνονται σε:

- Μετασχηματιστές βιομηχανικών εγκαταστάσεων
- Μετασχηματιστές γεννητριών ή ανύψωσης τάσης
- Μετασχηματιστές μεταφοράς ή διανομής

- * Οι μετασχηματιστές βιομηχανικών εγκαταστάσεων, χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές (π.χ. μεγάλες μηχανές, κινητήρες κτλ.) και οι τιμές των τάσεων και της ισχύος κυμαίνονται αναλόγως την περίσταση κάθε φορά.
- * Οι μετασχηματιστές γεννητριών ή ανύψωσης τάσης, χρησιμοποιούνται μεμονωμένα για κάθε γεννήτρια. Η τάση ανύψωσης είναι συνήθως 21kV/400kV (κάποιες φορές και 150kV). Η ονομαστική ισχύς τους είναι ίση με την αντίστοιχη της γεννήτριας. Ωστόσο, για λόγους μεταφοράς η ισχύς περιορίζεται σε 1200 MVA ή 2000 MVA. Για μεγαλύτερες ισχύες χρησιμοποιούνται τρεις μονοφασικοί μετασχηματιστές. Στην Ελλάδα, οι τιμές ισχύος κυμαίνονται γύρω στα 300 MVA.
- * Οι μετασχηματιστές μεταφοράς ή διανομής, χρησιμοποιούνται στα δίκτυα μεταφοράς (150kV/400kV) και διανομής (20 kV). Στο δίκτυο μεταφοράς υπάρχουν αυτομετασχηματιστές 400kV/150kV, με ισχύ 250 MVA. Στο επίπεδο διανομής, για τον υποβιβασμό της τάσης, χρησιμοποιούνται αυτομετασχηματιστές 150kV/20kV, με ισχύ 20-75 MVA. Εν κατακλείδι, στο

δίκτυο διανομής, χρησιμοποιούνται αυτομετασχηματιστές 20kV/0.4kV, με ισχύ 15-2000 kVA.

- Οι μετασχηματιστές τάσης, χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν την υψηλή τάση εισόδου σε κάποια τιμή χαμηλότερη στην έξοδό τους. Ωστόσο, λειτουργούν μόνο με ρεύματα πολύ χαμηλής τιμής.
- Οι μετασχηματιστές έντασης, χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν την υψηλή τιμή του ρεύματος εισόδου σε μία χαμηλότερη τιμή ρεύματος στην έξοδό τους.

Όσον αφορά την **προστασία των μετασχηματιστών**, για την πρόληψη των εσωτερικών σφαλμάτων, χρησιμοποιούνται τα ρελέ Bucholz και η διαφορική προστασία. Επιπρόσθετα, για αποτροπή σφαλμάτων που οφείλονται σε εξωτερικές επιδράσεις, χρησιμοποιούνται ειδικές προστασίες από ατμοσφαιρικές υπερτάσεις, προστασίες από θερμικές υπερκαταπονήσεις και προστασίες από εξωτερικά βραχυκυκλώματα.

Κεφάλαιο 4

Μελέτη μικρού ΥΗΕ

4.1 Φάσεις της μελέτης

Η μελέτη ενός ΥΗΕ αποτελείται από διάφορα στάδια, αρχίζοντας με την τεκμηριωμένη πρόταση υδροηλεκτρικής ανάπτυξης μίας θέσεως έως την ολοκλήρωση της μελέτης εφαρμογής. Τα στάδια της μελέτης ενός ΥΗΕ είναι τα ακόλουθα:

- 1) Αναγνωριστική μελέτη
- 2) Προκαταρκτική μελέτη
- 3) Μελέτη εφαρμογής

Στόχος της αναγνωριστικής μελέτης, είναι να εξεταστεί η θέση στην οποία προορίζεται να υλοποιηθεί το έργο. Για αυτό το λόγο, συλλέγονται μόνο τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζονται για τη διεκπαιρέωση της συγκεκριμένης μελέτης ούτως ώστε να μη δαπανάται χρόνος και χρήμα για ένα αβέβαιο αποτέλεσμα. Αν διαπιστωθεί ότι αξίζει, τότε μεταβαίνουμε στο επόμενο στάδιο που αφορά την προκαταρκτική μελέτη.

Δεύτερο στάδιο, είναι η προκαταρκτική μελέτη. Στόχος της μελέτης αυτής, είναι η διαστασιολόγηση και η διαμόρφωση του έργου. Επιπλέον, αναγράφεται με κάθε λεπτομέρεια η χρηματοδοτική ανάλυση του έργου που αφορά πλήρες διασάφηση των διαφορών τεχνοοικονομικών παραμέτρων.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο, η μελέτη εφαρμογής έχει σαν στόχο τη σύνταξη όλων των τευχών δημοπράτησης των αναλυτικών σχεδίων και υπολογισμών των προδιαγραφών των έργων και του εξοπλισμού, καθώς και τη διαδικασία αδειοδότησης και χρηματοδότησης του έργου.

4.2 Αναγνώριση της περιοχής

Η μελέτη ενός υδροηλεκτρικού έργου ξεκινά με την αναγνώριση της περιοχής στην οποία πρόκειται να κατασκευαστεί ο υδροηλεκτρικός σταθμός. Σκοπός της περιοχής αυτής είναι να έχει όσο το δυνατόν καλύτερη αποτύπωση των συνθηκών και διαμόρφωση της υπό εξέταση υδροηλεκτρικής αξιοποίησης των υδάτων. Σημαντική προϋπόθεση για την ανάπτυξη υδροδυναμικού είναι η ύπαρξη κλίσεως του εδάφους, για να δημιουργείται η κατάλληλη υψομετρική διαφορά.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι εκτός από τα εδαφολογικά ζητήματα, θα πρέπει να εξεταστούν και άλλα ζητήματα, περιβαλλοντικά, οικολογικά κτλ. Δηλαδή, ζητήματα τα οποία μπορεί να δημιουργήσουν δυσκολίες στη διεκπεραίωση του

έργου. Επιπλέον, όταν η περιοχή κατασκευής βρίσκεται σε πολύ χαμηλό υψόμετρο ή σε πεδινό έδαφος, τότε είναι δύσκολη η δημιουργία ενός ΥΗΣ, διότι δε μπορεί να επιτευχθεί η απαραίτητη υδραυλική πτώση που χρειάζεται. Κατά τη διάρκεια της αναγνώρισης της περιοχής, γίνεται χάραξη του έργου σε χάρτες, για να υπάρχει πιο σφαιρική αντίληψη για την επιλογή της θέσης του έργου.

4.3 Υδρολογική ανάλυση

Για την εκμετάλλευση ενός υδατορεύματος, απαιτείται η λήψη μετρήσεων της παροχής ανά κάποια χρονικά διαστήματα. Αυτές οι μετρήσεις ονομάζονται **υδρολογικά στοιχεία** και είναι σημαντικά διότι από αυτές κρίνεται το κόστος της εγκατάστασης. Με βάση αυτές τις μετρήσεις, επιλέγεται το μέγεθος και τα έργα προστασίας του ΥΗΣ.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί, ότι σε περίπτωση υπερεκτίμησης της παροχής του υδατορεύματος, το κόστος του έργου θα αυξηθεί εξαιτίας των μεγαλύτερων μονάδων με αποτέλεσμα το έργο να αποτελέσει μία αποτυχία λόγω της μικρότερης παραγωγής ενέργειας από την αναμενόμενη. Από την άλλη, σε περίπτωση υποεκτίμησης της παροχής του υδατορεύματος, ο ΥΗΣ που θα υλοποιηθεί, θα είναι μικρότερης ισχύος με αποτέλεσμα να μην αξιοποιείται πλήρως η διαθέσιμη υδραυλική ενέργεια.

4.3.1 Μέθοδοι αξιολόγησης υδάτινου δυναμικού

Παροχή (Q), ονομάζεται η χρονική μεταβολή του διερχόμενου όγκου (V) στο χρονικό διάστημα (dt), $Q=dV/dt$. Για τη μέτρηση της παροχής του υδατορεύματος υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι, πιο αναλυτικά:

i. Μέτρηση πεδίου ταχυτήτων

Ο *μυλίσκος* (current meter), είναι το όργανο μέτρησης της ταχύτητας. Στην ουσία αποτελείται από μια προπέλα, η οποία τοποθετείται στη διατομή του υδατορεύματος σε συγκεκριμένο σημείο (x, y) και περιστρέφεται υπό την επίδραση της ροής. Το όριο ανοχής σφάλματος του οργάνου είναι $\pm 3\%$. Ωστόσο, όταν οι ταχύτητες ξεπεράσουν τα 7 m/sec, οι μετρήσεις γίνονται αναξιόπιστες. Σε μικρά βάθη ($d < 0.75$ m), γίνεται αποδεκτή μία μόνο μέτρηση, περίπου στο 0.6 του βάθους. Ενώ σε μεγάλα βάθη, είναι προτιμότερη η μέτρηση σε τρία σημεία. Σπουδαία προϋπόθεση για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι ο σωστός προσανατολισμός του άξονα του μυλίσκου. Για αυτό το λόγο ο μυλίσκος είναι εξοπλισμένος με πτερύγιο και κατάλληλο αντίβαρο. Επιπρόσθετα, για ακριβέστερες μετρήσεις, καλό είναι να μη μεταβάλλεται η παροχή κατά τη διάρκεια της μέτρησης. [4]

ii. Μέτρηση με τη μέθοδο των διαλυμάτων

Η συγκεκριμένη μέτρηση λαμβάνει χώρα σε σχετικά μικρά υδατορεύματα με ακανόνιστη κοίτη και έντονα τυρβώδη ροή. Η μέτρηση αυτή, στηρίζεται στη διάχυση ενός δείκτη στην κατερχόμενη υδάτινη μάζα του υδατορεύματος. Η απόσταση του σημείου δειγματοληψίας από το σημείο έγχυσης του δείκτη θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη. Οι μεγάλες ταχύτητες της ροής του υδατορεύματος, συμβάλλουν στη μεγαλύτερη αξιοπιστία της μεθόδου και ευνοούν τη γρήγορη ανάμειξη του δείκτη.

Επιπρόσθετα, ο δείκτης που χρησιμοποιείται θα πρέπει να πληρεί κάποιες προϋποθέσεις, όπως ευκολία αντίχενυσης, μεγάλη διαλυτότητα στο νερό, οικονομικότητα, χημική αδράνεια, αμελητέα φυσική συγκέντρωση στο υδατόρευμα, αβλαβής για τους υδρόβιους οργανισμούς. Συνήθως, χρησιμοποιείται αλάτι (NaCl), διότι η συγκέντρωση μετριέται εύκολα με ηλεκτρική μέθοδο, μιας και επηρεάζει την αγωγιμότητα του νερού. [4]

iii. Μετρητικός υπερχειλιστής

Αυτό το είδος μέτρησης χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους μέτρησης. Η μέτρηση της παροχής ανάγεται στη μέτρηση της στάθμης του νερού ανάντι του υπερχειλιστού μέσω σταθμημέτρου. Έπειτα, υπολογίζεται είτε από την καμπύλη βαθμονόμησης, είτε από θεωρητικές εξισώσεις. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, η κλίση του υδατορεύματος θα πρέπει να είναι μικρή και η ροή ομαλή.

iv. Σταθμημετρία – Καμπύλη στάθμης παροχής

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, η παροχή μετριέται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και καταγράφεται η αντίστοιχη στάθμη του νερού. Η μέτρηση της στάθμης γίνεται μέσω σταθμημέτρων. Είτε με τη χρήση αποτυπωμένων εκατοσταμετρικών κλιμάκων, είτε με χρήση ηλεκτρονικών οργάνων. Με αυτές τις πληροφορίες βαθμονομείται η **καμπύλη στάθμης – παροχής**. Ωστόσο, για τη χάραξη της καμπύλης, η διατομή του υδατορεύματος θα πρέπει να είναι ομοιόμορφη σε μεγάλο μήκος ανάντι και κατάντι, καθώς και να μην υπάρχουν σημαντικές καμπύλες ανάντι και κατάντι της θέσεως μέτρησης. Επιπλέον, να υπάρχει δυνατότητα γεφύρωσης του υδατορεύματος, για να είναι εύκολα προσβάσιμη η δυνατότητα μέτρησης και να μην παρατηρείται μεγάλος αριθμός απόθεσης φερτών υλών. [4]

v. Μέτρηση με τη μέθοδο των υπερήχων

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, χρησιμοποιούνται υπερηχητικοί παλμοί, οι οποίοι διασχίζουν διαγώνια τη ροή του υδατορεύματος και έπειτα ανακλώνται. Με βάση το χρόνο που χρειάζεται ο παλμός του υπερήχου να διασχίσει τη ροή και να επιστρέψει, εκτιμάται η μέση ταχύτητα της ροής. Πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η συνεχής καταγραφή των υπερήχων. Όμως, όταν το υδατόρευμα μεταφέρει φερτές ύλες, η καταγραφή είναι αναξιόπιστη. Επίσης, το κόστος της συγκεκριμένης μεθόδου είναι αρκετά υψηλό.

vi. Μέτρηση με ηλεκτρομαγνητική μέθοδο

viii. Μέθοδος με φυσαλίδες

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, τοποθετείται ένας σωλήνας στον πυθμένα του ποταμού. Από το σωλήνα εκπέμπονται φυσαλίδες αέρα και με βάση το χρόνο και την απόσταση που έχουν διανύσει μέχρι την επιφάνεια, υπολογίζεται η παροχή του υδατορεύματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι φυσαλίδες δεν κινούνται κατακόρυφα, αλλά παρασύρονται προς τα κατάντη από τη ροή του νερού. Παρ'όλα αυτά, η μέθοδος χρησιμοποιείται σε ποταμούς με αργή ροή και αρκετά ήρεμη επιφάνεια, ώστε να μπορούν να παρατηρηθούν οι φυσαλίδες.

4.3.2 Μέτρηση βροχής

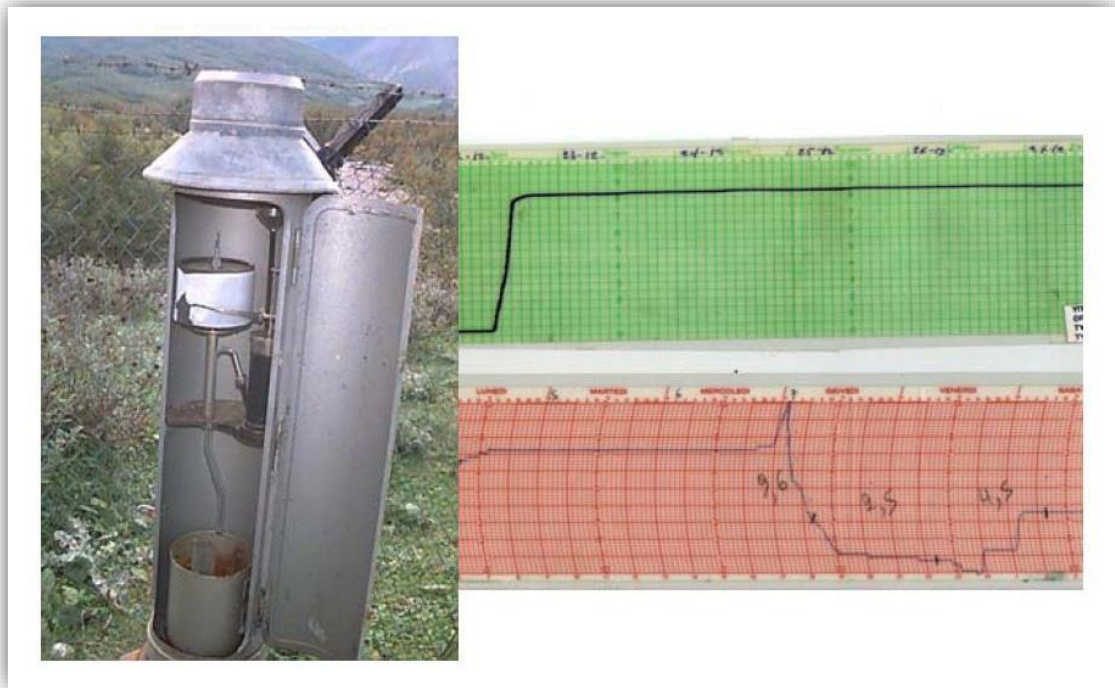
Τα όργανα μέτρησης βροχής είναι ειδικά κυλινδρικά δοχεία που εγκαθίστανται σε κατάλληλες θέσεις και συλλέγουν τη βροχόπτωση, δίνοντας έπειτα την αντίστοιχη σημειακή μέτρηση. Τα όργανα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- * **Βροχογράφοι**: όργανα που καταγράφουν με ωρολογιακό μηχανισμό τη μεταβολή του ύψους βροχής στο χρόνο, περιγράφοντας έτσι τη χρονική κατανομή της σημειακής βροχόπτωσης.
- * **Βροχόμετρα**: όργανα που δίνουν την ολική σημειακή βροχόπτωση, ανά χρονικά διαστήματα και απαιτείται παρατηρητής για ανάγνωση της ένδειξης.

Οι βροχογράφοι ή καταγραφικά όργανα βροχής, είναι ακριβέστερα συγκριτικά με τα κοινά βροχόμετρα. Διαθέτουν έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο που λειτουργεί είτε με ηλεκτρικό ρεύμα, είτε με ωρολογιακό μηχανισμό. Επιπλέον, γύρω από αυτόν περιτυλίσσεται ένα χιλιοστομετρικό χαρτί με υποδιαιρέσεις.

Υπάρχουν τριών ειδών τύποι καταγραφικών αυτογραφικών οργάνων. Κάθε τύπος έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας του, καθώς και πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα. Με βάση αυτά τα κριτήρια, κρίνεται ποιος τύπος είναι κατάλληλος για το έργο, και σε ποια τοποθεσία. Ωστόσο, υπάρχουν και όργανα τα οποία αποτελούν συνδιασμό των τριών αυτών τύπων και είναι εφοδιασμένα με ηλεκτρονικά συστήματα τηλεμετρικής σύνδεσης και ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά ο κάθε τύπος ξεχωριστά:

- ✓ **Βροχογράφος με πλωτήρα**: Αυτός ο τύπος βροχογράφου αποτελείται από ένα δοχείο, το οποίο γεμίζει με νερό βροχής. Στο δοχείο υπάρχει ένας πλωτήρας και με κατάλληλο μηχανισμό, μεταφέρει τις μεταβολές της στάθμης του νερού στο καταγραφικό χαρτί. Για την αποφυγή σφαλμάτων, όταν εκτελείται αλλαγή ταινίας, θα πρέπει να μετριέται το συνολικό ύψος της βροχής στον τελικό κύλινδρο συλλογής της βροχής και να συγκρίνεται με το αντίστοιχο συνολικό ύψος που καταγράφηκε στην ταινία (Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Βροχογράφος με πλωτήρα (αριστερά) και καταγραφικό χαρτί (δεξιά)

- ✓ **Σταθμιστικός βροχογράφος:** Ο σταθμιστικός βροχογράφος αποτελείται από ένα δοχείο, το οποίο είναι τοποθετημένο επάνω σε ένα ελατήριο. Καθώς το δοχείο γεμίζει με νερό της βροχής, το ελατήριο συμπιέζεται προς τα κάτω και η συμπίεση αυτή με κάποιο είδος μηχανισμού καταγράφεται στο χαρτί καταγραφής. Το δοχείο μπορεί να συγκεντρώσει μέχρι και 1000 mm βροχής (Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Σταθμιστικός βροχογράφος

- ✓ **Ανατρεπτικός βροχογράφος:** Αποτελείται από δύο μικρά ανατρεπόμενα δοχεία που είναι τοποθετημένα σε κοινό άξονα. Τα δοχεία, κινούνται πάνω - κάτω καθώς γεμίζουν με το νερό της βροχής, μέσω ενός χωνιού που έχει το όργανο. Όταν το δοχείο γεμίσει με βροχή ίση με το $\frac{1}{4}$ του χιλιοστού, τότε αυτός ανατρέπεται. Ο ελάχιστος χρόνος ανατροπής είναι $\frac{2}{10}$ του δευτερολέπτου. Ωστόσο, το συγκεκριμένο όργανο εμφανίζει σφάλματα στον τρόπο λειτουργίας του. Όταν βρέχει ελαφριά, το δοχείο δεν προλαβαίνει να γεμίσει, οπότε το νερό που έχει συγκεντρωθεί υπόκειται σε εξάτμιση. Παράλληλα, όταν βρέχει βαριά, και το δοχείο γεμίσει σε χρόνο μικρότερο από $\frac{2}{10}$ του δευτερολέπτου, τότε καταγράφεται λανθασμένη παρατήρηση στην ταινία καταγραφής. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται σφάλμα στο μηχανισμό καταγραφής, άρα και κατ' επέκταση στο χαρτί καταγραφής (Εικόνα 30).



Εικόνα 30: Ανατρεπτικός βροχογράφος

Τα βροχόμετρα, είναι δοχεία με αρκετά μεγάλη χωρητικότητα. Έχουν διάμετρο 30 εκατοστά και περιβάλλονται από προστατευτικό περίβλημα τύπου Nipher ή Alter. Σε περιοχές με μεγάλη χιονόπτωση, ο συλλέκτης θα πρέπει να τοποθετείται πάνω από το μέγιστο ύψος του χιονιού και το όργανο επάνω σε ένα μικρό πύργο. Επιπλέον, σε αρνητικές θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται αντιψυκτικό υγρό το οποίο καταλαμβάνει το 1/3 του όγκου του δοχείου. Επιπρόσθετα, για την αποφυγή της εξάτμισης, τοποθετείται ορισμένη ποσότητα ελαίου (περίπου 8 mm), μέσα στο δοχείο. Έτσι, όλο αυτό ζυγίζεται πριν την τοποθέτησή του, και ξαναζυγίζεται στο τέλος της περιόδου. Η διαφορά μεταξύ των δύο ενδείξεων, δίνει την ποσότητα του ύδατος που έχει συλλεχθεί από τη βροχόπτωση και τη χιονόπτωση στη συγκεκριμένη περιοχή (Εικόνα 31).



Εικόνα 31: Βροχόμετρο

Υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης

Οι μετρήσεις από τους βροχογράφους και τα βροχόμετρα, είναι σημειακές, δηλαδή αντιπροσωπεύουν μόνο το σημείο στο οποίο μετρήθηκε η βροχόπτωση. Στην περίπτωση που χρειάζεται να εκτιμηθεί το υδατικό ισοζύγιο, απαιτείται εγκατάσταση δικτύου βροχογράφων σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής, ούτως ώστε να περιγραφεί όσο το δυνατόν καλύτερα η χωρική διαφοροποίηση της βροχής. Έπειτα, οι σημειακές μετρήσεις των βροχογράφων ανάγονται σε επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιώντας μεθόδους επιφανειακής ολοκλήρωσης.

Για τον υπολογισμό της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι, οι οποίοι διαχωρίζονται σε μεθόδους προσαρμογής επιφάνειας και σε μεθόδους άμεσης ολοκλήρωσης.

Οι μέθοδοι προσαρμογής επιφάνειας, αρχικά, εκτιμούν τη γεωγραφική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης στην υπό εξέταση περιοχή και έπειτα υπολογίζουν την επιφανειακή βροχόπτωση. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν η μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής, η μέθοδος προσαρμογής *spline*, η μέθοδος πολυωνύμων *Lagrange*, η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων με πολυώνυμο, η μέθοδος πολυτετραγωνικής παρεμβολής, η μέθοδος της αντίστροφης απόστασης, η μέθοδος υπολογιστικής γραμμικής παρεμβολής και η μέθοδος των ισοϋετίων. Έπειτα, οι μέθοδοι προσαρμογής επιφάνειας χωρίζονται σε μεθόδους εξομάλυνσης και σε μεθόδους παρεμβολής.

Από την άλλη, οι μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης, υπολογίζουν άμεσα την επιφανειακή βροχόπτωση από τις τιμές της σημειακής βροχόπτωσης. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν η μέθοδος βέλτιστης ολοκλήρωσης (*kriging*), η μέθοδος δύο αξόνων του *Bethlahmy*, η μέθοδος *Thiessen* και η μέθοδος του μέσου όρου.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι η αξιοπιστία του τελικού αποτελέσματος εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την πυκνότητα της σημειακής πληροφορίας και όχι τόσο από τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των βροχομετρικών σταθμών, τόσο πιο ολοκληρωμένο και αξιόπιστο θα είναι το υπολογιστικό αποτέλεσμα. Δυστυχώς όμως, τα δίκτυα των βροχομετρικών σταθμών είναι αραιά και σε αρκετές ορεινές περιοχές οι σταθμοί σπανίζουν. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν τρεις από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται πιο τακτικά:

Μέθοδος μέσου όρου

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η πιο απλή από όλες τις παραπάνω που αναφέρθηκαν. Χρησιμοποιείται για χονδρικές εκτιμήσεις και όχι για οριστικές. Αυτή η μέθοδος είναι ανεκτική ως ένα βαθμό για τα αποτελέσματά της, όταν οι σταθμοί είναι ομοιόμορφα κατανομημένοι, τα ύψη βροχής δε διαφέρουν πολύ από σταθμό σε σταθμό και η περιοχή που έχουν τοποθετηθεί είναι σχετικά επίπεδη. Η επιφανειακή βροχόπτωση (h_s), δίνεται από τις σημειακές βροχοπτώσεις (h_i) με την παρακάτω σχέση:

$$h_s = \sum_{i=1}^k w_i * h_i$$

όπου τα βάρη (w_i) των $i = 1, 2, \dots, k$ σταθμών λαμβάνονται ίσα, δηλαδή $w_i = 1/k$. [5]

Μέθοδος Thiessen

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, η συνολική επιφάνεια A , χωρίζεται γεωμετρικά σε ζώνες επιρροής A_i , μία για κάθε σταθμό, έτσι ώστε:

$$\sum_{i=1}^k A_i = A$$

Επιπλέον, ο συντελεστής βάρους (w_i), θεωρείται ανάλογος του εμβαδού της ζώνης επιρροής του σταθμού, δηλαδή:

$$w_i = A_i / A$$

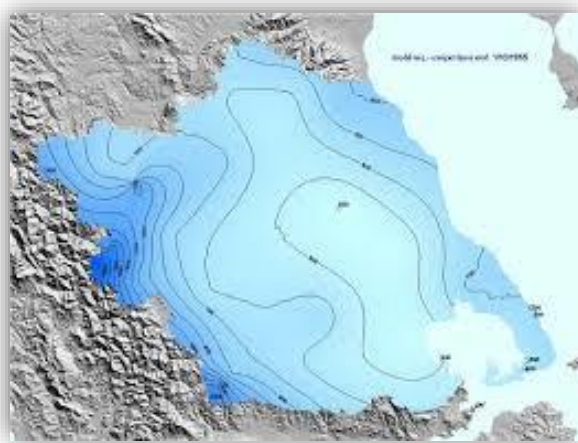
Οι ζώνες επιρροής, προσδιορίζονται έτσι ώστε κάθε σημείο της ζώνης του σταθμού i , να απέχει από τη θέση του σταθμού i λιγότερο απ'όσο απέχει από οποιονδήποτε άλλο σταθμό της περιοχής. Έτσι, αυτό δημιουργεί μια απλή γεωμετρική κατασκευή των ζωνών επιρροής βασισμένη στους μεσοκαθέτους των ευθύγραμμων τμημάτων που συνδέουν τους σταθμούς ανά ζεύγη. Δηλαδή, τα γνωστά πολύγωνα Thiessen (Σχήμα 2). Επιπλέον, όσο πιο πυκνά είναι τα δίκτυα των σταθμών και όσο πιο μεγάλη είναι η χρονική κλίμακα μελέτης, τόσο η συγκεκριμένη μέθοδος είναι και πιο αξιόπιστη. Όμως, η κατακρήμνιση εξαρτάται και από το υψόμετρο. Έτσι, αν το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι διαφορετικό από το μέσο υψόμετρο των σταθμών, θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις για την αναίρεση της υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης της επιφανειακής βροχόπτωσης με βάση το μέσο υψόμετρο της υπό εξέταση λεκάνης απορροής. [5]



Σχήμα 2: Τα πολύγωνα Thiessen

Μέθοδος των ισοϋετίων

Η ισοϋετία καμπύλη ορίζεται από το γεωμετρικό τόπο των σημείων στα οποία το ύψος της βροχής παίρνει μια δεδομένη τιμή. Ανάλογα με το εύρος διακύμανσης του ύψους της βροχής, χαράσσονται με δεδομένη ισοδιάσταση τα Δh . Ασφαλώς, η ακριβής χάραξη μίας ισοϋετίας καμπύλης εξαρτάται από τα διαθέσιμα σημεία και από την εμπειρία του υδρολόγου (Σχήμα 3). [5]



Σχήμα 3: Παράδειγμα ισοϋετίων καμπύλων σε λεκάνη απορροής

Έπειτα από τη χάραξη των ισοϋετίων καμπύλων, για να υπολογιστεί η μέση επιφανειακή βροχοπτώση της περιοχής, εμβαδομετρούνται οι επιφάνειες A_i , μεταξύ των καμπύλων που αντιστοιχούν σε ύψη βροχής h_i και h_{i-1} . Έτσι, δίνεται η παρακάτω σχέση:

$$h_s = \sum_r \frac{h_i + h_{i-1}}{2} \frac{A_i}{A}$$

4.3.3 Μέτρηση χιονιού

Ως χιόνι, ορίζεται η στερεά μορφή του νετού που σχηματίζεται από τη συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα σε θερμοκρασίες μικρότερες από τη θερμοκρασία πήξης του νερού. Στην αρχή σχηματίζεται υπό τη μορφή κρυστάλλων και έπειτα μετασχηματίζεται και γίνεται συμπαγές. Το χιόνι στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί μια μάζα από νιφάδες, κρυστάλλους, νερό και αέρα και παρουσιάζει πυκνότητες που κυμαίνονται από 0,04 (χιόνι) έως 0,91 (πάγος). [6]

Η χιονόπτωση, ορίζεται ως το ποσό του νέου χιονιού που αποτίθεται σε μια συγκεκριμένη περίοδο, συνήθως αναφέρεται σε 24 ώρες. Οι μετρήσεις υπολογίζονται

με βάση το πάχος του χιονοστρώματος που έχει δημιουργηθεί ή προσδιορίζοντας το ισοδύναμο ποσό του ύδατος. [6]

Η μέτρηση του χιονιού γίνεται με δοχεία, παρόμοια με αυτά των βροχομέτρων, αλλά έχει αφαιρεθεί η χοάνη για την αποφυγή της συγκέντρωσης του χιονιού στα τοιχώματά της. Σε απομακρυσμένες περιοχές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και βροχόμετρα που περιλαμβάνουν προστατευτικό περίβλημα τύπου Nipher ή Alter. [6]

Η μέτρηση του νέου στρώματος χιονιού στο έδαφος γίνεται σε οριζόντια και επίπεδη επιφάνεια με χρήση μόνιμης τοποθετημένης κλίμακας ή ενός βαθμολογημένου κανόνα. Ωστόσο, θα πρέπει να μη μετριέται το παλιό προϋπάρχον χιόνι. [6]

Ένα δειγματοληπτικό όργανο χιονιού, συνήθως αποτελείται από ένα μεταλλικό ή πλαστικό σωλήνα, που είναι εφοδιασμένος με μια συσκευή κοπής χιονιού στο κατώτερο άκρο του σωλήνα. Ο συγκεκριμένος σωλήνας έχει στην εξωτερική του επιφάνεια κλίμακα υποδιαιρέσεων. Επιπρόσθετα, υπάρχουν διάφορα εξαρτήματα για τη λήψη του χιονιού και ένα δυναμόμετρο για τη μέτρηση του βάρους του καρότου του χιονιού. [6]

Η ισοδύναμη ποσότητα ύδατος του χιονιού, εκφράζει το ποσό της βροχής που αντιπροσωπεύεται από τη χιονόπτωση. Η ποσότητα αυτή υπολογίζεται με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

1. Χρήση καταγραφικών οργάνων
2. Ζύγιση ή τήξη
3. Μετρήσεις του πάχους του χιονοστρώματος
4. Χρήση των βροχομέτρων
5. Χρήση ραδιενεργής ακτινοβολίας τύπου γ (αφορά τις απομακρυσμένες περιοχές)

Η έκταση του χιονιού που καλύπτει μια λεκάνη, αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην επιφανειακή ροή του ύδατος. Έτσι, για την εκτίμηση της ποσότητας του ύδατος, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μέθοδοι:

- i. Μέτρηση του χιονιού με σωλήνες
- ii. Μετρήσεις με βαθμολογημένους πασσάλους
- iii. Με χρήση αεροφωτογραφίας

Για να γίνει όσο το δυνατόν πιο προσεγγιστική η πρόβλεψη της ροής στις κοίτες των ποταμών, είναι απαραίτητη η γνώση του ρυθμού της τήξης του χιονιού μαζί με το ρυθμό της βροχόπτωσης και των κατάλληλων σχέσεων της απορροής. Υπάρχουν δύο προσεγγιστικές μέθοδοι. Η πρώτη, αφορά **την εκτίμηση της τήξης του χιονιού με μεθόδους συσχέτισης** και η δεύτερη αφορά **τη φυσική τήξη του χιονιού**. Πιο αναλυτικά:

- **Εκτίμηση της τήξης του χιονιού με μεθόδους συσχέτισης**

Οι στατιστικές μέθοδοι της συσχέτισης, χρησιμοποιούνται για να συσχετίσουν την τήξη του χιονιού με μία ή περισσότερες από τις μεταβλητές της φυσικής της τήξης. Στη συνέχεια, αναφέρονται δύο τυπικές εξισώσεις τήξης χιονιού, που εφαρμόζονται στις ΗΠΑ, κατά την περίοδο της άνοιξης και δίνουν την ημερήσια τήξη σε ίντσες. [6]

Ανοικτές θέσεις: $M = 0.06 (T_{\text{mean}} - 24)$, ή $M = 0.04 (T_{\text{max}} - 27)$

Δάση: $M = 0.05 (T_{\text{mean}} - 32)$, ή $M = 0.04 (T_{\text{max}} - 42)$

όπου, οι θερμοκρασίες είναι σε F και με όρια 36 F – 46 F (2°C – 7°C) για τη μέση θερμοκρασία, και 44F – 76F (6°C - 22°C) για τη μέγιστη.

- **Φυσική τήξη χιονιού**

Γνωρίζοντας τη διαθέσιμη ενέργεια και τα ποσά που απαιτούνται για να μετατρέψουν το χιόνι ή τον πάγο σε νερό, μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα του χιονιού που μπορεί να λιώσει. Οι σημαντικότερες πηγές ενέργειας είναι: η τελική ηλιακή ακτινοβολία, η θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών, η μεταφορά θερμότητας από τον αέρα, από τη βροχόπτωση και από το έδαφος.

- 1) Τελική ηλιακή ακτινοβολία: Η ενέργεια 200 cal/cm²/day συντελεί στην τήξη στρώματος χιονιού με πάχος 25 mm. η ανακλαστικότητα της επιφάνειας του χιονιού μπορεί να φτάσει την τιμή του 0.90, μειώνοντας έτσι την ακτινοβολία που θα διαπερνούσε την επιφάνεια του χιονιού.
- 2) Θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών: Η τήξη του χιονιού εξαιτίας των ανέμων για χρονική περίοδο 6 ωρών, εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$M = 0.00578 V (e_d - 6.11) \text{ σε inches / 6 ώρες}$$

όπου, V η μέση ταχύτητα του ανέμου σε μίλια / ώρα, μετρούμενη σε ύψος 17 m, e_d η τάση των υδρατμών του αέρα μετρούμενη σε ύψος 3 m σε mb και 6.11 η μέγιστη τάση των υδρατμών του νερού (σε mb) σε θερμοκρασία 0°C.

- 3) Μεταφορά θερμότητας αέρα, βροχόπτωση και έδαφος: Η τήξη του χιονιού από τη δραστηριότητα του ανέμου, εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$M = 0.00184 * 10^{-k} V (T_a - 32) \text{ για } k = - 0.0000156z \text{ (σε inches / 6 ώρες)}$$

όπου, z είναι το υψόμετρο της περιοχής σε πόδια, T_a η θερμοκρασία αέρα σε F στα 3 m, V η ταχύτητα του ανέμου σε μίλια / ώρα σε ύψος 17 m

Όμως, αν η θερμότητα έρχεται από το έδαφος, η τήξη του χιονιού δίνεται από την εξής σχέση:

$$M = 1.29 (T_s - 32) t \text{ σε inches}$$

όπου, T_s είναι η θερμοκρασία του εδάφους και t ο χρόνος (σε ώρες)

Ακόμα, αν υπάρχει βροχόπτωση ποσότητας P (σε inches), το χιόνι που λιώνει δίνεται από τη σχέση:

$$M = P (T_w - 32) / 144 \text{ σε inches}$$

όπου, T_w είναι η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου σε ύψος 3 m.

Η έκταση της τήξης του χιονιού, καθώς και οι θέσεις που εκδηλώνεται μέσα σε μια λεκάνη είναι σημαντικοί παράγοντες για μια σωστή εκτίμηση. Η συγκέντρωση του χιονιού μπορεί να αποδοθεί από το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται. Η περιοχή της λεκάνης που καλύπτεται από το χιόνι, μπορεί να εκτιμηθεί από τις ισοϋψείς του χιονιού. Όταν το χιόνι αρχίζει και λιώνει, ακολουθεί την κλίση της επιφάνειας, τον προσανατολισμό και το βαθμό κάλυψης. [6]

4.3.4 Υδρολογικές απώλειες

Υδρολογικές απώλειες, χαρακτηρίζονται η διαπνοή και η εξάτμιση. Διαπνοή, ονομάζεται η μετατροπή του νερού από την υγρή στην αέρια φάση. Λαμβάνει χώρα κυρίως στα φύλλα των φυτών και των δέντρων. Μέσω της διαπνοής αποβάλλεται υγρασία και οξυγόνο, ενώ παράλληλα λαμβάνεται διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο είναι σημαντικό στοιχείο για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Παράλληλα, με την έννοια “εξάτμιση”, χαρακτηρίζεται η διαδικασία κατά την οποία το νερό από υγρή μορφή, μετατρέπεται σε αέρια, χωρίς να φτάσει σε σημείο βρασμού. Η διαφορά της διαπνοής και της εξάτμισης είναι ότι η διαπνοή ελέγχεται από το ίδιο το φυτό και εκτελείται μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ωστόσο, επειδή η διαπνοή είναι μία φυσική διεργασία, δηλαδή μία μορφή εξάτμισης, το σύνολο των πραγματικών απωλειών της χλωρίδας, ονομάζεται εξατμισοδιαπνοή.

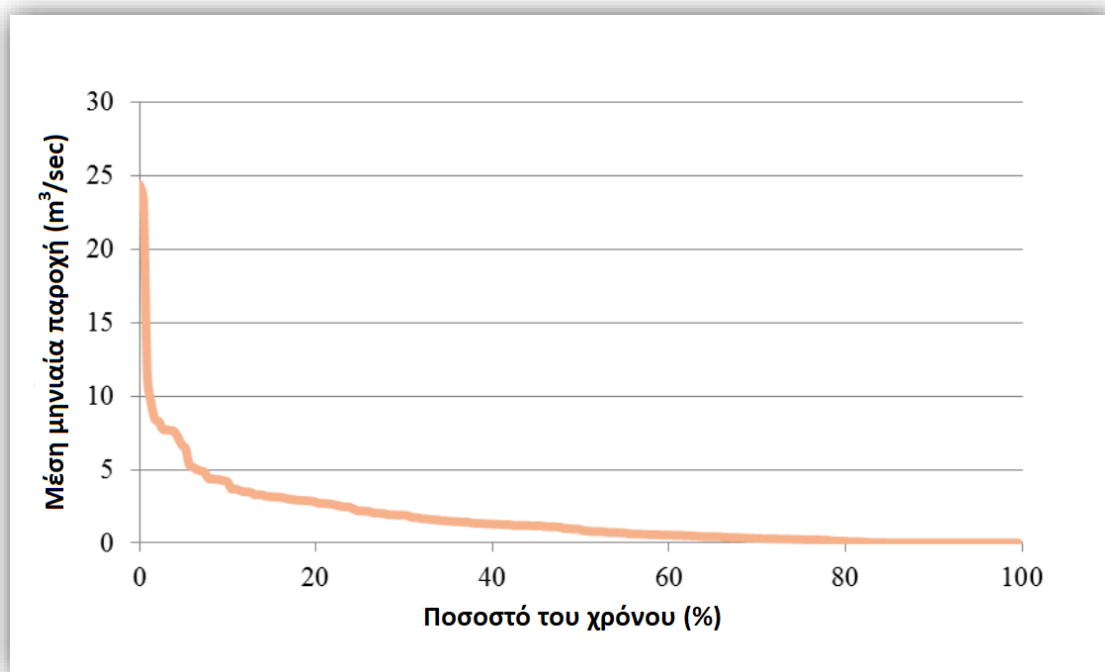
Η ποσότητα του νερού που αντιστοιχεί στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής είναι δύσκολο να μετρηθεί σε πραγματική κλίμακα. Έτσι, προσδιορίζεται έμμεσα με βάση τις μετεωρολογικές μεταβλητές που την επηρεάζουν (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία κτλ.).

Ένα είδος απωλειών, είναι η διήθηση. Διήθηση, είναι η εισχώρηση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε αυτό. Η διήθηση μετριέται με το διηθητόμετρο. Το διηθητόμετρο, αποτελείται από ένα σωλήνα που απομονώνει ένα δείγμα εδάφους σε μια επιφάνεια που κυμαίνεται από 0.10 τ.μ. έως μερικές δεκάδες τ.μ. Ο υπολογισμός της διήθησης, είναι η διαφορά μεταξύ του νερού που παρέχεται με καταιονισμό στο σωλήνα και του νερού που απορέει επιφανειακά από το δείγμα του εδάφους.

Κατακράτηση, ονομάζεται το ποσοστό της βροχής που αδυνατεί να φτάσει στο έδαφος, είτε λόγω των ανωμαλιών του εδάφους, είτε εξαιτίας των φυλλωμάτων της βλάστησης. Ωστόσο, αυτή η ποσότητα του νερού είτε θα εξατμιστεί, είτε θα καταλήξει στο έδαφος και θα διηθηστεί.

4.4 Καμπύλη διάρκειας παροχής

Η καμπύλη διάρκειας παροχής είναι απαραίτητη για τον υδρολογικό σχεδιασμό, τόσο των υδροδυναμικών εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης υδρενέργειας, όσο και των άλλων έργων, αρδευτικών, αντιπλημμυρικών κτλ. Αξίζει να σημειωθεί, ότι πριν την ανάπτυξη ενός μικρού ΥΗΕ, σχεδιάζεται η καμπύλη διάρκειας παροχής, για την εκτίμηση της θέσης, μιας και έχουν μικρό ή και καθόλου ταμιευτήρα. Η καμπύλη διάρκειας παροχής, προκύπτει από τις τιμές της παροχής του υδατορεύματος, συναρτήσει το ποσοστό του χρόνου. Έτσι, με βάση τις μετρήσεις, δημιουργείται μια φθίνουσα καμπύλη (Σχήμα 4). [1]



Σχήμα 4: Καμπύλη διάρκειας παροχής

Σχεδιάζοντας την ετήσια καμπύλη, παρατηρούμε σε ποιο έτος η παροχή βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Κατασκευάζοντας τη μηνιαία καμπύλη για το ίδιο χρονικό διάστημα, διακρίνεται ποιους μήνες ο ΥΗΣ θα λειτουργεί ικανοποιητικά. Σε κάποιες περιπτώσεις, χαράσσεται η χειμερινή καμπύλη διάρκειας παροχής, για αρδευτικούς σκοπούς κατά τη θερινή περίοδο. Έτσι, με βάση την καμπύλη προκύπτει μία πιο σφαιρική αντίληψη όσον αφορά τη θέση που αποτυπώθηκαν οι τιμές της παροχής. [1]

Αφού η καμπύλη διάρκειας παροχής, προκύπτει από τις υδρολογικές μετρήσεις, θα πρέπει αυτές οι μετρήσεις να λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα (ημερησίως ή μηνιαίως). Γενικά, η καμπύλη διάρκειας παροχής, εκφράζει τη διαθεσιμότητα των παροχών σε μια θέση, και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκτίμηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού. Ένα από τα προβλήματα που παρουσιάζονται στην εκτίμηση της διαθεσιμότητας της παροχής στη θέση αυτή, είναι η έλλειψη μετρήσεων

στη συγκεκριμένη θέση. Και αυτό γίνεται διότι, είτε αυτές οι θέσεις είναι δυσπρόσιτες, είτε βρίσκονται σε δευτερεύοντες κλάδους ποταμών, όπου δεν υπάρχει κάποιο δίκτυο μέτρησης παροχής. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές εκτίμησης της καμπύλης διάρκειας σε μία διατομή υδατορεύματος. Επιπλέον, υπάρχει και η δυνατότητα μεταφοράς της καμπύλης από μια θέση σε μια άλλη, εφόσον οι δύο θέσεις βρίσκονται στην ίδια υδρολογικά ομοιογενή περιοχή. [1]

Ο συνήθης και ασφαλέστερος τρόπος μεταφοράς της καμπύλης διάρκειας παροχής από μια θέση που υπάρχουν μετρήσεις, σε κάποια άλλη εξεταζόμενη θέση, είναι αυτή της **γεωγραφικής** μεταβολής των παραμέτρων της καμπύλης διάρκειας. Τόσο, στην Ελλάδα, όσο και σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν αναπτυχθεί εντοπικά ομοιώματα μεταφοράς της καμπύλης διάρκειας παροχών, από μια θέση σε κάποια άλλη, χωρίς μετρήσεις. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η συσχέτιση για τη μηνιαία καμπύλη διάρκειας παροχής, που αφορά τον Ελληνικό χώρο:

$$Q = a - b \cdot D + c \cdot D^2 - d \cdot D^3$$

όπου, το Q είναι η παροχή σε m³/sec και το D συμβολίζει το αντίστοιχο ποσοστό του χρόνου. Οι παράμετροι a, b, c, d, αντιστοιχίζονται με τρία βασικά μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Δηλαδή, την εξεταζόμενη διατομή, την έκταση της λεκάνης απορροής και την υψομετρική διαφορά από το υψηλότερο σημείο της λεκάνης. [1]

4.5 Χάραξη του έργου

Αφού, με τη χάραξη της καμπύλης διάρκειας παροχής, διαπιστώνεται ότι μπορεί να υλοποιηθεί ένας ΥΗΣ, το δεύτερο βήμα που πρέπει να γίνει, είναι η χάραξη του έργου σε χάρτες. Η χάραξη γίνεται σε χάρτες 1:5000 και 1:50000, και προμηθεύονται από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού. Έπειτα, γίνεται ένα προσχέδιο, στο οποίο καθορίζεται η θέση του ταμιευτήρα, η θέση του σταθμού, η τιμή της υδραυλικής πτώσης και γενικά τα στοιχεία που καθορίζουν το σύνολο της εγκατάστασης.

4.6 Διαθέσιμη υδραυλική πτώση

Μετά τη χάραξη του έργου, πρέπει να υπολογιστεί η διαθέσιμη υδραυλική πτώση. Γνωρίζοντας τη διαθέσιμη υδραυλική πτώση, μπορεί να χαραχθεί το διάγραμμα του μανομετρικού ύψους. Η υδραυλική πτώση, υπολογίζεται ως εξής:

$$h = z_1 - z_2$$

όπου, z₁ είναι η στάθμη στον άνω ταμιευτήρα που δημιουργείται λόγω φράγματος. Ωστόσο, όταν το έργο προσαγωγής του νερού περιλαμβάνει διώρυγα και δεξαμενή φόρτισης, τότε το z₂ θεωρείται η στάθμη της δεξαμενής φόρτισης.

Το z_2 είναι η στάθμη του νερού κατάντι του έργου, όπου πλέον η παροχή οδηγείται στη φυσική της ροή. Η διαθέσιμη υδραυλική πτώση, ισούται με την υδραυλική πτώση, μείον τις απώλειες, όπως φαίνεται στον παρακάτω τύπο:

$$H = (z_1 - z_2) - \delta h_f$$

όπου, το h_f είναι οι εντοπισμένες και υδραυλικές απώλειες του αγωγού, ενώ το z_1 και το z_2 είναι η στάθμη υδροληψίας και η στάθμη απαγωγής, αντίστοιχα.

Οι γραμμικές απώλειες σε ευθύγραμμο αγωγό κυκλικής διατομής, είναι ανάλογες του μήκους στο οποίο αναπτύσσονται και υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση (Darcy – Weisbach):

$$\delta p = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho}{2}$$

Τώρα, μετατρέποντας την πίεση p σε ύψος h της στήλης του διακινούμενου υγρού με τη σχέση “ $p = \rho gh$ ”, οι υδραυλικές απώλειες της ροής σε ευθεία σωλήνα, υπολογίζονται ως εξής:

$$\delta h = \lambda \frac{L}{d} \frac{c^2}{2g}$$

όπου, δp είναι η πτώση της πίεσης, δh είναι η πτώση της πίεσης εκφρασμένη σε μέτρα στήλης του διακινούμενου υγρού, λ είναι ένας συντελεστής, L είναι το μήκος του αγωγού, d είναι η εσωτερική διάμετρος της σωλήνας, ρ είναι η πυκνότητα του διακινούμενου υγρού, c είναι η μέση ταχύτητα της ροής στον αγωγό (ισούται με $c = Q/A$, όπου το Q είναι η παροχή και το A είναι το εμβαδόν της σωλήνας), g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Όσον αφορά τις γραμμικές απώλειες, ο συντελεστής λ , εξαρτάται από την τιμή του αριθμού Reynolds και από τη σχετική τραχύτητα των τοιχωμάτων του αγωγού. Έτσι, ο υπολογισμός του δίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$R_e = \frac{c \cdot d_h}{\nu}$$

όπου, ν είναι η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού, d_h είναι η υδραυλική διάμετρος της διατομής του αγωγού, και ορίζεται ως εξής:

$$d_h = \frac{4A}{U}$$

όπου, A είναι η διατομή του αγωγού και U η βρεχόμενη περίμετρος.

Ακόμα, η σχετική τραχύτητα των διαβρεχόμενων επιφανειών του αγωγού “ ϵ_s ”, ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης τραχύτητας “ ϵ ” των τοιχωμάτων του, διά την εσωτερική διάμετρο “ d ” :

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon}{d}$$

Η τιμή του συντελεστή λ , συναρτήσκει του αριθμού Reynolds και της σχετικής τραχύτητας ε_s , δίνεται από το διάγραμμα Moody. Όμως, δεν είναι και απόλυτα εύχρηστο. Έτσι, έπειτα από πειραματικές μετρήσεις, προέκυψαν κάποιες συσχετίσεις. Δηλαδή:

- ❖ Για $Re < 2300$ ο συντελεστής λ , δίνεται από τον τύπο: $\lambda = 64/Re$
- ❖ Για λείο κυκλικό σωλήνα και τυρβώδη ροή με $Re > 4000$, ο συντελεστής λ , δίνεται από τον τύπο: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log(Re \sqrt{\lambda}) - 0,8$, τον οποίο διατύπωσε ο Prandtl.
- ❖ Για τυρβώδη ροή με $Re > 4000$ σε τραχύ σωλήνα, ο συντελεστής λ , δίνεται από τον τύπο: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log\left(\frac{1}{\varepsilon_s}\right) + 1.14$, τον οποίο διατύπωσε ο Nikuradse.

Με τον συνδιασμό των δύο παραπάνω σχέσεων, οι White και Colebrook διατύπωσαν μία σχέση η οποία είναι για τυρβώδη ροή με $Re > 4000$, χωρίς περιορισμούς για το αν η επιφάνεια της σωλήνας θα είναι τραχειά ή όχι. Ο τύπος είναι ο εξής:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log\left(\frac{2.5l}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon_s}{3.71}\right)$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή λ με τον τύπο των White – Colebrook, απαιτείται η εφαρμογή της επαναληπτικής διαδικασίας. Για $\varepsilon_s = 0$, ο τύπος των White – Colebrook παίρνει τη μορφή του τύπου του Prandtl, και για $\varepsilon_s = \infty$ παίρνει τη μορφή του τύπου του Nikuradse.

Οι υδραυλικές απώλειες (δh_{fEe}), στο σύστημα προσαγωγής, είναι ανάλογες του τετραγώνου της παροχής όπως φαίνεται και από τον παρακάτω τύπο:

$$\delta h_{fEe} = K_e * Q^2$$

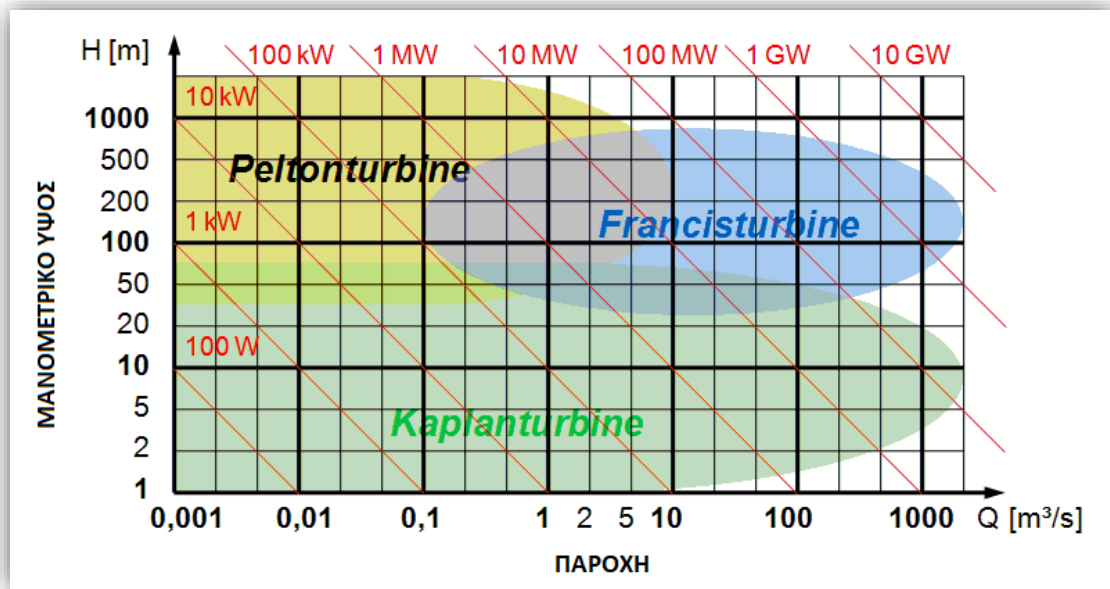
όπου, ο δείκτης e συμβολίζει τη διατομή εισόδου στον υδροστρόβιλο. Η διαστασιολόγηση του έργου προσαγωγής του νερού είναι καθάρα οικονομικό θέμα. Δηλαδή, όσο αυξάνονται οι διαστάσεις του έργου προσαγωγής του νερού, αυξάνεται και το κόστος της εγκατάστασης, αλλά μειώνονται οι υδραυλικές απώλειες (δh_{fEe}) και αυτό συνεπάγεται με την αύξηση της ενέργειας του νερού που μετατρέπεται σε παραγόμενη ισχύς. Το αντίθετο αποτέλεσμα συμβαίνει όταν μειώνονται οι διαστάσεις του έργου προσαγωγής του νερού.

Όταν στο έργο χρησιμοποιείται ένας υδροστρόβιλος δράσης, η στάθμη του ακροφυσίου τροφοδοσίας βρίσκεται ψηλότερα από τη στάθμη του νερού στη διώρυγα απαγωγής. Έτσι ο τύπος που δίνει την υδραυλική πτώση στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο παρακάτω:

$$H = z_E - z_e - \delta h_{fEe}$$

Έτσι, με γνώμονα το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας μπορεί να κριθεί ένα έργο τεχνοοικονομικά. Ωστόσο, η υπερδιαστασιολόγηση ενός έργου δε βελτιώνει τη

συνολική ενεργειακή απόδοση, ενώ παράλληλα συμβάλλει σε ένα υπέρογκο κόστος εγκαταστάσεων, το οποίο μακροπρόθεσμα οδηγεί σε ένα μη βιώσιμο οικονομικά σχήμα. Με βάση το διάγραμμα του μανομετρικού ύψους, μπορεί κάποιος να δει τις τιμές της υδραυλικής πτώσης. Έπειτα, με αυτές τις τιμές γίνεται η επιλογή του κατάλληλου υδροστροβίλου που απαιτείται για το έργο. Στη συνέχεια, απεικονίζεται ένα τέτοιο διάγραμμα που δείχνει τον τύπο του υδροστροβίλου, συναρτήσει του διαθέσιμου μανομετρικού ύψους και της παροχής (Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου

Αρκετές φορές η επιλογή φυγόκεντρων αντλιών αντίστροφης λειτουργίας, αντί των υδροστροβίλων Francis, είναι πιο συμφέρουσα γιατί μειώνει κατά πολύ το κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού του έργου.

4.7 Παραγόμενη ενέργεια

Η ισχύς του υδροστροβίλου στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας του υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$P_r = \gamma * H * Q_r * \eta$$

όπου, το γ είναι το ειδικό βάρος του νερού, το H είναι η τιμή της υδραυλικής πτώσης, το Q_r είναι η παροχή στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας του υδροστροβίλου και το η είναι ο συνολικός βαθμός αποδόσης της εγκατάστασης.

Για κάθε τιμή της παροχής Q_r στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας, υπολογίζεται η μέγιστη (Q_{max}) και ελάχιστη (Q_{min}) παροχή που μπορεί να εκμεταλλευτεί ο

υδροστρόβιλος. Όταν η παροχή είναι μεγαλύτερη από τη Q_{\max} , ο υδροστρόβιλος εκμεταλλεύεται μόνο τη Q_{\max} και η διαφορά ($Q - Q_{\max}$) μένει ανακμετάλλευτη. Ενώ, όταν η παροχή είναι Q_{\min} τότε ο υδροστρόβιλος βρίσκεται σε κατάσταση ασταθούς λειτουργίας. Η συνολική ενέργεια που παράγεται, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$E = P_r * 24 * n_e$$

Σε κάθε τιμή της παροχής Q , βρίσκουμε την παραγόμενη ενέργεια. Η παροχή που θα έχει τη μεγαλύτερη παραγόμενη ενέργεια, θα είναι και η ονομαστική παροχή του υδροστρόβιλου. Σε περίπτωση που ο υδροστρόβιλος έχει μεγαλύτερο μέγεθος, τότε η παραγόμενη ενέργεια μειώνεται, γιατί η διαθέσιμη παροχή Q είναι μικρότερη της ελάχιστης τιμής Q_{\min} . Από την άλλη, όταν ο υδροστρόβιλος έχει μικρότερο μέγεθος, τότε δε μπορεί να εκμεταλλευτεί πλήρως την παροχή Q και έτσι ένα μεγάλο μέρος της μένει ανεκμετάλλευτο ($Q - Q_{\max}$). Με βάση όλα τα παραπάνω, αφού η διαθέσιμη υδραυλική πτώση και το μέγεθος του υδροστρόβιλου είναι γνωστά, μπορεί να βρεθεί εύκολα και η ισχύς του υδροστρόβιλου με τον παρακάτω τύπο:

$$N = g * Q * H * \cos\phi$$

όπου, το g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, το Q είναι η παροχή, και το H είναι η διαθέσιμη υδραυλική πτώση.

4.8 Οικονομοτεχνική ανάλυση μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών

Η οικονομοτεχνική ανάλυση ενός μικρού ΥΗΕ, έχει ως αντικείμενο την εξέταση της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου. Αυτό εξαρτάται με το αν θα τροφοδοτεί ένα διασυνδεδεμένο ή ένα αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προβλέπεται να καλύψει την ηλεκτρική κατανάλωση μιας βιομηχανικής μονάδας. Έτσι, η οικονομική του απόδοση θα πρέπει να συγκριθεί με άλλους εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής της ίδιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. μονάδα με κινητήρες Diesel), λαμβάνοντας επίπλεον υπόψη τη διάρκεια ζωής του συστήματος, τη δυνατότητα συνεχούς τροφοδοσίας τους με το δίκτυο κτλ.

Έτσι, συγκρίνοντας το μικρό ΥΗΕ με μια μονάδα με κινητήρες Diesel, σημειώνονται οι εξής διαφορές:

- ✓ **Μικρό ΥΗΕ:** υψηλό κόστος επένδυσης, μεγάλη διάρκεια ζωής (50 χρόνια περίπου), μικρά και σταθερά λειτουργικά έξοδα, μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογη με τη διαθεσιμότητα παροχής νερού
- ✓ **Μονάδα με κινητήρες Diesel:** χαμηλό κόστος επένδυσης (το 1/3 περίπου του αντίστοιχου μικρού ΥΗΕ), μικρή διάρκεια ζωής (15 χρόνια περίπου), υψηλά λειτουργικά έξοδα που εξαρτώνται από τις διακυμάνσεις της τιμής του καυσίμου, σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (ρύπανση, θόρυβος κτλ.), μεγάλη διαθεσιμότητα στην παραγωγή ενέργειας

4.8.1 Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου

Τύπος: Τεχνητό φράγμα

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς = 100 kW

Ετήσια παραγόμενη ενέργεια = 0.31 GWh

Χρόνος ζωής του έργου = 50 έτη

Το συνολικό κόστος ενός μικρού ΥΗΕ αναλύεται σε:

1. Κόστος έργων πολιτικού μηχανικού
2. Κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (εγκατεστημένου)
3. Κόστος σύνδεσης με τη βιομηχανική μονάδα ή το δίκτυο ή και τα δύο

Η περαιτέρω ανάλυση των 3 αυτών συνιστωσών του συνολικού κόστους του ΜΥΗ σταθμού έχει ως εξής:

1. Το κόστος των έργων πολιτικού μηχανικού (ΚG) προκύπτει ως άθροισμα του κόστους των ακόλουθων κύριων συνιστωσών :

- κόστος υδροληψίας
- κόστος εκχειλιστή
- κόστος διώρυγας προσαγωγής
- κόστος αγωγού προσαγωγής
- κόστος δεξαμενής φόρτισης
- κόστος οδών προσπέλασης
- κόστος κτηρίου ΥΗΣ

2. Το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (ΚΜ) προκύπτει ως άθροισμα του κόστους των ακόλουθων κύριων συνιστωσών:

- κόστος υδροστροβίλων
- κόστος ρυθμιστή στροφών
- κόστος του μετασχηματιστή ισχύος
- κόστος γεννήτριας
- κόστος των ηλεκτρικών πινάκων

3. Το κόστος σύνδεσης με το δίκτυο (Κσ) αποτελεί μία γνωστή (φιξαρισμένη) τιμή, η οποία καθορίζεται από τον διαχειριστή του δικτύου μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το συνολικό κόστος επένδυσης K προκύπτει ως: $K = KG + KM + Kσ$

Προϋπολογισμός του έργου

Για την προγραμματιζόμενη επένδυση θα απαιτηθούν οι παρακάτω συνοπτικά περιγραφόμενες επενδύσεις σε κύριες και βοηθητικές μονάδες:

- ✚ υδροστρόβιλος τύπου Pelton
- ✚ υδραυλική μονάδα ελέγχου και υδραυλική βάνα φραγής
- ✚ σχάρες για τη συγκράτηση των φύλλων και φερτών υλικών στην είσοδο της ορεινής υδροληψίας, και μηχανισμός καθαρισμού τους
- ✚ τριφασική γεννήτρια, μετασχηματιστής μέσης τάσης, μετασχηματιστής χαμηλής τάσης
- ✚ ηλεκτρολογική εγκατάσταση, αλεξικέραυνο
- ✚ δοκιμές εγκατάστασης
- ✚ θέση σε λειτουργία του εξοπλισμού

Ακόμα θα γίνουν χωματουργικές εργασίες, διάνοιξη θεμελίων των πακτώσεων, επικάλυψη του αγωγού μετά την τοποθέτηση, κατασκευή οικίσκου (ο «σταθμός») για την τοποθέτηση του εξοπλισμού, χωματουργικά του κτηρίου, διαμόρφωση και περίφραξη του γηπέδου, γερανογέφυρα στο κτήριο, ενώ θα χρειαστεί οπλισμένο σκυρόδεμα για την κατασκευή της υδροληψίας και των πακτώσεων του αγωγού προσαγωγής. Επίσης, προβλέπεται η σύνταξη μελετών και η επίβλεψη της εκτέλεσης του έργου, καθώς και η σύνδεση του σταθμού με το δίκτυο μέσης τάσης (Πίνακας 3).

Συνολική παροχή	m ³ /s	1,5
Ύψος πτώσης	m	46,5
Αριθμός στροβίλων	-	1
Τύπος	-	Pelton
Μέγιστες υδραυλικές απώλειες	%	5,0%
Λοιπές απώλειες	%	1,0%
Έργα οδοποιίας		
Μήκος	km	3,5
Αυλάκι απαγωγής		
Μήκος	m	60
Αγωγός πτώσης		
Μήκος	m	600
Αριθμός	-	1
Επιτρεπόμενη απώλεια μανομετρικού στον αγωγό πτώσης	%	1,0%
Διάμετρος	m	2,50
Μέσο πάχος τοιχώματος σωλήνα (αγωγού)	mm	9,65

Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας		
Τύπος δικτύου	-	Κεντρικό δίκτυο
Μήκος	km	6,5
Τάση	kV	110,0

Πίνακας 3: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου

Διατήρηση οικολογικής παροχής

Η ελάχιστη απαιτούμενη παροχή προσδιορίστηκε σύμφωνα με την ΚΥΑ 49828/2008 (ΦΕΚ Β 2464 // 03.12.2008) περί του «Ειδικού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» του (πρώην) Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Συγκεκριμένα, η ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή λαμβάνεται / θεωρείται ως το μέγιστο από τα παρακάτω μεγέθη:

- 30% της μέσης παροχής των θερινών μηνών (Ιουνίου - Ιουλίου – Αυγούστου)
- 50% της μέσης παροχής του μήνα Σεπτεμβρίου ή
- 30 litres / sec σε κάθε περίπτωση

Με βάση τα ανωτέρω, η οικολογική παροχή του υδατορεύματος υπολογίστηκε σε 260 litres / sec.

4.8.2 Τα οικονομικά χαρακτηριστικά του έργου

Για την εκτίμηση της οικονομικότητας (δηλ. όλων των χρηματοοικονομικών χαρακτηριστικών του έργου) έγιναν ορισμένες υποθέσεις (σενάρια). Αυτά έχουν ως εξής:

Ανάλυση προβλεπόμενων πρώτων υλών: Η λειτουργία της μονάδας δεν απαιτεί πρώτες ύλες, αφού το νερό είναι μια μορφή πρωτογενούς ενέργειας που παρέχεται δωρεάν και αξιοποιείται έτσι ώστε να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνεπώς, δεν υπολογίζονται πρώτες ύλες στο κόστος «τροφοδοσίας» της μονάδας.

Αμοιβές προσωπικού: Με τις νέες εγκαταστάσεις θα δημιουργηθούν ανάγκες στην εταιρία που θα αφορούν στην ηλεκτρομηχανολογική επίβλεψη της μονάδας. Για τον λόγο αυτό προβλέπεται η πρόσληψη ενός ηλεκτρολόγου μηχανικού, ο οποίος θα ελέγχει τις εγκαταστάσεις και θα επεμβαίνει όποτε κρίνεται απαραίτητο. Η αμοιβή του προβλέπεται να ανέλθει σε 20000 Ευρώ ετησίως.

Κατανάλωση ενέργειας: Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή κι αδιάκοπη λειτουργία, η εγκατάσταση θα χρησιμοποιεί τριφασικό ρεύμα από το δίκτυο της ΔΕΗ. Οι ανάγκες της μονάδας σε ηλεκτρική ενέργεια για το πρώτο έτος μετά την ολοκλήρωση του νέου επενδυτικού σχεδίου και την εγκατάσταση του εξοπλισμού διαμορφώνονται στα 150 € το μήνα.

Τέλη & Δημοτικοί Φόροι: Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ υποχρεούνται στην καταβολή τέλους 3% του κύκλου εργασιών τους στο δήμο της περιοχής εγκατάστασής τους.

Κόστος Συντήρησης: Το συγκεκριμένο κόστος (γνωστό, αλλιώς, ως κόστος «λειτουργίας και συντήρησης» - Λ&Σ) προβλέπεται προκειμένου να συμπεριληφθεί στο κόστος παραγωγής το υφιστάμενο κόστος εξαιτίας κάποιων απρόβλεπτων ζημιών και φθορών των μηχανημάτων ή των υπολοίπων λειτουργικών τμημάτων της μονάδας. Σε αυτό λαμβάνεται υπόψη και το κόστος για την προγραμματισμένη συντήρηση της εγκατάστασης, καθώς και η απώλεια εισόδων που θα έχει η «επιχείρηση» όσο η μονάδα παραμένει ανενεργή (εκτός λειτουργίας) για λόγους συντήρησης.

Τόκοι μακροπρόθεσμου δανείου επένδυσης: Προβλέπεται η σύναψη μακροπρόθεσμου δανείου από τον ιδιοκτήτη / διαχειριστή της μονάδας, προκειμένου να καλυφθεί το 40% του συνόλου της επένδυσης.

Το συνολικό κόστος του έργου (Πίνακας 6) είναι το άθροισμα του αρχικού (Πίνακας 4) και του ετήσιου κόστους (Πίνακας 5).

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Ποσό (€)	Σχετικό κόστος
Μελέτη σκοπιμότητας	407.880	3,0%
Ανάπτυξη	505.560	3,7%
Μηχανολογικά	68.640	0,5%
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας		
Υδροστρόβιλος	6.568.375	48,1%
Έργα οδοποιίας	122.760	0,9%
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού	719.400	5,3%
Υποσταθμός	471.240	3,4%
Ισοζύγιο συστήματος και διάφορα		
Αγωγός πτώσης	1.232.880	9,0%
Κανάλι	443.520	3,2%
Άλλο	2.870.583	22,9%
Συνολικά αρχικά κόστη	13.410.838	100,0%

Πίνακας 4: Το αρχικό κόστος του έργου

Κόστος λειτουργίας και συντήρησης ΜΥΗΣ	
Ετήσιο κόστος αμοιβών	20.000
Συντελεστής συντήρησης Η/Μ	2%
Συντελεστής συντήρησης έργων Πολιτικού Μηχανικού	0,5%
Συντελεστής κόστους ασφάλισης Η/Μ	0,625%
Συντελεστής κόστους ασφάλισης έργων Πολιτικού Μηχανικού	0,625%
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού (χρήση)	3%
Τέλη και Δημοτικοί Φόροι*	3% του κύκλου εργασιών

Πίνακας 5: Τα ετήσια κόστη του έργου

* Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ υποχρεούνται στην καταβολή τέλους στο δήμο της περιοχής εγκατάστασής τους.

Οικονομικοί παράμετροι		
Τιμή πληθωρισμού	%	3,0%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	50
Δάνειο	%	40%
Επιτόκιο δανεισμού	%	7,2%
Περίοδος χρέους	έτος	10
Αρχικά κόστη		
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	€	6.568.375
Άλλα	€	6.842.463
Συνολικά αρχικά κόστη	€	13.410.838
Κίνητρα και επιχορηγήσεις		
	€	5.439.948
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους		
Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	€	405.400
Κόστος 3%	€	138.483
Πληρωμές χρέους – 10 έτη	€	1.234.954
Συνολικά ετήσια κόστη	€	1.778.837
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	659.441
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα	€	659.441
Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR)	%	77,5%
Απλή αποπληρωμή	έτη	3,1

Πίνακας 6: Τα συνολικά κόστη του έργου

Τρόπος κάλυψης των απαιτούμενων ιδίων κεφαλαίων: Για την υλοποίηση της επένδυσης, θα χρησιμοποιηθεί και τραπεζικός δανεισμός. Το συνολικό ποσό ανέρχεται στο 40% του κόστους του συνολικού επιχειρηματικού σχεδίου (Πίνακας 7). Η ανάλυση του τραπεζικού δανεισμού δίνεται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 8).

ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ
A. Ίδια κεφάλαια	2.530.942	20%
B. Άλλη κρατική ενίσχυση	5.439.948	40%
Γ. Λοιπά κεφάλαια	5.439.948	40%
Τραπεζικό δάνειο με κρατική ενίσχυση	-	-
Τραπεζικό δάνειο χωρίς κρατική ενίσχυση	5.439.948	40%
Άλλα κεφάλαια	-	-
Δ. Σύνολο κόστους επένδυσης (Δ = Α + Β + Γ)	13.410.838	100%

Πίνακας 7: Η χρηματοδοτική διάρθρωση της επένδυσης

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΩΝ ΔΟΣΕΩΝ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΟΥ ΔΑΝΕΙΟΥ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (ΣΕ €)		
ΥΨΟΣ ΔΑΝΕΙΟΥ	5.439.948,00 €	
ΕΠΙΤΟΚΙΟ	7,20%	
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΑΝΕΙΟΥ	10,0	ΕΤΗ
ΤΡΟΠΟΣ ΕΞΟΦΛΗΣΗΣ (αριθμός δόσεων ανά έτος)	2	
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΧΑΡΙΤΟΣ	0	ΕΤΗ
ΥΨΟΣ ΤΟΚΟΧΡΕΟΛΥΤΙΚΗΣ ΔΟΣΗΣ	386.232,1 €	

Α/Α ΔΟΣΗ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ	ΤΟΚΟΣ	ΧΡΕΟΛΥΣΙΟ	ΤΟΚΟΧΡΕΟΛΥΣΙΟ	ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ
Δόσεις				5.439.948,0
1 ^η Δόση	195.838,1	190.394	386.232,1	5.249.554
2 ^η Δόση	188.983,9	197.248,2	386.232,1	5.052.305,8
3 ^η Δόση	181.883	204.349,1	386.232,1	4.847.956,7
4 ^η Δόση	174.526,4	211.705,7	386.232,1	4.636.251
5 ^η Δόση	166.905	219.327,1	386.232,1	4.416.923,9
6 ^η Δόση	159.009,3	227.222,8	386.232,1	4.189.701,1
7 ^η Δόση	150.829,2	235.402,9	386.232,1	3.954.298,2
8 ^η Δόση	142.354,7	243.877,4	386.232,1	3.710.420,8
9 ^η Δόση	133.575,2	252.656,9	386.232,1	3.457.763,9
10 ^η Δόση	124.479,5	261.752,6	386.232,1	3.196.011,3
11 ^η Δόση	115.056,4	271.175,7	386.232,1	2.924.835,6
12 ^η Δόση	105.294,1	280.938	386.232,1	2.643.897,6
13 ^η Δόση	95.180,3	291.051,8	386.232,1	2.352.845,8
14 ^η Δόση	84.702,5	301.529,6	386.232,1	2.051.316,2
15 ^η Δόση	73.847,4	312.384,7	386.232,1	1.738.931,5
16 ^η Δόση	62.601,5	323.630,6	386.232,1	1.415.300,9
17 ^η Δόση	50.950,8	335.281,3	386.232,1	1.080.019,6
18 ^η Δόση	38.880,7	347.351,4	386.232,1	732.668,2
19 ^η Δόση	26.375,8	359.856,3	386.232,1	372810,9
20 ^η Δόση	13421,2	372.810,9	386.232,1	0

Πίνακας 8: Ο τραπεζικός δανεισμός

4.8.3 Συμπεράσματα

Το υπό μελέτη ΜΥΗ έργο συνιστά μια φθηνή επιλογή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον. Στο οικονομικό σκέλος της επένδυσης, το κόστος της εγκατάστασης είναι σχετικά υψηλό, αλλά αυτό αντισταθμίζεται από το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Λαμβάνοντας υπόψη τις κυριότερες μεθόδους αξιολόγησης επενδύσεων, μπορεί κανείς να καταλήξει στο γεγονός ότι αποτελεί ένα επικερδές έργο.

Παράλληλα η λειτουργία του ΜΥΗ Σταθμού θα συμβάλλει στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, με την υποκατάσταση της ενέργειας που παράγεται από τα συμβατικά καύσιμα, συμβάλλοντας έτσι στην παγκόσμια προσπάθεια μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου.

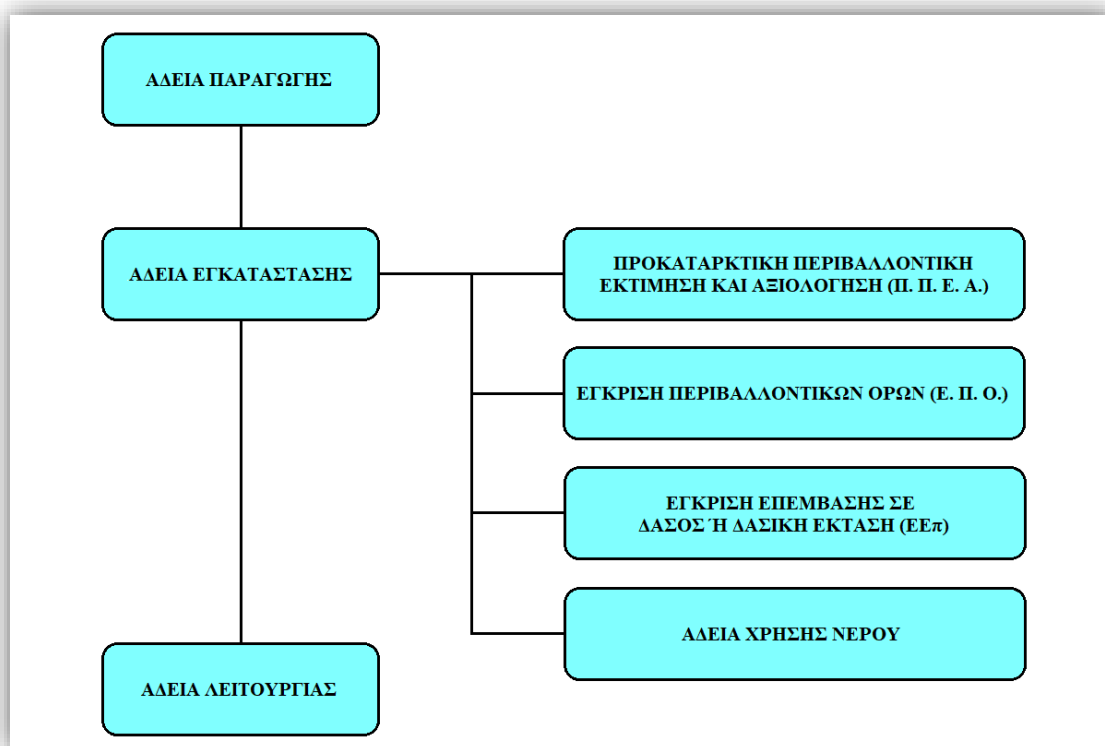
4.9 Επιπτώσεις ΜΥΕ στο περιβάλλον

Η κατασκευή ενός ΜΥΕ αποτελεί μια παρέμβαση στο περιβάλλον. Όχι μόνο κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, αλλά και κατά τη λειτουργία του. Ωστόσο, πολλές φορές αυτή η παρεμβολή μπορεί να μετριασθεί με αντάλλαγμα τον υψηλό προϋπολογισμό του έργου και κατ'επέκταση την οικονομική απόδοσή του. Σε γενικές γραμμές όμως, τα μικρά ΜΥΕ δεν αντιμετωπίζουν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και έτσι το έργο διεκπερώνεται κανονικά μέχρι το τέλος.

Σημαντικό πρόβλημα στο περιβάλλον, δημιουργεί η κατασκευή των μεγάλων φραγμάτων, που ξεπερνάνε τα 15 μέτρα, διότι εγκυμονούν σοβαρούς κινδύνους και συνέπειες για το περιβάλλον. Από την άλλη, τα ποτάμια δεν είναι ανανεώσιμα και δεν αλλοιώνονται όπως τα φράγματα. Βέβαια, τα ΥΗΕ εκτός από αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, έχουν και αρκετές θετικές. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το νερό για ύδρευση και άρδευση. Δημιουργείται χώρος αναψυχής και τουρισμού. Μπορούν να ελέγξουν τη στάθμη κατά τη διάρκεια των πλημμύρων κτλ. Εν κατακλείδι, η παραγωγή 310 MWh ετησίως από το υδροηλεκτρικό έργο εγκατεστημένης ισχύος 100 kW, αποτρέπει την εκπομπή στην ατμόσφαιρα 206 τόννων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως, σε περίπτωση που η ίδια ποσότητα ενέργειας θα παραγόταν από λιγνιτικό σταθμό.

Κεφάλαιο 5

Αδειοδότηση ενός Μικρού Υδροηλεκτρικού Έργου



5.1 Έκδοση Αδειας Παραγωγής

Υποβολή αίτησης στη ΡΑΕ. Ο φάκελος πρέπει να περιέχει:

- Μελέτη σκοπιμότητας
- Νομική υπόσταση, οργανωτική και διοικητική δομή του αιτούντος, καθώς και οικονομικά στοιχεία των τελευταίων τριών ετών
- Συνοπτική παρουσίαση του Επιχειρηματικού Σχεδίου για τα επόμενα πέντε έτη
- Συνοπτικό χρηματοοικονομικό προγραμματισμό για το έργο που θα παρέχει την προβλεπόμενη ταμειακή ροή

5.2 Έκδοση Αδειας Εγκατάστασης

Αρμόδιος για την έκδοση εγκατάστασης είναι ο Γενικός Γραμματέας της οικείας περιφέρειας.

- Σε περίπτωση σύνδεσης σταθμού στο Σύστημα ή σε Δίκτυο τα αναγκαία στοιχεία για τη διατύπωση προσφοράς σύνδεσης του σταθμού (Τοπογραφικό διάγραμμα 1:50.000, περιγραφή Η/Μ εγκαταστάσεων)
- Φάκελος μελέτης προέγκρισης χωροθέτησης
- Φάκελος μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Άδεια χρήσης νερού και, εφόσον ο αιτών είναι νομικό πρόσωπο που δεν υπάγεται στον ευρύτερο δημόσιο τομέα, άδεια εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 1739/1987

5.2.1 Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (Π.Π.Ε.Α.)

- Τεχνική Περιγραφή Έργου
- Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ)
- Χάρτες και Φωτογραφικό Υλικό – Τοπογραφικοί χάρτες
- Θετικές γνωμοδοτήσεις Δασαρχείου, Πολεοδομικής Υπηρεσίας, ΟΤΕ, ΥΠΑ, ΓΕΕΘΑ, ΕΟΤ, Εφορειών Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων, Βυζαντινών Αρχαιοτήτων και Νεοτέρων Μνημείων και των Οργανισμών Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος, εφόσον το έργο πρόκειται να εγκατασταθεί σε περιοχή δικαιοδοσίας των εν λόγω οργανισμών

5.2.2 Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.)

- Απαραίτητη η θετική γνωμοδότηση του Νομαρχιακού Συμβουλίου της οικείας Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης και των Οργανισμών Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος, εφόσον το έργο πρόκειται να εγκατασταθεί σε περιοχή δικαιοδοσίας των εν λόγω οργανισμών
- Ο συνοδευτικός φάκελος της αίτησης, περιλαμβάνει την πλήρη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) του έργου, στην οποία αναλύονται εκτενέστερα το σύνολο των στοιχείων που αναφέρονται στην Π.Π.Ε.Α.

5.2.3 Έγκριση Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση (Εεπ)

Αρμόδιος για την έκδοσή της είναι ο Γενικός Γραμματέας της οικείας Περιφέρειας.

- Τα περιεχόμενα του φακέλου για την Εεπ είναι η Τεχνική Περιγραφή Έργου, οι χάρτες και το φωτογραφικό υλικό, όπως αυτά ορίζονται για το φάκελο της Π.Π.Ε.Α.
- Προϋπόθεση για τη χορήγηση Εεπ είναι η Ε.Π.Ο. του συγκεκριμένου έργου

5.2.4 Άδεια Χρήσης Νερού – Εκτέλεση Έργου Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων

Αρμόδια αρχή για την έκδοση της άδειας είναι το ΥΠΙΑΝ.

- Νόμιμη εξουσιοδότηση εκπροσώπησης
- Τοπογραφικό διάγραμμα, κατάλληλης κλίμακας
- Γενική περιγραφή του έργου
- Αντίγραφο ιδιωτικού συμφωνητικού σε περίπτωση χρήσης νερού από χώρο ξένης ιδιοκτησίας
- Επαρκή στοιχεία μελέτης στα οποία αναλύεται η ποσοτική και ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων, πριν και μετά την εκτέλεση του έργου

5.3 Έκδοση Άδειας Λειτουργίας

- Βεβαίωση του ΔΕΣΜΗΕ ή της ΔΕΗ ΑΕ περί ολοκλήρωσης των κατασκευών του δικτύου σύνδεσης και των λοιπών αναγκαίων εγκαταστάσεων, σύμφωνα με τις ελάχιστες προδιαγραφές που ορίζονται στη σύμβαση σύνδεσης
- Επικυρωμένο αντίγραφο σύμβασης αγοραπωλησίας Η/Ε μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΣΜΗΕ ή ΔΕΗ ΑΕ, ανάλογα με το αν η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στο Σύστημα ή στο δίκτυο, αντίστοιχα
- Επικυρωμένο αντίγραφο σύμβασης σύνδεσης στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΣΜΗΕ ή ΔΕΗ ΑΕ αντίστοιχα
- Πιστοποιητικό της αρμόδιας Υπηρεσίας του Πυροσβεστικού Σώματος, ότι έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα πυρασφάλειας
- Έκθεση αυτοψίας της Αδειοδοτούσας Αρχής, με την οποία βεβαιώνεται η τήρηση των όρων και περιορισμών της άδειας εγκατάστασης
- Νόμιμα θεωρημένο αντίγραφο της οικοδομικής άδειας του σταθμού παραγωγής
- Υπεύθυνη δήλωση του φορέα του έργου ότι έχουν τηρηθεί οι όροι της απόφασης Ε.Π.Ο. και ότι θα τηρούνται και κατά τη διάρκεια λειτουργίας
- Λοιπές υπεύθυνες δηλώσεις του ιδιοκτήτη, του επιβλέποντος την κατασκευή μηχανικού και του μηχανικού επίβλεψης της λειτουργίας του έργου

Κεφάλαιο 6

ΥΗΣ Μόρνου

6.1 Ιστορική του έργου

Ο Μόρνος είναι ποταμός της κεντρικής Στερεάς Ελλάδας. Στην αρχαιότητα λεγόταν *Δαφνούς* ή *Υλαιθος*. Πηγάζει από τις νότιες πλαγιές της Οίτης και καθώς κατεβαίνει στα νότια, αποχετεύει τη λεκάνη που βρίσκεται μεταξύ Γκιώνας, Βαρδουσιών, Οίτης και Λιδωρικού. Καθορίζει τα όρια των επαρχιών Ναυπακτίας και Δωρίδας και εκβάλλεται στα όρια του Πατραϊκού και Κορινθιακού κόλπου, ανατολικά της Ναυπάκτου. Ο Μόρνος έχει συνολικό μήκος 70 χιλιομέτρων περίπου και η λεκάνη απορροής του έχει επιφάνεια 1180 τετραγωνικά χιλιόμετρα. [7]

6.2 Στοιχεία κλίματος

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται το ύψος του νετού σε mm καθώς και οι ημέρες βροχής κατά το διάστημα 2012 – 2018 του μετεωρολογικού σταθμού που βρίσκεται στο φράγμα του Μόρνου. Ωστόσο, πολλά από αυτά τα στοιχεία ίσως διαφέρουν σε κάποιο ποσοστό μιας και υπάρχουν ορισμένες απώλειες δεδομένων, λόγω βλαβών και δυσλειτουργιών του σταθμού (Πίνακας 9, Πίνακας 10, Πίνακας 11).

Ετος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
2012	65,9	71,9	64,2	66	65,2	0	47,9	52,9	60,6	67,3	73,8	76
2013	72,5	75,1	71	60	59,6	59,9	45	47,1	60,5	66,4	75	67,1
2014	77,9	72	68,5	70,5	67,2	62,9	61,2	55,5	68	70,7	76,1	76,3
2015	68,4	68,6	73,3	63,2	62,1	63,5	55,1	56,5	62,9	72,7	69,5	0
2016	74,8	71,5	73,1	59,7	64,5	61,2	57,7	53,7	67,7	72,5	76,9	64,7
2017	75,3	73,8	65,7	62,4	62,9	61,1	53,3	0	0	62,9	73	75,8
2018	73,2	77,5	72,1	59,1	69	68,5	65,1	59,6	62,4	70,8	75	76,9

Πίνακας 9: Μέσο μηνιαίο ύψος νετού κατά το διάστημα 2012 – 2018 του μετεωρολογικού σταθμού στο φράγμα του Μόρνου

Ετος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
2012	7	13	5	13	13	0	2	3	2	8	8	11
2013	11	19	13	4	3	5	4	1	3	5	14	3
2014	8	7	11	10	7	7	4	3	11	7	8	11
2015	10	12	14	6	3	7	3	3	8	7	7	0
2016	13	9	14	3	7	8	4	1	10	7	10	5
2017	13	10	5	7	6	5	2	0	0	4	11	10
2018	4	9	19	2	8	8	5	5	3	2	10	9

Πίνακας 10: Ημέρες βροχής κατά το διάστημα 2012 – 2018 του μετεωρολογικού σταθμού στο φράγμα του Μόρνου

Ετος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
2012	2,06	1,12	2,36	0,96	0,98	1,24	0,54	0,3	2,72	1,72	1,84	1,12
2013	1,3	0,76	0,9	3,14	2,14	2,14	0,26	0,92	3,62	2,76	1,04	4,16
2014	1,8	2,08	1,08	1,24	1,82	1,52	0,26	0,3	0,98	1,96	1,84	1,12
2015	1,44	1,2	0,84	2,08	2,14	1,52	0,36	0,3	1,36	1,96	2,1	1,64
2016	1,1	1,62	0,84	4,18	3,64	1,34	0,26	0,92	1,08	1,96	1,48	2,48
2017	1,1	1,44	2,36	1,78	2,14	2,14	0,54	0,42	2,3	3,44	1,34	1,24
2018	3,62	1,62	0,62	3,14	1,6	1,34	2,2	1,84	3,62	3,45	1,48	1,38
Μ.Ο	1,77	1,4	1,28	2,36	2,06	1,6	0,63	0,71	2,24	2,46	1,58	1,87

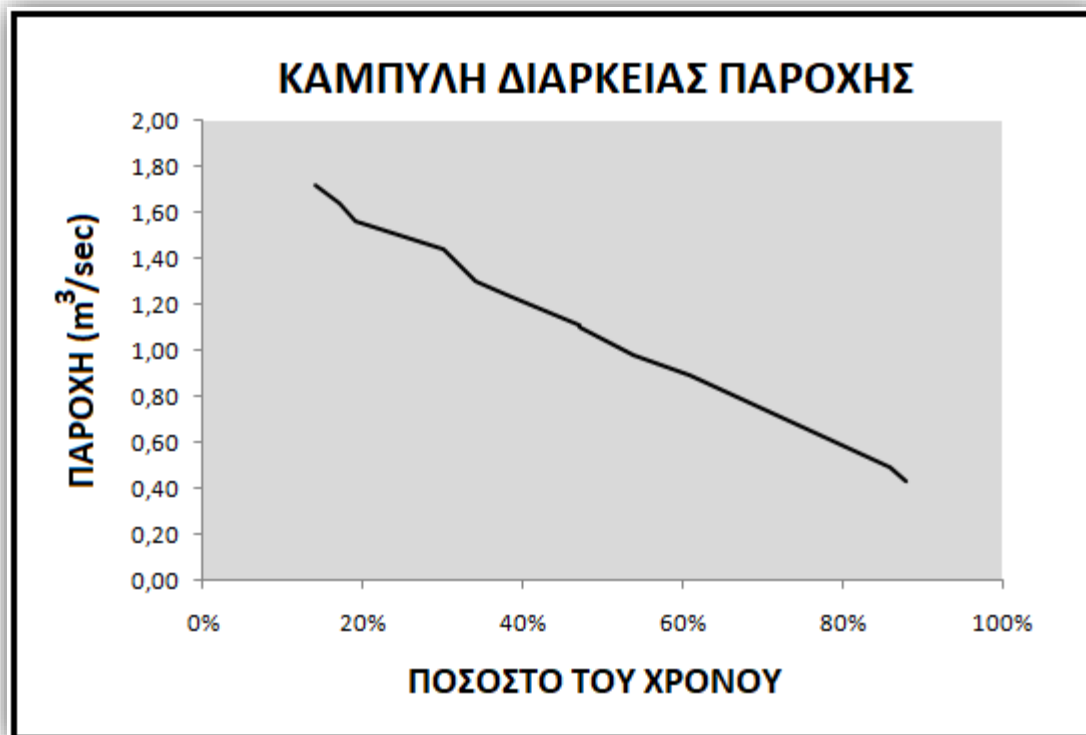
Πίνακας 11: Μέσες μηνιαίες παροχές υδατορεύματος

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προηγούμενου πίνακα (Πίνακας 11), αξιοποιείται το 70% της παροχής. Το υπόλοιπο 30% παραμένει στη φυσική κοίτη. Έτσι, οι παροχές που αξιοποιούνται ενεργειακά, υπολογίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 12).

Ετος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
2012	1,44	0,78	1,65	0,67	0,68	0,86	0,37	0,21	1,9	1,2	1,28	0,78
2013	0,91	0,53	0,63	2,19	1,49	1,49	0,18	0,64	2,53	1,93	0,72	2,91
2014	1,26	1,45	0,75	0,86	1,27	1,06	0,18	0,21	0,66	1,37	1,28	0,78
2015	1	0,84	0,58	1,45	1,49	1,06	0,25	0,21	0,95	1,37	1,47	1,14
2016	0,77	1,13	0,58	2,92	2,54	0,93	0,18	0,64	0,75	1,37	1,03	1,73
2017	0,77	1	1,65	1,24	1,49	1,49	0,37	0,29	1,61	2,4	0,93	0,86
2018	2,53	1,13	0,43	2,19	1,12	0,93	1,54	1,28	2,53	2,41	1,03	0,96
Μ.Ο	1,24	0,98	0,89	1,64	1,44	1,11	0,43	0,49	1,56	1,72	1,1	1,3

Πίνακας 12: Μέσες μηνιαίες παροχές στο στρόβιλο

Στη συνέχεια, με βάση τους υπολογισμούς των στοιχείων του προγενέστερου πίνακα (Πίνακας 12), σχεδιάζεται η καμπύλη διάρκειας παροχής (Σχήμα 6).



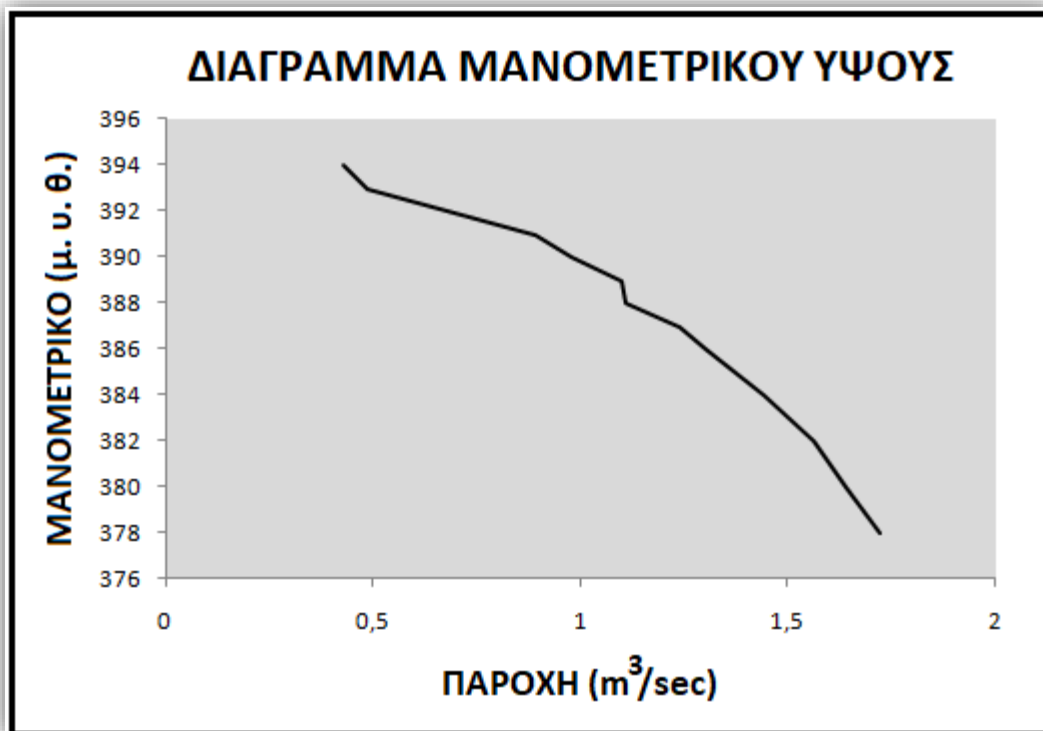
Σχήμα 6: Η καμπύλη διάρκειας παροχής

6.3 Διαθέσιμη υδραυλική πτώση

Η στάθμη λειτουργίας του πύργου υδροληψίας είναι $z_1 = 394$ m, ενώ η στάθμη απαγωγής του νερού είναι $z_2 = 347,5$ m. Το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 600 m. Άρα, η διαθέσιμη υδραυλική πτώση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$H = (z_1 - z_2) - \delta h_f$$

όπου το h_f είναι οι απώλειες του αγωγού. Για να υπολογιστεί ο συντελεστής λ , εφαρμόζεται ο τύπος των Prandtl – Colerbook. Στη συνέχεια απεικονίζεται η γραφική παράσταση της παροχής (Q_f) συναρτήσεως της υδραυλικής πτώσης (H) (Σχήμα 7).



Σχήμα 7: Το διάγραμμα μανομετρικού ύψους

Με βάση όλα τα παραπάνω στοιχεία, προκύπτει ότι ο κατάλληλος τύπος στροβίλου είναι ο Pelton. Όσον αφορά τους υδροστροβίλους Pelton, όταν η μεταβολή της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης είναι σχετικά μικρή, τότε η μεταβολή του βαθμού αποδόσεως συναρτήσει της παροχής θα είναι και αυτή μικρή.

6.4 Παραγόμενη ενέργεια

Η ισχύς του υδροστροβίλου στο κανονικό σημείο λειτουργίας του, υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P_r = \gamma \cdot H \cdot Q_r \cdot \eta$$

όπου το γ είναι το ειδικό βάρος του νερού, το H είναι η τιμή της υδραυλικής πτώσης, το Q_r είναι η παροχή στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας του υδροστροβίλου και το η είναι ο συνολικός βαθμός απόδοσης.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

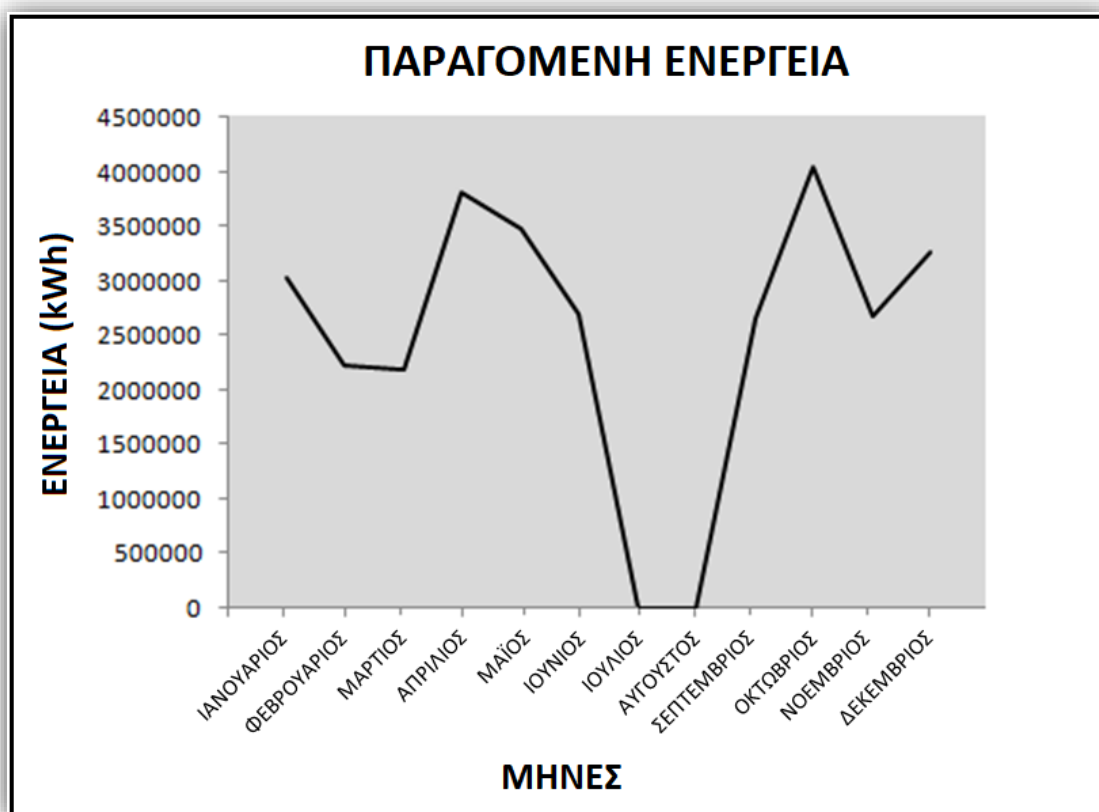
$$E_i = P_r \cdot T_i \cdot \eta_e$$

όπου το P_r είναι η ισχύς του υδροστροβίλου, το T_i είναι ο χρόνος λειτουργίας και το η_e είναι ο βαθμός απόδοσης του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού. Στη συνέχεια

απεικονίζεται ο πίνακας με κάποια βασικά στοιχεία που αφορούν την ετήσια παραγόμενη ενέργεια (Πίνακας 13), καθώς και το αντίστοιχο διάγραμμα (Σχήμα 8).

Μήνας	Διαθ. παροχή	Παροχή υδροστ.	Διαθ. μανομ.	cosφ	Ώρες	Διαθ. Ισχύς	ΕΝΕΡΓΕΙΑ
Ιανουάριος	1,24	1,24	387	0,85	740	4078,98	3018445.2
Φεβρουάριος	0,98	0,98	390	0,87	671	3325,14	2231168.94
Μάρτιος	0,89	0,89	391	0,85	740	2957,915	2188857.1
Απρίλιος	1,64	1,64	380	0,85	720	5297,2	3813984
Μάιος	1,44	1,44	384	0,85	740	4700,16	3478118.4
Ιούνιος	1,11	1,11	388	0,87	720	3746,916	2697779.52
Ιούλιος	0,43	0	394	0,84	740	0	0
Αύγουστος	0,49	0	393	0,58	740	0	0
Σεπτέμβριος	1,56	1,56	382	0,62	720	3694,704	2660186.88
Οκτώβριος	1,72	1,72	378	0,84	740	5461,344	4041394.56
Νοέμβριος	1,1	1,1	389	0,87	720	3722,73	2680365.6
Δεκέμβριος	1,3	1,3	386	0,88	740	4415,84	3267721.6
Σύνολο						41400.929	26947721.2
Υδροστροβ.	$Q_{ov} = 1,3$	$Q_{40\%} = 0,52$	$Q_{120\%} = 1,56$				

Πίνακας 13: Βασικά χαρακτηριστικά ετήσιας παραγόμενης ενέργειας



Σχήμα 8: Διάγραμμα παραγόμενης ενέργειας

Όπως προαναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.7, όταν ο υδροστρόβιλος έχει μεγαλύτερο μέγεθος από ότι απαιτείται σε μία παροχή, τότε η παραγόμενη ενέργεια μειώνεται λόγω του ότι σε διαστήματα t η παροχή Q_i είναι μικρότερη της τιμής Q_{min} . Και αντίστοιχα, όταν ο υδροστρόβιλος έχει μικρότερο μέγεθος, και σε διαστήματα t , η παροχή Q_i είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη Q_{max} , τότε ένα μεγάλο ποσοστό της παροχής μένει ανεκμετάλλευτο.

Έτσι, η παροχή του υδροστρόβιλου που πρέπει να επιλεγεί για τη συγκεκριμένη μελέτη είναι για $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{sec}$. Επιπλέον, από το μανομετρικό διάγραμμα (Σχήμα 7), παρατηρούμε ότι η διαθέσιμη υδραυλική πτώση κυμαίνεται στα 386 μ.υ.θ.

Συμπερασματικά, επιλέγεται υδροστρόβιλος με παροχή, $Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ και $H = 386 \text{ μ.υ.θ}$. Άρα η αποδιδόμενη ισχύς του θα είναι $P_r = 4070 \text{ kW}$.

Ο υδροστρόβιλος Pelton δουλεύει σε μια περιοχή που κυμαίνεται από το 40% έως το 120% της ονομαστικής του λειτουργίας και όπως παρατηρείται και από τον Πίνακα 13, οι περιοχές που δεν αξιοποιούνται είναι λίγες.

6.5 Ασύγχρονη τριφασική γεννήτρια (Asynchronous generator)

Η γεννήτρια που θα εγκατασταθεί στο συγκεκριμένο μικρό ΥΗΕ σταθμό, θα είναι τριφασική, ασύγχρονη, με λόγο V/f σταθερό (λειτουργία inverter), με σύστημα ψύξης με ανεμιστήρες, αυτορυθμιζόμενη, και αυτοδιεγερόμενη. Επιπλέον, θα τοποθετηθούν στοιχεία ελέγχου (3 x PT100) για τη θερμοκρασία των τυλιγμάτων του στάτη, καθώς και ένα (1 x PT100) για το κάθε ρουλεμάν. Τέλος, η γεννήτρια θα έχει τα εξής παρακάτω χαρακτηριστικά:

Ονομαστική τάση	415 V
Ονομαστική συχνότητα	50 Hz
Διάρκεια ταχύτητας φυγής	1 Hour
Ταχύτητα φυγής	1441 rpm
Ανύψωση θερμοκρασίας	Class F
Τύπος ρουλεμάν	Ball / roller
Μόνωση	Class F
Standards	ISO 281
Βαθμός προστασίας	IP – 23
Ισχύς στον άξονα της γεννήτριας	1100 kW
Power Factor	0.9
Βαθμός απόδοσης	96%

6.6 Μετασχηματιστής

Ο μετασχηματιστής που θα εγκατασταθεί στο συγκεκριμένο μικρό ΥΗΕ σταθμό, θα είναι ένας “France Transfo 1600kVA” και θα διαθέτει τρεις ακροδέκτες Μ.Τ. με σφικτήρες, τέσσερις ακροδέκτες Χ.Τ. με σφικτήρες, τέσσερις τροχούς κυλίσεως δύο κατευθύνσεων, δύο ακροδέκτες γείωσης, ένα κρουνό εκκένωσης λαδιού, ένα μεταγωγέα ρύθμισης Μ.Τ. +2 x 2,5% ή -2 x 2,5% και ένα όργανο προστασίας τύπου DGPT2 (Buchholz, θερμομέτρο). Ακόμα, ο μετασχηματιστής θα έχει τα εξής παρακάτω χαρακτηριστικά:

ΦΑΣΕΙΣ	3
ΙΣΧΥΣ (kVA)	1600
ΤΑΣΗ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΟΣ (V)	20000
ΤΑΣΗ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΟΣ (V)	400
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50
ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ	Dyn11
ΨΥΞΗ	ΛΑΔΙ ΟΝΑΝ
ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΟΣ	+2 x 2.5% ή -2 x 2.5%
ΤΑΣΗ ΜΟΝΩΣΗΣ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΟΣ (kV)	24
ΤΑΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ (kV, RMS, 50 Hz, 1 min)	50
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΑΔΙΟΥ (°C)	60
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ (°C)	65
ΤΑΣΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ (%)	7
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΙΔΗΡΟΥ	2750
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΛΚΟΥ	25500
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	3850
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	IEC 76
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (Μ x Π x Υ) (mm)	2110 x 1220 x 1650
ΥΛΙΚΟ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ (Μ.Τ. και Χ.Τ.)	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

6.7 Λειτουργία εγκατάστασης

Στην παράγραφο 6.5 αναφέρθηκε ότι θα χρησιμοποιηθεί μια ασύγχρονη γεννήτρια στην εγκατάσταση. Οι λόγοι που επιλέχτηκε αυτού του είδους γεννήτρια είναι οι εξής:

- Το αρχικό της κόστος είναι χαμηλό
- Δεν χρειάζεται συγχρονισμό με το δίκτυο. Συνδέεται απευθείας με έναν απλό διακόπτη.
- Δεν έχει τύλιγμα διέγερσης. Η διέγερσή της ενεργοποιείται απευθείας από το δίκτυο, μιας και το δίκτυο έχει υπερδιεγειρόμενες σύγχρονες μηχανές.
- Εξισορροπεί τις ταλαντώσεις του φορτίου και της ταχύτητας αυτόματα.
- Κατασκευαστικά, η συντήρησή της έχει ελάχιστες απαιτήσεις.
- Έχει την ιδιότητα να απομακρύνει τις ανεπιθύμητες αρμονικές της τάσης του συστήματος.

- Όσον αφορά τους αυτοματισμούς, λειτουργεί με απλά συστήματα.
- Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος του συστήματος, διακόπτεται άμεσα.

Ωστόσο, μια ασύγχρονη γεννήτρια απορροφά άεργο ισχύ από το δίκτυο. Όταν το δίκτυο είναι ασθενές, τότε χρησιμοποιούνται συστοιχίες πυκνωτών. Όμως η χρήση πυκνωτών μπορεί να δημιουργήσει συντονισμό που και αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε υπερτάσεις, υπερεντάσεις και αυξημένες απώλειες. Έτσι για να ελαχιστοποιηθούν όλα αυτά, κατά τη διάρκεια της εκκίνησης της μονάδας, αλλά και κατά τη διάρκεια των σφαλμάτων, οι πυκνωτές παραμένουν αποσυνδεδεμένοι από τη γεννήτρια και το δίκτυο.

Όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω, για την τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος της βιομηχανικής μονάδας, θα χρησιμοποιηθεί ένας υδροστροβίλος τύπου PELTON με δύο ακροφύσια. Τα ακροφύσια αυτά κινούνται με υδραυλική πίεση μέσω μιας αντλίας λαδιού. Σκοπός αυτής της κίνησης είναι να μεταβάλλεται η παροχή του νερού από τη δεξαμενή προς τον στροβίλο, με αποτέλεσμα την περιστροφική κίνηση του υδροστροβίλου.

Μόλις ανοιχτεί η κεντρική βάνα του συστήματος, αυξάνονται οι στροφές της γεννήτριας. Όταν φτάσουν κοντά στις ονομαστικές στροφές, τότε κλείνει ο κεντρικός διακόπτης ισχύος και συνδέεται η γεννήτρια με τη βιομηχανική μονάδα και κατ'επέκταση με το δίκτυο. Βέβαια, καλό θα είναι η σύνδεση να γίνεται σε στροφές που είναι λίγο πιο κάτω από τις σύγχρονες. Ο λόγος είναι ότι η ροπή του υδροστροβίλου και της γεννήτριας έχουν την ίδια φορά και έτσι συνδέεται ευκολότερα με το δίκτυο. Έπειτα από αυτή τη διαδικασία, καθορίζεται η επιθυμητή ισχύ με το κατάλληλο άνοιγμα των ακροφυσίων του στροβίλου.

Η χρήση του αυτοματισμού είναι απαραίτητη στη σωστή και ορθή εκκίνηση της λειτουργίας του συστήματος, ακολουθώντας πιστά τις απαραίτητες εντολές που του έχουν δοθεί στον προγραμματισμό.

Για τη σωστή εντολή εκκίνησης θα πρέπει να πληρούνται κάποιες απαραίτητες προϋποθέσεις. Πιο αναλυτικά:

- ✓ Η δεξαμενή συσσώρευσης θα πρέπει να είναι γεμάτη με νερό. Αυτό σημαίνει ότι το ύψος της στάθμης θα πρέπει να είναι πάνω από το προκαθορισμένο όριο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει η στάθμη της λίμνης να είναι πάνω από τον καταθλιπτικό αγωγό. Υπάρχουν τοποθετημένοι αισθητήρες που καθορίζουν τα όρια της στάθμης του νερού.
- ✓ Η πίεση της αντλίας λαδιού του υδροστροβίλου που κινεί τα οδηγητικά πτερύγια θα πρέπει να βρίσκεται συνεχώς στα κατάλληλα όρια. Διαφορετικά η μείωση ή η αύξηση της πίεσης θα οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα τόσο για τον υδροστροβίλο, όσο και για την ίδια τη μονάδα. Επίσης, σπουδαίο ρόλο παίζει το πόσο καθαρό είναι το φίλτρο του λαδιού και το πόσο συχνά αλλάζεται.

- ✓ Τα τυλίγματα της γεννήτριας θα πρέπει να έχουν κατάλληλους αισθητήρες (thermistors) που αντιλαμβάνονται τη θερμοκρασία και σε περίπτωση υπερθέρμανσης να διακόπτουν αμέσως τη λειτουργία της.
- ✓ Σε περίπτωση που η μηχανική ενέργεια στην είσοδο της γεννήτριας είναι αρκετά μειωμένη από ότι απαιτείται, τότε η μηχανή έχει την τάση να απορροφά από το δίκτυο ενεργό ισχύ με αποτέλεσμα να συμπεριφέρεται σαν σύγχρονος κινητήρας. Αυτό απαγορεύεται στη συγκεκριμένη περίπτωση! Για να προληφθεί αυτή η δυσλειτουργία έχει τοποθετηθεί ειδικός ηλεκτρονόμος που αποκόπτει τη λειτουργία της μονάδας σε μια τέτοια κατάσταση.
- ✓ Εάν για κάποιο λόγο ο γενικός διακόπτης ισχύος που συνδέει τη γεννήτρια με το δίκτυο είναι μπλοκαρισμένος, τότε δεν επιτρέπεται να εκτελείται η εντολή εκκίνησης της.
- ✓ Εάν για κάποιο λόγο η τάση του δικτύου ξεπεράσει ή πέσει από τα προκαθορισμένα όρια, τότε η μονάδα διακόπτει τη λειτουργία της έως ότου λυθεί το πρόβλημα. Μόνο έπειτα από την επίλυση του προβλήματος δίνεται εντολή επανεκκίνησης.
- ✓ Εάν για κάποιο λόγο η συχνότητα του δικτύου ξεπεράσει ή πέσει από τα προκαθορισμένα όρια, τότε η μονάδα διακόπτει τη λειτουργία της έως ότου λυθεί το πρόβλημα. Μόνο έπειτα από την επίλυση του προβλήματος δίνεται εντολή επανεκκίνησης.
- ✓ Εάν η στάθμη του νερού πέσει από το προκαθορισμένο όριο, τότε η μονάδα διακόπτει τη λειτουργία της έως ότου η δεξαμενή ξαναγεμίσει. Έπειτα, εκτελείται η εντολή επανεκκίνησης της μονάδας. Στο όριο που έχει καθοριστεί ως κατώτατο, έχει τοποθετηθεί ένας αισθητήρας που είναι συνδεδεμένος με τον αυτοματισμό ελέγχου.

Η εντολή άμεσης διακοπής της λειτουργίας της μονάδας γίνεται μέσω ενός διακόπτη push button και γίνεται αυστηρά και μόνο σε περίπτωση που κινδυνεύει κάποιος ή σε περίπτωση σοβαρής βλάβης της μονάδας. Αυτός ο διακόπτης αφορά μόνο τη μονάδα του ΥΗΣ.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι κάθε φορά που η μονάδα του ΥΗΣ διακόπτει τη λειτουργία της για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ενεργοποιούνται αυτόματα οι ντιζελογεννήτριες διότι η βιομηχανική μονάδα δεν πρέπει να μείνει χωρίς ηλεκτρική ενέργεια. Η εντολή αυτή δίνεται μέσω των αυτοματισμών που έχουν τοποθετηθεί στον ΥΗΣ και στη βιομηχανική μονάδα.

Εάν ο ΥΗΣ βρίσκεται σε λειτουργία και συμβεί κάποιο από τα παρακάτω:

- Μπλοκάρισμα γενικού διακόπτη
- Υπερθέρμανση των τυλιγμάτων της γεννήτριας
- Αναστροφή ισχύος
- Χαμηλή πίεση λαδιού στο υδραυλικό σύστημα του υδροστροβίλου
- Εντολή άμεσης διακοπής

Τότε η υδροηλεκτρική μονάδα σταματά αυτόματα και πρέπει να επέμβει κάποιος για να διαγνώσει και να αποκαταστήσει τη βλάβη. Στη συνέχεια, πατώντας το διακόπτη push button θα γίνει επανεκκίνηση (RESET) του συστήματος και θα ενημερωθεί ο αυτοματισμός για τις ενέργειες που έγιναν. Τα σφάλματα τα οποία δεν επιτρέπουν την αυτόματη επανεκκίνηση της μονάδας και που απαιτούν την ενημέρωση του υπεύθυνου προσωπικού, ονομάζονται **σφάλματα πρώτης προτεραιότητας**.

Ωστόσο, εάν ο ΥΗΣ βρίσκεται σε λειτουργία και συμβεί κάποιο από τα παρακάτω:

- Υψηλή ή χαμηλή τάση δικτύου
- Υψηλή ή χαμηλή συχνότητα δικτύου
- Πτώση της στάθμης του νερού στη δεξαμενή κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο

Τότε η υδροηλεκτρική μονάδα σταματά αυτόματα. Όμως ο αυτοματισμός μπορεί να κάνει επανεκκίνηση (RESET) από μόνος του. Με το σταμάτημα της μονάδας, αποσυνδέονται αυτόματα η γεννήτρια και οι πυκνωτές του δικτύου. Επίσης, σφραγίζει η κεντρική πύλη εισόδου του νερού. Ωστόσο, για να σφραγίσει πλήρως η κεντρική πύλη χρειάζεται να περάσει κάποιος χρόνος. Έτσι, αφότου διορθωθεί το σφάλμα, και σφραγίσει πλήρως η κεντρική πύλη, στη συνέχεια ο αυτοματισμός κάνει την επανεκκίνηση στο σύστημα. Αυτά τα σφάλματα ονομάζονται **σφάλματα κατώτερης προτεραιότητας**.

Επιπρόσθετα, η αντλία του υδραυλικού συστήματος του υδροστροβίλου, λειτουργεί μόνο όταν δεν υπάρχει σφάλμα πρώτης προτεραιότητας.

Ακόμα, ο αυτοματισμός θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα τόσο για αυτόματη, όσο και για χειροκίνητη εκκίνηση του συστήματος.

Στη συνέχεια, εφόσον αποκατασταθούν τα σφάλματα και επιλεχτεί ο τρόπος εκκίνησης (αυτόματος ή χειροκίνητος), τα οδηγητικά πτερύγια ανοίγουν σταδιακά και η γεννήτρια επιταχύνει με ομαλό ρυθμό. Όταν η γεννήτρια φτάσει στο 95% της σύγχρονης ταχύτητας, τότε ο γενικός διακόπτης ισχύος κλείνει. Παράλληλα, κλείνει και ο διακόπτης που συνδέει τους πυκνωτές. Ωστόσο, αν οι πυκνωτές δεν συνδεθούν μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, τότε η γεννήτρια αποσυνδέεται και όλη η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή. Παρ'όλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι εάν η γεννήτρια επιταχυνθεί πάνω από το 105% της σύγχρονης ταχύτητας, τότε αποσυνδέεται από το δίκτυο και κλείνει η κεντρική πύλη εισόδου του νερού.



Εικόνα 32: Υδροηλεκτρικός σταθμός που τροφοδοτεί βιομηχανική μονάδα και παράλληλα είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “Μελέτη προσδιορισμού και αξιολόγηση υδάτινου δυναμικού για εγκατάσταση μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού”, Γιώργος Μουτάκης, Μάριος Κωνσταντέλης, ΤΕΙ Καβάλας, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Μάϊος 2003
- [2] “Φράγματα από ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC), Τεχνολογία κατασκευής και ποιοτικός έλεγχος”, Δ.Γ. Κούμουλος, Θ.Π. Κοργιαλός
- [3] “Φράγματα, λειτουργίες οικοσυστήματος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις”, Αγ. Θ. Φιλίντας, Σερ. Θ. Πολύζος
- [4] “Τεχνική Υδρολογία” , Δ. Κουτσογιάννης και Θ. Ξανθόπουλος, Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2016
- [5] “Έλεγχος και αποκατάσταση συνέπειας χρονοσειρών βροχόπτωσης”
- [6] <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc543e/kef10.html>
- [7] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CF%8C%CF%81%CE%BD%CE%BF%CF%82>